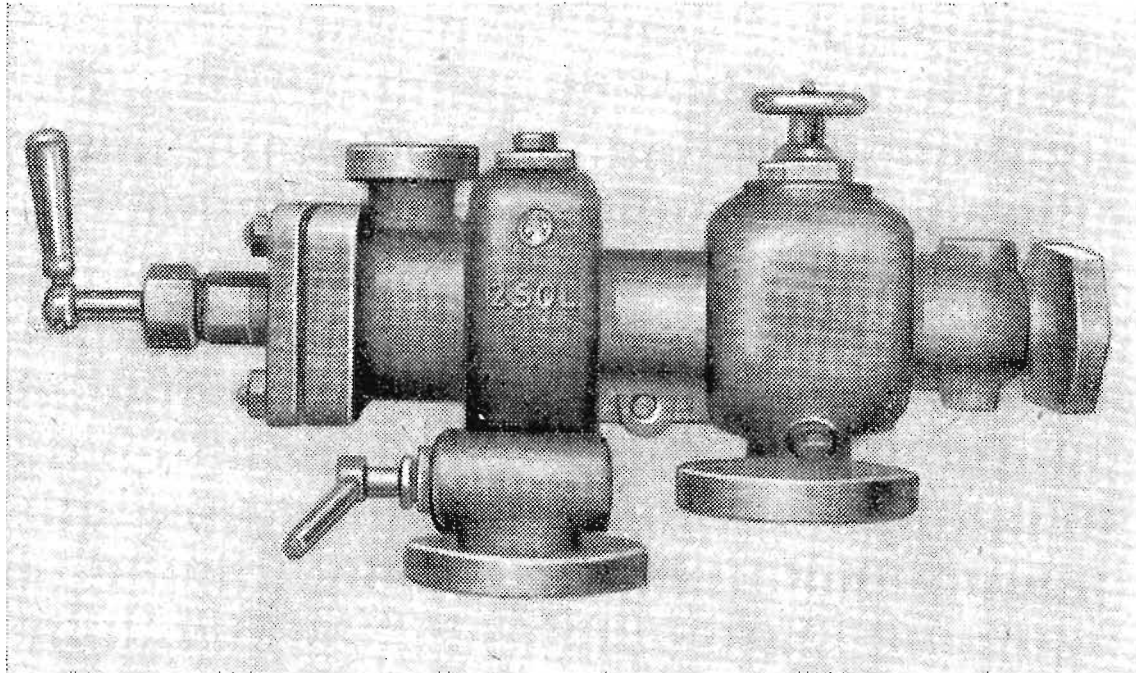
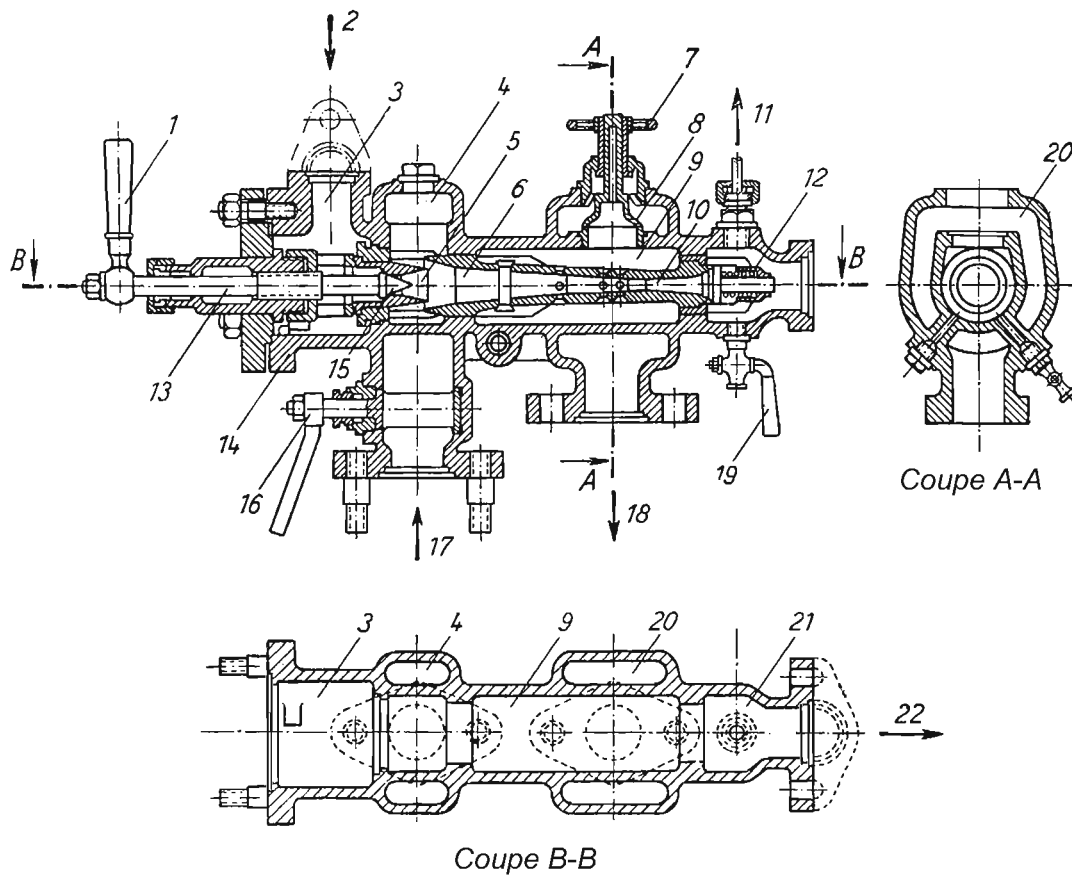


# ***Les injecteurs***



## ***conception et fabrication***



## COMMENT les CONCEVOIR COMMENT les FABRIQUER

Les constructeurs de machines à échelle réduite utilisent souvent des injecteurs pour l'alimentation en eau de la chaudière de leur machine. En général, ces appareils sont achetés tout montés dans le commerce spécialisé. Il est cependant tout à fait possible de les construire soi-même...

J'estime (mais je peux m'abuser..) que, d'une part il s'agit d'une expérience pleine d'intérêt, amenant une heureuse diversion dans les travaux habituels de construction de la machine, et d'autre part il est bien plus facile de maîtriser ce que l'on a soi-même compris et construit, surtout lorsqu'il se produit un quelconque aléa de fonctionnement.

Il ne faut cependant pas sous-estimer les soins à apporter dans la réalisation de cet appareil : un usinage relativement précis est nécessaire et les dimensions de certains éléments (en particulier la tuyère de vapeur et les divers cônes) doivent être scrupuleusement respectées.

Cela fait maintenant une bonne douzaine d'années que j'ai construit mon premier injecteur ; si mamémoire est bonne, ce ne fut pas sans mal.... Depuis, j'en suis à sept et un huitième a été construit suivant mes croquis par un ami. Bien que tous fonctionnent de façon admissible, je me vois dans l'obligation de reconnaître que certains points de détail dans le fonctionnement me sont encore demeurés quelque peu obscurs. Le nombre d'hypothèses, plus ou moins vérifiables, que j'ai faites au paragraphe ultérieur "Essais - type de l'injecteur", en est la preuve.

### FONCTIONNEMENT : EXPLICATION SOMMAIRE

La vue d'ensemble (plan 01) représente la coupe d'un des types d'injecteurs les plus utilisés en modèle réduit. Il s'agit d'un appareil dépourvu de tout réglage, fonctionnant de manière entièrement automatique dès que l'on a ouvert les vannes d'eau et de vapeur.

Le fluide moteur est de la vapeur saturée sèche (c'est à dire SANS entraînements d'eau, de titre le plus voisin de 1 possible), prélevée dans la chaudière. Cette vapeur traverse une tuyère convergente-divergente 2 où elle se détend et d'où elle sort avec grande vitesse; Le débit-poids de la vapeur est proportionnel à la section du col (partie la plus rétrécie) de la tuyère et il est presque proportionnel à la pression absolue p1 de la chaudière.

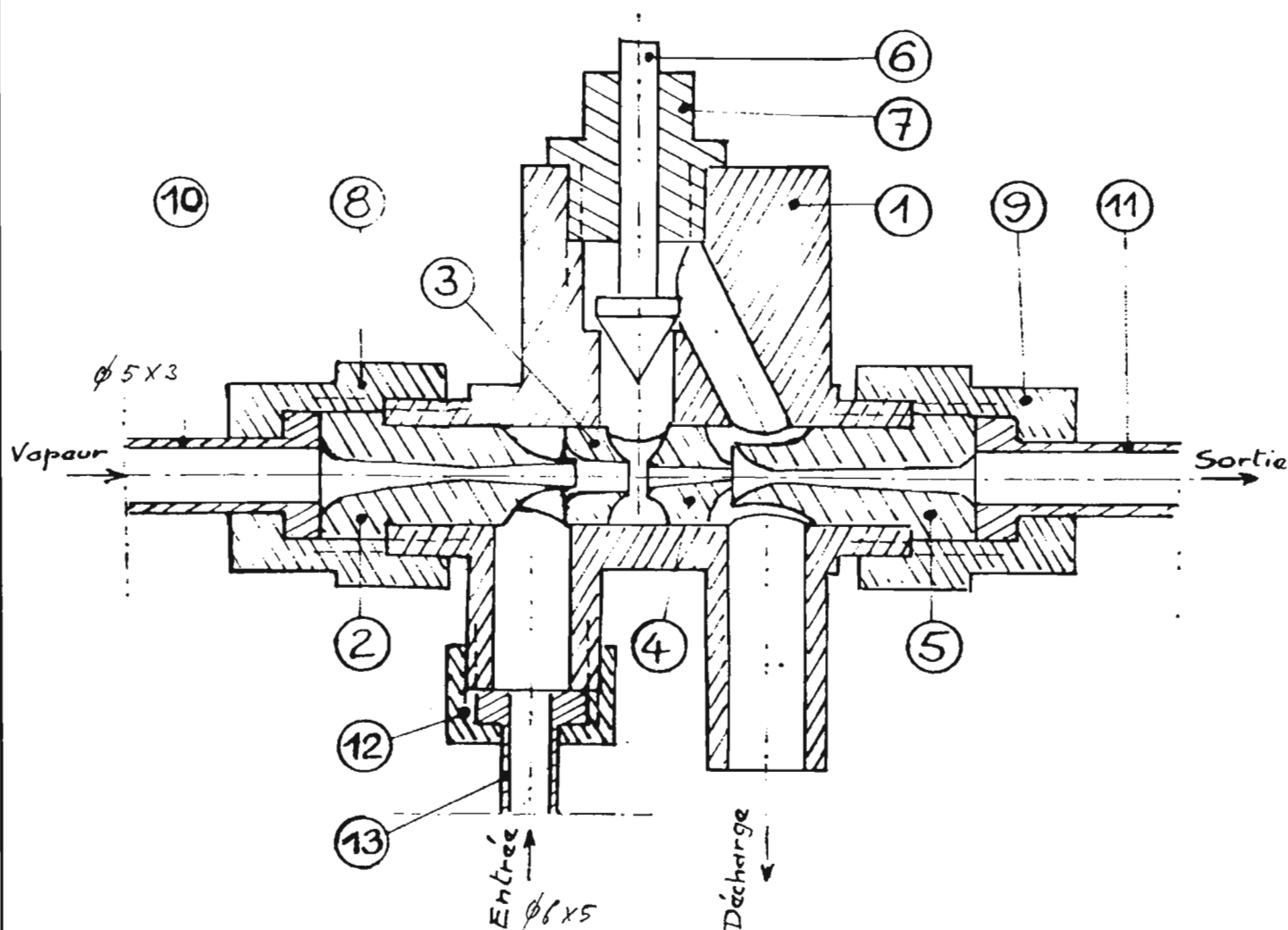
La vapeur arrive au contact de l'eau froide provenant de la bêche d'alimentation, qui traverse l'ajutage annulaire situé entre l'extrémité de la tuyère vapeur 2 et l'entrée du premier demi-cône de mélange 3 (voir également plan n° 04), et se condense au fur et à mesure de sa progression dans le cône de mélange (éléments 3 & 4). Simultanément elle communique à l'eau une fraction -assez faible d'ailleurs- de son énergie cinétique. Le débit d'eau est réglé par la section de l'ajutage annulaire décrit ci-dessus, dont l'importance dans le fonctionnement est capitale.

Lorsque l'appareil est effectivement amorcé, l'eau n'est pas entraînée sous la forme liquide habituelle, mais sous celle d'une émulsion eau-vapeur, que l'on peut se représenter sous forme d'un mélange de particules d'eau et de vapeur, une sorte d'écume en quelque sorte, animée d'une vitesse assez grande (entre 30 et 40 m/s). Du fait de la condensation la masse de vapeur contenue dans cette émulsion est toutefois très réduite vis à vis de celle traversant la tuyère 2. Sa pression est celle de la vapeur saturante à la température de l'émulsion, inférieure à la pression atmosphérique.

Le jet d'émulsion sortant du demi cône de mélange 4 entre dans le cône d'injection, divergent 5. Son énergie cinétique est alors convertie en énergie potentielle, sous forme de pression, au fur et à mesure de sa progression dans le divergent. Simultanément, la pression augmentant, la vapeur restant dans l'émulsion finit par se condenser complètement et cette dernière se transforme en eau. A la sortie du cône d'injection, si la pression est plus élevée que celle de la chaudière, l'eau peut -après passage dans un clapet anti-retour- rentrer dans celle-ci.

Une soupape 6, placée entre les demi-cônes de mélange 3 et 4, ainsi qu'un orifice de décharge placé entre les éléments 4 et 5, permettent d'évacuer les excès de vapeur (essentiellement par 6) et d'eau qui se produisent lors du démarrage. Sans ces organes, l'amorçage serait impossible.

Il faut remarquer que, bien que la quasi totalité de la chaleur prélevée à la chaudière lui soit restituée sous forme d'échauffement de l'eau, l'énergie potentielle prélevée et transformée en travail nécessaire à la mise en vitesse de la vapeur à sa sortie de la tuyère 2 est bien plus grande que l'énergie restituée sous forme de travail de refoulement de l'eau. En d'autres termes, le rendement de l'appareil n'est guère fameux ...



10	Tube d'arrivée vapeur	Cuivre
9	Raccord fileté (id. �� 8)	"
8	Raccord fileté	"
7	Bouchon	"
6	Soupape	"
5	Cône d'injection	"
4	1/2 Cône de mélange	"
3	1/2 Cône de mélange	"
2	Tuyère vapeur	"
1	Corps d'injecteur	Laiton
Rep.	Désignation	Mat��ri��re

13	Tube d'arrivée eau	Cuivre
12	Raccord fileté	Laiton
11	Tube de sortie eau	Cuivre
Rep.	Désignation	Mat��ri��re

Echelle : 2

PLAN N   01

# INJECTEUR-ENSEMBLE

Il faut noter également que l'injecteur ne peut fonctionner que du fait de la très grande diminution en volume de la vapeur lorsqu'elle se condense.

#### CARACTERISTIQUES de L'INJECTEUR ETUDIE

L'injecteur décrit ci-après est capable d'alimenter sans problèmes une chaudière dont la capacité en eau est d'environ 1 litre ou plus. Dans mon cas, ces appareils sont montés sur des locomotives prévues pour voies de 72mm d'écartement (ou écartement 3), échelle de réduction 1/20e. (ndlr: voir L'ESCARBILLE n° 40, page 44)

L'encombrement (raccords filetés mis en place) est le suivant : L = 65 l = 18 h = 60 mm.

Si la température de l'eau d'entrée est d'environ 20°C (il vaut mieux que l'eau soit froide plutôt que tiède), on peut escompter un débit d'environ 10 g/s.

Un fonctionnement admissible est obtenu pour une pression en chaudière comprise entre 3 et 7 bars relatifs. Il est cependant possible, moyennant un réglage de l'enfoncement de la tuyère vapeur (la modification porte sur quelques centièmes de mm.) de déplacer quelque peu cette plage de fonctionnement (par exemple 4 à 8 bars), ce qui peut être souhaitable dans certains cas.

Pour la tuyauterie d'arrivée vapeur du tube cuivre de 5 x 3 suffit. Les tuyauteries d'eau, surtout celle d'arrivée, doivent être plus conséquentes : tube cuivre 6 x 5.

Il paraît préférable de réduire autant que possible les pertes de charge à l'arrivée d'eau : raccord avec le tender par un tuyau flexible de section suffisante (j'utilise du tube caoutchouc de 9 x 5), vanne d'arrêt d'eau du type à boisseau avec une section de passage  $\varnothing$  5, pas de filtre - ce qui suppose une cuve à eau propre (en laiton par exemple) et de l'eau déjà filtrée lors du remplissage de cette cuve.

Par ailleurs l'emploi d'un écran déflecteur d'eau (séparateur) situé en dessous de la prise de vapeur dans la chaudière peut se révéler utile en certains cas.

Rappelons enfin que l'injecteur doit être installé assez bas par rapport au niveau d'eau minimal du tender et qu'il doit pouvoir se démonter assez facilement (donc bonne accessibilité = tant pis pour l'esthétique !) de façon à pouvoir nettoyer (et détartrer si l'on utilise de l'eau non traitée, ce qui ne me paraît pas très recommandable...) l'intérieur de l'appareil, après chaque emploi de la machine.

J'espère que ces quelques recommandations permettront d'éviter un certain nombre d'aléas de fonctionnement (le plus fréquent étant un refus d'amorçage aux pressions de chaudières élevées.)

La prochaine fois nous aborderons de front l'étude et la construction d'un appareil.

Georges CAUSSIN



LE P I N ' S  
de la CONFRERIE  
est ARRIVÉ

En vente 25 FF pièce ou 5 pour 100 FF  
(par voie postale ajouter 25 FF en Recommandé)

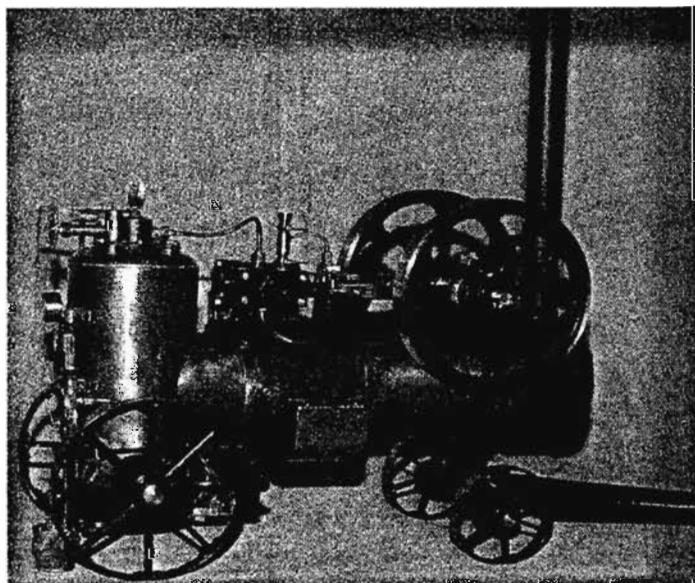
Dans notre prochain n° (le 46 à sortir fin JUIN)  
" les fantaisies de J P G "

## la ZYX ... est finie

Notre Vice-Président a terminé son second modèle -oui, il a trouvé commode, sur la lancée, d'en faire deux ; pourquoi pas ? Le voici. Il reste quelques petits détails et la peinture. Nul doute que cela sera terminé pour le SALON où il nous fera évoluer TOUS ses enfants (CHARLINE, EMMA...)

En somme, il ne lui reste plus qu'à nous sortir le bouquin correspondant...mais peut-être la construction du COUCOU va-t-elle différer cette sortie ?

La réponse vous appartient aussi, amis lecteurs : il suffit que vous nous réclamiez haut et fort ce bouquin pour qu'André ne puisse se dérober ! Mais je le vois d'ici, ne devant guère apprécier ce genre de conseil. Alors priez mes frères, priez !



AVANT de rentrer plus dans le détail du super-article de Georges CAUSSIN, il nous a semblé intéressant de vous présenter les Injecteurs tels que la SNCF peut les voir. A partir du prochain n<sup>o</sup>, Georges CAUSSIN sera seul pour vous !

## INJECTEURS

### 1<sup>o</sup> Principe du fonctionnement

Le principe de fonctionnement de cet appareil est le suivant (*fig. 91*).

La vapeur arrivant par la tuyauterie V pénètre dans le cône convergent A où elle prend de la vitesse tandis que sa pression statique baisse. A la sortie du convergent elle pénètre dans un deuxième convergent B de même axe que le précédent et dans lequel, provoquant une aspiration de l'eau qui monte par le tuyau D, elle se condense et se mélange à cette eau. L'eau réchauffée par l'addition de la vapeur sort du convergent B à grande vitesse et faible pression, elle pénètre dans le divergent C où sa vitesse tombe et sa pression monte jusqu'au-dessus du timbre. Après avoir franchi le clapet F, qui empêche le retour, elle va dans la tuyauterie qui la conduit jusqu'à la chaudière. Un orifice T de trop plein laisse écouler l'eau en excès qui n'est pas entraînée dans le divergent C lors de l'amorçage de l'injecteur.

Le fonctionnement d'un injecteur comprend deux phases :

1<sup>o</sup> L'amorçage.

2<sup>o</sup> La mise en train et le fonctionnement normal.

Pour qu'il y ait amorçage, il faut que la vapeur passant à travers les deux convergents A et B aspire d'abord l'air situé dans le corps de l'injecteur de façon à créer un vide partiel pour aspirer l'eau par le tuyau D. Pour cela il faut éviter d'introduire la vapeur en trop grande quantité, ce qui créerait une surpression dans le corps de l'injecteur, empêcherait l'amorçage et enverrait la vapeur barboter dans l'eau d'alimentation.

Lorsque l'appareil est plein d'eau, on le voit par l'écoulement qui a lieu par le trop-plein, on ouvre alors en grand l'arrivée de la vapeur. Celle-ci se condense au contact de l'eau froide et sort à grande vitesse du convergent B. Le mélange d'eau d'alimentation et de vapeur condensée perd sa vitesse et prend de la pression dans le divergent ; le clapet F est alors soulevé et l'eau va à la chaudière.

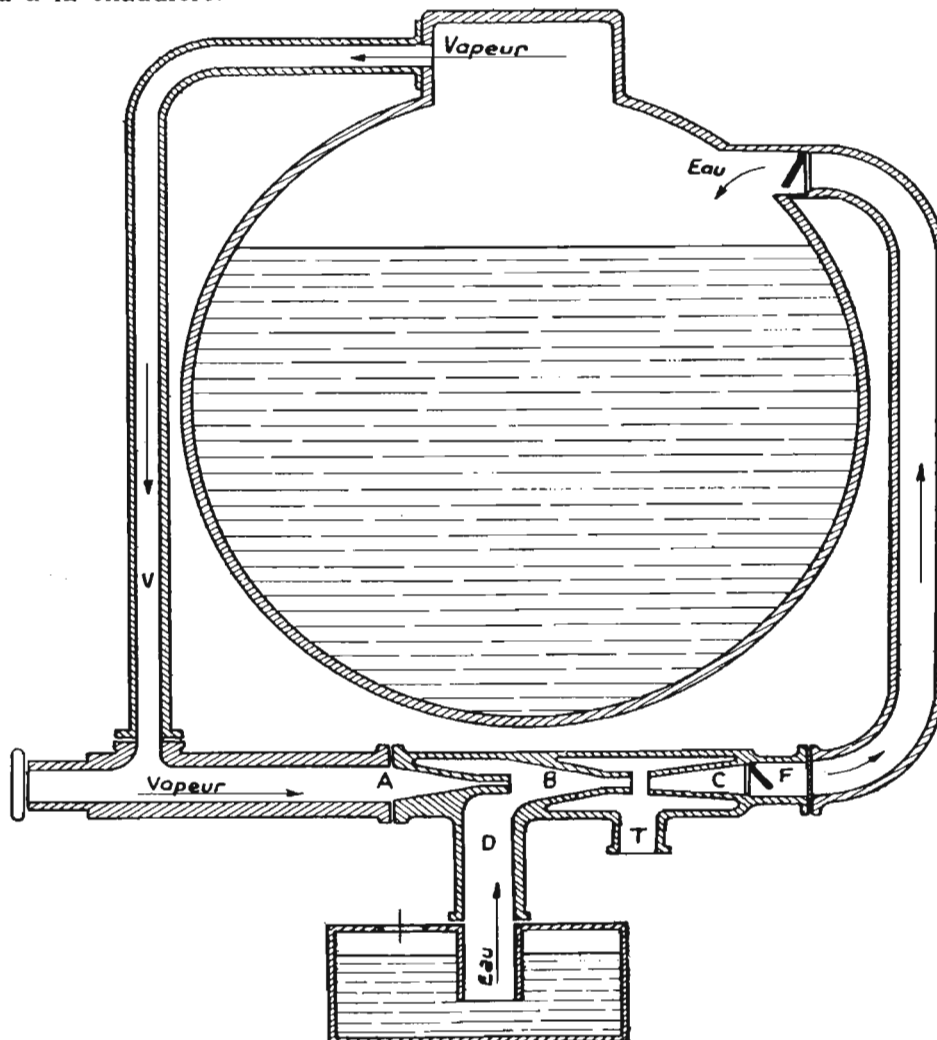


FIGURE 91

Il est indispensable que le corps de l'injecteur et ses joints soient rigoureusement étanches; sinon le vide et, par suite, l'aspiration de l'eau ne pourraient pas être réalisés.

Le diagramme (fig. 91 bis) montre comment varie le débit de l'injecteur en fonction de la température de l'eau d'alimentation et du timbre de la chaudière. Il se rapporte à un injecteur aspirant de classe moyenne. Chaque courbe fermée correspond à une température de l'eau d'alimentation. La portion d'ordonnée comprise à l'intérieur de la courbe donne les débits

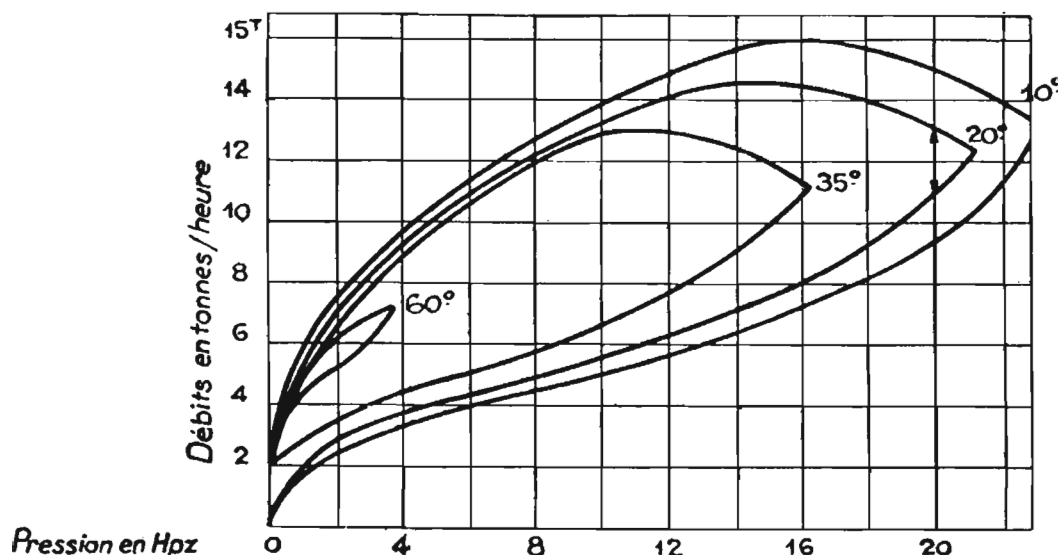


FIG. 91<sup>bis</sup>

qu'on peut espérer obtenir. On voit que plus l'eau d'alimentation est froide, plus élevé est le débit maximum de l'injecteur, plus élevée est la pression maximum à laquelle l'injecteur peut refouler l'eau, plus grandes sont les possibilités de réglage du débit. Ceci peut s'expliquer par le fait que plus l'eau est froide plus complète est la condensation de la vapeur, plus dense est le fluide à la sortie du divergent et par suite plus grande sa force vive ou sa poussée.

On admet que le débit est proportionnel à la racine carrée de la pression d'admission. Il est aussi proportionnel au carré du plus petit diamètre du convergent, ce dernier chiffre caractérisant l'injecteur.

Envisagé comme machine-motrice l'injecteur a un très mauvais rendement (15 fois plus faible que celui d'une locomotive), il consomme 4 à 5 fois plus de vapeur qu'une pompe, mais il n'en résulte aucun inconvénient puisque toutes les calories contenues dans la vapeur utilisée à son fonctionnement, à l'exception de celles transformées en travail et de celles en petit nombre perdues par rayonnement ou à l'amorçage, retournent à la chaudière sous forme d'un échauffement de l'eau introduite. La température de l'eau refoulée est en général comprise entre 70 et 90°.

Le rendement d'un injecteur dépend au plus haut point des formes : conicité et longueur du cône de mélange et du divergent, angle et diamètre d'ouverture du divergent. Les usures, les rugosités ou l'entartrement des cônes par les remous qu'ils créent sont ainsi la cause de perte de puissance dissipée en chaleur ou de ratés.

Les injecteurs peuvent utiliser comme fluide moteur soit de la vapeur prise directement dans la chaudière et qui a, par conséquent, la pression du timbre, soit de la vapeur prise sur une dérivation de la colonne d'échappement avec ou sans appoint de vapeur vive, soit de la vapeur prélevée au réservoir intermédiaire des machines Compound.

Les injecteurs du premier type, dits à vapeur vive, peuvent être soit des injecteurs aspirants (Sellers, Friedmann, Lavezzarri, Hancock), soit des injecteurs en charge (Friedmann, Lavezzarri). Les injecteurs aspirants sont situés au-dessus du niveau de l'eau du tender et doivent créer une dépression pour faire monter cette eau jusqu'à eux; tandis que les injecteurs en charge sont en dessous du niveau de l'eau du tender et n'ont pas à aspirer. L'eau peut être plus chaude, il n'y a pas besoin de manœuvre spéciale pour l'amorçage.

Les injecteurs du deuxième type utilisant de la vapeur ayant déjà travaillé, donc de pression et vitesse plus faibles, sont tous en charge.

## 2<sup>o</sup> Injecteur Sellers

L'injecteur Sellers est un injecteur aspirant (*fig. 92*) utilisé sur de nombreuses machines de la Région. L'arrivée d'eau par le tuyau H est réglée au moyen d'un robinet D manœuvré par la poignée P qui porte un index. La vapeur vive arrive par le tuyau V et ne pénètre dans l'injecteur que si le clapet à manœuvrer par le levier L a été ouvert. Au moment de l'ouverture lorsqu'on tire le levier L le clapet a quitté son siège et pendant un certain temps le têt

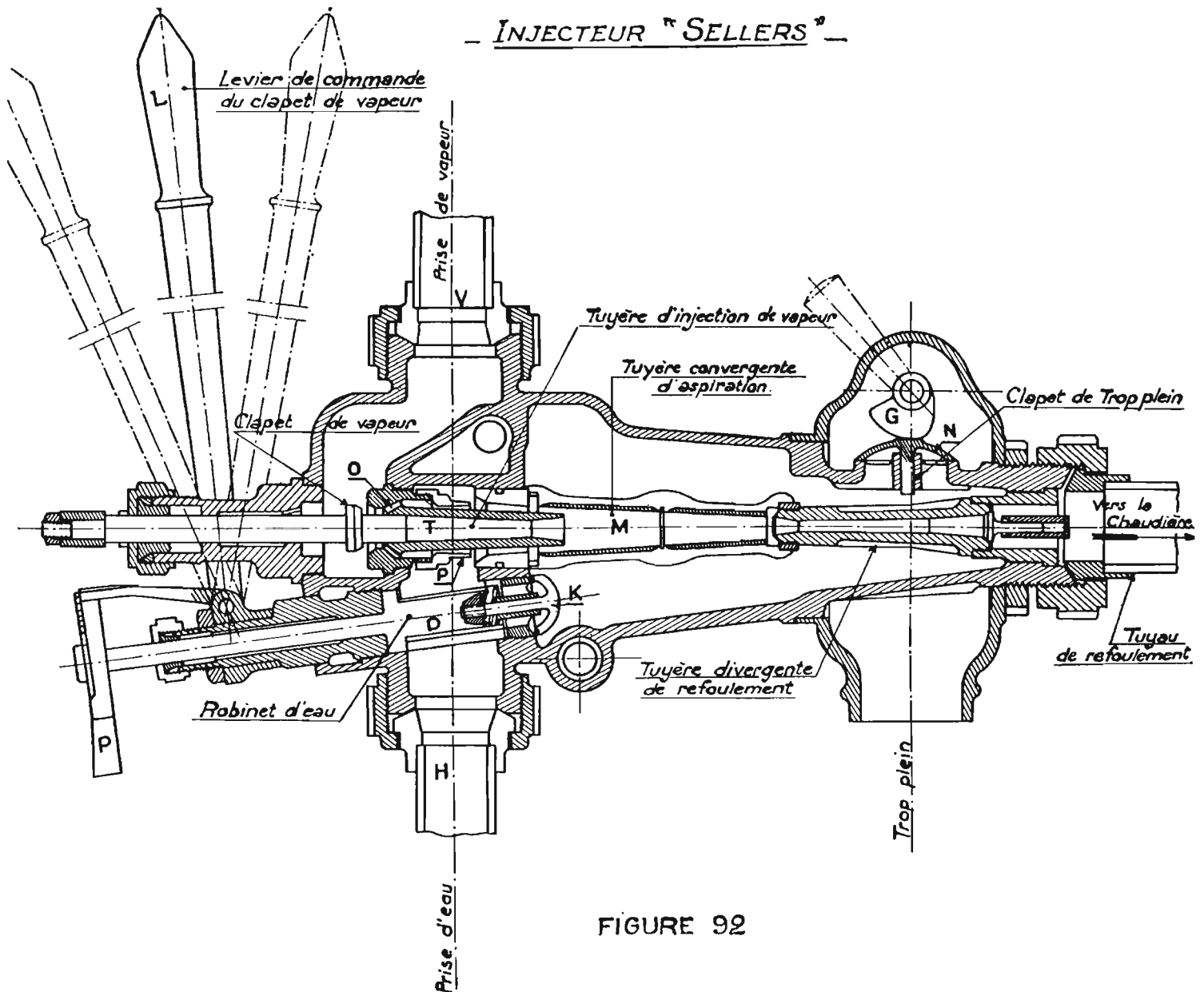


FIGURE 92

du clapet reste dans la tuyère T et la bouche; la vapeur vive venue de V ne peut alors **passer** que dans le canal annulaire O situé autour de la tuyère T et de là dans le deuxième canal annulaire P après avoir créé par sa vitesse une dépression dans la tuyauterie H et amorcé l'injecteur. Ensuite, le levier L continuant sa course, la tuyère T est ouverte, la vapeur vive y pénètre, va créer une dépression dans la tuyère M et dans la chambre qui l'entoure avec laquelle l'intérieur de M communique par des orifices, le clapet K se soulève alors; l'eau est aspirée dans la tuyère M, se mélange à la vapeur et va dans la tuyère divergente suivante où sa pression monte et de là elle pénètre dans la tuyauterie qui l'amène à la chaudière. Tant que l'amorçage n'est pas fait, il n'y a pas dépression dans la chambre où se trouve la tuyère M et l'eau s'écoule par le clapet N dans le trop plein. Cette disposition est un moyen visuel d'indication si l'injecteur est amorcé, ce que l'on voit quand le trop plein ne perd plus et elle empêche la pression de monter dans la tuyère M ce qui pourrait arriver avec un excès de vapeur vive qui empêcherait l'amorçage.

On peut bloquer à l'amorçage le clapet N par une came G, la pression monte alors dans la tuyère M, la vapeur est refoulée jusque dans le tuyau H et la caisse à eau du tender où elle va réchauffer l'eau pour éviter le gel pendant les stationnements d'hiver. Pour éviter la rupture des rotules il faut ouvrir la prise de vapeur avec précaution.

L'injecteur Friedmann est un injecteur en charge (fig. 93) très répandu sur les machines récentes. L'eau arrive par sa pression jusqu'en A, passe à travers la crépine B et arrive en E et R, si le robinet de réglage C est ouvert. La vapeur arrive par la tuyère G, se mélange à l'eau dans la tuyère F et le tout est entraîné dans le convergent M puis le divergent I, va buter contre le têtou K et soulève le clapet L pour pénétrer dans le tuyau de refoulement vers la chaudière. Le clapet N du trop plein fonctionne comme dans l'injecteur Sellers. Si l'eau arrivant ainsi n'est pas en quantité suffisante et ne correspond pas à tout ce que peut entraîner la vapeur, il se crée un vide partiel en T et une arrivée additionnelle d'eau se fait par le clapet S et le circuit RTF, ce qui augmente le débit.

— INJECTEUR "FRIEDMANN" —

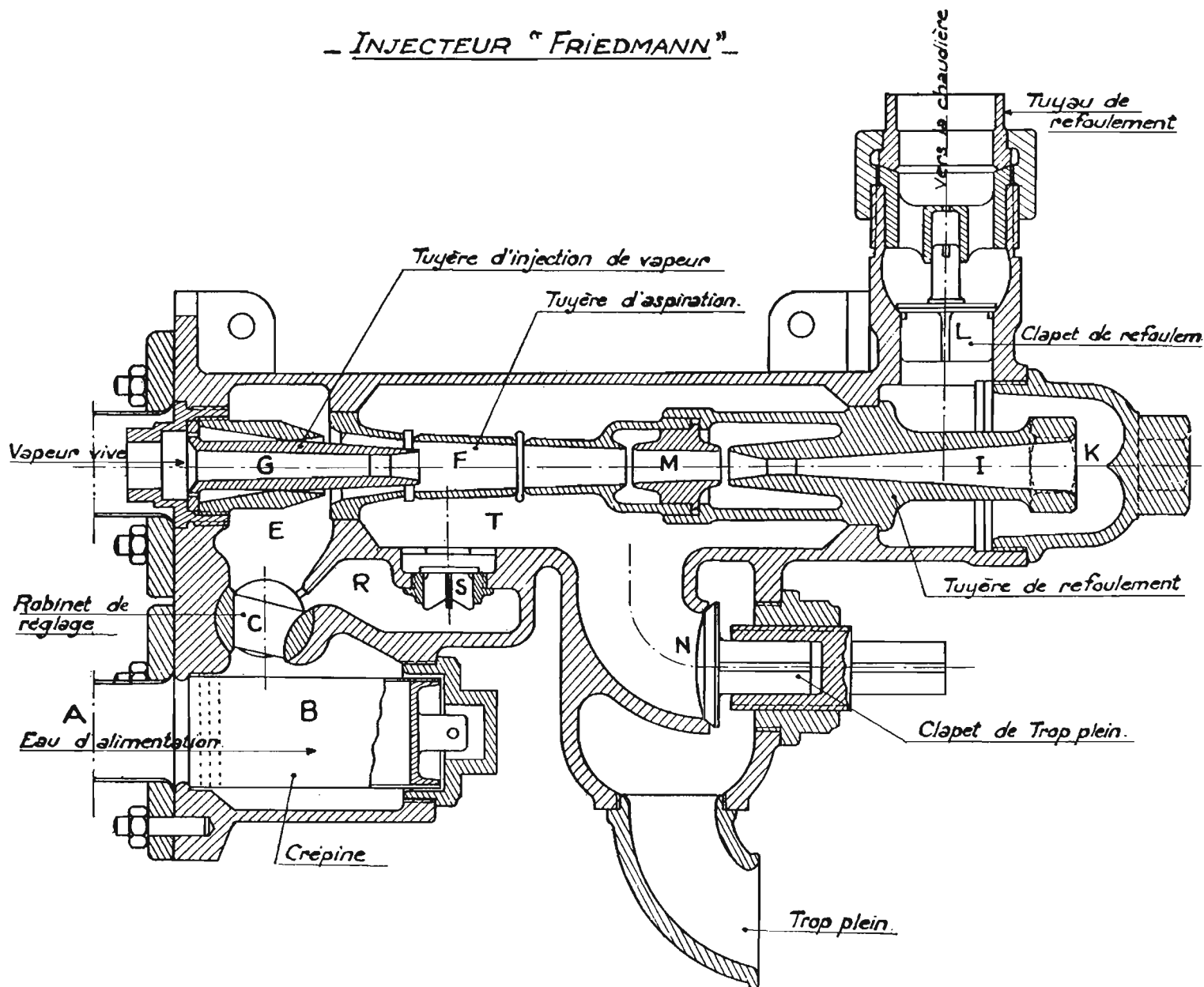


FIGURE 93

#### 4<sup>o</sup> Injecteur Metcalfe

Successivement amélioré, un type d'essai d'injecteur J.C. Metcalfe a permis d'alimenter uniquement avec de la vapeur d'échappement contre les pressions ci-dessous :

Pression de la vapeur d'échappement	Pression de la chaudière
0,100	11
0,500	13
1	17



On a donc été obligé sur nos locomotives d'utiliser des injecteurs avec appoint de vapeur vive pendant la marche à régulateur ouvert. Cette vapeur supplémentaire joue exactement le même rôle que celle que nécessite le fonctionnement d'une pompe.

La pression et la vitesse de la vapeur ayant déjà travaillé qui est utilisée dans ce type d'injecteur étant plus faibles que celles de la vapeur vive des injecteurs ordinaires, il faut en employer une masse plus grande; comme d'autre part sa densité est plus faible son volume sera encore plus grand. Les dimensions des cônes d'arrivée de vapeur et de mélange devront être en conséquence augmentées. En réalité, l'artifice suivant a permis d'éviter un encombrement exagéré : à la sortie du premier cône de mélange, le jet rencontre un nouvel appoint de vapeur d'échappement qui lui communique dans un second cône de mélange une nouvelle vitesse, etc.

L'injecteur Metcalfe type H, de la *figure 94*, est du type à appoint de vapeur vive.

Lorsque le régulateur est ouvert, la vapeur vive de la chaudière arrive par la prise de vapeur de l'injecteur et le conduit A, se rend, d'une part, au cône de vapeur vive supplémentaire T, d'autre part, par B sous le piston S qui commande la valve N d'arrivée d'eau à l'injecteur et enfin par le conduit dans la chambre F.

**- INJECTEUR "METCALFE" Type H -**  
Cas du régulateur ouvert.

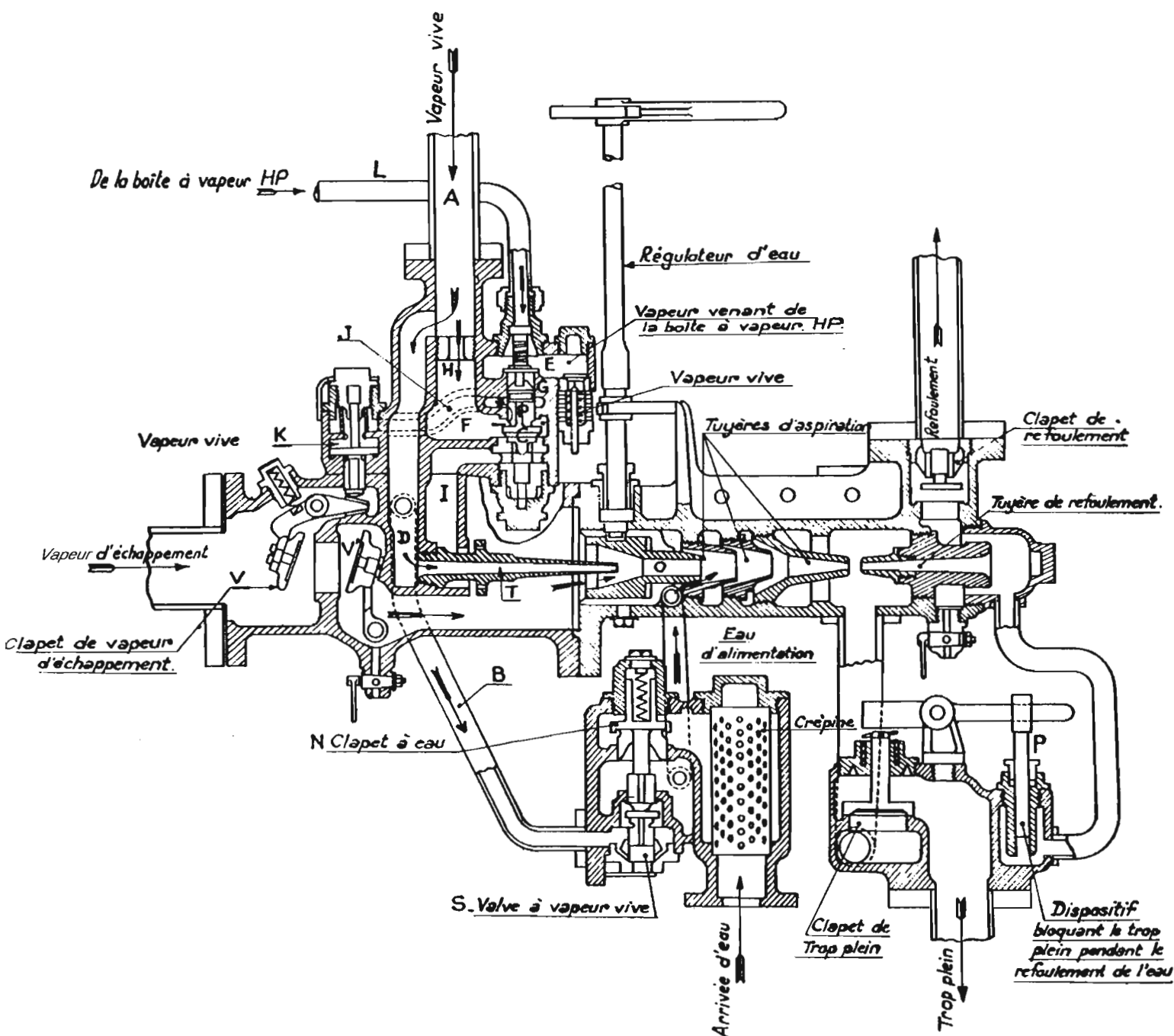


FIGURE 94

La vapeur vive des boîtes à vapeur des cylindres H P arrive par le conduit L dans la chambre E et aide à appliquer les valves G et C sur leurs sièges, sur lesquels elles reposent normalement quand l'appareil n'est pas en fonction. La vapeur vive de la chambre D arrive par le conduit J sur le piston K qui commande l'ouverture de la valve V, d'admission de vapeur d'échappement à l'injecteur. Cette vapeur d'échappement arrivant dans le cône O fait fonctionner l'injecteur à l'aide de l'appoint de vapeur vive de la tuyère T.

Lorsque le mécanicien ferme le régulateur, l'arrivée de vapeur vive provenant des boîtes à vapeur par le tuyau L ne se produit plus, et il n'y a plus de pression dans la chambre E au-dessus de la valve G.

La pression de la vapeur dans la chambre D agit alors sur le piston P, de plus grand diamètre que la valve C, fait appliquer cette dernière sur son siège supérieur et de ce fait, l'arrivée de vapeur aux passages F, au conduit J et par suite au piston K est alors interceptée. La valve V se ferme sous l'action du ressort R et la valve V' sous l'action de la vapeur vive.

En même temps, la vapeur pénètre dans le passage I par lequel elle arrive à l'injecteur où elle remplace la vapeur d'échappement. Ce dernier continue donc à fonctionner.

En résumé, le fonctionnement du dispositif de contrôle est entièrement automatique et presque instantané, de telle sorte que l'injecteur continue à fonctionner normalement soit à régulateur ouvert, soit à régulateur fermé.

Une valve d'admission d'air est montée sur la chambre E afin d'éviter le claquement et l'usure des valves pendant la marche à régulateur fermé.

Une valve de purge empêche toute accumulation d'eau dans la chambre E ou le tuyau de raccord.

Le volume d'eau admis dans l'injecteur est réglé par le *déplacement longitudinal de la tuyère de vapeur d'échappement*. L'espace compris entre l'orifice de la tuyère d'aspiration et la tuyère de vapeur d'échappement est ainsi diminué ou augmenté et par conséquent la quantité d'eau peut être réglée à volonté, suivant les besoins. Ce déplacement de la tuyère de vapeur d'échappement est obtenu au moyen d'un tourillon excentrique, solidaire de la tige de régulateur d'eau et ajusté dans un coulisseau en acier, glissant dans un évidement taillé sur l'extérieur de la tuyère. De cette façon, on peut obtenir un débit variable et l'injecteur peut être réglé pour assurer une alimentation continue.

La *valve automatique de trop plein* spéciale à cet injecteur comporte une soupape dont la fermeture est contrôlée par l'action d'un piston P placé dans la chambre de refoulement de l'injecteur.

Le piston P est relié à un levier pivotant sur un axe monté sur le corps de la valve ; l'autre extrémité du levier porte sur la tige de la soupape de trop plein. Quand l'injecteur est en fonctionnement, la pression de refoulement agissant sous le piston maintient la soupape sur son siège, fermant ainsi hermétiquement la chambre de trop plein.

Si l'injecteur se désamorce, la pression de refoulement sous le piston cesse, ce qui laisse la soupape libre de s'ouvrir et permet ainsi à la vapeur et à l'eau de s'échapper promptement par le tuyau de trop plein jusqu'à ce que l'injecteur se réamorce ; à ce moment, la pression de refoulement augmente et, agissant sous le piston, ferme de nouveau par l'intermédiaire du levier 1 la soupape de trop plein.

La vapeur d'échappement passe avant son introduction à l'injecteur dans un séparateur d'huile (*fig. 95*) où elle abandonne toutes les impuretés qu'elle contient et en particulier l'huile.

Dans le passage d'entrée du séparateur se trouve une plaque en forme d'hélice qui donne à la vapeur un mouvement rotatif, de sorte que les matières en suspens viennent heurter les parois du séparateur par la force centrifuge et tombent dans la partie inférieure de cet appareil. Elles sont projetées au dehors à travers un purgeur automatique.

Cet injecteur fonctionne bien sur les machines à simple expansion ; sur les machines à double expansion, la pression de la vapeur d'échappement est trop faible et l'injecteur se désamorce fréquemment, aussi, on le fait marcher avec de la vapeur prélevée sur le réservoir intermédiaire (machines 241 A, injecteur Metcalfe, type HP).

## 5° Injecteur Hancock

Cet injecteur américain monté sur les 140 d'origine américaine est composé en réalité de deux injecteurs montés en série, le second aspirant le mélange refoulé par le premier. Cette disposition permet une alimentation en eau plus chaude.

Séparateur d'huile de la vapeur  
d'échappement

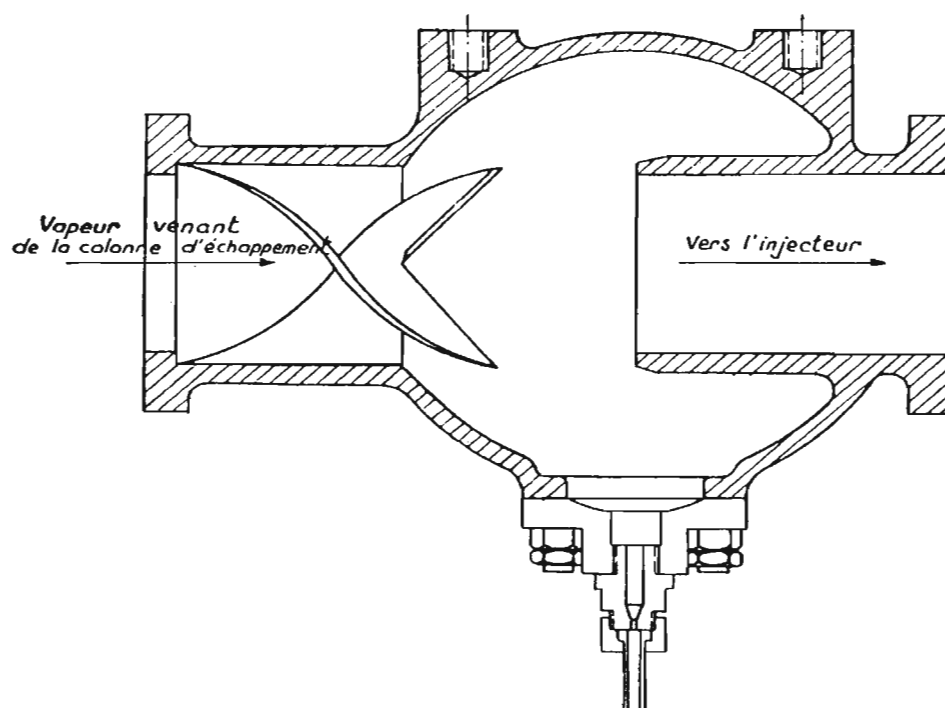


FIGURE 95

## RAIL MINIATURE 25

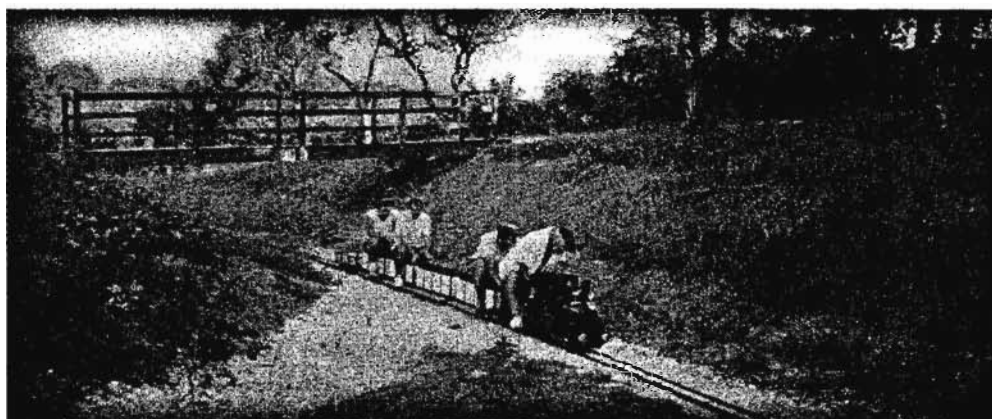
Après deux ans de "dur labeur", les Membres de RAIL MINIATURE 25 sont heureux de vous annoncer la proche ouverture de leur circuit extérieur de "CLAIREVILLE"

Bien que privé, ce circuit situé à 5 kms de BESANCON, est destiné à favoriser les visites et échanges. Il donnera la possibilité de rouler à tous les amateurs régionaux. Naturellement, TOUS les membres de la CONFRERIE y sont cordialement invités !

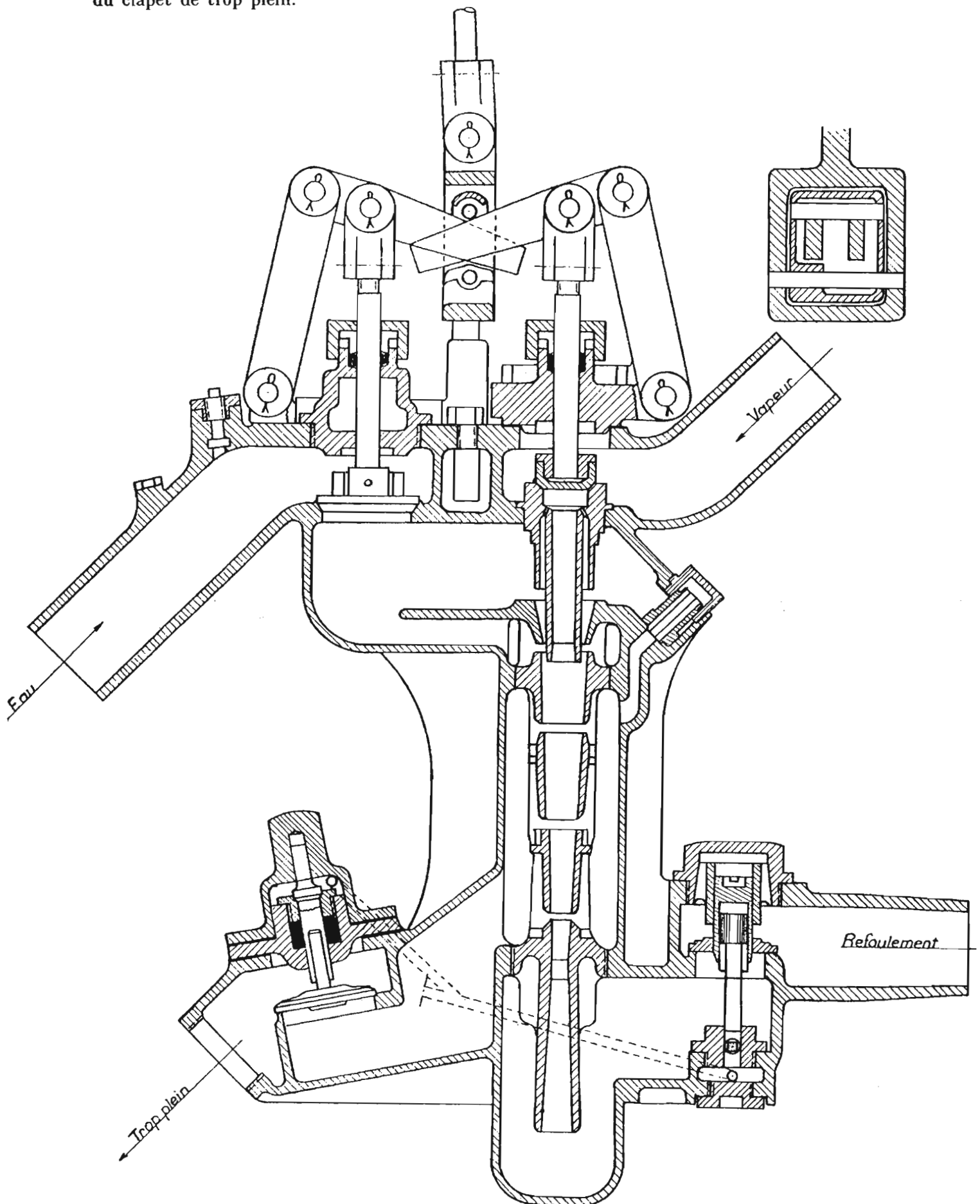
L'"OPEN DAY" est prévu pour le **7 JUIN** et nous aurons grand plaisir à vous accueillir, déjà à partir du samedi si vous le désirez. Les dimensions du circuit sont: Ecartements 5 & 7 au sol en boucle d'un développement de 172m, le total des voies posées atteignant 300m avec courbes de  $R = 10,5$  m mais raccordements paraboliques.. Plate forme à l'identique de celle du Bouveret, pour matériel lourd.

AMIS de l'EST -et d'ailleurs !- qui cherchez OÙ rouler, voici un nouveau point de chute qui vous est offert ! Pour tous renseignements, vous adresser à :

J.P.BERGET 25870 CHATILLON le Pont Tél: 81.58.81.43. Fax : 81.58.83.37



Cet injecteur (*fig. 95 bis*) monté sur les 141 R ne possède qu'une seule commande par levier qui ouvre par décalage les arrivées d'eau et de vapeur. Le débit de l'injecteur est variable suivant la position du levier. Il est muni d'un dispositif de fermeture automatique du clapet de trop plein.

FIG. 95<sup>bis</sup>

# Les INJECTEURS

## COMMENT les CONCEVOIR COMMENT les FABRIQUER

Suite de l'article de Georges CAUSSIN paru en notre n° 45.

Cette fois-ci nous rentrons vraiment dans le vif du sujet.

### OUTILLAGE NECESSAIRE

Il est relativement simple et se compose de :

- forets hélicoïdaux de  $\varnothing$  0,8 / 1 / 2,5 / 4 / 4,5 / 4,8 / 6,2 / 7,8 / 8,5 / 10,8.
- alésours à finir type américain de  $\varnothing$  5 et 8
- foret à centrer de  $\varnothing$  2
- pointe à 60° en acier trempé pour centrer les trous de  $\varnothing$  0,8 et 1
- jeu de tarauds M.3.

De plus, quelques outils spéciaux doivent être confectionnés selon les indications du plan 02.

1. les calibres de filetage et taraudage  $\varnothing$  12/100 et  $\varnothing$  10/100 ne nécessitent (à l'exception des plats) qu'un travail de tournage simple. Commencer par les calibres de taraudage, plus faciles à exécuter puisque l'usinage du filetage est extérieur ; la vérification des filets des calibres de filetage se fera sur ces calibres de taraudage. Noter que le calibre de filetage de  $\varnothing$  12/100 est percé de bout en bout car il permettra le montage du corps d'injecteur dans le mandrin 3 mors du tour lors du perçage et de l'usinage du trou  $\varnothing$  8 H7.

2. les fraises coniques sont confectionnées à partir d'un rond d'acier STUB de  $\varnothing$  5 de la manière suivante :

- a) réaliser un cône à l'angle nominal de la fraise
- b) usiner les 2 plats de façon à obtenir la largeur voulue (moins forte du côté de la pointe, soit environ 0,8mm)

J'exécute ces plats à la lime, car le fraisage peut présenter des problèmes du fait de la flexibilité de la pièce (à moins de prévoir des supports adéquats...)

- c) usiner la dépouille (relativement forte, de 15 à 20°), à la lime. Penser à tenir compte du sens de rotation relatif de la fraise ! Vérifier avec un calibre d'angle : j'utilise un calibre servant à contrôler les angles d'effutage des outils de tour, comportant entre autre, un angle rentrant de 70°
- d) effectuer le traitement thermique des 3 fraises de la manière suivante :

-préparer le bain de trempe = eau + 7% en poids de NaCl (sel de cuisine). Température du bain : 20°C ou moins. Quantité d'eau suffisante pour que le bain ne s'échauffe pas lors de la trempe (ici, 1/4 de litre suffit)

-chauffer chaque fraise à 750/800°C (rouge cerise sombre, à apprécier en une semi-obscurité). Chauffage à effectuer à partir de la queue de la fraise au chalumeau oxy-acétylénique, bec de 100 litres au moins, flamme petite et réductrice.

Eviter absolument qu'à un moment quelconque la pointe de la fraise ne devienne plus chaude que le reste.

-procéder à la trempe en tenant la pièce verticalement (pour éviter des déformations) et la remuer assez rapidement dans le bain, toujours verticalement.

-vérification : une bonne lime ne doit pas attaquer le métal. Si ce n'est pas le cas cela provient d'une estimation incorrecte de la température. RECOMMENCER avec une température légèrement plus élevée;

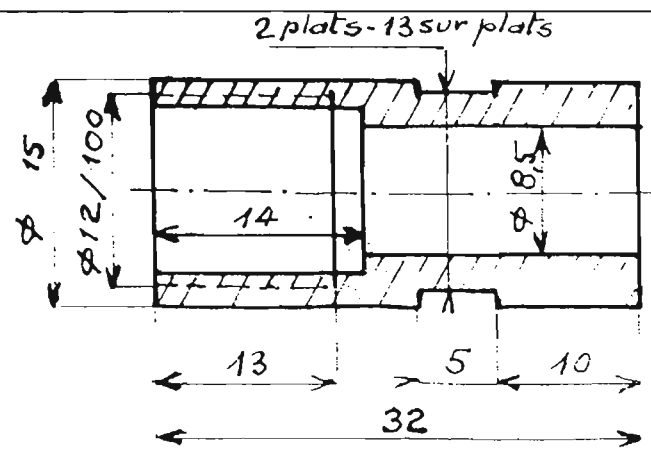
-procéder au revenu des 3 fraises sans trop perdre de temps après la trempe (1/2 h ou 1 h n'est pas critique, mais il est préférable de ne pas attendre une nuit par exemple) en les plongeant dans de l'huile chauffée à 180°C. (J'utilise tout simplement ma friteuse avec le thermostat réglé à cette température, que je vérifie avec un thermocouple Cu-Cu relié à un millivoltmètre) et en les y maintenant durant 30 minutes.

e) en procédant ainsi je n'ai jamais observé de déformation sensible de la lame de coupe mais, si par hasard cela se produisait, il faut savoir qu'on peut la redresser à condition de la maintenir en ce faisant à la température de 180°C ; à froid, il y a risque de casse.

f) mettre les tranchats à vif en y passant de la pierre India.

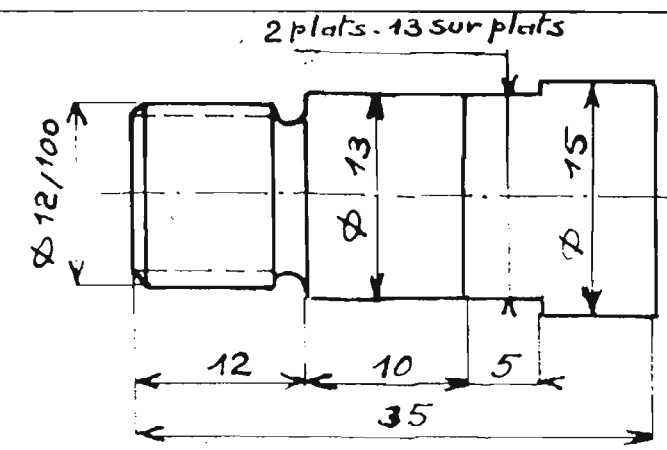
3. le bouchon de centrage et le faux corps ne présentent pas de difficultés. Noter que l'alésage du faux corps est un peu plus grand que  $\varnothing$  8 (de l'ordre de 0,01) de façon à y rentrer à glissement doux les deux moitiés du cône de mélange lors de leur usinage (agrandir avec du papier abrasif fin).

4. en ce qui concerne le distanceur, la seule chose à bien respecter est-elle de 1,15 (si plus faible, l'étendue de la plage de fonctionnement de l'injecteur sera réduite).



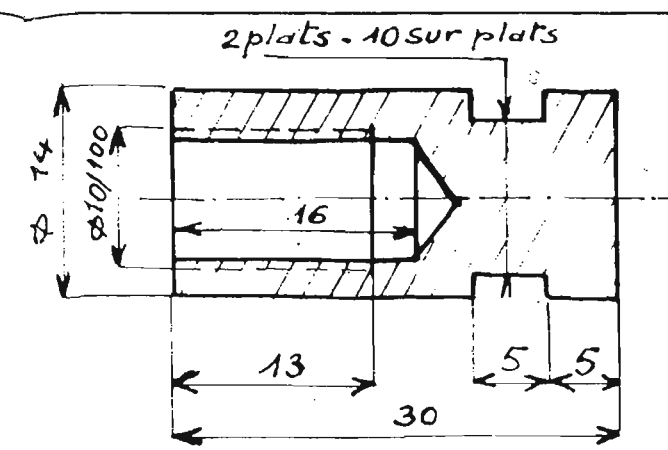
Matière: acier dx.

**CALIBRE DE FILETAGE**  
**φ 12/100**



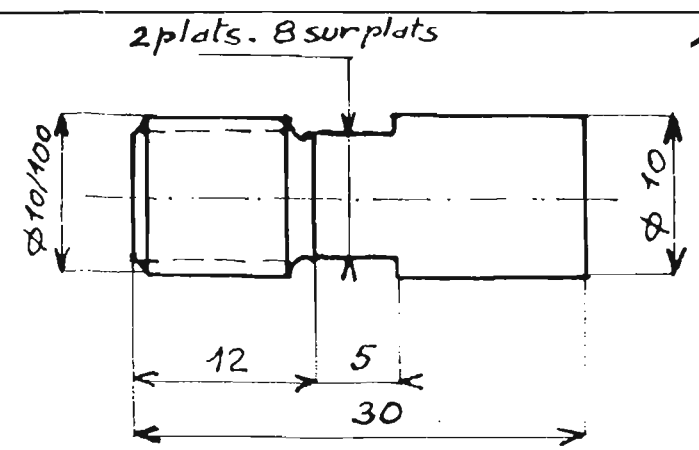
Matière: acier dx.

**CALIBRE DE TARAUDAGE**  
**φ 12 /100**



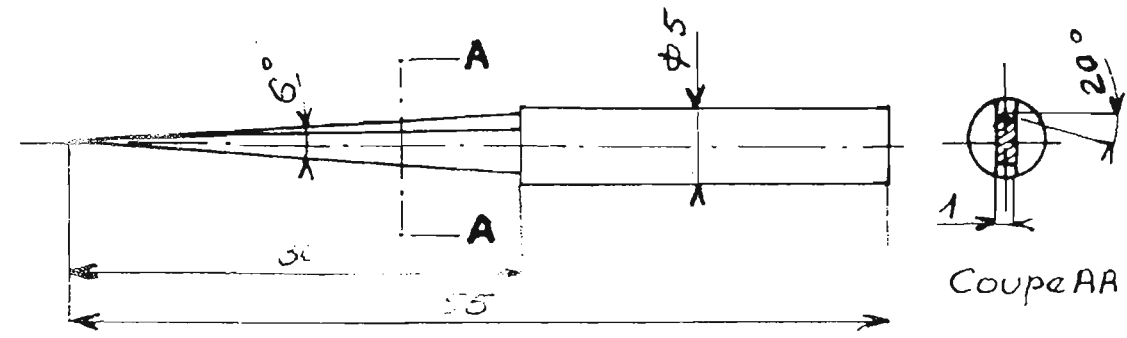
Matière: acier dx.

**CALIBRE DE FILETAGE**  
**φ 10 /100**



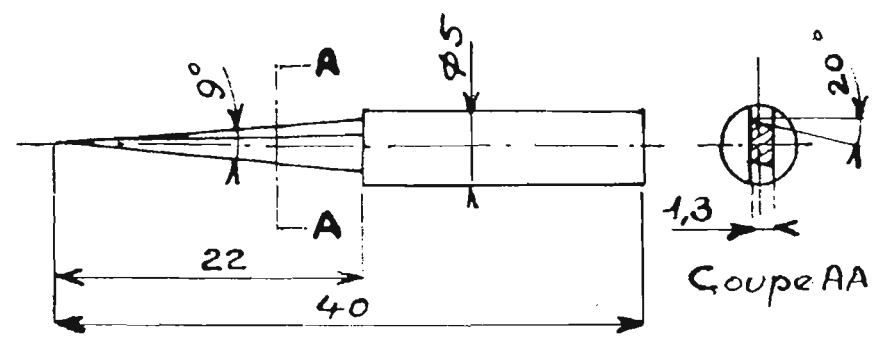
Matière: acier dx.

**CALIBRE DE TARAUDAGE**  
**φ 10 /100**



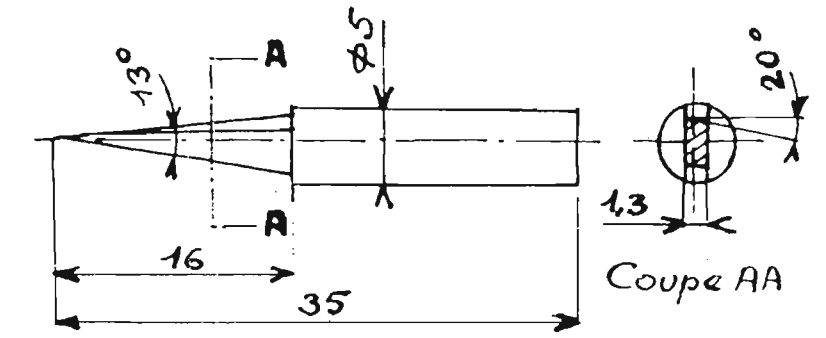
Matière: acier Stub  
Trampe au: 750-780° - Revenu: huile 180°-30 mn

**FRAISE CONIQUE 6°**



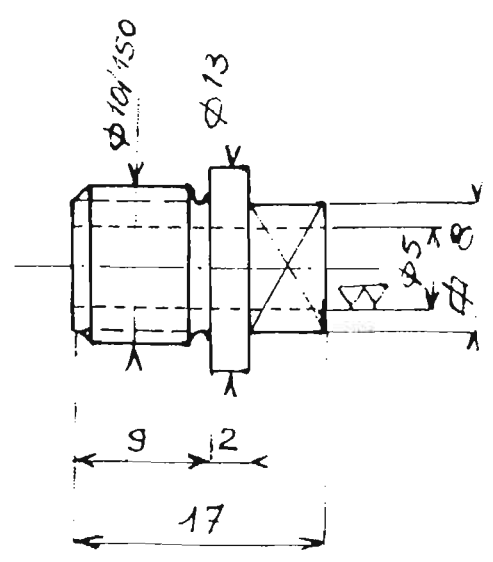
Matière: acier Stub  
Traitement thermique: id. fraise 6°

**FRAISE CONIQUE 9°**



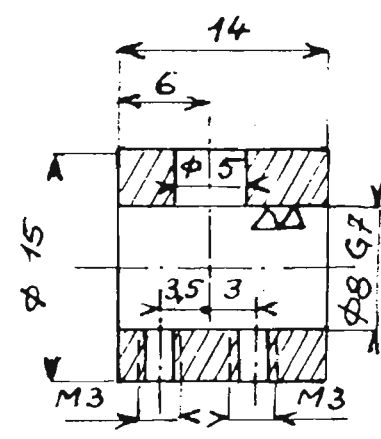
Matière: acier Stub  
Traitement thermique: id. fraise 6°

**FRAISE CONIQUE 13°**



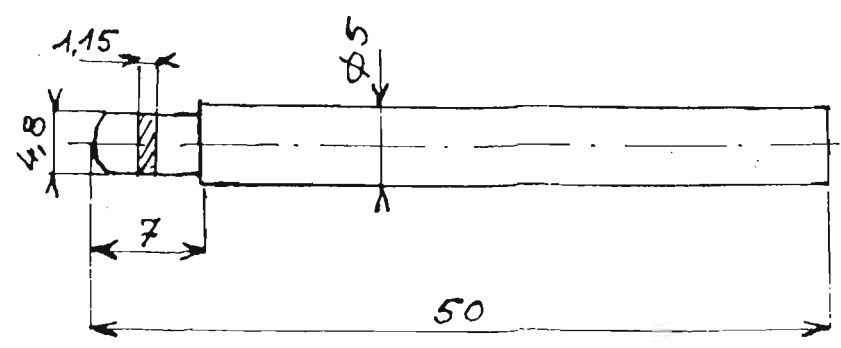
Matière: acier dx.

**BOUCHON**  
**DE**  
**CENTRAGE**



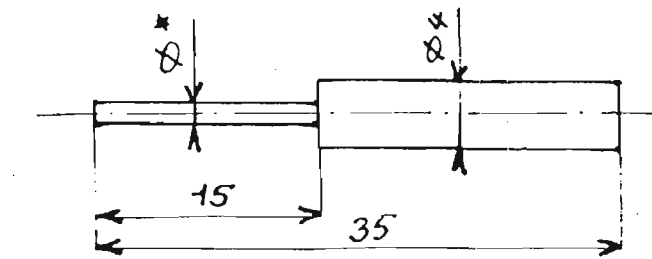
Matière: acier dx.

**FAUX-CORPS**



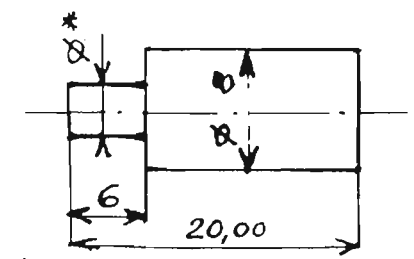
Matière: acier Stub

**DISTANCEUR**



φ\* = 1,18 - 1,22  
Matière: acier dx.

**JEU DE 2 CALIBRES**



φ\* = 3,80-3,60-3,40-3,20-3,10  
3,00-2,90-2,80-2,70-2,60-2,50  
Matière: Dural

**JEU DE 11 CALIBRES**

Echelle: 2

PLAN N° 02

# INJECTEUR OUTILLAGE

5. les calibres d'alésage de  $\varnothing$  1,18 - 1,22 ne sont pas très faciles à réaliser du fait de la flexibilité de la partie étroite. J'ai opéré ainsi : une première passe pour amener le  $\varnothing$  de la partie amincie à environ 2,7 ; puis une deuxième passe pour l'amener à 1,25. Ensuite, j'ai terminé avec une lime douce, puis de la toile émeri 00, et enfin, lorsque la cote est presque atteinte, avec du papier abrasif fin. Se rappeler que seuls les 4 ou 5 premiers mm à partir de l'extrémité doivent avoir un  $\varnothing$  précis.

6. le jeu de 11 calibres de  $\varnothing$  3,80 à  $\varnothing$  2,50 ne pose aucun autre problème que celui de la précision tant dans le diamètre que la longueur. Commencer par tous les tronçonner et les mettre à longueur, puis opérer à partir des plus grands  $\varnothing$ . Ainsi, si une cote de diamètre a été dépassée, on peut encore confectionner la jauge de diamètre immédiatement inférieur.

J'ai choisi d'utiliser du dural de façon à ne pas risquer de marquer le chanfrein du cône des mélanges lors des mesures, mais je pense que du laiton conviendrait parfaitement.

#### REMARQUES CONCERNANT LA TREMPÉ DES FRAISES CONIQUES.

Il n'est peut-être pas totalement inutile de rap-peler les quelques données suivantes, tirées de l'excellent ouvrage "WERKZEUGSTAHLE" (aciers à outils) par Otto Pattermann, édition de 1937 (sans doute, malheureusement introuvable aujourd'hui)

-Lorsqu'il s'agit d'aciers au carbone non alliés (cas de l'acier stub C= 0,8 %, ou encore des aciers à limes (C de 1,1 à 1,35 %), la température de trempe la plus favorable est à peine supérieure à la première température de transformation ; elle est comprise entre 740 et 800°C (rouge cerise sombre à rouge cerise), les températures les plus élevées étant réservées aux pièces de forte section.

Ainsi,  $\theta$  = 740°C pour  $\varnothing$  5,  $\theta$  = 750°C pour  $\varnothing$  compris entre 5 et 12,  $\theta$  = 760°C pour  $\varnothing$  entre 12 et 30,  $\theta$  = 780°C pour  $\varnothing$  = 80. L'épaisseur de la couche trempée est d'environ 2 à 3 mm. La température de 800°C est réservée pour des pièces de formes simples, de forte section, dans le cas où l'on désire augmenter un peu l'épaisseur de la couche trempée qui peut alors atteindre 3 à 4 mm.

-Un échauffement au-dessus des températures citées n'a pour suite aucune dureté plus élevée (elle peut même diminuer !) mais il entraîne de plus grandes tensions de trempe, un grossissement du grain surchauffé (moindre résistance à l'usure de l'outil), une possibilité accrue de criques ou de fissures lors de la trempe.

-Par ailleurs, la vitesse critique de refroidissement de l'acier au carbone est élevée (de l'ordre de 100 à 150°C par seconde) et nécessite un fluide de refroidissement efficace, tel que l'eau. L'adjonction de sel (d'autres produits peuvent être utilisés, tels NaOH,  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , etc..) réduit l'action nuisible au point de vue refroidissement, des

gaz dissous dans l'eau (air, gaz carbonique) et peut permettre d'obtenir une dureté légèrement plus grande. Elle n'a pas d'autre action.

-Le revenu peut s'effectuer de diverses manières: soit à l'eau bouillante (100°C) mais il dure longtemps, de 4 à 16h selon la grosseur des pièces et n'est guère pratique dans notre cas. Soit à l'huile à 180°C. Une petite heure suffit pour des petites pièces, (mais de l'ordre de 4 heures pour des pièces par exemple de  $\varnothing$  100. Soit au bain de sable chauffé dans un four ; il y a alors une forte réduction du temps de revenu, au-delà de 200°C. IL faut savoir également que jusqu'à 180-200°C, la dureté superficielle est à peine affectée par le revenu, mais qu'à partir de 230°C (couleur d'oxyde = jaune) elle diminue notablement.

## CONSTRUCTION

### de l'INJECTEUR

(voir plan 03)

#### 1. CORPS

Il se compose de 4 pièces mécano-soudées en laiton, à savoir :

- 1 corps proprement dit (rond laiton  $\varnothing$  14, L=39)
- 1 boîte à soupape
- 1 arrivée d'eau
- 1 orifice de décharge

#### mode opératoire

1/ Tourner les 2 extrémités du corps à  $\varnothing$  12 sur une longueur de 6, en profiter pour passer la toile émeri sur le  $\varnothing$  14 en vue de la future brasure. Fileter à  $\varnothing$  12/100.

2/ Tourner l'arrivée d'eau à  $\varnothing$  10, percer à  $\varnothing$  6, fileter à  $\varnothing$  10/100 sur 5 de long. Tronçonner à 13 de long. Visser serré dans le calibre de filetage de  $\varnothing$  10/100. Celui-ci servira de prise dans l'étau (ou le mandrin d'un appareil diviseur) lors du fraisage de l'extrémité côté corps à  $\varnothing$  14.

3/ Tourner la décharge à  $\varnothing$  9, percer à  $\varnothing$  6, fraiser l'extrémité du corps à  $\varnothing$  14

4/ Usiner la boîte à soupape : parallépipède de L = 22, l = 12,5 , h = 20. Fraiser la face inférieure à  $\varnothing$  14. Percer le trou de soupape à  $\varnothing$  4,5 sur toute la hauteur, puis à  $\varnothing$  8,5 sur 7 de profondeur. Incliner à 25° et percer le trou de décharge à  $\varnothing$  4, en commençant dans l'angle du fond du trou de  $\varnothing$  8,5. Pour cela commencer avec un foret à centrer de  $\varnothing$  2. Remettre droit et achever de percer le trou de  $\varnothing$  8,5 jusqu'à 11,5 de profondeur. Tarauder à M.10/150 sur environ 7 de profondeur. Tous ces usinages sont avantageusement effectués sur la fraiseuse.

5/ Garnir de brasure argent les fraisages à  $\varnothing$  14 de la boîte à soupape, de l'arrivée d'eau et de l'orifice de décharge. Bien enduire de flux le corps et braser le tout en commençant par la boîte à soupape; Décaper dans une solution diluée de  $\text{SO}_4\text{H}_2$ . Rincer à l'eau claire.

6/ Visser l'une des extrémités du corps sur le calibre de filetage  $\varnothing$  12/100 et monter sur le mandrin 3M du tour. Percer un trou de centre à  $\varnothing$  2, puis pincer d'abord à  $\varnothing$  4, puis à  $\varnothing$  7,8 le corps cylindrique. Aléser à  $\varnothing$  8 H7.

7/ Monter dans l'étau de la fraiseuse, visser le bouchon de centrage, s'assurer que l'avant-trou de soupape de  $\varnothing$  4,5 est bien dans l'alignement ; le repercer à  $\varnothing$  4,8 (autravers du bouchon de centrage) en traversant également le corps cylindrique, puis aléser à  $\varnothing$  5. Sans changer le réglage des chariots, enlever le bouchon de centrage et fraiser plat le fond du trou de  $\varnothing$  8,5 avec une fraise 2 tailles de  $\varnothing$  8.

8/ Incliner de  $25^\circ$  comme en 4 et achever de percer le trou de décharge de  $\varnothing$  4 (attention au débouché !)

9/ Retourner le corps et achever de percer les trous d'arrivée d'eau et de l'orifice de décharge à  $\varnothing$  6.

10/ Percer et tarauder les 2 trous de M3 sur le corps cylindrique (on peut choisir le côté suivant besoins du montage sur la loco)

11/ Repasser l'alésoir de  $\varnothing$  8 pour enlever les bavures de débouchage des divers trous.

## 2 . SOUPAPE & BOUCHON

Aucune difficulté d'usinage à signaler;

-Installer la soupape préalablement enduite d'un mélange de "MIROR" et de soufre en fleur (d'autres produits de rodage peu agressifs peuvent certainement être utilisés), visser le bouchon et procéder à un rodage (la queue de la soupape dépasse le bouchon et peut donc être entraînée).  
NOTA : le bouchon n'a pas besoin de joint.

## 3 . CONE de MELANGE

1/ Tourner un rond en laiton à  $\varnothing$  8 j6 (il doit entrer légèrement dur dans l'alésage  $\varnothing$  8 H7 du corps) sur 15 de long environ.

2/ Centrer (utiliser la pointe à  $60^\circ$ , un foret de centrage risquant en ce cas de donner un résultat imprécis), percer à  $\varnothing$  0,8, profondeur 15.  
NOTA : ce trou doit être parfaitement centré.

3/ Dresser la face d'extrémité

4/ Réaliser la face de sortie avec un outil à gorge.

5/ Réaliser une gorge d'environ 2,6 de large et 2,5 de profondeur, centré à peu près à 6,5 de l'extrémité.

6/ Sectionner les deux pièces du cône.

NOTA : la succession des opérations de 1 à 6 est schématisée sur le plan 03.

7/ Dresser les faces des 2 pièces pour les amener exactement à longueur.

8/ Monter les deux pièces dans le faux corps en se servant du distanceur de 1,15, serrer les 2 vis M3 pour les immobiliser et placer l'ensemble dans le mandrin 3M du tour. En plaçant dans le trou central le foret de  $\varnothing$  0,8, vérifier que l'ensemble tourne rond.

9/ Réaliser l'alésage conique en se servant de la fraise  $9^\circ$ . La rentrer progressivement et débourrer souvent. Stopper l'alésage dès que le trou de sortie est à  $\varnothing$  1 (vérifier avec la queue d'un foret de 1, servant de jauge, celle-ci ayant été au préalable vérifiée au micromètre.)

10/ Faire le chanfrein d'entrée du cône (repère 3 du plan 01- voir n° 45) en se servant de la fraise conique tenue à la main et inclinée à environ  $45^\circ$ . Profondeur du chanfrein environ 1mm. (Il existe certainement un procédé plus industriel,

tel qu'emploi d'une fraise de forme, mais je ne l'ai jamais essayé.)

11/ Après démontage de l'ensemble, réaliser de même une entrée sur le demi-cône repère 4, mais très légère : n'enlever que 0,2 à 0,3 mm au rayon seulement.

12/ Polir soigneusement au papier abrasif fin (bande de 1,5 à 2mm de large environ, enroulée sans recouvrement, dans le sens du serrage lors de la rotation, autour d'un foret de  $\varnothing$  0,5) l'intérieur des alésages coniques. Toutes les rayures d'outils doivent disparaître.

13/ Terminer le polissage avec un tortillon de chiffon de coton fin, imbibé de MIROR. NOTA: éviter l'emploi de chiffons en tissus synthétique qui s'entortillonnent mal.

## 4 . MONTAGE

du CONE de MELANGE dans le CORPS

Installer le distanceur de 1,15 mm dans le trou de la soupape. Introduire, l'un après l'autre, les 1/2 cônes de mélange en se servant d'un morceau de tube de Cu de 6 x 4, longueur 40 env., appuyé sur leur extrémité. En frappant de légers coups de marteau sur l'autre extrémité du tube, l'alésage  $\varnothing$  8 H7 du corps d'injecteur étant vertical et en appui sur un morceau de bois, ils doivent rentrer légèrement dur (pas trop, il sera peut-être nécessaire de les démonter ultérieurement si il y a un défaut d'usinage dans l'alésage conique). Les amener à leur place définitive, juste séparés par le distanceur, et les bloquant par 2 vis laiton (ou, lieux, inox) M3.

Retirer le distanceur et procéder d'abord à la mesure de la cote réelle d'enfoncement du cône d'injection (cote nominale 14,3) dont l'entrée doit être juste de niveau avec la sortie  $\varnothing$  1 du cône de mélange. Noter cette valeur et l'utiliser ultérieurement lors de l'usinage du cône d'injection. Procéder ensuite au relevé du profil du chanfrein d'entrée d'eau comme indiqué dans le plan 04 : ce relevé servira lors de l'usinage de la tuyère vapeur.

## 5 . USINAGE du CONE d'INJECTION

1/. Tourner l'extérieur ( $\varnothing$  10?2 et  $\varnothing$  8 g6), centrer avec la pointe à  $60^\circ$ , percer à  $\varnothing$  0,8 sur 22 de profondeur environ. La cote nominale indiquée de 14,3 doit en fait être mise à la valeur exacte trouvée précédemment au § 4.

2/. Evaser l'entrée, d'abord en ébauchant avec la fraise conique  $13^\circ$  montée sur un mandrin fixé à la contre-pointe, puis avec le même outil tenu à la main, il est préférable que l'arrondi soit progressif jusqu'à  $\varnothing$  0,8. Essayer de respecter au mieux la profondeur de 2,5 bien que cette valeur ne paraisse pas très critique.

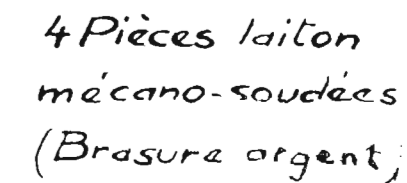
3/. Dégager l'extérieur de l'entrée suivant le plan en se servant d'un outil à gorge. Les cotes ne sont pas non plus critiques.

4/. Polir l'entrée au papier abrasif fin, puis avec un tortillon de coton imbibé de MIROR.

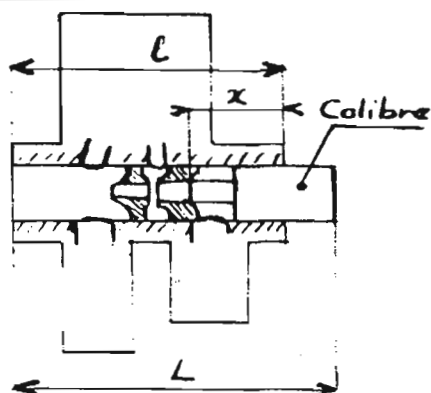
5/. Tronçonner, dresser la face de sortie.

6/ Retourner la pièce dans le mandrin du tour, aléser le cône divergent avec la fraise à  $6^\circ$  (déburrer souvent !). De temps à autre retirer la fraise et enfoncer la queue du foret de 0,8. Ar-





# INJECTEUR DETAILS



On utilise un jeu de 11 calibres d'alésage de diamètres compris entre 3,8 et 2,5, de longueur = 29.  
Si  $l$  = distance des faces de l'alésage de  $\phi 8$  du corps d'injecteur et  $x$  la distance cherchée du diamètre mesuré à la face de l'alésage côté vapeur, on a la relation:  $x = l + 20 - L$

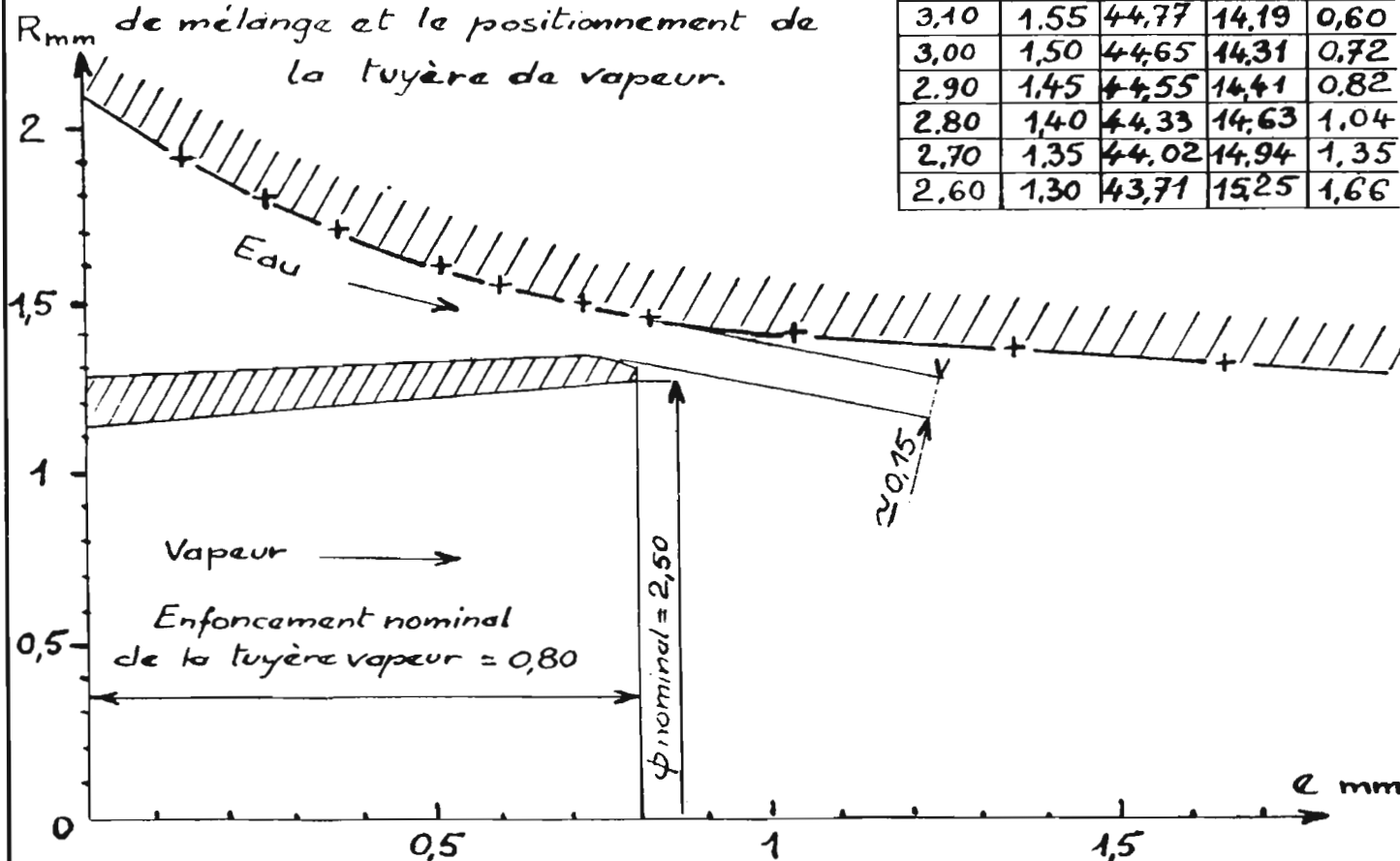
Avec  $x_0$  = distance de la face d'entrée du cône de mélange à la face de l'alésage côté vapeur on obtient l'enfoncement  $e = x - x_0$

Dans le cas présent,  $l = 38,96$  (cote nominale de 39) d'où  $x = 58,96 - L$

Il en résulte le tableau ci-contre.

Le tracé ci-dessous donne le profil du chanfrein d'entrée d'eau du cône de mélange et le positionnement de la tuyère de vapeur.

$\phi$	R	L	$x$	$e$
		$x_0 = 13,59$		
3,80	1,90	45,22	13,74	0,15
3,60	1,80	45,10	13,86	0,27
3,40	1,70	45,00	13,96	0,37
3,20	1,60	44,85	14,11	0,52
3,10	1,55	44,77	14,19	0,60
3,00	1,50	44,65	14,31	0,72
2,90	1,45	44,55	14,41	0,82
2,80	1,40	44,33	14,63	1,04
2,70	1,35	44,02	14,94	1,35
2,60	1,30	43,71	15,25	1,66



PLANN°04

# INJECTEUR

RELEVÉ DU PROFIL DU  
CHANFREIN D'ENTRÉE EAU

rêter l'alésage sitôt que l'essai avec le foret de 0,8 indique que celui-ci peut être un peu remué latéralement. Il convient à la fin de cet usinage d'être très prudent, sinon l'alésage du col a vite fait de passer de 0,8 à 0,9. D'un autre côté, il vaut mieux ne pas laisser une trop grande longueur à  $\varnothing$  0,8 (pertes de charge néfastes)

7/ polir l'intérieur du cône divergent (papier abrasif puis MIROR)

## 6. RACCORDS FILETES

Ces pièces ne présentent aucune difficulté d'exécution particulière.

## 7. TUYERE de VAPEUR

1/. Tourner l'extérieur ( $\varnothing$  10,2 et  $\varnothing$  8 g6) centrer avec la pointe à 60°, percer à  $\varnothing$  1 sur 22 de long environ. La cote nominale de 14,3 doit être mise à sa valeur réelle de  $X_o + 0,80$  (voir plan 04),  $X_o$  ayant été mesuré en 4.

2/. dégager l'extérieur côté sortie vapeur avec un outil à gorge comme indiqué au plan. L'extrémité est légèrement conique (visible sur le plan 04) l'angle au sommet de 6° environ. Arrêter lorsque le  $\varnothing$  de sortie est de 2,75 (cote nominale 2,70).

3/. Aléser le cône divergent avec la fraise conique 9° jusqu'à obtention d'un  $\varnothing$  de sortie de 2,5. La queue d'un foret de 2,5 doit pouvoir s'y encastrer tout juste. Cette cote est importante.

4/. Polir le cône divergent (papier abrasif puis MIROR)

5/. Tronçonner, retourner, dresser la face côté arrivée de vapeur.

6/. Aléser le cône convergent avec la fraise conique 13°. Stopper dès que le calibre de 1,18 pénètre dans le col. Au delà d'un  $\varnothing$  du col de 1,30 l'injecteur n'aspire plus l'eau d'alimentation et doit être obligatoirement en charge. Au-delà du  $\varnothing$  1,60 il ne fonctionne plus du tout, dans l'étendue de pression recherchée. Le meilleur compromis semble être  $1,18 < \varnothing < 1,22$ .

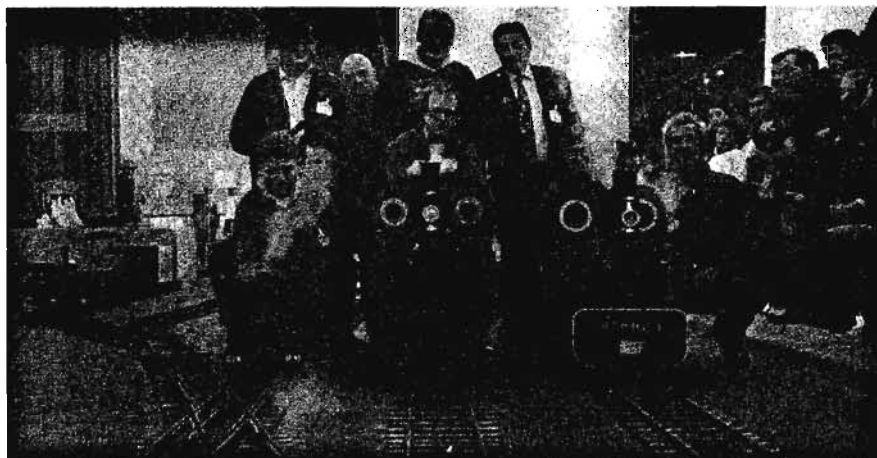
7/. Arrondir l'entrée vapeur avec la fraise conique 13° tenue à la main.

8/. Polir le cône convergent et le col de tuyère (papier abrasif puis MIROR).

G.CAUSSIN

NDLR.: dans notre prochain n°, nous verrons en détails le mode opératoire des essais et des inévitables réglages à entreprendre. C'est un sujet passionnant qui ne peut qu'intéresser les amateurs/ constructeurs qui souhaitent réaliser tout autre chose que du matériel standard. Certes, cet injecteur ne convient pas pour tous les écartements et ses dimensions correspondent plutôt pour le 1/20e, le 1/16e, peut-être certaines petites machines en 5 (au 1/11e) et il serait souhaitable de voir, tiré des mêmes règles, un modèle convenant pour les dimensions supérieures.

Encore un mot pour tous les constructeurs : si vous vous lancez, faites donc des photo-copies de cet article afin, en les utilisant à l'atelier, de préserver propre votre revue préférée....!



(photos A.TESTA)

# PARIS

Eh bien, croyez-le si vous voulez, mais ce n'est qu'aujourd'hui (à 3 jours de porter les documents chez l'Imprimeur) que je reçois les photos du SALON ! Autrement dit, tout est bouclé et je n'ai qu'un bas de page pour vous en parler ...Rassurez-vous : nous nous rattraperons avec le n° 47 !

En attendant, voici deux photos de groupe, histoire de vous montrer combien l'atmosphère était OK au niveau du 5 et du 7 ...

Vous y reconnaîtrez les frères CHEVALIER, Georges CARON, Luc TENNSTEDT, Jacques CLAU Louis JOLY, Raymond BERTHE et tutti quanti, chacun enfourchant telle ou telle loco.

Vous vous demandez peut-être que fait ce gars avec une cravate ? Eh, il en faut bien un -celui qui vend- sans quoi comment vous figurez-vous que ça marcherait L'ESCARBILLE

Alors, à bientôt avec des nouveautés -il y en a encore- telle la machine à explosion de Pierre BENDER, les "showman" dont celui de Robert DEL PERO...patience = l'homme à la cravate fait tout ce qu'il peut pour vous satisfaire : dur, dur !

J.V.

# COMPLÉMENTS SUR LES INJECTEURS

Depuis la rédaction de l'article paru dans les numéros précédents de l' **ESCARBILLE** (cela fait un peu plus d'un an), j'ai eu l'occasion d'effectuer d'autres mesures et essais sur plusieurs appareils. Mes vues sur le sujet ont été davantage éclaircies ; ceci m'a permis de préciser mes procédés de calculs, qui étaient jusqu'à présent un peu sommaires (mais non inexistantes...). À l'heure actuelle, en relisant cet article, je le trouve fort incomplet. En particulier, en dépit du titre (élaboré par notre Rédacteur en Chef) on n'y trouve absolument rien concernant la **conception** de ces appareils, ou plus précisément la **méthode** permettant de les **dimensionner**.

Je vais essayer, dans ce qui suit, de **combler cette lacune**. J'ai cherché à présenter les inévitables calculs de la façon la plus simplifiée possible, en usant au besoin d'approximations, d'ailleurs suffisantes en pratique, pour les rendre accessibles au lecteur moyen.

Par ailleurs, ayant eu l'occasion de construire un **injecteur plus gros** que celui décrit précédemment (**débit triplé**), tel que celui souhaité par le Rédacteur en Chef dans le n°46, je le **décrirai** également, ainsi que certains **essais** spéciaux auxquels je l'ai soumis.

Enfin je terminerai en donnant quelques **conseils de montage et d'utilisation** un peu plus explicites que ceux donnés précédemment.

## I - ÉTUDE DE L'INJECTEUR (commentaires)

Pour simplifier le travail de la Rédaction, cette étude a été regroupée sur des calques séparés (pages 1 à 6). Je me bornerai ici à faire quelques remarques.

1/ Dans l'article précédent, au paragraphe "Essais - Type de l'injecteur", on avait remarqué que les débits de vapeur mesurés et calculés, bien que tous deux proportionnels à la pression de chaudière, présentaient des différences. J'ai effectué depuis de nouveaux essais, les uns avec un manomètre installé juste à l'entrée vapeur de l'injecteur, les autres avec un tube d'arrivée vapeur de plus grand diamètre. Je me suis ainsi aperçu :

- que les pertes de charge dans ce tube n'étaient pas négligeables

- que dans le cas de l'injecteur elles étaient également proportionnelles à la pression absolue  $p_1$  de la chaudière et qu'elles suffisaient à expliquer les écarts observés. La formule (4) permet d'en tenir compte et de calculer le diamètre du tube vapeur à utiliser. Il suffit en général d'avoir :

$$0,114 \left( \frac{\Phi_0}{\Phi_1} \right)^4 \frac{\ell_1}{\Phi_1} \leq 0,1$$

2/ Lors de l'étude du fonctionnement de l'ajutage annulaire j'avais émis l'hypothèse, pour expliquer la quasi constance du débit d'eau  $Q_2$ , que le coefficient de veine (appelé  $K_c$  dans la formule 6) augmentait avec la température de l'émulsion  $\theta_2$ , donc avec  $p_1$ . Cette hypothèse découlait de la supposition de la constance de la pression statique  $p_2$  tout au long du cône de mélange. Actuellement, je suis persuadé qu'il n'en est rien et que, juste à la sortie de la tuyère de vapeur, la pression  $p_2$  est celle de la tension de vapeur de l'eau d'alimentation à la température  $\theta_3$  donc assez faible (ainsi, même pour  $\theta_3 = 54^\circ\text{C}$  la pression n'est que de  $0,15 \text{ kg/cm}^2$ , soit une hauteur d'eau de  $1,5 \text{ mètre}$ ). Au fur et à mesure de l'avance de l'eau dans le cône de mélange, sous forme de gouttes d'eau enrobées de vapeur, sa température s'élève progressivement suite à la condensation de la vapeur et la pression statique  $p_2$  augmente également pour atteindre son maximum près de la sortie du cône de mélange, correspondant à la pression de vapeur pour une température  $\theta_2$ . La charge  $h$  de l'eau d'alimentation serait alors presque constante, comprise vraisemblablement entre 8 et 9 mètres d'eau ( en supposant la vanne d'eau grande ouverte ; les pertes de charge dans la tuyauterie doivent être maintenues faibles,  $0,1 \text{ mètre d'eau}$  au plus ; la formule (7) permet de les évaluer). Ainsi, la presque constance du débit d'eau s'expliquerait sans faire appel à une variation hypothétique du coefficient  $K_c$  de contraction de la veine liquide.

3/ Des essais, effectués avec le plus de précision possible et sur plusieurs injecteurs, concernant le rapport existant entre le débit d'eau mesuré en fonctionnement normal sous vapeur et le débit d'eau sous charge de  $0,36 \text{ mètre d'eau}$ , donnent un rapport voisin de 5. Si l'écoulement de l'eau se produisait exactement de la même façon dans les deux cas (ce n'est vraisemblablement pas tout à fait le cas), cela donnerait une charge d'eau dans le fonctionnement normal de  $5^2 \times 0,36 = 9 \text{ mètres d'eau}$ . Néanmoins, il paraît possible, à partir du débit sous charge de  $0,36 \text{ m d'eau}$ , d'en déduire approximativement le débit de fonctionnement normal et de dégrossir ainsi éventuellement le réglage de l'injecteur. J'ai utilisé plusieurs fois cette méthode avec succès.

4/ La relation (10) indique que le réglage de l'injecteur (ajustement de la section de l'espace annulaire  $\omega_3$ ) à la pression maximale effective (timbre) doit tenir compte de la température maximale possible de l'eau d'alimentation. J'admets une valeur de  $35^\circ\text{C}$  dans le cas de mes locomotives, avec soute à eau dans un tender séparé, mais dans le cas d'une locomotive-tender, une valeur un peu plus élevée, peut-être  $40^\circ\text{C}$ , doit être prise en compte. Le relevé d'un point de fonctionnement ( $p_1, \theta_3 \text{ limite}$ ), suffit

# ÉTUDE DE L'INJECTEUR

Les notations utilisées sont les mêmes que celles de l'article précédent. Elles sont rappelées ci-dessous :

$p$	= pression absolue	(kg/cm <sup>2</sup> )
$\theta$	= température	(degré Celsius)
$q$	= chaleur totale contenue dans 1g de vapeur	(calories)
$\lambda_1 - \lambda_2$	= chaleur utilisable contenue dans 1g de vapeur	(calories)
$V$	= volume spécifique de la vapeur	(l/g)
$Q$	= débits-poids	(g/s)
$\omega$	= sections	(mm <sup>2</sup> )
$\Phi$	= diamètres	(mm)
$L, \ell$	= longueurs	(mm)
$\varepsilon, E$	= longueurs	(mm)
$P$	= puissance	(kgm/s)
$K$	= coefficients	
$v$	= vitesses	(m/s)

$$\text{or } v_1 = \frac{4Q_1 V_1}{\pi \Phi_1^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{d'où après combinaison avec (2)}$$

$$p'_1 = \frac{p_1}{1 + 0,185 \omega_0^2 \frac{\ell_1}{\Phi_1^5}} = \frac{p_1}{1 + 0,114 \left( \frac{\Phi_0}{\Phi_1} \right)^4 \cdot \frac{\ell_1}{\Phi_1}} \quad (4)$$

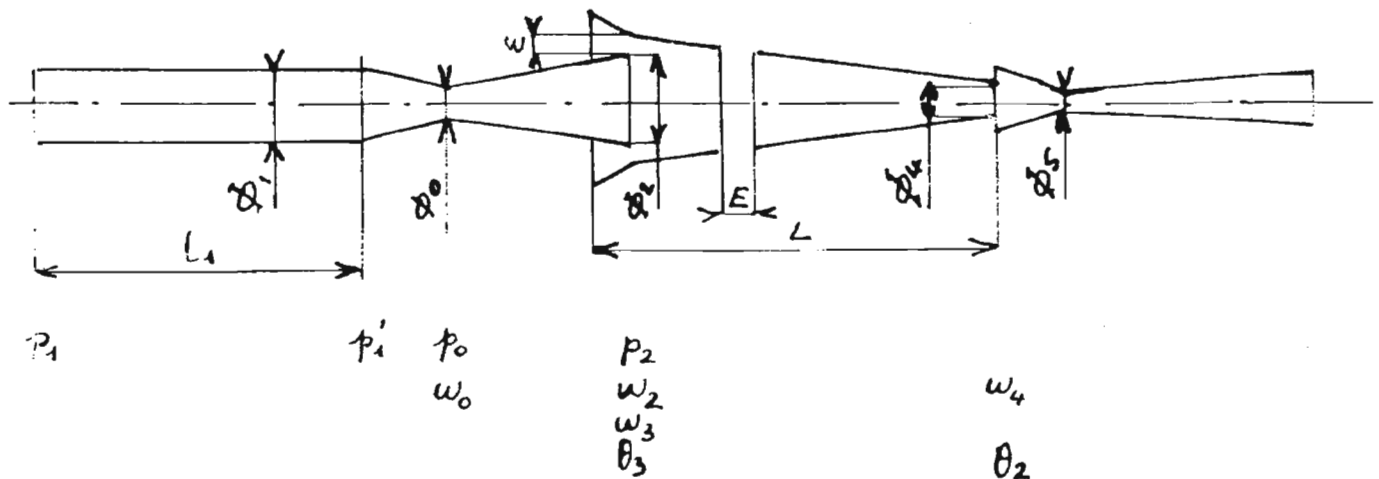
Si la vitesse de la vapeur ne dépasse pas 20 m/s dans le tube et si celui-ci n'est pas trop long, on pourra

$$\text{approximer } \frac{p'_1}{p_1} = 0,9 \quad \text{d'où}$$

$$Q_1 = K_1 \omega_0 p_1 \quad (5) \quad \text{avec } K_1 = 0,130$$

2/ Le débit d'eau est donné par :

$$Q_2 = K_c \omega_3 \sqrt{2gh} \quad (6)$$



1/ Le débit de vapeur est donné par :

$$Q_1 = 200 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{p'_1}{V'_1}} \quad (1)$$

$p'_1$  étant la pression à l'entrée du convergent et  $V'_1$  le volume spécifique correspondant. Puisque le produit  $p'_1 V'_1$  est pratiquement constant dans la plage de fonctionnement et égal à 1,88, (1) devient :

$$Q_1 = 0,145 \omega_0 p'_1 \quad (2)$$

- Les pertes de charge provoquées par le passage de la vapeur dans le tube reliant la chaudière à l'injecteur valent à peu près :

$$p_1 - p'_1 = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{v_1^2}{V_1} \cdot \frac{\ell_1}{\Phi_1} \quad (3)$$

-  $h$  étant la charge motrice exprimée en mètres d'eau, c'est à dire la pression atmosphérique diminuée de la pression de vapeur correspondant à la température de l'eau à l'entrée de l'injecteur (inférieure à 1 m d'eau en général) et des pertes de charge dans le tube d'arrivée d'eau. Pour les diamètres utilisés, et en négligeant les pertes de charge des coudes et de la vanne d'eau (supposée ouverte en grand) on peut utiliser la formule :

$$\Delta h = 0,57 \cdot 10^{-2} Q_2^2 \frac{\ell_E}{\Phi_E^5} \quad (7)$$

- La valeur du coefficient de contraction de veine liquide  $K_c$  dépend fortement de la forme et de la position de l'ajutage annulaire.

pour tracer la droite représentant la relation (11) (l'autre point est à  $(p_1=0, \theta_3=85^\circ C)$ ). Cette relation est très importante puisqu'elle donne la zone de fonctionnement permise ; elle permet également de trouver la pression minimale de fonctionnement comme indiqué dans le texte manuscrit page 5. On devrait tracer cette droite pour tout injecteur que l'on construit. Ainsi, le réglage de l'injecteur serait fait sans aucune ambiguïté.

## II - DIMENSIONNEMENT DE L'INJECTEUR

(commentaires)

Voir calques séparés pages 7 et 8

1/ Puisque le débit de l'eau  $Q_2$  est réglé par la section  $\omega_3$  de l'ajutage annulaire en agissant sur la largeur  $\varepsilon$  de celui-ci, on ne trouvera peut-être pas exactement après réglage la valeur  $Q_2 = 16 \omega_4$ . De toute façon cette valeur de 16 n'est absolument pas critique (elle sert seulement de base de départ pour le dimensionnement) mais peut varier sans grands inconvénients entre 14 et 18 après réglage.

2/ Un diamètre de sortie de la tuyère vapeur supérieur à  $2,5\Phi_4$  permet un fonctionnement en aspiration très légèrement meilleur (j'ai fait l'essai) mais augmente de façon non négligeable la longueur du cône du mélange; il réduit aussi la valeur de  $\varepsilon$ , pour une section  $\omega_3$  fixée, donc augmente encore la difficulté de réglage. J'estime donc actuellement qu'il est inutile d'aller au-delà de cette valeur qui paraît donner un dimensionnement et un fonctionnement très acceptable.

3/ Je donne les dimensions (relatives à  $\Phi_4$ ) des cônes que j'utilise actuellement, conformes à une disposition relative à la figure B de l'ajutage annulaire, donnant une plus grande souplesse d'emploi (les cônes décrits par ailleurs, plans 02 et 06, correspondant à la disposition de la figure A sont cependant parfaitement utilisables et d'un réglage plus facile). Les longueurs ont été choisies de telle façon qu'ils puissent se monter dans les corps d'injecteur décrits sans modification de ceux-ci. Ainsi j'ai pu recôner plusieurs de mes anciens injecteurs. Notez l'angle au sommet de  $9^\circ$  de l'extérieur de l'extrémité de la tuyère vapeur, qui donne une meilleure orientation à l'eau issue de l'ajutage annulaire et augmente vraisemblablement  $K_c$ .

4/ Le diamètre du col de la tuyère vapeur dépend du timbre de la chaudière et de la température de l'eau d'alimentation. Les injecteurs décrits correspondent à  $p_T = 7$  ( $6 \text{ kg/cm}^2$  lus au manomètre) et à  $\theta_{3 \text{ limite}} = 35^\circ C$ . Pour cette température, un tableau donne les valeurs de  $\Phi_0$  toutes calculées en fonction de  $p_T$ . Ainsi j'ai essayé  $\Phi_0 = 1,5$  sur un injecteur installé sur une chaudière de timbre  $p_T = 5$  (ce timbre correspond en général à celui des chaudières de bateau). La figure 5, plan 08 donne un exemple de l'évolution de la droite  $\theta_{3 \text{ limite}} = f(p_2)$  pour les 3 valeurs de timbre 10(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>), 8,2(A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>) et 6,5(A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>), pour une température d'eau au timbre de  $30^\circ C$ .

5/ Une dernière remarque : si l'angle au sommet de la fraise ne fait pas rigoureusement  $9^\circ$ , il y a lieu de revoir la relation donnant la longueur du cône de mélange (le coefficient 6,3 n'est autre que  $1/\tan 9^\circ$ ). C'est pourquoi il est de bonne pratique, après mise en place des 2 demi-cônes dans le corps de l'injecteur, de faire un relevé précis du contour du chanfrein d'eau pour déterminer la dimension exacte de l'extrémité de la tuyère vapeur et d'en tenir compte lors de la confection de celle-ci. L'épaisseur de la paroi de celle-ci ne pouvant guère être modifiée, on peut être amené à réduire ou à augmenter (ce qui vaut mieux) un peu  $\Phi_2$  sans grands inconvénients.

## III - DIMENSIONNEMENT D'UN INJECTEUR 1,8 L

Bien qu'en réalité le débit de cet appareil soit un peu plus élevé, il sera désigné ainsi (débit 1,8 litre/mn) dans la suite du texte, par opposition à l'injecteur décrit dans le texte précédent désigné par injecteur 0,7ℓ.

Les données étaient les suivantes :

1/ Remplacement d'un appareil de fabrication anglo-saxonne de longueur donnée 64,5 mm, avec filetage aux raccordements eau et vapeur de  $9/16''$ , 26 filets par pouce. Il était hors de question de changer les raccords femelles existants.

2/ Timbre de la chaudière  $p_T = 7$

3/ Montage sur une locomotive-tender avec soutes à eau latérales. La température maximale supposée est de  $40^\circ C$ .

- La longueur imposée de l'appareil ne permet pas de commencer le calcul exactement comme indiqué au chapitre "Dimensionnement de l'injecteur" ; en fait c'est la longueur de l'appareil qui fixe le débit possible ici.

À l'époque de la construction de cet appareil, mes essais sur la disposition de l'ajutage annulaire selon la disposition de la figure B n'étaient pas suffisamment avancées ; j'ai donc utilisé la disposition selon la figure A.

- En traçant les cônes selon cette disposition, de façon qu'ils rentrent dans la longueur de 64,5, on obtient :

$$\Phi_4 = 1,6 \text{ mm}$$

ce qui fixe à peu près le débit

$$Q_2 = \left( \frac{1,6}{0,283} \right)^2 = 32 \text{ g/s}$$

- Le diamètre du col de la tuyère vapeur est donné par :

$$\Phi_0 = 0,465 \times 1,6 \times \sqrt{\frac{85 - 40}{7}} = 1,89 \text{ mm}$$

Pour des raisons pratiques (jauge de mesure) il a été arrondi à  $\Phi_0 = 2 \text{ mm}$ , soit une augmentation de section d'environ 10 % compensée par une augmentation égale du débit d'eau par action sur la section  $\omega_3$ .

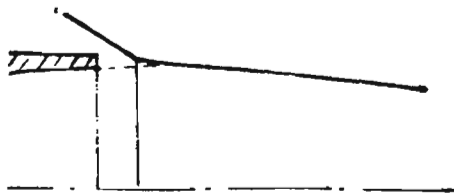


Fig. A Acceptable



Fig. B Bon

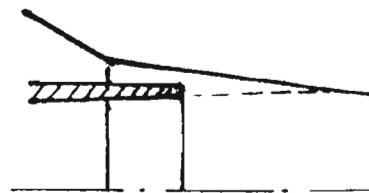


Fig. C Mauvais

La position A correspond aux injecteurs décrits dans ces articles ; on a  $K_C \approx 0,7$ . Son inconvénient est qu'une manoeuvre d'amorçage spéciale peut être nécessaire aux faibles pressions de chaudière. La position B supprime cet inconvénient ; on a  $K_C \approx 0,85$ . Pour un même débit d'eau  $Q_2$  la section  $\omega_3$  est donc plus réduite que dans la position A. Enfin la position C doit être évitée absolument car les fortes pertes de charge qu'elle occasionne entraînent une instabilité de l'écoulement de l'émulsion.

- On peut alors écrire .

$$Q_2 = K_2 \omega_3 \quad (8)$$

Avec  $h = 8,5 \text{ m d'eau}$ , on a :  $K_2 = 9$  pour A et  $K_2 = 11$  pour B.

3/ L'expérience montre qu'une limite de fonctionnement est atteinte lorsque l'émulsion eau-vapeur, à la sortie du cône de mélange, a une température de  $85^\circ\text{C}$ . Dans ce cas, le jet d'émulsion sortant du cône de mélange tend à diverger fortement, réduisant ainsi l'efficacité de la transformation de la pression dynamique en pression

statique par le cône d'injection. Le résultat est qu'à cette température la pression de refoulement atteint tout juste celle de la chaudière.

4/ Une puissance minimale  $P_{v \text{ min.}}$  de la vapeur par gramme d'eau/s traversant l'injecteur est nécessaire pour provoquer la formation de l'émulsion eau-vapeur. Une valeur très approximative est  $2,6 \text{ kgm/g}$ . Lorsque la puissance développée par la vapeur est un peu inférieure à cette valeur, l'essai montre :

-que la quantité d'eau débitée par l'appareil est à peine de 70% de celle donnée par l'égalité (8).

-que le débit de vapeur, déduit de l'échauffement de l'eau, est également réduit d'à peu près autant.

-que le jet qui sort du cône de mélange est assez clair, a peu de vitesse et est certainement formé d'eau pure.

On en conclut que la vapeur se condense assez près de la sortie de la tuyère vapeur et qu'elle se borne à entraîner l'eau à une faible vitesse (11 à 12 m/s à la sortie du cône de mélange). L'eau remplissant celui-ci forme une sorte de bouchon qui perturbe le débit vapeur.



FIG (D)

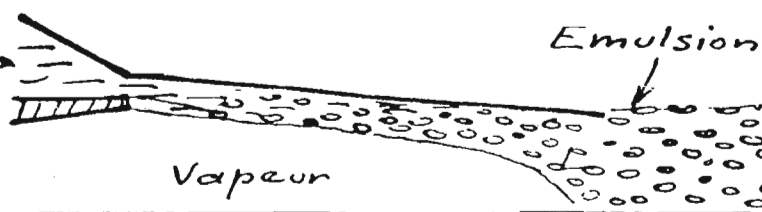


FIG (E)

La figure D donne un schéma plausible de ce qui se passe en ce cas dans le cône de mélange.

- Au contraire, lorsque la puissance de la vapeur dépasse la valeur précitée, on se trouve dans le cas normal, fig. E. Le passage de D à E (ou inversement) est un état instable, puisque la pression  $p_1$  étant fixée, le débit de vapeur prend sa valeur normale, soit à peu près 1,4 fois plus en E qu'en D ; la puissance de la vapeur est augmentée de la même valeur. Ceci explique le passage quasiment instantané d'un état à l'autre.

- Avec une disposition de l'espace annulaire fig. A, il existe, aux basses valeurs de  $p_1$ , une zone de pression où l'on peut avoir l'un ou l'autre fonctionnement possible. Une mise en aspiration de l'eau, pouvant d'ailleurs être provoquée par un étranglement ou même une fermeture brève de la vanne d'eau suffit pour passer de D à E

- Avec une disposition selon B, qui me paraît meilleure, cette zone de pression est très réduite.

Nota : Inutile de préciser que, vu la faible pression dynamique développée ( $0,6$  à  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  au plus) le cas de la figure D est parfaitement utilisable ; il correspond à l'appareil non amorcé.



- Le diamètre de la sortie de la tuyère vapeur vaut :

$$\Phi_2 = 2,51 \times 1,6 = 4,02 \text{ mm arrondi à } \underline{4 \text{ mm}}$$

- Le diamètre du col d'injection vaut :

$$\Phi_5 = 0,8 \times 1,6 = 1,28 \text{ arrondi à } \underline{1,25 \text{ mm}}$$

et il est situé à  $2,5 \times 1,6 = \underline{4 \text{ mm}}$  de la sortie du cône de mélange.

- L'épaisseur de la paroi de l'extrémité de la tuyère vapeur étant de 0,15, la largeur de l'ajutage annulaire est donnée par :

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{(4+0,3)^2 + \frac{16}{9}(1,6)^2} - (4+0,3) \right] = 0,255 \text{ mm}$$

Cependant pour tenir compte de l'augmentation précitée de 10 % du débit vapeur, la largeur définitive sera :

$$\varepsilon = 0,255 \times 1,1 = \underline{0,28 \text{ mm}}$$

Après réglage, une mesure sur le profil du chanfrein d'eau donne 0,29 ; on peut évidemment se poser la question de la précision de cette mesure.....qui n'est sans doute pas fameuse ; remarquons aussi que le coefficient  $K_2 = 9$  découle de la moyenne d'autres mesures similaires.....

- Le débit d'eau devient alors  $32 \times 1,1(03) = \underline{35,3 \text{ g/s}}$
- La longueur du cône de mélange vaut dans le cas de la figure A :

$$L = 11,2 \times 1,6 \approx \underline{18 \text{ mm}}$$

- L'espacement entre les demi-cônes de mélange vaut :

$$E = 1,25 \times 1,6 = \underline{2 \text{ mm}}$$

- Vous pouvez retrouver toutes les cotes soulignées sur le plan de détails n° 6

- Nous pouvons essayer de prédéterminer le fonctionnement de l'appareil par l'emploi de la relation 11 ; nous avons :

$$K_1 \omega_0 = 0,130 \times \frac{\pi}{4} \times 2^2 = 0,408$$

$$K_2 \omega_3 = Q_2 = 35,3$$

d'où

$$\theta_{3 \text{ limite}} = 85 - 570 \frac{0,408}{35,3} p_1$$

$$\theta_{3 \text{ limite}} = 85 - 6,6 p_1$$

En particulier, à  $p_1 = 7$ , on obtient  $\theta_{3 \text{ limite}} = \underline{39^\circ \text{C}}$ . La pression minimale de fonctionnement sera obtenue en faisant  $\theta_{3 \text{ limite}} = 56^\circ \text{C}$  ; on a alors :

$$p_{1 \text{ mini}} = \frac{85 - 56}{6,6} = \underline{4,4 \text{ kg/cm}^2}$$

soit  $3,4 \text{ kg/cm}^2$  lus sur le manomètre de la chaudière.

- Nous pouvons encore estimer le débit d'eau que l'on devrait mesurer sous charge d'eau de 0,36m. sans vapeur :

$$Q'_2 = \frac{35,3}{5} = \underline{7,06 \text{ g/s}}$$

#### IV- CONSTRUCTION DE L'INJECTEUR 1,8 L

Je n'ai refait ni le plan d'ensemble, en gros semblable à l'échelle près à celui du plan 01 paru dans le n° 45, ni le schéma de l'outillage semblable au plan 02 du n° 46, à condition d'adapter les cotes au nouvel appareil.

- Les fraises coniques peuvent d'ailleurs être utilisées telles quelles, ce que j'ai effectivement fait (remarquez sur le plan 06 l'alésage cylindrique  $\Phi_5$ , profondeur 3 à l'extrémité de la tuyère vapeur et du cône d'injection, uniquement destiné à permettre à la fraise de pénétrer assez profondément). Cependant, rien n'interdit de les confectionner en Stub de  $\Phi_6$  pour les avoir plus longues.

- Les détails de construction sont donnés sur le plan 06 ; le mode opératoire étant identique, aux cotes près, à celui de l'injecteur 0,7ℓ, s'y reporter (n° 46). J'ai simplement utilisé un moyen plus pratique pour exécuter le chanfrein d'entrée d'eau, décrit sur le plan 07 (donnant le profil de ce chanfrein) et d'ailleurs applicable aussi à l'injecteur 0,7ℓ (dans ce cas, utilisez un forêt à centrer  $\emptyset 5/\emptyset 2$  à  $60^\circ$  et forer à une profondeur de 0,75). Le léger arrondi au raccord des deux cônes semble améliorer un peu le fonctionnement.

- Les raccords sont prévus pour une tuyauterie de 6 x 8 aussi bien pour l'eau que la vapeur.

- Nous pouvons encore estimer le débit d'eau que l'on devrait mesurer sous charge d'eau de 0,36m. sans vapeur :

$$Q'_2 = \frac{35,3}{5} = \underline{7,06 \text{ g/s}}$$

#### IV- CONSTRUCTION DE L'INJECTEUR 1,8 L

Je n'ai refait ni le plan d'ensemble, en gros semblable à l'échelle près à celui du plan 01 paru dans le n° 45, ni le schéma de l'outillage semblable au plan 02 du n° 46, à condition d'adapter les cotes au nouvel appareil.

- Les fraises coniques peuvent d'ailleurs être utilisées telles quelles, ce que j'ai effectivement fait (remarquez sur le plan 06 l'alésage cylindrique  $\Phi_5$ , profondeur 3 à l'extrémité de la tuyère vapeur et du cône d'injection, uniquement destiné à permettre à la fraise de pénétrer assez profondément). Cependant, rien n'interdit de les confectionner en Stub de  $\Phi_6$  pour les avoir plus longues.

- Les détails de construction sont donnés sur le plan 06 ; le mode opératoire étant identique, aux cotes près, à celui de l'injecteur 0,7ℓ, s'y reporter (n° 46). J'ai simplement utilisé un moyen plus pratique pour exécuter le chanfrein



5/ La chaleur correspondant au travail de refoulement de l'eau, ainsi que celle dissipée en rayonnement et convection par le corps de l'appareil et par la tuyauterie vapeur étant négligeable par rapport à la chaleur  $q_1$  contenue dans la vapeur (moins de 1% pour l'ensemble), il est permis d'écrire que la chaleur fournie par la vapeur est égale à celle reçue par l'eau. En supposant la chaleur spécifique de l'eau constante et égale à 1, on peut écrire :

$$Q_1(q_1 - \theta_2) = Q_2(\theta_2 - \theta_3) \quad (9)$$

$$(\theta_2 - \theta_3) = \frac{Q_1}{Q_2}(q_1 - \theta_2) = \frac{K_1 \omega_0 p_1}{K_2 \omega_3}(q_1 - \theta_2)$$

avec  $\theta_2 \text{ limite} = 85^\circ\text{C}$  et  $q_1 = 655 \text{ cal/g}$  (il varie entre 650 et 660)

$$85 - \theta_3 \geq 570 \frac{K_1 \omega_0}{K_2 \omega_3} p_1$$

d'où : 
$$p_1 \leq 1,75 \cdot 10^{-3} \frac{K_2 \omega_3}{K_1 \omega_0} (85 - \theta_3) \quad (10)$$

La température limite de l'eau d'alimentation en fonction de la pression de la chaudière est alors donnée par :

$$\theta_3 \text{ limite} = 85 - 570 \frac{K_1 \omega_0}{K_2 \omega_3} p_1 \quad (11)$$

6/ La puissance mécanique contenue dans la vapeur à la sortie de la tuyère est obtenue à partir de la chaleur utilisable  $\lambda_1 - \lambda_2$  obtenue par un diagramme entropique. Une explication du calcul est donnée plan 08. Dans le domaine normal de fonctionnement de l'injecteur elle est peu variable et vaut environ  $120 \text{ cal/g}$ . Avec l'équivalent mécanique de la calorie 0,425, on a :

$$P_v = 0,425 Q_1(\lambda_1 - \lambda_2) = 0,425 K_1 \omega_0 p_1 (\lambda_1 - \lambda_2) \quad (12)$$

En égalant la puissance minimale pour former l'émulsion avec  $P_v$  :

$$K_2 \omega_3 P_{v \text{ min.}} \leq 0,425 K_1 \omega_0 p_1 (\lambda_1 - \lambda_2) \quad (13)$$

d'où

$$p_1 \geq 2,35 \frac{K_2 \omega_3 P_{v \text{ min.}}}{K_1 \omega_0 (\lambda_1 - \lambda_2)} \quad (14)$$

7/ La pression de vapeur permettant le fonctionnement de l'injecteur est donc comprise entre les deux limites données par (10) et (14).

Avec  $\lambda_1 - \lambda_2 = 120$  et  $P_{v \text{ min.}} = 2,6$  on obtient :

$$5,1 \cdot 10^{-2} \frac{K_2 \omega_3}{K_1 \omega_0} \leq p_1 \leq 1,75 \cdot 10^{-3} \frac{K_2 \omega_3}{K_1 \omega_0} (85 - \theta_3) \quad (15)$$

8/ en augmentant progressivement la température de l'eau d'alimentation  $\theta_3$ , la limite de pression maximale diminue jusqu'à venir se confondre avec la limite minimale. On

obtient alors la température limite absolue de l'eau d'alimentation, indépendante du réglage de l'injecteur.

$$\theta_{3L} = 85 - \frac{5,1 \cdot 10^{-2}}{1,75 \cdot 10^{-3}} = 56^\circ\text{C}$$

Si on trace la droite  $\theta_3 \text{ limite} = f(p_1)$  selon la relation (11), l'abscisse de son intersection avec l'horizontale d'ordonnée  $56^\circ\text{C}$  donne directement la pression minimale de fonctionnement.

9/ En égalant la puissance de la vapeur avec son énergie cinétique par seconde, on a :

$$P_v = 0,425 Q_1(\lambda_1 - \lambda_2) = \frac{\nu_2^2 Q_1}{2g} 10^{-3} \quad (16)$$

On en tire la vitesse à la sortie de la tuyère :

$$\nu_2 = 91,3 \sqrt{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (17)$$

La pression de la sortie de la tuyère étant  $p_2$  avec un volume spécifique de la vapeur correspondant  $V_2$ , pour qu'il n'y ait pas de décollement du jet de vapeur, il faut que la section de sortie de la tuyère soit :

$$\omega_2 = \frac{Q_1 V_2}{\nu_2} 10^{-3} \quad (18)$$

d'où le rapport des sections :

$$\frac{\omega_2}{\omega_0} = \frac{K_1 p_1 V_2}{91,3 \sqrt{\lambda_1 - \lambda_2}} 10^{-3} \quad (19)$$

La tuyère fonctionnant dans des conditions de pression de chaudière et des températures d'eau variables, un compromis est évidemment nécessaire. De toutes façons, la pression  $p_2$  doit être choisie nettement inférieure à la pression atmosphérique. Les valeurs utilisées dans les injecteurs décrits sont :  $p_2 = 0,3$  d'où  $V_2 = 5,33$  et  $p_1 = 0,85 p_T$ ,  $p_T$  étant le timbre de la chaudière. On obtient ainsi un dimensionnement acceptable.

10/ L'expérience montre que, bien que le débit d'eau soit réglé par la section  $\omega_3$  de l'ajutage annulaire, le fonctionnement du cône de mélange est optimal lorsque sa section de sortie vaut à peu près :

$$\omega_4 = \frac{Q_2}{16} \quad (20)$$

En combinant avec la relation (8) on obtient :

$$\omega_3 = \frac{16}{K_2} \omega_4 \quad (21)$$

D'où avec  $K_2 = 9$ ,  $\omega_3 = 1,78 \omega_4$  et avec  $K_2 = 11$ ,  $\omega_3 = 1,45 \omega_4$

11/ En remplaçant dans (10)  $K_2 \omega_3$  par sa valeur  $Q_2 = 16 \omega_4$ ,  $p_1$  par  $p_T$  (timbre de la chaudière, valeur absolue) et en donnant à  $K_1$  la valeur 0,135 on a :

$$\omega_0 = 0,215 \frac{85 - \theta_3}{p_T} \omega_4 \quad (22)$$



d'entrée d'eau, décrit sur le plan 07 (donnant le profil de ce chanfrein) et d'ailleurs applicable aussi à l'injecteur 0,7ℓ (dans ce cas, utilisez un forêt à centrer Ø5/Ø2 à 60° et forer à une profondeur de 0,75). Le léger arrondi au raccord des deux cônes semble améliorer un peu le fonctionnement.

- Les raccords sont prévus pour une tuyauterie de 6 × 8 aussi bien pour l'eau que la vapeur.

L'emploi de la formule 4, avec  $\frac{p'_1}{p_1} = 0,9$ , nous donne

$$\text{alors : } 0,114 \times \left(\frac{2}{6}\right)^4 \times \frac{\ell_1}{6} \leq 0,1$$

(0,1 est un nombre sans dimension).

D'où la longueur maximale de la tuyauterie vapeur :

$$\ell_1 \leq 425\text{mm}$$

Si elle est plus longue, la pression minimale de fonctionnement augmentera (le coefficient  $K_1$  effectif sera inférieur à 0,130) et la pente de la droite  $\theta_{3 \text{ limite}} = f(p_1)$  réduite, ce qui permettra le fonctionnement avec une eau plus chaude. Je pense qu'il serait cependant préférable, si le dépassement de la longueur est notable, d'augmenter le diamètre intérieur de la tuyauterie.

- Une perte de charge de 0,1 mètre d'eau dans la tuyauterie d'arrivée apparaît pour une longueur  $\ell_E$  telle que :

$$0,57 \cdot 10^{-2} (35,3)^2 \frac{\ell_E}{6^5} = 0,1 \quad (\text{formule 7})$$

$$\text{soit } \ell_E = 658\text{mm}$$

Le problème de la tuyauterie d'eau apparaît ici moins critique que celui de la tuyauterie vapeur. Même une perte de 0,2 mètre d'eau n'amènerait sans doute pas d'inconvénients rédhibitoires.

## V- ESSAIS EFFECTUÉS SUR L'INJECTEUR 1,8 L

Après un réglage semblable, en gros, à celui décrit pour l'injecteur 0,7ℓ, mais en alimentant avec de l'eau à 40°C pour la pression nominale de chaudière  $p_1=7$ , j'ai effectué les essais suivants :

1/ Mesure du débit d'eau sans vapeur, sous charge de 0,36 mètre d'eau. On obtient 440 g/mn, soit 7,35 g/s (on avait prévu 7,06 g/s ; l'écart entre les deux valeurs est de 4 %).

2/ Mesure du débit d'eau avec la vapeur ; elle est assez difficile du fait de la taille relativement réduite de la chaudière d'essai (la même que celle utilisée pour l'injecteur 0,7ℓ) qui oblige à opérer dans des temps très courts de 6 à 7 secondes d'où des erreurs de mesure pouvant être non négligeables. Cependant, la moyenne de nombreux essais, effectués à diverses pressions  $p_1$ , con-

duit à une valeur d'environ 35 g/s, conforme aux prévisions (35,3 g/s). Durant ces essais, la température de l'eau d'alimentation était de 19°C.

3/ Mesure de la température limite de l'eau d'alimentation permettant encore l'amorçage et le fonctionnement pour diverses pressions  $p_1$ . Le graphe  $\theta_{3 \text{ limite}} = f(p_1)$  est donné figure 1, plan 08. Les divers points obtenus s'alignent à peu près sur une droite d'équation :

$$\theta_{3 \text{ limite}} = 85 - 6,5 p_1$$

**C'est pratiquement conforme aux prévisions.**

**Nota :** Les divers coefficients et valeurs numériques, tels que  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_c$ ,  $\theta_{2 \text{ limite}} = 85^\circ$ , etc....proviennent d'essais effectués sur divers injecteurs 0,7ℓ. On vérifie donc que les coefficients sont indépendants de la taille de l'injecteur. Cependant, comme déjà vu,  $K_c$  dépend de la forme (mais non de la taille) de l'ajutage annulaire.

4/ Mesure avec la sortie d'eau bouchée par un manomètre, de la pression de refoulement  $p_4$  et de la température de sortie de l'eau  $\theta_2$ , ceci pour diverses températures d'entrée d'eau  $\theta_3$  et pour une pression de chaudière donnée. Le graphe correspondant  $p_4 = f(\theta_2)$  est tracé pour 2 pressions de chaudière  $p_1 = 5$  et  $p_1 = 7$  et est donné figure 2, plan 08. Pour  $\theta_2 = 85^\circ\text{C}$ , la pression de refoulement  $p_4$  est en fait à peine supérieure à celle de la chaudière, aux erreurs de mesure près. Un examen du jet d'émulsion effectué dans ce cas, après enlèvement du cône d'injection, montre qu'effectivement il diverge très fortement à la sortie du cône de mélange. La sortie de celui-ci n'étant pas visible, on voit cependant que le jet remplit tout l'alésage du corps d'injecteur à la sortie. Cet essai confirme la valeur de  $\theta_{2 \text{ limite}} = 85^\circ\text{C}$ , déjà observée sur les injecteurs 0,7ℓ.

5/ Mesure de la pression  $p_5$  à l'arrivée d'eau lorsque la vanne d'eau est fermée (fonctionnement en éjecteur) pour diverses pressions  $p_1$ . De façon contraire à ce que j'avais fait avec l'injecteur 0,7ℓ et qui me semble à présent incorrect, j'ai attendu suffisamment longtemps - 15 secondes au moins - pour être sûr que le régime stationnaire soit bien atteint (les courbes  $p_5 = f(p_1)$  précédemment données pour l'injecteur de 0,7ℓ ne donnent qu'un état transitoire sans grande signification pratique). Le résultat est donné figure 3, plan 08. Il est cependant loin d'être significatif, puisque le passage de la vapeur chauffe l'appareil (les vrais éjecteurs utilisés pour faire le vide dans les condenseurs ont des parois refroidies par des circulations d'eau ; il y en a le plus souvent deux montés en cascade). Il donne cependant une idée de ce que l'on peut attendre de l'appareil si on le monte en aspiration. Le temps de 10 à 15 secondes nécessaire pour obtenir le régime stationnaire est dû à l'évacuation de l'air contenu dans le tuyau et le manomètre, ainsi qu'à la mise en température de l'appareil.

avec  $\theta_3$  = température limite de l'eau d'alimentation.

12/ La combinaison de (22) avec (19) dans laquelle on fait  $p_1 = K_3 p_T$ , et  $\lambda_1 - \lambda_2 = 120$  donne :

$$\omega_2 = 2,8 \cdot 10^{-2} (85 - \theta_3) V_2 K_3 \omega_4 \quad (23)$$

Avec  $\theta_3 = 35^\circ\text{C}$ ,  $K_3 = 0,85$ ,  $V_2 = 5,33$  on obtient :

$$\omega_2 = 6,4 \omega_4 \text{ quelquesoit } p_T$$

13/ Le fonctionnement du cône d'injection est totalement séparé de la formation de l'émulsion. Comme il échappe actuellement à tout calcul, cela simplifie beaucoup l'expérimentation qui peut se limiter à faire varier le diamètre  $\Phi_5$  et la position de son col. On s'aperçoit rapidement que la position du col, distante d'environ  $2,5\Phi_4$  de la sortie du cône de mélange, n'est pas très critique. Par contre, le diamètre optimal du col paraît être  $\Phi_5 = 0,8\Phi_4$ . Plus faible, une partie de l'eau rentre dans la chaudière et le reste s'écoule par le trop-plein. Plus fort, la pression développée est insuffisante et toute l'eau sort par

le trop-plein. La longueur du divergent (angle au sommet  $6^\circ$ ), pourvu qu'elle soit suffisante, n'est pas non plus très critique.

14/ Un dimensionnement de la section de sortie de la tuyère vapeur tel que  $\omega_2 \geq 6,4\omega_4$  (voir 12/ ) permet un fonctionnement en aspiration pourvu que l'injecteur soit froid (de façon toute relative,  $50$  ou  $60^\circ\text{C}$  ne gênent pas). Ceci suppose une vanne de vapeur parfaitement étanche lorsqu'elle est fermée. L'injecteur commence alors par fonctionner en éjecteur pour vider la canalisation d'eau de l'air qu'elle contient. Ceci n'est possible que si le passage de la vapeur en aval de la tuyère se fait sans pertes de charge notables. Pour cela, le cône de mélange est divisé en 2 parties, celle directement en aval du divergent étant plus courte (longueur  $4$  à  $5\Phi_4$ ), séparées par un intervalle relié à l'air libre par une soupape. La section de passage de la vapeur au travers de l'intervalle doit être au moins  $9\omega_4$  ; ceci permet de calculer la largeur  $E$  de cet intervalle.

## DIMENSIONNEMENT DE L'INJECTEUR

Nous nous servons des relations trouvées précédemment. Les données sont :

Débit d'eau	$Q_2$	(g/s)
Température maximale de l'eau	$\theta_3$	( $^\circ\text{C}$ )
Timbre de la chaudière	$p_T$	(kg/cm <sup>2</sup> abs)

1/ D'après (20) la section de la sortie du cône de mélange vaut :

$$\omega_4 = \frac{Q_2}{16} \quad \text{On en tire : } \Phi_4 = 0,283 \sqrt{Q_2}$$

cette valeur servira d'unité à toutes les autres dimensions.

2/ D'après (22) la section du col de la tuyère vaut :

$$\omega_0 = 0,215 \frac{85 - \theta_3}{p_T} \omega_4 \quad \text{d'où } \Phi_0 = 0,465 \Phi_4 \sqrt{\frac{85 - \theta_3}{p_T}}$$

Avec

$$\theta_3 = 35^\circ\text{C} \quad \text{et } p_T = 7, \text{ on trouverait } \Phi_0 = 1,23 \Phi_4$$

3/ La section de la sortie de la tuyère vapeur est donnée par (23) :

$$\omega_2 = 2,8 \cdot 10^{-2} (85 - \theta_3) V_2 K_3 \omega_4 \quad \text{d'où :}$$

$$\Phi_2 = 0,167 \Phi_4 \sqrt{(85 - \theta_3) V_2 K_3}$$

Les valeurs de  $V_2$  et  $K_3$  peuvent être modifiées, dans certaines limites, à la discrétion du concepteur de l'injecteur. J'utilise actuellement :

$$V_2 = 5,33, \quad K_3 = 0,85, \quad \text{d'où } \Phi_2 = 2,51 \Phi_4$$

4/ Le diamètre du col du cône d'injection vaut :

$\Phi_5 = 0,8\Phi_4$  et il est situé à une distance  $2,5\Phi_4$  de la sortie du cône de mélange.

5/ La relation (21) donne la section du passage annulaire :

$$\omega_3 = \frac{16}{K_2} \omega_4 = \frac{4\pi}{K_2} \Phi_4^2$$

Si  $e$  est l'épaisseur de la paroi de la tuyère vapeur à son extrémité (je prends d'habitude  $e = 0,1\Phi_4$ ) et  $\varepsilon$  la largeur de l'ajutage annulaire, on a l'égalité :

$$\pi(\Phi_2 + 2e + \varepsilon)\varepsilon = \frac{4\pi}{K_2} \Phi_4^2$$

d'où l'on tire :

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{(\Phi_2 + 2e)^2 + \frac{16}{K_2} \Phi_4^2} - (\Phi_2 + 2e) \right]$$

Si on utilise  $\Phi_2 = 2,51\Phi_4$ ,  $e = 0,1\Phi_4$ , on obtient :

$$\text{a/ avec } K_2 = 9 \quad (\text{cas de la figure A}) : \varepsilon = 0,155 \Phi_4$$

$$\text{b/ avec } K_2 = 11 \quad (\text{cas de la figure B}) : \varepsilon = 0,130 \Phi_4$$

Lors de la construction, pour pallier aux incertitudes sur  $K_2$ , on augmente un peu l'épaisseur de  $e$  (de  $0,02$  à  $0,03 \Phi_3$ ) de façon à pouvoir la réduire lors du réglage de  $\varepsilon$ , effectué au cours des essais sous vapeur.

## VI- CONSEILS PRATIQUES

### 1/ Calculs et construction.

- L'utilisation des formules de dimensionnement vous permet de calculer "votre" injecteur, correspondant au débit d'eau que vous désirez (3 à 4 fois le débit horaire de votre chaudière si l'injecteur est la seule source d'alimentation) et au timbre de la chaudière. Estimez au mieux la température maximale de l'eau d'alimentation, mais sans excès notable, dont le seul résultat serait une augmentation inutile de la pression minimale de fonctionnement.

- Lors de la construction, respectez précisément les cotes données par le calcul ; vous pouvez cependant vous donner un peu de réserve en ce qui concerne l'épaisseur de la paroi de l'extrémité de la tuyère vapeur, réserve qui sera enlevée lors du réglage.

- Soignez le polissage de l'intérieur des cônes et le rodage du siège de la soupape.

- Ayez un serrage suffisant du cône de mélange dans le corps d'injecteur. Il sert à assurer l'étanchéité de l'intérieur de ce cône.

- Effectuez un relevé précis du profil du chanfrein d'eau (jauges à 1/100 près en diamètre et longueur) et tenez en compte lors de la construction de la tuyère vapeur.

### 2/ Réglage et essais

- Effectuez **toujours** au préalable une mesure du débit d'eau sans vapeur sous charge de 0,36 mètre d'eau. Nous avons vu que le rapport du débit d'eau en fonctionnement normal au débit d'eau dans cet essai est d'environ 5. Vous

pouvez faire un pré-réglage à  $\frac{Q_2}{5,5}$  ou  $\frac{Q_2}{6}$ , pour être

certain d'avoir à enlever un peu à la tuyère lors de l'essai sous vapeur. Faites cette mesure avec soin sur 2 ou 3 minutes ; pesez l'eau recueillie ; refaites cette mesure 2 ou 3 fois. Vous obtiendrez sans doute des résultats un peu différents dont vous prendrez la moyenne. Assurez vous bien qu'avant chaque mesure il ne reste pas de bulle d'air dans le tuyau, ce qui générerait l'écoulement.

- Lors de l'essai sous vapeur, faites **toujours** au début une observation du jet d'émulsion, le cône d'injection étant enlevé. Vous pouvez, de plus, placer un écran tel qu'une plaque de tôle (personnellement j'utilise une simple casserole de cuisine pour éviter d'inonder ma "plate-forme d'essais") interceptant ce jet et tenue à la main. Lorsque l'émulsion est effectivement formée, on sent un **très net** effort sur cet écran. Le jet d'émulsion doit être **parfaitement dans l'axe** de l'injecteur. Cet essai vous permet de vous assurer du bon fonctionnement de l'ensemble tuyère de vapeur/cône de mélange, qui conditionne pratiquement tout le fonctionnement de l'injecteur. Le cône d'injection ne vous causera **aucun souci** s'il est dimensionné comme indiqué au paragraphe "Dimensionnement de l'injecteur".

- Pour effectuer le réglage, mettez la chaudière au timbre et alimentez avec de l'eau de plus en plus chaude (mélange eau froide/eau de vidange de la chaudière ; notez que celle-ci ne dépasse guère 65°C, suite à l'évaporation d'une partie de celle-ci) dont vous mesurez la température. Normalement la température limite de cette eau permettant tout juste le fonctionnement correct est inférieure à celle que vous avez utilisée dans vos calculs. Démontez la tuyère vapeur, et réduisez légèrement l'épaisseur de l'extrémité de la tuyère vapeur après l'avoir montée dans le mandrin d'un tour, par usage de papier abrasif fin. Opérez prudemment en plusieurs fois, avec essais intermédiaires, jusqu'à atteindre le débit d'eau donnant la température limite prévue. Le réglage effectué, tracez la droite  $\theta_3 \text{ limite} = f(p_1)$ .

### 3/ Montage

- Faites la prise de vapeur le plus loin possible du niveau d'eau dans la chaudière. Une prise dans le dôme de vapeur serait idéale. Utilisez au besoin un séparateur d'eau. N'utilisez pas de vapeur surchauffée (condensation plus difficile dans le cône de mélange de l'injecteur).

- Utilisez une vanne de vapeur **parfaitement étanche** lorsqu'elle fermée. En général, les fuites de la vanne vapeur constituent la principale source de réchauffement du corps d'injecteur.

- Si vous pensez être **sûr** de pouvoir maintenir la température du corps d'injecteur inférieure à 50 ou 60°C avant le fonctionnement, vous pouvez le monter en aspiration. Personnellement, bien qu'utilisant des vannes vapeur spécialement conçues pour minimiser les fuites, même au bout d'une longue utilisation, je n'ai pas cette certitude. C'est pourquoi je vous **conseille fortement** de le monter en charge, à un endroit accessible pour pouvoir le démonter facilement. L'arrivée d'eau avant ouverture de la vanne vapeur suffit parfaitement à refroidir l'injecteur.

**Nota** : Si la vanne vapeur fuit de façon excessive, le corps d'injecteur peut être porté à une température supérieure à 100°C, **ce qui arrêterait le débit d'eau, même en charge**. D'où l'intérêt, dans tous les cas, d'une vanne de vapeur bien étanche.

- Calculez les pertes de charge dans les tuyaux de vapeur et d'eau et maintenez les dans les limites indiquées précédemment en utilisant des diamètres appropriés. Ne faites pas de coudes trop raides.

- Avant raccordement à l'injecteur, nettoyez soigneusement les tuyauteries en les soufflant à l'air comprimé ou par tout autre moyen à votre convenance.

- Utilisez une vanne ¼ de tour pour l'eau. Sa dimension doit être suffisante pour qu'ouverte en grand, sa perte de charge soit négligeable (quelques cm d'eau pour le débit de l'injecteur).

- Assurez vous qu'il n'y a pas de prise d'air dans la tuyauterie d'arrivée d'eau (à la vanne par exemple)

6/ L'angle au sommet du cône de mélange étant  $9^\circ$  ( $\text{tg } 9^\circ = 0,158$ ), la profondeur du chanfrein d'entrée d'eau étant fixée à  $\Phi_4$ , et en utilisant la disposition de la figure B, la longueur L du cône de mélange est donnée par :

$$L = \Phi_4 + 6,3[\Phi_2 - \Phi_4 + 2e + 2E]$$

Avec les valeurs précitées pour  $\Phi_2$ ,  $e$ ,  $E$ , on obtient

$$L = 13,4\Phi_4$$

Selon la disposition de la figure A, on aurait eu un peu plus que :

$$L = \Phi_4 + 6,3[\Phi_2 - \Phi_4]$$

Dans les injecteurs décrits on arrive à  $L = 11,2\Phi_4$

7/ La longueur du  $\frac{1}{2}$  cône d'injection situé près de la tuyère vapeur étant  $K_4\Phi_4$  (avec  $4,4 < K_4 < 4,9$ ), l'écartement entre les  $\frac{1}{2}$  cônes est donné par :

$$\pi E \left[ 0,158 \left( L - K_4\Phi_4 - \frac{E}{2} \right) + \Phi_4 \right] \geq \frac{9\pi}{4} \Phi_4^2$$

d'où :

$$E \geq 6,3 \left[ 0,158(L - K_4\Phi_4) + \Phi_4 - \sqrt{[0,158(L - K_4\Phi_4) + \Phi_4]^2 - 0,71\Phi_4^2} \right]$$

Avec  $L = 11,2\Phi_4$  et  $K_4 = 4,4$  on obtient :

$$E \geq 1,14\Phi_4 \text{ (injecteurs décrits).}$$

Avec  $L = 13,4\Phi_4$  et  $K_4 = 4,9$  on obtient :

$$E \geq 1,01\Phi_4$$

En pratique, dans les 2 cas, on peut prendre :

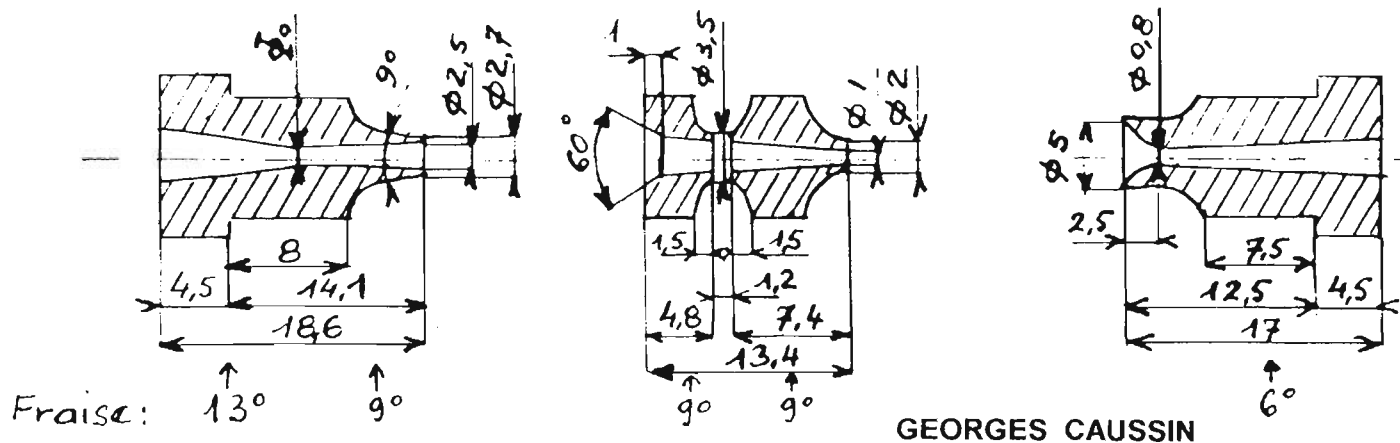
$$1,15\Phi_4 \leq L \leq 1,25\Phi_4$$

On n'obtient aucun avantage sensible à aller au delà de  $1,25\Phi_4$

**Résumé :** Les divers cônes correspondant à une disposition de l'ajutage annulaire selon la fig B (l'appareil est d'un emploi plus souple, mais d'un réglage plus délicat) sont représentés ci-dessous. L'unité de cotation est le diamètre de sortie  $\Phi_4$  du cône de mélange. Les valeurs de  $\Phi_0$  dépendent du timbre  $p_T$  de la chaudière et sont pour  $\theta_3 = 35^\circ C$  :

$p_T$	4	5	6	7	8	9
$\Phi_0$	1,65	1,48	1,34	1,23	1,16	1,10

Nota : Retranchez 1 à  $p_T$  pour avoir la pression lue au manomètre.

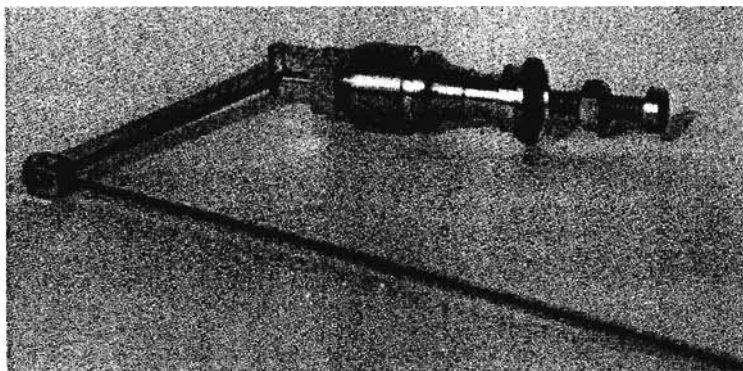


## CONSTRUCTION

d'un MODELE de  
LOCOMOTIVE 0 3 0  
CORPET - LOUVET  
en écartement 5

(suite de la page 15)

La partie supérieure reçoit une chape dont la base carrée mesure 8x8 x 3mm. Cet élément permet l'articulation du levier de commande de 57mm de long, dont l'autre extrémité est munie d'une petite chape sur laquelle la tirette de  $\varnothing 1$  est rivetée.



François KAUFFMANN

- Ne serrez pas exagérément les raccords de la tuyauterie à l'injecteur, en particulier celle de l'arrivée vapeur : une légère déformation du corps peut s'ensuivre, pouvant d'ailleurs être plastique donc permanente. Ceci modifierait la section  $\omega_3$  de l'ajutage annulaire dont vous connaissez l'importance.

- Avant stockage prolongé de votre machine, démontez l'appareil, nettoyez-le sous un jet d'eau, détartrez le s'il y a lieu (certains détartrants pour cabinets conviennent, sinon utilisez de l'acide chlorhydrique dilué au 1/10 dans l'eau). Rincez soigneusement à l'eau pure, puis laissez sécher complètement pour éviter toute formation de vert de gris ( $\text{CO}_3\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ). Remontez. Cette simple précaution vous évitera beaucoup d'ennuis ultérieurs.

#### 4/ Utilisation

- Alimentez votre appareil avec de l'eau très propre, sans matières en suspension. Faites attention à sa température : puisque vous avez tracé précédemment le graphe

$\theta_3 \text{ limite} = f(p_1)$ , vous connaissez les limites de fonctionnement possible.

- L'emploi de l'injecteur se résume à :

a/ Ouvrir en grand l'arrivée d'eau

b/ Ouvrir en grand l'arrivée de vapeur

c/ Si la pression de vapeur est faible (mais supérieure à la pression minimale de fonctionnement) et si l'eau coule par le trop-plein, réduire progressivement l'arrivée d'eau par action sur la vanne d'arrivée d'eau jusqu'à la cessation de l'écoulement du trop-plein.

- Avec les plus petits injecteurs (cas de l'injecteur 0,7ℓ), il peut être nécessaire dans ce cas d'aller jusqu'à une fermeture complète de la vanne d'eau durant un bref instant, puis de la rouvrir ensuite.

Ces manœuvres sont nécessitées par le passage du fonctionnement indiqué figure D au fonctionnement indiqué figure E.

- On constate, surtout avec l'injecteur 1,8ℓ, qu'un réglage par la vanne d'eau rend le fonctionnement possible même en dessous de la pression limite de fonctionnement. Le débit d'eau est cependant dans ce cas fortement réduit. Ainsi, avec l'injecteur 1,8ℓ, on peut faire fonctionner l'appareil jusqu'à  $p_1 = 3$  avec  $\theta_3 = 40^\circ\text{C}$ , avec un débit d'eau réduit de plus de la moitié. Le rendement mécanique de l'injecteur 1,8ℓ paraît plus élevé que celui de 0,7ℓ. À côté de raisons mineures telles que précision relative plus grande de l'usinage, la raison principale en est sans doute l'augmentation du volume du cône de mélange, proportionnel au cube du rapport des dimensions, alors que les débits ne sont proportionnels qu'au carré de ce rapport ; cela entraîne vraisemblablement une condensation de la vapeur dans de meilleures conditions.

**d/ Si la température de l'eau dépasse un peu la température limite permise, la chaudière étant au timbre, on peut encore fonctionner en réduisant l'arrivée de la vapeur par action sur sa vanne.**

#### CONCLUSION

J'espère avoir réussi cette fois-ci à faire le tour du sujet sans avoir laissé trop de points dans l'ombre. Si vous avez assimilé les principes de dimensionnement indiqués, vous pourrez calculer et dessiner l'injecteur convenant à votre application particulière, en vous inspirant au besoin des injecteurs décrits. Si de plus, la fabrication est réalisée correctement (je suis sûr que cela ne devrait vous poser aucun problème), je pense pouvoir vous garantir que l'appareil fonctionnera du premier coup, presque selon les caractéristiques que vous aurez prédéterminées. Puisque j'arrive à ce résultat à chaque injecteur que je construis (si je compte les reconages d'anciens appareils moins évolués et les reconages pour essais, j'en suis bien à 17 ou 18), il n'existe aucune raison, à ma connaissance, pour que vous n'y arriviez point vous aussi.

Par ailleurs, vous éprouverez la satisfaction de connaître ce qui se passe à l'intérieur de votre appareil lorsqu'il est en fonctionnement, et ce n'est pas, croyez moi, la moindre des choses.

**Georges CAUSSIN**

#### A L'OUEST QUOI DE NOUVEAU...

L'aiguillage de raccordement de la 2ème voie est en place et permettra de placer maintenant les droites et courbes allant vers la gare.

Maintenant recouverte en ardoise et zinc et quelques portes sont placées, la mise en place des quais, la pose d'un portique à signaux et du dépôt de charbon avec sa grue sont prévus pour 1993.

**Matériel roulant :**

- 1 BB401 électrique 3cv 24V de 600 kgs tirant 40 p.
- 1 BB402 hydrostatique 8cv therm. de 800 kgs 80 p.
- 2 Y7400 électriques 1cv 24V de 160 kgs tirant 20 p.
- 20 Wagons (2 rames de 40 personnes)
- 4 Wagons basculants
- 1 Wagon à tout faire

**CHEMIN DE FER TOURISTIQUE  
EN COTENTIN  
50 MARCHESIEUX (Centre Louis Harvey)  
Route de Périers - Saint-Lô**

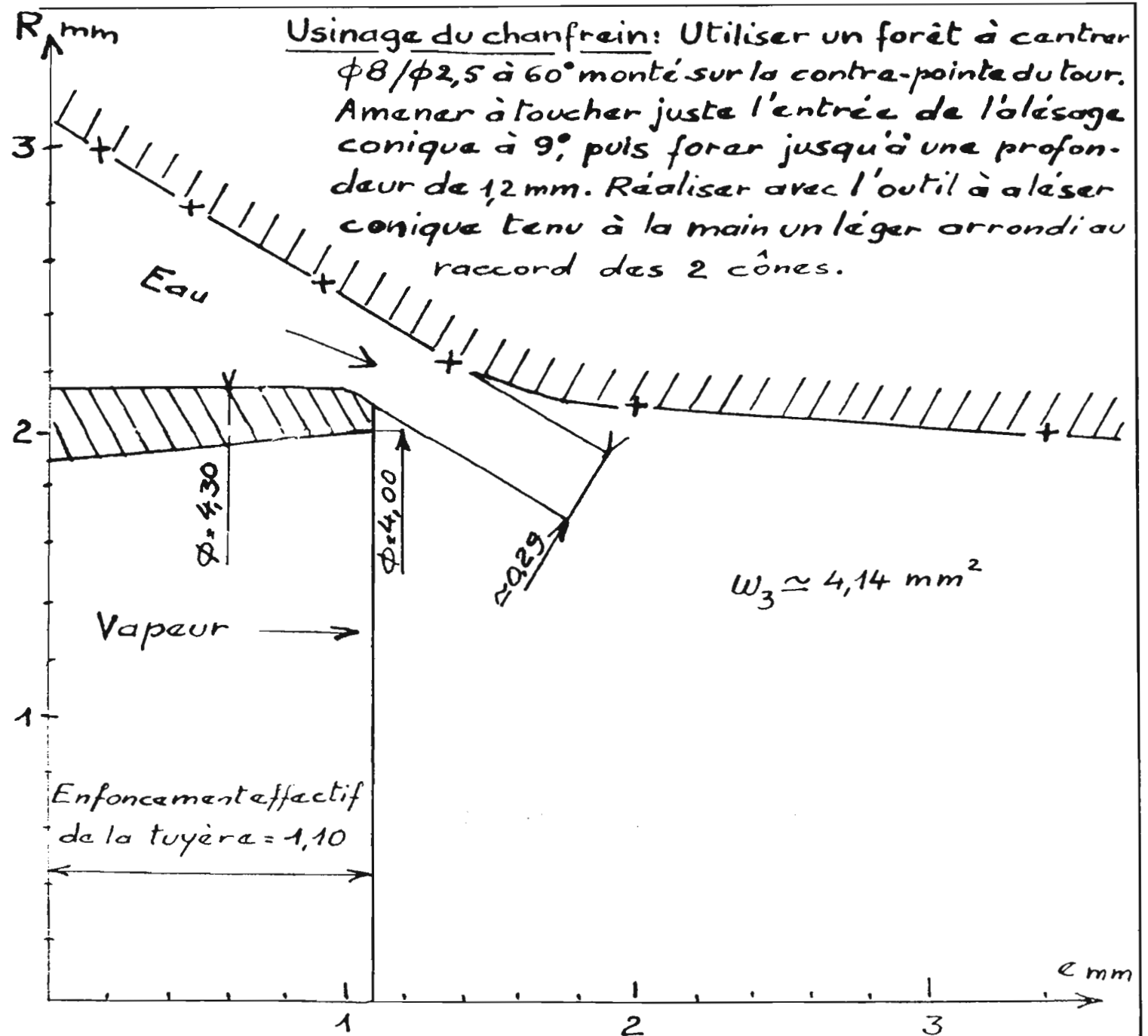
Le tunnel va être recouvert afin d'assurer l'étanchéité permettant au matériel d'être bien au sec...

Nous vous invitons à venir nombreux les 29, 30 et 31 MAI (Pentecôte) et / ou un week-end de votre choix car ce beau circuit a été fait pour vous.

Cordialement, Robert DELBAUCHE

Pour le public, le circuit est ouvert :

- tous les week-end d'avril à fin octobre, à partir de 14 h 30
- tous les jours en juillet et août, à partir de 14 h 30
- et sur Rendez-vous, tél. 33 05 15 54.



Débit d'eau mesuré sans vapeur sous charge de 360 mm = 440 g/min

PLAN N° 07

# INJECTEUR 1,8L

RELEVÉ DU PROFIL DU  
CHANFREIN D'ENTRÉE EAU



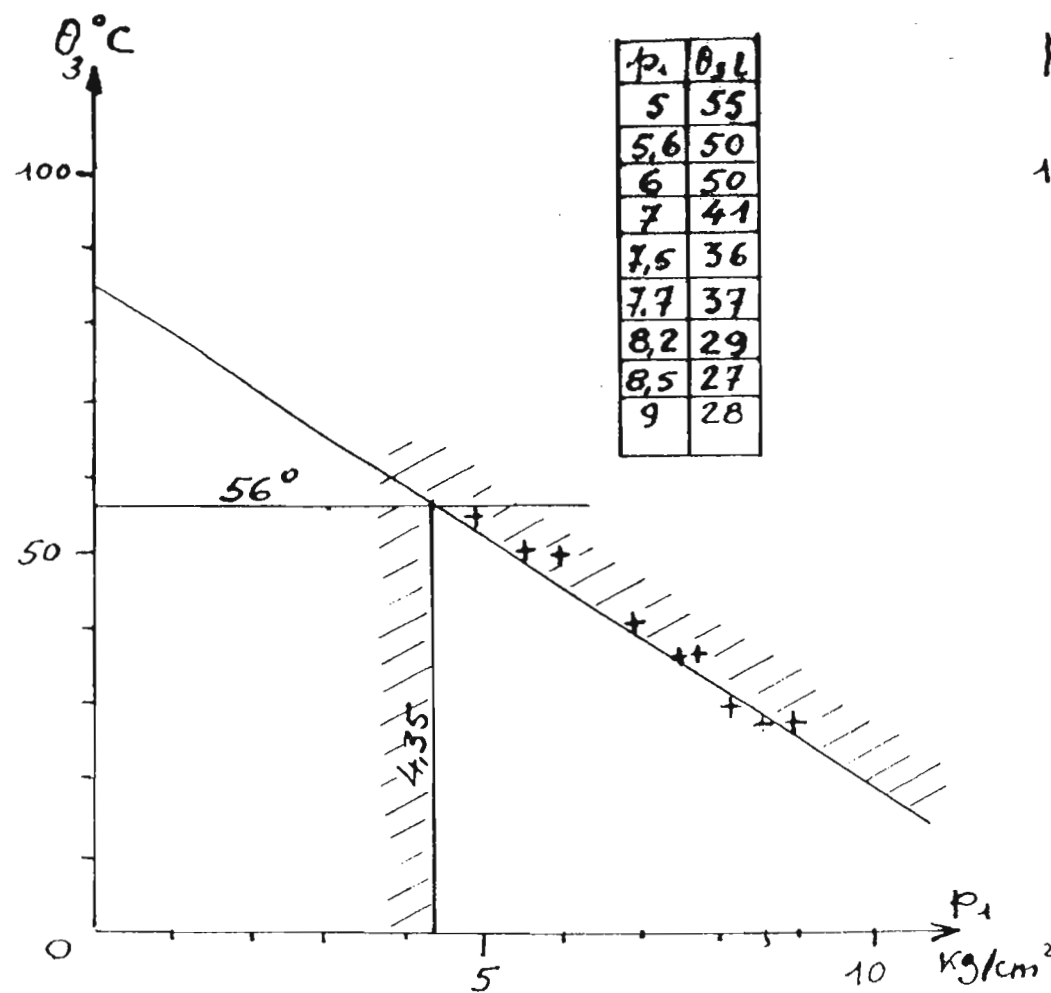


FIG. 1

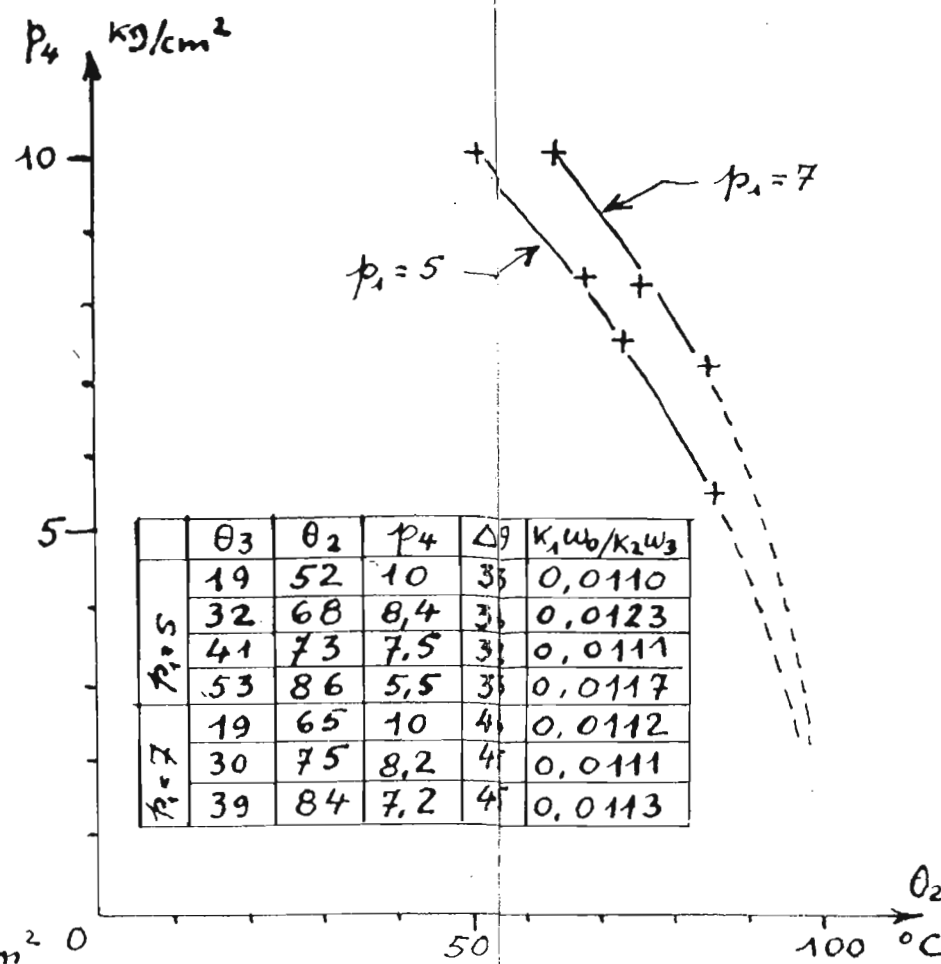


FIG. 2

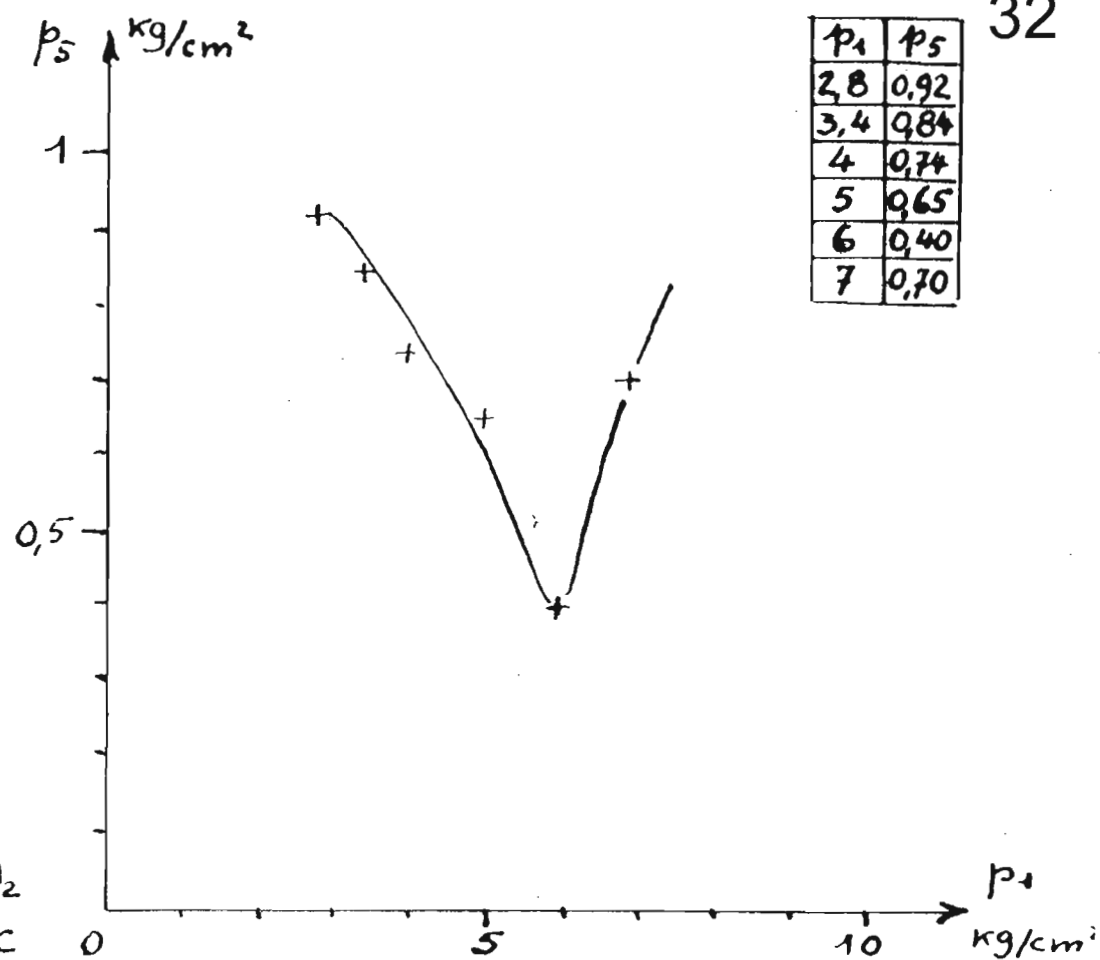


FIG. 3

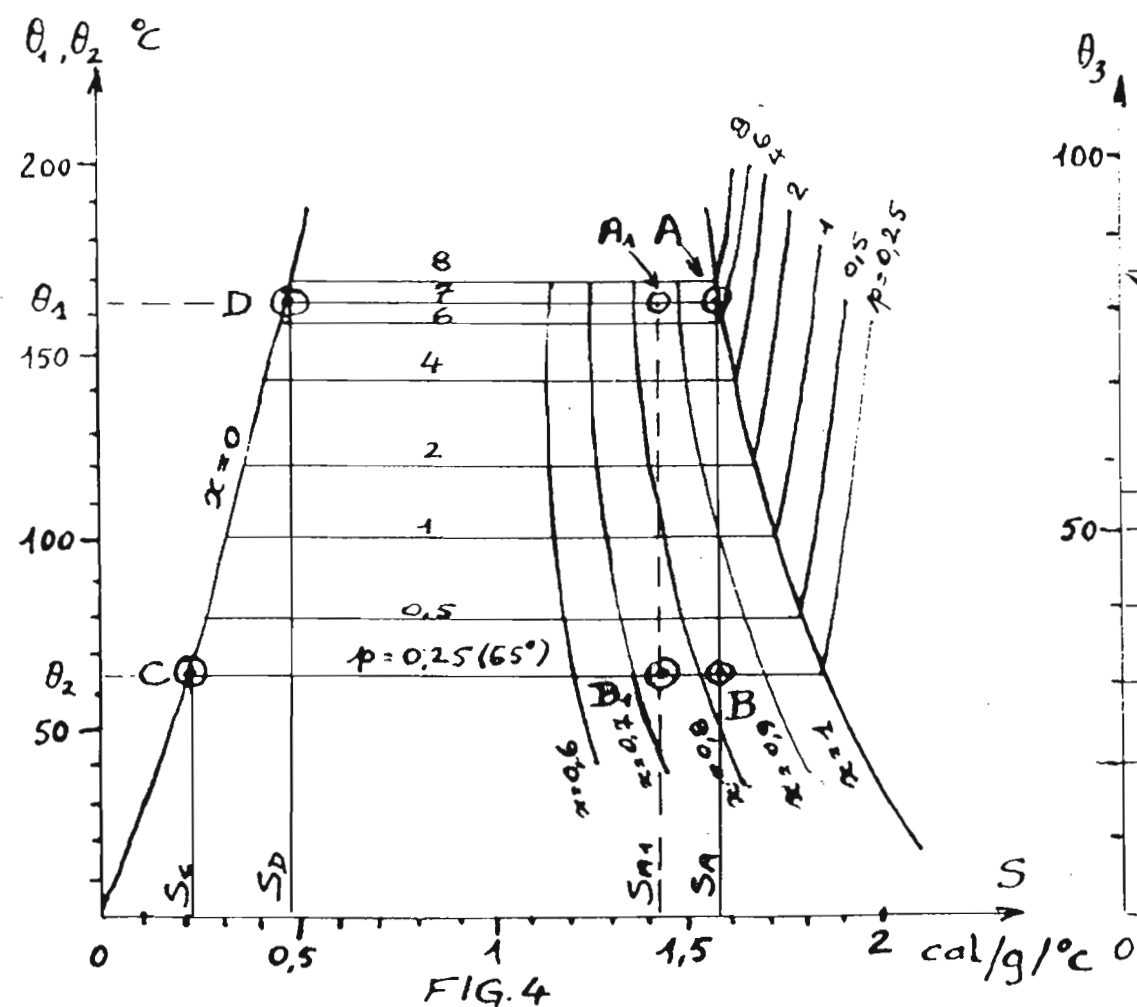


FIG. 4

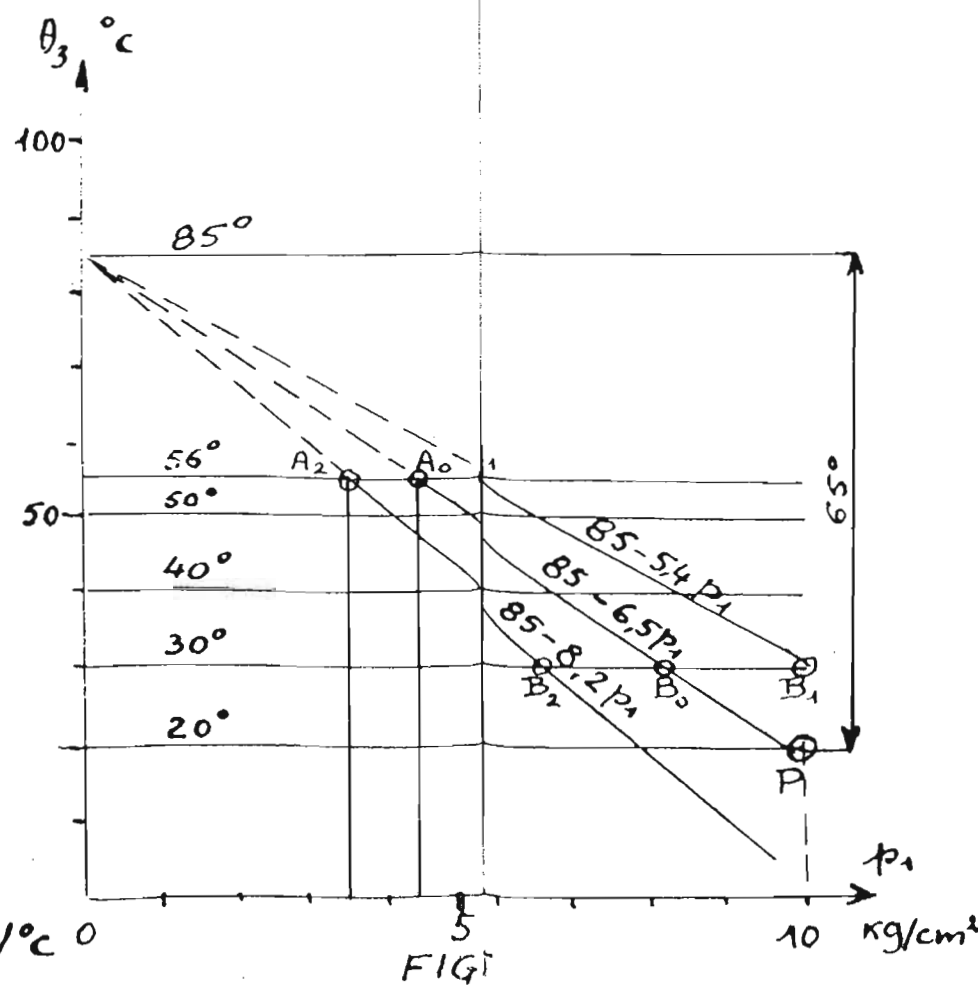


FIG. 5

### CALCUL DE LA CHALEUR UTILISABLE $\lambda_1 - \lambda_2$

La figure 4 est un diagramme entropique simplifié comportant seulement des isobares (de  $p = 0,25$  à  $p = 8$ ) et des courbes à titre constant (de  $x = 0$  à  $x = 1$ ). Le point de fonctionnement choisi est  $p_1 = 7$ ,  $\theta_2 = 65^\circ$  (fig. 2) d'où  $p_2 = 0,25$  dans la région liquide + vapeur. La détente supposée adiabatique est une droite isoentropique AB si la vapeur à  $p_1$  est sèche ( $x = 1$ ) ou  $A_1 B_1$  si elle est humide (ici  $x = 0,85$ ).  $\lambda_1 - \lambda_2$  est donné par la surface de ABCD (ou  $A_1 B_1 C D$  avec  $x = 0,85$ ). Elle vaut :  $(\theta_1 - \theta_2) \left( S_A - \frac{S_C + S_D}{2} \right) = 122 \text{ cal/gr}$   $x = 1$ , ou  $107 \text{ cal/gr}$  dans le cas  $x = 0,85$ .

PLAN N° 08

**INJECTEUR-FIGURES**