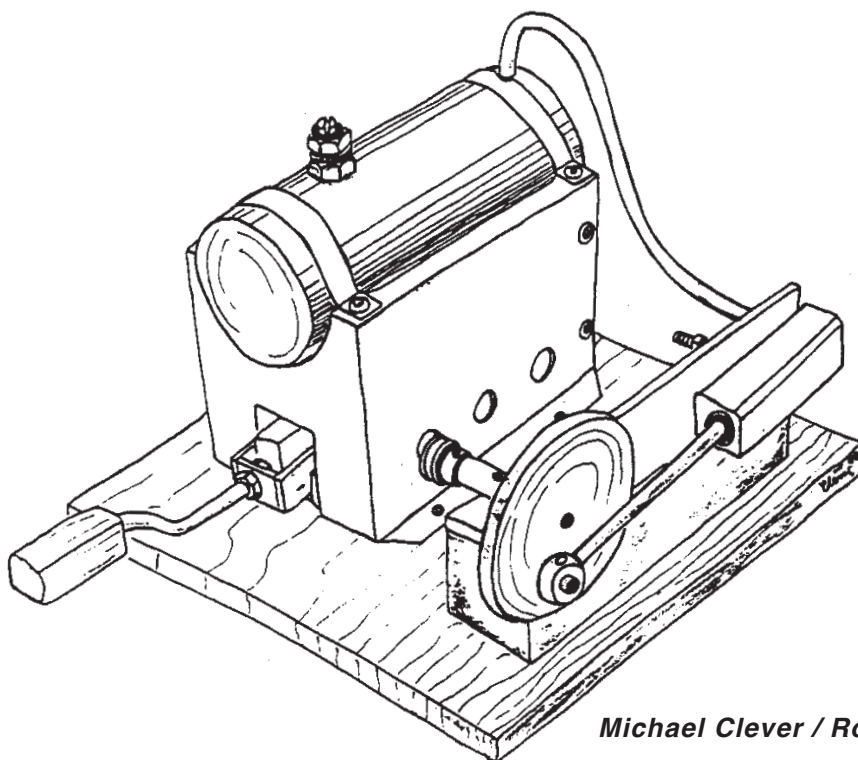


OPITEC

Hobbyfix

1 1 2 . 4 2 0

M a c h i n e a V a p e u r



Michael Clever / Rolf Kiefer

Données techniques :

Chaudière :

Volume de la chaudière : 110 cm³
Pression de travail : 1,5 bar
Pression de test : 4,5 bar
Volume de rempliss. : 50 - 60 ml

Mécanisme :

Diamètre du cylindre : 8 mm
Course du piston : 24 mm
Vitesse de rotation à vide : env: 800 rpm
Année de construction :

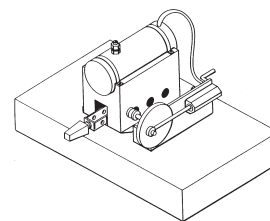
SOMMAIRE

PAGE

Principes physiques de la machine à vapeur	6
Fonctionnement de la machine à vapeur oscillante	7
Outils et machines nécessaires	9
Mesures de sécurité pour la construction et l'utilisation de chaudières à vapeur	10
Construction du modèle	10
Indication pour la réalisation du générateur de vapeur	11
- Coulisse de chauffage	12
- Support de chaudière	13
- Chaudière	14
- Soupape de sécurité	15
Indication pour la réalisation du convertisseur de vapeur	16
- Plans de construction	17
- Liste des pièces et indications de travail	18
- Convertisseur de vapeur	19
- Cylindre	20
- Repérage de l'admission et de l'échappement	21
Mise en route et entretien	21
Trucs pratiques	23

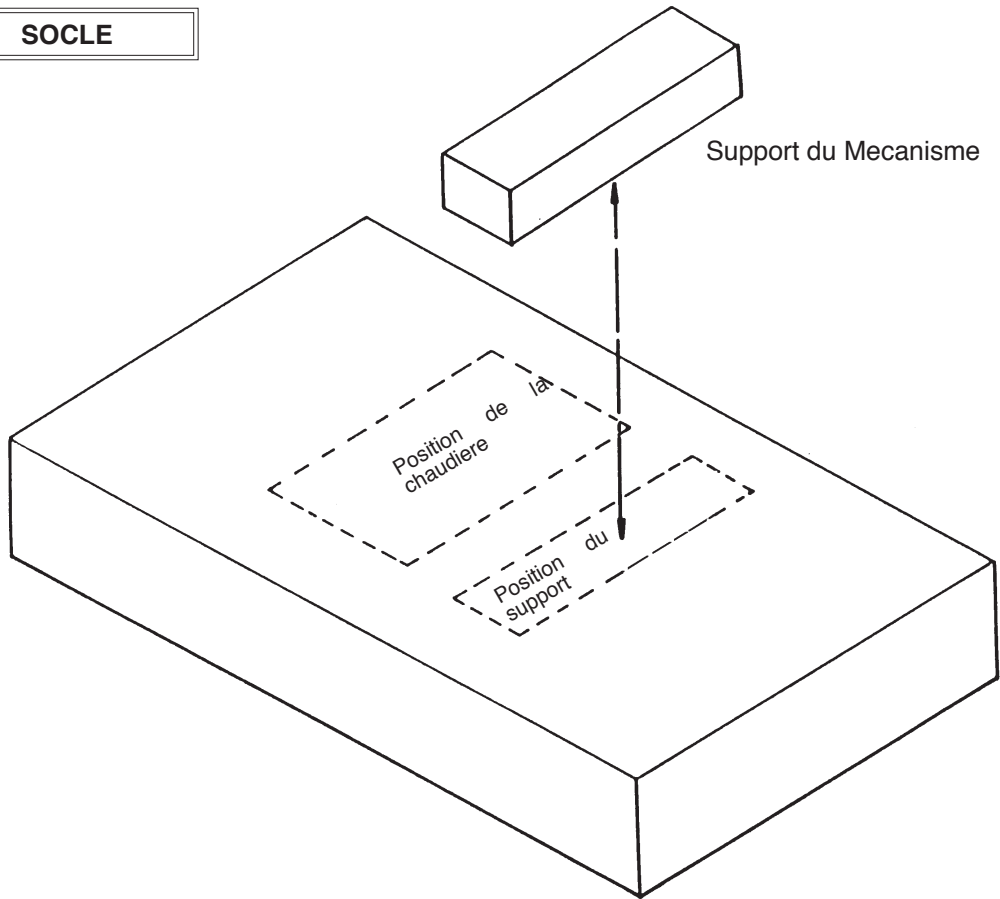
KIT OPITEC DE MACHINE A VAPEUR

1kit individuel comprend les pièces pour la réalisation d'UNE machine à vapeur.
(Le combustible solide et la soudure à l'argent sont livrables à part).

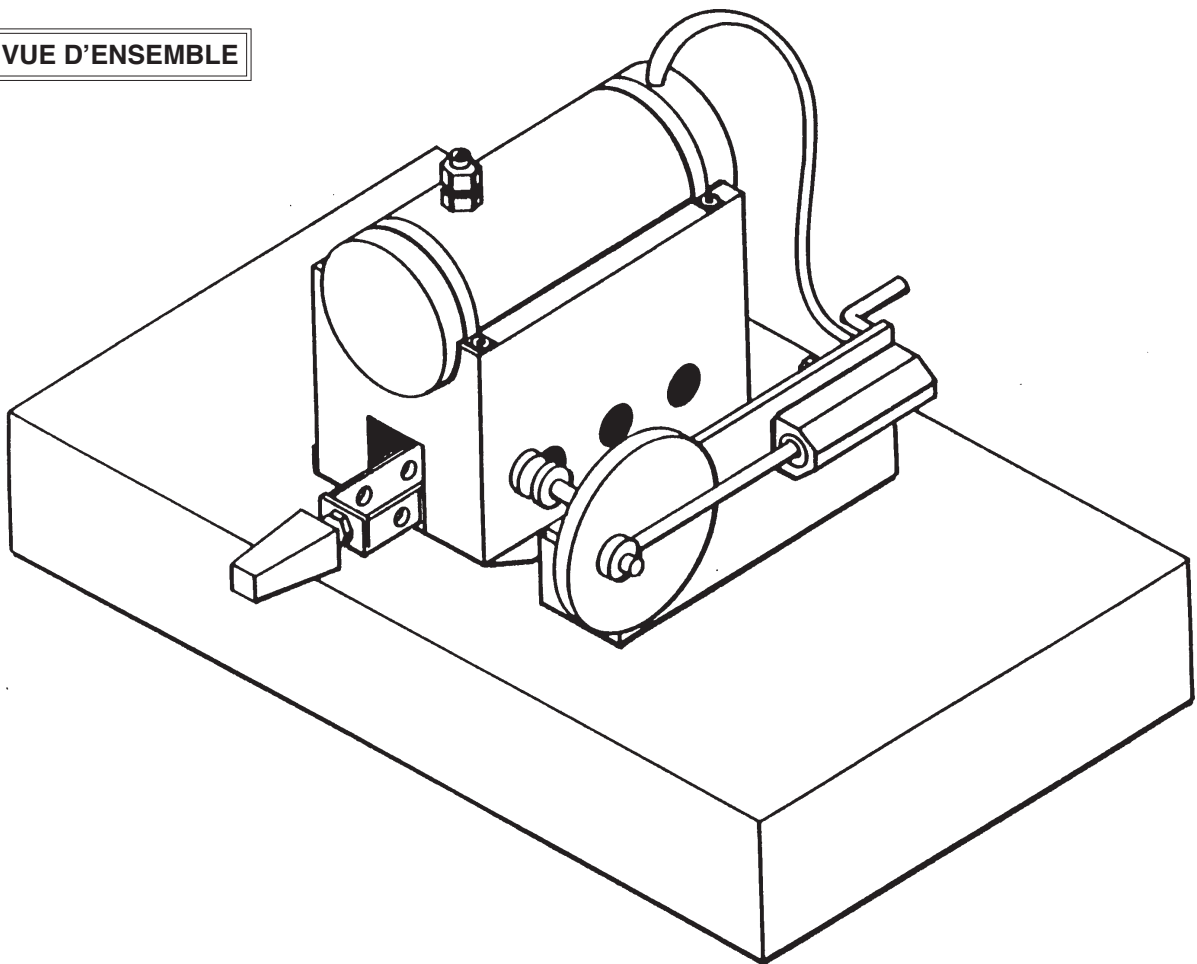


N° sation	Qté	Désignation	Dimension	Utili-
1	1	Profil en U en Aluminium	16,5 x 100	Coulisse de chauffage
2	1	Profil en U en Aluminium	19,5 x 100	Rail de guidage
3	2	Vis à tête	2,9 x 13	Fixation du rail
4	4	Rondelles zinguées	3,2	Fixation du rail
5	1	Encrou 6 pans	M4	Fixation de la poignée
6	1	Vis cylindrique	M4 x 25	Fixation de la poignée
7	1	Tôle ZnCu63	0,4 x 165 x 75	S. de chaudière + collier
8	8	Rivets borgnes cuivre	3 x 4	S. de chaudière + collier
9	5	Vis à tête	2,2 x 6,5	Fixation du support
10	1	Cylindre ZnCu63	40 x 1 x 100	Chaudière
11	2	Couvercles ZnCu58	40 x 3	Chaudière
12	1	Encrou 6 pans ZnCu63	M6	Bouchon de chaudière
13	1	Vis 6 pans ZuCu	M6 x 10	Soupape à ressort
14	1	Vis partiellement fileté	M3 x30	Soupape à ressort
15	1	Ecrou ZnCu	M3	Soupape à ressort
16	1	Ressort de pression Nirosta	0,4 x 4 x 17,5 x 8,5	Soupape à ressort
17	1	Joint d'étanchéité en caoutchouc	3 x 1	Soupape à ressort
18	1	Joint en stratifié de papier	10 x 5,8 x 1	Soupape à ressort
19	1	Equerre ZnCu	100 x 20 x 20 x 2	Support/Paliers
20	4	Vis à tête cônica ZnCu	3 x 20	Fixation du support
21	1	Cylindre ZnCu	40 x 15 x 15	Convertisseur de vapeur
22	1	Piston ZnCu	8 x 12	Convertisseur de vapeur
23	1	Ressort de pression Nirosta	0,4 x 4 x 17,5 x 8,5	Palier de cylindre
24	1	Ecrou ZnCu	M3	Palier de cylindre
25	1	Tige fileté Acier	M3 x 20	Palier de cylindre
26	1	Rondelle ZnCu	3,2	Palier de cylindre
27	1	Enrouleur ZnCu	4 x 68	Bielle
28	1	Rondelle ZnCu	50 x 4	Volant
29	1	Tige cylindrique Acier	4 x 10	Axe excentré
30	1	Bague de fixation ZnCu		Palier de Bielle
31	1	Tube ZnCu	6 x 1 x 20	Palier de volant
32	1	Tige acier	4 x 36	Axe de volant
33	1	Rondelle ZnCu	4,3	Palier de volant
34	1	Enrouleur ZnCu		Roue d'entraînement
35	1	Tyon Cuivre	4 x 1 x 160	Conduit de vapeur
36	1	Planchette de bois	140 x 1x 160	Socle
37	1	Pièce du Bois dur	100 x 20 x 25	Support de mécanisme
38	1	Cylindre	8 x 50	Poignée

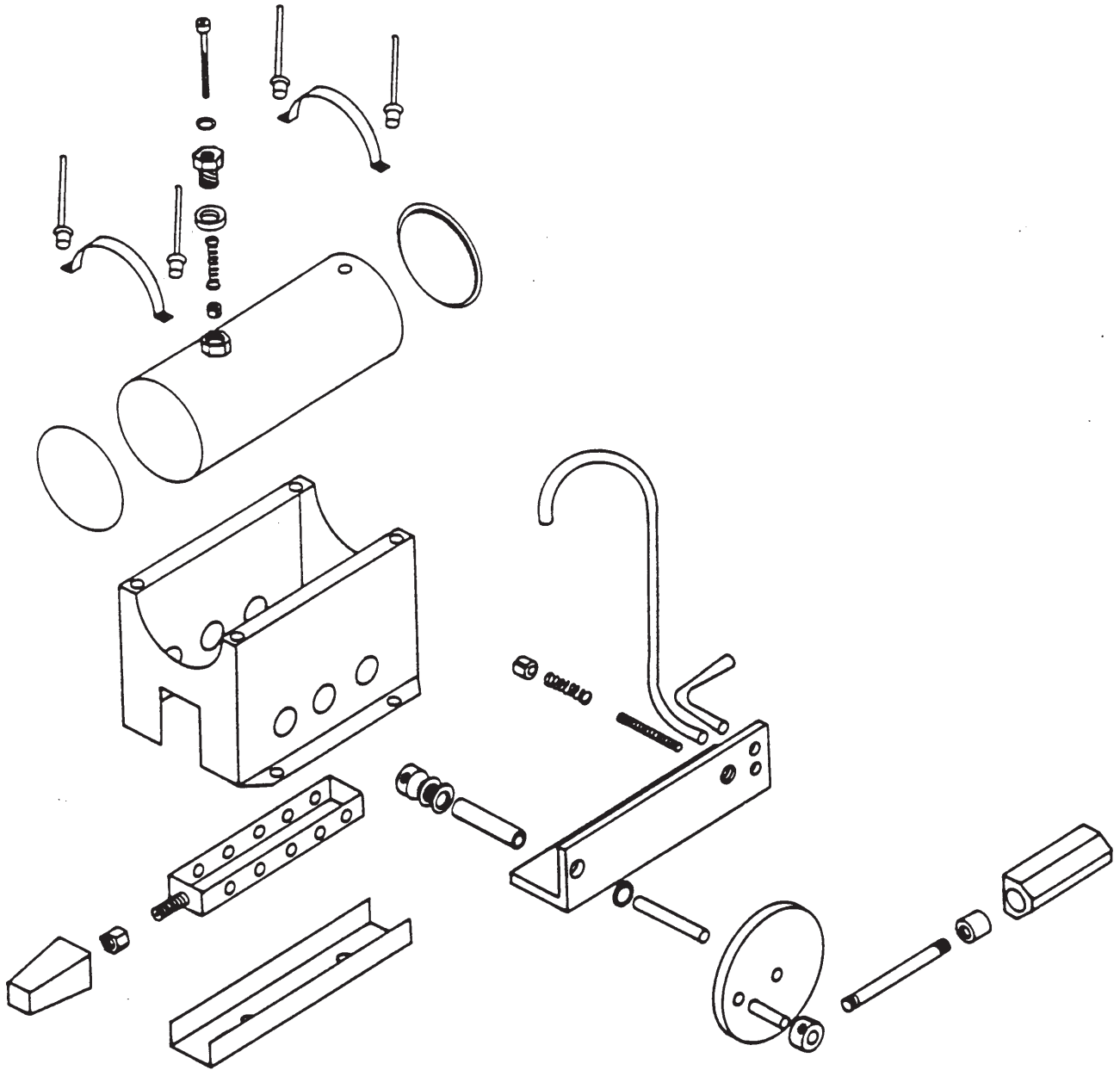
SOCLE



VUE D'ENSEMBLE



Pieces detachees



PRINCIPES PHYSIQUES DE LA MACHINE A VAPEUR

GENERALITES:

Les machines à vapeur appartiennent à la famille des convertisseurs d'énergie, qui convertissent l'énergie chimique en chaleur, puis la chaleur en énergie mécanique.

La production de chaleur s'effectue dans la plupart des cas par la combustion de combustibles solides, principalement de la houille.

On range la machine à vapeur parmi les machines à moteurs thermiques à combustion externe, car le combustible est brûlé en dehors du corps de l'appareil. (Contrairement aux moteurs à combustion interne, où la combustion se produit à l'intérieur du cylindre de travail, comme dans le moteur de voiture)

Les machines à combustion externes utilisent un fluide (ici la vapeur d'eau) pour véhiculer l'énergie calorifique produite. La transformation en énergie mécanique se fait en deux étapes.

1. Dans la chaudière, l'énergie calorifique provoque la dilatation du gaz (vapeur d'eau)
2. La partie mécanique transforme la dilatation en énergie mécanique en provoquant une baisse de pression.

VAPORISATION ET CONDENSATION

La transformation d'un corps de l'état solide à l'état gazeux ou de vapeur, est appelé vaporisation.

La température de cette transformation est appelée température d'ébullition.

Cette transformation nécessite une quantité d'énergie spécifique, la chaleur de vaporisation.

Alors qu'il faut seulement 4.2 Joule pour échauffer 1 gramme d'eau de 1°, il faut 2257 Joule pour vaporiser 1 gramme d'eau, (dans les conditions suivantes: 100°C et 1013 hPa).

Ce besoin d'énergie spécifique peut se comprendre quand on sait que le volume de vapeur d'eau est 1673 fois plus grand que le volume de la même quantité d'eau liquide.

Si la vapeur d'eau ne dispose pas du volume suffisant, il se produit une augmentation de la pression qui permet le travail du piston.

La pression (designée P), correspond à une force (F) exercée sur une certaine surface (S).

L'augmentation de la pression modifie la température d'ébullition d'un corps: A 2 bar, par exemple, l'eau bout à 120°C au lieu de 100°C dans des conditions de pression atmosphérique normale.

On utilise ce phénomène dans la cocotte-minute, qui permet d'atteindre des températures supérieures à 100°C pour la cuisson des aliments.

Le phénomène inverse de la vaporisation est appelé condensation.

Ce phénomène libère une énergie égale à celle nécessaire pour la vaporisation: la chaleur de condensation.

La buée sur des surfaces froides est en fait la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air mais invisible.

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE A VAPEUR OSCILLANTE

Dans le cadre scolaire, il n'est pas possible de réaliser une machine à vapeur à tiroir: c'est à la fois trop long et trop délicat.

Il est cependant possible de construire une machine à vapeur oscillante.

L'avantage de cette machine réside en particulier dans le fait qu'on peut se passer de crosse de piston et de tiroir pour la distribution de vapeur.

Plus simple, cette machine est néanmoins efficace, puisqu'elle a existé au temps des bateaux à vapeur!

On a cependant assez rapidement atteint les limites de rentabilité de cette technique, car il était difficile de contrôler les énormes masses en mouvement. De plus on risquait en permanence un surchauffe du mécanisme qui aurait stoppé la machine.

La machine à vapeur oscillante appartient à la famille des machines pleine pression, pour lesquelles l'admission et l'échappement de la vapeur sont déterminés par les changements de position du cylindre. La mobilité du cylindre est obtenue en le fixant sur un axe autour duquel il peut osciller. Le cylindre est plaqué contre la surface du mécanisme grâce à un ressort et fixé par cet axe. Les deux surfaces de frottements doivent être le plus lisse possible.

Dans le cylindre il y a un trou. Dans la surface du mécanisme contre laquelle il oscille se trouvent deux trous: un pour l'admission de la vapeur, un pour l'échappement.

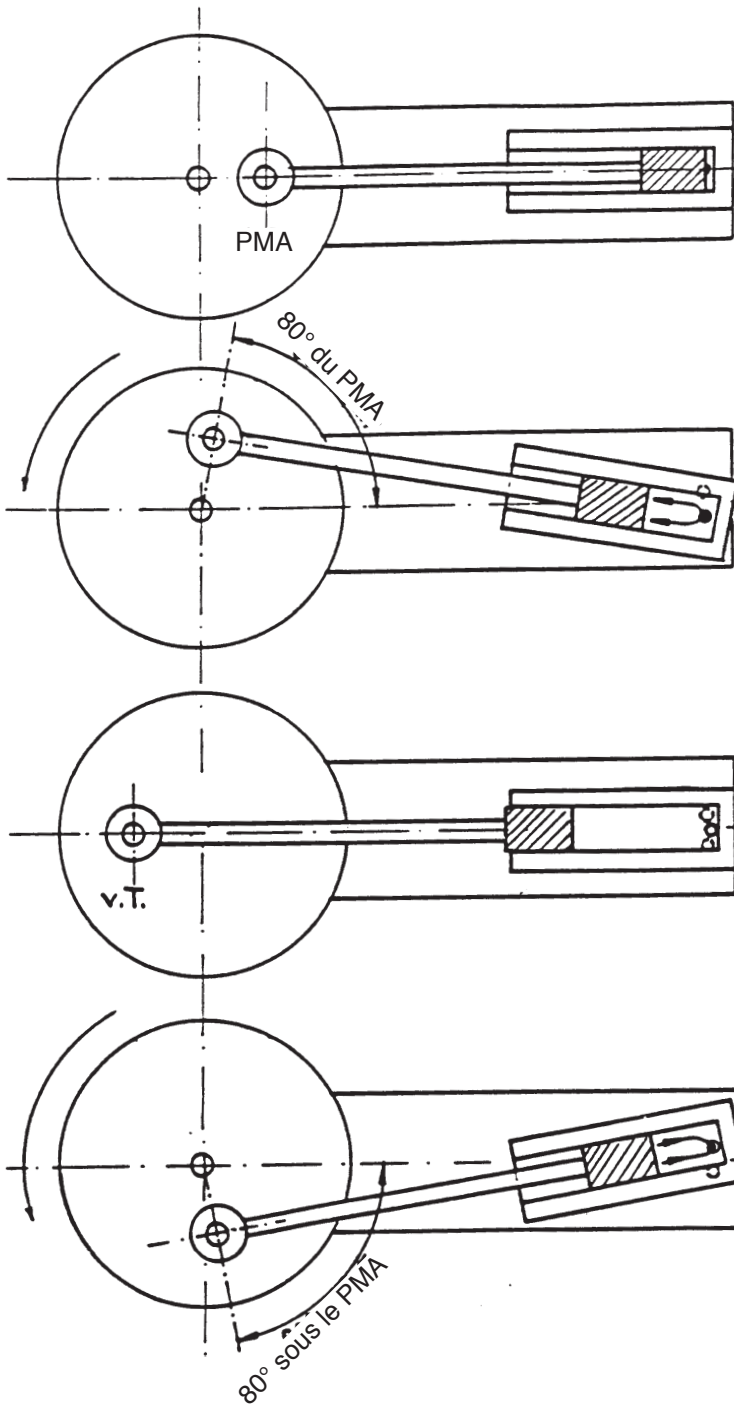
Lorsque le cylindre oscille, il met son trou successivement en face de l'admission, puis en face de l'échappement.

Lorsque le cylindre est en face du trou d'admission, la vapeur sous pression entre dans le cylindre et pousse le piston. Ce mouvement de translation du piston est transmis via la bielle au volant et est transformé en mouvement de rotation.

L'inertie du volant repousse le piston qui bascule en même temps:

il se met alors en face du trou d'échappement, et la vapeur qu'il contient est libérée. Puis, toujours en raison de l'inertie des pièces, il se retrouve en face du trou d'admission, et le cycle recommence.

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE A VAPEUR OSCILLANTE



POSITION 1

Le piston est à environ 1 mm du bout du cylindre.

Les deux trous sont obturés, le palier de bielle est au point mort arrière (PMA)

POSITION 2

Le palier de bielle est à environ 80° du (PMA), le trou du cylindre est alors en

face de l'admission de vapeur. La vapeur pénètre (flèches) dans le cylindre et pousse le piston.

POSITION 3

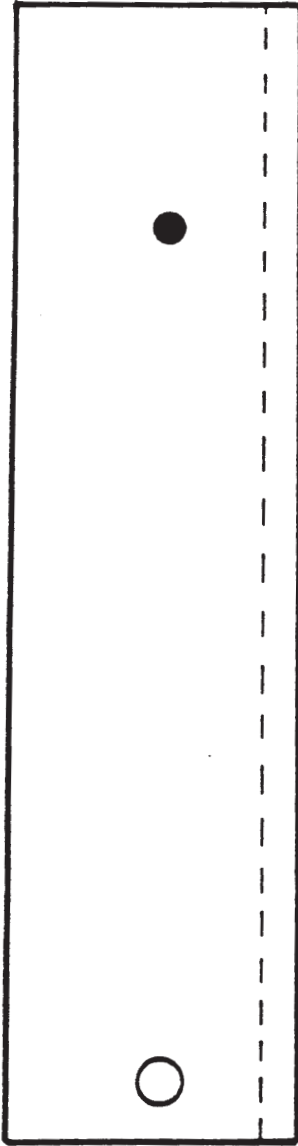
Le palier de bielle est au point mort de fin de course. Les deux trous sont obturés mais le volant continue son mouvement) cause de son inertie.

POSITION 4

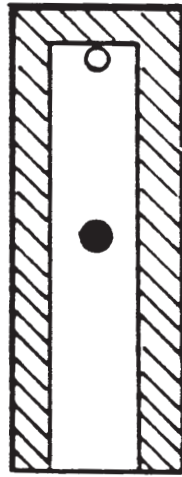
Le palier de bielle est à environ 80° sous le PMA. Le trou de cylindre est en face de l'échappement : la vapeur est évacuée vers l'extérieur (flèches).

vapeur trou de cylindre est en face

Equerre support



cylindre

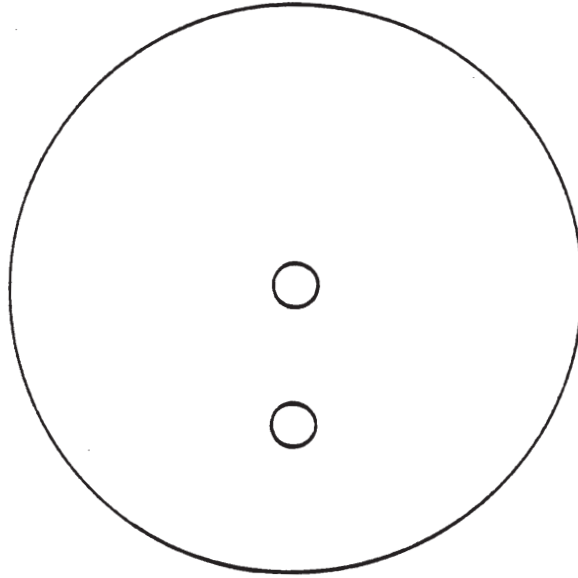


Recommandations:
 Decouper les plans des pièces et les assembler avec des attaches parisiennes.
 Truc:
 Réalisation d'un modèle en verre acrylique.

Bielle avec piston



Volant avec palier excentré



Plans pour la réalisation du modèle d'essai de la machine
 M 1,5 : 1

OUTILS ET MACHINES POUR LA CONSTRUCTION

- Scie à métaux à main
- Scie montée (avec lame pour métaux)
- Limes (taille 1, 2, 3, 4)
- Etau de machine
- Marteau de serrurier 200g
- Tournevis
- Pince coupante diagonale
- Equerre métallique (coute)
- Règle métallique
- Pied à coulisse
- Punaises
- Pointeau
- Forets (2-2. 5-3. 1-3. 5-3. 9-4-6mm)
- Taraud (M3-M6)
- Fraise cônica
- Alésoir (4 et 8mm)
- Foret à pointe de centrage
- Poissonneuse (0 40mm) ou scie à découpe
- Cisaille à tôle (droite et diagonale)
- Pince pour rivets borgnes
- Perceuse sur support
- Appareil de brasage fort avec bouteille de gaz (5 kg)
- Brûleur moyen et fin
- Plan de travail ignifuge (par exemple planche d'argile)
- Compresseur
- Pistoler à air
- Balance à courrier

MATERIAUX UTILES

- Pièces de métal et de bois
- Soudure à l'argent (40 %, 1,5mm)
- Décapant pour soudure à l'argent
- Soudure pour brasage tendre avec graisse décapante
- Colle (Résistante jusqu'à 150°C)
- Papier abrasif (Grain 100, 200, 280, 400, 500)
- Paille de fer (00, 000)
- Produit de polissage pour métal
- Huile pour machines
- Chiffon de coton

Mesures de sécurité pour la construction et l'utilisation de la machine à vapeur.

Bien qu'en matière de bricolage de chaudières on puisse se référer aux normes en vigueur qui autorisent la construction de véritables machines infernales, il est plus sage de se conformer dans le cadre scolaire aux normes DIN 600 70 (ou à la norme européenne DIN EN 71), pour prendre un minimum de risques.

Voici les recommandations les plus importantes de DIN 660 70 :

1. Pas d'arêtes et d'angles vifs.
2. Protection contre le corrosion.
3. Limitation de la température des pièces manipulées.
4. Chauffage avec des combustibles non dangereux, si possible solides.
5. Pression de travail et contenance de la chaudière limitée à 1.5 bar, respectivement 2 litres.
6. Une soupape de sécurité à ressort en matériau inoxydable limitant en permanence la pression à 3 bar (le double de la pression de travail).
7. La pression maximale supportée par la structure doit être de 4.5 bar (3 fois la pression de travail).

Les tests devront se faire sous l'eau ou par prise d'empreinte sous pression d'eau.

8. La chaudière doit être munie d'un dispositif permettant de connaître le niveau d'eau.

9. Chaque machine devra être référencée avec :

- Le nom du constructeur et l'année de fabrication
- La pression admise en service
- La capacité de la chaudière en litres
- La pression de test de résistance

Le dispositif évoqué à la consigne 8 n'est pas possible dans le cadre d'une réalisation scolaire. Il n'y a néanmoins pas de danger d'explosion de la chaudière: si l'eau venait à manquer, il se produirait au pire une surchauffe entraînant une perte d'étanchéité.

CONSTRUCTION DE LA MACHINE A VAPEUR

Choix des matériaux - Cuivre - Laiton

Pour la construction de machines à vapeur on utilise de préférence des métaux lourds non-ferreux, parce qu'ils conduisent bien la chaleur et se travaillent facilement.

Le matériau idéal pour la construction de la chaudière est le cuivre, qui résiste bien à la corrosion et qui est des meilleurs conducteurs de chaleur (la conductivité thermique du cuivre est quatre fois supérieure à celle du laiton).

Cet avantage devient un inconvénient lors du brasage fort; c'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser des pièces demi-finies en laiton.

Le laiton est un alliage de Cuivre (Cu) et de zinc (Zn) et il est proposé dans le commerce sous différentes formes: tiges, tubes, tôles.

Ils est facile à travailler et offre une solidité suffisante même pour des épaisseurs faibles. Il faut néanmoins savoir que le laiton vieillit et qu'il peut s'effriter après quelques années d'utilisation intensive.

Les alliages Zinc/Cuivre existent en divers pourcentages et avec des caractéristiques différentes (mou, demi-dur, dur). La rigidité et la dureté du laiton croissent avec l'apport de Zinc et d'autres composants et peuvent être encore augmentées par fromage à froid (par exemple laminage). On diminue la rigidité et la densité en recuisant à environ 800°C. A haute température, les alliages Zn/Cu deviennent cassants et s'effritent.

Essais :

Une bande de laiton se laisse difficilement plier. Le métal a tendance à revenir à sa forme initiale. Lors d'une recuisson, il devient tendre, se plie facilement et conserve la forme qu'on lui donne. Si on forge ensuite la pièce à froid, elle se plie à nouveau difficilement et ne garde pas la forme qu'on lui donne : la rigidité et la dureté du métal sont revenues à leur valeur initiale.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU CUIVRE ET DU LAITON

Désignation	Symbole	Composition	Densité	Température de fusion	Conductivité thermique	Résistance à la traction
Cuivre	Cu	99.9 % Cu	8.9g/cm ³	1083°C	372 W/m·K	~250 N/mm ²
Laiton	Cu-Zn	ex : 67 % Cu 33 % Zn	8.6g/cm ³	930-1100°C	93 W/m·K	~300-400 N/mm ²

INDICATIONS POUR LA REALISATION DU GENERATEUR DE VAPEUR

La construction démarre avec le socle ; il est en bois dur ou en contre-plaqué à couches plastique. Dimensions conseillées : 14 x 14 cm.

On réalise ensuite la coulisse de chauffage avec son rail de guidage à l'aide de profils en U en aluminium. L'utilisation de ce système coulissant permet un réglage précis de la combustion sans pièces supplémentaires. Ne fixer le rail sur le socle que lorsque le convertisseur de vapeur aura été terminé.

Avec les bandes de laiton on réalise le support de chaudière et les colliers de fixation. Nous recommandons de réaliser auparavant une maquette en carton à l'échelle pour bien se rendre compte de l'assemblage des pièces et éviter des erreurs de pliage lors du montage définitif.

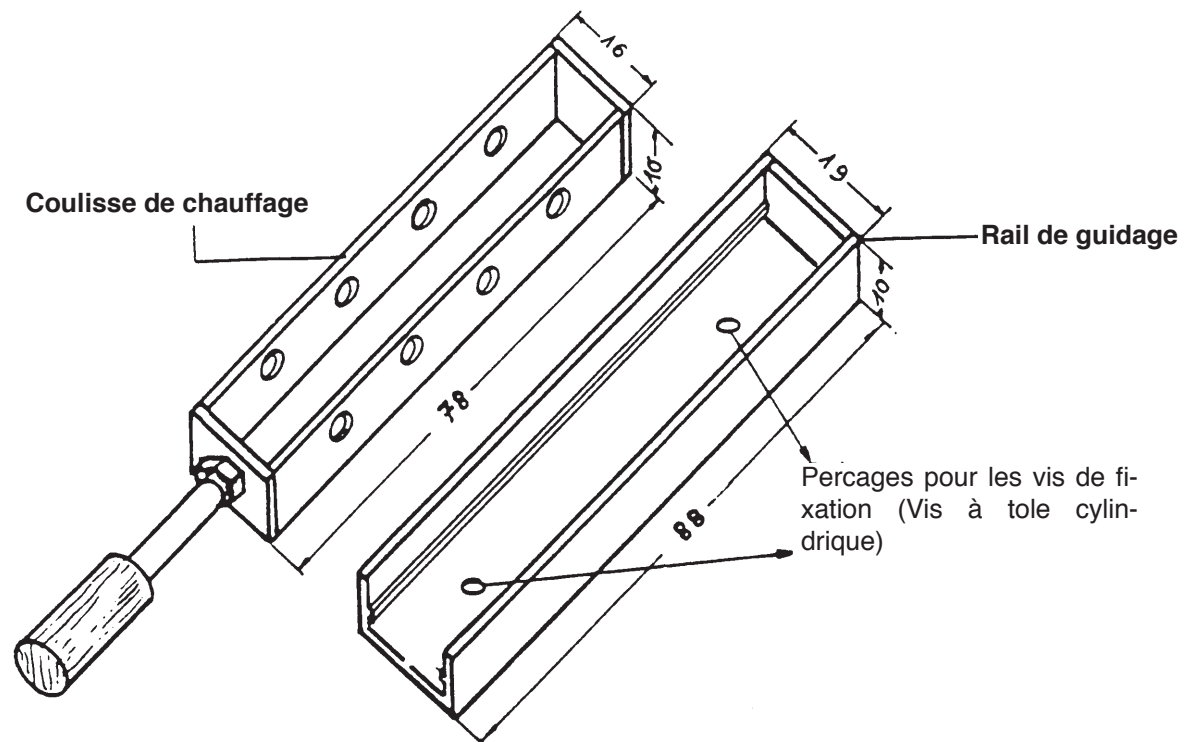
La division du support de chaudière en deux parties simplifie le travail. On peut réaliser les perçages et les découpes des deux pièces en une seule fois en les posant l'une sur l'autre. Les perçages et découpes doivent être réalisés avant le pliage des pièces.

Pour les découpes nous recommandons l'utilisation d'une poinçonneuse.

Si les pièces sont réalisées avec précision, on peut facilement les assembler avec des rivets borgnes.

La chaudière est réalisée avec un cylindre de laiton, qui sera fermé aux deux extrémités avec deux "bouchons". Le perçage du trou pour la soupape de sécurité doit être réalisé impérativement avant le brasage fort, à cause de la dilatation de l'air à l'intérieur de la chaudière lors du brasage des bouchons. L'utilisation d'une soudure à fort apport d'argent permet une température de travail avantageuse, que peut être atteinte aussi par des brûleurs à gaz.

Le contrôle de l'étanchéité et de la résistance à la pression de la chaudière se fait avec un compresseur et un pistolet à air (filetage M6), à une pression de 4.5 bar maximum, en plaçant la chaudière sous l'eau. Ce n'est qu'après ces vérifications que nous pourrons monter la pièce.



INDICATIONS POUR LA REALISATION

a) Réalisation du rail de guidage (avec le profil en U en aluminium de 19 mm).

- A une extrémité, scier 10 mm les côtés et relever le fond (s'aider d'une cale en bois dur).
- Scier les côtés dépassant et les limer.
- Percer deux trous de 3 mm dans le fond pour les vis de fixation.

Attention:

Il est recommandé de ne pas fixer le rail directement sur le socle pour des raisons de conduction de la chaleur. On peut utiliser deux rondelles pour créer un écartement.

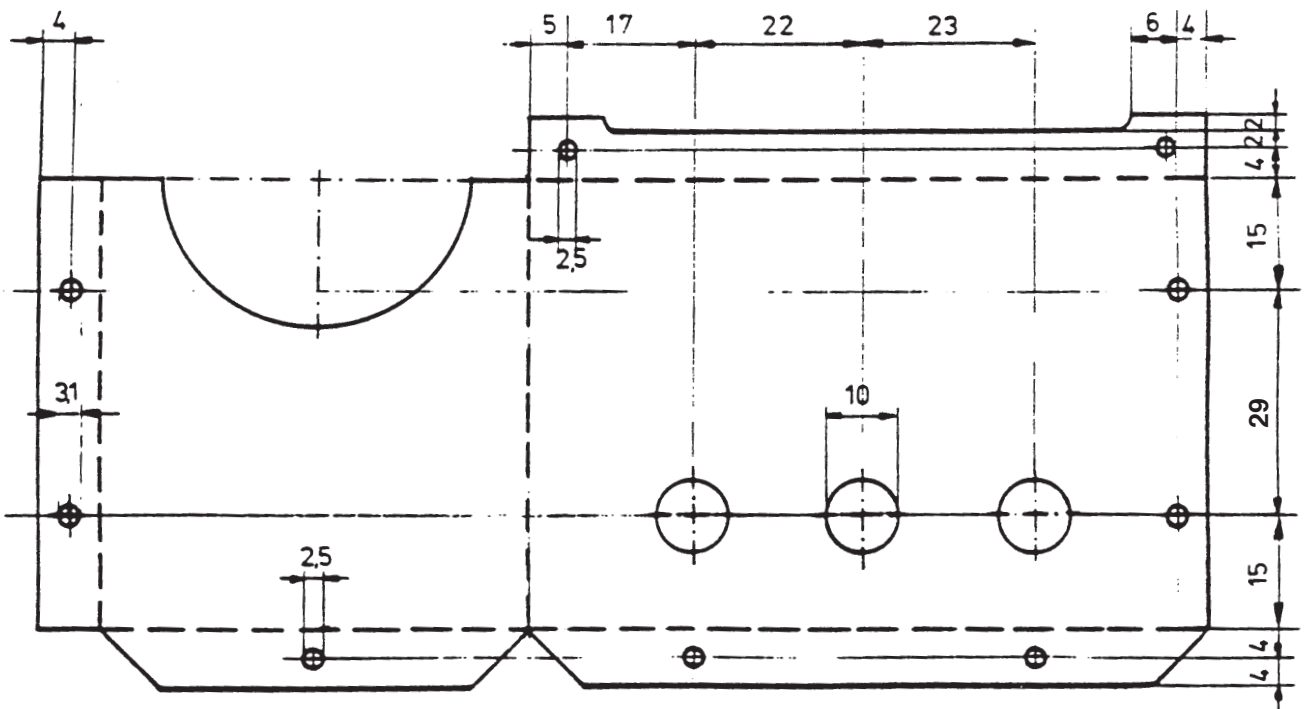
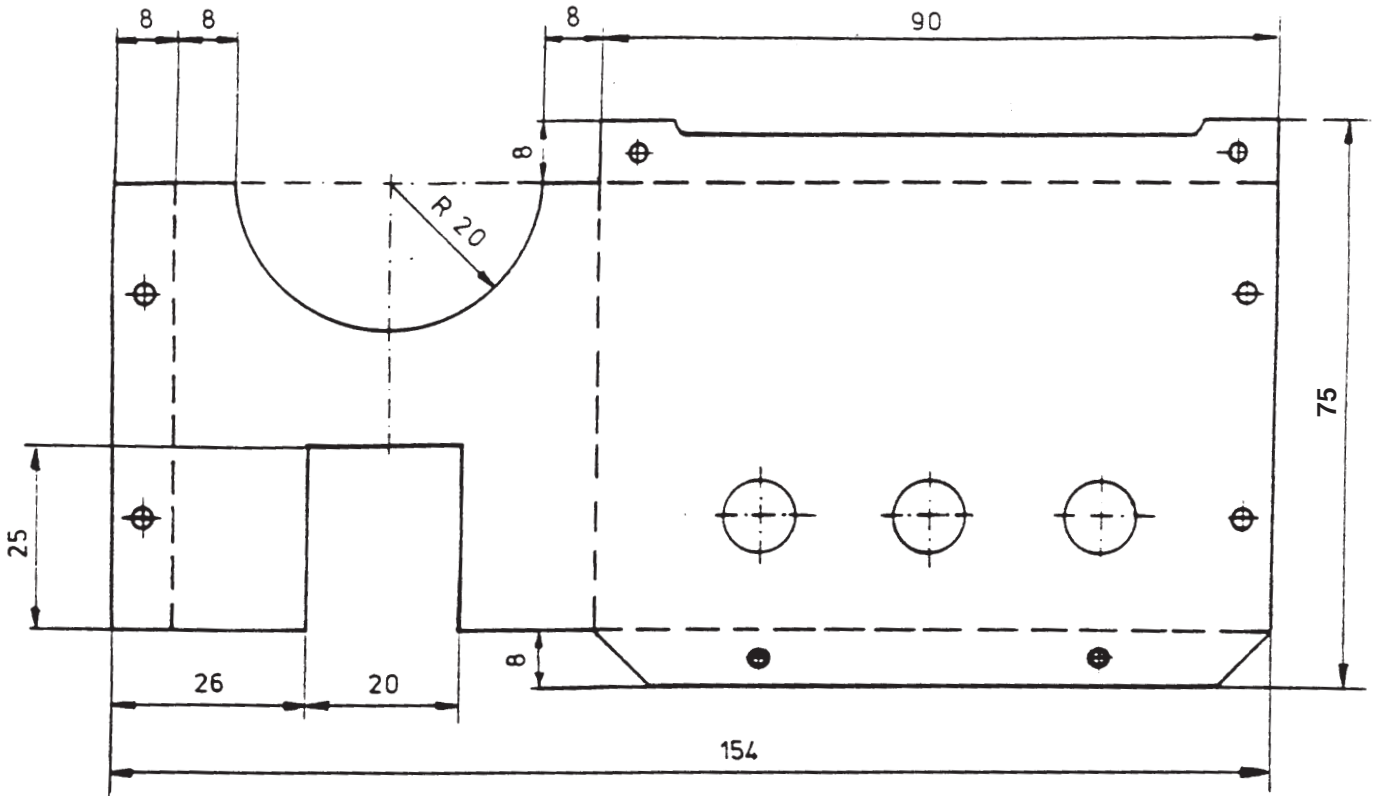
b) Réalisation de la coulisse de chauffage (avec le profil en U en aluminium de 16 mm).

Indication:

La coulisse glisse sur les deux rainures du rail. On peut y placer deux tablettes de combustible verticalement. La circulation de l'air se fait par les trous sur le côté qui peuvent être en partie bouchés par le rail.

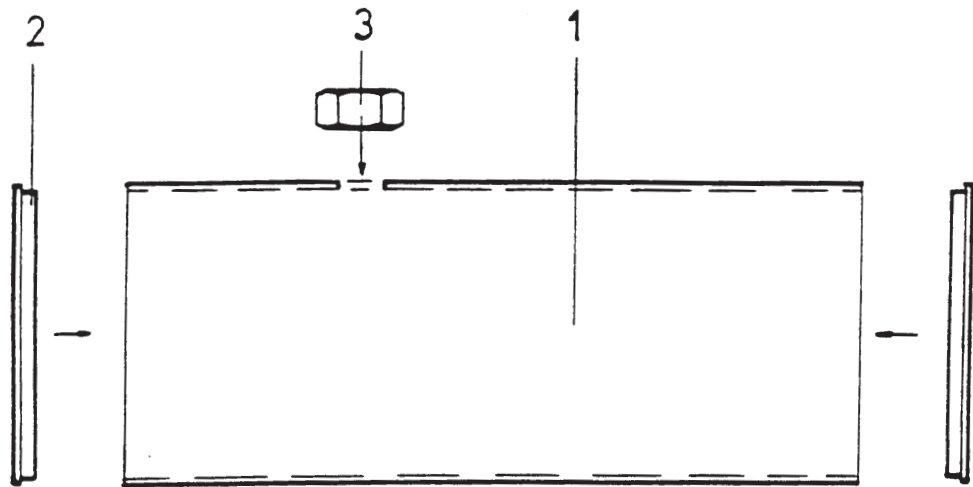
- Aux deux extrémités, scier 10 mm les côtés et relever le fond.
- Sur le devant, percer un trou de 4 mm, pour la fixation de la poignée (par exemple Vis à tête cylindrique M4 x 25).
- Percer 4 à 5 trous de chaque côté sur les côtés pour la circulation de l'air (percer les trous face à face en une seule fois).
- Fixer la vis à tête cylindrique pour la poignée avec un écrou M4.
- Percer la poignée en bois et la fixer (cylindre en bois de 8 mm).

Projection Développée E
 Support de Chaudière
 E 1 : 1



Chaudiere

E 1 : 1



Liste des pièces :

N°	Désignation	Matériau	Dimensions
1	Cylindre	Cn Zn 37	98 x 40 x 1
2	Couvercles	Cu Zn 39 Pb 3	Intérieur Ø 40 x 3 Extérieur Ø 38
3	Ecrou hexagonal	Cu Zn 37	M6 (DIN 934)

INDICATIONS POUR LA REALISATION

- Cylindre: Pointer et percer le trou de 6mm.
- Pour une meilleure fixation de l'écrou hexagonal, aplanir à la lime autour du cylindre.
- Brosser les couches d'oxydation autour des points de soudage avec de la paille de fer.
- Appliquer du décapant aux points de soudage.
- Placer et souder les couvercles.
- Placer l'écrou M6 et le souder.
- Ne PAS tremper la chaudière, mais la laisser refroidir lentement.
- Vérifier l'étanchéité et la résistance à la pression dans un bain d'eau avec pression de 4.5 bar.
- Nettoyer la surface de la chaudière (toile émeri, paille de fer).

CONSTRUCTION ET CALCUL DE LA SOUPE DE SECURITE

La soupape de sécurité est une pièce importante qui protège la chaudière contre de trop fortes pressions.

La soupape décrite ici est une soupape à ressort qui fait aussi office de bouchon de remplissage.

On peut la réaliser soi-même avec une vis M6 en laiton, une vis M3 partiellement filetée, un écrou M3 en laiton, un ressort de pression et un joint d'étanchéité.

La vis M6 est sciée puis percée en son centre avec un forêt de 3.5mm.

La vis M3 est passée dans un joint d'étanchéité, puis dans le filetage M6, et fixée avec un ressort et un écrou M3.

Avant le montage de la soupape, il faut limer les coins de l'écrou M3, sinon il ne passe dans le trou M6 de la chaudière.

CALCUL DE LA FORCE DE RAPPEL DU RESSORT POUR LA SOUPE.

La pression de vapeur d'eau s'exerce sur une surface A correspondant à un disque de 0.35cm de diamètre.

$$\text{Et } A = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 = \frac{3.14 \times 0.35^2}{4} = 0.1 \text{ cm}^2$$

Nous voulons régler la soupape sur une pression de 2 bär = 20 N / cm².

$$\text{Or Pression} = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}} \quad \text{ou} \quad P = F/S$$

$$\text{D'où } F = P \cdot S$$

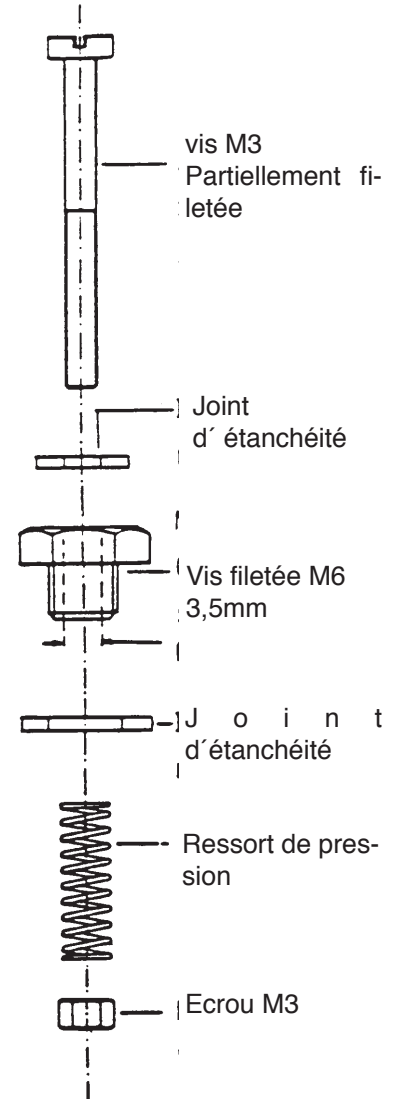
Soit pour une pression de 20 N/cm² on obtient une force de rappel du ressort :

$$F = 20 \text{ N/cm}^2 \times 0.1 \text{ cm}^2 = 2 \text{ N}$$

Ceci signifie que la soupape doit s'ouvrir lorsqu'on applique un poids de 200g.

Le réglage peut se faire avec une balance ménagère. Il ne faut en tout cas pas dépasser le double de la pression de fonctionnement, correspondant à un poids de 300g.

Le cylindre oscillant étant plaqué avec un ressort, ce mécanisme agit comme une seconde soupape et procure une sécurité maximale.



Soupe a Ressort



INDICATIONS POUR LA REALISATION DU CONVERTISSEUR DE VAPEUR

Le convertisseur transforme l'énergie thermique de la vapeur d'eau en énergie mécanique. Il est constitué de:

- Une équerre de support avec les paliers
- Cylindre et piston
- Bielle et palier de bielle
- Volant avec entraînement

La réalisation du convertisseur demande un travail soigneux et précis.

Suivent les étapes de réalisations :

1. Equerre support

- Limer les angles.
- Percer les deux trous pour les vis de fixation et fraiser.
- Marquage et perçage des deux trous pour les paliers de cylindre et volant (utiliser éventuellement une plaque à tracer).
- Réalisation d'une surface de frottement avec le cylindre ABSOLUMENT lisse (lime douce).
- Contrôler avec une règle de précision (chaque défaut conduit à une perte de rendement).
- Scier le tube pour l'axe du volant.
- Percer un trou de lubrification.
- Montage du tube.
- Braser tendre le tube avec l'équerre support.

2. Volant

- Percer le trou excentré à un rayon de 12mm.
- Lorsque l'on presse l'arbre (7) sur le volant on devra respecter un angle droit (utiliser un étau comme outil de pression) ou alors effectuer un brasage tendre à l'endroit de l'ajustement de transition avec le volant. L'axe (13) est pressé avec le volant en formant un angle droit (utiliser l'étau comme outil de pression).
- Passer l'axe dans le tube.
(Aléser éventuellement le tube à 4mm)
- Percer l'enrouleur à 4 mm de diamètre.
- Monter le volant avec axes, rondelle et bague de fixation.

3. Cylindre

(Voir pages suivantes 15-17)

4. Piston et Bielle

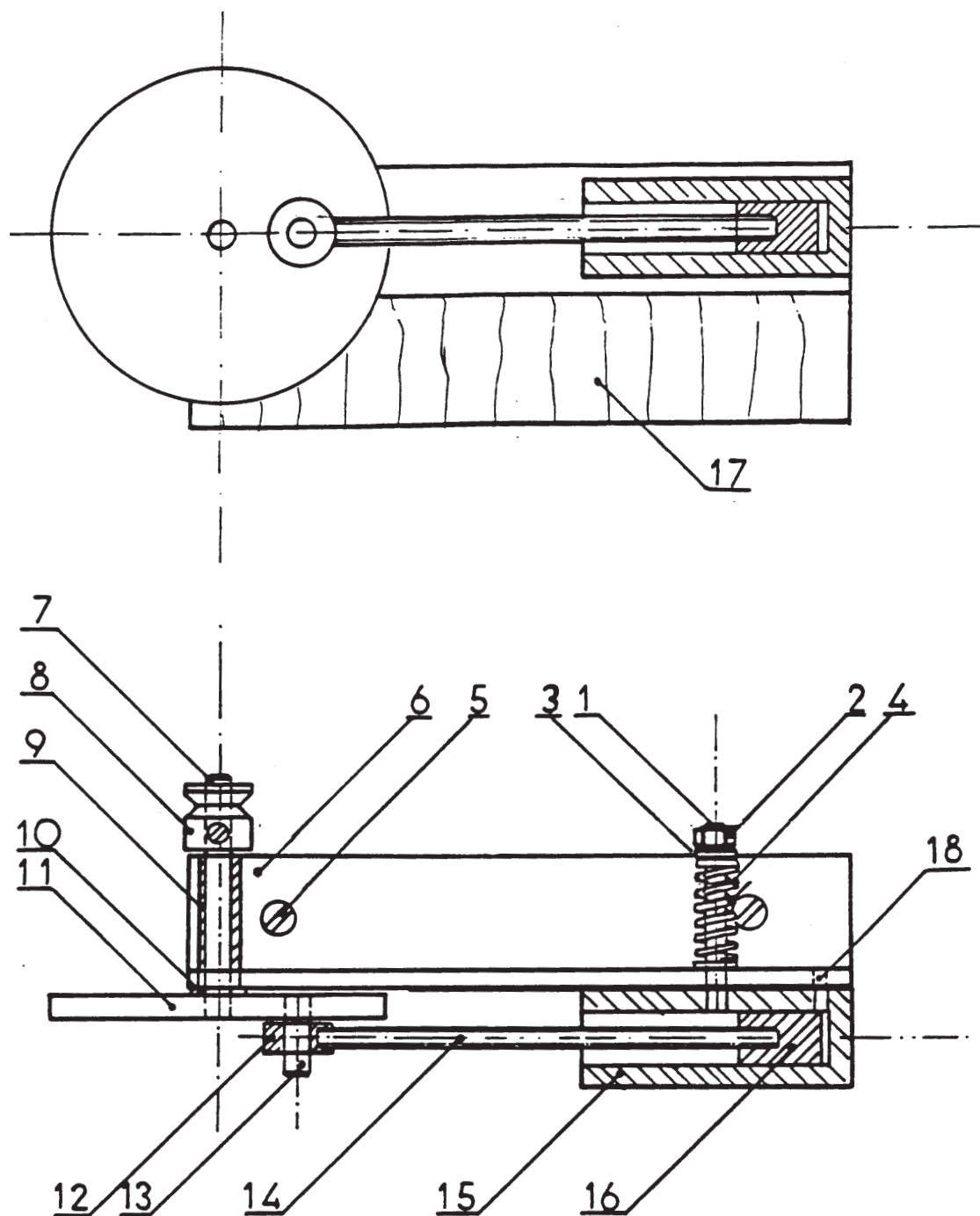
- Scier à 70mm la bielle
- Fileter M4 la bielle pour liaison avec le piston et le palier.
- Percer un trou de lubrification dans la palier de bielle (bague de fixation).

Le montage du mécanisme peut se faire après avoir réalisé toutes les pièces.

Le cylindre est plaqué contre le support avec un ressort. La force de rappel peut être ajustée avec l'écrou de serrage.

Convertisseur de vapeur (sans cotes)

E 1 : 1



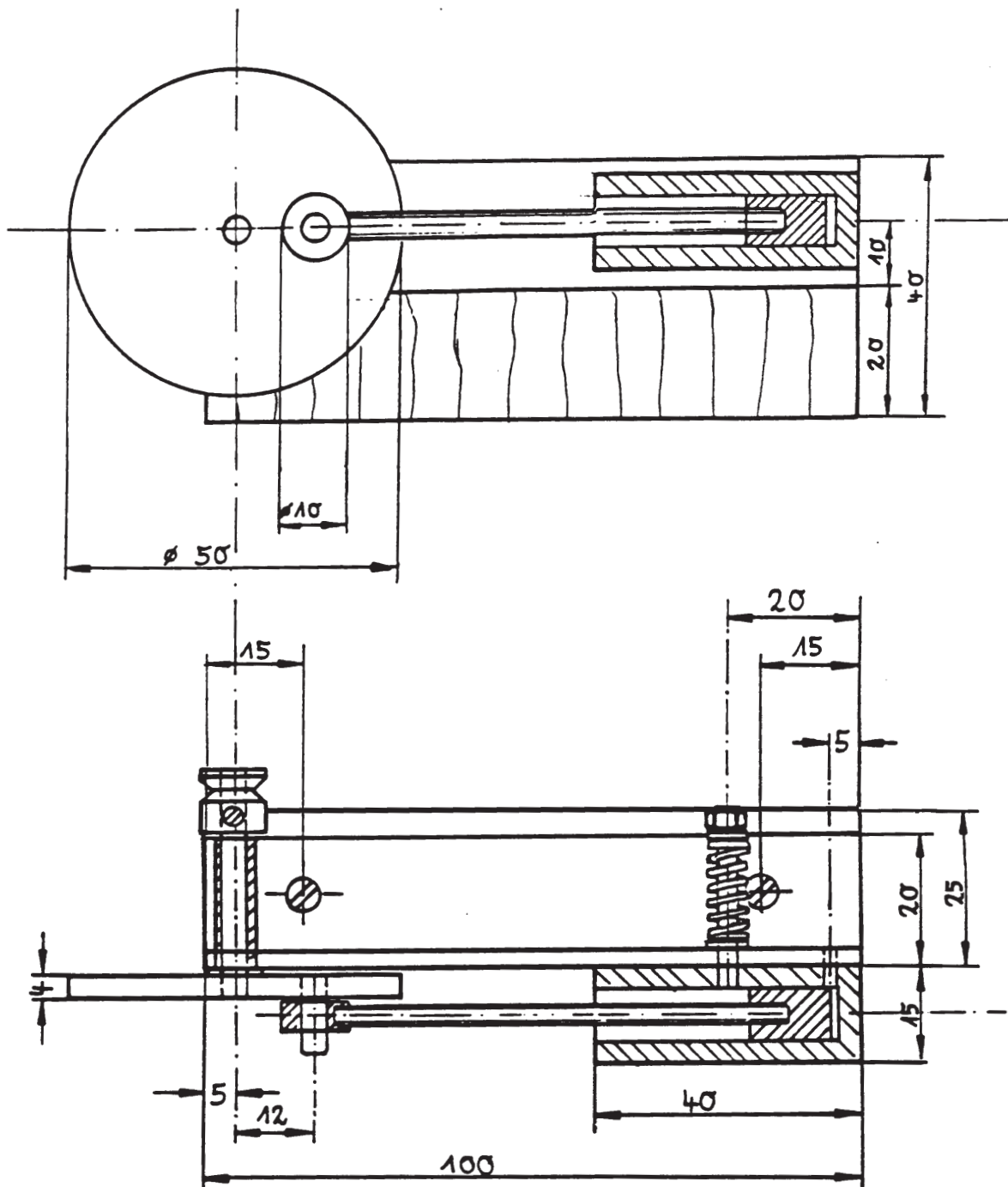
Convertisseur de vapeur

Liste des pièces et indications de travail

N°	Désignation	Mesurage	Instruction de travail
1	Axe de cylindre	M3 x 20	Coller la tige filetée avec le cylindre (colle pour filetage)
2	Ecrou	M3	
3	Rondelle	Intérieur-Ø3	
4	Ressort de pression (Acier spécial)	Pièce finie	
5	Vis de fixation	3 x 20 (Tête cône)	Perçage dans le support (Ø3,5) fraiser
6	Equerre support	100 x 20/20 x 2	Surface lisse à l'extérieur, palier le de cylindre Ø3, perçage pour le tube du volant Ø6
7	Axe de volant (Acier de décolletage)	4 x 36	Lors de l'ajustement par pression, presser avec le volant (masse); lors d'un ajustement de transition, braser avec le volant.
8	Roue d'entraînement (Bague avec enrouleur)	Pièce finie	Perçer à 4mm Fixation avec vis sans tête
9	Tube palier de volant	Ø6 x 20 (Intérieur-Ø4)	Souder avec le support, Trou de 1,5mm pour lubrification sur le dessus. Aléser éventuellement à 4mm.
10	Rondelle	Intérieur-Ø4	
11	Volant	Pièce finie	Trou à 12mm de rayon pour le palier excentré, diamètre 3,9mm.
12	Palier de bielle (Bague de fixation)	Pièce finie	Trou de 1,5mm pour lubrification Raccourcir de 1mm éventuellement.
13	Axe excentré (Acier de décolletage)	Ø4 x 10	Presser dans le volant
14	Bielle	Ø4 x 10	Fileter M4 sur 5mm à chaque extrémité
15	Cylindre	Pièce finie	Lisser la surface de frottement ; fileter M3 au centre et fraiser légèrement (voir texte)
16	Piston	Pièce finie	Visser sur la bielle (M4)
17	Support de mécanisme (bois dur)	100 x 20 x 25	
18	Echappement et admission de vapeur	Ø4	Ne percer qu'après les tests (voir texte)

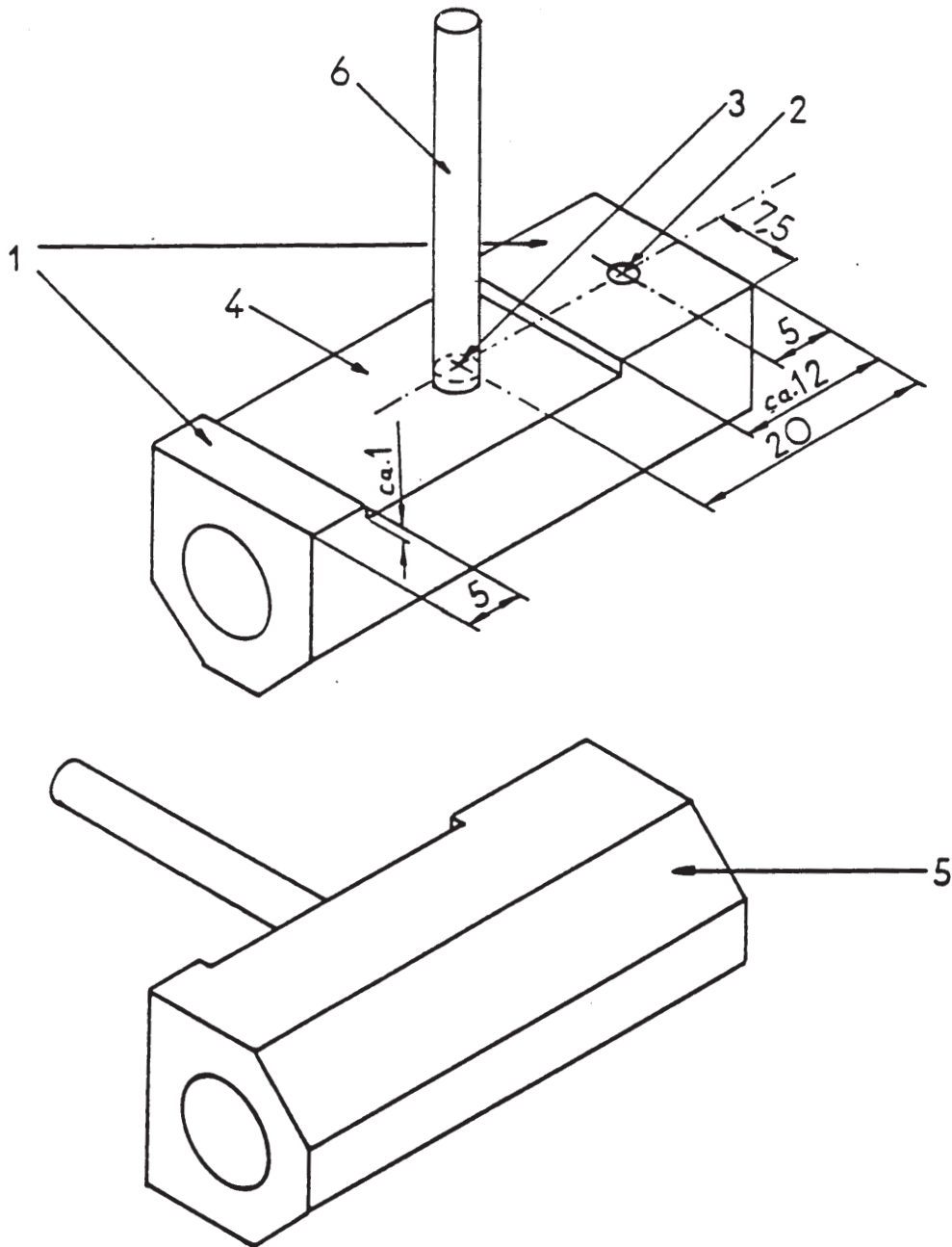
Convertisseur de vapeur (avec cotes)

E 1:1



Cylindre

E 1 : 1



Indications pour la réalisation:

- Bien limer la surface (repère 1) avec une lime douce.
- Creuser une partie de la surface éventuellement, pour réduire les frottements (rep. 4)
- Pointer et percer les trous.

Percer le trou (2) à 2 mm pour l'admission de vapeur.

- Pré-percer le trou (3) à 2,5 mm pour l'axe du cylindre.
- Fileter le trou (3) à M3.
- Réduire éventuellement les angles du cylindre (5) pour gagner du poids.
- Coller ou braser tendre l'axe du cylindre (tige filetée)

Attention: L'axe ne doit pas pénétrer dans la lumière du cylindre!

- Finir éventuellement la lumière du cylindre avec un alésoir de 8 mm.

REGLAGE DE L'ADMISSION DE VAPEUR ET DE L'ÉCHAPPEMENT DE VAPEUR

Les positions des trous d'admission et de l'échappement de vapeur sont déterminées à partir des mouvements du cylindre (voir schéma ci-dessous).

La vapeur doit pousser le piston lorsque l'axe excentré est dans la partie supérieure de sa trajectoire. C'est ainsi qu'on obtient la force de rotation la plus forte. Inversement, lorsque l'axe est en bas de sa trajectoire, la vapeur doit pouvoir s'échapper.

Pour obtenir l'emplacement des trous dans l'équerre de support on peut procéder de la façon suivante : Confectionner avec un rivet borgne de 2mm une pointe. Le fixer dans le trou de 2mm du cylindre ; la pointe devrait alors dépasser de 1 à 2mm.

Monter ensuite l'ensemble des pièces, volant, bielle, cylindre et piston, et faire plusieurs tours de volant à la main. Presser se faisant le cylindre contre l'équerre support.

La trajectoire du trou du cylindre est alors directement reportée par la pointe sur l'équerre support.

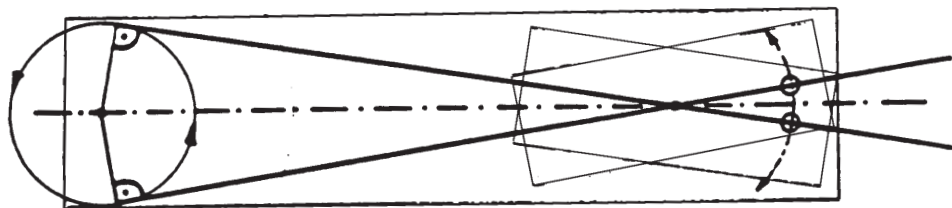
Les deux extrémités de cette trajectoire représentent les centres des deux trous recherchés (ils sont distants d'environ 4-5mm). Les pointer et les percer à 2mm.

Lorsque les trous sont percés et les pièces remontées, on peut faire un test de fonctionnement avec l'air sous pression (maximum 2 bar). Les réductions de pression au détendeur du compresseur donnent de premières indications sur le rendement de la machine.

La liaison entre la chaudière et le mécanisme se fait après les tests de fonctionnement. Percer la chaudière et l'admission de vapeur du cylindre à 4mm, placer le tube de cuivre qui à déjà la forme voulue, et le braser tendre.

Attention : avant la mise en service, graisser le piston et les paliers. Ne pas forcer le mouvement.

Gabarit pour le perçage à l'échelle E 1:1



Gabarit pour le perçage à échelle E 1:a

Après la réalisation de la chaudière, du mécanisme, de la coulisse ; après l'assemblage de ces pièces ; après les contrôles de fonctionnement et de SECURITE vient enfin le moment tant attendu de la mise en route de la machine à vapeur !

En général, les élèves ont tendance à oublier dans cette situation les règles élémentaires de la technique. Et même si le modèle proposé est particulièrement robuste, une courte mais mauvaise utilisation peut endommager la machine de façon irréparable.

Il faut d'abord s'assurer que les conditions de sécurité sont respectées. Il convient de faire une dernière vérification avec de l'air à 3 bar, ce qui permettra de tester aussi la soupape. Veiller dans ce cas à bien badigeonner le cylindre, le piston et tous les paliers avec de la graisse pour éviter toute corrosion lors de la mise sous l'eau.

Après ce dernier test, le modèle est prêt à fonctionner. La quantité et la qualité d'eau utilisées jouent cependant un rôle important. On utilisera de préférence de l'eau distillée pour éviter les dépôts de calcaire, et on remplira la chaudière au 2/3 de sa contenance au maximum. Mettre moins d'eau permet une chauffe plus rapide, mais augmente aussi les risques de surchauffe par absence d'eau. Si on met plus d'eau, elle risque de pénétrer dans le cylindre et d'endommager le mécanisme. Si on respecte les dimensions de la chaudière indiquées (longueur 100mm, diamètre intérieur 38mm, volume 113.4 cm³), le remplissage idéal est de 60-75 ml. Cette quantité d'eau est aussi ajustée à la capacité de chauffage des tablettes de combustible.

Exemple de calcul :

Pour porter 60 ml d'eau de 25°C à 120°C (à 1.5 bar) il faut :

$$\begin{array}{r} 0.06 \times 100 \times 1.2 = 25.20 \text{ kJ} \\ 0.06 \times 2257 = 135.42 \text{ kJ} \\ \hline 160.62 \text{ KJ} \end{array}$$

Pour vaporiser ces 60 ml d'eau :
Soit une énergie totale de :

Pour vaporiser l'eau, il faut donc pratiquement 6 fois autant d'énergie que pour la chauffer.

Le rendement de la chaudière se situe dans le cas d'une pièce cylindrique simple à environ 60 %, il faut donc en fait 267.7 kJ pour chauffer et vaporiser 60 ml d'eau.

Une tablette de chauffage de 3.9g libère selon le constructeur une énergie calorifique de 110 kJ.

La combustion de deux tablettes libère donc théoriquement 220 kJ.

Ce calcul met en évidence que l'utilisation de deux tablettes de chauffage pour 60ml d'eau permettent d'éviter une surchauffe due à l'absence d'eau.

Le combustible solide - au contraire de l'alcool à brûler - peut être éteint sans danger. Le combustible comprend cependant du méthanal ; c'est pourquoi il ne devrait être utilisé qu'à l'air libre ou dans un local bien aéré.

Avant de mettre à chauffer, prendre soin de mettre les élèves en garde contre les brûlures possibles au contact des pièces en métal ou de la vapeur d'eau (la condensation d'une petite quantité d'eau sur la peau peut, en libérant de l'énergie calorifique, provoquer de graves brûlures).

Réserver un temps suffisant à l'utilisation de la machine par les élèves, pour qu'ils puissent savourer le fruit de leur travail ! On peut également évaluer la qualité de fabrication de la machine : en comparant le temps de fonctionnement avec l'apport en eau et en combustible, ou en comparant la vitesse de rotation à vide avec celle indiquée dans la brochure ; on mesure ainsi la qualité du travail effectué.

Après utilisation de la machine, il faut bien sûr la nettoyer soigneusement et la ranger. Il est particulièrement important de vider la chaudière de son eau et de bien graisser les pièces mécaniques : paliers, cylindre et piston.

La conservation du modèle (par exemple dans une vitrine) peut être améliorée par une mince couche de fixatif incolore.

TRUCS PRATIQUES

Coulisse de chauffage et rail de guidage

- Scier les deux profils en une seule fois (scie montée)
- Faire tous les perçages avant de plier

Support de chaudière

- Fixer les deux bandes de tôle ensemble avec du crêpe adhésif, et fixer l'ensemble sur un support de bois.
On peut ainsi percer les tôles en danger.
- Plier les colliers de fixation sur un cylindre (environ 25mm de diamètre) pour leur donner une première forme, éventuellement les fixer sur le support de chaudière avec des rivets borgnes de 3mm.

Cylindre

- Percer les filetages M3 avec une perceuse sur support (ou utiliser un outil à main).
- Adapter le cylindre au piston si nécessaire avec de la pâte abrasive (voire même du dentifrice).

Volant

- Débalourdage du volant dans la zone du palier de bielle par des perçages d'environ 4mm.
- Pour fixer le volant sur son axe, utiliser un étau (l'axe étant passé dans un cylindre à diamètre intérieur de 4mm pour éviter qu'il ne se plie), ou utiliser un support de perceuse comme presse.

Bielle

- Ne pas visser la bielle à fond ; on peut en effet régler le mécanisme en vissant plus ou moins la bielle.

Surfaces de frottement du cylindre

- Polir les surfaces avec du papier de ponçage à l'eau de grain 500, mais enduire le papier d'huile qu'on aura étalée sur une surface plane.

Tuyau de vapeur

Il devra être aussi court que possible pour éviter la condensation de la vapeur.

On peut éventuellement isoler le tuyau en enroulant par exemple une ficelle autour.

NOTICE COMPLÉMENTAIRE

Madame, Monsieur le Professeur,

Vous avez décidé de réaliser un travail du métal extrêmement intéressant. Le kit OPITEC permet à chaque élève de réaliser une machine à vapeur - à condition de respecter les indications du professeur et de suivre les instructions de montage.

Dans la mesure où vous-même, professeur, êtes responsables de la sécurité de vos élèves, nous vous recommandons de respecter scrupuleusement les points suivants, pour éviter tout accident :

1. Test de la chaudière à 3 fois la pression d'utilisation.
2. Fixation de la soupape de sécurité après réglage à 1.5 bar (par exemple avec de la colle pour filetage thermorésistante ou avec une goupille).
3. Indiquer sur la machine les données techniques de la chaudière
Pression de test : 4.5 bar
Pression d'utilisation maxi : 1.5 bar
Contenance maxi : 0.06 litres
4. Après un test de pression réussi, la chaudière devra être marquée (par exemple en aposant la lettre P dessus).
5. Avant chaque utilisation, vérifier que la soupape n'est pas coincée.
6. Ne remplir la chaudière qu'avec de l'eau distillée.
7. Avant mise en route, vérifier le niveau de remplissage de la chaudière.
8. N'utiliser que deux tablettes de chauffage.
9. Il est recommandé de la manipuler avec des gants de protection.

Rendez vos élèves attentifs aux points ci-dessus comme aux risques de brûlures sur le métal ou par la vapeur d'eau.

OPITEC

Hobbyfix

1 1 2 . 4 2 0

pricelist for replacement parts - steam engine N° 112.420

N.	needed pieces	description	size	N°	£/ piece	N°	£/ 100 pieces	N°	£/ 1000 pieces
1	1	aluminium u-section	16,5 x 100	809.203					
2	1	aluminium u-section	19,5 x 100	809.214					
3	2	self-tap screw	2,9 x 13			264.022			
4	4	washers, galvanized	3,2					268.022	
5	1	nut, galvanized	M4			267.038		267.049	
6	1	cheese head screw, galv.	M4 x 25			265.290			
7	2	sheet metal, brass 63	0,4 x 165 x 75	811.072					
8	4	rivets	3 x 4	346.159					
9	5	self-tap screws	2,2 x 6,5	264.206					
10	1	tube, brass 63	40 x 1 x 100	819.129					
11	2	tube ends, brass 58	40 x 3	819.130					
12	1	nuts, brass 63	M6	267.201					
13	1	bolt, brass	M6 x 10	269.119					
14	1	cheese head screw	M3 x 30	269.108					
15	1	nut, brass	M3	267.212					
16	1	spring	0,4 x 4 x 17,5 x 8,5	244.154					
17	1	O-ring	3 x 1	537.414					
18	1	paper gasket	10 x 5,8 x 1	842.354					
19	1	R. A. bracket, brass	100 x 20 x 20 x 2	817.130					
20	4	countersunk screws, brass	3 x 20	266.262					
21	1	tube, brass	40 x 15 x 15	819.141					
22	1	piston, brass	8 x 12	819.152					
23	1	spring, stainless steel	0,4 x 4x 17,5x 8,5	244.154					
24	1	nut, brass	M3	267.212					
25	1	threaded rod, steel	M3 x 20	269.186					
26	1	washer, brass	3,2	268.077					
27	1	rod, brass	4 x 68	816.766					
28	1	washer	50 x 4	819.163					
29	1	rod	4 x 10	269.153					
30	1	ring		819.174					
31	1	tube	6 x 1 x 20	818.076					
32	1	rod	4 x 36	269.164					
33	2	washers	4,3	268.066					
34	1	disc		819.026					
35	1	cooper tube	4 x 1 x 160	822.763					
36	1	wood base	140 x 140 x 10	715.186					
37	1	hard wood block	100 x 20 x 25	688.103					
38	1	dowel	8 x 50	682.033					