

CHAPITRE II

ACCESSOIRES DES CHAUDIÈRES

Soupape de sûreté — La soupape de sûreté a pour but de permettre à la vapeur de s'échapper de la chaudière, quand la pression devient supérieure à celle du timbre.

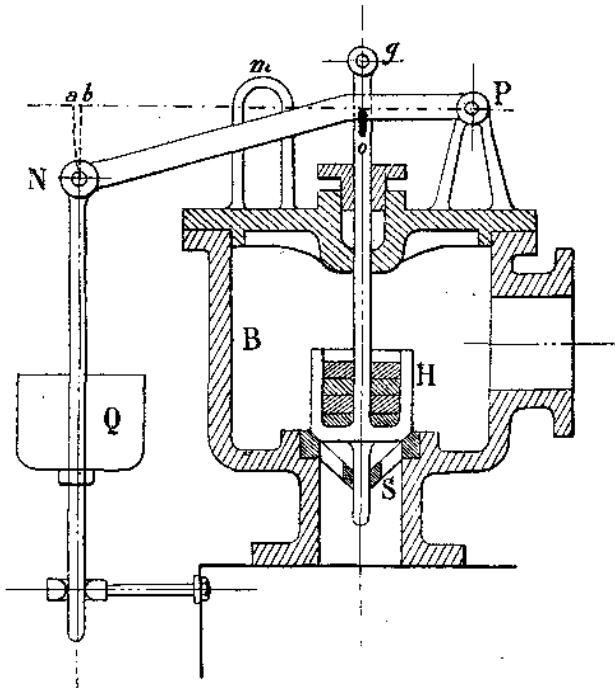


Fig. 25:

- | | |
|--|-----------------|
| A, Soupape. | g, Galet. |
| B, Boîte en bronze. | m, Guide. |
| S, Siège et guide en bronze. | Q, Contrepoids. |
| O, Olive reposant sur un grain en acier. | |

La soupape (*fig. 25*) est formée d'un cylindre creux, terminé à la partie inférieure par une partie tronconique.

La zone de portage porte un angle de 30 degrés environ et ne doit pas dépasser 2^{mm}.

On considère la charge directe et la charge indirecte. La première consiste en la quantité de rondelles de plomb que l'on met dans la soupape en H, et la seconde, la quantité de plomb à mettre dans le contrepoids Q.

Le levier NP est recourbé de façon que, quand la soupape se soulage, le levier augmente de la longueur *ab* et la soupape tend davantage à retomber sur son siège ; car, la soupape une fois soulagée, la pression agit sur le grand diamètre; cet effort devenant plus grand, il est indispensable que l'effort tendant à faire retomber la soupape devienne également plus grand, afin que la soupape ne reste pas trop longtemps soulagée.

Théoriquement la soupape doit se soulager du 1/4 de son diamètre,

D étant le petit diamètre,

$$\frac{\pi D^2}{4} = \text{section soupape,}$$

πDh = valeur d'une colonne d'eau équivalente ;

d'où
$$\frac{\pi D^2}{4} = \pi Dh,$$

et
$$h = \frac{D}{4}.$$

En pratique, on fait :
$$h = \frac{1}{3} D.$$

Calcul de la soupape.

$$D = 2,6 \sqrt{\frac{S}{P_0 - 0,412}} ;$$

S = surface de chauffe ;

P₀ = timbre de la chaudière.

Calcul de la charge indirecte sur le petit diamètre.

Soit la soupape (fig. 26), et que :

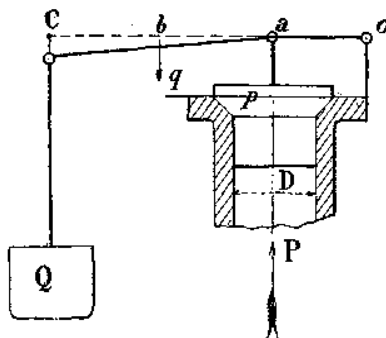


Fig 26.

P = pression chaudière,

Q = contrepoids,

p = poids soupape,

q = poids du levier.

Le poids qui tend à soulever la soupape est :

$$\frac{\pi D^2}{4} \times oa \times P. \quad (1)$$

Le poids qui tend à maintenir la soupape sur son siège égale :

$$Q \times oC + q \times ob + p \times ao. \quad (2)$$

Quand le système est en équilibre, ces deux quantités (1) et (2) sont égales :

$$\frac{\pi D^2}{4} \times oa \times P = Q \times oC + q \times ob + p \times ao;$$

d'où
$$\frac{\pi D^2}{4} \times oa \times P - q \times ob - p \times ao = Q \times oC,$$

et
$$Q = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times oa \times P - q \times ob - p \times ao}{oC}.$$

Détermination pratique de la charge.

La charge pratique se détermine au dynamomètre ou à la romaine.

Supposons que $\frac{\pi D^2}{4} = 100\text{cm}^2,$

D étant toujours le plus petit diamètre;

$$P = 2\text{kg},25;$$

d'où $\frac{\pi D^2}{4} \times P = 225\text{kg}.$

C'est donc le poids que doit avoir l'appareil avec ses accessoires.

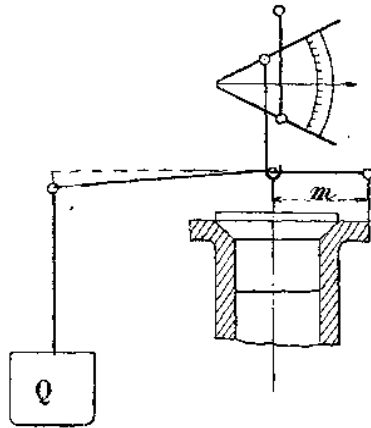


Fig. 27.

Soulageons la soupape au moyen d'un palan (fig. 27) : le dynamomètre donne le poids de tout l'appareil : soit 220kg , par exemple. Pour qu'il y ait équilibre, il faut ajouter 5kg au contrepois ; si la soupape dépassait le poids voulu, on retrancherait au contraire. m = la distance du point fixe à l'axe de la soupape. Il faut que le dynamomètre soit fixé à cette distance m , connue, de l'axe d'oscillation. On a ainsi le poids qui, à cette distance, fait équilibre à tout le système.

La soupape de sûreté est un levier de troisième genre quand elle se soulage, et de deuxième genre quand elle s'abaisse.

SOUPAPE DE SURETE A ÉCHAPPEMENT PROGRESSIF

Fonctionnement.— La soupape de sûreté représentée (fig. 28)

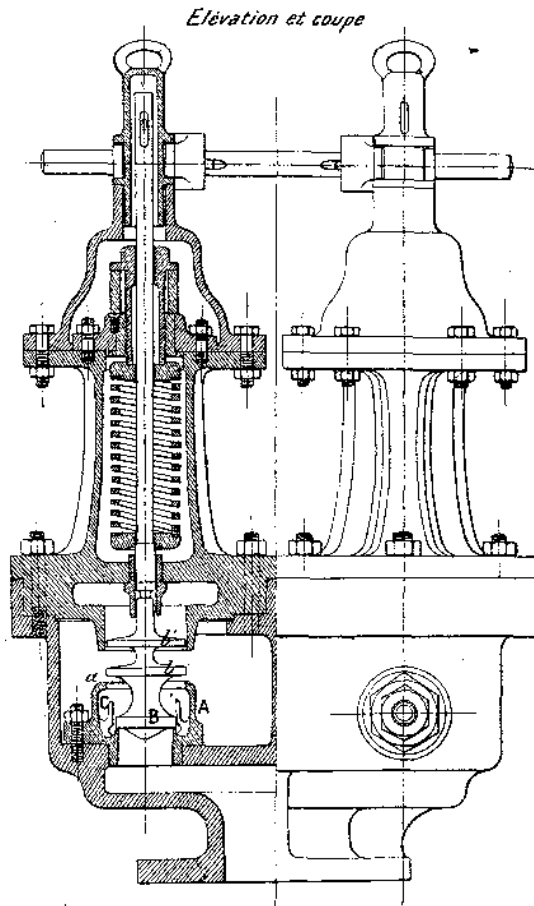


Fig. 28.

se soulève automatiquement et progressivement à la pression pour laquelle elle est réglée. Elle peut se charger soit au moyen d'un

levier et contrepoids, soit directement avec contrepoids ou ressort. .
Lorsque la pression est sur le point d'atteindre sa limite maximum réglementaire, le clapet (B) se soulève d'abord faiblement, et, suivant l'expression consacrée, sa soupape souffle; ce clapet continue à se soulever, et la vapeur s'échappe librement dans l'atmosphère par l'espace annulaire (G). La quantité de vapeur augmentant à mesure que le clapet se soulève, le cylindre (A) se remplit et le phénomène suivant se produit : le cylindre (A) étant rétréci à sa partie supérieure par le rebord (a), une partie de la vapeur se trouve projetée sous les disques (*b*, *b'*) du clapet (B), ce qui force celui-ci à continuer son mouvement ascensionnel. Il en résulte que si le débit augmente, la surface des disques en contact avec la vapeur augmente proportionnellement, de sorte que le clapet se soulève de plus en plus jusqu'à la limite de sa course.

La pression baisse aussitôt que le clapet est assez levé pour permettre le dégagement de l'excès de production de vapeur, et l'effet contraire se produit, de sorte que le clapet redescend doucement et d'une façon absolument identique à la diminution de pression,

La différence entre l'ouverture et la fermeture du clapet est, en moyenne, 0^{kg},200, et quelques secondes suffisent pour ramener la pression au-dessous de la limite indiquée par le timbre.

Soupape de sûreté à ressort.

La soupape à contrepoids est remplacée par la soupape à ressort et à filets carrés : le portage en est très petit et ne doit pas dépasser 2^{mm}.

Pour tarer ce ressort, on le place sur un marbre (voir a manière de tarer un ressort, figure 105) en lui faisant supporter

un poids égal à $\frac{\pi D^2}{4} \times Pk$: il fléchit d'une certaine quantité qu'on

relève exactement. En remontant ce même ressort en place sur la chaudière, avoir soin de le serrer de la même quantité et que tout soit construit de façon que l'écrou E ne vienne pas toucher le plateau.

Ces soupapes doivent être réglées à chaud. Pour cela, faire monter la pression au timbre, serrer ou desserrer l'écrou E, fileté dans le plateau jusqu'à ce que la soupape se soulève au timbre

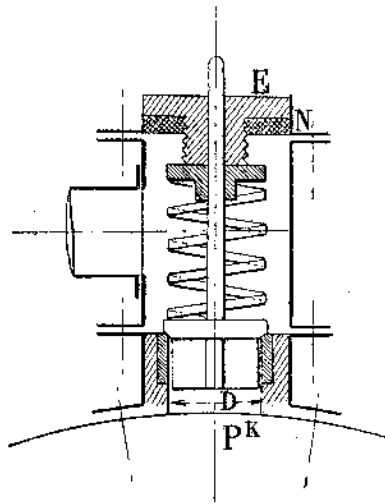


Fig. 29.

(fig. 29). On mesure l'espace N et on y rapporte une rondelle d'épaisseur voulue, poinçonnée par la Commission des inspecteurs de la navigation.

Soupape d'arrêt. — La soupape d'arrêt a pour but d'établir ou d'intercepter la communication de la vapeur avec la machine (fig. 30.).

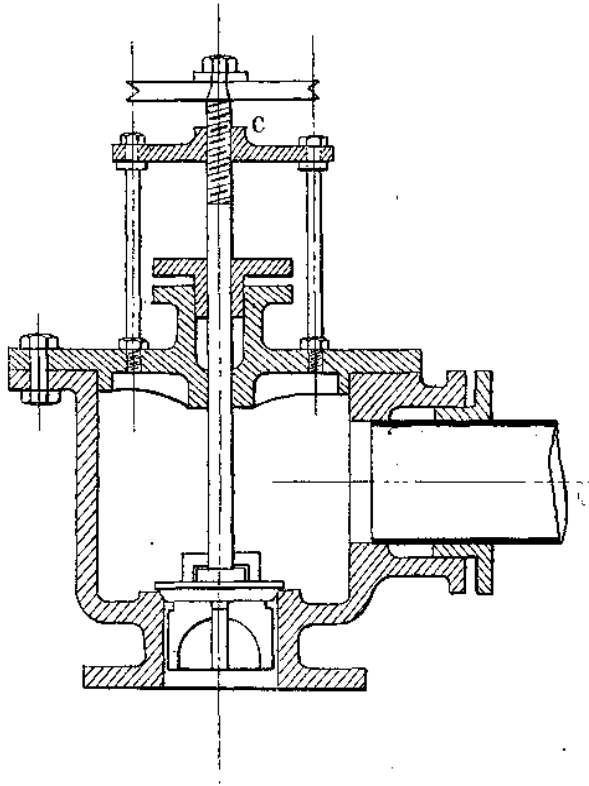


Fig. 30.

La boîte et la soupape sont en bronze (ou en acier, suivant le timbre). La tige de la soupape est filetée dans une traverse G et passe au travers d'une boîte à étoupes.

La tige est emmanchée à la soupape à la manière d'un émerillon, afin que la soupape ne porte pas toujours au même endroit, ce qui pourrait ovaliser le portage.

Il faut toujours avoir soin, avant l'allumage, de décoller la soupape pour éviter le coinçage.

Monture du tube de niveau.

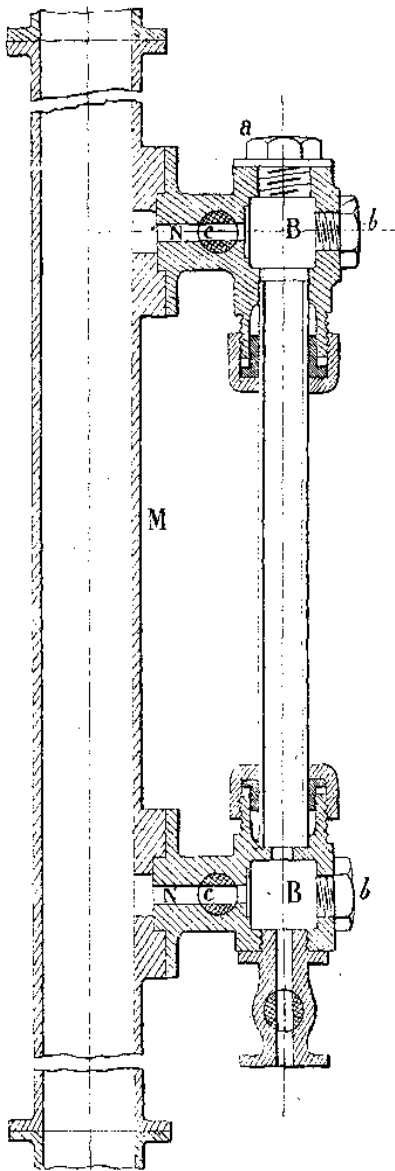


Fig. 31.

Le tube de niveau sert à constater, d'une manière permanente, le niveau de l'eau dans la chaudière.

La monture se compose d'une colonne en bronze M (fig. 31), qui est en communication avec la chaudière par deux tuyaux : l'un pour l'arrivée de vapeur, l'autre pour l'arrivée d'eau, et munis chacun d'une soupape ou robinet

Sur cette colonne sont montées deux boîtes en bronze, mûmes chacune d'un robinet servant à intercepter la communication avec le tube lorsqu'il faut le remplacer.

La boîte supérieure B porte un bouchon *a* qui permet de passer le tube pour le mettre en place. Une petite vis *h* sert à faire le nettoyage du canal N. Le tube passe dans deux boîtes à étoupes venues de fonte avec les boîtes BB.

Dès qu'il y a rupture du tube, il faut s'empresse de fermer les robinets de communication ce. On dispose à cet effet un système de tringles

qui ferment les deux robinets à la fois ; s'ils sont indépendants, il faut d'abord fermer le robinet du bas, pour ne pas s'ébouillanter avec l'eau chaude.

Pendant le fonctionnement, le niveau est plus élevé qu'au repos, à cause de l'augmentation de volume de l'eau. Ainsi de zéro à 100 degrés, elle se dilate de 0,04 environ.

Tube de niveau Klinger.

La loi de sécurité sur la navigation exige la mise, sur les tubes de niveau en cristal, d'un protecteur qui rend parfois difficile la lecture du niveau.

Pour répondre aux nécessités de cette loi, on emploie le tube

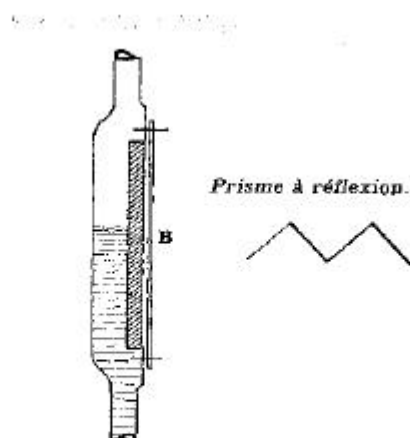


Fig. 32.

- A. Glace.
- B. Cadre en bronze faisant joint au moyen de vis sur la glace et la monture.

Tube de niveau Klinger.

Klinger, qui se compose d'un cadre en bronze fermé par une glace serrée par des vis (fig. 32).

La glace est taillée intérieurement avec des angles de 90 degrés.

Dans la vapeur, les rayons lumineux sont réfléchis totalement et la partie de cette glace est très brillante. Dans l'eau, le rayon lumineux est réfracté et est absorbé par le fond noir de la boîte ; cette partie est noire.

La ligne de démarcation entre l'eau et la vapeur est très nette.

Robinets-jauges.

Dans toutes chaudières on doit toujours maintenir 14 à 15cm d'eau au-dessus des ciels de boîtes à feu. Comme contrôle des tubes de niveau, les chaudières comportent trois robinets-jauges espacés de 12cm environ.

Le robinet milieu, avec un niveau normal ; doit donner de l'eau et de la vapeur; celui supérieur de la vapeur seulement, et celui inférieur rien que de l'eau.

Dans la marine du commerce, le règlement de la Commission des inspecteurs de la navigation exige que les trois robinets-jauges soient placés directement sur la chaudière.

Régulateur d'alimentation.

Le régulateur d'alimentation est un appareil qui sert à régler la quantité d'eau à envoyer aux chaudières.

C'est une boîte en bronze se composant de trois parties, com-

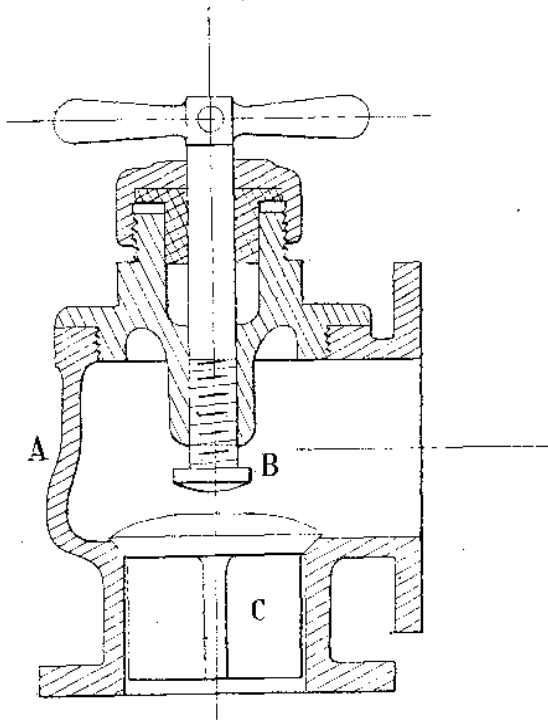


Fig. 33.

portant trois tubulures (fig. 33) : 1° boîte en bronze A, 2° un butoir B et 3° une soupape G.

Une des tubulures sert à recevoir la soupape, l'autre à fixer la boîte, et la troisième à visser le couvercle du régulateur.

Une tige filetée en bronze traverse le couvercle, qui est taraudé dans le fond et sert à régler la levée de la soupape G.

Une embase empêche la tige de se dévisser trop loin et de sortir de son encastrement.

Régulateur d'alimentation à robinet.

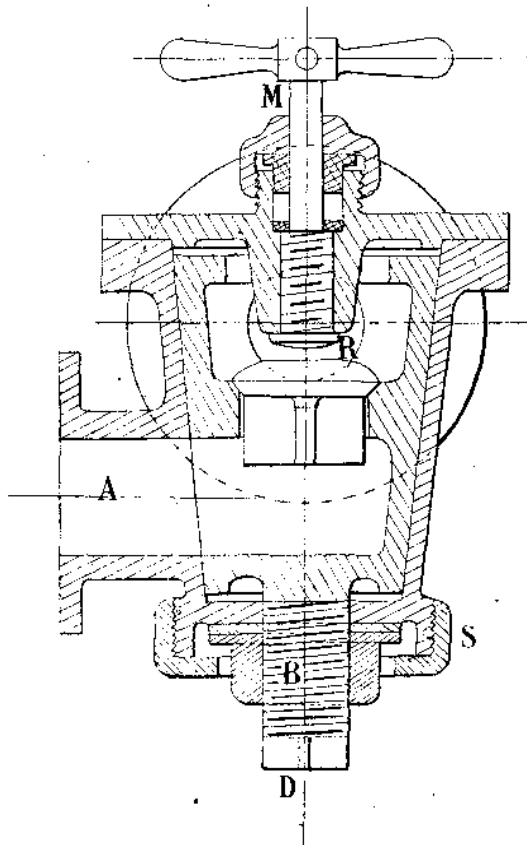


Fig. 34.

Ce régulateur se compose d'un robinet dont le boisseau est fermé à la partie supérieure par un plateau. Ce boisseau porte deux tubulures A et R, placées à angle droit (fig. 34).

La noix est creuse et porte à sa partie supérieure un clapet dont la levée est limitée par une tige.

La noix est maintenue au moyen d'un écrou à embase, qui, au moyen d'une bride S, permet de serrer ou de desserrer la noix.

Manœuvres pour visiter le clapet.

Fermer le robinet : Pour cela, desserrer la tige M, serrer l'écrou S, desserrer l'écrou B jusqu'à ce que la noix soit décoincée, fermer ensuite le robinet au moyen du carré D et appuyer l'écrou B pour l'étancher et l'empêcher de s'ouvrir.

On visite ensuite le clapet.

La loi de sécurité du 17 avril 1907 exige un robinet intermédiaire entre le régulateur alimentaire et la chaudière. Ce régulateur à robinet répond parfaitement au but.

Contrôle des niveaux.

Installation des robinets-jauges. — En cas d'avarie dans le tube indicateur, on contrôle le niveau par les robinets-jauges. Ce sont trois

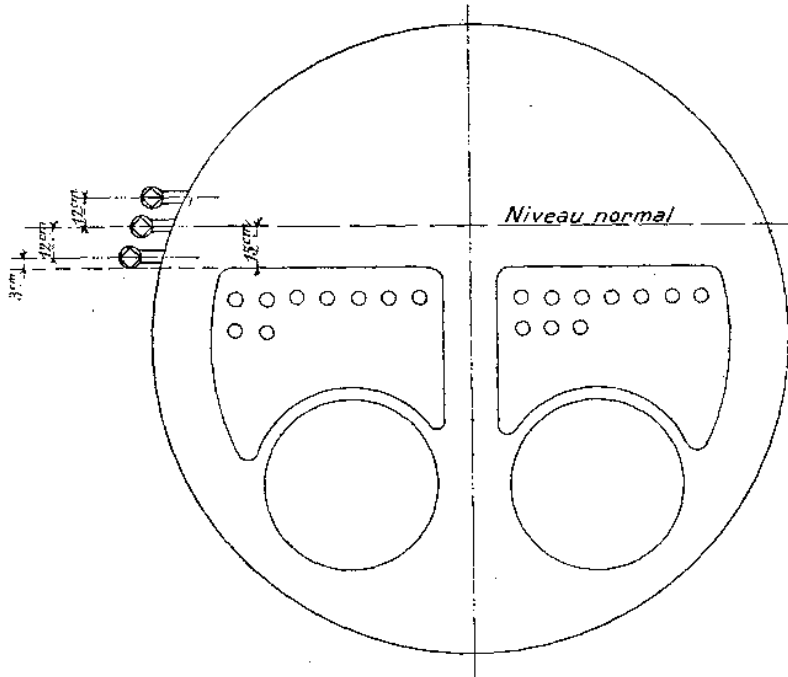


Fig. 35.

Le niveau normal est à 15 centimètres au-dessus du ciel de boîte à feu. Les robinets-jauges sont à 12 centimètres l'un de l'autre, et celui du bas à 3 centimètres au-dessus du ciel de boîte à feu (chaudières à tubes de fumée).

robinets manœuvres par des tringles et placés de telle façon qu'en fonctionnement normal le robinet supérieur ne donne que de la vapeur, le robinet intermédiaire de l'eau et de la vapeur, et le robinet inférieur de l'eau (chaudières à tubes de fumée).

Manomètre métallique de Bourdon.

Le manomètre de Bourdon (fig. 36) se compose d'un tube de

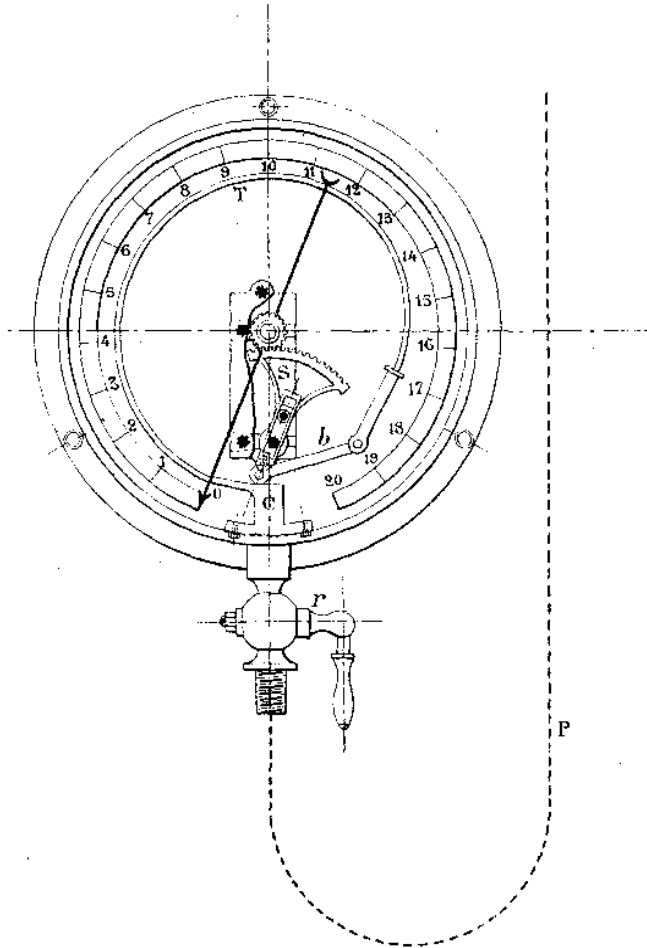


Fig. 36.

laiton T, creux, de $\frac{1}{3}$ de millimètre d'épaisseur, ployé circulairement de façon à former presque un anneau. Ce tube a une section elliptique aplatie.

Une des extrémités C communique avec la chaudière. L'autre extrémité est articulée à une petite bielle *b*, qui transmet à un

secteur S le mouvement de l'extrémité du tube. Le secteur engrène avec un axe denté qui porte une aiguille.

Le manomètre de Bourdon est basé sur le principe suivant : *Toute pression à l'intérieur d'un tube à parois flexibles tend à le dérouler, et, réciproquement, toute pression extérieure tend à l'enrouler.*

Un robinet *r* intercepte au besoin la communication avec la chaudière.

Lorsqu'on met le manomètre en communication avec la chaudière, la pression tend à ouvrir l'anneau, le bout libre tire sur la bielle *b* qui fait manœuvrer le secteur, et l'aiguille tourne de gauche à droite.

Ce manomètre se gradue par comparaison avec un manomètre à air libre ou à air comprimé.

Il y a beaucoup de précautions à prendre avec ce manomètre pour ne pas le fausser. Quand on l'installe, couder le tuyau P pour que le tube soit toujours plein d'eau; né jamais ouvrir brusquement le robinet *r*, afin d'éviter les chocs qui pourraient fausser l'aiguille ou casser les dents du pignon.

La vérification des manomètres doit être faite souvent. On se sert pour cela d'un récipient dans lequel s'exerce une pression hydraulique. Des tubulures permettent de raccorder les manomètres à vérifier. La valeur de la pression dans le récipient est donnée par un manomètre étalon dont on connaît l'exactitude.

Dans une chaudière vide, si le manomètre marque 1, il indique la pression absolue.

Si le manomètre marque zéro, il indique la pression effective. Généralement les manomètres marquent la pression effective.

Indicateur de vide Bourdon.

Cet instrument est en tout semblable au manomètre à *pression*; la seule différence, c'est qu'il est recourbé de droite à gauche, au lieu de l'être de gauche à droite ; la partie ouverte est alors à droite, et la partie fermée à gauche. Il est basé sur ce principe :

Que si le tube est soumis à l'intérieur à une pression moins grande que celle extérieure, le tube s'enroule par l'effet de la différence des pressions.

Les indicateurs de vide sont vérifiés au moyen de la machine pneumatique.

Brides de sûreté.

Les brides de sûreté sont des espèces d'étriers destinés à maintenir la noix dans le boisseau.

La bride M (fig. 37) est fixée à la muraille du navire en S, S;

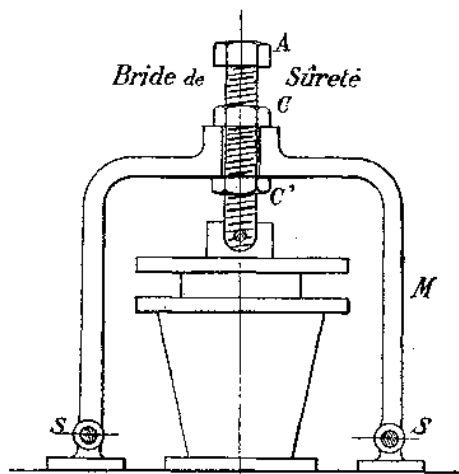


Fig. 37.

une vis A passe dans cette bride et appuie le carré du robinet pour l'empêcher d'être refoulé par l'eau, si le presse-étoupes venait à manquer.

Lorsque les robinets de prises d'eau sont de grandes dimensions, cet étrier permet de les manœuvrer plus facilement. Pour les ouvrir, on desserre l'écrou C', on serre l'écrou C pour décoincer la noix. Ouvrir ensuite le robinet ; resserrer l'écrou C' pour obtenir l'étanchéité du robinet et appuyer l'écrou C sur l'embase de la bride.

Tuyautage de vapeur.

Le tuyautage de vapeur est en cuivre.

La marine de guerre, pour l'emploi des pressions de 15 à 18^{kg}, a remplacé les tuyaux en cuivre, qui n'offraient pas la sécurité voulue, à cause de l'altération du métal au-dessus de 200 degrés, par des tuyaux en acier moulé.

La principale cause de fatigue pour le tuyautage provient des dilatations et des contractions auxquelles il est exposé.

Dans les tuyaux coudés à grand rayon, la dilatation se fait facilement.

Pour les gros tuyaux droits, afin de leur permettre de se dilater, on a recours aux joints glissants (fig. 38).

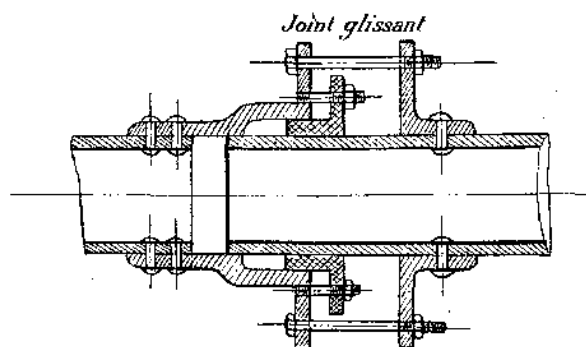


Fig. 38.

Le tuyau est sectionné en deux et réuni par un presse-étoupes qui en assure l'étanchéité ; de la sorte, les deux tuyaux se dilatent à leur aise.

Avec les hautes pressions, les brides sont fixées comme l'indique la figure 39 : le tuyau est ajusté dans la bride et rabattu en *a*; on fait un évidement sur la bride en *b, b*, pour permettre à la brasure de couler et à la bride de bien faire corps avec le tuyau.

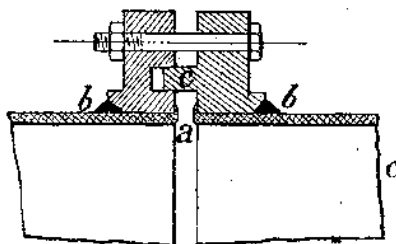


Fig. 39.

Le joint est à encastrement, c'est-à-dire que l'une des brides porte un creux dans lequel s'encastre une embase circulaire *c*. Le joint se fait donc dans le fond de la gorge.

D'autres fois, les brides sont rivées au tuyau. Dans les tuyaux d'échappement du condenseur, où la pression est relativement faible, pour permettre la dilatation du tuyau, on y interpose un demi-store.

Une précaution très importante, pour la sécurité du tuyautage, est la distribution de purges pour extraire la totalité de l'eau.

Le mécanicien doit toujours purger avec soin tout son tuyautage avant de mettre en marche et surtout au moment d'ouvrir la vapeur.

Barillet.

Le barillet est une pièce en fonte, en bronze ou en métal chaudronné, qui a pour but de réunir deux ou plusieurs tuyaux en un seul.

Dans un barillet (fig. 40) on donne les diamètres d et d' : trouver D pour que

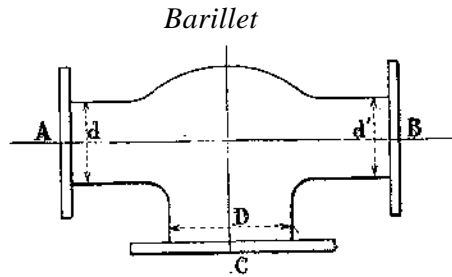


Fig. 40.

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi d^2}{4} + \frac{\pi d'^2}{4}.$$

En divisant cette égalité par π , il reste :

$$D^2 = d^2 + d'^2,$$

et

$$D = \sqrt{d^2 + d'^2}.$$

Il faut donc que le diamètre du tuyau D soit égal à l'hypoténuse du triangle rectangle ayant d et d' pour côtés.

Ramoneur à vapeur.

C'est un appareil qui sert à faire le ramonage des tubes à la vapeur.

Ce système se compose d'une boîte à soupape sur laquelle vient se visser le raccord M d'une manche en caoutchouc vulcanisé B .

La soupape à ailettes H est manœuvrée au moyen d'un levier D à poignée. La soupape s'ouvre de dehors en dedans.

La manche B est munie d'un ajutage en cuivre C , manœuvré à l'aide de la poignée en bois N .

Pour ramoner, il faut deux hommes : l'un, tenant la lame G , J'ap-

puie à l'entrée du tube et commande à l'homme qui manœuvre la soupape A d'ouvrir ou de fermer. Ne pas essayer de ramoner les tubes complètement bouchés par le sel : on risquerait de se brûler. C'est également le moyen employé pour ramoner les chaudières multitubulaires : dans ce cas, le bout G est terminé par une lance

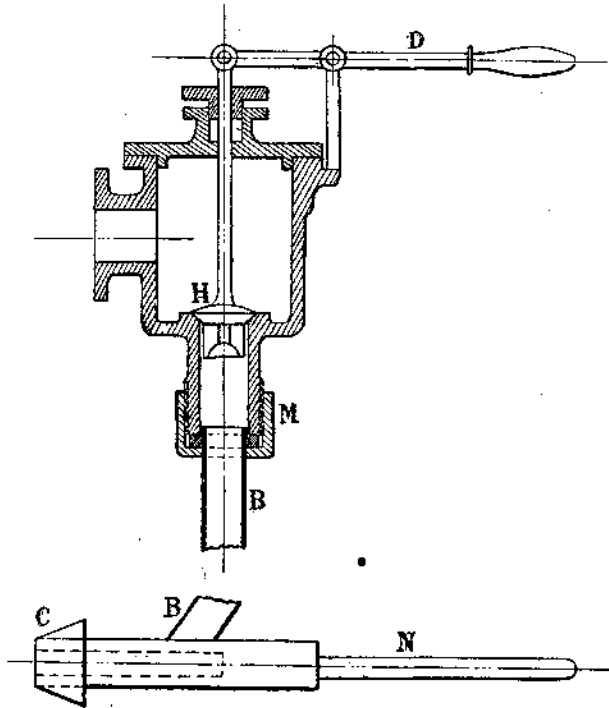


Fig. 41.

qu'on dirige dans les intervalles des tubes. La soupape H peut être remplacée par un robinet, qu'on laisse ouvert pendant le ramonage.

Avec les hautes pressions, la manche en caoutchouc est remplacée par un tube en cuivre flexible.

Au mouillage, le ramonage se fait à l'aide de brosses en acier ou en laiton.

Avec ce genre de ramonage, la vapeur est plus ou moins humide, ce qui colle la suie dans les tubes et diminue le passage des gaz, surtout avec l'emploi de la surchauffe. Aussi l'emploi des ramoneurs éjecteurs à air chaud sous pression se répand de plus en plus.

Cubage des soutes par l'application de la formule de Thomas Simpson.

Pour déterminer exactement la contenance d'une soute, on procède comme suit :

Supposons une soute transversale : partageons-la en un certain nombre pair de plans perpendiculaires au plan longitudinal, et par conséquent parallèles entre eux et aux cloisons transversales. Ces sections seront suffisamment rapprochées pour que les courbures du bordée entre chaque plan puissent être considérées comme des lignes droites.

Ces plans seront tracés dans la soute même au moyen de craie, ou encore mieux au moyen de fils, pour faciliter les opérations suivantes :

1° Calculer la surface de chaque section.

2° Calculer le volume de la soute.

1° *Procédons d'abord au calcul de la surface des sections.* Soit la section transversale ABCD (fig. 41 bis).

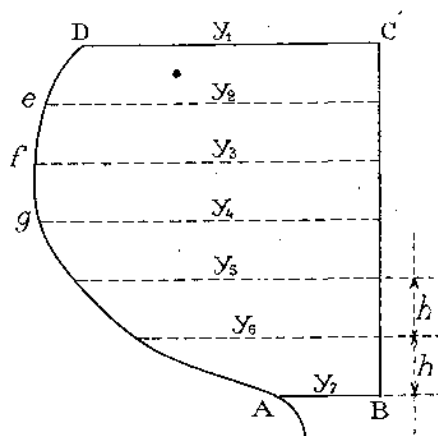


Fig. 41 bis.

On partage la hauteur BC en un certain nombre pair de parties égales, suffisamment petites pour que les lignes telles que De, ef, fg, puissent être considérées comme des droites.

Nota. — D'une façon générale, toutes les parties de cet ouvrage composées en petits caractères sont en dehors du programme.

Menons les ordonnées (*toujours au moyen de fils*) $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, \dots$.
 La surface de la section ABCD, d'après la formule de Thomas Simpson, est :

$$S = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + 4y_6 + y_7).$$

Cette formule s'écrit d'une manière générale :

$$S = \frac{h}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + \dots + 4y_n + y_{n+1});$$

c'est-à-dire, la distance entre chaque ordonnée divisée par 3 et multipliée par : la somme de la première et dernière ordonnée, plus quatre fois la somme des ordonnées de rang pair, plus deux fois la somme des ordonnées de rang impair.

Pour plus de facilité dans les calculs des surfaces, on dispose la formule de la façon suivante :

NUMÉROS DES ORDONNÉES	VALEUR DES ORDONNÉES	FACTEURS	PRODUITS
1	y_1	1	$P_{.1}$
2	y_2	4	$P_{.2}$
3	y_3	2	$P_{.3}$
4	y_4	4	$P_{.4}$
⋮	⋮	⋮	⋮
$4n$	y_n	4	$P_{.n}$
$4n + 1$	y_{n+1}	1	$P_{.n+1}$

2° *Volume de la soule*. — Ayant déterminé la surface de toutes les sections que nous représenterons, par $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_n, s_{n+1}$ et faisant l égale la distance entre chaque plan ou section, la formule générale qui donne le volume est égale à :

$$V = \frac{l}{3} (s_1 + 4s_2 + 2s_3 + 4s_4 + \dots + 4s_n + s_{n+1});$$

c'est-à-dire la distance entre chaque plan divisée par 3 et multipliée par : la somme des plans extrêmes, plus quatre fois la somme des plans pairs, plus deux fois la somme des plans de rangs impairs.

Charbon dépensé par heure et par cheval.

Soient F la puissance en chevaux déterminée pendant les essais officiels, C la consommation de charbon correspondante par heure. La consommation par cheval-heure sera :

$$q = \frac{C}{F}.$$

L'emploi des machines à décentes successives a fait descendre cette dépense de 1^{kg} environ, où elle était il y a quelques années, à 0^{kg},650 en moyenne.

Il est certain que le rapport $q = \frac{C}{F}$ donne une idée exacte de la valeur économique de la machine, et il est toujours nécessaire de préciser dans quelles circonstances et à quelle allure il doit être déterminé (car un navire, qui dépense 0^{kg},650 à allure moyenne, peut dépenser 0^{kg},800 et plus à la grande vitesse).

REMARQUE. — L'expérience a démontré qu'il existe entre la puissance d'une machine et le nombre de tours un rapport constant, à condition que l'immersion et les résistances extérieures soient également constantes.

On aurait : $\frac{F}{F'} = \frac{N^3}{N'^3}$,

c'est-à-dire que les puissances sont proportionnelles aux cubes des nombres de tours.

Dépense de charbon par mille parcouru.
Distance franchissable.

Soient :

F = puissance développée en chevaux ;

q = consommation par cheval-heure ;

V = vitesse ou nombre de milles parcourus dans une heure.

La dépense totale par heure = $F \times q = C$, donc la consommation par mille sera :

$$m = \frac{F \times q}{V} = \frac{C}{V}.$$

Cette expression donne donc le prix du mille, ce qu'il coûte à parcourir, et par conséquent le nombre de milles que l'on peut parcourir avec un approvisionnement de charbon.

La traversée maxima, ou distance franchissable, est donnée par la formulé :

$$M = \frac{Q}{m} = \frac{QV}{C},$$

dans laquelle Q est l'approvisionnement de charbon.

Il est évident que M sera maxima pour une allure à déterminer pour chaque machine.

Quantité d'eau vaporisée par kilogramme de charbon. — Soient :

C = consommation totale du charbon par heure ;

R = poids de l'eau mesuré dans une heure.

Le rapport $\frac{R}{C}$ est le poids vaporisé par kilogramme de charbon.

Ce rapport est de 8^{kg} environ; mais il peut descendre au-dessous. Avec certaines chaudières multitubulaires, il est de 6^{kg} environ.

**Relations entre la vitesse et la consommation de charbon.
Problèmes de navigation à vapeur.**

Problème. — *Un navire file V nœuds avec (n) foyers en activité. Quelle sera sa vitesse V avec (n') foyers conduits de la même manière?*

On admet en pratique que les puissances développées sont directement proportionnelles aux consommations de charbon.

P et P' les puissances correspondantes à V et V'.

Si G et C' sont les consommations correspondantes par heure, le navire étant en

$$\frac{P}{P'} = \frac{C}{C'} = \frac{V^3}{V'^3},$$

c'est-à-dire : *Les consommations de charbon dans un temps donné sont proportionnelles aux cubes des vitesses.*

Et comme les foyers sont conduits de la même manière,

$$\frac{V^3}{V'^3} = \frac{n}{n'},$$

équilibre dynamique, on aura :

c'est-à-dire : *Que les nombres des feux à maintenir en activité sont proportionnels aux cubes des vitesses à obtenir.*

Application. — *Si un navire file 12 nœuds avec 24 foyers, combien filera-t-il avec 16 foyers ?*

Nous aurons : $V' = 12 \sqrt[3]{\frac{16}{24}} = 10 \text{ nœuds, } 5.$

Problème. — Un navire possède Q^{ix} de charbon, qui, à la vitesse V , lui permet de parcourir M milles. Quelle doit être la vitesse V pour qu'avec Q^{ix} il puisse parcourir M' milles?

C égale la consommation dans le premier cas par heure. G
égale la consommation dans le deuxième cas par heure.

$$C = \frac{QV}{M}, \quad C' = \frac{Q'V'}{M'};$$

d'où
$$\frac{C}{C'} = \frac{QV}{M} \times \frac{M'}{Q'V'} = \frac{V^3}{V'^3}.$$

Divisant par $\frac{V}{V'}$, il reste;

$$\frac{QM'}{Q'M} = \frac{V^2}{V'^2}. \quad (1)$$

Si dans cette formule nous faisons $Q = Q'$, nous aurons :

$$\frac{M}{M'} = \frac{V^2}{V'^2} \quad \text{et} \quad V' = V \sqrt{\frac{M}{M'}}; \quad (2)$$

c'est-à-dire : Les nombres des milles qu'un navire peut parcourir avec un approvisionnement donné de charbon sont inversement proportionnels aux carrés des vitesses.

Application. — Un navire a un approvisionnement de charbon qui lui permet de parcourir 3000 milles avec une vitesse de 12 nœuds. Quelle devra être sa vitesse x pour qu'avec le même charbon il fasse 4500 milles?

D'après la formule (2), $x = 12 \sqrt{\frac{3000}{4500}} = 9 \text{ nœuds}, 7.$

Si nous faisons dans la formule (1) $M = M'$, on aura :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{V^2}{V'^2}; \quad (3)$$

c'est-à-dire que : Pour un même trajet, les dépenses de charbon sont directement proportionnelles aux carrés des vitesses.

Application. — S'il faut 500^{ix} de charbon à un navire pour faire une certaine distance avec une vitesse de 12 nœuds, quel approvisionnement lui faudra-t-il pour parcourir le même espace à une vitesse de 8 nœuds?

D'après la formule (3), nous aurons :

$$x = 300 \times \frac{(12)^2}{(8)^2} = 225 \text{ t.}$$

Ce problème fait voir l'économie notable de charbon qu'on peut réaliser dans une traversée en modérant l'allure de la machine.