



qu'ils ne soient pas projetés au loin lorsqu'ils sont soulevés, ces cylindres sont creux, ouverts en bas et percés à la circonférence de plusieurs larges ouvertures, qui permettent à la vapeur de s'écouler latéralement; ils ont un diamètre un peu plus petit que celui des tubulures dans lesquelles ils sont engagés; par cette disposition, leurs mouvements ont lieu dans la direction de leur axe. Les cylindres des soupapes sont quelquefois creusés extérieurement, de manière à former trois nervures, qui ont un axe commun. Quand les soupapes sont coniques, elles sont garnies à la partie inférieure d'une tige d'un petit diamètre, qui passe dans un ou plusieurs anneaux fixes, qui servent de guides à la soupape dans ses mouvements. Dans tous les cas, les surfaces en contact avec les bords supérieurs de la tubulure ont toujours une petite étendue.

Il est utile de ménager, au-dessus du chapeau des soupapes, une partie carrée, au moyen de laquelle on puisse facilement les roder sur leur siège, lorsqu'elles laissent dégager la vapeur, par suite de l'oxydation des surfaces en contact, ou de l'interposition de matières étrangères entraînées par la vapeur.

806. Avant de décrire les différentes formes de soupapes de sûreté, nous parlerons d'un phénomène fort singulier qu'elles produisent, et qui peut avoir une grande influence sur leur efficacité.

Le fait dont il est question a été observé, pour la première fois, par M. Griffith, ingénieur des mines de Fourchambault. Voici en quoi il consiste : Si de l'air fortement comprimé dans un réservoir s'échappe par une ouverture pratiquée dans une large surface plane, et que l'on présente au courant une planche ou un disque métallique d'un diamètre beaucoup plus grand que celui de la veine, ce corps, repoussé d'abord par la pression de la veine d'air, est au contraire attiré lorsqu'en surmontant cette répulsion il a été approché à une petite distance du plan de l'orifice. Le disque ne peut alors être éloigné que par une force plus ou moins considérable.

Depuis, on a reconnu que les mêmes phénomènes ont lieu dans l'écoulement de l'air et de l'eau. L'effet dont il est question provient de ce fait général dans l'écoulement de tous les fluides : lorsqu'une veine qui sort d'un tube s'épanouit dans un tuyau dont le diamètre augmente progressivement, l'accroissement de section est toujours accompagné

d'une diminution de pression contre la surface intérieure du tuyau, diminution qui peut rendre la pression intérieure plus petite que la pression extérieure. Dans l'expérience de M. Griffith, la veine d'air s'épanouissait évidemment dans un canal dont la section était la surface d'un cylindre, ayant pour hauteur la distance des deux plaques, et pour base les cercles concentriques à celui de l'orifice.

La diminution de pression dans un orifice évasé, disposé d'une manière quelconque, peut être constatée en plaçant contre la surface des manomètres qui communiquent à l'intérieur et à l'extérieur. Pour l'air, on peut la constater en plaçant un entonnoir de papier à l'extrémité d'un soufflet d'appartement; l'excès de la pression extérieure sur la pression intérieure l'écrase quand le papier n'est pas trop résistant.

807. Ces expériences ont d'abord fait regarder les soupapes de sûreté comme ne présentant aucune garantie contre un excès de pression. Mais en ne donnant qu'une très-petite largeur à la surface qui est en contact avec leur siège, quand elles sont cylindriques, ou qu'une très-petite largeur à la projection du cône tronqué, qui forme leurs surfaces extérieures, quand elles sont coniques, les soupapes de sûreté se soulèvent toujours sous des pressions peu différentes de celles qui correspondent à leurs charges.

En effet, désignons par S la surface de la soupape pressée par la vapeur, par s la surface en contact avec le siège, par p la pression de l'atmosphère sur l'unité de surface, et enfin par n le nombre d'atmosphères de la vapeur. La charge P de la soupape sera égale à $p(n-1)S$. Si nous supposons que la soupape ne touche le siège que par un très-petit nombre de points, une couche d'air très-mince couvrira presque toute la surface s ; et quand la soupape se trouvera soulevée d'une quantité très-petite, en supposant que la pression de la vapeur sous le rebord de la soupape soit complètement nulle, la pression exercée sur la soupape sera $p(n-1)S + ps$; ainsi, pour la soulever complètement, la tension de la vapeur dans la chaudière devrait augmenter d'un nombre d'atmosphères représenté par $s : S$, et par conséquent d'une fraction d'atmosphère d'autant plus petite, que le rapport de s à S sera plus petit. Or, dans les dispositions ordinaires, $s : S$ est plus petit que 0,1; ainsi, l'influence du phénomène dont il est question est très-faible, d'autant plus que les suppositions que nous avons faites sont les plus



défavorables et ne peuvent jamais se réaliser, car la surface s touche toujours le siège sur une étendue plus ou moins considérable, et la vapeur, en s'écoulant, exerce toujours une certaine pression contre les bords de la soupape.

Mais il n'en est ainsi qu'à la condition que s soit très-petit par rapport à S , car, si le contraire avait lieu, l'accroissement de pression nécessaire pour soulever entièrement la soupape, pourrait être très-considérable.

808. Les soupapes de sûreté peuvent se diviser en deux classes, celles qui sont chargées directement par un poids, et celles dans lesquelles la charge a lieu par l'intermédiaire d'un levier.

809. *Soupapes chargées directement.* Les figures 4 et 5 (pl. 21) représentent, la première, une coupe verticale, la seconde, une projection horizontale d'une soupape de sûreté à charge directe, disposée de la manière la plus simple. AB est la surface supérieure de la chaudière; CD une tubulure en fonte boulonnée sur la chaudière; G et H deux tiges verticales fixées sur le rebord supérieur de la tubulure; IK une tige horizontale percée d'un orifice en son milieu et qui relie les deux tiges G et H ; P , la soupape de sûreté; sur sa tête est fixée la tige L , autour de laquelle sont posés les poids annulaires M , pourvus dans la direction d'un rayon d'une fente qui permet de les mettre en place sans démonter la traverse IK . La soupape est en cuivre, et la partie qui s'engage dans la tubulure est cylindrique, sensiblement du même diamètre, et percée de quatre ou cinq ouvertures rectangulaires pour donner issue à la vapeur. Ordinairement on fixe, par le choc, sur le bord supérieur de la tubulure, et dans la fonte, un anneau de bronze qui dépasse un peu le plan EF , auquel on donne intérieurement le diamètre de la tubulure, et que l'on rend parfaitement plan sur la face libre qui doit former le siège de la soupape, et on rode la soupape sur son siège en introduisant entre eux une petite quantité d'émeril très-fin.

810. Les figures 6 et 7 (pl. 21) présentent une disposition analogue; seulement, la soupape est conique et son siège est formé par une douille en cuivre fixée dans la tubulure en fonte; elle est guidée dans son mouvement par une tige mn fixée à sa partie inférieure, et engagée dans un anneau qui fait partie de la douille de cuivre.

811. Les figures 8 et 9 (pl. 21) représentent deux soupapes de sûreté qui

sont chargées par des poids placés dans l'intérieur même des chaudières; pour la seconde, on introduit le poids par le trou d'homme.

812. Les figures 10 et 11 représentent une disposition de soupape analogue à celle des figures 4 et 5. La charge, composée de grenaille de plomb, est placée dans une boîte M, qui est guidée dans son mouvement par deux traverses qui passent à travers deux montants fixes. Dans toutes les dispositions que nous venons de décrire, la vapeur, en sortant par la soupape, se dégage librement dans l'air. Dans les appareils suivants la vapeur est conduite hors de l'atelier par un tuyau. Ces appareils sont principalement destinés à évacuer la vapeur à la fin du travail.

813. Dans la figure 12 (pl. 21) la soupape et la charge sont renfermées dans une boîte en fonte boulonnée sur la chaudière, et garnie d'une tubulure destinée à conduire la vapeur au dehors; la tige de la soupape traverse librement la paroi supérieure de la boîte, et elle est suspendue à un levier destiné à faire mouvoir la soupape. Les figures *a* et *b* représentent une coupe et une projection de la pièce en cuivre, fixée par pression dans la fonte, et qui sert à la fois de guide et de siège à la soupape.

814. Les figures 14 et 15 représentent un appareil analogue; seulement, pour éviter la perte de vapeur par l'espace libre qui existe nécessairement dans l'appareil précédent, entre la partie supérieure de la tige de la soupape et les bords de l'orifice percé dans la paroi supérieure de la boîte, cette tige passe à travers une boîte à étoupe, et la pression a lieu à l'aide d'un levier.

815. La soupape de Maudslay, figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 22), ne diffère des précédentes qu'en ce qu'une partie du poids qui charge la soupape est en dehors de la boîte. La tige de la soupape est dirigée par une douille en cuivre fixée par pression dans la fonte. Le poids supérieur est supporté par quatre petits appendices de la tige; mais comme il est percé de quatre ouvertures correspondantes, en le tournant de manière que ces ouvertures soient en regard des appendices de la tige, le poids descend sur la face supérieure de la boîte, et la soupape n'est plus chargée que par le poids intérieur.

816. La soupape de sûreté employée en Belgique est représentée figure 5 (pl. 22); elle est garnie d'une tige triangulaire et repose sur un siège à arêtes vives. La soupape et le poids qui produit la charge sont

placés dans une boîte en fonte fermée, afin que l'on ne puisse pas augmenter la charge; cette boîte est garnie de plusieurs orifices par lesquels la vapeur se dégage quand la soupape est ouverte. La tige autour de laquelle les poids sont placés, est terminée par une chaîne fixée à un levier qui sert à soulever la soupape.

817. *Soupape à ressort.* Au lieu de poids on emploie quelquefois des ressorts qui agissent directement sur la soupape. On peut même alors disposer l'appareil de manière qu'il indique la pression de la vapeur. Dans ce cas, l'appareil se compose d'un cylindre alésé, renfermant un piston surmonté d'un ressort à boudin qui s'appuie sur le couvercle du cylindre. Le piston est garni d'une tige qui sort du cylindre à travers une boîte à étoupe. En faisant communiquer la partie inférieure avec une chaudière à vapeur, l'extrémité de la tige pourra marquer sur une échelle, directement ou par l'intermédiaire d'un mécanisme convenable, la tension de la vapeur. La tige du piston pourrait même ouvrir une soupape de décharge lorsque celui-ci aurait atteint une certaine hauteur. Les variations de résistance que peuvent présenter le mouvement du piston et celui du ressort ne permettent pas d'employer ces appareils avec sécurité.

818. La figure 6 (pl. 22) représente une soupape à ressort employée dans les générateurs des locomotives. Le ressort est composé de douze lames d'acier alternativement courbées en sens contraire, dont les extrémités sont fixées dans deux montants *ab* et *cd*; une traverse *mn* qui s'appuie sur le système des ressorts sert à fixer la pression exercée sur la soupape.

819. *Soupape chargée par l'intermédiaire d'un levier.* La figure 16 (pl. 21) représente la disposition la plus simple de cet appareil. Le levier *mn* qui s'appuie sur la tête de la soupape est mobile autour du point *o*. *rs* est une fourchette qui sert à guider le levier dans son mouvement. Il est évident que la charge de la soupape est égale au poids *M* multiplié par le rapport de *on* à *om*; mais il faut ajouter à ce poids celui du levier lui-même; en désignant ce poids par *P*, par *l* la distance de son centre de gravité *p* au point *o*, distance que l'on déterminera par tâtonnement en suspendant le levier entre deux pointes jusqu'à ce qu'il reste en équilibre, l'effet du poids du levier sera évidemment égal au produit *Pl* divisé par la distance *om*.

820. La figure 16 (pl. 22) représente une disposition de soupape de

sûreté des générateurs des locomotives. La soupape est pressée par un ressort et un levier. La tige *mn* est fixée au point *n* à la chaudière, et on fait varier la tension du ressort au moyen de l'écrou *p*.

Les figures 14 et 15 (pl. 22) représentent une autre manière de disposer la soupape de sûreté et la tige fixée au levier qui presse la soupape.

821. Les appareils figures 12 et 13 (pl. 22) sont destinés à établir ou à intercepter la communication de la chaudière sur laquelle ils sont montés, avec un tuyau qui conduit la vapeur de plusieurs chaudières au lieu où elle doit être employée ou comme force motrice, ou comme moyen de chauffage.

822. M. Chaussonot a fait récemment aux soupapes de sûreté un perfectionnement très-important. Cette nouvelle disposition est représentée figure 17 (pl. 22). Le centre de rotation du levier est exactement dans le plan de contact de la soupape et de son siège; par cette circonstance la soupape se soulève parallèlement à elle-même. La tige fixée au levier qui appuie à la partie inférieure de la cavité conique percée dans la soupape, peut être placée exactement dans la position convenable au moyen d'un jeu suffisant dans l'orifice du levier, à travers lequel elle passe, et de l'écrou qui la fixe; alors cette tige ne pouvant pas se déranger, et agissant toujours sur le même point de la soupape, celle-ci reprend toujours exactement la même position, et on a pu ne donner qu'environ 1 millim. de largeur aux bords inférieurs de la soupape ainsi qu'à la pièce fixe sur laquelle elle s'appuie; alors il ne peut point y avoir d'adhérence sensible entre la soupape et son siège, et la soupape se lève exactement à la pression pour laquelle elle a été calculée. Je regarde cette disposition comme bien préférable à toutes les autres. J'ai vu ces soupapes fonctionner avec toute la précision qu'on devait attendre de leur bonne disposition.

823. Les figures 7, 8 et 9 (pl. 22) présentent une élévation, une coupe et une projection horizontale d'un appareil qui porte en même temps une plaque fusible et une soupape de sûreté. La plaque fusible *mn* est maintenue par une plaque de fonte à jour boulonnée sur les bords de la tubulure.

824. Les figures 10 et 11 (pl. 22) représentent un appareil qui renferme, comme le précédent, une soupape de sûreté et une plaque fusible, mais qui est disposé de manière que l'écoulement de la vapeur puisse être

arrêté quand la rondelle a été fondue par une trop grande élévation de température, et que l'on puisse remettre une plaque fusible sans être obligé d'interrompre le travail.

825. Dans les figures 1, 2 et 3 (pl. 23), on a représenté des appareils très-fréquemment employés. Sur une même douille fixée à la chaudière se trouvent la soupape de sûreté, la plaque fusible et l'appareil à flotteur pour reconnaître le niveau de l'eau dans la chaudière.

826. La figure 4 (pl. 23) représente un appareil de M. Hall, qui renferme le flotteur, la soupape de sûreté, une plaque fusible avec une soupape pour arrêter l'écoulement de la vapeur quand la plaque fusible est fondue, et une disposition pour régler l'alimentation. Les figures 5 et 6 représentent les détails de la boîte de fonte sur une plus grande échelle. La disposition relative à l'alimentation exige seule une explication. L'eau d'alimentation, poussée par une pompe, passe par le tuyau *abc* (fig. 6) qui traverse le corps de pompe ABCD; dans ce corps de pompe se trouve un piston creux *mn* fixé à une tige *pq* qui, après avoir traversé une boîte à étoupe, vient s'articuler au balancier du flotteur; par cette disposition, le piston forme un registre qui fait varier la quantité d'eau d'alimentation suivant la hauteur du niveau de l'eau dans la chaudière.

827. Dans les générateurs des locomotives, on emploie des sifflets à vapeur destinés à donner différents signaux. Ils sont construits sur le même principe que les sifflets ordinaires; une lame de vapeur est dirigée contre un biseau aigu. Mais, pour rendre le son plus fort, au lieu de donner à la lame de vapeur une petite largeur, on lui donne la forme d'une surface cylindrique d'un grand diamètre, et on place au-dessus une calotte métallique dont les bords taillés en biseau appartiennent à un cercle de même diamètre que celui du cylindre de vapeur; la calotte est elle-même un timbre qui, par sa résonance, augmente l'effet produit. La figure 18 (pl. 22) représente un sifflet à vapeur; le tuyau AB, garni d'un robinet, communique avec la chaudière; quand il est ouvert, la vapeur s'écoule par la fente annulaire *ab*, et le courant vient se briser contre le biseau annulaire *cd*.

828. M. Sorel a imaginé une nouvelle soupape de sûreté à sifflet. Les figures 7 et 8 (pl. 23) représentent la disposition de cet appareil; il est formé d'une soupape ordinaire dont les bords jouent dans un canal an-

nulaire qui dirige la vapeur dans une fente de même forme placée au-dessous du timbre.

829. La figure 9 (pl. 23) représente un appareil complet de M. Sorel, qui renferme le niveau d'eau, la soupape de sûreté et la plaque fusible. Le levier du niveau d'eau porte une fourchette qui embrasse le levier de la soupape, de manière à la soulever lorsque le niveau est descendu au-dessous d'une certaine limite; alors la vapeur s'échappe en produisant un grand bruit qui avertit le chauffeur.

830. *Soupapes qui se soulèvent à une température donnée de la vapeur.* Les soupapes ordinaires, surtout celles qui sont pourvues d'un large rebord, ayant la propriété d'adhérer à leurs sièges, on a eu l'idée de faire lever les soupapes à une limite donnée de température, en employant pour cela la force de dilatation des métaux. Mais ces appareils sont compliqués; ils exigent, dans tous les détails de leur construction, une précision à laquelle il est difficile d'arriver; aussi on y a renoncé. Pour donner une idée de la manière dont ils pourraient être disposés, imaginons qu'au-dessous de la tubulure d'une soupape ordinaire on ait placé un tuyau en fer, vertical, fermé par la partie inférieure et renfermant un cylindre d'un métal plus dilatable fixé au fond du tuyau de fer, pouvant facilement s'allonger et se raccourcir dans ce tuyau, et dont la longueur soit telle, qu'à la limite de température assignée, le cylindre vienne s'appuyer sur la soupape; à une température plus élevée, il la lèvera nécessairement.

831. Dans les chaudières à basse pression, on emploie quelquefois, au lieu de soupape de sûreté, un tube ouvert par les deux bouts, qui plonge dans l'eau de la chaudière de quelques centimètres au-dessous du niveau habituel, et qui s'élève à une hauteur telle, que la colonne d'eau qu'il renferme, augmentée de la pression atmosphérique, excède la pression sous laquelle la vapeur doit se former. Si la pression dépassait la limite correspondante à la hauteur du tube, la chaudière se viderait jusqu'à la hauteur de l'extrémité inférieure du tube, et ensuite la vapeur sortirait librement; et si le niveau de l'eau dans la chaudière descendait au-dessous du même orifice, la vapeur se dégagerait évidemment par le tube. Cet appareil pourrait servir de manomètre à eau; il serait d'un service très-commode pour les chaudières qui fonctionnent à une pression réelle plus petite qu'une atmosphère $\frac{1}{2}$.



832. *Souppes de sûreté contre un excès de pression extérieure.* Lorsque, par une trop grande injection d'eau froide d'alimentation dans une chaudière, ou seulement par son refroidissement, la tension de la vapeur s'abaisse au-dessous de la pression de l'atmosphère, la chaudière peut être écrasée par l'excès de la pression extérieure. Pour éviter cet accident, qui n'est réellement à craindre que pour les chaudières à basse pression, à cause de leur forme et de la petite épaisseur du métal, on place sur les chaudières, et ordinairement sur la plaque qui ferme le trou d'homme, une soupape qui s'ouvre lorsque la pression intérieure est au-dessous de celle de l'atmosphère (fig. 10 et 11, pl. 16).

§ 5. — THERMOMÈTRES, PLAQUES FUSIBLES, PLAQUES ÉLASTIQUES.

833. *Thermomètres.* Jusqu'ici on n'a point adapté de thermomètres aux chaudières à vapeur, du moins l'usage n'en est point général. Cependant ces instruments pourraient servir à indiquer non-seulement les températures, mais encore les pressions de la vapeur saturée, puisque l'on a des tables suffisamment exactes qui donnent les pressions correspondantes aux différentes températures. A la vérité, pour les grandes pressions, les indications du thermomètre auraient peu de précision, car alors une petite variation de température correspond à une grande variation de pression; mais quand les pressions ne s'élèvent qu'à un petit nombre d'atmosphères, les indications peuvent être suffisantes pour diriger le travail d'une chaudière. L'échelle devrait porter d'un côté les températures, et de l'autre les pressions.

834. Mais le réservoir du thermomètre ne devrait pas être exposé librement dans l'intérieur de la chaudière, à cause de la pression qui diminuerait le volume du réservoir et qui élèverait le mercure dans le tube à une hauteur plus grande que celle qui correspond à la température. Le thermomètre devrait être plongé dans un cylindre de fer rempli d'huile ou de mercure, dont les bords seraient fixés sur un orifice percé dans la partie supérieure de la chaudière.

835. En employant des thermomètres ouverts à leur partie supérieure, on pourrait les faire en métal et les garnir d'un flotteur et d'un indicateur, comme les manomètres à mercure; il serait facile de leur

donner des dimensions suffisantes pour que les espaces parcourus par l'indicateur, pour les pressions ordinaires, fussent assez considérables. A la vérité, une partie du mercure pourrait se volatiliser; mais le tube étant rétréci supérieurement de manière que l'air ne s'y renouvelle pas, et la température n'étant jamais élevée jusqu'à l'ébullition du mercure, l'évaporation serait peu sensible : d'ailleurs rien ne serait plus facile que de l'éviter complètement, en refroidissant continuellement la tige à l'aide d'un petit filet d'eau; pour cela, on environnerait la tige d'un cylindre communiquant supérieurement avec un tuyau qui fournirait l'eau froide, et inférieurement avec un autre tuyau par lequel s'écoulerait l'eau échauffée. Le refroidissement serait rapide et exigerait peu d'eau, parce que la capacité calorifique du mercure est très-petite.

836. M. Collardeau a présenté à la Société d'encouragement, il y a quelques années, un thermomètre destiné aux chaudières à vapeur, et qu'il nomme *thermomètre*. Cet instrument est un grand thermomètre qui a été gradué dans la graisse au moyen d'un thermomètre étalon. L'échelle est tracée sur le verre; elle indique les pressions correspondantes aux différentes températures.

Les divisions correspondent à des 10^{es} d'atmosphère. La longueur du tube est de 50 à 60 centimètres; le tube est conique intérieurement, et son diamètre est décroissant du réservoir au sommet : M. Collardeau a employé cette forme pour donner plus d'étendue aux divisions supérieures. Le prix de l'instrument, non compris la monture, est de 35 fr.; en prenant un verre plus mince et un tube plus court, le prix est seulement de 25 fr.

A la rigueur, un thermomètre pourrait dispenser du manomètre, surtout lorsque la chaudière est garnie d'un bon indicateur du niveau, et d'un bon appareil d'alimentation; mais il est bien plus prudent d'avoir à la fois les deux instruments, parce que leur comparaison donne le moyen de reconnaître si la vapeur est saturée.

837. *Plaques fusibles*. Les plaques dont il est question sont des lames plus ou moins épaisses, formées d'un alliage, dans des proportions variables, de bismuth, de plomb et d'étain, qui n'est fusible qu'à la température que l'on ne veut pas dépasser; elles ferment des ouvertures pratiquées sur la chaudière; le contour de chaque plaque est maintenu sur le rebord de l'ouverture par un anneau à écrou. Quand la tempé-



rature de la vapeur a atteint celle de la fusion de la plaque, cette dernière entre en fusion, et laisse un libre passage à la vapeur.

838. Pour que les plaques fusibles remplissent leur fonction, elles doivent satisfaire à plusieurs conditions.

1° Elles doivent être composées des trois métaux que nous avons désignés, dans des proportions telles, que l'alliage soit fusible à une température un peu supérieure à celle sous laquelle la vapeur doit se former, mais qui soit encore bien inférieure à celle de la vapeur dont la force élastique correspond au minimum de résistance de la chaudière. L'ordonnance royale exige que chaque chaudière soit munie de deux plaques fusibles : l'une, la plus petite, à 10° au-dessus de la température correspondante à celle du travail ordinaire; et l'autre, à 20° au-dessus. Le tableau suivant donne la composition des alliages qui fondent à des températures correspondantes aux pressions comprises entre 1 et 8 atmosphères :

NOMBRE d'atmosphères.	TEMPÉRATURE correspondante.	TEMPÉRATURE réelle de la fusion.	COMPOSITION DE L'ALLIAGE.		
			BISMUTH.	PLOMB.	ÉTAIN.
1	100	100	8	5	3
1 1/2	112,2	113,3	8	8	4
2	121,4	123,3	8	8	8
2 1/2	128,8	130	8	10	8
3	135,1	132,4	8	12	8
3 1/2	140,6	143,3	8	16	14
4	145,4	145,4	8	16	12
5	153,8	153,8	8	22	24
6	160,2	160,2	8	32	36
7	166,5	160,5	8	32	28
8	172	172	8	30	24

2° Elles doivent être placées sur le collet d'une tubulure pratiquée à la partie supérieure de la chaudière, et retenue par un anneau garni de boulons. Et comme les plaques fusibles ont la propriété de se ramollir avant leur fusion, de se gonfler, et qu'alors elles pourraient souvent se

déchirer sous une pression correspondante à une température inférieure à celle de leur fusion, il faut les recouvrir d'un grillage en fonte (fig. 8 et 9 (pl. 22)).

3° Les plaques fusibles doivent être placées à la partie supérieure de la chaudière, aussi peu éloignées que possible de sa surface; il serait même convenable, quand la chaudière est très-longue, d'en placer une à chaque extrémité.

4° Elles doivent avoir un diamètre au moins égal à celui des soupapes de sûreté. L'ordonnance royale exige que l'une des plaques, celle qui est fusible à la plus basse température, ait une surface égale à celle des soupapes, et l'autre une surface double.

839. Les plaques fusibles, disposées comme nous venons de le dire, étant soumises à une température voisine de celle de leur fusion, les alliages à proportions fixes, dont le mélange les constitue, étant fusibles à des températures différentes, on voit paraître à la surface des globules nombreux des alliages les plus fusibles, formant un bourrelet comme une tête de chou-fleur; quelquefois il se produit au centre une ouverture qui donne accès à la vapeur; mais il paraît que le plus souvent la fusion a lieu à la circonférence, et que la plaque est projetée avec force; du moins c'est ce que M. Halette et M. Séguin ont observé plusieurs fois. Cette projection, ayant lieu verticalement, ne peut occasionner aucun accident.

840. Relativement à l'efficacité des rondelles fusibles, nous rapporterons quelques expériences qui nous paraissent tout à fait concluantes.

Dans une expérience faite par M. Halette et M. Gauthier de Claubry, sur une chaudière en fonte à deux bouilleurs, et qui travaillait ordinairement sous une pression de 3 atmosphères, une rondelle fusible à 155° fut placée sur la partie supérieure de la chaudière située au-dessus du foyer; et une autre, fusible à 165°, fut placée à l'autre extrémité de la chaudière: la disposition était celle de la figure 4 (pl. 15). Le chauffeur activa beaucoup le feu. Après quelques instants, les soupapes commencèrent à jouer légèrement, on les chargea un peu, et bientôt le manomètre marqua 156°; un léger sifflement indiqua que la première rondelle commençait à se liquater; de petits globules passaient à travers la toile métallique. On ouvrit une soupape pour mettre fin à l'expérience et ne pas laisser fondre complètement la rondelle, qui n'aurait résisté que



quelques instants de plus. Cette rondelle, retirée, présentait à sa surface une foule de petits globules qui avaient passé à travers la toile métallique; elle était sensiblement concave à sa partie inférieure, et on y apercevait une fente qui aurait bientôt donné lieu à la séparation d'un disque. On reconnaissait d'ailleurs aisément que la rondelle eût été projetée bien avant cet instant, si elle n'eût été maintenue par une toile métallique. Cette expérience prouve que la toile métallique a préservé la rondelle de la déformation et de la rupture avant la fusion, et que la liquation ayant eu lieu à la température de la fusion de l'alliage, cette rondelle a parfaitement rempli son objet.

841. M. Séguin aîné avait placé, sur une chaudière d'un bateau à vapeur, deux rondelles fusibles: l'une à 145° , l'autre à 155° , températures correspondantes, la première à 4 atmosphères, la seconde à 5; par une mauvaise interprétation de l'ordonnance, la commission chargée d'en vérifier le placement n'a pas remarqué que ces plaques étaient celles qui correspondent à 3 atmosphères, tandis que la machine travaillait réellement à 4, et il en résulta que la température s'éleva suffisamment pour fondre la première rondelle. Cet effet eut lieu sans aucun accident; le métal, après s'être suffisamment ramolli, a été lancé contre les bords du bateau, et la vapeur s'est échappée comme par une soupape de sûreté.

La fusion d'une rondelle a eu lieu sur un bateau naviguant sur la Seine; il a été arrêté momentanément dans sa marche, mais il n'en est résulté aucun accident.

842. D'après ce qui précède, on doit considérer les plaques fusibles bien disposées comme étant d'une efficacité complète contre un accroissement de pression.

Il est important de remarquer que, pour des liquides qui bouillent à une température plus basse que celle de l'ébullition de l'eau, tels que l'alcool, l'éther, etc., il faudrait employer des plaques fusibles à une température inférieure à 100° . Les alliages de plomb, de bismuth et d'étain ne pourraient pas servir pour cet objet, car le minimum de température de fusion est trop voisin de 100° . Il y a quelques années, M. Pelletier, pharmacien, rue Jacob, avait placé de l'alcool dans une chaudière autoclave garnie, outre la soupape de sûreté, de deux plaques fusibles, l'une à 120° , l'autre à 140° ; le métal n'a pas pu supporter la pression de la vapeur alcoolique correspondante à 120° , parce qu'à cette température, la pression

est beaucoup plus considérable que celle de la vapeur d'eau, et la chaudière a fait explosion. On pourrait peut-être abaisser la température de la fusion de l'alliage triple ordinaire par une addition de mercure, mais il y aurait lieu de craindre que ce dernier ne se séparât des autres à une température inférieure à celle de la fusion du mélange; il serait à désirer que l'on fit des expériences à ce sujet. Dans ce cas, les plaques minces pourraient être employées avec avantage.

843. Les figures 7, 8 et 9 (pl. 22) représentent la disposition la plus ordinaire des plaques fusibles. *mn* représente la plaque fusible; elle est maintenue par une plaque de fonte MN, percée d'un grand nombre d'orifices rectangulaires.

844. La figure 10 représente une disposition dans laquelle, au moyen d'une soupape P que l'on peut facilement lever, on arrête l'écoulement de la vapeur quand la plaque fusible est fondue, et on prévient l'interruption du travail qu'on ne peut empêcher par les dispositions ordinaires.

Les appareils (figures 4, 5 et 6, pl. 23) renferment une disposition analogue à la précédente.

845. Les figures 10, 11, 12 et 13 (pl. 23) qui sont des détails, sur une plus grande échelle, d'une partie de l'appareil général, figure 9 (pl. 23), imaginé par M. Sorel, représentent une disposition qui satisfait à la même condition que ceux que nous venons de décrire. Une tubulure en fonte, bifurquée, porte à chacune de ses extrémités une rondelle fusible, maintenue par une plaque de fonte à jours, serrée au moyen d'une vis qui passe à travers une anse en fer mobile autour de deux tourillons; un robinet permet de mettre une quelconque des rondelles en communication avec la chaudière.

846. Plusieurs explosions de chaudières à vapeur ayant eu lieu à la suite d'un abaissement considérable du niveau de l'eau dans la chaudière, on a pensé que ces accidents pourraient être prévenus par des plaques fusibles placées contre les faces de la chaudière, à une hauteur au-dessous de laquelle l'eau ne doit jamais descendre. Cette hauteur est celle du niveau de la limite de chauffe, car aussitôt que l'eau descend au-dessous, le métal s'échauffe directement par le courant de fumée, et acquiert une température beaucoup plus élevée que celle de la vapeur; alors la plaque fusible fondrait nécessairement, et l'écoulement direct de la vapeur, ou la suppression du travail, ou celle du chauffage, avertirait



le chauffeur de l'abaissement de niveau; mais ces plaques seraient difficiles à remplacer.

847. Pour éviter cet inconvénient, M. Frimot a imaginé d'introduire dans le foyer un tube de cuivre terminé par une plaque fusible, et aboutissant à un point de la chaudière situé au-dessous du niveau que l'eau doit toujours conserver. Le tuyau, dans la partie qui sortait du fourneau, renfermait un robinet au moyen duquel on pouvait établir ou intercepter sa communication avec la chaudière; le tube pouvait en outre se démonter facilement au-dessous du robinet. Quand la rondelle était fondue par suite de l'abaissement de niveau, on fermait le robinet de communication avec la chaudière, on retirait la partie du tube placée dans le foyer, on remettait une nouvelle rondelle avant de placer le tube, et on rétablissait les communications. Cet appareil fonctionne bien, mais il est compliqué et n'a point été adopté.

Les figures 1^{re} et 2 (pl. 24) représentent la disposition imaginée par M. Frimot; les détails que nous venons de donner dispensent de toute autre explication des figures.

848. M. Gally-Casalat a imaginé une disposition plus simple; elle consiste en un tube métallique, fixé d'une part sur les bords d'un orifice percé dans la partie de la chaudière où l'on veut établir la plaque fusible, et de l'autre à un autre orifice situé à la partie supérieure de la chaudière. Le tube est un peu rétréci à la partie inférieure, et il est garni à l'autre extrémité d'un gros robinet dont la clef n'est pas forée de part en part, mais renferme seulement une cavité dans laquelle on peut loger un bouchon conique, en alliage fusible, que la rotation de la clef fait tomber dans le tube. Dans la partie de la chaudière occupée par la vapeur, le tube est percé de plusieurs trous. Il est facile de voir, d'après cette disposition, que quand l'eau n'environnera plus l'extrémité inférieure du tube, le bouchon conique fondra, la vapeur sortira, mais qu'en tournant le robinet un nouveau bouchon s'introduira dans le tube, qu'il descendra par son poids, et sera comprimé et mis en place par la pression de la vapeur. Cette disposition est ingénieuse, mais elle n'a point été essayée.

849. Les figures 3, 4, 5 et 6 (pl. 24) représentent la disposition dont il s'agit. La figure 7 est une modification de ces appareils imaginée par M. Chaussenot; elle consiste en un tuyau latéral, garni d'un robinet qui

s'ouvre sur la partie supérieure de la chaudière, et qui communique avec le tuyau qui renferme le bouchon fusible; quand le bouchon a été introduit dans le tuyau, on le ferme; alors, en ouvrant le robinet, la vapeur le met en place. Le tuyau ne contient pas les petits orifices latéraux qui sont indispensables dans la disposition de M. Gally-Casalat.

850. *Plaques élastiques.* Avant qu'on ait pensé à recouvrir les plaques fusibles d'une plaque métallique à jours, destinée à s'opposer à leur gonflement et à leur déchirement, à une température inférieure à celle de leur fusion, on les regardait comme présentant peu de certitude dans leur effet; et on avait proposé de les remplacer par des plaques minces élastiques, disposées comme les plaques fusibles, et qui se déchireraient sous une certaine pression. Mais celles-ci présentent beaucoup plus d'inconvénients; il serait difficile de déterminer, pour un diamètre connu, l'épaisseur que devrait avoir la plaque pour se briser sous une pression donnée, et il serait plus difficile encore de se procurer des plaques d'un métal bien homogène et d'une épaisseur déterminée; aussi n'a-t-on pas donné de suite à cette substitution.

851. Dernièrement, M. de Maupeou a imaginé une nouvelle disposition pour l'emploi des plaques minces. Sur une ouverture percée au sommet de la chaudière, est adapté, par un de ses bouts, un tube en forme de siphon, et sur lequel est placé un robinet. Ce siphon se relève à son autre extrémité, et se termine par un godet dans lequel on place une plaque de plomb laminé, serrée par un écrou. Le godet est plein d'eau. Par cette disposition, la plaque reste toujours à la même température; par conséquent la ténacité du métal est constante; et quand la plaque a été rompue, en fermant le robinet du tube, on peut facilement la remplacer par une autre. Mais les lames de plomb cèdent toujours à la pression, elles se gonflent, s'amincissent, et crèvent après un certain temps sous des pressions très-petites comparativement à celles qu'elles ont supportées d'abord; ainsi cette disposition ne présente que des inconvénients.

M. de Maupeou a employé en même temps des flotteurs plus légers que l'eau, ouvrant une soupape par l'abaissement de niveau. Cette disposition était connue depuis longtemps. La figure 11 (pl. 24) représente les deux appareils réunis.



§ 6. — APPAREILS D'ALIMENTATION.

852. Ces appareils sont destinés, comme leur nom l'indique, à remplacer, dans la chaudière, l'eau qui se dégage en vapeur. Il est toujours important que l'alimentation ait lieu de manière que le niveau de l'eau, dans la chaudière, reste sensiblement constant; car si le niveau baissait, on pourrait brûler la chaudière, et on se trouverait dans des circonstances favorables aux explosions; si, au contraire, le niveau s'élevait trop, la vapeur étant gênée dans son dégagement, pourrait entraîner beaucoup d'eau avec elle.

La hauteur de l'eau, dans la chaudière, doit toujours dépasser de plusieurs centimètres la limite de la surface qui est chauffée par le courant d'air brûlé, du moins quand la chaudière fonctionne, afin que dans les temps d'arrêt, pendant lesquels l'eau n'est pas mêlée de vapeur, le niveau ne descende pas au-dessous de cette limite.

853. *Appareils d'alimentation pour les chaudières à basse pression, quand l'eau d'alimentation est placée dans un réservoir suffisamment élevé.* Cette circonstance se présente quand la vapeur est employée au chauffage, et que les appareils sont placés dans les étages supérieurs des bâtiments. Elle se rencontre encore dans les chaudières à basse pression destinées à faire mouvoir des machines, quand l'eau d'alimentation, à la sortie du condenseur, est élevée par la pompe alimentaire à une hauteur suffisante.

Dans le cas dont il s'agit, l'appareil le plus convenable consisterait en un tube communiquant avec le réservoir supérieur, plongeant jusqu'au fond de la chaudière, et garni d'un robinet (fig. 12, pl. 24). La hauteur de l'eau dans le réservoir, au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière, correspondant à une pression plus grande que celle de la vapeur, il est évident qu'en ouvrant le robinet on introduira de l'eau dans la chaudière; qu'en réglant convenablement les intermittences, on pourra ne faire varier le niveau de l'eau qu'entre des limites aussi resserrées qu'on voudra; et même, en laissant le robinet ouvert d'une certaine quantité qu'on déterminerait par tâtonnement, le niveau de l'eau dans la chaudière pourrait rester rigoureusement constant, si la production de vapeur et le niveau de l'eau dans le réservoir ne changeaient pas. Cette disposition est employée, mais elle a le grand inconvénient

d'exiger de la part du chauffeur une surveillance sur laquelle on ne peut pas toujours compter.

854. Les figures 13, 14 et 15 (pl. 24) représentent une disposition qui est assez généralement employée. Le tube AB, qui plonge jusqu'à une petite distance du fond de la chaudière, communique avec le réservoir supérieur ; il est interrompu à une petite distance de la chaudière, par un robinet horizontal dont les deux extrémités de la clef sont fixées à un levier qui supporte à l'un des bouts le fil d'un flotteur, et à l'autre un contre-poids. La clef du robinet étant tournée de manière qu'elle commence à intercepter la communication entre les deux parties du tuyau, quand le niveau est à la hauteur convenable, il est évident que le plus léger abaissement du niveau permettra à l'eau de s'introduire dans la chaudière. Il est utile, dans ces appareils, de ne pas anéantir les petits mouvements oscillatoires du flotteur, parce que la clef du robinet étant alors sans cesse en mouvement dans son boisseau, elle *grippe* difficilement, et d'ailleurs, si le mouvement cessait, on serait averti que le robinet adhère au boisseau. Il est bien entendu que le diamètre de l'orifice de la clef du robinet doit être calculé de manière que cet orifice, sous la charge donnée, puisse fournir une quantité d'eau plus grande que celle qui est nécessaire à l'alimentation de la chaudière.

855. La figure 1^{re} (pl. 25) offre une disposition dans laquelle il y a moins de frottement à vaincre, et qui fonctionne plus régulièrement. Le tuyau ABCD communique avec le réservoir, et descend jusqu'à une petite distance du fond de la chaudière. Le cylindre *mn*, qui glisse facilement dans le tuyau qui l'enveloppe, est échancré annulairement à la hauteur des douilles qui reçoivent les tuyaux AB et CD, de manière que, quand il s'appuie par son rebord sur le fond de la cuvette qui termine le tube enveloppant, la communication se trouve établie entre la chaudière et le réservoir. Le cylindre mobile est percé d'un canal central qui sert à établir la pression de la vapeur sur ses deux bouts, et qui donne en même temps passage au fil de suspension du flotteur ; ce fil est garni d'un arrêt qui relève le cylindre et arrête l'alimentation lorsque le niveau de l'eau est à une certaine hauteur. De l'autre côté du cylindre, le fil a également un arrêt qui maintient le cylindre en place, quand le niveau est au-dessus de la limite assignée. Cet appareil fonctionne très-régulièrement.



856. L'appareil figure 2 (pl. 25) peut aussi être employé en toute sécurité. Le flotteur est plus léger que l'eau, suspendu intérieurement à l'extrémité d'une barre autour de laquelle il tourne librement; le prolongement de cette barre fait mouvoir la tige d'une soupape qui donne accès à l'eau d'alimentation quand le niveau est trop bas. Le prolongement de la tige passe à travers une boîte à étoupe, et son extrémité indique sur une échelle le niveau de l'eau, quand ce niveau est au-dessous de la limite fixée. Dans cet appareil, la surface de l'orifice fermé par la soupape doit avoir les plus petites dimensions possibles, et le flotteur doit être très-grand, afin que le jeu de la soupape ne soit point modifié par les variations de pression de la vapeur.

857. Dans la plupart des machines à basse pression, le régulateur d'alimentation est disposé comme dans la figure 3 (pl. 25). L'eau d'alimentation est amenée par une pompe dans la cuvette M, d'où elle tombe dans la chaudière par l'orifice de la soupape *m*, dont le mouvement dépend de celui du flotteur.

Les figures 4 et 5 (pl. 25) représentent sur une plus grande échelle et avec d'autres formes, les détails de construction de la cuvette d'alimentation.

858. On pourrait disposer l'appareil de manière à éviter la boîte à étoupe. La figure 6 (pl. 25) présente un arrangement qui satisfait à cette condition. Le flotteur est plus léger que l'eau, et réuni à un contre-poids par un fil métallique très-fin, interrompu par une chaîne dans les parties qui s'enroulent sur les poulies. Ce fil est attaché aux deux extrémités de l'axe de la soupape, qui s'ouvre alors quand le flotteur descend. Cet appareil n'a pas été employé.

859. La figure 7 (pl. 25) représente l'appareil d'alimentation d'une machine à basse pression établie à la gare de Saint-Ouen. Cet appareil est analogue à celui de la figure 3; mais la boîte à étoupe a été évitée par l'emploi d'un flotteur annulaire plus dense que l'eau, dont le fil de suspension passe dans un tube qui s'élève jusqu'à la hauteur de la cuvette. Cet appareil est en même temps disposé pour fermer le registre de la cheminée, et par conséquent diminuer la production de la vapeur quand sa force élastique dépasse la limite fixée. La colonne qui s'élève au-dessus de la chaudière renferme un flotteur en fonte, figure 8, qui par l'air qu'il renferme est plus léger que l'eau; il est soutenu par une chaîne qui passe dans le tuyau que porte la cuvette, s'enroule sur

deux poulies fixes, et supporte à son autre extrémité une plaque verticale qui ferme plus ou moins la cheminée. Les figures 9 et 10 représentent sur une plus grande échelle une coupe verticale et une projection horizontale de la cuvette.

860. *Appareils d'alimentation pour les chaudières à haute ou à basse pression, qui remplacent les pompes d'alimentation.* Tous les appareils que nous venons de décrire supposent nécessairement que l'eau d'alimentation soit placée dans un réservoir situé au-dessus de la chaudière et à une hauteur qui corresponde à une pression plus grande que celle que la vapeur peut acquérir. Par conséquent si l'eau d'alimentation ne se trouvait pas naturellement à cette hauteur, il faudrait employer une pompe pour l'élever dans le réservoir. Les appareils que nous allons décrire dispensent complètement de l'emploi d'une pompe; ils sont par conséquent d'une très-grande utilité pour les chaudières de chauffage, d'autant plus qu'ils fonctionnent aussi bien à une haute pression qu'à une basse pression.

861. L'appareil représenté figure 11 (pl. 25) se compose d'un vase M entièrement fermé et placé à une certaine hauteur au-dessus de la chaudière; ce vase communique par sa partie inférieure avec un tube AB, qui plonge dans le réservoir d'eau d'alimentation, et qui est interrompu par une boîte G garnie d'une soupape qui s'ouvre par une pression de bas en haut; le vase M communique avec le fond de la chaudière par un tube CD qui part de sa partie inférieure et qui est garni du robinet H; la partie supérieure du vase communique avec la partie supérieure de la chaudière au moyen du tube EF garni du robinet I. Enfin le vase est traversé par un petit tube mn , ouvert à sa partie supérieure et garni à la partie inférieure du robinet p .

Pour se servir de cet appareil on ferme le robinet H et on ouvre les robinets I et p ; la vapeur s'introduit dans le vase et sort par l'orifice p en entraînant l'air; après quelques instants, quand on suppose que la totalité de l'air a été expulsé, on ferme les deux robinets d'entrée et de sortie de la vapeur. L'air extérieur condense la vapeur qui remplit le vase, la pression intérieure devient bientôt plus petite que la pression extérieure, et le vase se remplit de l'eau d'alimentation. Si on ouvre alors le robinet I, la vapeur de la chaudière s'introduit dans le vase; dans les premiers instants, elle se condense en partie à la surface de l'eau;



mais quand une couche mince de ce liquide a été suffisamment échauffée, la pression dans le vase M se trouve sensiblement la même que dans la chaudière, et si on ouvre le robinet H, l'eau du vase entre dans la chaudière. Lorsque l'eau est écoulée, ce qu'on reconnaît à l'indication d'un tube de niveau placé latéralement (figure 12), on ferme les robinets H et I; quelques instants après, le vase M se trouve rempli d'eau par la condensation de la vapeur, et en ouvrant de nouveau et successivement les robinets I et H, on introduit une nouvelle quantité d'eau dans la chaudière. Il est important de remarquer que l'élévation de l'eau dans le réservoir M coûte toute la quantité de chaleur que renferme un volume de vapeur égal à celui du réservoir, mais que la chaleur abandonnée par la vapeur quand on établit dans le vase M la tension de la chaudière, n'est point perdue, car elle élève la température de l'eau d'alimentation.

Dans l'alimentation des chaudières à haute pression par un réservoir fermé, supérieur à la chaudière, il faut avoir soin que le robinet à vapeur s'ouvre un peu avant l'autre, attendu que les premières vapeurs qui arrivent sont condensées, et qu'alors l'eau de la chaudière remonterait dans le réservoir si le tuyau à eau était ouvert.

Dans cet appareil, on peut supprimer le robinet H, et le remplacer par une boîte renfermant une soupape qui ne s'ouvre que par un excès de pression dans le vase M, résultant et de la pression de la vapeur et du poids d'une colonne d'eau, figure 1 (pl. 26). Alors, pour faire fonctionner l'appareil, on n'a qu'un seul robinet à tourner, celui qui conduit la vapeur dans le réservoir; quant au robinet *p*, on ne l'ouvre que quand on met l'appareil en activité, ou quand il s'est introduit de l'air dans le réservoir.

862. Ces derniers appareils remplacent complètement les pompes, et on peut y adapter des dispositions très-simples, au moyen desquelles la vapeur s'introduise dans le vase à des intervalles convenables pour que, pendant leur durée, le vase se remplisse d'eau par la condensation de la vapeur qui s'y trouve après chaque alimentation.

863. L'appareil figure 2 (pl. 26) est disposé exactement comme celui de la figure 1^{re} (pl. 25), mais le tuyau ABC est garni d'un robinet qu'on ne ferme que quand l'appareil ne fonctionne pas, et le tube ne communique qu'avec la partie supérieure de la chaudière; en outre, le cylindre mobile doit se mouvoir avec un frottement assez dur dans son enveloppe, pour

ne pas être entraîné par son propre poids. L'appareil est représenté à l'instant où la vapeur passe librement de la chaudière au vase; alors l'eau du vase tombe dans la chaudière, son niveau s'élève, l'arrêt inférieur de la tige du flotteur monte graduellement, et quand il a atteint le cylindre mobile, la communication est interrompue entre les parties B et C du tuyau. A partir de cet instant, le niveau s'abaisse dans la chaudière; mais le cylindre reste immobile jusqu'à ce que l'arrêt supérieur du fil ait atteint la partie supérieure du cylindre, c'est-à-dire jusqu'à ce que le niveau soit descendu d'une quantité égale à la différence entre la distance des deux arrêts et la longueur du cylindre. Dans cette disposition, il est évidemment important de diminuer les oscillations du flotteur. Pour que l'appareil fonctionne régulièrement, il faut que le temps nécessaire à la condensation de la vapeur contenue dans le réservoir, par le seul effet du refroidissement extérieur, augmenté de celui que l'eau met à remplir le vase, soit plus court que le temps nécessaire à la vaporisation d'un volume d'eau égal à celui que la chaudière renferme dans une hauteur égale à la distance des 2 arrêts, diminuée de la longueur du cylindre.

864. La figure 3 (pl. 26) présente un autre appareil qui produit le même effet. Le flotteur est suspendu à l'extrémité d'un levier oa dont l'autre bras ob , beaucoup plus long, supporte un poids suspendu à l'extrémité d'une fourchette cd , garnie à chaque bout d'un petit galet. Dans cette fourchette s'engage le levier ef , mobile autour du point f . Le prolongement fg de ce levier porte une pièce articulée gl , à l'extrémité de laquelle s'engage le levier mn fixé à la clef du robinet qui établit ou intercepte la communication de la partie supérieure de la chaudière avec le haut du vase. Enfin un levier fh , perpendiculaire aux leviers ef et fg , invariablement fixé avec eux, porte à son extrémité une boule métallique k ; deux arrêts règlent les limites des mouvements de la boule. Dans la disposition de la figure, le robinet est fermé, et le niveau en s'abaissant fera monter le point d ; aussitôt qu'il rencontrera le point e , le levier ef se relèvera ainsi que la boule k , et en même temps le point l se rapprochera de m , et aussitôt que la boule k aura dépassé la verticale du point f , elle tombera brusquement de l'autre côté, et l'extrémité supérieure de la fourchette qui était en contact avec l'extrémité du levier mn , l'abaissera brusquement



en ouvrant le robinet. L'alimentation aura lieu ; le poids P descendra, et, arrivé à un certain point de sa course, il ramènera brusquement le poids k dans la position indiquée par la figure, en fermant le robinet.

On pourrait remplacer ces appareils par un autre plus simple, qui se composerait d'un réservoir garni de deux robinets, l'un supérieur pour le remplir, l'autre inférieur pour le vider dans la chaudière ; mais le tuyau d'alimentation ne devrait pas plonger dans l'eau de la chaudière, et l'orifice du robinet inférieur devrait être assez grand pour permettre à l'eau de tomber, et à la vapeur de la remplacer.

865. *Alimentation des chaudières à haute pression appliquées à des machines.* Dans les chaudières à haute pression appliquées à des machines, l'alimentation a lieu par des pompes dont on règle l'effet, ou par un robinet placé dans le tuyau d'aspiration, ou par un robinet placé dans le tuyau d'écoulement ; dans ce dernier cas, la pompe est pourvue d'un tuyau de décharge renfermant une soupape pressée par un poids qui excède la pression dans la chaudière, ou le tuyau de décharge s'élève à une assez grande hauteur pour que le poids de la colonne d'eau qu'il peut contenir excède la pression de la vapeur. Ces tuyaux de décharge, dans le cas où le robinet est placé dans le tuyau d'écoulement, sont absolument indispensables, car la pompe doit débiter tout le volume d'eau qu'elle a aspiré ; l'absence d'un tuyau de décharge produirait, ou l'arrêt de la machine, ou la fracture de la pompe.

866. La figure 4 (pl. 26) représente une pompe d'alimentation avec un robinet dans le tuyau d'aspiration et dans celui d'alimentation. Le corps de pompe renferme une soupape de décharge pressée par un levier.

867. Les figures 5 et 6 (pl. 26) représentent une autre disposition de pompe alimentaire. Le tuyau d'alimentation est garni d'un robinet, précédé d'un tuyau de décharge à soupape. La hauteur du tuyau de décharge doit être évidemment plus grande que la colonne d'eau qui ferait équilibre à l'excès de tension de la vapeur sur la pression atmosphérique.

868. Les figures 1 et 2 (pl. 27) représentent une autre disposition de pompe alimentaire imaginée par M. Séguier.

Pour éviter de placer une soupape destinée à faire passer l'eau injectée par la pompe dans le tuyau de décharge quand on ferme le robinet du tuyau qui conduit l'eau à la chaudière, on pourrait employer, à la place de ce dernier, un robinet à trois eaux, de manière que l'eau

soit toujours en communication ou avec la chaudière, ou avec le tuyau de décharge.

869. On peut remplacer le robinet régulateur, placé dans le tuyau qui conduit l'eau à la chaudière, par un appareil mis en mouvement par un flotteur. Les appareils que nous avons décrits (855) (856) peuvent être employés.

870. On pourrait aussi employer, pour le même objet, l'appareil plus simple figure 7 (pl. 26). Il est composé d'un corps de pompe fermé par le bas, ouvert à la partie supérieure, garni latéralement de deux tubulures opposées, dont l'une communique avec la pompe, et l'autre avec le fond de la chaudière, et fixé sur la chaudière. Ce corps de pompe renferme un cylindre d'un diamètre très-peu différent, percé de part en part, et, dans son axe, d'un canal ouvert par les deux bouts; sa surface est garnie, à une certaine hauteur, d'une rainure annulaire, et il est suspendu à un levier dont l'extrémité supporte le flotteur au moyen d'un fil de cuivre qui traverse une boîte à étoupe. On voit, d'après cette disposition, que l'alimentation aura lieu aussitôt que l'échancrure annulaire se trouvera en face des tubulures, que l'eau ou l'air qui pourraient se trouver à la partie inférieure du corps de pompe se dégageront pendant l'abaissement du piston par le canal central, et que l'air rentrera par le même chemin dans cet espace lors de l'élévation du piston.

871. L'appareil figure 8 (pl. 26) offre une disposition que l'on peut également employer pour régler l'alimentation d'une chaudière par une pompe. Le flotteur fait mouvoir une tige à laquelle se trouvent fixées deux soupapes qui établissent ou interceptent la communication de l'eau avec la chaudière ou avec le tuyau de décharge.

872. M. Séguier a imaginé une disposition très-simple pour régler le jeu de la pompe alimentaire de manière à maintenir l'eau à une hauteur constante dans la chaudière; cette disposition est représentée figure 9 (pl. 26). A, chaudière. B, bouilleur. C, cylindre fermé par les deux bouts et qui reçoit l'eau de la pompe. E, tuyau d'aspiration. F, tuyau de refoulement. G, tuyau qui conduit l'eau dans un des bouilleurs. H, tuyau qui fait communiquer la partie supérieure de la chaudière avec la partie supérieure du cylindre C. *a*, niveau de l'eau dans la chaudière. *b*, flotteur plus léger que l'eau, attaché par une tringle à la soupape *c*. *d*, soupape d'aspiration de la pompe. Par cette disposition,



l'eau sera toujours à la même hauteur dans le cylindre C que dans la chaudière; et, lorsque le niveau sera trop élevé dans la chaudière, la soupape *c* sera levée, la pompe aspirera l'eau du cylindre C pour la refouler ensuite dans le même espace. On voit que l'alimentation n'aura lieu que quand la soupape *c* sera fermée, ce qui n'arrivera qu'autant que le niveau de l'eau dans la chaudière sera au-dessous de la limite fixée.

873. *Appareils d'alimentation appliqués aux réservoirs d'eau de condensation, pour les chaudières à vapeur employées au chauffage.* Lorsqu'une chaudière à vapeur est employée au chauffage, on l'alimente toujours avec l'eau de condensation, d'abord parce que cette eau est à une température supérieure à celle de l'atmosphère, mais surtout parce que, ayant été distillée, elle ne renferme point de sels en dissolution et qu'elle ne forme point de dépôt dans les chaudières. En supposant qu'il n'y ait pas de fuite de vapeur dans les appareils de chauffage, le retour continu de l'eau de condensation devrait maintenir un niveau constant dans la chaudière, ou son retour intermittent des variations de niveau comprises entre des limites fixes.

874. Il semble, au premier abord, que si les appareils de chauffage étaient placés à un niveau plus élevé que la chaudière, on pourrait toujours faire revenir directement l'eau de condensation dans la chaudière. Mais il n'en est pas ainsi, du moins les retours d'eau directs ne fonctionnent pas régulièrement. En effet, de quelque manière que l'appareil de chauffage soit disposé, il se compose toujours d'un tube plus ou moins long qui communique par un bout avec la chaudière; alors, pour que l'eau de condensation retourne au générateur, il faut, ou que le tube s'élève constamment et soit fermé à son extrémité, alors l'eau retourne à la chaudière en sens contraire du mouvement de la vapeur; ou que le tube s'élève, d'abord par le plus court chemin, au-dessus des corps qui doivent être chauffés, et qu'il descende ensuite constamment jusqu'au fond de la chaudière, alors la plus grande partie de l'eau condensée retournera à la chaudière par cette dernière partie du circuit.

Mais, dans le premier cas, la vitesse de la vapeur pourrait donner à l'eau un mouvement opposé à celui que la pente du tuyau tend à lui imprimer, et on ne pourrait être assuré de l'efficacité de l'appareil qu'autant qu'on emploierait des tuyaux d'un grand diamètre, dans les-

quels la vapeur n'aurait qu'une très-petite vitesse, ce qui est rarement praticable, et occasionnerait toujours de grandes dépenses d'établissement et une grande perte de chaleur par la condensation de la vapeur dans les tuyaux de conduite.

Dans le second cas, le retour de l'eau dans la chaudière n'aurait lieu qu'autant que la pression de la vapeur au-dessus de la colonne d'eau condensée, augmentée du poids de cette colonne, l'emporterait sur la pression de la vapeur dans la chaudière, circonstance qui n'existerait que dans quelques cas particuliers; en outre, l'eau de la chaudière pourrait s'élever dans le tuyau de retour et produire un abaissement considérable du niveau. A la vérité, on éviterait cet accident, qui serait très-fréquent, surtout au commencement du chauffage, en plaçant dans le tuyau une soupape qui ne s'ouvrirait que par une pression exercée de haut en bas; mais l'alimentation n'en deviendrait pas plus certaine, et l'eau de condensation pourrait même s'accumuler dans une partie du tube où la vapeur doit se condenser pour produire le chauffage, de manière à diminuer notablement l'effet produit.

Ainsi, on voit que les retours d'eau directs ne sont possibles que dans des cas particuliers, et qu'il faut presque toujours des appareils spéciaux pour effectuer l'alimentation des chaudières.

875. La figure 3 (pl. 27) représente un appareil d'alimentation intermittent par l'eau de condensation, imaginé par M. Halette, et qui est employé dans plusieurs fabriques de sucre indigène. A est un cylindre incliné communiquant avec l'air, et dans lequel se réunissent toutes les eaux qui proviennent de la condensation de la vapeur. Cette eau peut s'écouler dans le cylindre B par un tuyau garni d'un clapet *ab* incliné, qui ne permet l'écoulement que quand la pression dans ce dernier vase est plus petite que celle de l'atmosphère, augmentée de la hauteur de la colonne d'eau depuis le niveau dans le vase A jusqu'à l'orifice d'écoulement. Le vase B renferme un flotteur C plus léger que l'eau, formé d'une boule creuse en cuivre fixée à l'extrémité d'une tringle *cd* qui passe à travers une boîte à étoupe, est interrompue au delà par une fourchette *ef* garnie de galets à ses deux extrémités, et se termine par une tige *gh* qui s'engage dans un guide *i*. Un tuyau, qui n'est point indiqué par la figure, établit une communication entre le fond du vase B et le fond de la chaudière; il est garni d'un clapet placé près de la chau-



dière, qui intercepte toute communication quand la pression de la vapeur est plus grande que celle qui agit en sens contraire pour faire écouler l'eau. Le tuyau *kl* communique avec la partie supérieure de la chaudière et aboutit à un robinet à 3 eaux *D*, qui reçoit les deux autres tuyaux *mn* et *op*, dont le premier communique avec le réservoir *B*, et l'autre avec l'extérieur. Le levier de la clef du robinet est mis en mouvement par une tringle *qs* articulée à l'extrémité *q* du levier à trois branches *Er*, *Eg* et *EF*, dont la branche *Er* est engagée dans la fourchette *ef*, et dont l'extrémité *F* de la branche *EF* porte un contre-poids. L'appareil est représenté à une époque où le robinet *D* établit la communication du vase *B* avec l'atmosphère; l'eau du vase *A* tombe dans le réservoir *B*. Lorsque, par l'élévation du niveau de l'eau, le galet *e* aura rencontré la tige *Er*, le poids *F* se relèvera; quand il aura dépassé la verticale du point de rotation, et que l'extrémité du levier de la clef du robinet *D* sera au sommet *s* de la fourchette *st*, alors le poids tombera brusquement au point *F'*, le robinet *D*, en tournant, fera communiquer la chaudière avec le réservoir *B*, et l'eau s'écoulera dans la chaudière. Quand le niveau de l'eau dans le réservoir sera abaissé à une certaine limite, le poids reviendra à la position indiquée par la figure, et le robinet *D* s'ouvrira de manière à établir une communication entre le réservoir *B* et le tuyau *op* qui communique avec l'extérieur; alors l'eau du réservoir *A* commencera de nouveau à s'écouler dans le réservoir *B*. Cet appareil a été établi dans plusieurs fabriques de sucre de betterave, et dans plusieurs raffineries de sucre; il fonctionne avec une grande régularité.

876. La figure 4 (pl. 27) représente un appareil qui remplit le même but que celui que nous venons de décrire, et qui a avec lui la plus grande analogie. L'eau de condensation arrive dans le réservoir *B* par un tuyau *ab* garni d'un clapet *a*, et en sort pour entrer dans la chaudière par le tuyau *cd* garni d'un clapet *d*. Le robinet *k*, qui établit ou intercepte la communication du vase *B* avec la vapeur, s'ouvre et se ferme par un mouvement produit par le flotteur; mais le robinet *n*, qui permet d'évacuer l'excès de vapeur du réservoir *B*, s'ouvre à la main; un clapet empêche le retour de l'air.

Les réservoirs *B* de ces deux appareils devraient être garnis de tubes pour qu'on pût y connaître le niveau de l'eau.

robinet qui règle la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation de la chaudière. r' est un autre robinet qu'on ferme quand la machine ne marche pas. f est une fermeture facile à enlever quand on veut examiner l'état des soupapes.

Tout le système est monté sur une plaque de fonte XX, dont on voit le plan figure 8, et qui est fixée solidement sur un massif Y, en bois ou en maçonnerie.

La figure 4 représente une coupe verticale du cylindre à vapeur sur une plus grande échelle, et la figure 5 la projection horizontale. La figure 6 est une coupe horizontale faite à la hauteur 1,2, et la figure 7 une autre coupe par un plan horizontal passant par 3,4. Les mêmes lettres désignent les mêmes objets que dans les figures 1 et 2.

Dans la figure 4, la position de la coquille suppose que la vapeur arrivant de la chaudière par l'ouverture o' , se rende à la partie supérieure du cylindre. Le piston est sur le point de descendre, et la vapeur qui se trouve au-dessous de lui sera refoulée dans l'espace I, d'où elle s'échappera par le tuyau S.

880. Dans le système de machine que nous venons de décrire, la vapeur agit successivement en dessus et en dessous du piston. Une disposition plus simple consisterait à faire la machine à simple effet, et à la disposer de manière que la vapeur arrive seulement sous le piston pour le soulever, et que celui-ci, par son poids convenablement calculé, descende de lui-même, et pousse dans la chaudière l'eau qui a été aspirée dans le corps de pompe pendant son élévation.

881. La pompe, au contraire, est à simple effet, mais on pourrait produire une alimentation continue, c'est-à-dire, aspirer à la fois de l'eau du réservoir et la refouler dans la chaudière pendant la montée comme pendant la descente du piston, en employant une pompe à double effet.

Les figures 9 et 10 représentent une disposition de ce genre. La première est la coupe verticale de la pompe, et la seconde une coupe horizontale suivant ab . Le corps de pompe P se trouve terminé par des boîtes rectangulaires BB, en fonte, communiquant avec le réservoir d'alimentation par des tuyaux R, R', et avec la chaudière par les tuyaux C, C'. Des soupapes s, s' sont placées dans chaque boîte, de manière qu'en dévissant les écrous E, E placés au-dessus, on puisse les visiter et les graisser avec facilité. Supposons que le piston monte,



les soupapes s' , s' seront fermées, et les soupapes s , s s'ouvriront pour livrer passage, l'une à l'eau qui est aspirée par le tuyau R, l'autre à l'eau qui est refoulée par le tuyau C' dans la chaudière; quand le piston descendra, les soupapes s , s se fermeront et les autres s'ouvriront, l'aspiration de l'eau aura lieu par le tuyau R' et l'alimentation de la chaudière par le tuyau C.

882. De tout ce qui précède, on peut déduire les principes suivants. Lorsque les chaudières sont appliquées à des machines, il est toujours avantageux d'effectuer l'alimentation par des pompes mises en mouvement par la machine elle-même. Lorsque les chaudières sont destinées à de grands chauffages, il est encore avantageux de produire l'alimentation par une pompe mue par une petite machine à vapeur spéciale. Quand la quantité de vapeur que doit fournir la chaudière, doit être constante, ou qu'elle ne doit varier que dans des limites très-restreintes, on peut se contenter de régler l'alimentation par un robinet à la disposition du chauffeur. Mais si la quantité de vapeur à produire devait éprouver de grandes variations, il faudrait régler l'alimentation par un flotteur. Enfin, pour les petites chaudières employées au chauffage, on peut se servir des différents modes d'alimentation que nous avons indiqués pour suppléer à l'action des pompes.

§ 7. — APPAREILS POUR SÉPARER DE LA VAPEUR L'EAU QU'ELLE ENTRAÎNE.

883. Lorsque la vapeur sort d'une chaudière, elle entraîne toujours avec elle une certaine quantité d'eau liquide en très-petits globules. Cette eau provient des enveloppes des bulles de vapeur, qui viennent crever à la surface de l'eau. La quantité d'eau entraînée est très-grande quand on ouvre subitement une large issue à la vapeur, à cause de l'ébullition tumultueuse qui en résulte, surtout quand l'orifice d'écoulement de la vapeur est situé au-dessus d'un des tubes de communication de la chaudière avec un bouilleur. Dans certaines circonstances on voit sortir une espèce d'émulsion semblable à de l'eau de savon battue. L'existence de l'eau à l'état liquide dans la vapeur est constatée par la présence des dépôts que produit l'eau dans tous les tuyaux qui conduisent la vapeur. Cette eau, entraînée mécaniquement, occasionne des pertes considérables de chaleur quand la vapeur est employée comme force

motrice ; car, dans ce cas, toute la chaleur renfermée dans l'eau est perdue. Il n'en est pas ainsi quand la vapeur d'eau est employée pour le chauffage ; mais, dans ce cas, elle a l'inconvénient de former des dépôts qui, à la longue, peuvent obstruer les tuyaux de chauffage, ou du moins diminuer leur conductibilité.

884. M. de Pambour a fait des expériences nombreuses sur des machines locomotives pour déterminer la quantité d'eau entraînée par la vapeur. Le mode d'expérience qu'il a employé consistait à opérer dans des circonstances où la densité de la vapeur, dans le cylindre, était égale à celle de la vapeur dans la chaudière, et à comparer par le nombre des coups de piston le volume de vapeur dépensé avec celui qui aurait été produit par l'eau consommée. Il a trouvé ainsi que le poids de l'eau entraînée s'élevait à 0,32 de celui de la vapeur. Mais M. de Pambour reconnaît que cette quantité doit varier dans des limites très-étendues avec la disposition des chaudières.

885. On a imaginé plusieurs moyens de débarrasser la vapeur de l'eau liquide qu'elle contient ; nous les indiquerons successivement.

On a d'abord fait communiquer l'orifice par lequel la vapeur doit sortir de la chaudière, avec un tuyau de même diamètre, horizontal, occupant dans la chambre de vapeur toute la longueur de la chaudière, et percé à sa partie supérieure d'un grand nombre d'orifices dont les diamètres vont en croissant à mesure qu'ils s'éloignent de l'orifice de sortie, et dont la somme des aires est égale à la section du tuyau (fig. 6, pl. 27). Par cette disposition, la prise de vapeur a lieu dans toute la longueur de la chaudière ; alors l'abaissement de pression ayant lieu dans une grande étendue, l'ébullition est beaucoup moins tumultueuse, et il doit y avoir beaucoup moins d'eau entraînée que dans les dispositions ordinaires.

Cet appareil, imaginé par M. Ewbank, a été exécuté et a bien réussi. Les soupapes de sûreté doivent être en communication directe avec le tuyau. Il est évident que par une disposition analogue on rendrait plus exactes les indications des robinets-jauges (749).

886. On a proposé ensuite d'établir la prise de vapeur à l'extrémité A (fig. 7, pl. 27) d'un tuyau ABCD, qui plongerait jusqu'au fond de la chaudière, et communiquerait ensuite avec la tubulure de sortie, l'orifice A étant surmonté d'une plaque que l'on rapprocherait convenablement de cet orifice au moyen d'une tige à vis qui passerait à travers



une boîte à étoupe. Par cette disposition, l'orifice d'entrée de la vapeur dans le tuyau pouvant être plus petit que la section du tuyau, la vapeur, en y entrant, éprouvera une dilatation qui produira la vaporisation de l'eau entraînée à l'état liquide, et la vapeur se réchauffant en parcourant la partie BC du canal, pourra sortir saturée et sans eau. Je ne sais pas si cet appareil a été essayé; mais il est évident que pour qu'il produisît l'effet qu'on doit en attendre, il faudrait que l'orifice d'accès de la vapeur dans le tuyau eût une surface en rapport avec la quantité d'eau entraînée par la vapeur, ce qu'il serait bien difficile de déterminer pour une composition donnée d'un mélange d'eau et de vapeur; d'ailleurs cette surface devrait varier, car la composition du mélange varie à chaque instant. Cependant, si la chaudière avait une très-grande profondeur, cette disposition serait avantageuse pourvu, qu'on laissât l'orifice A complètement libre, parce que l'excès de température de l'eau, au fond de la chaudière, pourrait vaporiser, sinon la totalité, du moins une grande partie de l'eau entraînée.

887. On a proposé aussi de faire passer le tuyau d'écoulement de la vapeur à travers les carneaux qui entourent la chaudière et qui contiennent de la fumée à 300 ou 400°. Par cette disposition on vaporiserait une partie de l'eau entraînée; mais on pourrait aussi, si la quantité d'eau était très-petite, échauffer la vapeur, et envoyer à la machine de la vapeur dilatée, et à une température assez élevée pour brûler les garnitures des pistons ou des boîtes à étoupes.

888. La seule disposition dont l'usage soit absolument sans inconvénient, et dont l'expérience ait constaté l'efficacité, consiste (fig. 10, pl. 26) en un vase de fonte ou de cuivre, fermé de toute part, renfermant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur, dans lequel la vapeur est amenée par un tuyau CD qui se prolonge dans le vase jusqu'à une distance égale à 30 centimètres du niveau de l'eau, et d'où elle sort ensuite par un tuyau qui s'ouvre sur le couvercle. Les globules d'eau renfermés dans la vapeur se précipitent dans l'eau et y restent, tandis que la vapeur s'échappe presque sèche. Un appareil à niveau d'eau fait connaître au chauffeur la hauteur du liquide dans le vase, et un tube qui retourne à la chaudière permet de n'y laisser que la quantité convenable. Cet appareil a été appliqué à une machine de trente chevaux et a donné de très-bons résultats.

889. On pourrait rendre le jeu de cet appareil beaucoup plus simple, et éviter la main-d'œuvre, en plaçant le vase en partie dans la chaudière, comme l'indique la figure 11 (pl. 26). Il faudrait alors percer la partie inférieure du vase d'un certain nombre d'orifices pour que le niveau de l'eau y fût sensiblement le même que dans la chaudière.

§ 8. — TUYAUX D'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR.

890. Les tuyaux dont il est question sont destinés à conduire la vapeur de la chaudière, où elle se produit, dans le lieu où elle doit être utilisée, ou comme force motrice, ou comme moyen de chauffage. Dans tous les cas ces tuyaux doivent avoir des dimensions suffisantes pour conduire, dans un temps donné, un volume également donné de vapeur sous la pression qui existe dans la chaudière, et cela sans lui faire éprouver une trop grande détente.

On n'emploie jamais de tuyaux de plomb, parce que les mouvements qu'ils éprouvent par les variations de dilatation les détruisent rapidement. On se sert toujours de tuyaux de fer, et surtout de tuyaux de cuivre, dont les extrémités sont brasées sur des brides en fonte réunies par des écrous.

891. Les phénomènes qui accompagnent le mouvement de la vapeur dans un tuyau, sont très-complicés, car il y a toujours condensation d'une partie de la vapeur par le refroidissement de la surface du tuyau, un frottement qui ralentit la vitesse, une détente partielle de la vapeur, et enfin un abaissement de température. Ces phénomènes n'ont point été étudiés par les géomètres, et il n'y a que peu d'expériences faites à ce sujet.

892. On peut cependant déterminer, avec une précision suffisante pour la pratique, deux limites du diamètre d'un tuyau par lequel doit s'écouler un poids connu de vapeur sous une certaine pression, en ne tenant pas compte de la vapeur qui est condensée, et en supposant successivement que la détente soit nulle ou complète. En effet, dans les deux cas, la vitesse étant constante dans le tuyau, en désignant par P la hauteur d'une colonne de vapeur qui ferait équilibre à la pression dans la chaudière, et dont la densité serait égale à celle de la vapeur dans la chaudière ou à celle de la vapeur sous la pression qui existe dans le lieu où



la vapeur s'écoule; par v la vitesse d'écoulement; par L et D la longueur et le diamètre du tuyau d'écoulement, et enfin par k le coefficient de frottement, on aura

$$P - \frac{v^2}{2g} = \frac{kL}{D} v^2 \dots \quad (1)$$

et en désignant par V le volume de vapeur qui doit s'écouler par seconde, et par r le rayon du tuyau, on aura

$$V = \pi r^2 v \dots \quad (2)$$

alors en éliminant v entre les équations (1) et (2), il viendra

$$r^5 = \frac{V^2(r + gkL)}{2gP\pi^2} = \frac{V^2(r + gkL)}{193P} \dots \quad (3)$$

équation d'où l'on tirera une première valeur de r en négligeant r par rapport à gkL ; valeur qui servira ensuite à en obtenir une deuxième plus approchée, et d'autres aussi approchées qu'on pourra le désirer.

893. Mais pour effectuer ces calculs, il faut connaître la valeur de k . Il est très-probable qu'il en est de la vapeur d'eau comme de l'air, que la valeur de k est indépendante de la nature du tuyau, car la vapeur qui se condense mouille la surface intérieure du tuyau, et par conséquent le frottement a toujours lieu entre la vapeur et l'eau. La valeur de k ne pourrait se déduire de l'observation qu'autant qu'on connaîtrait la loi de la détente; mais on peut déduire de l'expérience des valeurs de k en faisant successivement les deux suppositions dont nous avons parlé; les deux nombres obtenus seront différents et ne représenteront certainement pas le coefficient de frottement, comme nous l'avons défini, mais seulement les valeurs d'une constante qui permettront d'obtenir des valeurs approchées du rayon du tuyau. Je ne connais qu'une seule expérience de laquelle on puisse déduire les valeurs de k dont il est question : elle a été faite par M. Rudler, ingénieur de la manufacture des tabacs.

894. Un tube de 4 mètres de longueur et de 0^m,08 de diamètre, adapté à une chaudière à vapeur, a laissé écouler dans l'air 4800 kilogrammes de vapeur en 3 heures, la pression moyenne de la vapeur dans la chaudière étant de 0^m,20 de mercure.

Dans cette expérience le poids de la vapeur écoulee par seconde était de $4800 : 3 \times 3600 = 0^k,44$; son volume, en supposant la détente complète, était $0^k,44 : 0,00059 = 0^{m,c},74$; on avait $v = 0^{m,c},74 : 0,005 = 149$ mètres; et

enfin $P = 0,20 \times 13,59 : 0,00059 = 4610$; alors l'équation (1) donne

$$4610 - 1130 = \frac{k \times 4 \times 21904}{0,08}; \quad \text{d'où } k = 0,0032.$$

En supposant qu'il n'y ait pas de détente, le volume de vapeur écoulee par seconde est $0,44 : 0,00072 = 0,61$; et on a $v = 0,61 : 0,0005 = 122$; $P = 0,20 \times 13,59 : 0,00072 = 3777$, et l'équation (1) devient

$$3777 - 744 = k \times 744200; \quad \text{d'où } k = 0,0040.$$

895. D'après cela, les limites extrêmes du rayon du tuyau seront déterminées par les deux équations

$$r^5 = \frac{V^2(r + 0,031L)}{193P}, \quad \text{et } r'^5 = \frac{V'^2(r' + 0,039L)}{193P'},$$

dans lesquelles V représente le volume de vapeur détendue qui doit s'écouler par seconde; P l'excès de la pression intérieure sur la pression de l'espace dans lequel la vapeur s'écoule, en vapeur détendue à cette dernière pression; V' le volume de vapeur comprimé sous la pression de la chaudière, et P' l'excès de pression estimé en vapeur comprimée.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de conduire 750 kilogrammes de vapeur par heure à une distance de 20 mètres, la tension de la vapeur dans la chaudière étant de trois atmosphères; c'est la quantité de vapeur produite par une chaudière d'une machine de trente chevaux.

Le poids de la vapeur à faire écouler par seconde sera de $750^k : 3600 = 0^k,21$; et on aura $V = 0,21 : 0,0016 = 0^{m,c},13$; $P = 2 \times 0,76 \times 13,59 : 0,0016 = 12920$; $V' = 0,21 : 0,00059 = 0^{m,c},35$; $P' = 2 \times 0,76 \times 13,59 : 0,00059 = 35037$; et $L = 20^m$. Alors les deux équations précédentes deviennent

$$r^5 = \frac{0,017(r + 0,62)}{2493560}, \quad \text{et } r'^5 = \frac{0,044(r' + 0,78)}{6762141}.$$

Après deux substitutions, on trouve $r = 0^m,0213$, et $r' = 0^m,0220$. Ainsi, le diamètre du tuyau est compris entre $0^m,0426$ et $0^m,044$.

Le même mode de calcul s'appliquera à tous les cas dans lesquels on connaîtra la tension de la vapeur dans la chaudière, et sa tension dans l'espace où elle se rend.

Si on connaissait la longueur et le diamètre du tuyau, ainsi que la tension de la vapeur dans la chaudière, et le poids de la vapeur qui s'écoule, on pourrait obtenir une valeur approximative de la différence de tension aux deux extrémités du tuyau, en calculant la valeur de P au



moyen de l'équation (3), dans laquelle on prendrait pour V le volume de la vapeur sous la pression qui existe dans la chaudière.

§ 9. — FOURNEAUX.

896. Dans ce paragraphe, nous ne nous occuperons que des fourneaux des chaudières à basse et à haute pression, de la forme indiquée dans les figures de la planche 15.

897. On désigne, ainsi que nous l'avons déjà dit, sous le nom de carneau, le canal dans lequel circule la fumée, au-dessous et autour de la chaudière, avant de se rendre dans la cheminée. C'est en parcourant les carneaux que l'air brûlé doit se refroidir jusqu'à 300° , température qui correspond au maximum de tirage. La forme et la longueur des carneaux ont une grande influence sur l'effet utile produit, du moins quand la combustion a lieu dans de bonnes conditions.

Plusieurs ingénieurs ont avancé que la circulation de l'air brûlé dans les carneaux était presque inutile. Les carneaux ont en effet peu d'influence quand la quantité d'air qui traverse le combustible est trop grande, parce qu'alors la température de l'air qui sort du foyer est peu considérable, et que le chauffage n'a lieu que par rayonnement; mais quand la combustion est alimentée par le volume d'air seulement nécessaire, la circulation de l'air brûlé dans les carneaux augmente beaucoup la quantité de vapeur produite.

898. Nous rapporterons à ce sujet une expérience faite par M. Valter. Dans une chaudière à deux bouilleurs, renfermant $13^{\text{m}},46$ de surface de chauffe, on a évaporé 1480 litres d'eau en cinq heures, par la combustion de 213 kilogrammes de houille. Chaque kilogramme de houille a produit environ 7 kilogrammes de vapeur, et la quantité de vapeur produite par heure et par mètre carré de surface de chauffe a été de 22^{k} . En supprimant complètement la circulation de l'air chaud autour de la chaudière, et par conséquent en ne chauffant que les bouilleurs, la surface de chauffe était réduite à $8^{\text{m}},18$, et on a produit 1316 kilogrammes de vapeur en cinq heures, avec la même consommation de combustible; ainsi chaque kilogramme de houille a produit $6^{\text{k}},18$ de vapeur, et chaque mètre carré $32^{\text{k}},48$. Alors la surface de chauffe, placée dans les carneaux, a produit, dans la première expérience, 1480 — 1316

= 164 kilogrammes de vapeur en cinq heures, ou $32^k,78$ par heure, et chaque mètre carré $32,78 : 5^m,27 = 6^k,10$. Ainsi, les quantités de vapeur produites par heure et par mètre carré de la chaudière et des bouilleurs, étaient 32,48 et 6,10, et la chaudière ne produisait que $164 : 1480 = 0,11$ de l'effet total. M. Valter n'a pas déterminé la quantité d'oxygène libre qui se trouvait dans la fumée; mais il est probable qu'elle était considérable, et que si elle eût été seulement de 0,1, l'effet produit par les carneaux aurait été beaucoup plus grand.

899. Une commission de la Société industrielle du grand-duché de Hesse a fait dernièrement des expériences pour déterminer l'influence de la circulation de l'air brûlé autour des chaudières, en donnant aux carneaux différentes formes, et en employant différents combustibles. On s'est servi de la même chaudière, mais le fourneau a été modifié de différentes manières :

A. Le fourneau étant sans carneaux, la chaudière était librement suspendue au-dessus du foyer.

B. Le fond de la chaudière était seul exposé au rayonnement du foyer, et l'air brûlé circulait autour de la chaudière, une seule fois, dans un canal ayant toute la hauteur des faces latérales de la chaudière.

C. Le fond de la chaudière était chauffé par rayonnement, mais l'air brûlé faisait deux fois le tour de la chaudière, dans un canal ayant une hauteur deux fois plus petite que dans la disposition précédente.

D. Le foyer était surmonté d'une voûte garnie d'une large ouverture, par laquelle l'air brûlé arrivait sous le fond de la chaudière; il passait ensuite simultanément par tous les points du contour du fond de la chaudière, dans un canal annulaire qui régnait autour de la chaudière, d'où il s'échappait par plusieurs orifices percés dans la maçonnerie enveloppante pour arriver à la cheminée.

E. Le fond de la chaudière était chauffé par rayonnement, et l'air brûlé parcourait sa surface latérale, en se divisant dans deux carneaux qui se réunissaient au-dessus du foyer, et dont chacun n'avait par conséquent pour longueur que la moitié du contour de la chaudière.

F. Le fond de la chaudière était chauffé par rayonnement, et l'air brûlé parcourait simultanément deux carneaux placés de chaque côté, en revenant sur lui-même, de manière à se dégager au-dessus des orifices par lesquels il y était arrivé.



Le tableau suivant renferme les résultats obtenus; les chiffres indiquent les quantités de combustible employées pour produire le même effet dans le même temps, et par conséquent les plus élevés correspondent aux dispositions les moins avantageuses :

Bois. . .	{ F	E	C	B	D	A
	{ 63	68,8	68,69	72,19	72,23	100
Tourbe.	{ F	C	D	E	B	A
	{ 53	66	71	72	76	100
Houille.	{ C	F	B	F	D	A
	{ 73	73	83	85	91	100

Il résulte de ces observations 1° que, quand l'air brûlé ne circule pas autour de la chaudière, l'effet utile est beaucoup plus petit que quand cette circulation a lieu d'une manière quelconque;

2° Que l'influence des carneaux est plus grande pour le bois et la tourbe que pour la houille, puisqu'on a économisé un tiers de combustible, avec le bois, par le chauffage latéral, presque moitié avec la tourbe, et seulement un quart avec la houille;

3° Que la disposition la plus avantageuse paraît être celle des doubles carneaux E et F;

4° Que les doubles carneaux C donnent, en général, de meilleurs résultats que les carneaux simples B.

900. On doit conclure des expériences que nous venons de rapporter, qu'en général l'influence des carneaux est très-grande, et que si elle est plus petite pour la houille que pour le bois et la tourbe, cela tient à ce que le rayonnement de la houille étant plus grand que celui des autres combustibles, l'air brûlé est à une température moins élevée, et aussi à ce que la combustion de la houille, n'étant pas toujours accompagnée de flamme, et l'épaisseur de la couche étant très-petite en général, il passe plus d'air sans altération. Quant à l'influence de la disposition des carneaux, on ne peut rien conclure des expériences rapportées en dernier lieu, parce que la consommation de combustible n'est pas le seul élément qui doit être pris en considération; il faudrait savoir si la combustion a eu lieu dans les mêmes conditions, et

par conséquent il faudrait connaître, pour chaque cas, la composition de l'air brûlé.

901. *Disposition des carneaux pour les chaudières à basse pression.* Dans ces appareils, l'air brûlé parcourt d'abord toute la partie inférieure de la chaudière, et fait ensuite le tour complet de la chaudière dans un carneau latéral. On donne ordinairement aux carneaux la section de la cheminée à son sommet; il n'y a cependant aucun inconvénient à donner une section beaucoup plus grande au canal qui règne sous la chaudière, parce que l'air brûlé, quand le canal est trop grand, ne s'écoule que par la partie supérieure, et toujours en restant en contact avec la chaudière. Cependant, si la courbure du fond des chaudières était très-grande, il y aurait de l'inconvénient à donner au carneau une trop grande hauteur; il serait même avantageux que sa section n'eût exactement que l'étendue convenable; et si cela était nécessaire, il faudrait donner au fond du carneau une surface convexe. Pour les chaudières cylindriques, il faudrait au contraire courber le fond du carneau, de manière que le courant d'air brûlé fût obligé de passer sur toute la surface de la chaudière.

Quant aux carneaux latéraux, il faut toujours leur donner le minimum de section, car s'ils étaient trop grands, le courant n'aurait lieu que dans la partie supérieure, et on perdrait une grande partie de la surface de chauffe.

902. On a reconnu par expérience que si on faisait revenir l'air brûlé en avant simultanément par les deux faces latérales, l'air brûlé ne se distribuait pas également dans les deux carneaux, et que s'ils étaient trop grands, il n'en parcourait qu'un seul, celui qui présentait le moins de résistance. C'est une disposition qu'il ne faudrait employer qu'autant que la cheminée serait placée à côté de la porte du fourneau; mais il faudrait disposer, dans les deux carneaux, des registres que l'on réglerait par tâtonnement, de manière à diviser également la fumée entre eux.

On n'a fait aucune expérience sur une grande échelle pour connaître l'influence des doubles circuits; on peut seulement prévoir qu'ils augmenteraient beaucoup la résistance en diminuant l'étendue de la surface de chauffe de toute l'épaisseur de la maçonnerie qui séparerait les circuits. On ne les emploie jamais.

903. Souvent on donne aux carneaux des chaudières à basse pression des dimensions beaucoup trop grandes, et qui sont déterminées par la condition de permettre d'y introduire un enfant pour nettoyer la surface extérieure des chaudières. Mais comme les carneaux peuvent être nettoyés avec un ringard, dont on augmente à volonté la longueur du manche, par des tiges qui s'ajustent les unes au bout des autres, et que des carneaux trop grands ont l'inconvénient de n'être parcourus qu'à la partie supérieure par l'air chaud, il faut toujours éviter, comme nous l'avons déjà dit, de leur donner une trop grande section.

904. On a proposé de placer sur le fond du carneau qui règne au-dessous de la chaudière, des cloisons transversales, destinées à changer plusieurs fois la direction du courant; cette disposition diminue l'étendue de la surface de chauffe, concentre le rayonnement du foyer sur une plus petite partie de la chaudière, et ne permet pas de nettoyer facilement le fond de la chaudière, aussi a-t-elle été complètement abandonnée.

905. La limite supérieure de la surface de chauffe latérale doit toujours être, de quelques centimètres, inférieure au niveau de l'eau, attendu que la partie de la chaudière qui serait chauffée extérieurement, et qui ne serait pas mouillée intérieurement, pourrait s'échauffer même jusqu'au rouge; circonstance qui, comme nous le verrons plus loin, est une cause imminente d'explosion.

906. Les carneaux latéraux doivent être garnis, à une des extrémités, d'une ouverture, ordinairement fermée ou par des briques ou par des plaques de tôle ou de fonte, destinée à introduire un ringard pour enlever de temps en temps la suie qui s'accumule contre la surface des chaudières, et qui diminue beaucoup la quantité de chaleur transmise.

907. *Disposition des carneaux dans les appareils à haute pression.* Tout ce que nous avons dit relativement aux chaudières à basse pression, est applicable aux chaudières à bouilleurs; nous avons seulement une observation à faire relativement à la position de la voûte qui sépare le carneau des bouilleurs de ceux de la chaudière.

Dans les anciennes chaudières, la voûte passait par le milieu des bouilleurs; mais par cette disposition on perdait complètement comme surface de chauffe la moitié de la surface des bouilleurs, parce que leur partie supérieure se trouvait à la partie inférieure des carneaux placés



au-dessus où l'effet produit par le courant d'air brûlé est très-faible. Maintenant on place la voûte au-dessus des bouilleurs. Cette utile modification dans la construction des fourneaux a été faite, pour la première fois, par M. Valter.

Il est toujours très-utile de donner aux carneaux une hauteur telle qu'on puisse sortir les bouilleurs du fourneau, sans déranger la chaudière, quand on est obligé de les réparer ou de les changer.

908. *Maçonnerie.* Les fourneaux se construisent en briques; l'intérieur du foyer et le carneau qui le suit doivent toujours être en briques réfractaires liées entre elles par de la terre à brique; pour le reste du fourneau, on peut employer des briques ordinaires réunies par du mortier à sable siliceux.

Il est utile, même pour l'économie des frais de construction, d'établir au-dessous du carneau qui se trouve au-dessous de la chaudière ou des bouilleurs, un espace voûté fermé de toute part, pour diminuer la transmission de la chaleur dans le sol.

909. On élève toujours la maçonnerie à la hauteur des tubulures qui portent les différents appareils de niveau, de sûreté, d'alimentation et d'écoulement de la vapeur, afin de diminuer la quantité de chaleur perdue par le rayonnement de la partie supérieure de la chaudière, et par son contact avec l'air. A la manufacture des tabacs de Paris, la maçonnerie ne s'élève que d'une petite quantité au-dessus des carneaux, et les chaudières sont enveloppées d'une toile d'emballage grossière, mais serrée, qui repose sur un châssis en fer; le feu y a pris deux fois, après l'abaissement du registre, par la combustion d'une certaine quantité de gaz combustible formé dans le foyer, et qui s'était échappé par les fissures qui existent toujours entre la chaudière et la maçonnerie. Ainsi, cette disposition a de graves inconvénients et ne doit pas être recommandée.

910. On emploie rarement une seule chaudière, du moins quand le travail ne doit pas éprouver d'intermittence.

Dans les grands appareils il y a toujours trois ou quatre chaudières quand deux ou trois suffisent. On les place toujours à côté les unes des autres, afin de diminuer la perte de chaleur par les parois libres. Mais il est utile de ne pas les rendre solidaires, et de les isoler les unes des autres par des intervalles vides fermés de toute part.



911. *Armatures.* La dilatation des briques et l'absence presque complète de liaison entre elles produisent dans les fourneaux des mouvements qui ne sont point accompagnés de retrait pendant le refroidissement, et qui à la longue les déforment complètement. Ces effets sont surtout produits dans les fourneaux qui renferment des voûtes; les dilatations augmentent les poussées sur les culées, les voûtes s'aplatissent et souvent s'écroulent. Pour prévenir la prompte détérioration des fourneaux, on les garnit souvent de tiges et de plaques de fer et de fonte qu'on désigne sous le nom d'*armatures*, et qui ont pour objet de s'opposer aux mouvements qui tendent à se produire.

Quand le fourneau est circulaire, des cercles de fer serrés par des clavettes et enveloppant des tiges verticales de fer ou de fonte, appliquées contre la maçonnerie, forment le meilleur système d'armature qu'on puisse employer.

Quand les fourneaux ont une forme rectangulaire, cette disposition des armatures serait sans efficacité. Alors on pourrait soutenir les faces de devant et de derrière par de larges plaques de fonte, maintenues par des tiges de fer taraudées aux extrémités et serrées par des boulons; et les flancs des fourneaux par des tiges de fer ou de fonte fixées par la partie inférieure dans les fondations, et reliées entre elles, au-dessus de la chaudière, par des tiges de fer transversales, serrées par des boulons. Mais les chaudières à vapeur sont rarement munies d'armatures. Quand elles sont isolées, ce qui a rarement lieu, on donne une grande épaisseur aux murailles extérieures, pour éviter la perte de chaleur par le refroidissement des faces, épaisseur qui suffit pour les faire résister aux poussées intérieures; quand elles sont au nombre de deux ou trois, ce qui est le plus ordinaire, elles sont adossées les unes aux autres, et entourées de trois côtés de murailles épaisses, alors la déformation des fourneaux n'est possible que sur les faces de devant, et par la poussée de la voûte du canal qui passe sur le devant de la chaudière; rarement on oppose des armatures à cette poussée, et dans presque toutes les constructions on la détruit par une épaisseur convenable du mur qui se trouve en avant, et que l'on soutient ou par une plaque de fonte ou par une voûte, afin de ne pas trop éloigner la porte de l'arête antérieure de la grille.

On pourrait aussi, pour consolider la maçonnerie, employer les

armatures dont nous avons parlé à l'occasion des cheminées (446).

912. Les chaudières à vapeur doivent être établies dans des circonstances déterminées par les règlements qui font le sujet du paragraphe suivant.

§ 10. — RÈGLEMENTS RELATIFS AUX CHAUDIÈRES A VAPEUR.

913. Par un décret du 15 octobre 1810, les établissements industriels ont été divisés en trois classes. La première classe comprend les établissements qui doivent être éloignés des habitations; la seconde ceux dont l'éloignement des habitations n'est pas indispensable; et enfin la troisième ceux qui peuvent être placés sans inconvénients auprès des maisons habitées.

Pour les établissements de la première classe, la demande doit être adressée au préfet et affichée dans un rayon de cinq kilomètres; le conseil de préfecture donne son avis sur les oppositions, et le conseil d'État décide.

Pour les établissements de deuxième classe, la demande est adressée au sous-préfet, et renvoyée au maire qui procède à une information de commodo et incommodo; les pièces sont renvoyées au préfet qui juge, sauf recours au conseil d'État.

Pour les établissements de troisième classe, la permission du maire suffit.

914. L'ordonnance du 29 octobre 1823 assimile les chaudières à vapeur à haute pression aux établissements de deuxième classe, et celles à basse pression aux établissements de troisième classe.

915. D'après les ordonnances qui ont paru successivement sur cet objet, les chaudières ne peuvent être établies qu'autant qu'elles satisfont aux conditions suivantes.

Pour les chaudières à basse pression dans lesquelles la pression de la vapeur ne dépasse pas deux atmosphères :

1° Les chaudières devront porter deux soupapes de sûreté de même section, dont les orifices seront déterminés par la formule (799); chacune d'elles sera chargée directement, et sans l'intermédiaire d'un levier, d'un poids de 1^k,033 par centimètre carré.

2° Chaque chaudière devra être pourvue d'une plaque fusible à 127°;



dont la surface libre sera quatre fois plus grande que celle de chacune des soupapes.

3° La plaque fusible et l'une des soupapes seront placées sous une même grille, dont la clef ne sera pas à la disposition du chauffeur.

4° Chaque chaudière sera munie d'un manomètre à air libre, dont les indications ne pourront pas dépasser 2 atmosphères.

916. Pour les chaudières à haute pression, dans lesquelles la tension de la vapeur dépasse 2 atmosphères :

1° Les chaudières en tôle et en cuivre auront la même épaisseur, et cette épaisseur sera au moins égale à celle qui résulte de la formule (741). Les chaudières de fonte sont prohibées.

2° Les chaudières doivent avoir été essayées à l'aide d'une presse hydraulique, à froid et sous une pression trois fois plus grande que celle sous laquelle elles doivent fonctionner; et elles doivent être timbrées à la pression déclarée.

3° Les chaudières doivent être pourvues de deux soupapes de sûreté, dont une couverte d'une grille; les diamètres et les charges des soupapes étant déterminés par les formules (799) et (803).

4° Elles devront être garnies de deux plaques fusibles, l'une à 10°, l'autre à 20° au-dessus de la température correspondante à la pression habituelle; la première d'une surface libre au moins égale à celle des soupapes de sûreté, la seconde d'une surface quadruple; ces rondelles, dont l'épaisseur sera de 0^m,015, seront timbrées.

5° Les chaudières devront être placées dans un local dont la capacité soit au moins égale à vingt-sept fois celle de la chaudière. Le local devra être éclairé au moins de deux côtés par de larges baies de croisées, fermées de châssis légers et ouvrant en dehors; il ne pourra être contigu aux murs mitoyens avec les maisons voisines; il devra toujours en être séparé à la distance de deux mètres par un mur d'un mètre d'épaisseur au moins. Il devra aussi être séparé par un mur de même épaisseur de tout atelier intérieur. Il ne pourra exister d'habitation ni d'atelier au-dessus de ce local.

Les ingénieurs des mines et des ponts et chaussées sont chargés des épreuves des chaudières et de la surveillance des établissements.

§ 11. — CONDUITE DE L'OPÉRATION.

917. L'alimentation des foyers des chaudières à vapeur est confiée à des ouvriers désignés sous le nom de chauffeurs. Cette opération exige, de la part du chauffeur, du soin et de l'intelligence, d'autant plus qu'il doit en même temps surveiller les appareils de sûreté, les indicateurs de niveau et l'appareil d'alimentation de la chaudière.

918. L'alimentation du foyer doit être régulière et se faire à des intervalles égaux avec le même poids de combustible. Des alimentations trop fréquentes ont l'inconvénient d'introduire dans le foyer une trop grande quantité d'air froid par la porte qui reste nécessairement ouverte pendant toute la durée du chargement. Une épaisseur trop grande ou trop petite de la couche de combustible, des morceaux trop gros ou trop menus ont l'inconvénient de diminuer l'effet utile du combustible, ou par le passage à travers le foyer d'une grande quantité d'air inutile à la combustion, ou par la distillation d'une partie du combustible ou la formation d'une certaine quantité d'oxyde de carbone. Ainsi, ce n'est que par des observations suivies que le chauffeur parviendra à reconnaître, d'après la grandeur de la grille, le tirage de la cheminée, la nature du combustible et la grosseur des morceaux, les conditions les plus favorables à l'économie du combustible.

919. On a proposé d'abaisser, en partie du moins, le registre de la cheminée quand on ouvre la porte pour charger la grille; cet abaissement a en effet l'avantage de diminuer la quantité d'air froid qui passe dans les carneaux sans alimenter la combustion; mais les gaz qui se produisent dans le foyer ne sont pas brûlés, et l'appel d'air extérieur qui se produit aussitôt qu'on ouvre le registre, peut donner lieu à des explosions dans les carneaux; ainsi ce n'est pas une manœuvre à recommander.

920. Les houilles produisant toujours des scories plus ou moins adhérentes aux barreaux, il faut soulever ces scories de temps en temps au moyen d'une tige de fer recourbée que l'on introduit en dessous à travers les barreaux, et, après un certain temps, il faut les enlever de la grille; cette opération s'effectue en laissant tomber le feu et en nettoyant la grille.



921. Le manomètre doit être constamment surveillé; si la pression dépassait la limite assignée, il faudrait modérer la combustion en abaissant le registre, en fermant plus ou moins la porte du cendrier, ou en ouvrant en partie la porte du foyer. Le chauffeur doit soulever de temps en temps les soupapes de sûreté, pour s'assurer qu'elles n'adhèrent pas à leurs sièges; mais cette opération doit être rare, attendu que les dépôts de l'eau, entraînés par la vapeur, salissent les surfaces qui doivent être en contact, et s'opposent à la fermeture complète des soupapes. Dans aucun cas et pour aucune raison, les soupapes ne doivent être surchargées.

922. L'attention du chauffeur doit surtout se porter sur les indicateurs de niveau et sur l'appareil d'alimentation, car presque toutes les causes d'explosion résultent d'un abaissement de niveau dans la chaudière. Le tube indicateur et le flotteur doivent être souvent observés; l'immobilité de l'aiguille de ce dernier, dans un point intermédiaire de la graduation, serait un indice certain que le fil de suspension du flotteur est trop serré dans la boîte à étoupe, et que l'appareil ne fonctionne pas; il faudrait alors desserrer l'écrou qui presse les étoupes. Si l'aiguille restait immobile à l'une des extrémités du cadran, le niveau serait trop haut ou trop bas; dans le premier cas, en tournant le robinet du tuyau d'alimentation, on diminuerait la quantité d'eau introduite à chaque instant dans la chaudière, et on ramènerait en peu de temps le niveau à la hauteur normale. Dans le second cas, si l'abaissement du niveau était considérable, la partie de la chaudière qui se trouve au-dessus de l'eau pourrait être rouge, et il y aurait le plus grand danger à remonter le niveau. Le seul parti à prendre serait alors de diminuer l'activité du foyer en ouvrant la porte, et de s'éloigner du fourneau; une explosion serait à craindre.

923. Si l'abaissement du niveau était peu considérable et n'était pas arrêté par une plus grande ouverture du robinet du tuyau d'alimentation, il proviendrait d'un dérangement dans la pompe ou dans l'appareil d'alimentation. Si on pouvait obvier promptement à cet accident, on pourrait ne pas interrompre le chauffage; mais si les réparations devaient exiger un certain temps; si, par exemple, l'arrêt de la pompe provenait de l'encrassement des soupapes, d'une fissure dans le tuyau d'aspiration, il faudrait faire tomber le feu et arrêter le chauffage.

924. Une circonstance qui a une grande influence sur l'altération des

chaudières, et qui peut même être une cause immédiate d'explosion, c'est l'adhérence que prennent entre eux et avec la surface intérieure de la chaudière les dépôts produits par l'eau d'alimentation. Ces dépôts forment des croûtes épaisses sur le métal, en diminuent la conductibilité, permettent à sa surface extérieure de rougir quand elles recouvrent la partie inférieure de la chaudière; alors le métal devient moins résistant, s'oxyde facilement; et si ces croûtes, par une cause quelconque, viennent à se détacher, elles mettent l'eau en contact avec le métal incandescent, circonstance qui paraît être une de celles qui produisent les explosions.

925. Ces dépôts varient avec la nature des eaux dans des limites très-étendues, et, pour certaines eaux, ils sont considérables. D'après des expériences faites sur de l'eau d'un puits, à Paris, 100 kilog. d'eau laissent, en s'évaporant, 0^k,18 de résidu; alors, pour une machine à basse pression de 20 chevaux, dont la consommation de vapeur par heure serait de 600 kilog., le dépôt par heure serait de 1^k,08, par 24 heures de 25^k,92, et, pour un travail continu de 1 mois, de 777^k,60. L'eau de Seine donne un dépôt qui n'est que de 0^k,0186 par 100 kilog., et pour la même machine et pour le travail de 1 mois, le dépôt ne serait que de 80 kilog. L'eau de l'Oise donnerait un résidu de 20 kilog.; et celle de l'Ourcq un résidu de 120.

Dans une chaudière à bouilleurs, de la fabrique de céruse de Clichy, après trois semaines d'un travail de dix heures par jour, les incrustations avaient 5 centimètres d'épaisseur. La partie inférieure des bouilleurs ne durait pas au delà de huit à dix mois. Une chaudière de la forme de Watt donnait les mêmes résultats.

926. Pour éviter l'influence d'une trop grande épaisseur de ces incrustations, on est obligé d'interrompre de temps en temps le travail des chaudières, de laisser refroidir le fourneau, d'enlever les dépôts non adhérents, et de détacher au marteau, par un travail long et pénible, les croûtes qui tapissent la surface intérieure des chaudières. Lorsque ces dépôts renferment beaucoup de carbonate de chaux, on facilite le nettoyage en introduisant dans la chaudière de l'acide chlorhydrique, qui dissout le carbonate de chaux et détruit l'adhérence des dépôts.

927. Les dépôts dont il est question ne peuvent être évités qu'en ali-



mentant les chaudières avec de l'eau distillée; et c'est une chose possible dans un grand nombre de cas, du moins quand la vapeur est employée au chauffage. Mais on peut diminuer l'adhérence des dépôts de manière à pouvoir nettoyer les chaudières par de simples lavages, en mêlant à l'eau différentes substances.

928. On a d'abord proposé d'employer des pommes de terre et du son; ces matières s'interposent dans les dépôts et ne leur permettent pas de prendre de l'adhérence; ils forment alors, au fond des chaudières, des masses boueuses qu'on enlève facilement par de simples lavages. Mais ces matières doivent nécessairement donner à l'eau une certaine viscosité, et par suite favoriser le mélange de l'eau à la vapeur. En outre, lorsqu'elles ne sont pas bien délayées dans l'eau, elles se déposent au fond, et peuvent provoquer l'échauffement au rouge de la chaudière, et produire ainsi l'effet qu'elles doivent éviter.

929. Nous rapporterons ici une observation assez remarquable faite par M. Gourlier, inspecteur des travaux de la Bourse, qui fait voir combien la présence des corps étrangers dans les chaudières facilite leur détérioration. Peu de jours après la mise en activité de la chaudière à vapeur destinée à chauffer la Bourse, on s'aperçut qu'elle était percée au fond; on arrêta le feu, et on reconnut, après avoir vidé la chaudière, que le métal était brûlé dans un endroit où s'était déposé un chiffon qui avait été oublié dans la chaudière lors de son établissement.

930. M. Chaix, en 1836, a proposé, pour éviter l'adhérence des dépôts, d'introduire dans les chaudières une certaine quantité d'argile plastique. Un grand nombre d'expériences ont constaté l'efficacité de ce procédé; l'argile, interposée dans les dépôts, détruit complètement toute adhérence, et il suffit de laver les chaudières à grande eau, après certains intervalles; opération qui n'exige pas que les fourneaux soient refroidis.

La priorité de cette invention n'appartient pas à M. Chaix; car, dans le Manuel du manufacturier, publié par M. Pelouze, en 1826, on trouve le passage suivant :

« Quand le dépôt qui se forme dans les chaudières est de nature séléniteuse, on prévient la trop grande adhérence du sulfate de chaux par l'emploi d'une certaine quantité de terre argileuse qui, en se mêlant avec lui, détruit sa solidité. »

931. Tous les ingénieurs de la marine ont rendu le compte le plus favorable de l'emploi de l'argile dans les chaudières de bateaux à vapeur. Voici en outre les résultats de plusieurs expériences faites par une commission de la Société d'encouragement dans les ateliers de M. Cavé, sur la chaudière d'une machine de 10 chevaux. On a introduit dans la chaudière 20 kilog. d'argile délayée dans l'eau, et, après 8 jours de travail, il n'y avait aucune incrustation; de sorte qu'un simple lavage, qui dura une demi-heure, suffit pour mettre la chaudière en état. L'expérience fut répétée, mais prolongée pendant quinze jours, et les résultats furent les mêmes. Une troisième expérience, faite sur une autre chaudière, réussit également.

932. L'emploi de l'argile a cependant un très-grand inconvénient; il faut que cette substance soit introduite dans la chaudière, délayée dans un grand volume d'eau; car si on l'introduit en masse ou en pâte épaisse, elle se dépose au fond de la chaudière et la fait rougir. Le même effet a lieu lorsqu'une chaudière reste en repos pendant plusieurs jours.

Pour employer l'argile dans des circonstances favorables, il faudrait l'introduire d'une manière continue avec l'eau d'alimentation elle-même, et ne pas laisser longtemps l'eau en repos dans la chaudière quand elle ne produit pas de vapeur.

933. Nous rapporterons un extrait d'un rapport adressé au ministre de la marine, sur l'emploi de l'argile dans les chaudières à vapeur des bâtiments de l'État, par M. Delessaux, capitaine de vaisseau :

« L'emploi de l'argile continue à donner des résultats assez avantageux; mais il faut, pour en obtenir le plus d'efficacité possible, que cette argile parvienne dans les chaudières à son plus haut degré d'épuration, sans quoi l'adhérence des sels continue d'avoir lieu, quoique cependant par couches moins épaisses et beaucoup plus faciles à détacher que si on ne se servait pas de ce procédé. Il est donc à désirer qu'on délivre toujours cette argile pour le service des chaudières dans les conditions indiquées, et non brute et chargée de matières siliceuses.

« Parmi les moyens essayés pour introduire cette terre dans les chaudières, celui des boîtes en tôle fixées sur les cloisons intérieures des chaudières, qui n'était pas sans inconvénient, a fait place à celui plus ingénieux de M. Campagnac, ingénieur au corps royal du génie maritime, qui,



en faisant disparaître ces inconvénients, réunit l'avantage de continuer avec économie l'usage de l'argile, quelle que soit la durée de la traversée du bâtiment. Comme ce moyen peut ne pas être connu, j'en donne plus bas la description.

« Un autre moyen qu'on a trouvé également favorable pour vaincre l'adhérence des sels, c'est d'attendre le refroidissement de l'eau dans les chaudières avant de les vider. Ce moyen ne retarde qu'un peu le moment du nettoyage, et ne donne pas la peine de vider les chaudières à bras d'hommes. Dans ce dernier cas, il convient de se servir de la pompe à bras qui, par une ouverture convenable de ses robinets, permet de refouler l'eau directement dans la mer. Autrement, si on la laisse écouler dans la cale pour la pomper ensuite par les pompes au pied du grand mât, cette eau finit ensuite par infecter tous les fonds du navire, et salit singulièrement les parties du pont sur lesquelles elle se répand.

« Dans le nouveau mode de M. Campaignac, adopté sur les bâtiments à vapeur du port de Toulon, pour injecter l'argile dans les chaudières, on dispose de l'une quelconque des pompes de service des machines; mais la pompe d'épuisement dans la cale est celle qui se prête le mieux à cette installation; elle est moins susceptible de dérangement et plus facile à visiter.

« Le bassin en cuivre contenant l'argile délayée est placé dans la cour-sive entre les deux machines, sous l'une des plaques mobiles du parquet en fonte. Ce bassin a un double fond ou crible à travers lequel l'argile déjà épurée se débarrasse des racines ou autres corps étrangers qu'elle pourrait encore renfermer. Le tuyau d'aspiration de la pompe d'épuisement, qui est aussi muni d'une lanterne ou crépine, plonge sous le crible à quelque distance du fond du bassin où les parties siliceuses peuvent se déposer. On peut suppléer ainsi à une épuration très-imparfaite de l'argile.

« Le tuyau d'aspiration de la pompe d'épuisement porte donc une double branche, et, au moyen de deux robinets, cette pompe aspire à volonté dans la cale ou dans le bassin contenant de l'argile. Le tuyau d'épuisement de la même pompe est embranché avec le tuyau de la pompe à bras servant à remplir et à vider la chaudière, ou bien avec le tuyau des pompes d'alimentation, et, au moyen de deux autres robinets, l'eau de la cale sera refoulée à la mer, ou l'eau chargée d'argile aspirée

dans le bassin sera injectée dans la chaudière. Cette pompe, ainsi disposée, ne sera employée à ce dernier usage que pendant quelques instants, au moment des extractions nécessaires pour diminuer la concentration du sel marin en dissolution dans l'eau de la chaudière, et seulement pour y entretenir la dose d'argile convenable, ce dont il sera facile de juger par l'inspection des tubes indicateurs du niveau ou de l'eau recueillie des robinets-jauges.

« L'injection de l'argile se fait à l'eau chaude, en mettant le bassin qui la renferme en communication avec la bêche de la pompe à air, à l'aide d'un tube et d'un robinet. On se ménage ainsi la ressource précieuse d'une troisième pompe d'alimentation, dans le cas où l'une des deux pompes destinées à ce dernier emploi viendrait à se déranger. »

934. Pour éviter les incrustations, on a aussi employé les résidus des bois de teinture; les copeaux en s'interposant dans les dépôts préviennent leur adhérence; et ces matières, même après un repos très-long, ne forment sur le fond des chaudières que des masses très-divisées, à travers lesquelles l'eau circule facilement, et qui ne peuvent donner lieu à aucun accident. Mais ces matières sont quelquefois entraînées par la vapeur jusque dans le corps de pompe de la machine. Dans les ateliers des messageries Laffitte et Caillard, on a eu l'idée de remplacer les copeaux de bois de teinture par des extraits de ces bois, et les résultats ont dépassé toutes les espérances; les incrustations ont complètement cessé, les dépôts sont devenus pulvérulents et se sont réunis en totalité à la partie inférieure des bouilleurs; il paraît que la matière colorante, entraînée par les dépôts, s'est opposée à leur adhérence. Pour une machine de 16 chevaux alimentée par des eaux de puits, on emploie 1 kilogramme d'extrait solide de bois de campêche par semaine; cette matière est introduite successivement dans la bêche d'alimentation; la dépense par semaine est de 6 francs. Il est probable qu'on parviendrait au même résultat en employant beaucoup d'autres extraits d'un prix moins élevé.

935. Dans les chaudières des bâtiments à vapeur qui naviguent sur mer, il se forme des incrustations beaucoup plus considérables que dans les chaudières qui sont alimentées par l'eau douce; et pour éviter de trop grands dépôts, on est obligé, de temps en temps, de vider en partie la chaudière, afin que l'eau n'atteigne pas le point de saturation. Cette opération s'exécute par les chauffeurs sans qu'ils aient aucune règle pour



déterminer les époques auxquelles il convient de faire écouler de l'eau, et le temps pendant lequel le robinet de décharge doit rester ouvert. M. Seaward a proposé un moyen très-simple pour reconnaître à chaque instant le degré de saturation de l'eau, et par conséquent les époques convenables pour les évacuations partielles de l'eau de la chaudière. Le moyen dont il est question consiste à disposer un tube de verre comme ceux qui sont employés pour reconnaître le niveau de l'eau dans les chaudières, mais qui communiquerait par ses deux extrémités avec la chaudière, en deux points situés au-dessous du niveau habituel de l'eau; le refroidissement de l'eau renfermée dans le tube produirait une circulation assez rapide pour que l'on pût regarder à chaque instant l'eau du tube comme ayant une densité peu différente de celle de l'eau de la chaudière. Le tube renferme des boules de différentes densités comprises entre celle de l'eau de mer bouillante et celle de l'eau de mer bouillante saturée de sel; le nombre des boules qui se trouvent à la partie supérieure du tube indique le degré de saturation de l'eau (fig. 18, pl. 18).

936. M. Vilson a imaginé d'effectuer d'une manière continue le renouvellement de l'eau, en profitant de la chaleur qu'elle renferme pour chauffer l'eau d'alimentation. L'eau s'écoule constamment à la partie inférieure de la chaudière, où elle est plus chargée de sel, par un tuyau garni d'un robinet, ouvert de telle manière que le volume d'eau écoulé soit égal au volume d'eau saturé qui correspond à la quantité de vapeur formée dans le même temps. Le tuyau d'écoulement se divise ensuite en cinq branches placées dans le tuyau d'alimentation.

937. Mais malgré tout le soin qu'on peut mettre au nettoyage des chaudières, le métal s'oxyde, et son épaisseur diminue avec le temps, surtout dans les parties qui reçoivent le rayonnement du foyer; aussi les chaudières et les bouilleurs, dans les circonstances ordinaires, éprouvent des altérations très-différentes. Il serait alors important de visiter souvent les parties des bouilleurs qui se trouvent au-dessus du foyer; on pourrait même facilement mesurer de temps en temps l'épaisseur de la tôle au moyen d'un compas courbe à quatre branches. Pour les chaudières on ne pourrait mesurer l'épaisseur du métal qu'en y perceant, de distance en distance, de petits trous qu'on boucherait ensuite avec des rivets.

938. Sous le rapport de leur altération au feu, on observe de grandes différences entre des chaudières de même forme placées dans les mêmes circonstances. Souvent les bouilleurs se détériorent en très-peu de temps, d'autres fois ils n'éprouvent point d'altération, même après un très-long travail. Je citerai comme exemple une chaudière à bouilleurs établie dans la raffinerie de sucre de M. Bayvet; cette chaudière fonctionne depuis douze ans sans avoir éprouvé la moindre altération. Il est probable que ces différences proviennent de la nature de la tôle; celle qui est faite au charbon de bois est préférable à celle qui a été travaillée au coke, parce qu'elle ne renferme point de soufflure et n'est pas feuilletée.

939. Les chaudières s'altèrent aussi par les fuites à cause de l'oxydation que l'eau fait éprouver au métal. Quand les fentes sont légères, on peut arrêter les fuites en introduisant dans la chaudière 20 à 25 litres de gros son avec une petite quantité de chaux; l'amidon forme avec la chaux une espèce de mastic qui vient se déposer dans les fentes. Après, il faut nettoyer les chaudières, parce que la chaux formerait des incrustations.

940. Les chaudières doivent aussi, de temps en temps, être nettoyées extérieurement. Il faut enlever la suie qui les recouvre, et qui diminue notablement la quantité de chaleur qu'elles transmettent; les portes qui se trouvent à l'extrémité des carneaux rendent cette opération facile à exécuter. Ordinairement on enlève la suie au moyen d'un racloir fixé à l'extrémité d'une barre d'une longueur suffisante, ou avec une brosse métallique; et quand les carneaux ont une section suffisante, l'opération s'exécute par des enfants, mais il faut pour cela que le fourneau soit complètement refroidi, condition que n'exige pas le premier mode d'opération. Le nettoyage extérieur des chaudières s'exécute ordinairement tous les huit jours; pendant les premiers jours qui suivent, on s'aperçoit d'une augmentation notable d'effet utile.

941. Lorsqu'on brûle du bois ou de la tourbe, on parvient très-facilement à nettoyer les carneaux en y faisant passer un courant de vapeur.



§ 12. — DIFFÉRENTES DISPOSITIONS DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

942. Avant d'examiner les différentes dispositions des chaudières à vapeur qui ont été employées ou seulement proposées, nous décrirons un système complet de chaudière.

943. Les planches 29, 30, 31 et 32 représentent différentes coupes et les détails les plus essentiels du système de chaudières à vapeur de la manufacture des tabacs de Paris. Les chaudières sont à basse pression; elles sont placées sous un hangar dont la charpente est en fer et la couverture en zinc. Des quatre chaudières trois seulement sont constamment chauffées, et une est en nettoyage ou en réparation. Les trois chaudières en activité alimentent deux machines, chacune de 40 chevaux, et différents appareils de chauffage et de dessiccation; elles produisent une quantité de vapeur qui serait suffisante pour une machine de 100 chevaux. La pression de la vapeur dans les chaudières ne dépasse jamais celle de l'atmosphère de plus de 0^m,20 de mercure. La surface de chauffe de chacune d'elles est de 36 mètres carrés.

a, a, a, a, chaudières en tôle de fer qui renferment chacune un tuyau intérieur de 0^m,68 de diamètre, par lequel l'air brûlé, après avoir parcouru le fond de la chaudière, revient en avant, pour faire ensuite le tour complet de la chaudière en chauffant les faces latérales. *x* représente le canal par lequel l'air brûlé qui a circulé autour de la chaudière gagne la cheminée commune. Les fonds des chaudières ont 0^m,011 d'épaisseur, les flancs et le tube intérieur 0,008, et les dômes 0,006.

Comme le hangar sous lequel les générateurs sont établis n'est pas fermé, pour éviter la condensation de la vapeur sur les dômes des chaudières, on les a enveloppés de châssis en fer sur lesquels on a fixé des toiles d'emballage recouvertes d'une toile serrée (910).

Chacune des chaudières est garnie intérieurement de cinq barres de fer, qui s'opposent à sa déformation; trois maintiennent les flancs, et deux les extrémités (fig. 1^{re} et 2, pl. 32). Chaque chaudière est percée de huit ouvertures. La première *b*, pour le trou d'homme. La seconde *c*, pour la colonne d'alimentation. La troisième *d*, pour recevoir la boîte à étoupe de la tige du flotteur; la figure 3 représente cette boîte sur une plus grande échelle; la caisse qui l'enveloppe a pour objet

d'éviter que l'huile ne se répande sur les chaudières. La quatrième *e*, est destinée à recevoir le tuyau d'écoulement de la vapeur. La cinquième *f*, reçoit le tuyau de vidange, représenté sur une plus grande échelle figures 4 et 5. Les sixième et septième établissent les communications de l'eau et de la vapeur avec le tube indicateur du niveau de l'eau. Enfin la dernière reçoit le manomètre *k*.

Les colonnes alimentaires *l, l, l, l*, des quatre chaudières (pl. 29 et 30) sont terminées chacune à leur extrémité supérieure par une cuvette *r* qui renferme une soupape, reliée par un balancier à la tige de suspension du flotteur en pierre. Chacune de ces cuvettes porte latéralement des tubulures à brides qui servent à établir leurs communications; la première reçoit l'eau fournie par la pompe alimentaire, et la dernière verse le trop plein par un tuyau *i*, dans une colonne surmontée d'un entonnoir.

Les colonnes alimentaires renferment des flotteurs en fonte, suspendus par des chaînes qui passent sur deux poulies de renvoi, et dont les extrémités sont attachées aux registres *k, k, k, k*.

A ces mêmes colonnes, et à peu près à la moitié de leur hauteur, sont fixés des robinets à trois eaux *s, s, s, s*, qui communiquent entre eux par les tuyaux *t, t, t, t*. Ces robinets et ces tuyaux servent à faire retourner dans les chaudières l'eau de condensation de certains appareils de chauffage.

Les orifices de sortie de la vapeur sont garnis de soupapes logées dans des caisses en fonte qui communiquent entre elles par des tuyaux de même métal *l, l, l*, par lesquels s'écoule toute la vapeur fournie par les chaudières; au moyen de cette disposition, les chaudières qui fonctionnent étant en communication, la vapeur y prend sensiblement la même tension.

Sur la conduite dont nous venons de parler, se trouvent deux boîtes *m* en fonte renfermant des soupapes de sûreté et de dégagement de la vapeur au dehors.

Les grilles des foyers sont formées chacune de deux rangées de barreaux, dont on voit les détails figures 6, 7, 8, 9 et 10 (pl. 32). Les porte-barreaux sont représentés figures 11, 12, 13, 14, 15 et 16 de la même planche. Les figures 17, 18 et 19 représentent l'élévation et des coupes verticales et horizontales d'un des châssis de fonte qui forme la face antérieure du fourneau. Les figures 20, 21 et 22 représentent les détails d'une porte de foyer.



944. *Petites chaudières.* On donne ordinairement aux petites chaudières la disposition indiquée par la figure 1^{re} (pl. 33). La surface de chauffe est de 1^m,50. Elle peut fournir 25 à 30 kilogrammes de vapeur à l'heure. Le foyer rayonne sur tout le fond de la chaudière, et la fumée qui sort par l'orifice A circule une seule fois autour de la chaudière, dans un canal qui a toute la hauteur de l'eau dans la chaudière; une petite murette oblige la fumée à suivre le carneau, qui communique à la cheminée par un canal placé derrière cette murette. Pour faciliter le nettoyage du canal circulaire qui règne autour de la chaudière, on le ferme par des briques D, D, qui s'enlèvent facilement quand celles qui sont indiquées par les lettres E et F ont été déplacées. L'espace annulaire vide GG, renferme de l'air stagnant.

Il est important, dans cette disposition, de ne pas donner une trop grande section aux carneaux; autrement l'air chaud n'en parcourrait que la partie supérieure, et on perdrait une grande partie de la surface de chauffe.

945. On a construit des fourneaux dans lesquels l'air chaud circulait un grand nombre de fois autour de la chaudière dans un canal ayant la forme d'une hélice; mais ces carneaux avaient nécessairement une grande largeur et produisaient une grande résistance. Ces fourneaux ne marchaient qu'avec un grand tirage, et sans produire plus d'effet que la disposition indiquée dans la figure 1^{re}; d'ailleurs, il fallait nécessairement enlever la chaudière pour nettoyer les carneaux. Cette disposition est complètement abandonnée.

946. On a proposé ensuite de faire sortir l'air chaud du foyer par tous les points du contour de la chaudière, en plaçant entre la surface cylindrique de la chaudière et le mur enveloppant, des briques qui obligent la fumée à changer à chaque instant de direction. Ces chicanes augmentent la résistance de l'air, diminuent la surface de chauffe, nécessitent le déplacement de la chaudière pour le nettoyage des carneaux, et en outre une disposition particulière, analogue à celle de la figure 2 (pl. 34), pour la communication avec la cheminée, afin que l'air chaud ne suive pas seulement la surface de la chaudière la plus voisine de la cheminée. Toutes ces complications sont sans aucune utilité et doivent faire renoncer à cette disposition. On pourrait cependant l'employer en faisant monter l'air chaud librement tout autour de la chaudière sans

chicanes; mais il faudrait adopter, comme nous l'avons dit, une disposition convenable pour régulariser l'ascension de l'air chaud autour de la chaudière.

947. *Chaudières à basse pression.* Les figures 2 et 3 (pl. 33) représentent la disposition connue sous le nom de Watt. Ces chaudières ont le grand inconvénient de se déformer par la pression, malgré les nombreuses armatures qui s'opposent à l'écartement des flancs et des bouts, et les mouvements qui se produisent les font souvent perdre à froid. J'ai assisté à une expérience qui avait pour objet d'essayer la résistance d'une chaudière de Watt par de l'eau qu'on comprimait à l'aide d'une pompe foulante; elle éprouvait des déformations très-marquées, même sous de faibles pressions; je suis étonné que ces chaudières ne se détériorent pas plus promptement par les mouvements qu'elles éprouvent continuellement.

948. Les figures 4 et 5 présentent une modification assez importante des chaudières en tombeau. L'air chaud, après avoir parcouru la partie inférieure de la chaudière, revient en avant par un canal central, et retourne à la cheminée simultanément par deux carneaux latéraux. Par cette disposition, les surfaces de chauffe sont mieux utilisées, et le tuyau central sert d'armature pour maintenir les deux fonds. Mais il est difficile de répartir également l'air chaud dans les deux carneaux latéraux; presque toujours la vitesse est plus grande dans l'un que dans l'autre; et même si les carneaux sont trop grands, l'air chaud n'en parcourt qu'un seul. Il faut alors placer des registres à l'extrémité de chacun d'eux, et les régler de manière à diviser également la fumée entre eux; on y parviendra facilement en observant l'appel dans des petits orifices ménagés dans les plaques qui ferment les ouvertures des carneaux. On faciliterait beaucoup l'égale répartition de la fumée dans les deux carneaux latéraux, en plaçant dans le canal central une lame de tôle verticale de la hauteur du tube, de quelques décimètres de longueur, et qui se prolongerait en avant, de manière à séparer complètement le carneau en deux parties. On pourrait aussi faire passer la fumée tout entière par un seul carneau; mais on serait obligé, à la fin de la circulation, de la faire arriver à la cheminée par un canal qui ne renfermerait point de surfaces de chauffe.

949. La disposition indiquée dans les figures 6 et 7 (pl. 33) est bien préférable aux précédentes, parce que la chaudière ne peut pas se



déformer par la pression, et qu'elle n'exige par conséquent point d'armature; dans cette disposition, comme dans la précédente, la fumée revient en avant, dans un tube central, et retourne à la fois par les deux faces latérales de la chaudière. Tout ce que nous avons dit précédemment sur la difficulté de répartir également la fumée dans ces deux canaux, et sur les moyens d'y parvenir, est évidemment applicable à cette disposition.

950. Dans la figure 8, l'appareil est composé de deux chaudières, semblables à celle de la figure précédente, qui communiquent entre elles par la partie supérieure et par la partie inférieure; l'air chaud à l'extrémité du carneau A, se divise en deux parties, qui reviennent en avant par les tuyaux B,B, et retournent à la cheminée par les carneaux C,C. Cette disposition fait produire un plus grand effet utile aux surfaces de chauffe qui sont au-dessus du foyer, et permet d'employer des tôles moins épaisses.

951. La figure 9 représente la disposition des chaudières généralement employées en Cornwall, pour les machines d'épuisement à haute pression et à simple effet. Le foyer est intérieur; l'air brûlé revient en avant par un canal qui règne sous la chaudière et retourne à la cheminée par deux carneaux latéraux. Les chaudières sont ordinairement réunies au nombre de trois; mais deux seulement suffisent à la machine. Elles ont 7 pieds anglais de diamètre et 36 pieds de longueur; l'épaisseur de la tôle est de $\frac{7}{10}$ de pouce; le diamètre du tube intérieur est de 4 pieds, la longueur de la grille est la même; le mur au delà de la grille s'élève jusqu'à 9 pouces de l'arête supérieure; la distance des tubes à la partie inférieure est de 8 pouces; et le conduit inférieur a 4 pieds de largeur sur 20 pouces de hauteur. Ces dispositions sont très-bonnes; mais l'étranglement qui se trouve au delà de la grille concentre trop la chaleur dans le foyer, et altère rapidement la partie de la chaudière intérieure qui reçoit le rayonnement; en outre, le canal qui est au delà du foyer est trop grand, et sa surface de chauffe est mal employée: il faudrait y placer un bouilleur concentrique, comme l'indique la figure; enfin, il faudrait isoler du sol le conduit inférieur, par de l'air stagnant, au moyen d'une voûte. Avec ces changements, en donnant aux carneaux une section convenable, et à la surface totale de chauffe une étendue suffisante, cette

disposition serait certainement une des meilleures qu'on pût employer pour des chaudières à basse et à moyenne pression; elle serait surtout bien préférable aux chaudières en tombeau.

952. La figure 10 représente une chaudière analogue à la précédente, mais à deux tubes intérieurs et à deux grilles. En Cornwall, les tubes ont 29 pouces anglais de diamètre, et leur distance est de 10 pouces. Dans ces chaudières, comme dans les précédentes, l'étranglement qui se trouve au delà des grilles a le même inconvénient, et les grilles sont trop petites; mais la partie inférieure et intérieure de la chaudière est plus facile à nettoyer.

953. Les figures 11 et 12 présentent une disposition qui n'a pas été exécutée, mais dans laquelle la surface de chauffe serait certainement mieux employée que dans les chaudières ordinaires; l'air chaud, en sortant du foyer, parcourt une seule fois la longueur de la chaudière, mais dans un canal étroit qui embrasse toute la surface de chauffe, et dont la section est seulement suffisante.

954. Les figures 13 et 14 présentent un système analogue, mais avec deux chaudières superposées.

955. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 34) représentent une disposition qui n'a encore été employée que pour chauffer de l'eau dans un établissement de bains, mais qui serait également applicable pour produire de la vapeur. La chaudière est formée d'une partie horizontale et d'une partie verticale, et l'air chaud, dans son mouvement, enveloppe à la fois toute la chaudière; au sommet, l'air chaud est appelé par des orifices nombreux, de diamètres variables, dans un canal annulaire qui se rend à la cheminée; les orifices sont d'autant plus grands, que l'air qui les traverse a un plus grand chemin à parcourir, afin que l'appel s'effectue aussi uniformément que possible. A la partie supérieure de la chaudière se trouve un appareil pour purger la vapeur de l'eau qu'elle a pu entraîner. Dans ce système, le tirage a lieu pendant la chauffe, et, avec une hauteur de 3 ou 4 mètres, l'air chaud pourrait s'échapper à une température peu supérieure à 100°. Nous reviendrons sur cette disposition employée par MM. Thomas et Laurens, lorsqu'il sera question du chauffage de l'eau.

956. Les figures 4 à 8 (pl. 34) appartiennent à une chaudière à vapeur analogue à celle que nous venons de décrire, et qui a été construite par



Lemare. Elle est à foyer intérieur; la figure 6 est une coupe suivant *ab* (fig. 5); la figure 7, une coupe suivant *cd* (fig. 5); et la figure 8 une coupe suivant *ef* (fig. 4). Une commission, nommée par la Société d'encouragement, a fait sur cette chaudière, qui produisait de la vapeur sous une pression de deux atmosphères, des expériences qui ont constaté que chaque kilogramme de charbon vaporisait 9^k,32 d'eau. Dans une de ces expériences qui a duré 7^h,15', on a brûlé 76^k,876 de houille, et on a vaporisé 717 kilogrammes d'eau. La quantité de houille brûlée par heure a été de $76,876 : 7,25 = 10,60$; et comme la surface de chauffe est à peu près de 5 mètres carrés, on voit que dans cet appareil chaque mètre carré de surface de chauffe correspondait à 2 kilogrammes de houille brûlés par heure, et que chaque mètre carré a produit à peu près 20 kilog. de vapeur. La surface de chauffe de cette chaudière est cependant à peu près double de celle des chaudières ordinaires, car pour déterminer la surface de chauffe, on suppose ordinairement que chaque kilogramme de charbon ne produise que 5 de vapeur; alors pour brûler 10^k,6 de houille par heure, ce qui correspondrait dans cette hypothèse à 53 kilogr. de vapeur, on aurait pris seulement 2^m,50 de surface de chauffe. Mais ce n'est pas de cet accroissement seul de l'étendue de la surface de chauffe que résulte l'effet utile produit; il provient principalement de ce que les carneaux étant très-étroits, laminent la fumée et la refroidissent rapidement. La chaudière étant à foyer intérieur, la perte de chaleur par les parois est aussi très-faible, car elle correspond, comme nous le verrons plus tard, à 1^k,80 de vapeur par mètre carré et par heure, or, la surface extérieure libre étant à peu près de 6 mètres carrés, la perte de chaleur par heure équivaut à $6 \times 1,8 = 10^k,8$ de vapeur, ou à 1 kilogramme de houille; ce qui est à peu près 0,1 seulement du combustible consommé. J'ai insisté sur cet appareil, non parce qu'il ne laisse rien à désirer, mais parce qu'il confirme ce que nous avons dit sur l'effet des carneaux étroits.

Dans cet appareil la grille avait 1 mètre carré de surface; et comme on a brûlé 10^k,6 de houille par heure, la grille était de 5 à 10 fois plus grande que celles qui sont généralement employées. Cette circonstance n'a probablement pas été sans influence sur les résultats obtenus.

957. Les figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 36) représentent une disposition de chaudière anglaise à basse pression. La figure 1 est une coupe verticale

dans le sens de la longueur de la chaudière; la figure 2 une coupe suivant la ligne brisée *abcd* (fig. 1); la figure 3 une coupe suivant *bc* (fig. 1); et la figure 4 une coupe suivant *gf* (fig. 2). Dans cette chaudière, qui a été décrite par Tredgold, l'air brûlé en sortant du foyer passe dans un tube intérieur, revient en avant par un canal latéral formé par la moitié du fond de la chaudière, et retourne vers le point opposé au foyer par un canal semblable. Cette forme de chaudière est compliquée, et ne semble présenter aucun avantage sur les chaudières généralement employées.

958. En Angleterre on emploie beaucoup de chaudières à foyer intérieur, disposées à peu près comme celles des bateaux à vapeur. La planche 35 représente une de ces chaudières. La figure 1 est une élévation de la face où se trouve la porte du foyer; la figure 2 une coupe transversale; la figure 3 une coupe longitudinale; et la figure 4 une coupe horizontale sur une plus petite échelle, pour indiquer le mode de circulation de l'air brûlé. L'appareil se compose de plusieurs chaudières placées les unes à côté des autres, et séparées par de petites murettes en briques. Elles sont supportées par des murs percés d'ouvertures terminées en dessus par des voûtes, de manière qu'on puisse facilement parcourir l'espace qui se trouve au-dessous. Lorsque ces chaudières ont une surface de chauffe suffisante, elles utilisent très-bien le combustible, mais elles sont d'une construction compliquée, surtout à cause des nombreuses armatures destinées à s'opposer à leur déformation.

959. *Chaudières à haute pression.* La disposition la plus générale des chaudières à haute pression est celle de la figure 9 (pl. 34). La partie inférieure seule des bouilleurs reçoit le rayonnement du foyer; leur partie supérieure, ainsi que la partie inférieure de la chaudière, est chauffée par l'air brûlé qui parcourt deux fois la longueur de la chaudière avant de se rendre dans la cheminée. La disposition représentée par les figures 10, 11 et 12, est bien préférable, parce qu'on utilise toute la surface de chauffe des bouilleurs.

960. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 42) représentent différentes coupes d'une chaudière à haute pression chauffée au bois, construite par MM. Thomas et Laurens. Cette chaudière fonctionne depuis longtemps en donnant de très-bons résultats; elle alimente une machine de 20 à 25 chevaux.



961. MM. Halette et Walter Turner ont pris en 1835 un brevet, expiré en 1838, pour une nouvelle disposition de chaudières à vapeur. Pour en comprendre le principe, imaginons un carneau rectangulaire, enveloppé d'eau de tous les côtés, et supposons que de la face supérieure descendent deux lames métalliques, parallèles entre elles et aux faces latérales des carneaux; que l'intervalle qui les sépare soit fermé inférieurement et par les deux bouts, et ouvert à sa partie supérieure; l'espace compris entre les faces métalliques se remplira d'eau, et celles-ci serviront de surfaces de chauffe. Supposons plusieurs lames parallèles, semblables, également distantes, et d'autres semblables partant de la face qui forme le fond du carneau, mais communiquant par les bouts et par la partie inférieure avec la chaudière; il est évident que la fumée, en se dégageant entre ces plaques, sera divisée en lames très-minces, et, par conséquent, se trouvera dans une circonstance très-favorable à son refroidissement rapide. Mais cette disposition est très-compiquée et d'une exécution difficile; en outre, les dépôts qui s'accumuleraient dans les parties qui communiquent avec la partie supérieure des carneaux, seraient difficiles à enlever.

962. On a publié, dans le 36^e volume des brevets d'invention, un brevet de M. Crépin, de Lyon, relatif à une nouvelle disposition de chaudières à vapeur qui a pour objet d'en augmenter la résistance. Les chaudières sont cylindriques, mais les feuilles de tôle sont assemblées d'une manière particulière; les anneaux sont rentrés et réunis intérieurement par une clouure serrée autour d'un anneau de fer. Cette disposition est compliquée; elle n'aurait pas, à beaucoup près, l'efficacité que lui suppose l'auteur, à cause de l'altération qu'éprouverait la tôle repliée sur elle-même à angle droit. D'ailleurs, en augmentant ainsi la résistance à la rupture suivant une arête, on ne fait éprouver aucune variation à la résistance suivant un anneau, et la rupture pourrait avoir lieu dans ce dernier sens si on ne garnissait pas la chaudière d'une armature qui s'opposât à la séparation des fonds.

963. M. Frimot a imaginé plusieurs dispositions nouvelles de chaudières (Brevets d'invention, tome 36), que nous essayerons de décrire succinctement. Dans une première disposition, la chaudière se composait d'un cylindre vertical, traversé par un cylindre concentrique, dont la moitié inférieure était évasée en cône: c'est au bas du cône que se trouvait le

foyer ; l'intervalle du cône et du cylindre n'était rempli d'eau que jusqu'au tiers à peu près de la hauteur ; au delà, le tuyau à fumée était environné de rebords coniques, évasés par le haut, qui formaient des entonnoirs annulaires d'un diamètre croissant de haut en bas ; c'est dans le premier entonnoir qu'arrivait l'eau d'alimentation, qui se déversait ensuite dans les entonnoirs suivants. Le foyer était alimenté par une trémie, et l'air était fourni par un ventilateur. M. Frimot a été dirigé par cette idée inexacte, qu'il faut rendre aussi mince que possible la colonne d'eau à échauffer, pour épargner le combustible. Je ne sais pas si cette chaudière a été exécutée, mais il est bien certain qu'elle n'aurait pu donner qu'un très-faible produit. Le ventilateur était d'ailleurs complètement inutile.

M. Frimot a aussi imaginé une autre disposition, encore plus compliquée que la précédente. La chaudière est verticale, allongée ; la partie inférieure est dans le foyer, et elle est chauffée dans toute sa hauteur, y compris la partie supérieure qui forme le réservoir de vapeur, par l'air brûlé qui l'environne de toute part. La partie qui doit être occupée par l'eau est divisée par des diaphragmes horizontaux un peu convexes vers le haut, et soudés contre les bords du tuyau. Les parties supérieures de deux compartiments consécutifs communiquent au moyen d'un tube ; enfin le tuyau d'alimentation arrive au compartiment inférieur, l'eau et la vapeur s'élèvent de case en case. Cette disposition n'a que l'avantage d'amener les dépôts dans la case la plus élevée. Elle est réellement impraticable par sa complication, et elle présenterait d'ailleurs des dangers d'explosion si l'un des tubes venait à s'obstruer. M. Frimot a ensuite exécuté une chaudière de même forme, mais dans laquelle les cloisons ne s'étendaient qu'à une petite distance des bords de la chaudière et étaient soudées à un tube central, ouvert au-dessous de chaque cloison et destiné à évacuer la vapeur, tandis que l'eau d'alimentation était obligée de suivre la surface de la chaudière. Les effets de cet appareil n'ont pas été constatés ; mais quand même ils auraient atteint le but que l'auteur s'était proposé, il est peu probable que l'effet utile eût été supérieur à celui des chaudières ordinaires, à cause de la faible étendue des surfaces de chauffe et de la dépense de travail de la machine soufflante.

964. Depuis, M. Beslay a construit des chaudières à tubes qui sont disposées d'une manière particulière. La chaudière de M. Beslay, destinée

à produire de la vapeur à 5 atmosphères, est composée de deux bouilleurs verticaux de 3 mètres de longueur, communiquant avec une chaudière horizontale placée au-dessus. Le foyer est à coke, et, au-dessous des bouilleurs; l'air chaud s'élève immédiatement dans une cheminée verticale qui environne les bouilleurs, mais qui est divisée en deux parties par une cloison qui sépare ces tubes. L'air brûlé circule ensuite une seule fois sous la chaudière, et s'échappe par un très-court tuyau de tôle. De la grille au sommet de cette courte cheminée la distance est de 5 mètres. La partie inférieure des bouilleurs est fermée par une pièce de cuivre, composée d'un anneau et d'une calotte réunis par une soudure forte; l'anneau est garni d'un croisillon intérieur, fixé à une tige de fer verticale qui passe à travers une tubulure de la chaudière, où elle est fixée par un écrou. Par cette disposition, le joint du bouilleur, avec la pièce de cuivre qui le termine, est d'autant plus étanche que la température est plus élevée, attendu que les bouilleurs se dilatent plus que la tige de fer. Chaque bouilleur renferme un tube d'un petit diamètre, qui s'ouvre dans la chaudière et se termine près de l'extrémité inférieure; ces tubes ont pour objet d'amener l'eau froide à la partie inférieure des bouilleurs; enfin, à la partie supérieure, les bouilleurs se terminent par un prolongement qui s'élève dans la chaudière jusqu'à une petite distance du niveau de l'eau. La chaudière est garnie d'une soupape à sifflet qui est mise en mouvement par un flotteur. D'après les expériences faites par une commission de l'Académie des sciences, le tirage de ce fourneau est très-bon; 1 kilogramme de coke produit 7 kilogrammes de vapeur; et quand par l'interruption de l'alimentation, la chaudière et les bouilleurs se sont vidés, la soudure de l'anneau de cuivre et de la calotte fond, et la projection de la calotte sur le foyer a lieu sans produire d'autre phénomène qu'un faible bruit.

965. En 1831, M. Hoyau avait pris un brevet pour une chaudière à vapeur bien disposée pour utiliser les surfaces de chauffe, mais d'une construction compliquée, et qu'il était difficile de nettoyer. Cette chaudière était formée de deux enveloppes: l'une, extérieure, avait la forme d'un cylindre vertical, à base circulaire, d'une hauteur deux ou trois fois plus grande que son diamètre; l'autre, intérieure, carrée et traversée par un grand nombre de tubes parallèles, horizontaux, très-rapprochés. Dans chaque rangée les tubes étaient placés en face des intervalles des



tubes des rangées précédentes et suivantes. Le foyer se trouvait au-dessous de l'enveloppe intérieure ; la fumée s'élevait par les intervalles des tubes, et s'échappait verticalement ; les intervalles des enveloppes intérieures et extérieures étaient fermés en dessus et en dessous. Convenablement modifiée, cette disposition pourrait être employée avec avantage pour les grandes chaudières de bateaux. — Voyez le tome 31 des Brevets d'invention.

966. M. Séguier a proposé, il y a quelques années, une nouvelle chaudière à vapeur, sur laquelle nous donnerons quelques détails. Les conditions que M. Séguier a cherché à remplir sont les suivantes :

« 1° Rendre l'explosion insignifiante, en fractionnant suffisamment, dans un nombre assez considérable de vases, soit la vapeur déjà formée, soit l'eau destinée à la produire, et réduisant ainsi le désastre aux proportions exigües du premier des vases qui se rompt.

« 2° Combiner l'assemblage des différentes capacités, de façon à ce qu'elles soient toutes solidaires pour la production, pour l'alimentation, et cependant qu'elles restent indépendantes pour la construction et la réparation.

« 3° Disposer le système des vases ou capacités contenant le liquide, de façon à ce que celui-ci ne puisse point y subir l'influence des changements de position, quand la chaudière est sur un navire.

« 4° Ménager dans l'appareil la possibilité d'assigner des températures diverses aux différentes parties, de façon à ce que le feu soit fait sous la partie la plus chaude, ce qui permet aux gaz combustibles de s'enflammer, et de telle sorte, que la fumée s'échappe en définitive après avoir caressé la partie la plus froide, et avoir ainsi réuni le concours des circonstances les plus favorables pour faire passer, dans le temps le plus court, le calorique du corps chauffant dans le corps chauffé.

« 5° Disposer les surfaces des producteurs de manière que jamais, dans le cas d'une reprise d'alimentation, après un abaissement de niveau trop considérable et d'une incandescence des parois, le liquide réintroduit par la pompe alimentaire ne puisse brusquement se répartir sur une étendue de surface suffisante pour produire instantanément une quantité de vapeur dangereuse.

« 6° Obtenir enfin les avantages précités avec un appareil léger, peu compliqué, d'une construction simple, facile et même économique. »

La chaudière de M. Séguier, pour une machine de 20 chevaux, se



compose de 16 bouilleurs de 0^m,16 de diamètre sur 4 mètres de longueur. 7 tubes accolés forment un plancher, situé au-dessus du foyer; des tubes accolés 3 à 3 dans des plans verticaux forment 3 cloisons, placées une de chaque côté du plancher, et l'autre au milieu. Les tubes, tous parallèles entre eux, ont une inclinaison totale de 0^m,66. 2 foyers se trouvent sous les parties les plus élevées des bouilleurs. Tous les bouilleurs communiquent entre eux et avec une chaudière placée au-dessus, qui ne sert que de réservoir d'eau et de vapeur. L'ensemble de l'appareil est renfermé dans une enveloppe de tôle. Enfin, le tirage est produit par un ventilateur à force centrifuge.

Cet appareil paraît satisfaire aux conditions que M. Séguier s'est proposées. Il a, en outre, l'avantage d'accumuler les dépôts dans la partie des tubes qui est la moins échauffée. M. Séguier a fait éclater un des bouilleurs, l'explosion a été faible, et tout s'est borné à un jet d'eau chaude; mais les jets d'eau chaude sont malheureusement ce qu'il y a de plus à redouter dans les explosions, car il y a eu plus de personnes tuées par ces jets que par la projection des parties des chaudières et des corps environnants. Il serait bien à désirer que des expériences prolongées fussent faites sur un appareil de M. Séguier, et que les prévisions de l'auteur fussent confirmées par une longue expérience. On peut craindre que, dans cet appareil, le grand nombre de joints ne donnent lieu à des fuites fréquentes, que cette chaudière n'exige plus de soin pour l'entretien et plus de temps pour le curage, que la partie supérieure des tubes, celle qui est au-dessus des foyers, ne reste constamment pleine de vapeur, et que par suite ces tubes ne soient promptement brûlés.

967. On a proposé de placer au fond des chaudières des tubes fermés à la partie inférieure, qui descendent jusque dans le foyer et qui renferment des tubes concentriques ouverts par les deux bouts, dont l'extrémité supérieure s'élève un peu au-dessous du niveau de l'eau dans la chaudière, et dont la partie inférieure descende très-près du fond du tube enveloppant. Par cette disposition, la vapeur s'élèverait dans l'intervalle des deux tubes, et il s'établirait une circulation rapide de l'eau dans le tube intérieur et autour de lui; circonstance qui serait favorable à la formation de la vapeur; mais cette disposition est trop compliquée, et ne présenterait en définitive que peu d'avantages.

968. Dans toutes les chaudières dont nous avons parlé, l'air brûlé circule dans des carneaux horizontaux ou verticaux; et dans ce dernier cas le mouvement est dirigé de bas en haut. Mais, si dans certaines circonstances, les chaudières devaient être placées verticalement, on utiliserait beaucoup mieux les surfaces de chauffe en faisant mouvoir l'air brûlé de haut en bas, attendu que, quand l'air brûlé s'élève, il peut ne s'étendre que dans une partie du canal, et que, quand il marche en sens contraire, il se répartit uniformément dans toute la section du canal. Cette différence provient de ce que, dans le premier cas, le tirage augmente dans la direction que prend l'air brûlé, et qu'il diminue dans le second. En outre, dans le premier cas, la vitesse des veines d'air qui touchent les surfaces de chauffe est plus petite que celle des veines qui sont au centre du canal, et le contraire a lieu quand l'air brûlé descend.

969. *Nouvelle chaudière à vapeur de M. Perkins.* M. Perkins a imaginé, il y a quelques années, un nouveau mode de chauffage de l'air par la circulation de l'eau dans un circuit complètement fermé, composé de tuyaux de fer d'un petit diamètre; une partie du circuit est fortement chauffée, et la circulation s'établit en vertu de la différence de densité des deux parties du circuit réunies au point le plus bas et au point le plus élevé. Cet ingénieur a employé le même moyen pour chauffer l'eau d'une chaudière à vapeur. Pour avoir une idée nette de l'appareil de M. Perkins, imaginons un tube de fer de 0^m,02 de diamètre intérieur tourné en spirale dans un foyer; dans une chaudière hermétiquement fermée placée à côté, une spirale semblable, les parties supérieures et inférieures des deux spirales en communication par des tubes de même diamètre; et enfin, à la partie supérieure du circuit, un cylindre d'un plus grand diamètre, hermétiquement fermé, dans lequel s'effectue la dilatation de l'eau pendant le chauffage. Il est évident que l'eau circulera dans le circuit, qu'elle chauffera l'eau de la chaudière, et que si la température de l'eau en circulation est assez élevée, il se produira de la vapeur dans la chaudière. Les figures 4 et 5 (pl. 42) représentent une chaudière à vapeur ainsi disposée. L'appareil se compose de dix-sept circuits égaux, placés à côté les uns des autres *abcdefghijklm*, qui communiquent avec le même tube d'expansion M. Les parties *lh* des tubes servent de grille, et l'air brûlé traverse plusieurs fois en descendant les faisceaux de tubes.



L'eau, fortement chauffée, parcourt dans la direction *abc* les parties des tubes placées dans la chaudière. En parlant des calorifères à eau chaude à haute température, nous donnerons les détails nécessaires sur l'ajustement des tubes.

On a prétendu que, par cette disposition, on obtenait plus de vapeur pour la même consommation de combustible qu'avec les chaudières ordinaires; mais il ne peut pas en être ainsi, car, dans les appareils où la combustion s'effectue dans les mêmes circonstances, l'effet utile dépend uniquement de la température à laquelle l'air brûlé est abandonné, et il semble que cette température doive être plus élevée dans l'appareil de M. Perkins que dans les autres; du moins elle ne pourrait pas s'abaisser autant, attendu que l'eau de circulation doit prendre une température beaucoup plus élevée que la vapeur. On serait tenté de ne voir dans cet appareil qu'une plus grande complication et deux systèmes de surfaces de chauffe au lieu d'un seul. A la vérité, on a dit que, par la grande vitesse de circulation de l'eau, la transmission de la chaleur était beaucoup plus grande que dans le chauffage ordinaire, mais des expériences directes n'ont pas encore confirmé cette assertion.

Ce mode de chauffage aurait cependant l'avantage de prévenir les explosions qui résultent de l'altération des chaudières par l'action directe du feu, et celles qui proviennent de l'excès de température que prend la chaudière par suite de l'abaissement du niveau de l'eau; il ne resterait alors que les chances d'explosion résultant d'un excès de pression dans la chaudière, car les tubes, qui ont toujours une grande épaisseur, offrent une énorme résistance, et d'ailleurs la rupture d'un ou de plusieurs tubes ne produirait pas de graves accidents, à cause de la petite quantité d'eau qu'ils renferment.

970. Pour les générateurs fixes, à haute ou à basse pression, les chaudières cylindriques à bouilleurs ont encore moins d'inconvénients que toutes les autres dispositions qui ont été proposées, et doivent être préférées, dans presque tous les cas, à tous les autres systèmes.

Chaudières de bateaux.

971. Les machines les plus généralement employées dans les bateaux à vapeur sont à basse pression et à condensation. La planche 37 renferme tous les détails d'un système de chaudière destiné à une machine de ce genre.

La figure 1^{re} est une élévation de la face des chaudières où se trouvent les portes des foyers; la figure 2 est une projection horizontale de l'une des chaudières, et une coupe horizontale de l'autre; la figure 3 est une coupe verticale par le milieu d'un des foyers; la figure 4 une coupe horizontale par la ligne xx' (fig. 3). L'appareil renferme deux chaudières accolées, qui n'ont rien de commun que la cheminée; elles sont destinées à une machine de 50 chevaux.

A, A', portes des foyers. B, B', cendriers. C, C', grilles. D, D, D', D', carreaux de circulation de l'air brûlé. E, cheminée commune. a, a, a', a' , robinets. b, b' , aiguilles des appareils de niveau, dont les détails sont représentés sur une plus grande échelle (fig. 5). c, c' , tiges qui servent à faire tourner les leviers c'', c''' (fig. 4) qui soulèvent les poids des soupapes de sûreté d ; un de ces leviers est représenté sur une plus grande échelle (fig. 6). e, e' , robinets des tubes d'alimentation; la figure 7 représente une coupe d'un de ces robinets. f, f' , orifices qui ne s'ouvrent que quand on nettoie les chaudières. g, g' , tubes destinés à faire écouler l'eau chaude de la chaudière quand on emploie de l'eau de mer et qu'elle a atteint le point de saturation. h , tuyau d'écoulement de la vapeur. i, i' , soupapes à air, représentées sur une plus grande échelle (fig. 8). k, k' , robinets à clapets qui servent à régler l'émission de la vapeur. l, l' , soupapes de sûreté. m , tuyau d'écoulement de la vapeur qui se dégage des soupapes de sûreté.

Les chaudières des bâtiments à vapeur anglais sont presque toutes disposées comme celle que nous venons de décrire.

972. Le tableau suivant renferme, d'après M. Grouvelle, les principales dimensions des générateurs des steamers *le Rollon*, *le Madagascar* et *la Héva*, construits, le premier par Maudslay, et les deux derniers par M. Cavé.

RENSEIGNEMENTS SUR LES CHAUDIÈRES.	LE		
	LE ROLLON.	MADAGASCAR.	LA HÉVA.
Puissance en chevaux.....	120	120	100
Nombre de foyers.....	4	6	2
Surface totale des grilles en mètres carrés	6,4	8,16	8
Surface de chauffe.....id.....	100	110	83
Section des carneaux.....id.....	1,05	1,26	0,80
Section de la cheminée.....id.....	0 ^m ,88	0,95	0,60
Consommation de houille par heure à raison de 5,25 par cheval.....	630	630	450
Houille brûlée par décimètre carré de grille.....	1	0,76	0,56
Houille par mètre carré de surface de chauffe.....	6 ^k ,30	5,25	4,50
Houille brûlée par décimètre carré de cheminée.....	7,20	6,6	6

973. Les surfaces de chauffe de ces trois générateurs sont beaucoup trop petites, car chaque mètre carré devrait correspondre au plus à une consommation de 4 kilogrammes de houille à l'heure. Les sections des cheminées sont aussi trop petites, du moins pour la première, dont la grille est la plus petite de toutes. C'est sans aucun doute à la trop petite section des cheminées de bateaux qu'il faut attribuer cette énorme quantité de fumée qui s'échappe à leur extrémité, et le faible produit du combustible; car ces cheminées ne peuvent suffire à la consommation du foyer, qu'autant que le volume d'air appelé est beaucoup plus petit que celui qui serait nécessaire pour effectuer une combustion complète.

En supposant 10 mètres de hauteur à la cheminée du *Rollon*, la longueur totale des carneaux serait de 20 mètres. Et en admettant 300° pour la température de la fumée dans la cheminée, la méthode indiquée (406), donne pour la section de la cheminée 1^m,25; ce qui correspond à peu près à 5 kilogrammes de houille brûlés par heure et par décimètre carré de section. Les cheminées des autres chaudières sont suffisantes, parce que les grilles sont plus grandes et offrent moins de résistance.

974. La marine militaire emploie uniquement des chaudières de cuivre. On prétend qu'elles durent 12 ans, et celles en fer seulement 4; mais il y a des bâtiments de commerce dont les chaudières en fer durent beaucoup plus longtemps.

975. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 38) représentent une autre disposition de générateur à foyer intérieur pour une machine de 30 chevaux. La figure 1^{re} est une coupe suivant la ligne brisée ABCD du plan figure 5. La figure 2 une coupe verticale suivant la ligne EF du plan figure 5. La figure 3 une élévation du générateur par le bout. La figure 4 une coupe horizontale suivant la ligne GH de la coupe figure 2; et enfin la figure 5 le plan, en supposant qu'on ait enlevé la moitié de l'enveloppe supérieure.

A, foyers. *a*, portes des foyers. *b*, grilles. *c*, cendriers. *d*, tasseaux sur lesquels reposent les grilles. *e*, entourage en fonte des foyers. *f*, carneaux. *g*, lames d'eau horizontales, en communication par les lames d'eau *g'*, avec le cylindre *l*. *r*, fond de la chaudière recevant les dépôts de l'eau. *i*, tampon et robinet pour vider et nettoyer la chaudière. *k*, supports en fonte sur lesquels repose la chaudière. *k'*, façade en fonte attenante au support *k*, et sur laquelle sont ajustées les portes des foyers. *l*, cylindre d'eau au centre de la chaudière. *o*, cornières en fer. *p*, cheminée. *q*, tampons pour nettoyer la cheminée. *r*, tampons pour nettoyer les carneaux. *x*, enveloppe extérieure de la chaudière.

D'après M. Ducel, ces chaudières pèsent deux fois moins, et contiennent deux fois moins d'eau que celles qui sont généralement employées. A la partie supérieure la tôle a de 2 $\frac{1}{2}$ à 3 lignes d'épaisseur. Les surfaces de chauffe ont été calculées en supposant que chaque mètre carré de surface horizontale produise de 15 à 20 kilogrammes de vapeur, et les surfaces verticales deux fois moins. Le poids moyen de chaque mètre carré de surface est de 48 kilogrammes.

Suivant M. Ducel, chaque kilogramme de houille vaporise dans ses chaudières 8^k,20 d'eau, et 9 kilog. quand l'eau d'alimentation est à 40°.

Les assertions de M. Ducel, relatives à l'effet utile de ses chaudières, ne paraissent pas fondées : du moins des expériences faites à Paris n'ont donné que les résultats ordinaires; cependant, comme ces chaudières renferment beaucoup plus de surface de chauffe que les chaudières ordinaires, je pense que, dans un travail continu, elles doivent donner des



résultats plus avantageux. Elles sont évidemment beaucoup plus faciles à nettoyer que celles qui sont généralement employées.

976. Les figures 6, 7 et 8 (pl. 38) représentent une disposition analogue du même constructeur. La figure 6 est une coupe verticale par le milieu du foyer; la figure 7 une coupe longitudinale par la ligne CD (fig. 8); et la figure 8 une coupe horizontale par la ligne AB (fig. 7).

977. Les générateurs à haute pression des bateaux sont souvent composés de chaudières cylindriques à bouilleurs, disposées comme l'indique la figure 1^{re} (pl. 39). Les bouilleurs sont accolés; les foyers sont placés au-dessous sans aucune séparation; l'air chaud les chauffe en dessous, et revient en avant en chauffant leur partie supérieure et la partie inférieure des chaudières; de là il se rend dans la cheminée en passant devant les chaudières, et par plusieurs cheminées partielles destinées à rendre le tirage uniforme sous toutes les chaudières. Le système est renfermé dans une caisse en tôle garnie intérieurement de briques. Le sol du carneau, qui se trouve au delà du foyer, est formé de barres de fer recouvertes de briques.

978. Dans le bateau *la Picarde* à haute pression, à détente et sans condensation, construit par M. Dietz, le générateur est composé de trois chaudières cylindriques de 0^m,65 de diamètre, et de 6 mètres de longueur, en contact, garnies chacune de deux bouilleurs disposés à la méthode ordinaire; tout le système est renfermé dans une cage en fer dont les flancs sont revêtus d'une muraille en briques. La flamme et la fumée chauffent tous les bouilleurs en dessous, et reviennent en avant en chauffant la partie supérieure des bouilleurs et la partie inférieure des chaudières; la fumée est alors dirigée dans une cheminée de tôle, dont la base s'étend sur toute la largeur du fourneau. Les bouilleurs communiquent entre eux sur le devant par des tuyaux en cuivre, et les chaudières par d'autres tuyaux également en cuivre placés à leur partie inférieure, et l'alimentation n'a lieu que par les bouilleurs extrêmes. Cette disposition est représentée dans les figures 5 et 6 (pl. 36). Ce système de générateurs est un peu plus lourd que ceux qui sont à foyers intérieurs; mais il est plus facile à nettoyer, et il présente plus de sécurité pour les hautes pressions. La machine consomme 4^k,7 de houille par heure et par force de cheval.

979. M. Cochot a employé, pour les bateaux à vapeur, un cylindre



horizontal renfermant un grand nombre de tubes horizontaux en fer traversés simultanément par l'air brûlé, comme dans les chaudières des locomotives; mais les tubes sont d'un plus grand diamètre, et le mode de jonction des tubes avec les fonds de la chaudière est entièrement différent : les jonctions ont lieu par des boîtes à étoupe préservées de la chaleur par de l'eau (Bulletin de la Société d'encouragement, tome 37). Cette disposition est ingénieuse, mais compliquée; et il est peu probable que les joints restent étanches.

980. Les figures 2 et 3 (pl. 39) représentent une disposition de chaudières à foyer intérieur, qui, sous le rapport de la résistance et de l'effet produit par les surfaces de chauffe, offrirait un grand avantage. La chaudière est formée de deux tubes concentriques et d'un bouilleur placé dans la chaudière intérieure au delà du foyer. Deux cylindres, fixés à la partie supérieure, servent, l'un de magasin de vapeur, l'autre à dépouiller la vapeur de l'eau qu'elle entraîne avec elle.

981. Les figures 4 et 5 représentent une disposition qui, dans certaines circonstances, pourrait être avantageuse. Les chaudières sont cylindriques et placées verticalement; les foyers sont au centre, et l'air brûlé s'élève d'abord verticalement et descend ensuite, par plusieurs tubes verticaux qui traversent l'eau, pour gagner la cheminée commune à deux appareils. Les tubes d'écoulement de l'air brûlé étant prolongés jusqu'à la partie supérieure des chaudières, peuvent être facilement nettoyés; l'air brûlé se répartit également dans tous (968), et les surfaces de chauffe sont mieux utilisées que dans les autres modes de circulation; enfin, les appareils n'ont qu'une faible étendue horizontale; mais les grilles ont des dimensions très-limitées.

982. Les figures 6, 7 et 8 (pl. 39) représentent le plan et deux élévations de la chaudière du bateau à vapeur *le Chancellor Livingston*. Le foyer est construit dans le bout de la chaudière, afin qu'il soit entièrement environné d'eau; il est disposé de manière à pouvoir brûler de la houille; deux tuyaux horizontaux à travers lesquels passent la flamme et la fumée, se rendent au travers de l'eau jusqu'au bout de la chaudière, où ils se recourbent pour revenir parallèlement à eux-mêmes près du foyer. Là, ils sont réunis à la cheminée par un tuyau qui s'élève obliquement. La partie de la chaudière qui enveloppe le foyer est plus haute et plus large que le reste. On voit sous le cendrier deux ou-



vertures par lesquelles on retire l'eau et le sédiment de la chaudière. Les robinets qui servent à régler la hauteur de l'eau dans la chaudière sont placés à environ 15 centimètres au-dessus des tuyaux horizontaux ; c'est la hauteur d'eau qu'on maintient ordinairement au-dessus des parties les plus élevées.

983. La figure 9 indique une disposition analogue employée à bord du bateau *le Swift*; la flamme parcourt aussi deux tuyaux horizontaux, mais elle revient à la cheminée par un seul.

984. La figure 10 donne une idée de la chaudière du bateau à vapeur *le Robert-Fulton*, la plus grande qui ait été construite pour des bateaux à vapeur; elle a 9^m,4 de longueur, 3^m,9 de largeur, et 2^m,7 de hauteur; quatre tuyaux horizontaux, qui occupent presque toute la longueur de la chaudière, partent du foyer et reviennent au-dessus d'eux-mêmes vers le devant de la chaudière, où ils se réunissent à la cheminée.

985. Les figures 11, 12 et 13 appartiennent à la chaudière du bateau *le Connecticut*; elle est composée de trois cylindres : deux de 1^m,8 de diamètre et de 6^m,6 de longueur, placés sur le même plan, et un de 1^m,5 de diamètre et de 6 mètres de longueur, placé au-dessus des autres. Chacun des cylindres est traversé d'un bout à l'autre par un tuyau horizontal de 0^m,9 de diamètre; les foyers sont placés dans les tuyaux intérieurs des deux chaudières inférieures qui sont élargis sur le devant; la flamme et la fumée, après avoir parcouru ces deux tuyaux, se rendent dans celui du cylindre supérieur par des tuyaux inclinés, et s'échappent par la cheminée placée sur le devant.

Les trois cylindres communiquent par divers tuyaux, afin que l'eau et la vapeur puissent passer de l'un dans les autres; ces tuyaux ne sont point indiqués dans la figure. Le cylindre supérieur est destiné à recevoir l'eau fournie par la pompe alimentaire, et à la porter à une certaine température avant qu'elle soit introduite dans les tuyaux inférieurs où se forme la vapeur, et qui seuls communiquent avec la machine. La largeur des tuyaux à l'entrée, où ils forment le foyer, est de 1^m,50. L'eau s'élève à 0^m,15 au-dessus. La cheminée a 0^m,9 de diamètre, et 10 mètres de hauteur. La capacité de chaque cylindre est d'environ 8 tonneaux; il reste environ 4 tonneaux pour la vapeur.

986. Dans la chaudière figure 14, le foyer est environné par la chaudière, mais le courant d'air chaud s'étend sous le reste de la chaudière,

et revient vers le devant par deux tuyaux horizontaux qui communiquent avec la cheminée par deux tuyaux obliques. Cette chaudière appartenait à un bateau démoli; c'est, aux dimensions près, la disposition adoptée à bord de la batterie flottante *le Fulton premier*.

987. La chaudière (fig. 15) est formée de trois cylindres; le foyer est au-dessous comme dans les précédentes, et la fumée revient également par des tuyaux qui passent dans l'eau contenue dans les cylindres. La chaudière du bateau *le Delaware* est ainsi disposée.

988. Les figures 16 et 17 représentent une disposition également employée dans les bateaux américains.

989. Maintenant il y a une tendance générale en Amérique, à employer pour les bateaux à vapeur, des chaudières renfermant un grand nombre de petits tubes environnés d'eau et parcourus simultanément par l'air brûlé, mais dont les extrémités les plus voisines du foyer en sont à une assez grande distance pour ne recevoir qu'une faible partie de la chaleur rayonnante.

990. En parlant des foyers à anthracite (663), nous avons décrit une disposition de chaudière tubulaire (fig. 10 et 11, pl. 13), qui a la plus grande analogie avec les chaudières des locomotives, et qui présenterait de grands avantages si on pouvait éviter la prompte altération des tubes et des joints. Nous donnerons ici quelques nouveaux détails sur la chaudière construite par M. Manby. Les tubes sont en cuivre; leur diamètre est de 2 pouces $\frac{1}{2}$; leur épaisseur de $\frac{1}{16}$ de pouce. Chaque grille a 1^m,20 de côté; les angles sont arrondis au moyen de quelques briques; sans cette précaution, l'anthracite arriverait difficilement jusqu'aux angles. Le tube qui alimente le foyer est en cuivre fondu; il a 9 pouces anglais de côté.

Chaudières des locomotives.

991. Les chaudières des locomotives doivent avoir peu de volume, peu de poids, et une petite hauteur de cheminée. Il a fallu alors disposer les surfaces de chauffe de la manière la plus favorable pour le refroidissement rapide de l'air chaud, et on a dû employer un tirage artificiel pour effectuer la combustion. Les chaudières des locomotives sont toutes formées d'un foyer rectangulaire enveloppé d'eau de tous côtés, et d'un grand nombre de tubes de laiton d'un petit diamètre, que l'air chaud



parcourt simultanément pour se rendre dans la cheminée. C'est M. Seguin qui a employé le premier les chaudières tubulaires sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon. Dans tous ces appareils, les machines étant à haute pression, sans détente ni condensation, le tirage s'effectue par l'injection de la vapeur dans la cheminée, après qu'elle a agi sur les pistons des machines.

992. Les planches 40 et 41 représentent tous les détails relatifs à la chaudière d'une locomotive de la force de 40 chevaux, de Stephenson.

La figure 1^{re} (pl. 40) est une coupe longitudinale de l'appareil; la figure 2 l'élévation de la face où se trouve la porte du foyer; la figure 3 une coupe transversale; la figure 4 représente sur une plus grande échelle le mode d'ajustement des tubes parcourus par la fumée; la figure 5 la porte du foyer; les figures 6 et 7 le régulateur pour l'admission de la vapeur dans la machine. La figure 1^{re} (pl. 41) est une élévation latérale de la chaudière; la figure 2 l'élévation de la face extérieure; la figure 3 la face de la chaudière qui reçoit les extrémités des tubes; la figure 4 représente la cheminée; les figures 5 et 6 le trou d'homme; la figure 7 les détails de construction de la plaque qui ferme la face de derrière de la chaudière.

Le foyer A est intérieur; on n'y brûle que du coke. L'air brûlé, en sortant du foyer, s'échappe par une série de tubes de cuivre B, B, environnés d'eau; ces tubes sont fixés d'une manière fort ingénieuse; ils entrent librement par leurs extrémités dans des ouvertures percées dans les fonds opposés des chaudières, et les joints sont rendus étanches par des cônes de fer creux dont le plus grand diamètre extérieur dépasse le diamètre de l'orifice (fig. 4, pl. 40), et qu'on introduit de force dans chaque tube. La vapeur, après avoir agi dans les machines placées dans la boîte à fumée, s'échappe par le tuyau C en produisant un très-grand tirage.

993. La puissance des locomotives varie ordinairement de 25 à 50 chevaux; et la consommation de coke par heure est de 250 à 500 kilog., ce qui correspond à 10 kilog. par force de cheval et par heure.

994. La surface des grilles varie de 0,60 à 1^m,15. Alors la consommation de coke par décimètre carré de grille et par heure dépasse 4 kilog. et par conséquent quatre fois celle des grilles des machines fixes alimentées par la houille. Cet effet résulte de ce que le tirage produit

par l'injection de vapeur dans la cheminée excède beaucoup celui qui est produit par la chaleur dans les cheminées ordinaires.

Le nombre des tuyaux varie de 80 à 167; leur diamètre est ordinairement de 4 à 5 centimètres; leur longueur de 2^m,10 à 2^m,70.

995. Il résulte des expériences qui ont été faites, en séparant la vapeur produite par les faces du foyer de celle qui est produite par les tubes, qu'à surface égale les tubes produisent trois fois moins de vapeur que les plaques du foyer.

996. En réduisant les surfaces des tubes en une surface de chauffe directe équivalente, on trouve que la quantité moyenne de vapeur produite par mètre carré et par heure excède souvent 120 kilog., et que, dans certaines locomotives, elle s'élève à 160 kilog. Cet effet est de beaucoup supérieur à celui qui est produit dans les chaudières fixes. La différence provient et de la haute température du foyer et du mode de circulation de la fumée qui se dégage par un faisceau de tubes dont la section relative au contour est beaucoup plus petite que dans les chaudières fixes.

997. Les diamètres des cheminées ne varient qu'entre des limites très-restreintes, de 0^m,34 à 0^m,37. Les volumes d'air qui s'écoulent par seconde varient de 3^m,72 à 8 mètres; et les vitesses d'écoulement de 45 mètres à 104. Le travail dépensé pour donner à l'air qui s'écoule ces grandes vitesses, est compris entre 176 et 1825 kilogrammètres; ce qui correspond à des forces de 2,34 à 24,33 chevaux. La vitesse d'écoulement qui résulterait de la chaleur seule ne dépasserait pas 2 à 3 mètres par seconde. Ce travail est produit par la vapeur à sa sortie du cylindre; mais la vapeur ne réalise, en agissant sur l'air, qu'une fraction du travail qu'elle pourrait produire. D'après MM. Flachet et Petiet, cette fraction varie de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{6}$, en ne tenant pas compte des frottements.

998. M. de Pambour, en plaçant dans les cheminées des locomotives des tuyères dont il pouvait à volonté augmenter ou diminuer l'ouverture, a reconnu: 1° que l'emploi de la tuyère quintuple la vaporisation naturelle de la chaudière; 2° qu'en adoptant l'orifice de la tuyère le plus avantageux, on peut augmenter la vaporisation; 3° qu'en employant dans les locomotives une tuyère variable, on pourrait reconnaître en quelques voyages l'orifice le plus convenable et le conserver.

999. D'après des expériences faites sur des chaudières d'une petite



dimension, on a admis, comme nous l'avons dit, que les quantités de chaleur fournies par la même étendue des surfaces qui environnent le foyer, et des tuyaux de dégagement de l'air brûlé, sont dans le rapport de 3 à 1.

M. de Pambour a cherché à vérifier cette loi en observant les quantités d'eau vaporisées dans des chaudières où ces deux espèces de surfaces de chauffe se trouvaient dans des rapports très-différents. Il est évident que si les surfaces du foyer ont un plus grand pouvoir de vaporisation que les surfaces des tuyaux, la vaporisation moyenne, par mètre carré, doit être d'autant plus grande que les chaudières ont une plus grande surface de chauffe relative autour du foyer. Les locomotives soumises à ces essais étaient de trois espèces. En représentant par l'unité la surface de chauffe du foyer, dans les premières la surface totale était 8, 7; dans les secondes, elle était 6, 5; et enfin, dans les dernières, la surface totale de chauffe n'était que 4, 5.

M. de Pambour déduit de ses expériences, qu'à surface égale l'enveloppe du foyer et les tubes produisent le même effet; et il explique cette égalité par la haute température de l'air brûlé, circonstance qui n'existe que pour de très-grands tirages. Cet ingénieur a constaté que dans les machines fixes on obtient à peu près les résultats indiqués d'abord. Ces dernières expériences ont été faites sur une chaudière de locomotive qui se trouvait divisée, par une cloison, en deux compartiments correspondants aux deux espèces de surfaces de chauffe.

Ainsi, sous le rapport de la transmission de la chaleur, le rapport de l'étendue des surfaces qui environnent les foyers à celle des tubes, serait arbitraire. Mais, d'après les expériences du même ingénieur, le meilleur effet utile s'obtiendrait quand la surface chauffée par rayonnement serait 0, 1 de la surface de chauffe totale.

1000. Le tableau des expériences de M. de Pambour (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. X) ne confirme ce que nous venons de dire, que dans la supposition que la quantité de vapeur consommée par une locomotive soit proportionnelle à la racine 4^e de la vitesse, ce qui ne me paraît pas admissible; en la supposant, avec tous les ingénieurs qui se sont occupés de ces machines, proportionnelle à la vitesse, hypothèse qui doit s'éloigner bien peu de la réalité, et en rectifiant quelques fautes de calcul, on arrive aux résultats suivants :

NUMÉRO de la série.	SURFACE DE CHAUFFE			VITESSE de la machine en kilom. par heure.	VAPORISATION		RAPPORT de la surface totale à celle du foyer.	VAPORISATION par mètre carré pour une vitesse de 32 kilom. par heure.	OBSERV.
	du foyer.	des tubes.	totale.		totale par heure.	par mètre carré de surface totale par heure.			
I	^m 3,413	26,207	29,620	^k 32,40	^k 1804	^k 60,90	8,68	60,15	Moyenne de 7 exp.
II	4,580	25,283	29,863	29,21	1797	60,18	6,52	65,92	Moyenne de 9 exp.
III	5,302	18,32	23,62	24,56	1391	58,88	4,46	76,71	Moyenne de 2 exp.
IV	5,302	18,32	23,62	14,47	1240	52,49	4,46	116,08	Résultat d'une seule exp.

1001. En désignant par x la production de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe du foyer, et par y la production de vapeur par heure et par mètre carré de surface des tubes, on aura pour les trois premières expériences et pour la même vitesse :

$$3,4x + 26,20y = 60,15 \times 29,62 = 1781,60$$

$$4,6x + 25,30y = 65,92 \times 29,86 = 1968,4$$

$$5,3x + 18,32y = 76,71 \times 23,62 = 1811,9.$$

Les deux premières équations donnent $y = 43,5$ et $x = 185$; ces deux nombres vérifient sensiblement la troisième, et sont entre eux dans le rapport de 1 à 4. Ainsi les expériences justifient ce fait admis depuis longtemps, que les surfaces du foyer, sous la même étendue, produisent au moins trois fois plus de vapeur que les tubes.

§ 13. — CHAUDIÈRES CHAUFFÉES PAR LA CHALEUR PERDUE DE L'AIR BRÛLÉ OU DES GAZ COMBUSTIBLES QU'IL RENFERME.

1002. Dans un grand nombre de cas, l'air brûlé est abandonné à une très-haute température; dans d'autres, il renferme une grande quantité de gaz combustibles; dans tous les cas, la chaleur qu'il possède, ou celle qu'on obtiendrait en brûlant complètement les gaz combustibles qui s'y trouvent, peut être employée à produire de la vapeur.

1003. Lorsque la combustion a été complète dans un foyer, et que l'air s'échappe à une haute température, comme, par exemple, dans les fourneaux où l'on fabrique le gaz de l'éclairage, on peut produire de la vapeur en plaçant une chaudière dans le canal qui conduit l'air brûlé



du fourneau à la cheminée. En général, le tirage n'éprouvera que peu de diminution, parce que la température de l'air brûlé sera rapprochée de celle qui correspond au maximum de tirage. Mais si l'on voulait refroidir la fumée autant qu'elle peut l'être par une chaudière à vapeur, les circuits autour de la chaudière auraient un grand développement, et il pourrait être nécessaire d'avoir recours à un tirage artificiel. Si on n'avait pas d'autre puissance mécanique que celle qui provient de la vapeur ainsi formée, il faudrait disposer l'appareil de manière à produire d'abord de la vapeur par un foyer additionnel, qu'on supprimerait quand la machine marcherait, en faisant alors circuler l'air brûlé autour de la chaudière. On pourrait aussi disposer l'appareil de manière que l'air brûlé pût parvenir à la cheminée sans parcourir toutes les surfaces de chauffe, et à une température assez élevée pour produire le tirage; alors, pour effectuer la mise en train, on ferait suivre ce chemin à l'air brûlé, après quoi on lui ferait parcourir toutes les surfaces de chauffe. Le mode de tirage le plus avantageux consisterait dans l'emploi d'un ventilateur à force centrifuge, qui appellerait l'air brûlé, refroidi après qu'il aurait passé autour de la chaudière, pour le rejeter dans la cheminée (fig. 6 et 7, pl. 42). On pourrait aussi, si la vapeur était produite à une haute pression, employer un jet de vapeur dans le cendrier ou dans la cheminée.

1004. Nous entrerons dans quelques détails sur la disposition des chaudières chauffées par la chaleur et les gaz combustibles perdus des fours à coke et des fourneaux métallurgiques.

1005. Les fours à coke dont nous avons déjà parlé (235), ressemblent à des fours de boulanger; mais ils sont garnis d'une courte cheminée par laquelle s'échappent les gaz qui se dégagent pendant la transformation de la houille en coke. Ces gaz sont à une température très-élevée, et renferment beaucoup de matières combustibles. Ainsi, si on brûlait complètement ces gaz à leur sortie des fours, on pourrait utiliser une grande quantité de chaleur qui est ordinairement complètement perdue. On peut estimer au moins à 0,40 la perte en poids du combustible dans la fabrication du coke, et au même chiffre la quantité de houille équivalente à la chaleur perdue.

1006. La figure 8 (pl. 42) représente la disposition qui serait la plus convenable pour utiliser, en produisant de la vapeur, la chaleur perdue des fours à coke. A et A', fours à coke; B, B', cheminées des fours; D, D',

tuyaux de fonte percés d'un grand nombre de petits orifices par lesquels l'air extérieur vient se mêler à la fumée; F, F', carneaux de circulation de l'air brûlé; G, G', bouilleurs; H, H', chaudières; I, I', registres qu'on tient fermés quand on charge ou quand on décharge les fours. La combustion s'effectuerait bien plus complètement si l'air était lancé dans les tuyaux avec une certaine vitesse. Les fours qui chauffent la chaudière devraient être assez nombreux pour que les chargements ayant lieu successivement et après des intervalles égaux, la quantité de chaleur produite n'éprouvât que de faibles variations.

1007. On a prétendu, comme nous l'avons déjà dit (239), qu'il n'y avait pas avantage à utiliser la chaleur perdue des fours à coke, parce qu'on augmentait ainsi le tirage, et que le trop grand volume d'air appelé dans le fourneau brûlait une portion du coke obtenu. Mais il est toujours facile de régler le volume d'air nécessaire à l'opération, et on peut utiliser la chaleur perdue sans qu'il en résulte aucune perte dans le rendement.

On a dit aussi que le coke fabriqué dans les fours dont on utilisait la chaleur perdue, était trop léger et ne pouvait pas servir aux opérations métallurgiques; mais il n'est pas douteux que les mauvais résultats obtenus provenaient uniquement de ce qu'on avait produit trop de tirage et qu'on avait fait marcher l'opération trop vite. Il est bien certain qu'en utilisant la chaleur perdue, et en réglant convenablement le tirage, on peut ne rien changer à la marche ordinaire des fours.

1008. Dans la plupart des usines métallurgiques, principalement dans celles qui ont pour objet la fabrication du fer, et qui sont les plus répandues, les opérations nécessitent des températures très-élevées, d'où il résulte une perte de chaleur très-considérable par les cheminées. Dans ces mêmes usines, on a besoin d'une grande puissance motrice, soit pour lancer le vent dans les foyers, soit pour le travail des métaux. On a cherché, dans ces dernières années, à utiliser la chaleur perdue des fourneaux pour faire mouvoir les machines, et on a complètement réussi. Alors, sur ces trois conditions qui étaient nécessaires pour la création d'une usine à fer, la proximité des minerais, celle du combustible et la jouissance d'un cours d'eau, la dernière a perdu presque toute son importance.

1009. Les foyers métallurgiques peuvent se diviser en deux classes :



La première comprend ceux dans lesquels le combustible est brûlé sur grille, et agit principalement par la flamme qu'il produit. L'air qui s'échappe de ces fours est presque entièrement brûlé, mais il est à une très-haute température.

La seconde comprend les fourneaux dans lesquels les matières que l'on veut chauffer, réduire ou fondre, sont mêlées avec le combustible et forment des couches d'une grande épaisseur, circonstance qui occasionne toujours la formation d'une grande quantité d'oxyde de carbone, et de différents carbures d'hydrogène.

1010. La première classe renferme tous les fourneaux à réverbère, les fours à réchauffer, les fours d'affinage (fours à pudler). L'utilisation de la chaleur perdue dans ces fours, pour la formation de la vapeur, est très-simple; il suffit de faire circuler la flamme et l'air brûlé qui sortent du fourneau, dans des chaudières convenablement disposées, et de faire écouler dans l'atmosphère l'air brûlé refroidi, par une cheminée d'une section et d'une hauteur suffisantes.

1011. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 43) représentent les détails de construction d'une chaudière à vapeur établie à la suite de deux fours à pudler, à Abenville.

La figure 1^{re} est une coupe longitudinale dans le sens de l'axe des bouilleurs et de la chaudière. La figure 2 est une coupe de la chaudière perpendiculaire à la précédente. La figure 3 est une coupe horizontale de la chaudière et des fours. Enfin les figures 4 et 5 représentent deux coupes verticales, perpendiculaires entre elles, des cheminées des fours. L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre la disposition de ce système. Chaque four chauffe un bouilleur et la moitié de la chaudière, et a une cheminée spéciale placée entre les deux fours. On peut à volonté faire passer l'air brûlé autour de la chaudière ou directement dans la cheminée. Au-dessous des bouilleurs se trouvent deux grilles qui servent à chauffer directement la chaudière quand les fours ne marchent pas.

1012. La consommation moyenne des fours à pudler est de 85 kilogr. de houille à l'heure; celle des fours à réchauffer est de 100 à 110. Les sections des cheminées des fours à pudler et à réchauffer sont ordinairement calculées sur une consommation de 4 kilogr. à 4^k,5 de houille par heure et par décimètre carré, et les surfaces des grilles sont quatre fois plus grandes que celles des cheminées. Mais, pour que le passage de l'air

brûlé autour des chaudières ne ralentisse pas le tirage, il est important de donner aux carneaux et à la cheminée une plus grande section. D'après M. Grouvelle, la section doit être calculée en prenant $0^{\text{m}^{\text{c}}},01$ pour une consommation de 3 kilogr. à $3^{\text{k}},3$ de houille par heure; on a reconnu par expérience que ces proportions étaient très-bonnes. Il y aurait de l'avantage à donner encore à la cheminée une plus grande section.

Quant à la surface de chauffe, on peut la déterminer comme si le foyer du four était placé sous la chaudière, parce que, comme nous le verrons plus bas, l'effet du combustible est à peu près le même pour la même étendue de surface de chauffe. On pourrait penser qu'il est utile d'employer des surfaces de chauffe beaucoup plus grandes que pour les appareils ordinaires, attendu qu'aucune partie des chaudières n'est chauffée par rayonnement; mais cet accroissement de surface n'est pas nécessaire, attendu que la flamme arrive sous la chaudière, et que l'air brûlé est à une température beaucoup plus élevée que dans les appareils ordinaires.

1013. D'après des expériences rapportées par M. Grouvelle (Guide du chauffeur), les chaudières placées à la suite des fours à réchauffer, produisent de 4 à 5 kilogrammes de vapeur à 5 atmosphères par kilogramme de houille brûlée sur la grille, et celles qui sont placées à la suite des fours à pudler, produisent seulement de 3 kilogr. à $3^{\text{k}},5$. Mais, d'après d'autres renseignements, les effets produits par ces derniers sont plus considérables et beaucoup plus voisins de ceux qu'on obtiendrait en brûlant le combustible sous les bouilleurs; la quantité de vapeur produite par les fours à pudler est de 4 kilogr. à $4^{\text{k}},5$ de vapeur par kilogramme de houille, et la quantité de vapeur produite par mètre carré de surface de chauffe et par heure est de 16 à 18 kilogrammes.

Mais comme dans tous ces fours il se dégage une certaine quantité de gaz combustibles quand on charge les foyers, et même que ce dégagement continue d'avoir lieu pendant toute la combustion, à cause de la grande épaisseur de la couche de combustible et du faible tirage, circonstances qu'on ne peut pas modifier, parce que l'air brûlé ne doit pas être oxydant, on augmenterait beaucoup l'effet produit dans les chaudières à vapeur en brûlant complètement les gaz à la sortie des fours par un jet d'air chaud.

1014. Dans certaines usines, les circonstances locales exigent que l'on place



les chaudières au-dessus des fours ; cette disposition n'est pas commode, parce qu'il est alors difficile de rendre les deux fourneaux indépendants.

1015. Les figures 6 et 7 (pl. 43) représentent une autre disposition de chaudière à vapeur chauffée par l'air brûlé de deux fours à réchauffer. Les surfaces de chauffe sont évidemment trop petites, et l'appareil doit produire beaucoup moins de vapeur que celui que nous avons décrit d'abord.

1016. Dans les foyers de la seconde classe, la chaleur perdue ne consiste pas uniquement dans la haute température des gaz qui s'échappent, mais principalement dans la grande quantité de gaz combustibles qui sortent avec l'air brûlé ; ainsi, il ne suffit pas, pour utiliser la chaleur perdue, de refroidir les gaz, il faut avant les brûler complètement.

Les hauts fourneaux qui produisent la fonte sont en première ligne ; les gaz qui se dégagent sont composés presque uniquement d'oxyde de carbone et d'azote, quand on emploie du coke et du charbon de bois ; et ils renferment en outre des carbures d'hydrogène quand le fourneau est alimenté par du bois incomplètement carbonisé ou par de la houille crue, comme cela a lieu en Écosse. D'après M. Buntzen, dans les fourneaux qui marchent au charbon de bois, les gaz qui s'échappent du gueulard sont composés de la manière suivante : azote 60,94, acide carbonique 3,49, oxyde de carbone 32,59, hydrogène 2,32, hydrog. proto-carboné 0,66.

En admettant que les gaz combustibles soient composés seulement d'oxyde de carbone, on trouve que leur combustion complète peut développer une quantité de chaleur égale à $(7170 - 1386) : 7170 = 0,80$ de celle qui correspond à la quantité de charbon introduit dans le fourneau (271), et cette quantité de chaleur est encore beaucoup plus grande quand les combustibles sont incomplètement carbonisés.

L'expérience a démontré qu'en utilisant la chaleur perdue, dans un haut fourneau au charbon de bois, on pouvait produire la quantité de vapeur nécessaire pour alimenter la machine soufflante, chauffer à 300° l'air d'injection, et qu'il restait encore de la chaleur disponible.

1017. Le moyen d'abord employé pour recueillir les gaz qui s'échappent du gueulard des hauts fourneaux, consiste à fermer de tous côtés les cheminées placées ordinairement au-dessus, en ne laissant qu'une porte pour l'introduction des charges, et une ouverture par laquelle les gaz se rendent sous la chaudière placée latéralement à la hauteur du gueulard, ou au-dessous à une distance plus ou moins grande. Cette

distance peut être très-considérable; mais il est avantageux de la diminuer autant que la localité le permet, parce que les gaz se refroidissent d'autant plus qu'ils parcourent un plus long trajet, et que ce refroidissement non-seulement occasionne une perte de chaleur, mais encore rend la combustion complète des gaz plus difficile. A leur arrivée sous les chaudières, les gaz reçoivent des jets d'air extérieur et sont enflammés, et la flamme et l'air brûlé circulent dans des carneaux autour des chaudières. C'est ainsi qu'est disposé le premier appareil construit par MM. Thomas et Laurens, à la forge d'Échalonges (Haute-Saône), qui fonctionne régulièrement depuis 1835 sans que la marche du haut fourneau ait éprouvé la moindre variation. L'emploi de la moitié des gaz dégagés suffit pour produire le mouvement de la soufflerie.

1018. Ce moyen de recueillir les gaz au gueulard des hauts fourneaux présente plusieurs inconvénients; l'écoulement des gaz cesse lorsqu'on charge le fourneau; il faut alors maintenir constamment en activité un foyer additionnel, placé sous les chaudières, dans le double but de suppléer aux intermittences de chauffage par les gaz, et de rallumer ceux-ci après chaque interruption; en outre, si les tuyaux viennent à s'obstruer par une cause quelconque, la pression dans le haut fourneau peut s'élever d'une manière nuisible, et même les carneaux étant complètement ouverts, la formation subite d'une grande quantité de gaz dans le haut fourneau, comme cela a lieu quelquefois, peut présenter des dangers, le gueulard étant fermé. MM. Thomas et Laurens ont depuis employé une disposition qui produit un écoulement continu sans exiger la fermeture du gueulard :

Cette disposition consiste à placer au-dessus du fourneau un cylindre en briques d'un diamètre un peu plus grand, dans lequel on place un cylindre en tôle ou en fonte, de même hauteur, d'un diamètre égal à celui du gueulard, et garni à la partie supérieure d'un rebord qui s'appuie sur le cylindre en maçonnerie (fig. 1^{re}, pl. 44). La capacité du cylindre métallique doit dépasser le volume d'une charge. Voici maintenant l'effet de cette disposition : au ventre du fourneau les gaz sont uniformément répartis dans la section, et comme ils tendent à s'élever verticalement, ils se rendent en grande partie contre les parois inclinées de la cuve, où ils éprouvent d'ailleurs moins de frottement, par conséquent ils viennent naturellement dans l'espace vide annulaire qui règne autour du cylindre



métallique, d'où ils s'écoulent par un tuyau dans les foyers à gaz. Le volume de gaz qui se dégage par le cylindre est très-petit relativement au volume total; car ces deux volumes sont à peu près dans le rapport de la section du gueulard à celle de la cuve, rapport qui, dans beaucoup de hauts fourneaux, est à peu près celui de 1 à 10; et d'ailleurs cette faible quantité de gaz perdus est en partie utilisée pour sécher et commencer à échauffer les matières contenues dans le cylindre. En ayant soin qu'à la fin de chaque charge il reste encore dans le cylindre une hauteur de minerai et de charbon de 0^m,40 à 0^m,50, les gaz peuvent être conduits à plus de 50 mètres du gueulard, et leur écoulement est sensiblement constant. Par cette disposition on ne change rien à la marche habituelle du fourneau.

Si les chaudières peuvent être placées près du gueulard, les gaz étant encore chauds s'allument très-facilement et il suffit de faire arriver de l'air par plusieurs orifices. Mais si les chaudières sont placées à une grande distance, il convient, pour avoir une bonne combustion, de diviser beaucoup les gaz et d'y lancer l'air en lames minces ou en petits jets (678) (680).

1019. Pour une chaudière alimentant une machine de 18 chevaux, à détente et à condensation, on obtient de très-bons résultats en prenant 0^m,28 pour la section des carneaux et de la cheminée, une hauteur de cheminée de 8 mètres, et une surface de chauffe calculée sur une production moyenne de 15 à 17 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure. (MM. Thomas et Laurens.)

Mais toutes les formes de chaudières ne sont pas également bonnes; les chaudières à tubes intérieurs ne conviennent pas, parce que le contact du métal éteindrait promptement la flamme; il faut, surtout près du foyer et dans une grande partie de la circulation, qu'il y ait beaucoup de surfaces de briques échauffées, qui par leur haute température maintiennent la combustion.

1020. La planche 44 représente deux systèmes différents de chaudières chauffées par les gaz qui sortent du gueulard d'un haut fourneau, construites par MM. Thomas et Laurens.

Les figures 1^{re} et 2 représentent une coupe verticale d'une chaudière destinée à une machine de 12 chevaux. Cette disposition permet de placer les chaudières près des gueulards, dans presque toutes les localités.

Les figures 3, 4, 5, 6 et 7 représentent diverses coupes d'une chaudière

à vapeur destinée à une machine de 50 chevaux pour une soufflerie d'un haut fourneau marchant au coke. Le foyer à gaz est disposé comme nous l'avons indiqué (678).

1021. Les foyers d'affinerie et de chaufferie, quoique ayant peu de hauteur, rentrent, quant à l'utilisation de leur chaleur perdue, dans la même classe que les hauts fourneaux, car il s'en dégage beaucoup d'oxyde de carbone, qui brûle très-facilement à la sortie du foyer à cause de sa haute température. Un feu d'affinerie au charbon de bois, qui produit de 22 à 24 mille kilogrammes de fer par mois, peut fournir par sa chaleur perdue de 150 à 180 kilogrammes de vapeur par heure; quantité beaucoup plus grande que celle qui est nécessaire pour faire marcher sa soufflerie et son marteau. Cette vaporisation peut être produite par une chaudière de 16 mètres carrés de surface de chauffe, même en plaçant entre le foyer et la chaudière un petit four, où l'on commence à chauffer la fonte qui doit être affinée, ainsi que le fer à forger. Ces résultats ont été obtenus par MM. Thomas et Laurens aux forges de Gorcy (Moselle), et à celles de la Hutte (Vosges).

1022. Jusqu'ici on n'a pas utilisé la chaleur perdue des cubilots, du moins pour produire de la vapeur; on ne l'a employée qu'en partie pour chauffer l'air d'alimentation. La quantité de vapeur qu'on pourrait produire excède de beaucoup celle qu'exigerait la machine soufflante.

1023. Dans l'établissement des chaudières à chaleur perdue des foyers métallurgiques, il est important de remarquer que le développement de la chaleur, et par conséquent la production de la vapeur, n'est pas uniforme, et cela arrive surtout pour les feux d'affinerie, tandis que le travail de la machine doit être constant, ou, ce qui est encore plus défavorable, il doit varier dans des limites assez étendues, et atteindre souvent son maximum précisément dans les instants où la chaudière reçoit le moins de chaleur. Pour remédier à cet inconvénient, il faut calculer le volume d'eau des chaudières, et l'excès de pression qu'elles doivent supporter, de manière à accumuler pendant le temps du plus grand chauffage la quantité de chaleur nécessaire à l'excès de dépense de vapeur sur sa production, quand le chauffage se trouve diminué. Il convient aussi d'alimenter les chaudières dans les instants où l'on dépense le moins de vapeur; et pour cela, il est utile d'employer de petites machines spéciales.



§ 14. — EXPLOSIONS DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

1024. Les chaudières à vapeur éclatent quelquefois; l'eau bouillante et les parties désunies de l'enveloppe sont projetées au loin avec une grande force, renversent les obstacles qu'elles rencontrent, et il en résulte souvent les plus terribles accidents. Ces catastrophes se reproduisent trop souvent pour qu'on ne cherche pas à les prévenir; mais elles sont cependant assez rares relativement au nombre des chaudières qui travaillent, pour que l'on soit assuré que les circonstances qui les produisent se réalisent difficilement.

La première chose dont il faut s'occuper, c'est de déterminer exactement dans chaque cas, les circonstances qui ont accompagné l'explosion; mais le plus souvent les témoins en ont été les premières victimes, et il a été impossible d'obtenir de renseignements directs; cependant, dans un grand nombre de cas, les renseignements qu'on a pu recueillir, et l'examen des débris des appareils, ont permis de reconnaître, avec assez de probabilité, les causes des explosions qui ont eu lieu.

Je rapporterai d'abord un certain nombre d'exemples empruntés à une notice de M. Arago, qui a été imprimée dans l'*Annuaire* de l'année 1830.

1025. *Explosions produites par une surcharge des soupapes de sûreté.* Le bateau à vapeur *le Rhône*, construit par MM. Aitkin et Steel, était destiné à faire l'office de remorqueur entre Arles et Lyon; il portait une machine alimentée par quatre chaudières cylindriques en fer laminé de 1^m,3 de diamètre. Le 4 mars 1827, pendant qu'on se préparait à l'expérience qui, ce jour-là, devait avoir lieu en présence de toutes les autorités de Lyon, le bateau fit explosion. Plusieurs personnes, M. Steel entre autres, périrent victimes de cet accident. Il y eut même des spectateurs tués sur le quai du Rhône par quelques pièces de charpente du bateau. Le pont tout entier fut projeté à une grande distance; les tirages et les tuyaux de la cheminée, pesant plus de 30 quintaux, s'élevèrent presque verticalement jusqu'à une hauteur considérable; le dôme d'une des chaudières, pesant plus de 20 quintaux, alla tomber

à 250 mètres du point de départ; la séparation avait eu lieu suivant deux lignes horizontales, quoique dans cette direction le métal présentât des variations d'épaisseur de plus de 2 millimètres. Deux des chaudières éclatèrent presque simultanément; en retirant du Rhône une troisième, on reconnut qu'elle avait aussi éclaté.

Cette horrible catastrophe fut une conséquence inévitable de l'imprudence de l'ingénieur. Contrarié de ne pas vaincre la rapidité du courant aussi complètement qu'il l'avait espéré, M. Steel fixa invariablement les soupapes de sûreté des quatre chaudières. Ce fait a été constaté de manière à ne laisser aucun doute.

1026. A la suite de l'explosion qui détruisit entièrement la raffinerie de sucre de Welclose-Square à Londres, il a été constaté que, peu d'instants avant l'événement, un agent du constructeur, contrarié des faibles résultats qu'il obtenait, malgré les vives représentations des raffineurs, avait chargé les soupapes d'un poids énorme, tandis qu'en même temps il poussait le feu autant que possible. La chaudière était en fonte, d'une épaisseur très-inégale; au fond elle avait 2 pouces $\frac{1}{2}$ anglais, sur les parois verticales 1 pouce $\frac{1}{2}$, à la partie inférieure du dôme $\frac{7}{16}$ de pouce, et sur quelques points $\frac{1}{8}$ seulement.

1027. Durant l'enquête que la chambre des communes institua en 1817, M. William Chapman, ingénieur civil de Newcastle, cita l'explosion d'une chaudière causée par l'imprudence d'un ouvrier qui s'assit sur la soupape pour donner à ses camarades le spectacle du mouvement oscillatoire qu'il éprouverait, disait-il, quand la vapeur serait devenue assez forte pour le soulever. La chaudière, comme cela devait arriver, fit explosion et les éclats blessèrent et tuèrent un grand nombre de personnes.

1028. En Amérique, un bateau à vapeur sauta sur l'Ohio, pendant que l'équipage levait l'ancre. Il n'y avait point de consommation de vapeur, et cependant l'ingénieur avait placé sur les soupapes un poids additionnel.

1029. *Explosions précédées de l'ouverture de la soupape de sûreté.* Dans l'explosion d'une chaudière à vapeur en fonte, à Essonne, en 1823, dont nous parlerons plus loin, il a été constaté que, peu d'instants avant l'explosion, les deux soupapes de sûreté s'étaient soulevées, et que les orifices laissaient écouler de la vapeur en abondance.

Une chaudière à vapeur à basse pression fit explosion dans un atelier



de Lyon, immédiatement après qu'on eut ouvert un large robinet de décharge par lequel la vapeur commençait à s'échapper avec rapidité. Ce fait remarquable eut pour témoin M. Gensoul. Depuis, MM. Tabareau et Rey, de Lyon, ont constaté, par des expériences directes sur une petite chaudière à vapeur, qu'en ouvrant un large robinet de décharge la soupape se soulevait.

1030. *Explosions précédées d'un grand affaiblissement dans la tension de la vapeur.* Quelques instants avant que la chaudière en fonte à moyenne pression, établie à Essonne dans la filature de M. Feray, fit explosion, le 8 février 1823, la machine qu'elle alimentait marchait plus lentement qu'à l'ordinaire, et à tel point que les ouvriers s'en plaignaient.

Quelques jours après l'explosion d'Essonne, un accident semblable arriva sur le boulevard du Mont-Parnasse, à Paris. Les ouvriers murmuraient de la lenteur des mouvements de la machine, lorsque la chaudière éclata. La chaudière était en cuivre laminé. Rien n'annonçait que les soupapes fussent en mauvais état; il est même probable que l'explosion fut précédée de leur ouverture.

Lors de l'explosion du bateau à vapeur *l'Etna*, en Amérique, la machine ne donnait que 18 coups de piston par minute, tandis que, dans sa marche habituelle, elle en donnait 20.

Lors de l'explosion du bateau *le Rapide*, à Rochefort, le manomètre indiquait une pression de 15 centimètres, et il en avait souvent marqué 30 dans la journée.

Il a été constaté que, peu d'instants avant l'explosion du bateau *le Graham*, on venait d'ôter un poids de 20 livres de dessus la soupape de sûreté.

1031. *Explosions précédées d'un grand échauffement des parois.* Dans la fonderie de Pittsburg, en Amérique, une machine à haute pression, de la force de 80 chevaux, recevait la vapeur de trois chaudières cylindriques séparées, ayant chacune 30 pouces anglais de diamètre et 18 pieds de long. On s'était aperçu, depuis assez longtemps, qu'à cause de quelque défaut dans un tuyau aboutissant à la pompe alimentaire, l'une de ces chaudières ne recevait pas assez d'eau et devenait rouge; mais comme la vapeur fournie par les deux autres chaudières était suffisante, on crut pouvoir se dispenser de faire les réparations nécessaires.

Un jour la chaudière rougie fit explosion; la majeure partie se sépara de l'une des extrémités, et partit comme une fusée sous un angle d'environ 45°, traversa le toit du bâtiment, et alla tomber à 680 pieds anglais de distance.

1032. *Explosion d'une chaudière en l'air.* M. Perkins a eu connaissance de l'explosion d'une chaudière qui a été précédée de la formation d'une fissure par laquelle la vapeur s'échappait avec une énorme vitesse. La chaudière fut détachée de la maçonnerie sur laquelle elle reposait, soulevée en masse à quelques pieds du sol, et c'est en l'air qu'eut lieu l'explosion qui la partagea en deux. La moitié supérieure s'éleva très-haut; l'autre retomba aussitôt sur le sol avec un grand fracas.

1033. Les mêmes circonstances paraissent s'être rencontrées dans l'explosion de Lochrin, immense distillerie située près d'Edimburgh. En 1814, les vases distillatoires furent disposés de manière à être chauffés par la vapeur. La vapeur était fournie par une chaudière de Watt, en fer forgé, de plus de $\frac{1}{3}$ de pouce d'épaisseur, de 37 pieds anglais de longueur, ayant 3 pieds de largeur au fond, et 2 pieds à la naissance du couvercle, enfin, de 4 pieds de hauteur. Le poids total de cette chaudière était de 180 quintaux. La chaudière était garnie de deux soupapes ayant chacune la charge relative à 4 atmosphères; l'une d'elles était sous une cage grillée fermée à clef.

Douze jours après l'établissement du système de chauffage à vapeur, la chaudière éclata.

Au moment de la catastrophe, la chaudière se partagea en deux parties inégales par 2 lignes de niveau suivant deux rangées de clous. La partie supérieure, composée du couvercle et des deux côtés, pesant 140 quintaux, fut projetée de bas en haut avec une telle violence, qu'après avoir traversé la voûte en briques qui couvrait l'atelier et le toit, elle s'éleva à une hauteur verticale de 70 pieds anglais. Cette énorme masse tomba ensuite à 150 pieds du point de départ, sur un bâtiment de la distillerie; et, au terme de sa chute, elle réduisit en pièces une vaste cuve de fonte située au rez-de-chaussée. Le fond de la chaudière, du poids de 40 quintaux, fut soulevé à une hauteur de 14 à 15 pieds et transporté à quelques pas de distance du massif de maçonnerie; sa courbure avait changé de forme, la surface inférieure, qui était concave avant l'explosion, était convexe après. Il y avait malheureuse-



ment deux ouvriers près de l'appareil au moment de l'explosion : tous deux perdirent la vie ; le corps de l'une des victimes fut partagé en deux, les jambes restèrent dans la distillerie, tandis que le buste fut retrouvé au loin parmi les décombres.

1034. *Accidents particuliers aux chaudières à foyer intérieur.* Les petits cylindres des chaudières à foyer intérieur s'écrasent quelquefois, se déchirent, et l'eau bouillante, lancée par torrent dans les ateliers, produit souvent de grands malheurs.

Dans le *Flintshire*, aux Mold-Mines, il y a une immense machine à vapeur alimentée par trois chaudières à foyer intérieur. Un jour, la machine était arrêtée depuis cinq minutes ; le contre-maître avait déjà levé les portes des foyers des trois chaudières et fermé les registres de deux d'entre elles ; il s'occupait à faire la même opération sur la troisième, mais à peine la plaque métallique fut-elle en place, qu'il vit une bouffée de flamme s'élançer du foyer vers l'atelier, et une explosion suivit immédiatement. Deux ouvriers, qui se trouvaient dans la direction suivant laquelle s'élança l'eau bouillante, périrent sur-le-champ. Les cylindres extérieurs n'avaient ni bougé ni éprouvé aucun dommage. Le poids suspendu à la soupape de sûreté était encore à sa place après l'accident. Le petit cylindre n'avait pas non plus éprouvé de mouvement de translation, mais il était aplati et déchiré dans une grande partie de sa longueur.

A la mine d'étain de Polgooth, où deux chaudières à foyer intérieur firent explosion, on trouva les cylindres extérieurs intacts et les cylindres intérieurs tordus et crevassés dans un grand nombre de points.

A la mine d'*Est-Crennis*, le petit cylindre intérieur était non-seulement aplati par le rapprochement des parois, mais il avait été lancé hors de l'atelier avec beaucoup de force, sans que le grand cylindre qui l'enveloppait eût bougé, et sans qu'il eût éprouvé aucune avarie.

1035. *Écrasement des chaudières à basse pression.* Dans toutes les grandes villes manufacturières, on a eu plusieurs exemples d'écrasement de chaudières à basse pression ; mais ces accidents n'ont jamais eu les suites fâcheuses des explosions causées par un excès de pression intérieure.

1036. L'explosion du bateau à vapeur *le Parisien*, qui a eu lieu le 23 juin 1839, paraît avoir été occasionnée par l'inclinaison du bateau

dans une station, inclinaison qui mit à découvert d'un côté une partie de la surface de chauffe.

1037. D'autres explosions, rapportées dans le tome 20 des Annales des mines, paraissent avoir eu pour causes, les unes l'altération du métal par des eaux d'alimentation acides, les autres une trop faible résistance des chaudières, provenant ou de la mauvaise qualité de la tôle, ou d'une mauvaise construction.

1038. Indépendamment de ces explosions, qui heureusement sont rares, il arrive aux chaudières à vapeur des accidents qui ont beaucoup moins de gravité; la vapeur et l'eau s'échappent quelquefois par des fissures qui se produisent dans les joints. Quand les jets n'ont qu'une petite section et qu'ils ne lancent que de la vapeur, il n'en résulte jamais de graves inconvénients; il en est de même quand ils lancent de l'eau et qu'ils sont dirigés dans l'intérieur du fourneau; mais quand ils sont extérieurs, ils occasionnent souvent de grands accidents.

1039. Plusieurs physiciens avaient prétendu qu'un accroissement graduel de pression ne pouvait pas donner lieu aux explosions fulminantes, qu'il ne pouvait occasionner que des déchirures partielles de la chaudière et des jets de vapeur ou d'eau; et que, pour expliquer ces grandes explosions, il fallait avoir recours à la formation instantanée d'une grande quantité de vapeur. Mais nous avons rapporté des exemples d'explosions qui, sans aucun doute, ont été provoquées par la surcharge des soupapes de sûreté; d'ailleurs, des expériences faites en Amérique par l'Institut Franklin, dans lesquelles on a fait éclater, avec toutes les circonstances des explosions fulminantes, des chaudières de fer et de cuivre hermétiquement fermées, ne peuvent laisser aucune incertitude à cet égard. Les explosions fulminantes peuvent même se produire dans des vases renfermant de l'air ou un gaz comprimé; je citerai l'explosion d'un réservoir dans lequel du gaz propre à l'éclairage était comprimé par une pompe, et dont M. Arago a été témoin, et enfin l'explosion plus récente encore d'un appareil de M. Thilorier, pour la congélation de l'acide carbonique, qui a occasionné un si funeste accident.

1040. On conçoit facilement qu'une déchirure peu étendue dans une chaudière puisse ne donner lieu qu'à des jets de vapeur et d'eau, et n'occasionner aucun ébranlement dans la masse; mais si l'eau est à une température élevée, de manière à pouvoir produire un grand volume



de vapeur, la diminution de résistance provenant d'une déchirure partielle peut occasionner la séparation complète d'une partie de la chaudière qui, étant pressée par la vapeur pendant une partie de son mouvement, peut recevoir une impulsion qui la projette à une grande distance; et la réaction provenant de ce mouvement et celle qui résulte de l'écoulement de l'eau, peuvent alors occasionner de grands dérangements dans le reste de l'appareil.

1041. On a donné un grand nombre d'explications différentes des explosions qui semblent provenir d'un excès de force élastique de la vapeur : nous rapporterons les principales.

1042. Voici d'abord l'explication donnée par M. Perkins, et qui est assez généralement admise. Imaginons que, par une cause quelconque, le niveau de l'eau baisse dans une chaudière; les parties de la surface qui sont en contact d'un côté avec l'air brûlé, et qui ne sont en contact par l'autre face qu'avec de la vapeur, prendront une température très-élevée; la vapeur s'échauffera de beaucoup au-dessus de la température du liquide, et enfin la surface du liquide en contact avec la chaudière diminuant, la quantité de vapeur formée, malgré l'activité du foyer, ira aussi en diminuant. Ainsi, la marche de la machine se ralentira. Dans cet état, si on ouvre une soupape de sûreté ou un tuyau de dégagement, de manière à diminuer la pression intérieure, il se formera une grande quantité de vapeur aux dépens de la température de l'eau elle-même; cette émission de vapeur, qui partira simultanément de tous les points de la masse liquide, produira une augmentation de volume analogue à celle des eaux gazeuses ou du vin de Champagne quand on débouche une bouteille; alors, cette mousse pénétrant dans la chambre de vapeur à une haute température, il se formera, dans un temps très-court, une grande quantité de vapeur; la pression augmentera subitement; la soupape de sûreté se soulèvera; mais la quantité de vapeur qu'elle laissera écouler n'étant point suffisante, la chaudière éclatera.

Cette explication repose, comme on voit, sur trois points : 1° abaissement du niveau de l'eau et échauffement de la partie supérieure de la chaudière; 2° expansion en mousse de l'eau par une diminution de pression; 3° formation instantanée d'une grande quantité de vapeur par cette mousse, en pénétrant dans la chambre à vapeur.

Le premier point est évident; car aussitôt qu'une partie de la surface de chauffe n'est pas baignée par l'eau, comme la chaleur se dissipe très-peu par la vapeur, il en résulte nécessairement que la paroi de la chaudière s'échauffe, et on conçoit qu'elle puisse être portée jusqu'au rouge. L'événement de Pittsburg, que nous avons rapporté, vient à l'appui de ce fait, et un grand nombre d'observations directes le justifient. M. Mogle découvrit une fois, en visitant les machines du Cornwall, qu'une échelle en bois, qui reposait par son pied sur le sommet d'une chaudière, avait pris feu. Dans un des paquebots qui font le voyage de Liverpool à Dublin, une planche de sapin, qu'on avait posée accidentellement sur le couvercle de la chaudière, s'était enflammée. Enfin, pour ne laisser aucun doute, nous rapporterons une expérience directe de M. Perkins. Une chaudière cylindrique, de 4 pieds de long sur un pied de diamètre, ayant été placée verticalement sur un fourneau, la base fut entourée de feu qui s'élevait au tiers de la hauteur, tandis que l'eau plus basse n'en baignait qu'un sixième; la soupape de sûreté, chargée d'environ 1 atmosphère, était placée sur le côté de la chaudière, à la moitié de la hauteur. On remplaçait l'eau transformée en vapeur que cette soupape laissait échapper au fur et à mesure de sa fuite. Un thermomètre, plongé dans l'eau et descendant jusqu'au fond du vase, marquait 104° centigrades. Un autre, plongé au milieu de la hauteur de la chaudière, accusait 260°; le couvercle de la chaudière était rouge (Annuaire de 1830).

Quant au second point, il est impossible de ne pas l'admettre également. On peut d'ailleurs faire à cet égard une expérience décisive: si on place sous une cloche reposant sur le plateau d'une machine pneumatique, un vase renfermant de l'eau ou de l'alcool, on voit, à chaque coup de piston, la vapeur s'élever en mousse à une hauteur plus ou moins considérable.

Ce fait a d'ailleurs été constaté directement par M. Jobard sur des bouilleurs en verre, et, par l'institut Franklin, sur une chaudière de fer garnie de regards en verre. La pression intérieure étant de 2 atmosphères, lorsqu'on ouvrait un orifice dont la section était égale à $\frac{1}{2055}$ de la surface de la chaudière, le bouillonnement remplissait la chaudière, et l'eau était lancée avec violence par l'orifice.

Mais le dernier point présente beaucoup d'incertitude. On conçoit faci-



lement que l'eau, lancée dans la partie supérieure de la capacité de la chaudière, à travers la vapeur très-dilatée et très-chaude qu'elle renferme, en absorbe très-promptement la chaleur; mais la quantité de chaleur que cette vapeur contient est peu considérable, et ne peut pas expliquer l'accroissement de pression que suppose l'explication de M. Perkins. Il faudrait alors admettre, comme le suppose M. Marestier, que la chaleur des parois de la chaudière concourt à la formation instantanée de la vapeur; mais des faits incontestables que nous rapporterons plus loin, ne permettent pas de supposer que cette chaleur puisse se transmettre assez rapidement à l'eau pour occasionner un grand accroissement de pression dans un temps très-court.

M. Perkins rapporte cependant une expérience qui constate la formation instantanée d'une grande quantité de vapeur par l'introduction de l'eau dans une chaudière vide à une température très-élevée. Un générateur plein d'eau à 260° communiquait avec un vase ne renfermant ni eau ni vapeur, et dont la température était de 650°, par un tube qu'une soupape convenablement chargée tenait ordinairement fermé. Lorsqu'on injectait de l'eau dans le générateur, un même volume d'eau chaude pénétrait dans le récipient, et la soupape de sûreté de ce dernier indiquait une pression de 100 atmosphères pour une injection abondante.

Mais dans ces expériences, l'eau était à une température très-élevée, le vase où se formait la vapeur avait une grande surface relativement à sa capacité, et l'épaisseur du métal était beaucoup plus considérable que celle de la tôle qu'on emploie pour les chaudières, de sorte que les résultats obtenus ne peuvent conduire à rien de certain sur ce qui se passe dans les circonstances ordinaires.

1043. J'ai dit que la haute température de la vapeur dilatée dans la chambre à vapeur ne peut pas produire une grande quantité de vapeur, à cause de la petite quantité de chaleur qu'elle renferme; les expériences suivantes démontrent que le contact de l'eau avec un métal incandescent ne produit qu'une évaporation très-lente. Les premières sont dues à Klaproth.

Lorsqu'on prend une cuiller de fer très-poli, et qu'après l'avoir chauffée jusqu'au blanc et enlevée du feu, on y fait tomber une goutte d'eau, celle-ci se divise d'abord en plusieurs gouttelettes d'inégale grosseur, qui se réunissent bientôt en une seule; en la regardant de près, on



observe qu'elle tourne rapidement sur elle-même, qu'elle diminue continuellement de volume et finit par éclater avec explosion. En faisant succéder une seconde goutte à la première, une troisième à la seconde, les mêmes phénomènes se reproduisent, mais la durée de la goutte sur le métal est d'autant plus courte que le métal est plus refroidi. Dans une expérience :

La première goutte a duré	40 secondes,
La seconde.....	20
La troisième.....	6
La quatrième.....	4
La cinquième.....	2
La sixième.....	0

D'autres expériences ont présenté un décroissement semblable, mais qui n'était pas exprimé par les mêmes nombres.

En faisant tomber 7 gouttes, l'une immédiatement après l'autre, dans une cuiller de fer échauffée au point nécessaire, les gouttes se réunirent en une masse globulaire qui commença à tourner sur elle-même avec rapidité. D'abord, la masse était parfaitement ronde; ensuite elle se divisa par le haut, et l'on voyait une tache d'écume blanche sur la face supérieure; les bords paraissaient dentelés. Ce phénomène dura 150 secondes. Une expérience sur 10 gouttes dura 200 secondes. Avec un plus grand nombre de gouttes, l'expérience ne réussissait pas. Des vases d'argent et de platine ont donné lieu aux mêmes observations.

M. Perkins a observé le même phénomène dans un générateur de ses machines à haute pression. Le générateur étant rouge et ensuite rempli d'eau, la force élastique de la vapeur était d'abord très-petite, et s'est développée avec une grande rapidité à mesure que la température de la chaudière a baissé.

Dans ces phénomènes, l'eau n'est point en contact avec le métal, une couche de vapeur est interposée, et arrête la transmission de la chaleur; car la forme sphérique des gouttes d'eau sur le métal incandescent et leur mobilité à sa surface indiquent que le contact immédiat n'existe pas, ou du moins qu'il n'a lieu que par un petit nombre de points. Aussi, on peut rendre l'évaporation presque instantanée en établissant momentanément un contact forcé entre l'eau et le métal, par l'aplatissement des bulles résultant d'un choc brusque.



Cette suspension de l'eau, par une légère couche de vapeur, au-dessus du métal incandescent, paraît être due à une répulsion qui se manifeste entre les corps échauffés, et qui a été bien mise en évidence par une observation très-curieuse de M. Perkins, rapportée dans son mémoire sur les machines à haute pression, lu à l'Institut le 3 septembre 1827. A l'une des extrémités d'un générateur, se trouvait un orifice de $\frac{1}{8}$ de pouce de diamètre, auquel était ajusté un tube de fer de 3 pieds de longueur sur $\frac{1}{2}$ pouce de diamètre intérieur, portant un robinet; à l'autre bout du cylindre, il y avait une soupape de sûreté, chargée de 317 kilogrammes par pouce carré. Le cylindre étant chauffé au rouge, l'eau qu'il contenait força, par l'élasticité de sa vapeur, la soupape en question; mais on pouvait ouvrir le robinet du tube sans qu'il en sortît rien; donc à cette température les parois du cylindre retenaient l'eau et la vapeur à une distance d'au moins $\frac{1}{16}$ de pouce anglais; à une température inférieure, la vapeur finit par sortir à travers le tube.

L'Institut Franklin a vérifié les faits dont nous venons de parler. Les expériences ont été faites sur huit bassins hémisphériques de 3 pouces de rayon, trois en cuivre, quatre en fer et un en fonte; ces vases ont été chauffés dans des bains d'huile ou d'étain fondu. Voici les résultats des observations : 1° avec le même métal la température du maximum de vaporisation de l'eau est d'autant plus basse que le poli de la surface est plus grand; pour le cuivre poli le maximum a lieu à $144^{\circ},4$ centigrades, et pour le cuivre oxydé à $175^{\circ},4$; et le rapport des temps nécessaires pour vaporiser la même quantité d'eau dans les deux cas, est comme 12 est à 1. Pour le fer poli, le maximum de vaporisation a lieu de 167 à 170° ; pour le fer oxydé à 175° ; pour le fer fortement oxydé à 194° , et les temps de la vaporisation ne diffèrent pas beaucoup. 2° Les temps de la vaporisation pour le cuivre et le fer, dans le même état, sont entre eux comme 2 : 1. 3° Les températures du maximum de vaporisation pour le fer et le cuivre fortement oxydés correspondent à une force élastique de la vapeur de 9 atmosphères environ. 4° La répulsion entre le métal et l'eau est parfaite de 11° à 22° au-dessus de la température correspondante au maximum de vaporisation; au delà de cette température, l'eau ne peut plus mouiller le métal.

Ainsi il ne peut rester aucun doute sur l'impossibilité de la formation instantanée, dans les chaudières ordinaires, d'une quantité de va-

peur suffisante, pour expliquer, par un grand accroissement de pression, les explosions dont il est question, et, par conséquent, sur l'insuffisance des explications de M. Perkins et de M. Marestier, à moins qu'on n'admette qu'un accroissement de pression peu considérable, mais subit, agissant comme un choc, ne puisse produire la rupture des chaudières; mais cette hypothèse est peu probable.

1044. On a aussi expliqué les explosions fulminantes, en admettant qu'une couche de sédiment, déposée au fond de la chaudière, lui avait permis de rougir; et que, par une cause quelconque, la croûte venant à se rompre, l'eau se trouvait en contact avec le métal incandescent, et qu'il se formait instantanément un grand volume de vapeur dont la tension produisait la rupture de la chaudière. Mais cette explication n'est pas plus admissible que la première, à cause de la faible épaisseur des chaudières, de la faible capacité calorifique du fer, et enfin à cause du temps qu'exige le passage de la chaleur du fer dans l'eau.

1045. M. Galy-Cazalat, tout en admettant pour causes de certaines explosions l'introduction de l'eau au-dessous des couches de dépôts soulevées où le métal est incandescent, et l'élévation du liquide en mousse contre les parois de la chaudière, qui ont été chauffées au rouge par un abaissement de niveau, admet encore une autre cause fondée sur les expériences suivantes. Lorsqu'on place dans un vase renfermant un bain à une température constante, un vase de verre ouvert, contenant de l'eau, l'ébullition se fait régulièrement, et la température de l'eau est de 100°. Mais si l'eau est recouverte d'une couche d'huile, l'ébullition n'est point régulière, et la température de l'eau peut s'élever jusqu'à 123°; alors une légère élévation de température détermine une formation instantanée de vapeur qui brise le vase. L'ébullition par intermittence a également lieu pour les dissolutions salines saturées. M. Galy-Cazalat admet que quand l'eau est couverte d'une couche d'huile, ce liquide s'oppose seulement à ce que l'eau reprenne de l'air à mesure qu'elle le perd par l'ébullition, et que de l'eau privée d'air se comporterait de la même manière. Il explique alors certaines explosions par l'absence d'alimentation qui laisse l'eau privée d'air et lui permet de prendre une température beaucoup plus élevée que celle qui correspond à la pression, et de produire instantanément une quantité de vapeur très-grande, d'où résulte une pression que la chaudière ne peut pas supporter, et contre la-



quelle les soupapes de sûreté sont sans efficacité. Pour que cette explication fût admissible, il aurait fallu démontrer, 1° que c'est bien l'absence seule de l'air qui, dans l'expérience que nous avons citée, a élevé la température de l'eau à 123° sous une couche d'huile; mais une expérience dans laquelle l'air a été recueilli sous une cloche pleine de mercure, et dans laquelle l'ébullition régulière s'est maintenue après l'expulsion de l'air, est complètement en opposition avec cette opinion; 2° que les mêmes phénomènes se produisent dans les vases métalliques; ce qui n'est pas probable, car tout le monde sait que les soubresauts qui accompagnent l'ébullition de l'eau dans le verre, n'ont pas lieu dans des vases métalliques, et que la température de l'ébullition de l'eau est moins élevée dans ceux-ci que dans les vases de verre. Ainsi cette explication n'est pas admissible.

M. Galy-Cazalat prétend aussi que les soubresauts qui résultent des dépôts qui se forment dans les chaudières, peuvent occasionner des mouvements de transport, sans qu'il y ait d'ouvertures; et pour le démontrer, il a fait des expériences en enflammant de la poudre dans un petit canon dont la bouche était fermée à vis, et il dit avoir observé des mouvements très-sensibles. Il faut nécessairement que les expériences aient été mal faites, car si les résultats qu'il a obtenus étaient exacts, ils seraient en opposition avec le principe de mécanique le plus évident qui existe, l'égalité entre l'action et la réaction.

1046. M. Jaquemet a donné dernièrement une explication des explosions complètement différente de celles dont il a déjà été question, et que nous rapporterons sommairement. M. Jaquemet a reconnu par expérience que quand on ouvre une issue à la vapeur qui se forme dans une chaudière, si la section est très-petite relativement à la surface de chauffe, il ne se dégage que de la vapeur; si la section augmente, il sort un mélange d'eau et de vapeur, dans lequel l'eau est d'autant plus abondante que la section est plus grande, et qu'à une certaine limite de section, inférieure à celle qu'on donne communément à chacune des soupapes et à la plus petite plaque fusible, il ne sort plus que de l'eau. Il résulte de ce fait, que quand on ouvre une large issue à la vapeur, la vitesse d'écoulement du mélange d'eau et de vapeur étant beaucoup plus petite que celle de la vapeur pure, malgré la plus grande densité du mélange, la quantité de chaleur entraînée hors de la chau-

dière pourrait être plus petite que celle qu'elle reçoit dans le même temps, et, par suite, que la tension de la vapeur augmenterait constamment jusqu'à la rupture de l'appareil. Cette explication suppose nécessairement qu'en ouvrant un large orifice à l'écoulement de la vapeur, la pression dans la chaudière augmente. Mais ce fait que M. Jaquet a observé un grand nombre de fois et qui l'avait été avant lui (1029), n'a pas été constaté depuis. Il était probablement dû à certaines circonstances particulières aux chaudières dont on s'est servi.

1047. Enfin, on a expliqué les explosions fulminantes par la détonation d'un mélange d'hydrogène et d'air; l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau sur le métal incandescent, ou de celle des matières grasses entraînées par l'eau d'alimentation, et l'air, de la pompe alimentaire dont le tube d'aspiration ne plongerait pas dans l'eau, ou dont certains joints ne seraient pas parfaitement étanches; l'inflammation du mélange détonnant serait due au contact du métal incandescent, ou à une étincelle électrique résultant de l'électricité produite par la vaporisation (1).

Cette dernière explication des explosions, proposée il y a longtemps, a été reproduite récemment par M. Jobard, qui la regarde comme pouvant seule rendre compte d'une explosion qui a eu lieu à Gand, il y a quelques années; la chaudière était froide, sans eau, ouverte, et la détonation eut lieu lorsqu'un ouvrier s'y introduisit avec une lampe pour la nettoyer. La formation de l'hydrogène dans les chaudières à vapeur a d'ailleurs été constatée par M. Seguiet, dans plusieurs circonstances; il a reconnu, dans une chaudière du faubourg Saint-Antoine, qu'il s'échappait de l'hydrogène avec la vapeur par la soupape de sûreté; dans une autre, que ce gaz sortait par la pompe à air.

1048. En résumant ce qui précède, on doit regarder comme évident qu'il n'est pas nécessaire de supposer un développement brusque de vapeur, ou une cause quelconque qui diminue subitement la résis-

(1) La vapeur qui sort d'une chaudière est toujours chargée d'électricité. C'est M. Tassin, ingénieur belge, qui paraît avoir constaté ce fait le premier, du moins pour les chaudières à vapeur, car il a été découvert il y a longtemps, par M. Pouillet, mais par des expériences faites sur des vases d'une petite dimension. Depuis, M. Séguier a fait à ce sujet de nouvelles expériences, dans lesquelles il a pu obtenir des étincelles de plusieurs centimètres de longueur. (Comptes rendus de l'Académie des sciences, tome XIII).



tance de la chaudière, pour expliquer les explosions, car les faits que nous avons rapportés ne permettent pas de douter que les explosions les plus violentes ne puissent provenir d'un accroissement graduel de pression ou d'une diminution lente de résistance. On peut alors ranger en cinq classes les différentes causes de rupture des chaudières.

1° *Défauts de construction.* Ces défauts peuvent provenir ou de la mauvaise qualité de la tôle, ou de formes vicieuses dans la disposition de la chaudière. Les essais à la pompe de compression peuvent ne pas mettre ces défauts en évidence, parce qu'on opère à froid, et parce que les fuites ne se manifestent souvent que par une pression intérieure beaucoup plus prolongée que la durée ordinaire de ces expériences.

2° *Altération de la chaudière par un long usage.* Les chaudières s'altèrent toujours avec le temps, principalement par les fuites, autour desquelles le métal s'oxyde rapidement, et par les incrustations intérieures. Elles peuvent aussi s'altérer par des eaux d'alimentation acides. Alors la résistance diminue progressivement, et finit par atteindre la limite qui correspond à la pression.

3° *Surcharge des soupapes.* Cette cause d'explosion est d'autant plus efficace que, comme nous l'avons dit, l'excès de résistance des chaudières est peu considérable, malgré leur grande épaisseur, à cause de la clouure des feuilles de tôle et de la température élevée à laquelle le métal est soumis.

4° *Détonation d'un mélange explosif dans les carneaux.* C'est à cette cause qu'il faut attribuer les explosions de certaines chaudières à foyer intérieur. La détonation d'un mélange explosif a eu lieu, d'après M. Gay-Lussac, dans le fourneau d'une chaudière de concentration complètement ouverte, à la raffinerie de salpêtre établie à l'arsenal de Paris; le fourneau a été entièrement démoli, mais la chaudière n'a éprouvé aucune altération. Les mélanges explosifs se forment principalement quand on abaisse le registre et qu'on le lève ensuite subitement, ou qu'on ouvre la porte du foyer; par l'abaissement du registre, le combustible, quand il en est susceptible, éprouve une véritable distillation, qui remplit les carneaux de gaz combustibles, et par l'ouverture de la porte il arrive un excès d'air qui se mêle au gaz, et qui, dans certaines circonstances, produit une violente détonation. On

comprend même difficilement que ces accidents ne soient pas plus fréquents.

5° *Abaissement du niveau de l'eau.* Le niveau de l'eau s'abaisse au-dessous de la limite supérieure de la surface de chauffe, ou par l'inclinaison de la chaudière, si elle est sur un bateau, ou par la diminution de l'eau d'alimentation, ou par l'ouverture de la soupape de sûreté ou d'un orifice de dégagement qui laisse écouler une grande quantité d'eau à l'état d'émulsion. Cet abaissement du niveau de l'eau est ordinairement accompagné d'un affaiblissement de la puissance des machines, dû à la diminution d'étendue de la surface de l'eau en contact avec la chaudière, et il est suivi d'un grand échauffement des parties de la surface de chauffe qui ne sont pas mouillées par l'eau.

1049. Ce sont les explosions qui appartiennent à cette classe qui ont donné lieu à un si grand nombre d'explications différentes, mais dont aucune ne présente assez de probabilité pour être admise. La cause immédiate de la rupture des chaudières, quand, par l'abaissement du niveau de l'eau, une partie de sa surface a atteint la chaleur rouge, me paraît provenir uniquement de la diminution de résistance du métal; car, par le mode de fabrication des chaudières, la résistance est deux fois plus petite que celle qui correspond à l'épaisseur de la tôle (745), et on sait qu'à la chaleur rouge la résistance du fer est à peu près six fois plus petite qu'à froid; ainsi, quand une chaudière est chauffée au rouge, sa résistance est douze fois plus petite que la résistance qu'elle présenterait à froid si le métal était continu; or les chaudières ont rarement une épaisseur qui excède douze fois la résistance du fer à une traction correspondante à la tension de la vapeur qu'elles doivent former.

1050. Il est cependant probable que, dans certaines circonstances, il a pu se former, contre les parois de la chaudière, fortement échauffées par l'abaissement du niveau de l'eau, et à la suite de l'ouverture d'une soupape qui a soulevé de l'eau en émulsion, une quantité de vapeur plus grande que celle que la soupape a pu débiter dans le même temps, surtout si la température de la paroi se trouvait à la température du maximum de vaporisation, et que cette circonstance a pu concourir, avec l'affaiblissement de la résistance de la chaudière, à produire l'explosion. Il est possible aussi que, dans certaines circonstances, la cause d'explosion signalée par M. Jaquemet se soit réalisée; et que, dans



d'autres, l'explosion ait été provoquée par la détonation d'un mélange d'air et de gaz hydrogène; mais je pense que ces cas, s'ils ont existé, ont été très-rares.

1051. De tous les détails que nous venons de donner sur les explosions des chaudières, nous pouvons déduire que les précautions les plus importantes à prendre, soit dans la construction des chaudières, soit dans la direction de l'opération, sont les suivantes :

1° Employer, autant que possible, des chaudières cylindriques à bases circulaires, terminées par des calottes sphériques; éviter les formes de chaudières qui peuvent changer, car les armatures intérieures n'empêchent pas le métal de céder à l'influence des variations de pressions intérieures dans les intervalles qui les séparent, et ces flexions, qui se produisent très-fréquemment, diminuent la résistance de la tôle. Employer surtout, dans la construction des chaudières, des tôles de bonne qualité, non feuilletées, et de préférence celles qui ont été faites au charbon de bois.

2° Employer des soupapes de sûreté à rebords étroits, comme celle de M. Chaussenot; des tubulures à soupape d'arrêt pour les plaques fusibles; multiplier surtout les indicateurs de niveau : deux sont indispensables, un à tube et l'autre à flotteur; mais il serait utile d'employer un troisième flotteur à sifflet, qui ne fonctionnerait que quand le niveau serait descendu d'une certaine quantité au-dessous de la limite assignée. Il est important d'observer le dénivèlement produit dans la chaudière par les bulles de vapeur qui se dégagent, car il en résulte que si, pendant le travail, le niveau était à la hauteur convenable, il descendrait d'une quantité plus ou moins grande quand on arrêterait l'émission de la vapeur, et qu'alors, si l'alimentation était produite par la machine, une partie de la surface de chauffe ne serait pas mouillée intérieurement et pourrait rougir; il faudrait alors que le chauffeur eût à sa disposition une petite pompe alimentaire, qu'il ferait mouvoir lui-même pour rétablir le niveau dans les temps d'arrêt.

Les plaques fusibles, du moins celles qui sont généralement employées, ne préviennent réellement qu'un excès de pression, dans le cas où les soupapes de sûreté ne fonctionneraient pas par une cause quelconque; car elles sont sans efficacité contre un échauffement

extraordinaire d'une partie de la surface de la chaudière, par un abaissement du niveau de l'eau, à cause de leur éloignement de la surface de chauffe; ainsi, avec des soupapes bien disposées, les plaques fusibles deviennent inutiles. Il n'en serait pas de même si les plaques fusibles étaient placées très-près des surfaces qui peuvent rougir; mais l'appareil serait trop compliqué.

3° Employer de bons systèmes d'alimentation; doubles autant que possible, surtout quand ils se composent d'une pompe, car le jeu de la pompe d'alimentation peut être interrompu par un grand nombre de causes, par l'introduction de quelques corps étrangers qui s'opposeraient à la fermeture d'un des clapets, par des fuites dans la garniture du piston, par l'adhérence d'un des clapets sur son siège.

4° Pour la haute comme pour la basse pression, employer exclusivement des manomètres à air libre.

5° Nettoyer souvent les chaudières, surtout si les eaux que l'on emploie forment beaucoup de dépôts, et, dans tous les cas, se servir des différents moyens indiqués pour éviter les incrustations.

6° Enfin, de toutes les précautions la plus importante, et malheureusement la plus négligée, c'est le choix d'un chauffeur sobre, actif et intelligent.

§ 15. — AMÉLIORATIONS DONT LES CHAUDIÈRES A VAPEUR SONT
SUSCEPTIBLES.

1052. Les améliorations que l'on peut introduire dans les générateurs à vapeur sont de deux espèces: celles qui ont pour objet de diminuer les chances d'explosion, et celles qui ont pour but d'obtenir un plus grand effet utile du combustible consommé. Nous ne nous occuperons ici que de ce dernier genre d'amélioration; le paragraphe précédent renfermant tout ce que nous croyons utile de connaître sur le premier point.

1053. Considérons d'abord les générateurs fixes. Dans presque tous ces appareils, on obtient généralement de 5 à 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, tandis que la quantité de vapeur qu'on pourrait obtenir si toute la chaleur était utilisée, serait de $7500 : 650 = 11^k,54$, l'eau d'alimentation étant à 0° ; et $12^k,3$ si l'eau d'alimenta-

tion était à 40°, comme dans la plupart des machines à condensation. Ainsi on n'utilise à peu près que la moitié de la chaleur développée. Cette perte énorme de chaleur provient d'une mauvaise combustion dans le foyer, par un appel d'air trop grand ou trop petit; de la haute température à laquelle l'air brûlé est abandonné dans la cheminée; et enfin, de la transmission de la chaleur à travers le fourneau.

Cette perte de chaleur correspond à une perte d'argent très-considérable pour les grands appareils; car, à Paris, une machine de 30 chevaux qui travaille 10 heures par jour, consomme annuellement pour plus de 22,000 francs de combustible.

1054. L'effet utile d'un combustible dans la production de la vapeur, peut être augmenté par une amélioration du foyer, un accroissement et une meilleure disposition de la surface de chauffe, et une augmentation de hauteur et de section de la cheminée, qui lui permette de produire le tirage nécessaire avec une plus faible température de l'air brûlé.

1055. On brûle le combustible dans les foyers sans se rendre compte des effets produits; mais, comme nous l'avons déjà dit, si la cheminée appelle un trop grand excès d'air, l'air brûlé se trouve à une trop basse température, et on n'utilise que la chaleur rayonnante du foyer; si, au contraire, l'appel n'est pas suffisant, il se forme de l'oxyde de carbone, et la combustion développe peu de chaleur. Dans chaque foyer et pour un même combustible, il y a plusieurs éléments à considérer, qui tous ont plus ou moins d'influence sur l'effet utile obtenu: la quantité de vapeur à produire par heure, la surface de la grille, l'épaisseur du combustible, et le tirage. Lorsque la quantité de vapeur à produire par heure est donnée, et c'est ce qui arrive presque toujours, ainsi que l'étendue de la surface de la grille, et que la cheminée a un excès de tirage, c'est-à-dire, qu'elle fonctionne ordinairement avec le registre presque abaissé, on peut toujours, par quelques essais, déterminer l'épaisseur de la couche de combustible la plus avantageuse, soit par des analyses de l'air brûlé, soit en observant les quantités de combustible consommées pour produire le même effet, lorsqu'on fait varier la hauteur du combustible sur la grille. Si la cheminée n'avait pas un tirage suffisant pour permettre de donner à la couche de combustible l'épaisseur convenable, on pourrait augmenter la sur-

face de la grille ou produire un tirage artificiel, par un ventilateur, ou par un jet de vapeur.

1056. En employant des houilles sèches, on arriverait certainement à des résultats qui présenteraient une très-grande économie de combustible; mais il faudrait maintenir constamment la couche de combustible dans le foyer à l'épaisseur qui aurait été trouvée la plus convenable, et on devrait employer toujours le même combustible en fragments de mêmes dimensions.

1057. Pour les houilles grasses, ou du moins pour les houilles ordinaires de grilles, on n'arriverait qu'à des résultats beaucoup moins satisfaisants, parce que, dans les instants qui suivent le chargement, l'air qui a traversé la grille doit renfermer un grand excès d'oxygène pour brûler les gaz qui se dégagent, et que cet excès devrait décroître avec les progrès de la combustion. Cette différence entre les houilles sèches et les houilles grasses, qui ne permet pas d'obtenir des dernières un aussi grand effet utile, produira infailliblement, d'ici à peu de temps, un changement complet dans la différence des prix de ces deux espèces de houille.

Je rapporterai à ce sujet un résultat obtenu dans les ateliers des diligences Laffitte et Caillard, qui montre avec évidence l'économie qu'on peut obtenir en remplaçant les houilles flambantes par des houilles sèches. Il y a dans ces ateliers une machine à vapeur de 16 chevaux, dont la chaudière, chauffée avec des houilles flambantes, consommait 11 hectolitres par jour de 10 heures; on y a substitué des houilles sèches de Ham, qui sont en grande partie très-menues et d'une combustion difficile, et en activant le tirage par un jet de vapeur, la consommation a été réduite à 9 hectolitres.

Les mêmes moyens conduiraient sans aucun doute à une grande amélioration dans les foyers à bois et à tourbe; mais, comme nous l'avons déjà dit, ces améliorations ne seraient possibles que pour les foyers dans lesquels ces combustibles sont brûlés sur grilles.

1058. L'économie de combustible dont nous venons de parler ne pourrait cependant avoir lieu que pour les générateurs dont le travail est uniforme, et pour les combustibles fossiles qui ne donnent pas trop de scories; car les variations de consommation produites par le mouvement du registre, changeraient complètement les conditions de la



combustion, et les interruptions fréquentes qu'exige le nettoyage des grilles, produiraient, par les portes des foyers, des appels d'air qui feraient disparaître en grande partie les avantages d'une bonne combustion dans les intervalles. Pour les combustibles qui donnent beaucoup de résidus, leur transformation préalable en gaz combustibles serait le seul moyen d'en tirer un grand effet utile (687).

1059. La combustion ayant lieu complètement dans le foyer avec le moins d'air possible, de manière à donner à l'air brûlé la plus haute température, il faut absorber toute la chaleur qui n'est pas nécessaire au tirage. Dans un grand nombre de cas, les surfaces de chauffe sont trop petites, et l'air brûlé est abandonné dans la cheminée à une température supérieure à 300° ; il en résulte, comme nous l'avons vu, et une perte de chaleur et une perte de tirage. Avec une cheminée d'une grande hauteur et d'une section suffisante, on peut facilement, en augmentant la surface de chauffe, et surtout en lui donnant une disposition convenable, abaisser la température de l'air brûlé à son entrée dans la cheminée, à 200° et même à 150° .

1060. On peut aussi, dans les appareils établis, et sans y faire de grands changements, utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer à 100° l'eau d'alimentation; il suffit, pour cela, de placer une petite chaudière à la suite de la première, et d'y faire passer l'eau d'alimentation. Cette chaudière devrait avoir une surface de chauffe à peu près égale à $\frac{1}{4}$ de celle de la chaudière à vapeur; elle pourrait être annulaire et placée au bas de la cheminée. On obtiendrait le même résultat en faisant passer l'eau d'alimentation dans un tuyau qui circulerait dans les carneaux.

1061. Mais de tous les moyens qu'on pourrait employer pour utiliser le mieux possible la chaleur perdue, celui qui présente le plus d'avantage consiste à produire un tirage artificiel au moyen d'un jet de vapeur ou d'un ventilateur, et à refroidir complètement la fumée. L'appareil serait composé d'une chaudière à vapeur ayant une surface de chauffe assez considérable pour refroidir l'air brûlé à 200° , d'une cheminée de tirage et d'une partie additionnelle dans laquelle on chaufferait l'eau d'alimentation. Quand la vaporisation serait assez bien établie pour fournir la vapeur qu'exige le tirage artificiel, l'air brûlé pourrait être refroidi davantage et se rendre ensuite dans la cheminée, où il ne produirait qu'un appel insignifiant.

La chaudière devrait avoir une surface de chauffe calculée sur une production moyenne de 10 à 12 kilog. de vapeur par mètre carré et par heure. L'appareil de chauffage de l'eau devrait être formé d'un seul tube d'une grande longueur, dans lequel l'eau foulée par la pompe aurait un mouvement dirigé en sens contraire de celui de l'air brûlé, et sa surface totale devrait être un peu plus petite que la surface de chauffe de la chaudière.

1062. Par les améliorations que nous avons indiquées pour les foyers et pour les chaudières, on parviendrait sans aucun doute à doubler l'effet utile produit dans la plupart des chaudières à vapeur; car, ainsi que nous l'avons vu, la dépense de vapeur occasionnée par les différents modes de tirage artificiel est très-petite.

1063. Pour les chaudières de bateaux, il ne faudrait pas penser à utiliser complètement la chaleur développée par les dispositions dont nous venons de parler, à cause du trop petit espace dans lequel les chaudières doivent être placées; mais on augmenterait beaucoup l'effet utile produit en prenant des surfaces de chauffe correspondantes à 15 ou 20 kilog. de vapeur par mètre carré et par heure, et en modifiant les foyers comme nous l'avons indiqué précédemment. Mais ces modifications ne seraient possibles qu'en produisant un tirage artificiel, soit par un jet de vapeur quand la chaudière fonctionne à haute pression, soit par un ventilateur dans le cas contraire.

1064. Une autre amélioration non moins utile pour les bateaux à vapeur, consisterait dans une bonne disposition de chaudières; car toutes celles qui sont employées ont de graves inconvénients, ou par leur faible résistance, ou par leur poids, ou par la trop grande place qu'elles occupent, ou par la difficulté du nettoyage. Le problème est plus difficile à résoudre que pour les chaudières fixes, parce qu'il y a plus de conditions à remplir; mais il est d'une grande importance et mérite de fixer l'attention des ingénieurs. Les chaudières de M. Perkins (969) satisferaient probablement mieux à toutes les conditions exigées que les chaudières employées; à la vérité, elles seraient d'un prix plus élevé que les chaudières ordinaires, parce qu'elles renferment deux systèmes de surfaces de chauffe; mais on pourrait donner aux chaudières à vapeur des formes cylindriques qui occuperaient moins de place et seraient plus résistantes, les incrustations seraient sans influence, et, avec la même étendue de



surface de chauffe directe, on parviendrait probablement, par un arrangement convenable des tubes, à refroidir plus l'air brûlé qu'avec les dispositions ordinaires. Mais il serait important de vérifier si tous les combustibles, et principalement la houille, pourraient être employés avec autant d'avantage que le coke, dont on a exclusivement fait usage jusqu'ici pour ce mode de chauffage, et si, en augmentant la hauteur du circuit, et par suite la vitesse de circulation, il ne serait pas possible de produire le même effet utile avec une moindre étendue dans les deux systèmes de surfaces de chauffe.

1065. Quant aux générateurs des locomotives, il est peu probable qu'on puisse leur donner une disposition plus convenable. Seulement on parviendrait à leur faire produire un plus grand effet utile en augmentant l'étendue des surfaces de chauffe, et surtout en déterminant par quelques expériences la hauteur la plus convenable du combustible sur la grille. Je regarde comme bien probable que les houilles sèches d'une consistance suffisante et en fragments peu différents de ceux du coke, se comporteraient comme ce dernier combustible et produiraient une économie notable, attendu qu'à poids égal les prix du coke et des houilles sèches sont dans un rapport plus grand que celui de leurs puissances calorifiques.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE PREMIER VOLUME.

CHAPITRE I. PRINCIPAUX FAITS RELATIFS A LA THÉORIE PHYSIQUE DE LA CHALEUR.

§ 1. Température, thermomètres.....	1
2. Calorique rayonnant.....	7
3. Propagation de la chaleur à travers les corps.....	10
4. Lois du réchauffement et du refroidissement.....	11
5. Dilatation des corps.....	11
6. Des vapeurs.....	18
7. Chaleurs spécifiques.....	28
8. Changements d'état des corps.....	33
9. Sources de chaleur et de froid.....	37
10. Densités.....	39

CHAPITRE II. DE LA COMBUSTION ET DES COMBUSTIBLES.

§ 1. De la combustion en général.....	41
2. Des combustibles en général et des méthodes employées pour déterminer leur puissance calorifique et leur pouvoir rayonnant.....	47
3. Des bois.....	54
4. Charbon de bois.....	64
5. Tannée.....	78
6. Tourbe.....	79
7. Charbon de tourbe.....	83
8. Combustibles fossiles : lignites, houilles, anthracites.....	85
9. Coke.....	103
10. Détermination des volumes d'air nécessaires pour brûler les différents combustibles, et des volumes de gaz qui s'échappent.....	107
11. Comparaison des différents combustibles.....	113

CHAPITRE III. ÉCOULEMENT DES GAZ COMPRIMÉS.

§ 1. Vitesse d'écoulement d'un gaz comprimé qui s'écoule par un orifice percé en mince paroi ou par un court ajutage.....	127
---	-----

2. Vitesse d'écoulement d'un gaz comprimé lorsqu'il s'écoule par de longs tuyaux de conduite. 132
 3. Appareil destiné à mesurer directement la vitesse d'écoulement d'un gaz. 137

CHAPITRE IV. MOUVEMENTS DE L'AIR CHAUD.

- § 1. Vitesse due à la pression. 140
 2. Vitesse d'écoulement de l'air chaud dans un canal cylindrique complètement ouvert à ses deux extrémités. 143
 3. Vitesse d'écoulement de l'air chaud dans une cheminée rétrécie à la partie supérieure. . 150
 4. Vitesse d'écoulement de l'air chaud dans une cheminée rétrécie à la partie inférieure. . . 152
 5. Mouvements de l'air dans des cheminées de différentes formes. 159
 6. Détermination de la vitesse d'écoulement de l'air dans une cheminée précédée d'un circuit d'une forme quelconque. 161
 7. Effets produits par la rencontre des courants. 162
 8. Pressions exercées par les gaz en mouvement contre les tuyaux de conduite. 164
 9. Maximum de tirage des cheminées. 165

CHAPITRE V. DES CHEMINÉES.

- § 1. Détermination des dimensions des cheminées. 168
 2. Chaleur perdue par l'air brûlé. 182
 3. Construction des cheminées. 184
 4. Influence de l'état de l'atmosphère sur le tirage des cheminées. 195
 5. Appareils destinés à soustraire le tirage des cheminées à l'influence des vents et de la pluie. 202
 6. Appareils dans lesquels le tirage a lieu avant que l'effet utile de la chaleur soit produit, ou pendant que la chaleur passe dans le corps qui doit être échauffé. 208

CHAPITRE VI. MOUVEMENTS DE L'AIR PRODUITS PAR DES MACHINES
OU PAR DES JETS DE VAPEUR.

- § 1. Comparaison des effets utiles produits directement par la chaleur et par les machines. . 211
 2. Ventilateur à force centrifuge. 215
 3. Vis d'Archimède. 233
 4. Mouvement de l'air produit par une injection de vapeur. 234

CHAPITRE VII. DES FOYERS.

- Grilles - Dimensions* 240
 § 1. Foyers à flamme droite. 237
 2. Foyers à flamme renversée. 247
 3. Foyers intérieurs. 248
 4. Foyers fumivores. 248
 5. Foyers à injection de vapeur ou d'air. 264
 6. Foyers à houilles sèches et à anthracites. 265
 7. Foyers dans lesquels la combustion est produite par des courants d'air à grande vitesse. 274
 8. Foyers à air chaud. 275
 9. Foyers à goudron. 276
 10. Foyers à gaz. 277
 11. Considérations générales sur les foyers. 279



CHAPITRE VIII. TRANSMISSION DE LA CHALEUR 284

CHAPITRE IX. VAPORISATION..... 296

§ 1. Des chaudières.....	298
2. Indicateurs de niveaux.....	317
3. Manomètres.....	325
4. Soupapes de sûreté.....	336
5. Thermomètres, plaques fusibles, plaques élastiques.....	351
6. Appareils d'alimentation.....	359
7. Appareils pour séparer de la vapeur l'eau qu'elle entraîne.....	373
8. Tuyaux d'écoulement de la vapeur.....	376
9. Fourneaux.....	379
10. Règlements relatifs aux chaudières à vapeur.....	386
11. Conduite de l'opération.....	388
12. Différentes dispositions des chaudières à vapeur.....	397
13. Chaudières chauffées par la chaleur perdue de l'air brûlé ou des gaz combustibles qu'il renferme.....	422
14. Explosions des chaudières à vapeur.....	431
15. Améliorations dont les chaudières à vapeur sont susceptibles.....	448

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE PREMIER VOLUME.



ULTIMHEAT[®]
VIRTUAL MUSEUM



Tout exemplaire qui ne sera pas revêtu de la griffe de l'auteur et de celle de l'éditeur sera réputé contrefait.

Delet

L. Hachette

DE LA CHAIR

CHAPITRE

DES APPLICATIONS