

CHAPITRE II

CHAUDIÈRE

27. Dispositions essentielles de la chaudière de locomotive. — Toute *chaudière* qui sert à produire la vapeur se compose d'un *foyer* et d'un récipient clos contenant l'eau à chauffer. Le foyer doit être assez grand pour qu'on puisse y brûler une quantité suffisante de combustible, suivant la production de vapeur qu'on veut obtenir ; pour que la chaleur produite par cette combustion soit bien utilisée, il faut que la surface chauffée du récipient, dite *surface de chauffe*, ait une étendue suffisante.

Le foyer de la locomotive (fig. 20) est une sorte de caisse, formée de quatre parois à peu près verticales, et d'un fond supérieur ou *ciel* : la *grille* est installée à la partie inférieure de cette caisse. Dans la plupart des locomotives, la largeur de la grille est limitée, par les roues, à un mètre environ, et sa longueur ne peut guère dépasser 2 mètres ou 2^m,50, ce qui fait une surface de 2 à 2,5 mètres carrés. Cette grille serait beaucoup trop petite pour brûler la quantité de charbon nécessaire, si on n'activait pas la combustion au moyen d'un soufflet énergique, formé par la vapeur qui s'échappe des cylindres après avoir poussé les pistons : cette *vapeur d'échappement* sort avec une grande vitesse par une *tuyère* placée sous la *cheminée* et fait un puissant appel d'air à travers le foyer.

Le foyer est monté à l'intérieur d'une caisse en tôle plus grande, qu'on appelle *boîte à feu* ; un *cadre* en fer réunit les bases des deux boîtes. Le ciel et les parois latérales du foyer sont entourés d'eau, excepté à l'endroit du trou qui reçoit la *porte*.

Il ne suffirait pas de compenser les dimensions restreintes de la surface de grille par l'emploi de l'échappement, si on ne pouvait avoir une grande surface de chauffe dans une chaudière petite et légère. L'ingénieur français Séguin, par sa belle invention de la *chaudière tubulaire*, a résolu le problème. Les gaz chauds que produit le foyer passent à travers un grand nombre de *tubes* de faible diamètre, qui les amènent, refroidis, dans la *boîte à fumée*. La surface de chauffe d'un tube, qui a 40 millimètres de diamètre à l'intérieur et 4 mètres de longueur, est de un demi-mètre carré : 200 de ces tubes donnent donc 100 mètres carrés ; et il faut y ajouter la surface du foyer.

Les tubes, emmanchés dans la *plaque tubulaire* du foyer, traversent l'eau qui remplit le *corps cylindrique* de la chaudière ; l'eau doit tou-

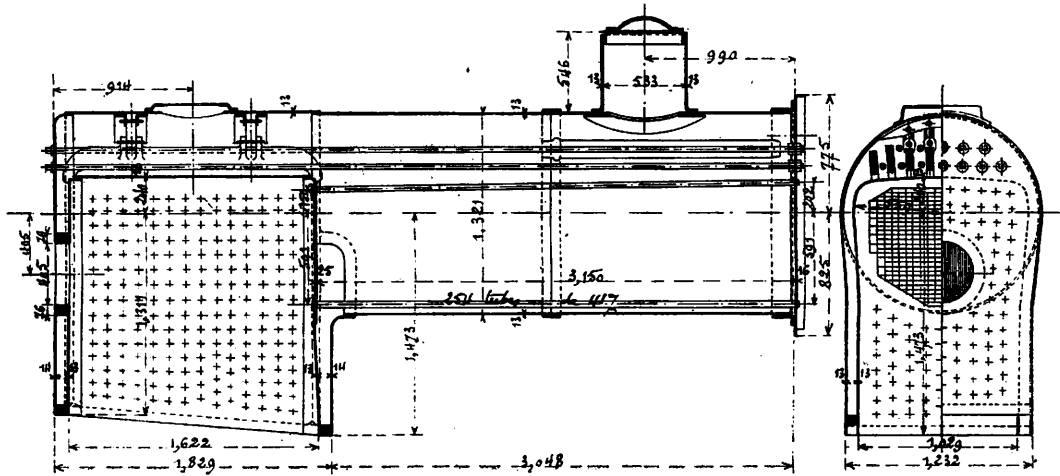


Fig. 20. — Chaudière de locomotive du Great Eastern railway, sans la boîte à fumée.

jours recouvrir le foyer et les tubes ; il reste au-dessus de l'eau un espace pour la vapeur, dans le haut de la boîte à feu et du corps cylindrique. A l'avant, le corps cylindrique est séparé de la boîte à fumée par la *plaque tubulaire de boîte à fumée*.

Le corps cylindrique est formé de plusieurs anneaux ou *viroles* en tôle, que des rivures assemblent. Ces viroles peuvent être alternativement de diamètre plus grand et plus petit. Dans les chaudières *télescopiques*, le diamètre des viroles diminue successivement de l'arrière à l'avant, de sorte qu'il n'y reste pas d'eau quand on vide la chaudière par le bas de la boîte à feu. Enfin, avec l'assemblage par *couvre-joints*, comme sur la figure 20, toutes les viroles ont même diamètre.

En résumé, la chaudière de locomotive est caractérisée par la vivacité de la combustion, due à l'échappement, et par la grande surface de chauffe sous un petit volume, due à la disposition tubulaire.

La chaudière de locomotive est construite en tôles de fer ou d'acier doux, sauf le foyer qui, d'après la pratique européenne, est généralement en feuilles de cuivre. Les tubes sont en laiton, en fer ou en acier : on abandonne aujourd'hui le laiton, à cause de son prix élevé.

La chaudière est soumise à la pression de la vapeur : il est nécessaire qu'elle ait une résistance largement suffisante pour supporter cette pression. Les parties à section circulaire, comme le corps cylindrique, résistent bien à une pression intérieure, pourvu que la tôle ait une épaisseur convenable ; mais les feuilles planes ne sauraient supporter la pression sans être raidies par des armatures fixées de distance en distance. Les armatures existent dans le haut de la plaque tubulaire de la boîte à fumée et de la plaque arrière de la boîte à feu ; souvent aussi le ciel du foyer est fixé à des armatures dites *fermes*. Le ciel du foyer d'une locomotive, s'il a une surface de deux mètres carrés, supporte 240 000 kilogrammes, quand la pression est de 12 kg par cm² : c'est souvent cinq fois le poids de la locomotive. Lors de l'épreuve à la presse hydraulique, cette charge atteint 360 000 kilogrammes.

Lorsqu'il y a deux faces planes parallèles, comme celles du foyer et de la boîte à feu, on les réunit au moyen d'une série d'*entretoises* qui les fixent l'une à l'autre.

28. Foyers. — Ainsi que nous venons de le dire, en Europe, on emploie habituellement le cuivre pour les foyers de locomotive ; aux États-Unis, ils sont toujours construits en feuilles d'acier minces. Il faut un peu plus de soins pour tenir en bon état les foyers d'acier, mais les mêmes précautions conviennent pour ceux en cuivre et peuvent se résumer ainsi : éviter tout refroidissement brusque par courants d'air dans le foyer ou par lavage précipité à l'eau froide.

La figure 21 représente le cadre en fer qui assemble le foyer avec la base de la boîte à feu extérieure, et la figure 22 les *entretoises* en cuivre, ou en acier aux États-Unis, qui réunissent les faces planes

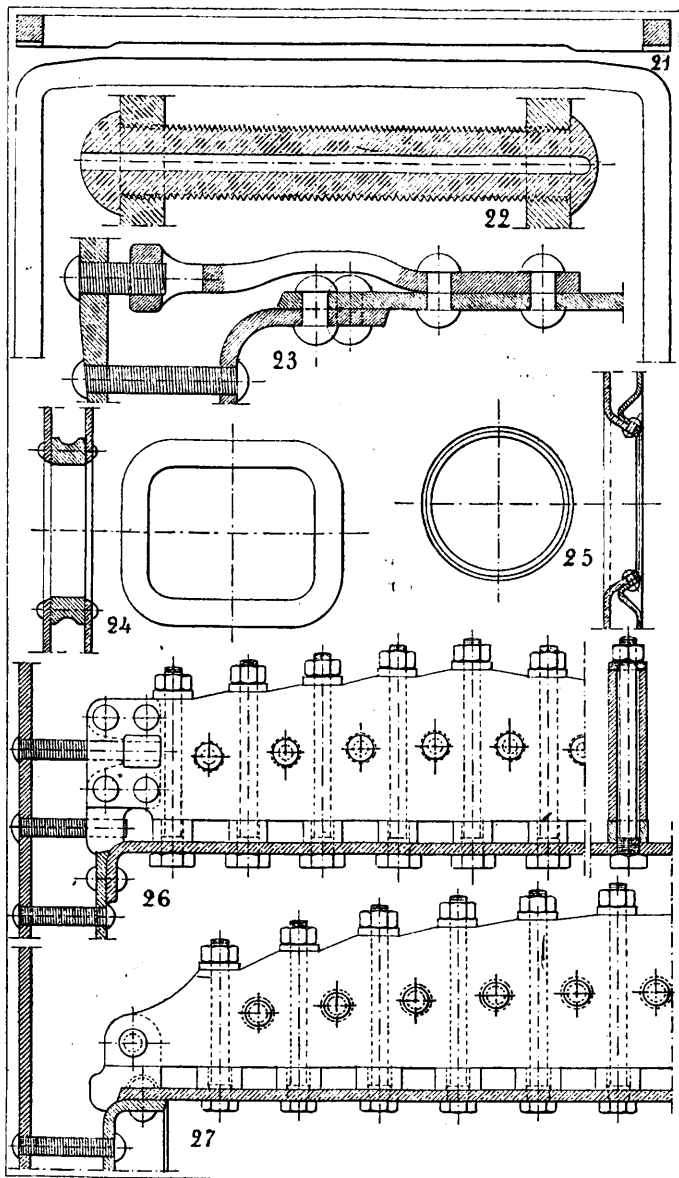


Fig. 21. Cadre de bas de foyer. — Fig. 22. Entretoise. — Fig. 23. Attache du foyer au-dessous des tubes. — Fig. 24. Cadre de porte. — Fig. 25. Ouverture de porte à bords emboutis. — Fig. 26. Fermes transversales. — Fig. 27. Fermes longitudinales.

parallèles du foyer et de la boîte à feu. Le trou percé dans l'entretoise pour en annoncer la rupture est bouché vers l'extérieur, de manière à éviter une rentrée d'air; il laisse fuir l'eau dans le foyer si elle vient à se rompre : le mécanicien doit signaler le fait dès sa rentrée au dépôt, pour que l'entretoise rompue soit remplacée. Il ne faut pas dissimuler l'avarie en bouchant le trou ou le laissant se boucher par le tartre, car si la rupture d'une seule entretoise n'est pas dangereuse, les entretoises voisines, qui reçoivent la charge de celle qui est rompue, fatiguent davantage et risquent de rompre successivement.

Une attache spéciale (fig. 23) est nécessaire pour fixer la paroi plane du foyer en dessous des tubes.

L'ouverture de la porte est entourée d'un cadre en fer (fig. 24), ou bien les tôles sont *embouties* et rivées (fig. 25).

La consolidation la plus difficile est celle du *ciel*. Souvent on le suspend à des *poutrelles* ou *fermes* transversales (fig. 26) ou longitudinales (fig. 20 et 27), qui reposent elles-mêmes sur les parois verticales du foyer. La figure 26 représente une disposition toute spéciale de quelques locomotives du chemin de fer de l'Est, où une paroi plane de la boîte à feu est rattachée, par des entretoises vissées, à la poutrelle. Quelquefois les fermes transversales sont prolongées et peuvent reposer sur des consoles rivées contre la paroi de la boîte à feu (fig. 28); lors de l'allumage, la dilatation soulève le haut du foyer et les fermes quittent les consoles; mais la pression rétablit le contact, comme l'ont prouvé des expériences récemment exécutées dans les ateliers des chemins de fer de l'Ouest.

Les fermes longitudinales sont fréquemment rattachées au berceau cylindrique de la boîte à feu (fig. 20).

D'autres fois, on entretoise directement le ciel du foyer et le dessus de la boîte à feu par des *tirants*, quand la boîte à feu est plate à sa partie supérieure (fig. 29), et même lorsqu'elle forme un berceau cylindrique (fig. 30).

Les tirants sont vissés dans les tôles et munis d'écrous, ainsi que le montrent les figures 29 et 30; parfois on en rive les têtes, comme celles des entretoises latérales. Il convient que la première ligne de ces tirants, vers l'avant du foyer, ne soit pas trop rapprochée de la rivure du ciel sur la plaque tubulaire, afin de ne pas gêner les petits mouvements dus à la dilatation de la plaque par la chaleur; quelquefois, les premiers tirants sont formés de deux parties articulées, qui permettent le soulèvement du foyer. Cette disposition donne probablement des effets analogues à ceux que nous venons d'indiquer pour les fermes posées sur des corbeaux.

Toujours pour permettre la dilatation de la plaque, on a remplacé, lors de plusieurs constructions récentes, les premiers rangs de tirants verticaux par une ou deux fermes transversales.

Les foyers s'usent de diverses manières. Une *corrosion extérieur*

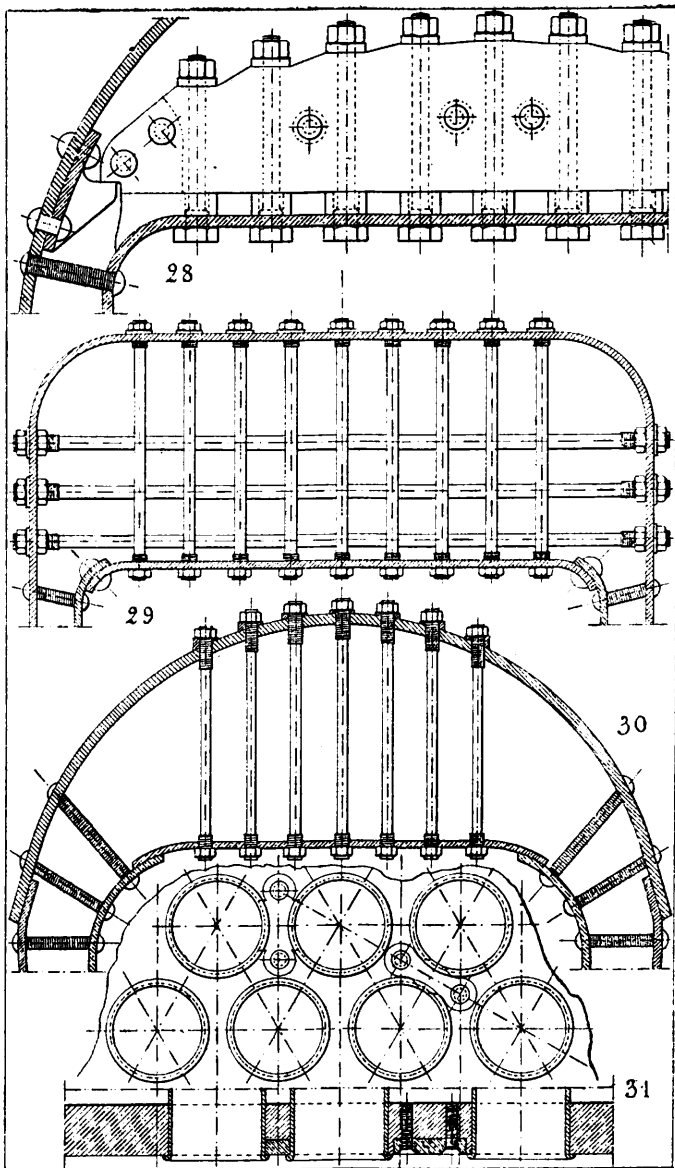


Fig. 28. — Fermes transversales, sur consoles. — Fig. 29. Entretôisement direct du ciel de foyer. — Fig. 30. Entretôisement direct sur berceau cylindrique. — Fig. 31. Réparation des cassures de plaques tubulaires.

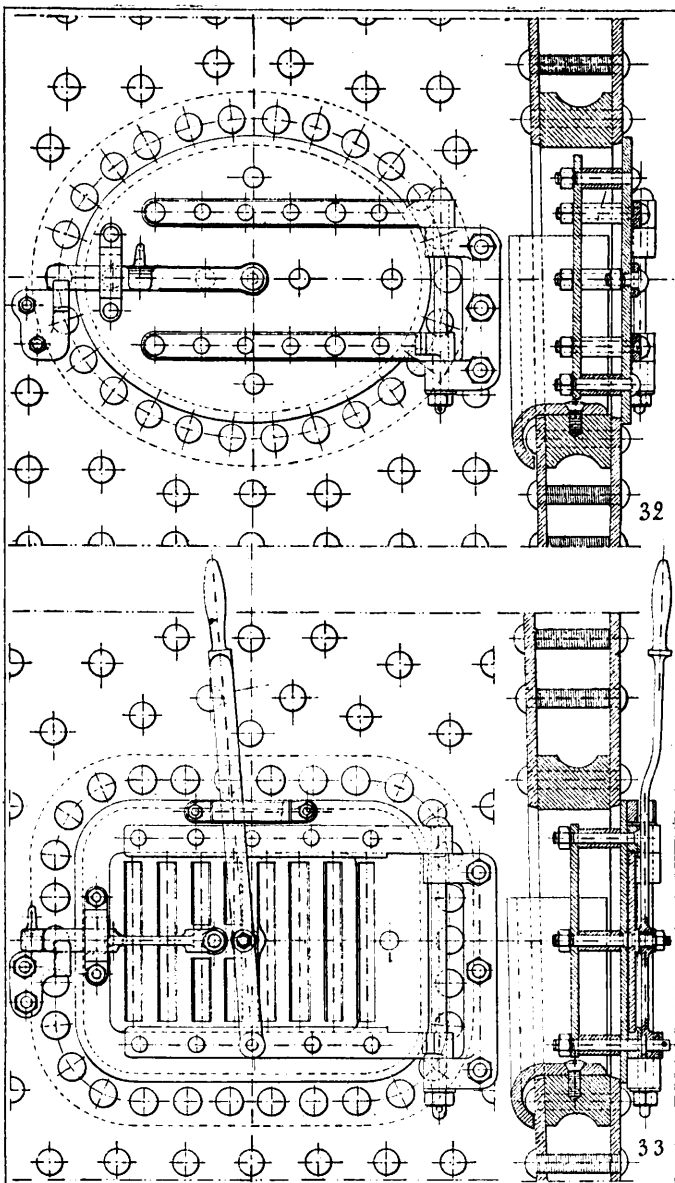


Fig. 32. — Porte de foyer à cadre ovale.

Fig. 33. — Porte de foyer avec entrée d'air, de la compagnie de l'Est.

amincit progressivement les tôles au contact du combustible. L'excès de température des tôles, dû à la présence d'incrustations sur leur face interne, cause des *capitonnages* entre les entretoises. Enfin des cassures se produisent dans les angles, aux trous d'entretoises, autour de la porte, et surtout entre les trous de la plaque tubulaire. Des pièces peuvent être posées aux parties criquées et des cornières en cuivre dans les angles fendus. Les parties capitonnées et non criquées sont redressées. Si on peut remplacer la partie avariée par une pièce, la réparation est meilleure que si on recouvre seulement cette partie. Pour ces réparations, on emploiera de préférence des rivets en fer ou en cuivre, sinon des goujons en cuivre rivés sur la paroi en contact avec la flamme, ou des vis.

Les cassures entre les trous de la plaque tubulaire peuvent être réparées par des pièces en forme de 8, épaisses de 6 à 8 millimètres et fixées par deux goujons de 6 millimètres environ (fig. 31). Dans les ateliers du chemin de fer de l'Est, on permet la pose de 6 à 8 pièces de ce genre, en deux ou trois zones différentes de la plaque.

29. Porte de foyer. — La porte de foyer peut être disposée de bien

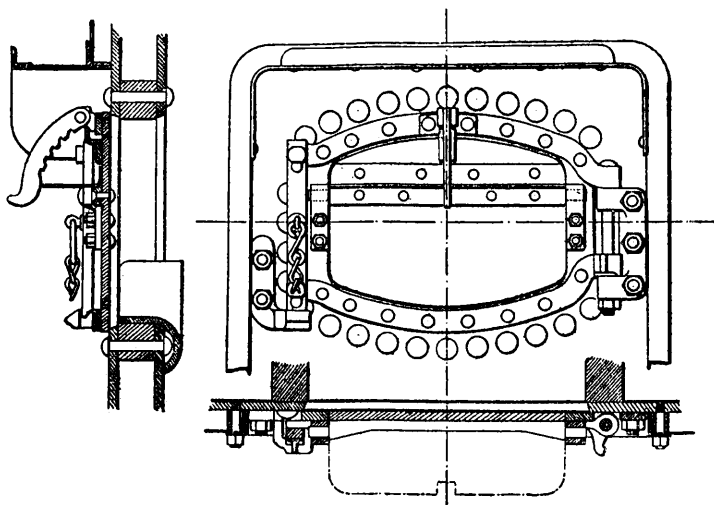


Fig. 33 bis. — Porte de foyer à volet, de la compagnie de l'Ouest.

des manières différentes. La figure 32 représente une porte à cadre ovale. La figure 33 est un type de la compagnie de l'Est; une *contre-porte* préserve la porte de l'action du feu; un *registre* à coulisse per-

met d'ouvrir à l'air un passage plus ou moins grand. L'admission d'air par la porte est utile pour la combustion des houilles très gazeuses ou chargées en couche épaisse, et elle empêche la fumée.

La figure 33 *bis* est un type de la compagnie de l'Ouest. Le volet mobile en tôle, qu'on peut fixer dans une position plus ou moins inclinée, donne dans le foyer une entrée d'air, qu'il dirige à la façon du *défecteur* qu'on voit sur les figures 41 à 43. La tôle rivée en saillie sur ce volet préserve alors le personnel du rayonnement du foyer, et permet la manœuvre de l'appareil avec le pied.

Une garniture en fonte ou en fer, dite *pare-ringard*, recouvre la partie inférieure de la rivure du cadre de la porte, et la préserve du choc des outils qui servent à piquer le combustible.

30. Grille. — La grille doit être appropriée au combustible qu'elle brûle : les deux éléments principaux de la grille sont l'*épaisseur* et l'*écartement* des barreaux, qui déterminent la section de passage de l'air et la grosseur des fragments qu'elle laisse tomber.

Les *barreaux* sont en fer ou en fonte, et reposent sur des *sommiers* transversaux en fer (fig. 34). Ces sommiers ne doivent pas buter contre les parois du foyer, parce que la chaleur les allonge : alors ils se plieraient ou bien ils écarteraient les parois. En coupe transversale, les barreaux doivent s'amincir vers le bas, afin que les fragments de combustible ne s'arrêtent pas entre eux.

Les gros barreaux en fer (fig. 35) ont des têtes forgées qui déterminent l'écartement. Les petits barreaux en fer sont souvent rivés par groupes de deux ou plusieurs (fig. 36), avec des cales entre eux. La fonte forme également des groupes de plusieurs barreaux (fig. 37).

On dispose souvent dans les grilles de locomotive une partie mobile dite *jette-feu* (fig. 38), qui facilite le décrassage et l'enlèvement des mâchefers. A défaut de cette partie mobile, on fait sauter quelques barreaux quand on veut jeter le feu, opération qui doit être fort rare.

Les barreaux ne garnissent pas toujours complètement les angles ou les côtés de la grille : les vides qu'ils laissent ont une influence fâcheuse, en permettant la chute du combustible et surtout en laissant passer des courants d'air nuisibles. Il faut avoir soin de les boucher avec des mâchefers ou des fragments de briques réfractaires.

Il convient que la grille laisse tamiser l'air à travers toute la masse du combustible ; la grosseur et l'écartement des barreaux doivent varier suivant sa nature : des barreaux écartés sont forcément assez gros, car ils doivent supporter chacun une charge de combustible plus forte que lorsqu'ils sont rapprochés ; minces et peu écartés, les barreaux donnent passage à des nappes d'air plus nombreuses et ne laissent tomber que de petits fragments de combustible. On peut

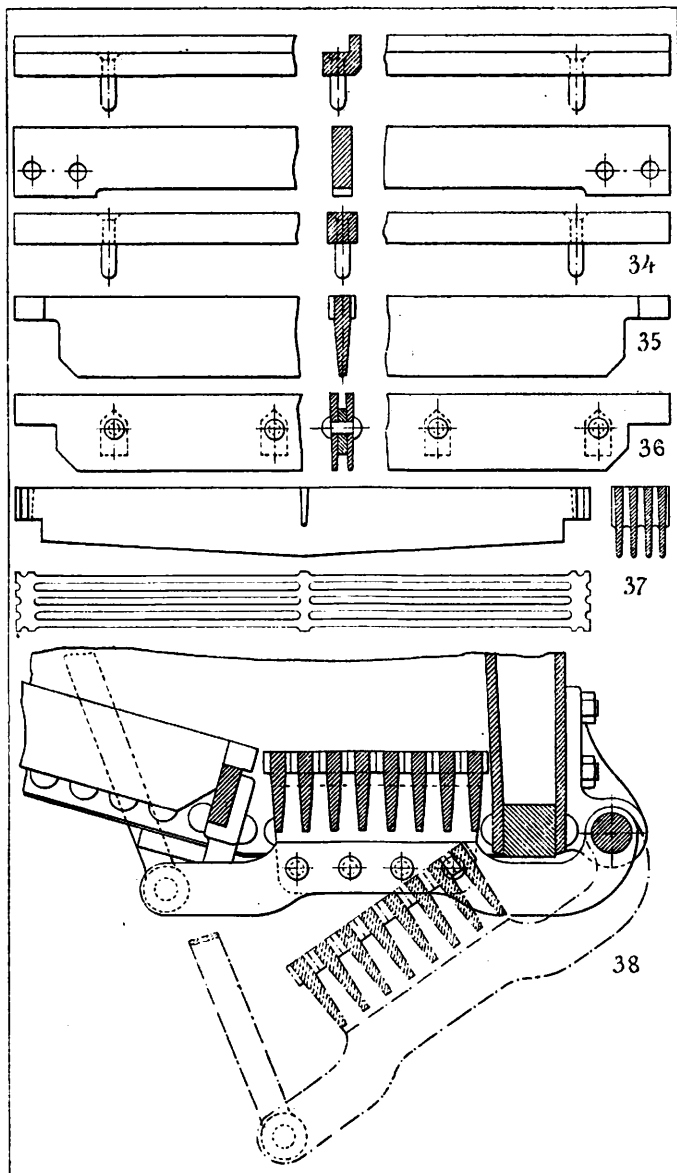


Fig. 34. Sommiers de grille. — Fig. 35. Gros barreau en fer. — Fig. 36. Barreaux minces en fer, rivés. — Fig. 37. Barreaux en fonte. — Fig. 38. Jette-feu.

dire qu'en principe il est avantageux de composer les grilles de barreaux aussi minces qu'on le peut ; bien qu'étant fort rapprochés, ces barreaux peuvent laisser une grande section de passage à l'air. Certains combustibles encrasseront peut-être les grilles ainsi constituées un peu plus vite que les gros barreaux fort espacés, et le nettoyage pourra être plus difficile : mais il faut bien vérifier ces inconvénients avant de condamner les barreaux minces. Un autre avantage de ces barreaux minces est qu'ils s'échauffent moins que les gros, parce que l'air froid qui en balaye la surface les refroidit mieux.

Une épaisseur de 8 à 10 millimètres avec un vide égal paraît convenable pour les combustibles généralement employés par la compagnie de l'Est. Les grilles des compagnies de Lyon et de l'Ouest sont formées de barreaux en fer rivés par groupes avec des vides et des pleins de 10 mm.

Au lieu d'être composées de barreaux ordinaires, les grilles de certaines locomotives affectent bien des dispositions diverses, dont nous dirons quelques mots.

On a cherché à préserver les barreaux de l'action d'une chaleur trop forte, qui les déforme et en altère le métal. Les tôles des chaudières ne s'échauffent pas trop parce qu'une de leurs faces est refroidie par l'eau : on peut appliquer le même principe aux barreaux des grilles : pour les préserver de l'action d'une température trop élevée, on les forme de tubes dans lesquels circule l'eau de la chaudière. Mais les joints de ces tubes avec les parois du foyer sont une cause de fuites, puis il peut être difficile d'assurer la circulation de l'eau dans ces tubes et d'éviter qu'ils ne se bouchent ; cependant ces barreaux creux sont usités sur des locomotives américaines.

Dans la *grille à gradins*, une série de lames plates sont disposées les unes au-dessus des autres, se recouvrant en partie ; elles forment comme les marches d'un escalier dépourvu de contre-marches. L'air pénètre entre ces lames, et le combustible, si fin qu'il soit, ne peut tomber quand le recouvrement des lames est suffisant.

Pour éviter que les mâchefers n'empâtent les barreaux, on construit des grilles dont les barreaux sont mobiles : par exemple, si nous supposons numérotés les barreaux, tous ceux qui ont un numéro pair s'abaisseront tandis que ceux de numéros impairs s'élèveront, et vice versa. Les barreaux peuvent avoir aussi des déplacements en long. Les nombreux systèmes de *grilles à secousses*, de *grilles oscillantes*, établies sur ce principe, sont commodes pour brûler certains combustibles ; mais, en général, ces appareils ont le défaut d'être un peu trop compliqués et encombrants pour une locomotive.

31. Cendrier. — Autrefois les locomotives n'étaient pas munies de cendriers ; on en voit encore qui ne possèdent pas cet appendice. Les cendriers ont été construits pour empêcher la projection des escarbilles : parfois on se contente, à cet effet, d'installer en dessous

du cadre du foyer des tôles verticales qui descendent assez bas. On ne peut guère placer ces tôles à moins de 12 centimètres de la surface du rail, et encore faut-il échancrer les parois transversales, afin qu'elles ne touchent pas les chapeaux qui recouvrent les pivots de plaques tournantes.

Le cendrier complet, muni d'un fond qui s'étend sous toute la grille, est plus efficace : il ne présente d'ouverture qu'à l'avant et à

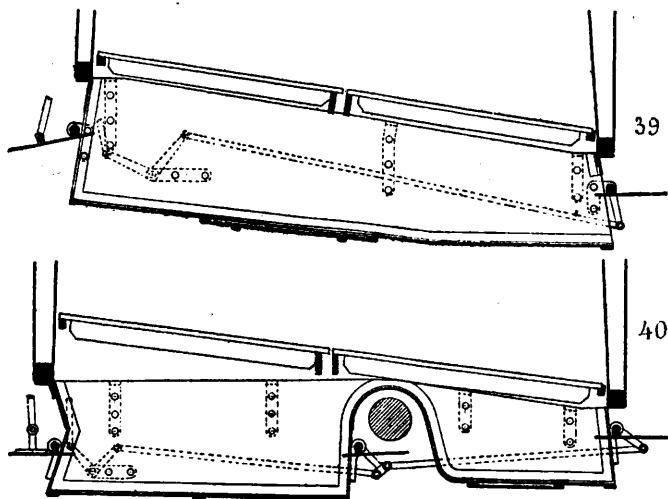


Fig. 39. Cendrier. — Fig. 40. Cendrier à plusieurs portes.

l'arrière (fig. 39) et ces ouvertures peuvent être fermées par des portes ; le cendrier n'est plus alors seulement un appareil de sécurité, mais il permet de modérer le tirage pendant les stationnements et en marche. Il convient à cet effet que le cendrier ne présente aucune ouverture anormale et que les portes ferment hermétiquement.

Lorsque la locomotive circule, comme d'habitude, cheminée en avant, pour obtenir un bon tirage, on ouvre la porte à l'avant du cendrier et on ferme celle d'arrière. Avec la position inverse de ces portes, l'air s'embarque un peu moins facilement dans le cendrier, et surtout le feu a tendance à devenir plus actif vers l'arrière du foyer, tandis qu'on préfère avoir la zone de combustion la plus vive à l'avant, loin de la porte de chargement. Cette dernière circonstance pourra conduire à ne pas modifier la position des portes, c'est-à-dire à maintenir fermée celle d'arrière, dans la marche cheminée en arrière, si le tirage est néanmoins suffisant.

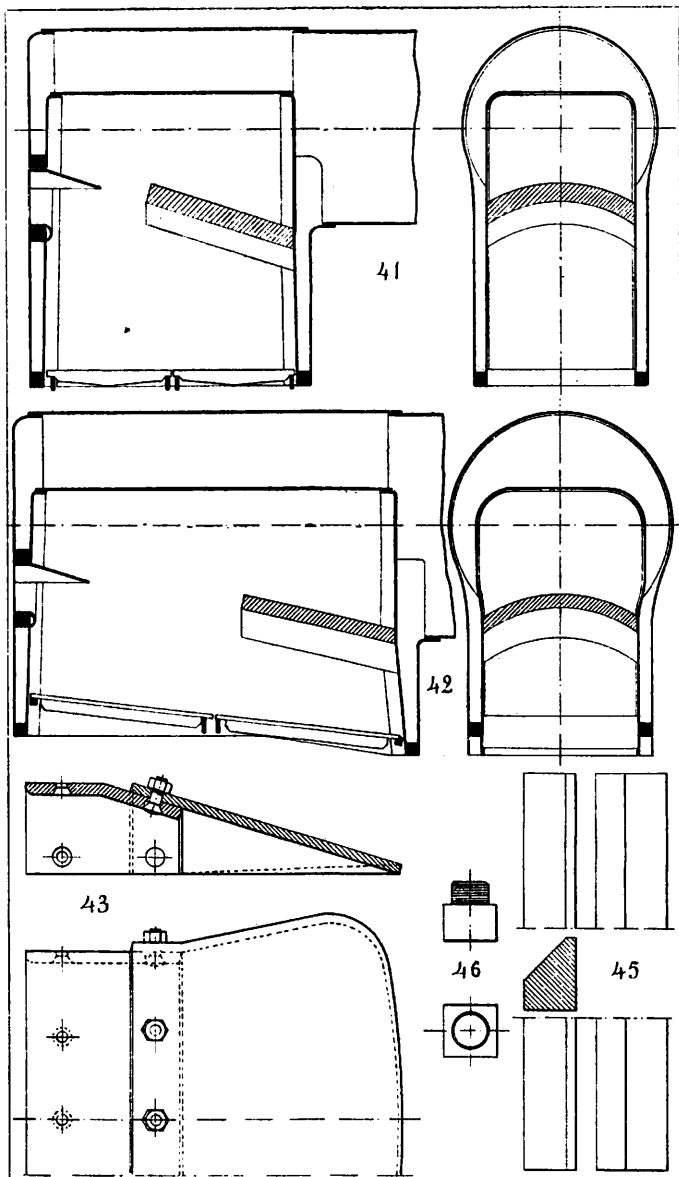


Fig. 41. Voûte en briques. — Fig. 42. Voûte en briques dans un foyer peu profond. — Fig. 43. Déflecteur. — Fig. 45. Sommier de voûte en fer. — Fig. 46. Vis support de sommier.

Quand un essieu passe sous la grille, le cendrier fermé devient assez compliqué : quelquefois on munit chacune des parties séparées par l'essieu d'une porte spéciale (fig. 40).

On voit sur les dessins, dans le fond des cendriers, une ouverture fermée par une tôle mobile ; cette ouverture est destinée à rendre facile la visite du foyer, sans démontage du cendrier. Les portes mobiles sont figurées ouvertes.

On doit avoir soin d'enlever fréquemment les cendres qui s'accumulent dans les cendriers, surtout quand il y a peu de hauteur entre le fond du cendrier et les barreaux de grille ; sinon les cendres gênent le passage de l'air et les escarbilles chaudes brûlent les barreaux.

Il faut aussi surveiller les écrous qui attachent le cendrier au-dessous du cadre, pour qu'il ne risque pas de tomber sur la voie.

32. Voûte en briques. — L'usage d'une voûte en briques dans les foyers de locomotives, général en Angleterre depuis longtemps, s'est beaucoup répandu en France dans les dernières années. Cette voûte (fig. 41) est placée un peu au-dessous de l'embouchure des tubes ; elle est inclinée vers l'avant, et recouvre environ la moitié de la grille.

La voûte convient surtout dans les foyers profonds ; avec les grilles voisines des tubes (fig. 42), elle ne doit pas être trop longue, sinon elle ralentit la combustion à l'avant de la grille.

On combine souvent, avec la voûte, une entrée d'air par la porte du foyer, et un *défecteur* en fonte ou en tôle (fig. 41 à 43) rabat cet air perpendiculairement au courant des gaz chauds donnés par le combustible. Ce déflecteur se brûle assez rapidement : ce doit être une pièce simple et facile à remplacer. Le volet de la figure 33 *bis* est moins exposé à l'action destructive du feu.

Une petite ouverture ménagée au-dessus de la porte, sur les locomotives du chemin de fer de Lyon, permet de regarder la plaque tubulaire et de se rendre compte de la combustion des gaz. Sur la figure 78 *bis*, on voit le clapet qui ferme cette ouverture.

La voûte est construite avec des *briques à couteau* (fig. 44), c'est-à-dire avec faces non parallèles, de manière à former un *berceau* cylindrique de petit rayon. Les deux rangées extrêmes sont formées de briques spéciales et posent sur un *sommier* en fer (fig. 45), qui s'appuie sur des *vis* à tête carrée (fig. 46). Les briques sont assemblées à l'aide d'un peu de terre argileuse (dite *terre à four*). On ménage à l'avant quelques ouvertures, pour éviter que les escarbilles ne s'y accumulent. On forme quelquefois les voûtes de trois grosses pièces réfractaires (fig. 47).

Les voûtes, employées par la compagnie de l'Ouest dans les foyers profonds, sont construites en briques crues de *kaolin* ; les joints, très minces, sont remplis d'un coulis de même matière.

On construit la voûte sur des madriers supportés par des *cintres*

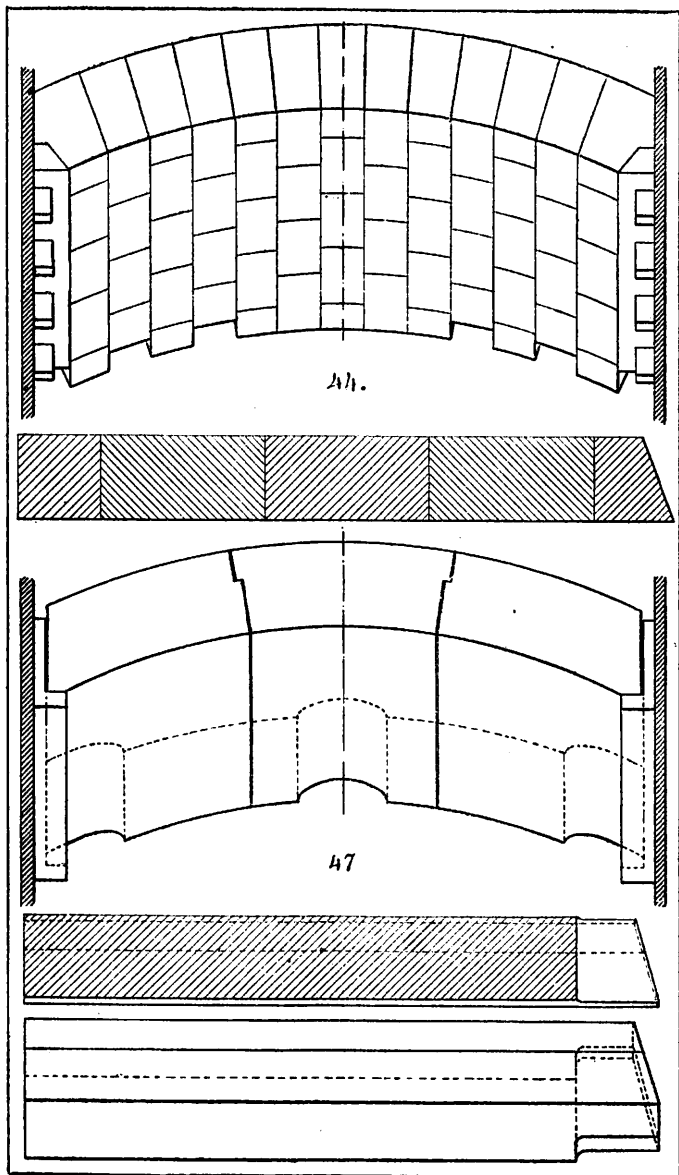


Fig. 44. — Voûte en briques à couteau.
 Fig. 47. — Voûte en grosses pièces réfractaires.

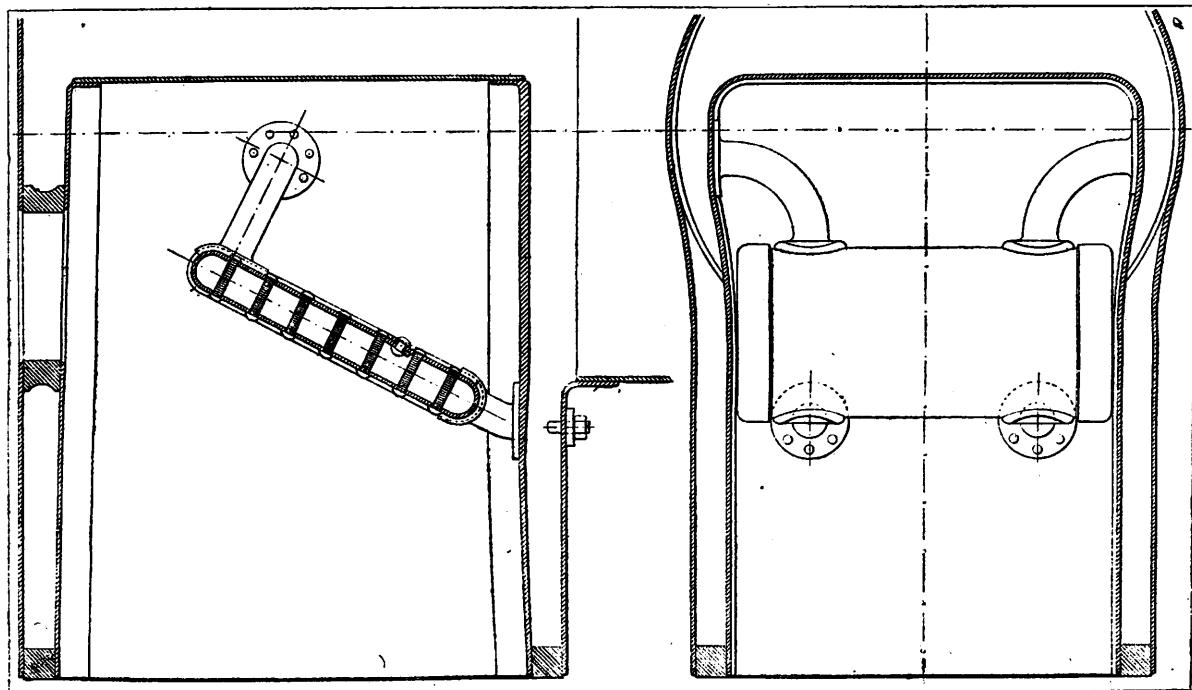


Fig. 48. — Bouilleur Tenbrinck.

légers : il faut la laisser sécher avant d'allumer le feu, qui devra être mené lentement au début pour achever la dessiccation de la maçonnerie. Souvent on commence à cet effet par un petit feu de bois.

Bien construites, avec des matériaux de bonne qualité, les voûtes peuvent durer six mois et même davantage : quand elles menacent ruine, il faut les remplacer sans attendre leur chute sur la grille, qui étouffe à moitié le feu.

La voûte assure la combustion complète des gaz dégagés par la houille, en les mettant bien en contact avec l'air nécessaire pour cette combustion, soit qu'il entre par la porte du foyer, soit même qu'il ait traversé la grille : les courants gazeux sont mélangés ou *brassés*, par les circuits que la voûte les oblige à faire.

En outre, la voûte est fortement chauffée, et, à son tour, elle communique de la chaleur à l'air et aux gaz qui se brûlent. Bien entendu, elle ne produit pas de chaleur, mais elle en recueille, l'emmagasine et la restitue : or les gaz se brûlent d'autant mieux qu'ils sont dans une enceinte maintenue à plus haute température.

Enfin, la voûte a l'avantage de préserver la plaque tubulaire, lorsqu'on ouvre la porte du foyer, des coups d'air froid, qui provoquent des fuites aux tubes. Quand on arrête la machine, elle en ralentit le refroidissement ; ce peut être une gêne pour les lavages, mais en assurant la conservation des chaudières.

33. Bouilleur Tenbrinck. — Le bouilleur Tenbrinck (fig. 48) tient la place d'une voûte en briques. C'est une caisse plate formée de deux feuilles en cuivre parallèles, réunies par des entretoises et par des bords emboutis. Cette caisse communique avec la chaudière par deux ou trois *tubulures* inférieures et deux tubulures supérieures. L'eau est fortement chauffée dans le bouilleur et se transforme en partie en vapeur : il en résulte un mélange plus léger que l'eau pure, qui s'élève par les tubulures supérieures, tandis que l'eau rentre par les tubulures inférieures. Il se produit ainsi une circulation rapide, qui paraît favoriser la transmission de la chaleur.

Des bouchons placés devant les tubulures permettent l'enlèvement des dépôts.

Le bouilleur a le bon effet d'une voûte et paraît même un peu supérieur. Mais il faut beaucoup de soins pour que les joints des tubulures soient bien étanches : c'est un appareil qui peut donner lieu à des fuites fréquentes. En outre, il coûte cher et pèse assez lourd : c'est pourquoi il est rarement employé.

La compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans emploie le bouilleur Tenbrinck au-dessus d'une grille fortement inclinée. Le foyer porte une ouverture de chargement qui règne sur toute sa largeur, à la partie supérieure de cette grille : le combustible est chargé dans une trémie fixée sur cette ouverture et descend spontanément

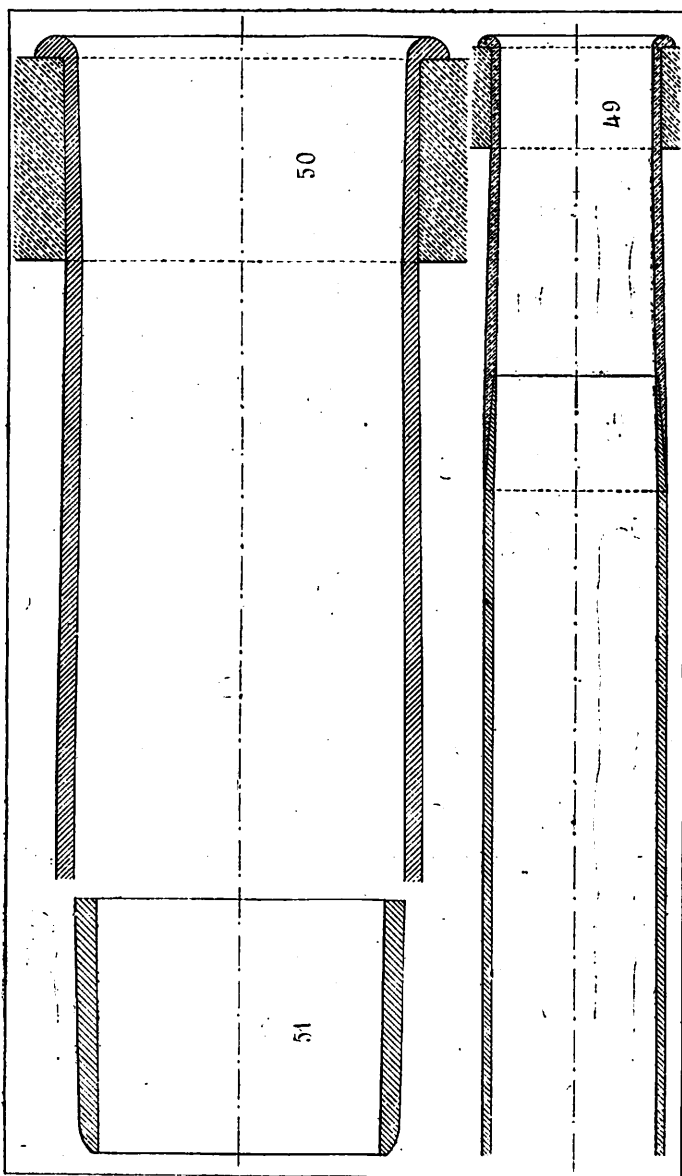


Fig. 49. Tube rabouli en cuivre rouge. — Fig. 50. Tube dudgeonné et rivé.
Fig. 51. — Virole.

jusqu'au bas de la grille à mesure que la combustion s'opère. L'air est admis au-dessus du combustible.

34. Tubes. — Le diamètre extérieur des tubes de locomotive est le plus souvent compris entre 45 et 50 mm ; quelquefois il descend à 40 mm. L'épaisseur est de 2 à 3 mm. Ils sont soit en laiton, soit en fer ou en acier : en service, ces métaux se comportent à peu près de même, mais le laiton coûte plus cher ; aussi beaucoup de compagnies de chemins de fer y renoncent aujourd'hui. Le laiton, chauffé au rouge sombre, devient très fragile : il peut quelquefois atteindre cet état à son emmanchement dans la plaque tubulaire du foyer, et des ruptures en résultent ; aussi soude-t-on souvent aux tubes en laiton un bout en cuivre rouge (fig. 49). On applique aussi parfois ces bouts en cuivre rouge aux tubes en fer. La figure 49 *bis* représente le montage, dans la plaque tubulaire du foyer, d'un tube ainsi rabouté, d'après la pratique de la compagnie de Lyon.

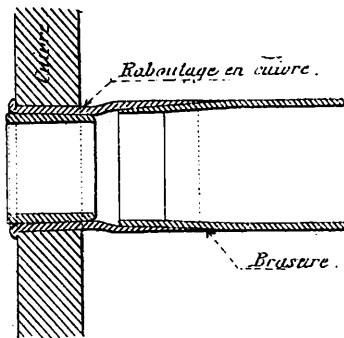


Fig. 49 *bis*. — Tube à air chaud de la compagnie de Lyon (côté du foyer).

La partie délicate de la construction des chaudières tubulaires est la tenue des tubes dans les plaques : si on n'avait pas trouvé de moyens simples et efficaces pour en rendre les emmanchements étanches, il eût fallu renoncer à ce type de chaudière, si ingénieux qu'il fût.

Pour les locomotives, le mandrinage au *dudgeon*, complété par une petite rivure du tube (fig. 50), suffit d'ordinaire, pourvu qu'on évite les refroidissements brusques en service. On peut ajouter des *viroles* (fig. 51) ; on n'en met plus guère du côté de la boîte à fumée ; dans le foyer, on les monte d'avance ou bien on les applique seulement aux tubes où des fuites se déclarent. Comme elles réduisent beaucoup la section de passage des gaz, le mieux est de s'en passer si l'on peut.

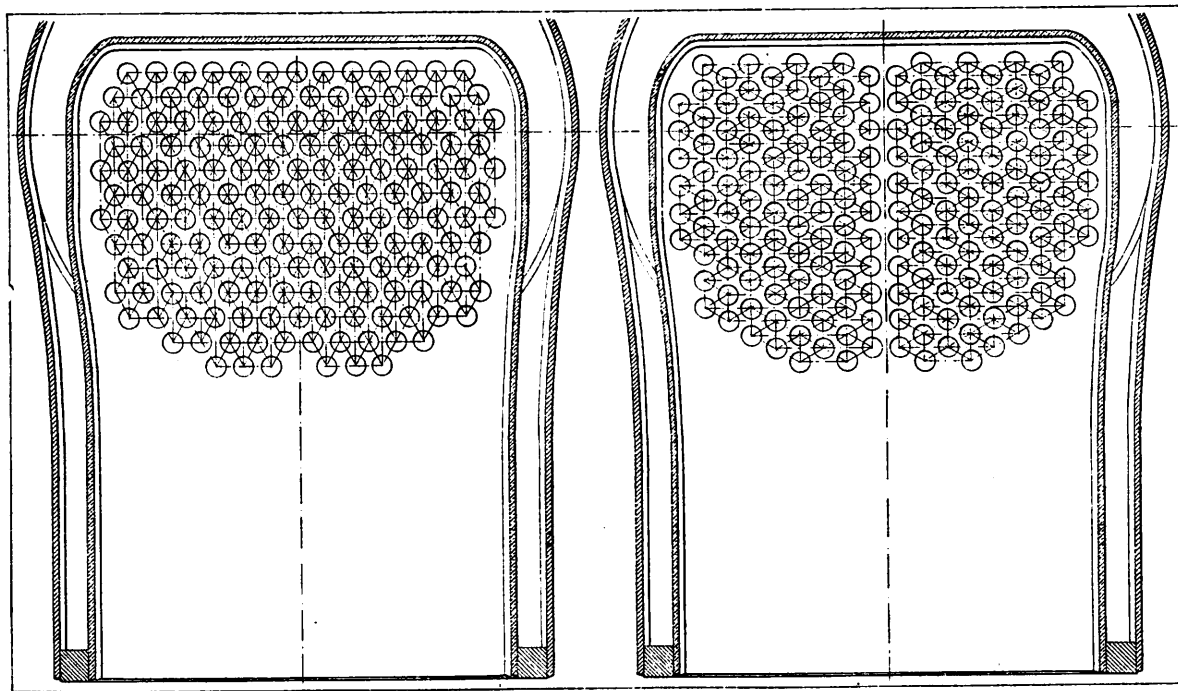


Fig. 52. Division tubulaire en quinconce. — Fig. 53. Division tubulaire en rangées verticales.

Dans les foyers d'acier, la compagnie de Lyon entoure le tube d'une virole mince en cuivre rouge, entre la plaque et le tube.

Les tubes peuvent être disposés en *quinconce* (fig. 52) ou en *rangées verticales* (fig. 53) : la seconde disposition paraît faciliter le dégagement de la vapeur. Il ne faut pas réduire par trop les intervalles entre les tubes, si l'on veut éviter les ruptures entre les trous des plaques et l'entartrement du faisceau tubulaire ; cet intervalle doit être de 15 à 20 millimètres dans la locomotive.

On a complètement renoncé aux plaques tubulaires intermédiaires pour supporter les tubes, qui se coupaient sur ces plaques.

Le frottement des escarbilles use les tubes et les amincit : quand ils deviennent trop minces, des ruptures se produisent et on doit remplacer la tubulure entière.

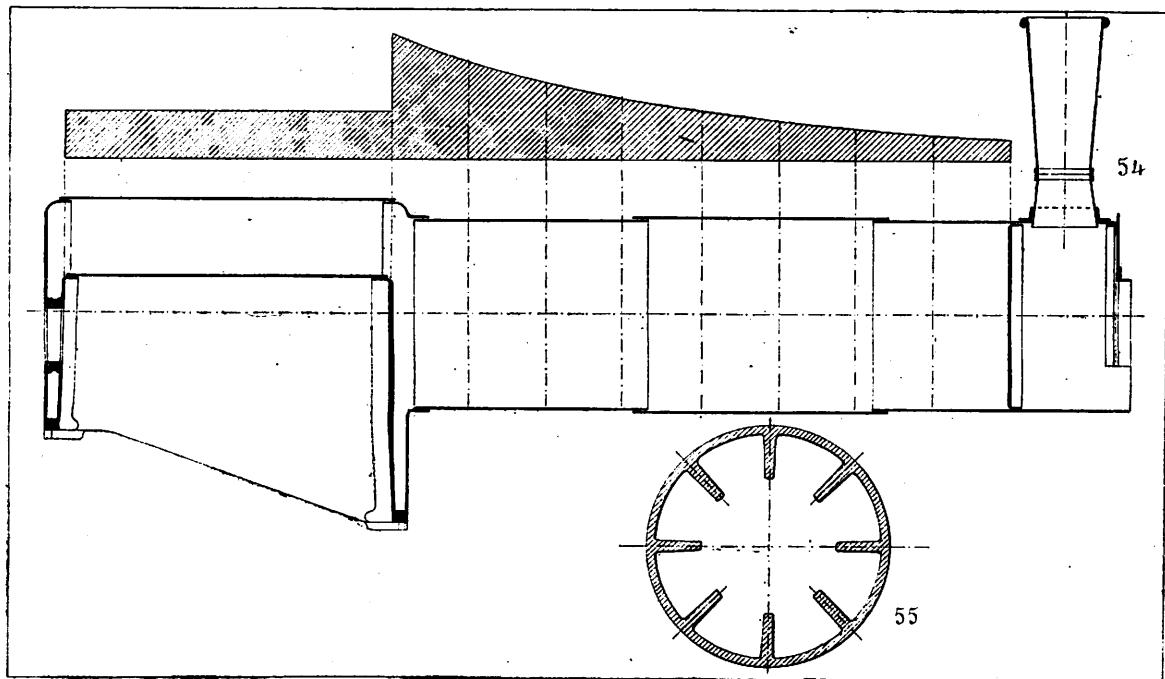
Les tubes empêcheraient la séparation des deux plaques tubulaires et agiraient alors comme des tirants ; mais tant qu'aucune déformation importante ne se produit, ils *poussent* sur les plaques et tendent à les écarter, parce qu'ils se dilatent par la chaleur plus que la tôle du corps cylindrique, étant portés à une température plus élevée.

35. Surface de chauffe. — Une surface de chauffe d'un mètre carré ne peut laisser passer pendant chaque minute qu'une quantité de chaleur limitée, ou, en d'autres termes, ne peut vaporiser pendant chaque minute qu'une quantité d'eau limitée. Cette quantité n'est pas toujours la même : elle est d'autant plus grande que les gaz qui communiquent la chaleur sont plus chauds. Aussi un mètre carré du foyer, un mètre carré à l'entrée des tubes auprès du foyer, étant en contact avec la flamme même ou les gaz très chauds, vaporisent-ils une bien plus grande quantité d'eau qu'un mètre carré pris plus loin dans les tubes, sur lequel passent des gaz déjà refroidis : plus on s'éloigne du foyer en suivant les tubes, moins ils ont d'effet : si les tubes sont très longs, leur dernière partie, auprès de la boîte à fumée, est peu active.

On appelle *surface de chauffe directe* celle du foyer, exposée à la *chaleur rayonnante* dégagée par le foyer, ainsi qu'au contact des gaz très chauds produits par la combustion. La *surface de chauffe indirecte* est celle des tubes, soumise seulement à l'action des gaz qui sont de moins en moins chauds, à mesure qu'ils s'avancent du foyer vers la boîte à fumée.

On compte comme surface de chauffe tantôt la surface *intérieure* des tubes, celle qui touche les gaz chauds, tantôt la surface *extérieure*, en contact avec l'eau : la différence entre les deux nombres obtenus est assez grande, à cause du petit diamètre des tubes et de leur épaisseur relativement grande. Le *rapport* de ces deux nombres est égal au rapport des diamètres intérieur et extérieur. Pour prévenir toute méprise, il ne faut jamais omettre de dire comment on compte.

Quelques expériences ont déterminé le poids d'eau que pouvait



CHAUDIÈRE

Fig. 54. Diagramme de la vaporisation d'une chaudière. — Fig. 55. Tube à ailettes.

vaporiser en une minute le foyer d'une part et le faisceau tubulaire, d'autre part, supposé partagé en plusieurs tronçons successifs par des plaques intermédiaires : la figure 54 représente approximativement ces poids vaporisés en une minute par une chaudière de la série nos 543 à 562 de la compagnie de l'Est, quand la combustion est active. La surface de chauffe du foyer est de $9^m^2,13$; il y a 178 tubes avec un diamètre intérieur de 44 mm et une longueur de $4^m,100$; la surface indirecte, comptée à l'intérieur des tubes, est de 101^m^2 . Quand le poids total de l'eau vaporisée par minute est de 90 kg, sur les 90 kg de vapeur le foyer en fournit 30 ; le croquis représente au-dessus de la surface de l'eau la quantité qui se vaporise en ce point, celle que l'alimentation devrait y amener si la chaudière était séparée par une série de cloisons.

Les proportions de vapeur ainsi produites par les diverses parties de la chaudière varient avec ses dimensions, et, dans un même appareil, avec l'activité de la combustion.

Afin d'augmenter la surface en contact avec les gaz chauds, on munit parfois les tubes d'*ailettes* intérieures (fig. 55) ; des tubes de cette espèce, montés à la place de tubes ordinaires, soutirent plus de chaleur aux gaz, qui sortent moins chauds dans la boîte à fumée. On les appelle souvent tubes *Serve*, du nom de leur inventeur. Les expériences de la compagnie du chemin de fer de Lyon ont montré que la surface de chauffe des tubes à ailettes, comptée en suivant toutes les sinuosités de leur section, était presque équivalente à une même surface intérieure de tubes lisses et produisait à peu près le même effet utile. Une tubulure à ailettes peut donc être plus courte qu'une tubulure lisse, et, à égalité de longueur, la première prendra plus de chaleur aux gaz de la combustion.

36. Boîte à fumée. — Les tubes vomissent les gaz chauds dans la boîte à fumée, où ils sont appelés par l'aspiration énergique due à la vapeur d'échappement (ou au souffleur). La porte de la boîte à fumée doit fermer hermétiquement, parce que les rentrées d'air nuisent au tirage et font brûler les escarbilles dans la boîte. L'ancienne porte à deux vantaux (fig. 56), compliquée et difficilement hermétique, fait place à la porte ronde unique (fig. 57), que la pression exercée au centre par la vis de serrage tend à faire coller sur tout le pourtour.

La porte ronde peut appuyer sur un cercle en fer bien dressé, rivé autour de l'ouverture sur la face de la boîte à fumée, ainsi qu'on le voit sur les locomotives des chemins de fer de l'Ouest.

On a quelquefois disposé un robinet d'arrosage pour éteindre le feu dans les boîtes à fumée mal closes : l'eau peut accélérer la destruction des tôles inférieures de la boîte.

Conformément à l'article 41 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, qui prescrit que les « locomotives devront être pourvues d'appareils

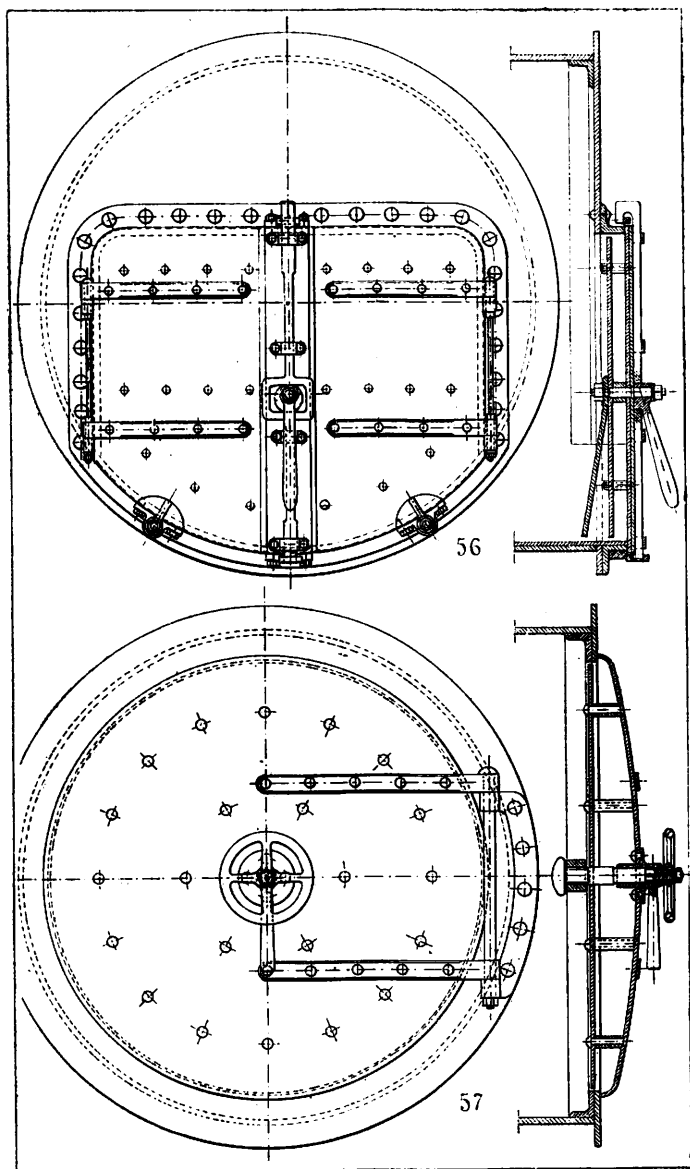


Fig. 56. — Porte de boîte à fumée à deux vantaux.
 Fig. 57. — Porte ronde de boîte à fumée.

« ayant pour objet d'arrêter les fragments de coke tombant de la grille, et d'empêcher la sortie des flammèches par la cheminée », une grille à barreaux espacés de 10 millimètres (fig. 58) est montée dans la boîte à fumée.

La figure 58 *bis* donne la demi-coupe de la boîte à fumée des loco-

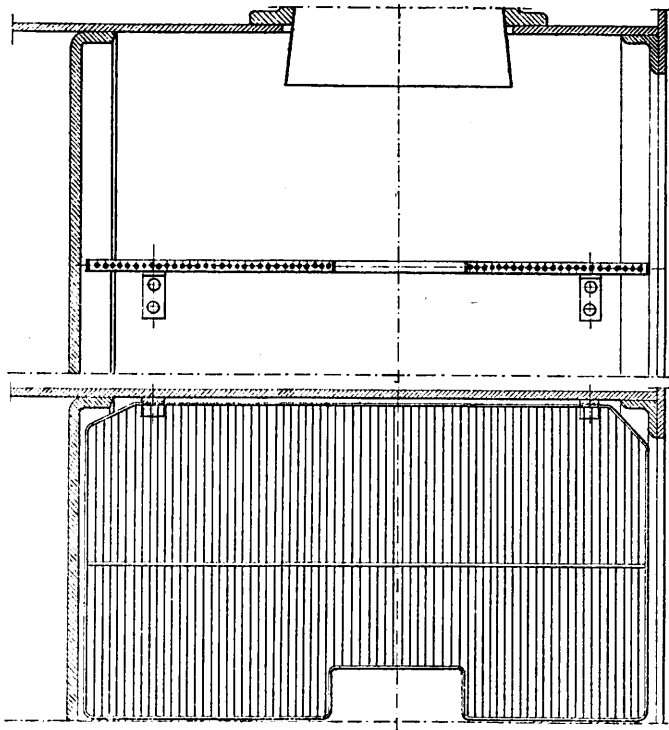


Fig 58. — Grille à flammèches.

motives à bogie de la compagnie de l'Ouest. La grille à flammèches garnit la base du cône intérieur de la cheminée.

En Amérique, la boîte à fumée (fig. 59) a une grande longueur et reçoit une toile métallique à mailles serrées pour arrêter les escarbilles, dont elle peut contenir une quantité considérable. Une tôle, placée devant le débouché des tubes et ne laissant qu'une ouverture, variable, à la partie inférieure, rabat les gaz vers le fond de la boîte. Cette disposition a remplacé, depuis une quinzaine d'années, la

grosse cheminée avec chicanes intérieures, montée sur une petite boîte à fumée (voir fig. 258, au § 147, p. 294). Elle a été parfois imi-

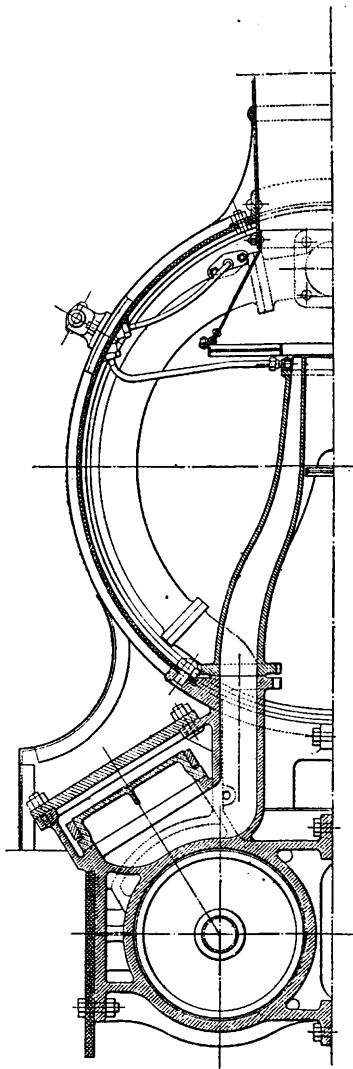


Fig. 58 bis. — Demi-coupe verticale à travers la boîte à fumée des locomotives à grande vitesse, avec bogie, de la compagnie de l'Ouest.

tée en Europe. Telle est notamment la boîte des locomotives compound du chemin de fer de Lyon (fig. 59 bis), où se loge commodé-

ment la tuyauterie de vapeur; on peut donner sans peine une capacité suffisante aux tuyaux formant le réservoir intermédiaire.

Les dernières locomotives à bogie de la compagnie de l'Ouest (fig. 58 *bis*) ont également leur boîte à fumée allongée vers l'avant : cette boîte peut alors contenir une plus grande quantité d'escarbilles, et on a pu placer une petite trémie en avant des cylindres pour la vider.

On peut installer, à la base de la boîte à fumée, une boîte à escarbilles munie de portes pour la vidange; mais cette construction,

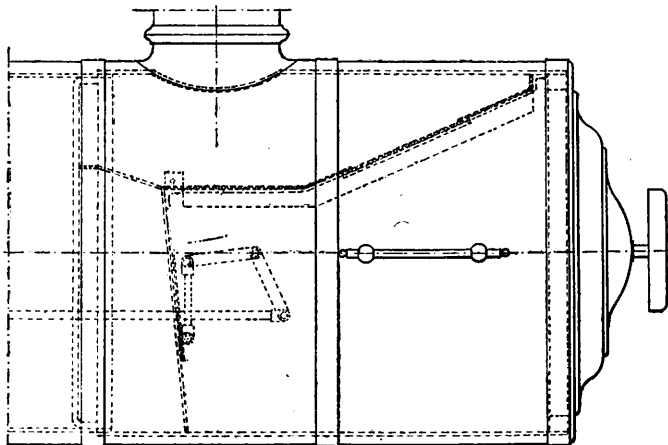


Fig. 59. — Boîte à fumée américaine.

simple en apparence, est souvent difficile à exécuter convenablement, et elle risque toujours de donner lieu à des rentrées d'air. Une petite ouverture avec un clapet, comme on le voit sur la figure 59 *bis*, suffit pour rendre facile la vidange des escarbilles. Il faut, d'ailleurs, chercher avant tout à réduire l'entraînement du combustible.

37. Cheminée. — La cheminée de la locomotive (fig. 60) est forcément très courte. On admet généralement qu'il convient de lui donner une hauteur égale à trois fois son diamètre le plus étroit, mais on en voit de bien moins hautes. Pour éviter que le vent ne coupe le courant qui s'échappe par la cheminée, on fait quelquefois usage d'un écran placé à l'avant (fig. 61); les Anglais, dans le même but, la garnissent d'un chapiteau (fig. 62), qui a l'avantage d'agir de même dans toutes les directions.

Les cheminées sont cylindriques ou ont un profil évasé, comme celles de la compagnie de l'Est (fig. 60). Les avantages comparatifs

des deux dispositions sont peu connus. La cheminée peut être prolongée, dans l'intérieur de la boîte à fumée, par un entonnoir ren-

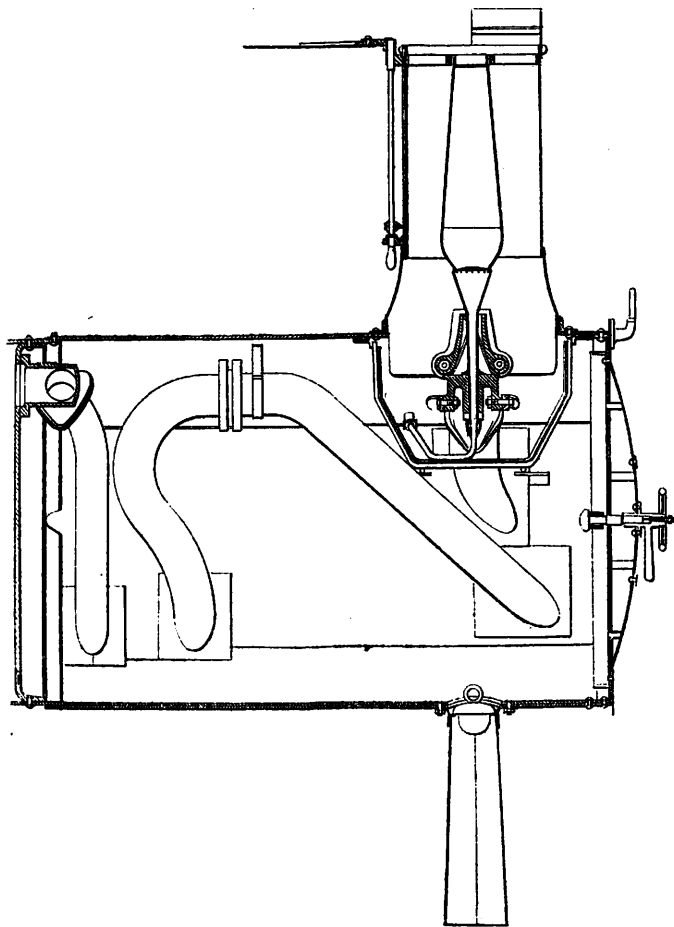


Fig. 59 bis. — Boîte à fumée des locomotives compound de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

versé, qui descend jusqu'au niveau supérieur de la tuyère d'échappement, comme on le voit figure 58 bis. Cette disposition donne un bon tirage.

Les cendriers fermés rendent moins utiles les *capuchons* ou registres tournants, qu'on montait autrefois sur les cheminées ; toutefois on les conserve sur certaines locomotives munies de cendriers.

38. Échappement. — La disposition de l'échappement a une grande influence sur la production de la chaudière. Le sommet de la tuyère par laquelle s'échappe la vapeur ne doit pas s'élever trop haut, du moins, dans les boîtes à fumée de dimensions ordinaires ; sur les machines anglaises, sur celles de la figure 58 *bis*, elle ne dépasse pas beaucoup le niveau de la rangée supérieure de tubes. Une tuyère élevée donne de bons résultats sur le chemin de Lyon, mais avec l'addition, dans la cheminée, d'un noyau plein qui épanouit en cône le jet de vapeur (fig. 59 *bis*). Les conduits d'échappement doivent être tracés sans coudes brusques, et se réunir de telle sorte que les courants venant des deux cylindres ne se contrarient pas. Ce sont là des détails étudiés par le constructeur de la machine, et le mécanicien doit les prendre tels qu'ils sont exécutés. Il peut toutefois vérifier si la tuyère est bien montée dans l'axe de la cheminée, et si, dans l'échappement à valves généralement employé en France (fig. 63), les deux valves s'ouvrent et se ferment symétriquement.

Si la distribution est bien étudiée et bien réglée, les quatre coups d'échappement, par tour de roue, se succèdent à des intervalles égaux ; mais il n'est pas rare que la distribution présente, à certains crans de marche, des irrégularités inévitables, qui n'indiquent pas que le *réglage* soit défectueux, puisqu'elles tiennent à un *défaut de construction*.

La tuyère d'échappement peut être formée par un tuyau d'ouverture déterminée et invariable : on dit que l'échappement est *fixe* ; ou bien, comme sur la plupart des locomotives françaises, un mécanisme permet de faire varier la section de l'ouverture : l'échappement est alors *variable*.

Pour activer la combustion, et par suite la production de la vapeur, on réduit la section de la tuyère ou on *serre* l'échappement ; on augmente ainsi la vitesse du jet de vapeur qui entraîne les gaz du foyer. Or, le serrage de l'échappement, s'il est nécessaire, n'est pas sans présenter des inconvénients graves : en réduisant la section de passage ouverte à la vapeur, il augmente la *contre-pression* sur les pistons pendant l'échappement ; avec un échappement très serré, cette contre-pression, qui ne devrait guère dépasser la pression atmosphérique, prend souvent une valeur double et même encore plus forte : le travail donné par la vapeur s'en trouve réduit. Si on produit plus de vapeur, on l'utilise moins bien. En outre, un échappement très serré provoque des entraînements de combustible. Il est donc fort important de ne serrer l'échappement que le moins possible.

Les échappements fixes sont forcément toujours assez serrés :

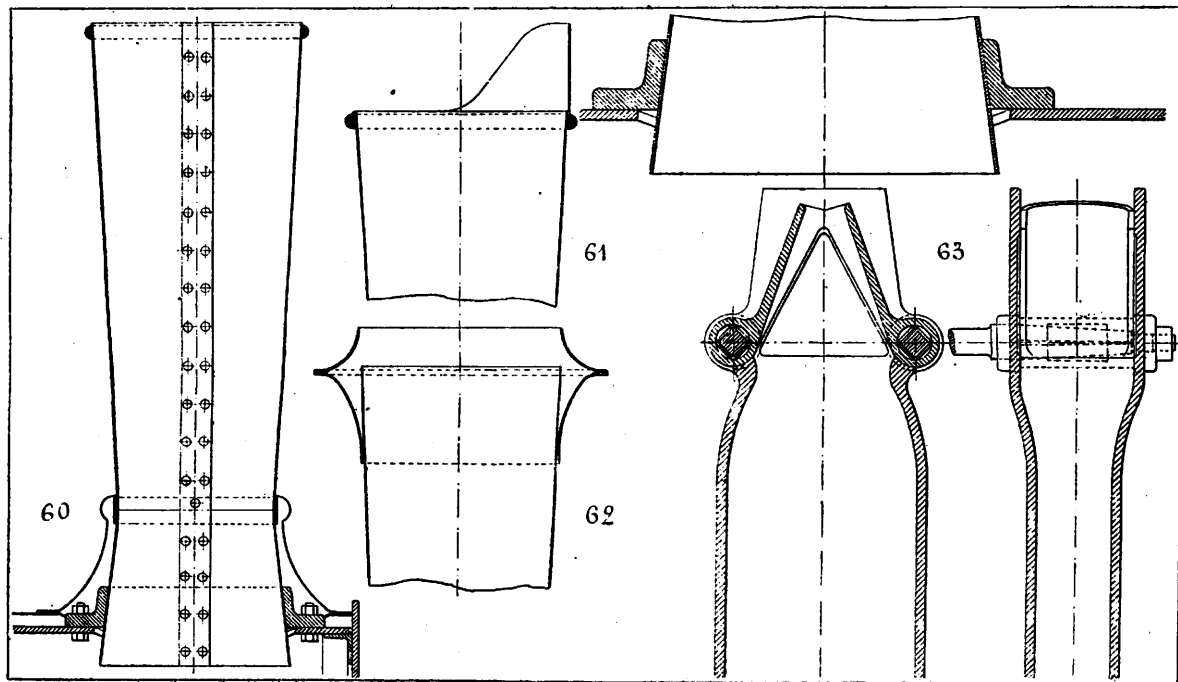


Fig. 60. Cheminée. — Fig. 61. Ecran de cheminée. — Fig. 62. Chapiteau de cheminée. — Fig. 63. Echappement à valves.

cependant, dans quelques cas, la section en est encore trop grande et leur action est insuffisante ; bien souvent, au contraire, ils pourraient être plus ouverts, ce qui réduirait la contre-pression sur les pistons. L'échappement variable n'a pas ce défaut, mais à une condition, c'est qu'on s'en serve. Il arrive assez fréquemment que le personnel des machines laisse presque toujours l'échappement variable dans une même position, qui donne un serrage assez fort, et n'y touche que pour augmenter ce serrage de temps en temps, parfois d'une manière excessive : on force alors la vapeur à s'écouler par un orifice tout à fait insuffisant : le manque d'arrêts convenables pour limiter la fermeture des valves d'échappement est, en effet, un vice de construction qui n'est pas rare et qu'il est, d'ailleurs, facile de corriger. En agissant comme nous venons de le dire, on ne tire pas bon parti de l'échappement variable : il n'est pas variable seulement pour *réduire* l'ouverture moyenne offerte à la vapeur, mais aussi pour *l'augmenter* toutes les fois qu'on n'a pas besoin d'un tirage énergique. C'est une manœuvre facile, qu'il ne faut pas négliger.

Certains échappements sont *annulaires*, comme celui de la figure 58 bis : la vapeur sort par une couronne comprise entre deux tuyères concentriques ; les gaz sont aspirés à l'extérieur et à l'intérieur de la nappe de vapeur. Ces échappements annulaires paraissent un peu plus efficaces que les échappements ordinaires, tout en ouvrant un plus large passage à la vapeur.

39. Souffleur. — Un appareil fort commode est le *souffleur*, qui active le tirage au moyen d'un jet de vapeur prise dans la chaudière et envoyée dans la cheminée. On accélère la préparation des machines en ouvrant le souffleur dès que la pression effective dans la chaudière, après l'allumage, atteint un kilogramme par centimètre carré ou même un demi-kilogramme. Lors des stationnements, ou en marche, quand le régulateur est fermé, le souffleur permet d'éviter la fumée ; en l'ouvrant avant de fermer le régulateur, on évite le retour de flamme et de fumée par la porte du foyer ; ce retour de flamme salit l'arrière de la machine et peut même être dangereux, si la porte est ouverte en grand.

Souvent le souffleur lance un jet unique dans la cheminée (fig. 64), mais on préfère une série de petits jets donnés par les trous d'un tuyau courbé en anneau (fig. 58 bis et 65) : l'appareil est plus efficace et moins bruyant. On voit sur la figure 58 bis que toute la tuyauterie du souffleur est à l'intérieur de la boîte à fumée, le robinet seul étant au dehors. C'est une bonne disposition. Une série de petits trous percés dans le noyau central des cheminées du chemin de Lyon (fig. 59 bis) forment un souffleur annulaire.

La dépense de vapeur du souffleur varie suivant la dimension des orifices et l'ouverture du robinet. Avec une pression de 10 kg dans la chaudière, on peut estimer qu'un souffleur, à 10 trous de 2 mm

de diamètre, dépense par heure environ 130 kg de vapeur, quand son robinet est ouvert en grand. Mais ce chiffre est loin d'être certain et devrait être contrôlé par l'expérience.

Le *fumivore Thierry* est analogue au souffleur : il a été employé

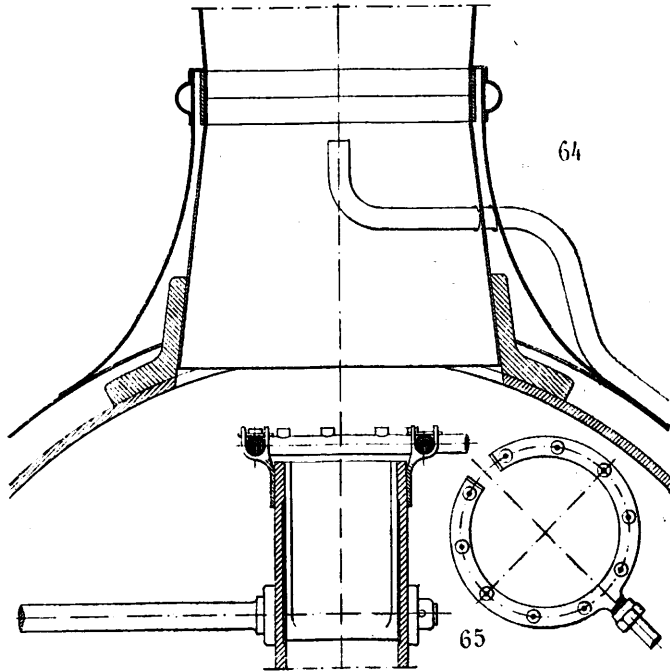


Fig. 64. Souffleur à tuyère unique. — Fig. 65. Souffleur annulaire.

autrefois par la compagnie de l'Est et on peut encore en voir le robinet sur d'anciennes locomotives. L'action de cet appareil s'ajoutait à celle du souffleur pour faire passer de l'air sur le combustible, après les chargements, afin d'éviter la fumée : des jets de vapeur étaient dirigés dans le foyer, au-dessus de la porte, qu'on devait ouvrir, pour l'entrée de l'air.

40. Dôme. — La plupart des chaudières de locomotives sont munies d'un *dôme* (fig. 66), en haut duquel on prend la vapeur, le plus loin possible de la surface de l'eau. On évite ou on réduit ainsi l'effet des projections de gouttelettes d'eau, qui peuvent se produire au-dessus de cette surface, et la vapeur prise est plus *sèche*.

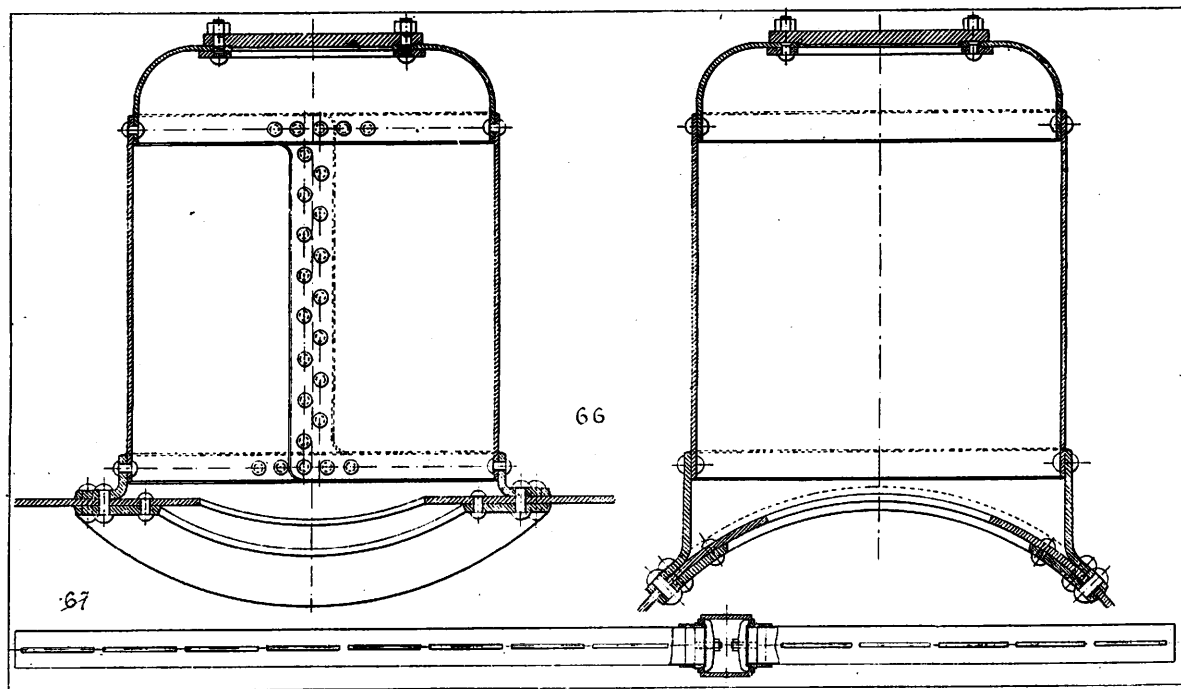


Fig. 66. Dôme. — Fig. 67. Tuyau de prise de vapeur Crampton.

Le dôme est une pièce de chaudronnerie d'une certaine complication : il se compose souvent d'une tôle *envirolée* et rivée sur elle-même, reliée au corps cylindrique par une *collerette emboutie*. Le bord du trou ouvert dans le corps cylindrique doit être consolidé par une doublure. Le dôme est fermé par un *fond embouti*, sur lequel s'ajuste le *plateau* démontable, qui porte souvent les soupapes.

Un tuyau intérieur à la chaudière prend la vapeur dans le dôme et la conduit au régulateur, à moins qu'il ne soit monté en haut du dôme même.

Les chaudières des machines Crampton et de quelques autres construites vers la même époque n'avaient pas de dôme : la vapeur était prise en haut de la chaudière par un long tuyau, fendu à sa partie supérieure : la figure 67 représente ce tuyau vu en plan, et formé de deux sections qui s'assemblent dans la boîte en fonte du régulateur.

Des tuyaux analogues au tuyau de prise des appareils Crampton sont quelquefois montés à l'intérieur des chaudières pour amener la vapeur au dôme, et en séparer l'eau entraînée ; cette tuyauterie ne paraît pas toujours entièrement efficace.

41. Régulateur des locomotives. — Le mécanisme de *prise de vapeur* s'appelle *régulateur* sur les locomotives. Le régulateur des machines fixes est un appareil différent, qui agit automatiquement sur l'admission de vapeur, de manière à maintenir à peu près constante la vitesse de marche, malgré les variations du travail résistant : tout le monde connaît le régulateur à boules usité à cet effet (fig. 68).

Sur la locomotive, on peut régler le travail moteur en ouvrant plus ou moins la prise de vapeur, ce qui justifie son nom de régulateur ; mais ce n'est pas le seul mécanisme que le mécanicien possède à cet effet (voir le chapitre VIII).

Le régulateur consiste le plus souvent en une plaquette ou *tiroir* en bronze, placé dans l'intérieur de la chaudière et pouvant ouvrir ou fermer une *lumière* en communication avec des tuyaux qui aboutissent aux boîtes à vapeur des cylindres (fig. 69). La pression de la vapeur dans la chaudière fait coller ce tiroir sur sa table.

Lorsque le régulateur n'ouvre qu'une étroite issue à la vapeur, il se produit un *laminage* (voir le § 80) et la pression de la vapeur s'abaisse. On peut facilement graduer cet effet avec le régulateur à deux tiroirs (fig. 70) : le tiroir supérieur commence par démasquer une petite lumière ménagée dans le tiroir inférieur. Cette disposition permet d'éviter les à-coups aux démarrages et dans les manœuvres. Elle a aussi l'avantage de rendre plus douce la manœuvre : dès que le petit tiroir est déplacé, la vapeur, pénétrant sous le grand tiroir, réduit la pression qu'il supporte et, par suite, le frottement à vaincre pour le mouvoir.

Les régulateurs montés sur les locomotives de la compagnie de l'Est comportent habituellement une boîte en fonte du type *Crampton*,

placée sur la chaudière : cette disposition a été imaginée pour les locomotives Crampton, dont les cylindres sont montés vers le milieu du corps cylindrique. Quand les cylindres sont au-dessous de la boîte à fumée, elle n'a plus les mêmes avantages : elle est d'ailleurs commode, mais on peut lui reprocher de faire passer les tuyaux de vapeur à l'extérieur de la chaudière, ce qui, malgré les enveloppes, cause une certaine perte de chaleur par condensation, ou transformation en eau, d'une partie de la vapeur. Les régulateurs placés dans le dôme, avec tuyaux à l'intérieur de la chaudière et dans la boîte à fumée, sont préférables sous ce rapport : ils consistent en tiroirs jouant sur une table verticale (fig. 71).

Pour visiter le régulateur et dresser les tables, il faut démonter le plateau de la boîte en fonte ou celui du dôme, suivant le type.

Un godet à deux robinets permet de graisser le régulateur : il faut s'en servir le moins possible et ne verser que peu d'huile à la fois (surtout avec les régulateurs montés dans le dôme) à cause de l'action fâcheuse de l'huile dans les chaudières (voir § 59).

Les régulateurs du type Crampton sont manœuvrés à l'aide d'une *tringle* qui sort à travers une *garniture* et qui est commandée par un *levier* placé à la main du mécanicien (fig. 72). Il faut remarquer que la pression de la vapeur s'exerce, sans être contre-balancée, sur une surface égale à la section de la tige et tend à la pousser, en ouvrant le régulateur. Le diamètre de la tige étant de 36 mm, la section est d'environ 10 cm². Avec la pression de 12 kg par cm², adoptée pour certaines chaudières, c'est une force de 120 kg, à laquelle les frottements seuls résistent, à moins qu'on ne fasse usage d'une contre-tige qui supprime la poussée de la vapeur, comme on le voit sur la figure 70. C'est donc une bonne précaution que de mettre une cale ou un arrêt empêchant le déplacement du levier lors des stationnements. Il ne faut pas qu'une cale de ce genre empêche jamais de *fermer* le régulateur pendant la marche, la moindre perte de temps pour cette manœuvre étant funeste en cas d'alerte.

L'effet de la *dilatation* de la chaudière, lors de la mise en pression, peut être de déplacer le régulateur : la *tige*, restant froide, ne se dilate pas ; l'effet est le même que si elle se raccourcissait de quelques millimètres, la chaudière ne bougeant pas ; si le levier touche l'arrêt du secteur qui le supporte, c'est le tiroir qui est tiré par suite de ce raccourcissement. Il faut tenir compte de cet effet et toujours donner aux tiroirs des régulateurs des *recouvrements* assez étendus pour que ces petits mouvements ne risquent jamais de découvrir les lumières.

Le régulateur monté dans le dôme est souvent manœuvré par une tige tournante placée dans la chaudière et traversant, à travers une garniture, la face arrière de la boîte à feu (fig. 73). Un levier placé vers le milieu de cette face permet la manœuvre. Le mécanicien a le levier de son régulateur sous la main, même s'il se porte à la gauche de sa machine et lorsqu'il regarde du côté du tender, dans la

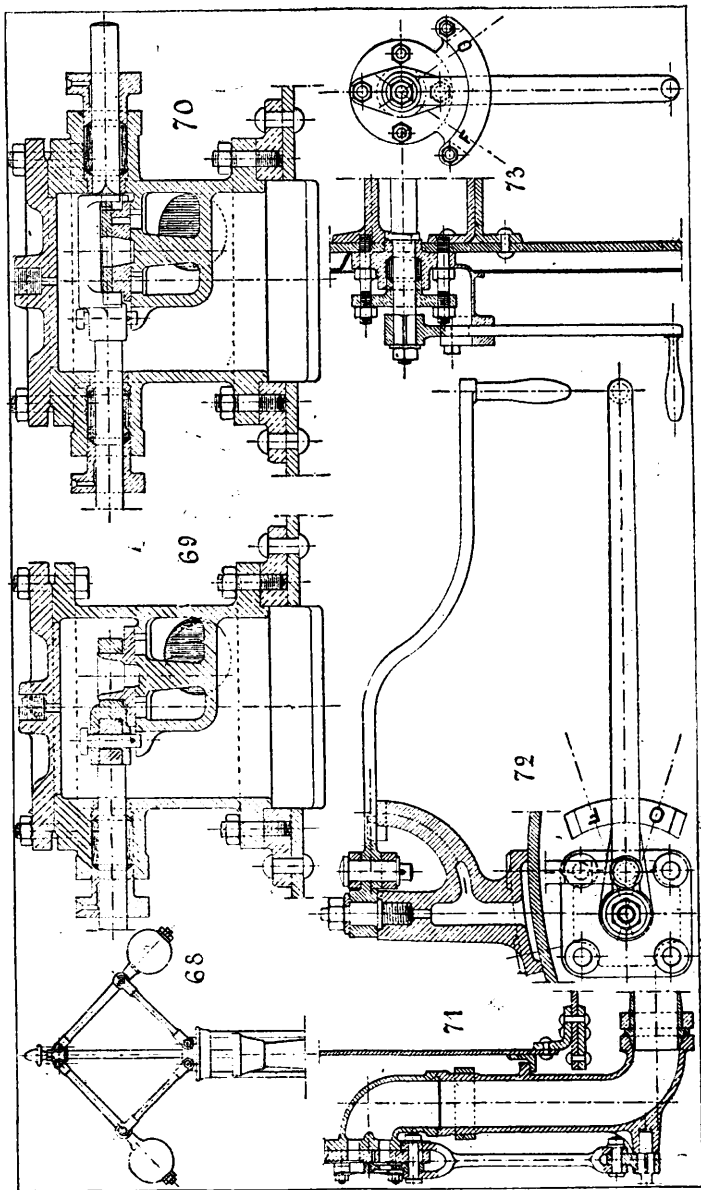


Fig. 68. Régulateur à boules. — Fig. 69. Régulateur de locomotive, à un tiroir. — Fig. 70. Régulateur à deux tiroirs. — Fig. 71. Régulateur dans le dôme. — Fig. 72. Levier de manœuvre du régulateur Crampton. — Fig. 73. Levier de manœuvre du régulateur dans le dôme.

marche en arrière. La tringle de commande n'ayant qu'un mouvement de rotation de faible amplitude, le frottement dans la garniture est moindre que lorsque la tringle glisse suivant sa longueur.

Le régulateur à tringle de manœuvre et à tuyaux intérieurs, avec petit tiroir de démarrage, est adopté depuis 1888 par la compagnie de l'Ouest.

On commande aussi le régulateur dans le dôme par un levier horizontal, monté sur le côté droit de la machine et agissant par traction sur une tige, avec un renvoi de sonnette.

Il convient que ce régulateur soit monté de manière à *se fermer* par son poids, en cas de rupture de la tige de commande.

Les fuites des régulateurs sont toujours à craindre, parce qu'elles peuvent causer une mise en marche intempestive, si on néglige la précaution essentielle de tenir les purgeurs ouverts pendant les stationnements.

42. Soupapes de sûreté. — La pression effective de la vapeur dans la chaudière, en kilogrammes par centimètre carré, ne doit pas dépasser le chiffre inscrit sur le *timbre*. Les *soupapes de sûreté* sont disposées pour se lever dès que la pression atteint cette limite. La soupape pose sur un siège étroit contre lequel elle doit être bien *rodée*, afin de ne pas laisser inutilement fuir la vapeur : elle est chargée par une force, qui est, en kilogrammes, le produit de la multiplication du chiffre du timbre par le nombre de centimètres carrés contenus dans la surface de l'ouverture que ferme la soupape : ce produit est bien la pression totale qui tend à soulever la soupape quand la vapeur atteint sa tension limite. Ce serait 785 kilogrammes pour une soupape de 100 millimètres de diamètre et un timbre de 10 kg.

Afin de réduire cette force, considérable pour les grandes soupapes, on les charge fréquemment par l'intermédiaire d'un *levier*, articulé sur un support fixe : on appelle *bras* du levier les distances de cette articulation au point qui porte le poids et à celui qui appuie sur la soupape. Pour les machines fixes, le levier porte un poids à l'extrémité de son *grand bras* (fig. 74) : si ce grand bras est 10 fois plus long que le *petit bras* appuyant sur la soupape, le poids à suspendre sera le dixième de la charge, calculée comme il est dit plus haut.

Sur les locomotives, le poids ne convient pas, parce qu'il danserait constamment en marche : aussi le remplace-t-on par un *ressort à boudin*, agissant à l'extrémité du *levier*, qui augmente l'effort exercé par le ressort (fig. 75) : si les deux *bras de levier* sont de 70 et 700 mm (l'un 10 fois plus long que l'autre), un effort de 78,5 kg, donné par le ressort, produira 785 kg sur la soupape. Cette appareil est souvent désigné par le nom de *balance*, qui ne convient guère.

La soupape ordinaire a un défaut assez grave : si elle est bien réglée, elle se lève quand la pression de la vapeur atteint le chiffre

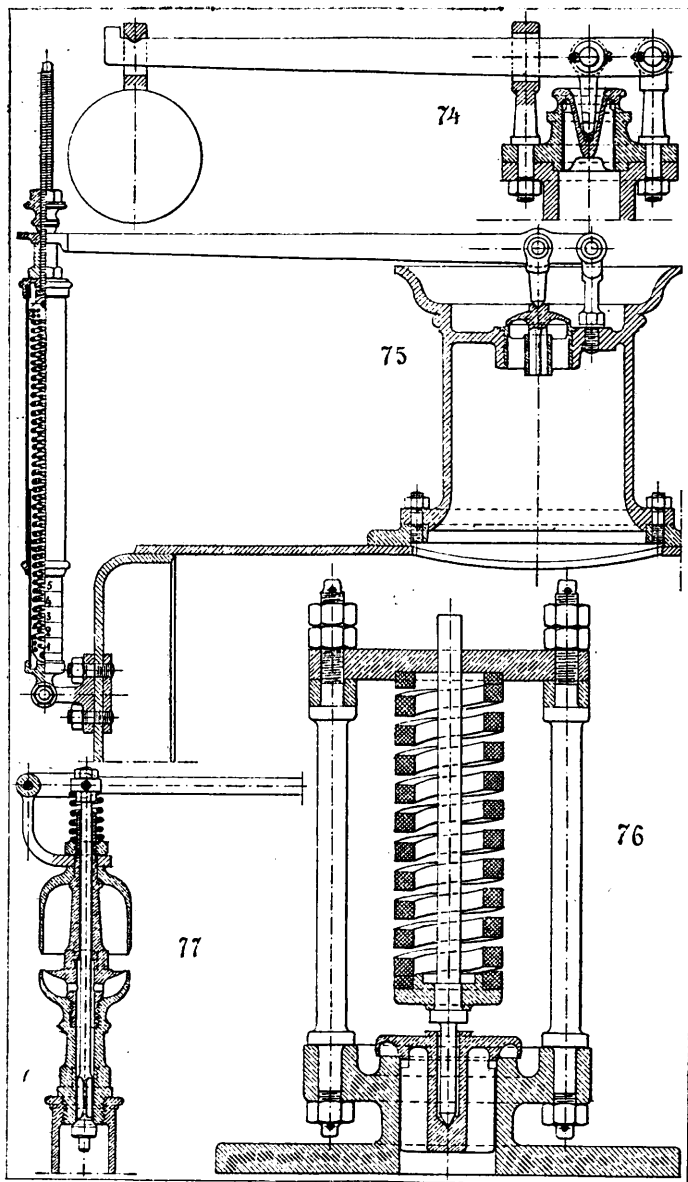


Fig. 74. Soupape à levier et à poids. — Fig. 75. Soupape à levier et à ressort. — Fig. 76. Soupape Adams, à charge directe. — Fig. 77. Sifflet.

du timbre, mais elle ne se lève que fort peu : dès que la vapeur s'échappe par la fente très étroite qu'ouvre la soupape, la pression qui la soulève ne reste plus aussi grande que lorsqu'elle était en repos : il en résulte que l'ouverture par laquelle sort la vapeur est insuffisante, et la pression par centimètre carré peut s'élever dans la chaudière au-dessus du chiffre du timbre. Il faut alors soulager la soupape à la main, ou desserrer l'écrou sur lequel s'attache le ressort. C'est pour cela que, pendant les stationnements qui dépassent une heure, ce desserrage est prescrit par les règlements des compagnies de l'Est et de Lyon : la tension du ressort doit être assez réduite pour que la soupape se lève sous une pression de la vapeur inférieure de 2 kg par cm^2 à celle du timbre. Un fourreau en laiton gradué indique les pressions en kg par cm^2 qui soulèvent la soupape, pour les diverses tensions données au ressort à l'aide de l'écrou de réglage.

La compagnie de l'Ouest a adopté le montage Webb, à charge directe. Les deux soupapes sont montées à la partie supérieure de deux colonnettes, entre lesquelles se place un ressort unique, qui les charge toutes deux, par l'intermédiaire d'une traverse prolongée vers l'arrière : ce prolongement permet de les faire jouer à volonté. Le ressort est pressé par un étrier, de sorte qu'il travaille par compression, pour éviter la projection des soupapes, s'il venait à se rompre. La tension du ressort est réglée à l'atelier et ne peut être modifiée en service.

La *soupape Adams* (fig. 76) est chargée directement par un fort ressort à boudin. Ce qu'elle a de plus remarquable est la petite gorge qui entoure la partie reposant sur le siège : dès que la soupape quitte son siège, la vapeur agit sur cette gorge et la soulève davantage ; aussi la soupape Adams débite-t-elle beaucoup de vapeur, avec un diamètre bien plus petit que les soupapes ordinaires, et, si elle est bien réglée, la tension de la vapeur ne dépasse pas la limite prescrite. Mais elle laisse souvent échapper trop de vapeur, en ne se refermant que lorsque la pression est descendue notablement au-dessous du chiffre du timbre : dès que le manomètre baisse de plus d'un demi-kilogramme avant la fermeture de la soupape Adams, on doit la faire rectifier dans les ateliers. Cette chute de pression ne doit pas dépasser un quart de kilogramme pour les soupapes neuves ou réparées.

La compagnie du chemin de fer de Lyon emploie une autre soupape à grande levée, chargée par l'intermédiaire d'un levier (fig. 76 bis). Dès que la vapeur soulève cette soupape, la pression baisse dans l'espace limité par la rondelle inférieure : la pression dans la chaudière, qui s'exerce sans réduction sous cette rondelle, augmente la levée.

Cette soupape empêche une élévation excessive de la pression ; avec une vaporisation très active, la pression ne dépasse guère celle du timbre augmentée de 0,5 kg, et la fermeture se fait sans trop de retard.

Il est essentiel que les soupapes de sûreté d'une chaudière soient

toujours en excellent état, bien rodées sur leur siège, et jouent toujours librement, sans qu'aucun frottement vienne les gêner : *caler* les soupapes ou seulement gêner leur fonctionnement est une faute des plus graves, et *sans excuse*. Les mécaniciens et chauffeurs soigneux peuvent d'ailleurs éviter de perdre trop souvent la vapeur par les soupapes, en réglant bien le feu, en alimentant abondamment la chaudière au moment où la pression approche trop de sa valeur limite, enfin en réchauffant l'eau du tender.

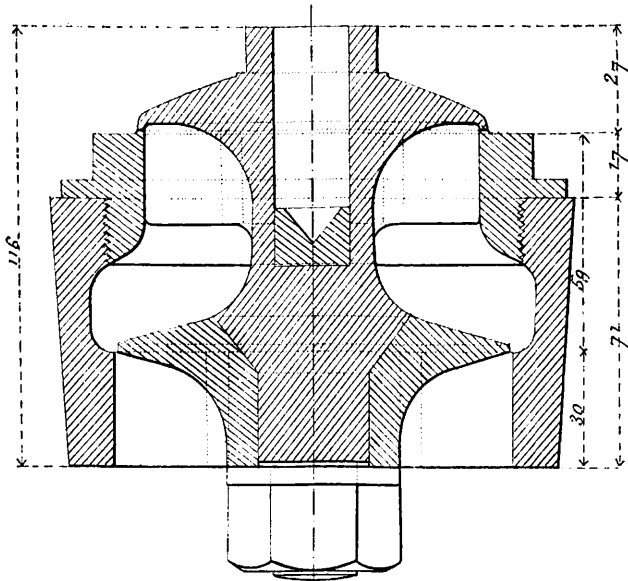


Fig. 76 bis. — Soupape à disque de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée

NOTA : la cote marquée 59 est de 58 mm, et celle marquée 27 est de 28 mm.

La quantité de vapeur débitée par une soupape de locomotive ouverte en grand est en effet considérable : dans des expériences exécutées sur la soupape représentée figure 76 bis, dont le diamètre était de 90 mm, cette dépense a été d'environ 100 kilogrammes par minute. Pour produire ce poids de vapeur, il a fallu brûler 12 kg de houille au moins : ce poids aurait souvent suffi pour un parcours de plus d'un kilomètre.

43. Sifflet. — Le sifflet est une cloche en bronze (fig. 77) dont le

bord est frappé par une nappe de vapeur, qui la fait vibrer : les vibrations, au nombre de plusieurs centaines ou de plusieurs milliers par seconde, se communiquent à l'air et c'est ce qui produit le son. La note donnée par le sifflet est d'autant plus aiguë que le nombre des vibrations est plus grand ; les sifflets aigus sont plus désagréables, sans qu'ils s'entendent plus loin que les autres. On peut regretter que tant de sifflets de locomotive laissent à désirer sous ce rapport.

Les règlements prescrivent l'usage du sifflet dans bien des cas divers : c'est une raison pour le manœuvrer toujours avec discrétion, en évitant les coups inutilement prolongés. C'est le long des quais des gares, sous les halles couvertes, et lors du croisement des trains de voyageurs, que le sifflet est particulièrement désagréable. Il risque aussi d'effrayer des chevaux sur les routes voisines du chemin de fer.

Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que l'abus du sifflet émousse l'attention des hommes qui circulent sur la voie et ne peut qu'augmenter le nombre des accidents dont ils sont trop souvent victimes.

Un bon mouvement de commande du sifflet donne une ouverture et une fermeture franches, sans tremblements. Il peut arriver que le sifflet d'une locomotive soit paralysé en cours de route : le mécanicien doit alors continuer sa marche avec prudence et à vitesse réduite et faire remplacer sa locomotive par une autre dès qu'il en trouve l'occasion. Le bruit des purgeurs peut, en ce cas, servir d'avertissement.

En Amérique, les sifflets donnent une note très grave, mais on se sert en outre d'une cloche qu'on fait tinter dans les gares, à la traversée des villes et à l'approche des passages à niveau. On voit cette cloche sur les figures 239 et 258.

44. Enveloppes des chaudières. — Les chaudières perdent de la chaleur à l'extérieur, surtout les chaudières de locomotives, exposées à de violents courants d'air et à la pluie. Une *enveloppe isolante* réduit cette perte. On se contente le plus souvent d'une simple tôle mince, portée sur une légère carcasse en fer ou *crinolîne*. C'est l'air enfermé sous cette enveloppe qui ralentit la transmission de chaleur au dehors : l'air est *mauvais conducteur* de la chaleur. Il ne faut pas que l'air chaud qui sert d'isolant puisse s'échapper : l'enveloppe ne doit donc laisser aucun jour.

On réduit encore la perte de chaleur en intercalant, entre la chaudière et son enveloppe, certaines substances isolantes, telles que le bois, le feutre, le liège, les scories filées. Les premières de ces substances risquent de se carboniser sur la boîte à feu.

Quelques expériences faites en Russie, sur une locomotive de dimension moyenne, ont montré que la simple enveloppe de tôle réduisait à moitié la chaleur perdue par une chaudière sans enveloppe, tandis qu'avec un bon isolant la perte n'était que du tiers. La

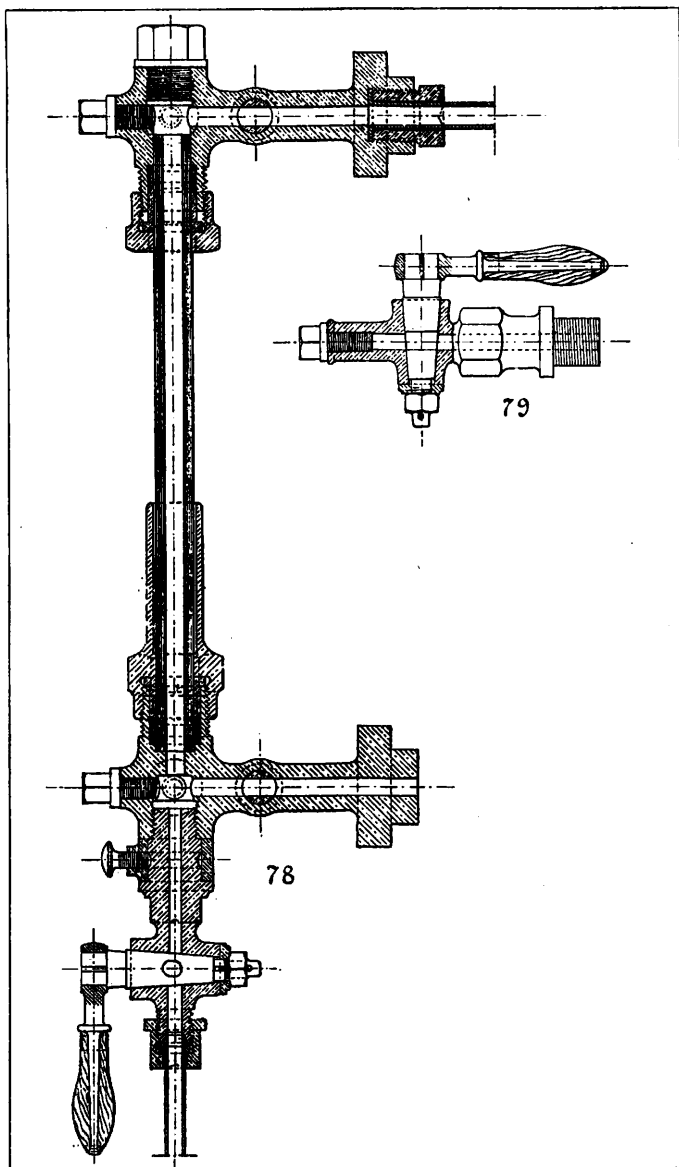


Fig. 78. Tube de niveau. — Fig. 79. Robinet de jauge.

chaleur perdue, avec l'enveloppe simple de tôle, correspondait, par vingt-quatre heures, à la combustion de 150 kilogrammes de houille en moyenne.

Ces expériences ont été faites à petite vitesse : la perte est notablement plus forte à grande vitesse; elle est encore augmentée par la pluie et par les grands froids.

45. Indicateurs du niveau de l'eau. — Deux appareils distincts servent à faire connaître le niveau de l'eau dans la chaudière. L'un est le tube en verre, qui laisse voir l'eau même. C'est un instrument fort commode; mais il n'est sûr que moyennant quelques précautions : il faut éviter qu'aucune des deux tubulures, qui font communiquer le tube avec la chaudière, ne se bouche, en y passant une raclette quand la chaudière est en lavage, et en ouvrant le *robinet de purge* au moins

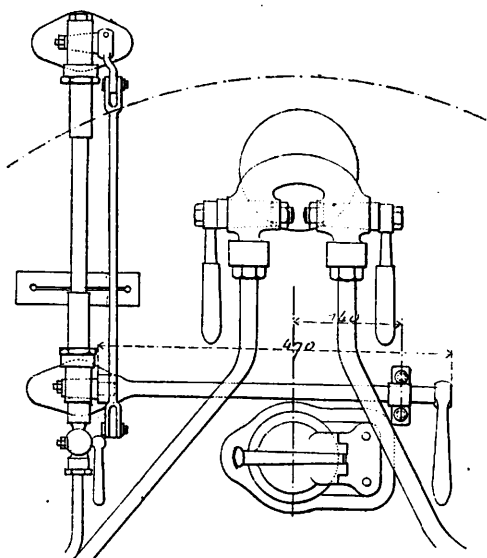


Fig. 78 bis. — Tube de niveau de la compagnie de Lyon.

une fois toutes les heures. On a vu des tubes de niveau en mauvais état rester remplis d'eau alors que la chaudière se vidait : c'est un danger sérieux.

Le joint étanche ou tube en verre dans les tubulures en bronze est assuré au moyen d'une *bague en caoutchouc* serrée par un *presse-garniture* (fig. 78). Quelquefois le caoutchouc pénètre entre le verre et le presse-garniture, et même en dessous du verre, qui risque alors d'être

bouché : on évite cet accident en plaçant contre la bague en caoutchouc, en dessus et en dessous, une petite tresse en chanvre.

Il est important que les robinets du tube de niveau se manœuvrent toujours facilement, de manière qu'on puisse les fermer immédiatement si le tube se rompt. Cette manœuvre est aisée et sans danger lorsque la poignée est montée à quelque distance du robinet; on peut aussi conjuguer les deux robinets de manière à ce qu'ils se ferment ensemble, comme on le voit sur la figure 78 *bis*. Sur la plupart des locomotives de la compagnie de l'Ouest, la commande des appareils de niveau se fait de même à distance. Ces robinets ne doivent pas fuir. Des robinets qui pleurent ou qu'on ne peut faire tourner font aussitôt juger que le personnel d'une machine manque de soin. On doit avoir sur chaque machine deux ou trois tubes de rechange, coupés à la longueur convenable. Le tube de niveau en verre est prescrit en France par l'article 41 du décret du 30 avril 1880.

Le second appareil de niveau se compose de trois *robinets de jauge* (fig. 79); on ne voit pas, sur la figure, le trou par lequel l'échappement se fait quand on ouvre le robinet : l'ouverture bouchée par une vis sert au nettoyage des orifices quand la chaudière est froide. On ne doit pas attendre, pour se servir des robinets de jauge, que le tube de verre soit cassé, mais il faut les faire jouer au moins une ou deux fois par jour : on contrôle ainsi l'indication du tube de verre et on s'assure qu'ils sont toujours en bon état.

La *limite inférieure du niveau de l'eau*, marquée sur la chaudière, doit être à 10 cm au-dessus du foyer. Les mécaniciens feront toujours bien de profiter d'un lavage de la chaudière pour vérifier, par une des ouvertures de la boîte à feu, si la plaque indicatrice est bien montée sur leur machine.

46. Alimentation. — Pour introduire l'eau dans la chaudière, de manière à en maintenir convenablement le niveau, c'est-à-dire pour *alimenter* la chaudière, on se sert soit de *pompes*, soit d'*injecteurs*. Les pompes, qui, avant l'invention de Giffard en 1862, étaient seules employées, ont cédé la place, sur presque toutes les locomotives, aux injecteurs, plus simples, moins sujets aux avaries, et permettant d'alimenter pendant les stationnements. Il est cependant deux cas où la pompe a l'avantage sur l'injecteur, et c'est ce qui l'a fait conserver par quelques compagnies de chemins de fer : lorsque l'eau d'alimentation est fortement réchauffée, notamment au moyen de la vapeur d'échappement, et pendant la marche à contre-vapeur. L'eau chaude pénètre dans la pompe alors que l'injecteur rate; toutefois, certains injecteurs arrivent à prendre l'eau à 50°, et les pompes ordinaires fonctionnent mal quand l'eau est par trop chaude, ce qui réduit l'infériorité de l'injecteur sous ce rapport. Quant à la marche à contre-vapeur, elle peut comprimer de l'air dans la chaudière : or, l'injecteur fonctionne sous l'action de la vapeur, mais non de l'air com-

primé à la même pression. Toutefois, il est facile de faire échapper l'air.

L'alimentation peut être *continue* ou *discontinue* : si la machine fait un long parcours en palier ou sur une rampe uniforme, la dépense de vapeur est régulière, et le mieux est de maintenir toujours l'eau au même niveau par une alimentation constante : mais souvent le débit des injecteurs ne peut être réglé de manière à la réaliser : si ce débit est supérieur à la dépense de vapeur, l'injecteur ne peut fonctionner que par intermittences. Si la locomotive a deux injecteurs de calibres différents et bien proportionnés, le plus petit, restant constamment en marche, pourra souvent suffire à peu près. Au lieu d'alimenter d'une manière absolument continue, on préfère parfois, quand on met un grand soin à la conduite de la machine, arrêter un instant l'injecteur à chaque chargement de combustible dans le foyer, ce chargement étant une cause de refroidissement et pouvant faire baisser un peu la pression : l'arrêt de l'alimentation diminue la quantité de chaleur à fournir par le foyer. Mais avec les chargements très fréquents, qui sont recommandables, les manœuvres continuelles de l'injecteur sont assujettissantes sans grand bénéfice.

Sur les profils très variables, au contraire, l'alimentation discontinue rend de grands services. Nous avons vu (§ 42) que la chaleur fournie par le combustible doit d'abord échauffer l'eau jusqu'à la température de la vapeur (§ 40), puis ensuite la vaporiser : l'eau étant prise à 45° et la pression étant de 10 kg par cm², plus du quart de la chaleur, échauffe l'eau (jusqu'à 183°) et moins des trois quarts la vaporisent. Quand on arrête l'alimentation, il n'entre plus d'eau froide dans la chaudière ; toute la chaleur qu'elle reçoit sert donc à transformer l'eau chaude en vapeur : la quantité de vapeur produite peut être ainsi considérablement augmentée, sans que la pression tombe. Mais alors le niveau de l'eau s'abaisse, et il ne faut pas un temps bien long pour qu'il arrive à sa limite inférieure. La suppression de l'alimentation offre toutefois une ressource précieuse pour franchir de courtes rampes. Bien entendu, une abondante alimentation doit suivre, pour réparer les pertes de la chaudière : elle se fera facilement si à la rampe succède une pente sur laquelle on peut fermer le régulateur ou ne dépenser que peu de vapeur.

En somme, pour obtenir toutes les ressources que donne l'alimentation discontinue, un mécanicien doit bien connaître le parcours de la ligne qu'il suit ; il est d'ailleurs souvent difficile, sans abaisser la pression, de relever le niveau de l'eau si on l'a trop laissé tomber. Nous indiquons, au paragraphe 59, le danger que présente, en outre, l'abaissement trop fort du niveau de l'eau en montant les rampes, par suite du mouvement de bascule fait par la locomotive en passant de la rampe à une pente ou même à un palier.

47. Tuyauterie d'alimentation. — Les appareils d'alimentation

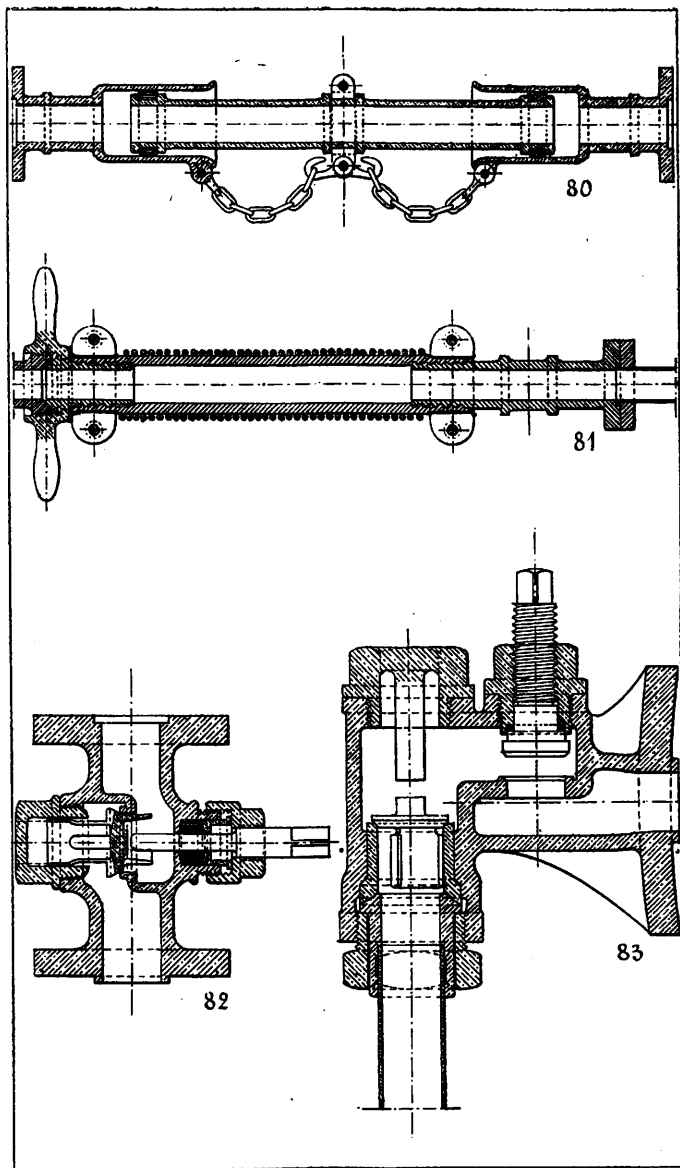


Fig. 80. Rotule métallique. — Fig. 81. Tuyau flexible. — Fig. 82. Soupape de prise de vapeur, du système Benoit (compagnie de l'Est). — Fig. 83. Chapelle de refoulement.

exigent une *tuyauterie*, qui est souvent étendue et trop compliquée. Cette tuyauterie est distincte pour chacun des deux injecteurs.

L'eau est amenée du tender à la locomotive par un accouplement flexible, qui est, soit une *rotule* métallique (fig. 80) avec deux petites bagues en caoutchouc, soit un tuyau en toile et caoutchouc (fig. 81) armé par un fil de fer en hélice. Une fuite à cet accouplement peut vider le tender, surtout si l'on ne referme pas la soupape de prise d'eau sur le tender chaque fois qu'on arrête l'injecteur.

L'injecteur reçoit le tuyau d'arrivée d'eau, le tuyau d'amenée de vapeur et le tuyau de refoulement. A la prise de vapeur sur la chaudière est installé un robinet ou une soupape : nous donnons (fig. 82) le dessin de la soupape Benoit, employée par la compagnie de l'Est. Un robinet à boisseau suffit, et reste constamment ouvert en service, lorsque l'injecteur porte un organe permettant d'arrêter l'écoulement de la vapeur.

Pour réduire le nombre des trous percés dans les tôles, la compagnie

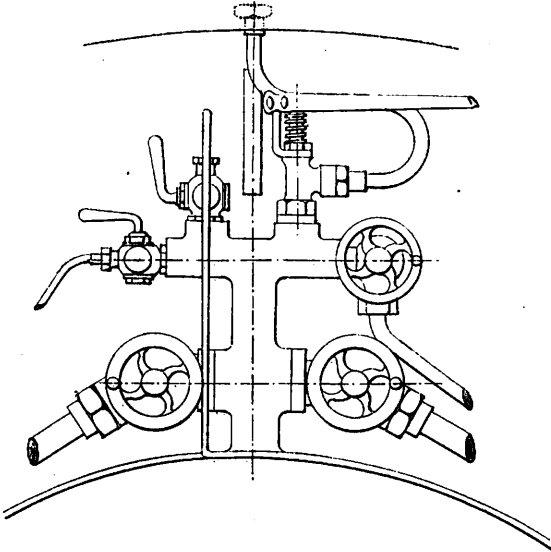


Fig. 82 bis. — Colonnnette de prise de vapeur de la compagnie de l'Ouest.

de l'Ouest monte une série de prises de vapeur sur une colonnette unique fixée à l'arrière de la chaudière, à l'intérieur de l'abri (fig. 82 bis). Tous les volants de manœuvre sont bien à la main du mécanicien. Cette colonnette porte les prises de vapeur des injecteurs, du petit cheval du frein, du sifflet, de la sablière Gresham et du manomètre.

Le tuyau de refoulement aboutit à la *chappelle de refoulement* (fig. 83) sur la chaudière, qui doit, d'après le décret du 30 avril 1880, être munie d'une soupape se fermant d'elle-même. Un robinet ou une soupape permet d'isoler la soupape automatique de la chaudière quand on veut la visiter, mais cette visite est dangereuse, car on risque d'être brûlé par l'eau chaude, si on s'est trompé sur la position de fermeture du robinet, ou s'il n'est pas étanche.

Les tuyauteries demandent un entretien assujettissant quand il gèle : elles doivent alors être revêtues d'un isolant autant que possible, et il faut avoir soin de ne jamais les laisser pleines d'eau quand elles ne servent pas.

On verra au paragraphe 52 un exemple de tuyauterie extrêmement simplifiée.

48. Pompes. — Les figures 84 et 85 représentent deux types de pompes de la compagnie de l'Est. Toutes deux sont à *piston plongeur*, jouant à travers une *garniture* ; les *soupapes d'aspiration et de refoulement* sont des *boulets* creux en bronze. Le piston de la pompe de la figure 84 est commandé par une bielle, qui s'articule sur le collier d'un des excentriques de distribution ; celui de la pompe de la figure 85 est mené directement par la tige du piston : il a, par suite, une plus longue course que le premier, ce qui exige un diamètre moindre pour donner le même débit.

Pour alimenter, on ouvre la prise d'eau sur le tender ; on la referme quand on veut arrêter l'alimentation.

A grande vitesse, les pompes donnent souvent des chocs violents. On peut éviter ces chocs en traçant les appareils de manière à supprimer toute brusque déviation de l'eau, et surtout en faisant usage de soupapes à très faible levée, qu'on multiplie de manière à obtenir une section de passage suffisante.

Le *robinet d'épreuve*, monté sur le tuyau de refoulement, permet de vérifier si la pompe refoule effectivement de l'eau : il lance un jet au dehors quand il est ouvert.

49. Injecteurs. — Il existe un grand nombre de systèmes d'injecteurs. La compagnie de l'Est emploie surtout l'injecteur *Giffard*, à peu près tel qu'il est sorti des mains du célèbre inventeur, et l'injecteur *Friedmann* ; puis quelques autres types, tels que ceux de *Sellers* et de *Gresham*. Sur les locomotives de la compagnie de Lyon, on fait usage d'un injecteur Giffard, et d'injecteurs Sellers pour les chaudières timbrées à 15 kg. La compagnie de l'Ouest a successivement employé les injecteurs Turck (analogues à celui de Giffard), Friedmann et Sellers.

Les injecteurs *aspirants* peuvent être montés au-dessus du niveau de l'eau dans la bêche où ils la puisent ; les injecteurs *non aspirants* doivent recevoir l'eau *en charge*. Des types que nous venons de citer,

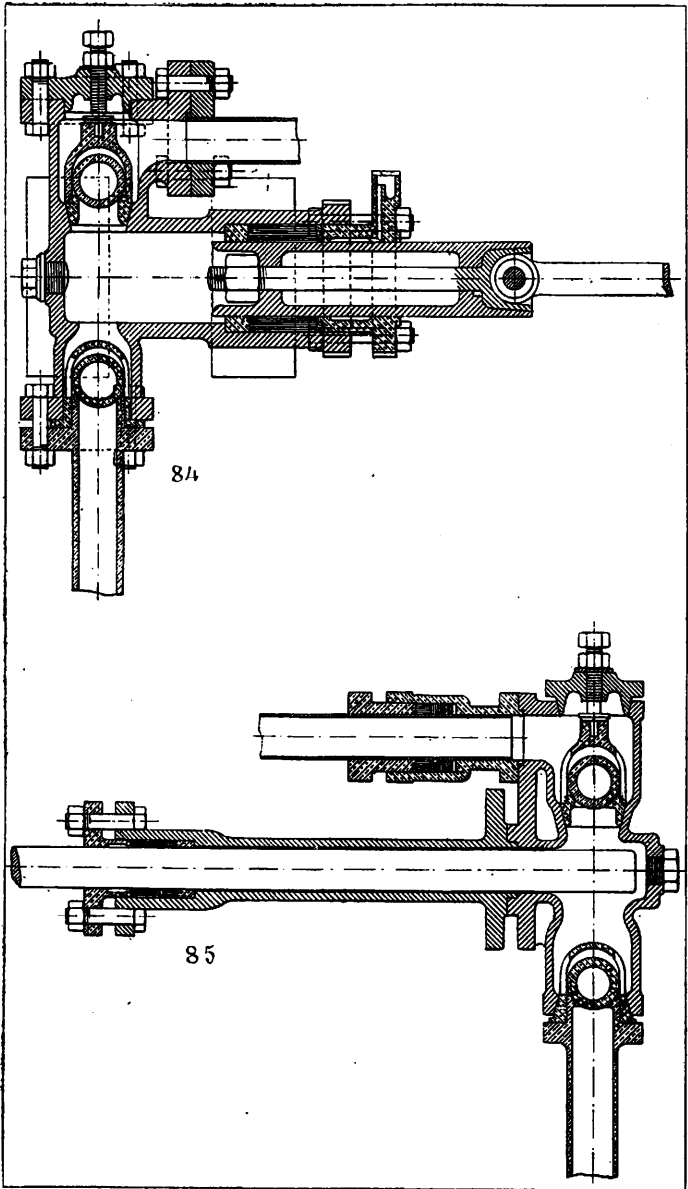


Fig. 84 et 85. — Pompes alimentaires.

celui de Friedmann (sous sa forme usuelle) n'est pas aspirant ; les autres le sont ; aussi peuvent-ils être montés d'une manière plus commode sur les locomotives, tandis que l'injecteur non aspirant doit être placé au-dessous du tablier.

Malgré leur grande diversité d'aspect, tous les injecteurs comportent les mêmes organes essentiels. C'est d'abord la *tuyère*, par laquelle s'écoule avec une grande vitesse un jet de vapeur provenant de la chaudière, lorsque la *prise de vapeur* est ouverte ; il convient que cette vapeur soit bien sèche : aussi faut-il la prendre dans le dôme ou au moins dans la partie supérieure de la chaudière. La tuyère débouche dans l'axe de la *chambre* ou *cheminée*, qui est un simple ajutage conique, ou qui se compose de plusieurs cônes convergents ; cette chambre ou cheminée reçoit aussi l'eau par une prise spéciale : la vapeur se condense au contact de l'eau et il se forme un jet d'eau chaude encore animé d'une grande vitesse, quoique bien inférieure à celle qu'aurait le jet de vapeur seule.

Ce jet d'eau chaude traverse un espace dit *trop-plein*, qui communique librement avec l'extérieur : le jet est donc soumis, en cet endroit, à la seule pression de l'atmosphère. C'est par le trop-plein que s'écoule l'eau ou la vapeur lors de l'*amorçage* de l'injecteur.

En traversant le trop-plein, le jet d'eau chaude peut entraîner de l'air, qui pénètre dans la chaudière ; or, la présence de l'air risque à la longue d'altérer les tôles ; aussi plusieurs injecteurs ont-ils sur le trop-plein une soupape qui se ferme du dehors au dedans : cette soupape ne s'oppose pas à la sortie d'eau et de vapeur lors de l'amorçage, mais se referme quand une aspiration se produit, l'injecteur étant amorcé.

Enfin le jet rapide qui traverse le trop-plein pénètre dans un conduit appelé *divergent* à cause de sa forme, où la vitesse se ralentit et où en même temps la pression augmente, suivant un principe de mécanique élémentaire : si la vitesse à l'entrée du divergent est assez grande et si elle se ralentit suffisamment par suite de l'élargissement du conduit, la pression croît assez pour atteindre et dépasser celle de la chaudière ; l'eau y pénètre alors, en soulevant la *soupape de retenue* qui empêche la vidange de la chaudière lorsque l'appareil ne marche pas.

La dimension d'un injecteur la plus importante à connaître est le diamètre du divergent à sa section la plus étroite, auprès de son embouchure, car de ce diamètre on peut déduire, pour chaque type d'injecteur, la quantité d'eau qu'il refoule. Le numéro de l'injecteur est souvent ce diamètre exprimé en millimètres.

Les qualités principales qu'on recherche dans un injecteur, qualités qui, dans chaque cas, feront préférer tel ou tel appareil, sont les suivantes :

Facilité de la manœuvre et sûreté de l'amorçage, que le personnel des locomotives apprécie tout particulièrement ;

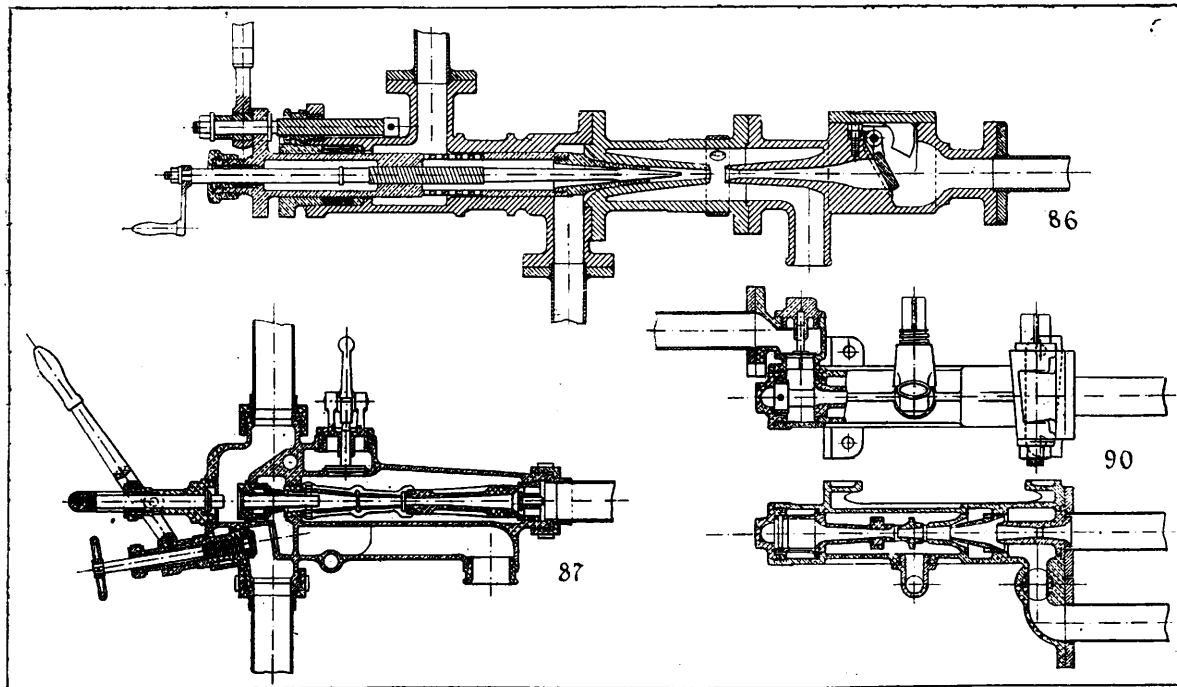


Fig. 86. Injecteur Giffard. — Fig. 87. Injecteur Sellers. — Fig. 90. Injecteur Friedmann.

Fonctionnement avec de l'eau assez chaude, ce qui permet des économies, en utilisant la vapeur perdue à réchauffer l'eau du tender ;

Débit variable à volonté, de sorte qu'on puisse régler une alimentation continue ;

Simplicité de la construction et facilité de l'entretien : certains types sont d'un démontage fort aisé et peuvent, par suite, être toujours tenus en parfait état, sans peine, et visités en peu d'instant s'ils viennent à rater.

50. Injecteur Giffard. — Dans l'injecteur Giffard, représenté en coupe verticale par la figure 86, l'*aiguille*, manœuvrée par une petite manivelle, ferme ou ouvre plus ou moins la *tuyère* par laquelle s'échappe la vapeur prise à la chaudière. Il faut fermer cette aiguille avec douceur, car, poussée fortement, elle peut faire éclater la tuyère dans laquelle elle se coince. Le petit jet de vapeur, que laisse passer la tuyère entr'ouverte, entraîne l'air lors de la mise en marche et appelle l'eau par suite de la diminution de la pression dans le tuyau d'aspiration.

La tuyère avec l'aiguille peut glisser dans le *corps* de l'injecteur, sous l'action de la vis commandée par une grande poignée ; on ouvre ainsi plus ou moins le passage de l'eau. Il ne faut pas que la vapeur puisse fuir à l'extérieur de la tuyère et pénétrer par là dans la *chambre* ou *cheminée* : une garniture s'oppose à cette fuite. La nécessité de cette garniture étanche est le principal défaut de l'injecteur Giffard ; elle est supprimée dans le type de Turck, cité un peu plus haut. Le trop-plein s'ouvre librement au dehors. Enfin, un petit *clapet* ferme l'extrémité du *divergent*, du côté du refoulement à la chaudière.

On peut encore reprocher à l'appareil ses dimensions un peu grandes.

Pour faire fonctionner l'injecteur Giffard, on règle le passage de l'eau, à l'aide de la grande poignée, en réduisant l'ouverture d'autant plus que la pression dans la chaudière est plus forte. On manœuvre l'aiguille de manière à ouvrir d'abord un étroit passage à la vapeur pour aspirer l'eau, puis on augmente l'ouverture.

Un injecteur Giffard, avec divergent de 9 mm de diamètre à l'endroit le plus étroit, peut refouler dans une chaudière, dont la pression est de 10 kg, 60 à 120 litres d'eau prise au tender par minute.

La figure 86 *bis* représente l'injecteur Giffard monté sur les locomotives de la compagnie de Lyon : il diffère du précédent par sa position verticale, et surtout parce que la pièce qui porte la tuyère et le divergent est mobile entre deux garnitures qu'on resserre de l'extérieur. L'inconvénient de la garniture intérieure est ainsi évité.

Quand cet injecteur est bien entretenu, le fonctionnement en est sûr, si bien qu'on se contente d'en monter un seul sur chaque machine.

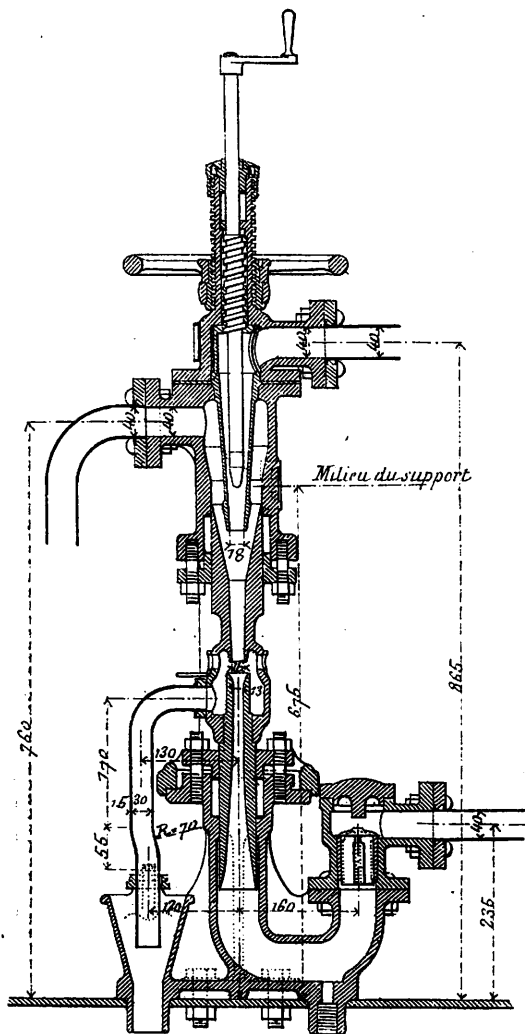


Fig. 86 bis. — Injecteur Giffard de la compagnie de Lyon.

51. **Injecteur Sellers.** — Dans l'injecteur Sellers (fig. 87, coupe verticale), la vapeur sort non seulement par la *tuyère*, mais forme en outre une petite nappe autour de cette tuyère. La soupape, com-

mandée par un levier, qui laisse sortir la vapeur, commence par donner passage seulement à cette nappe auxiliaire, à cause du téton qui s'engage dans la tuyère : c'est ce qui produit l'aspiration de l'air, puis de l'eau, à la mise en train. L'entrée de l'eau est réglée par une soupape à vis. La *chambre* où se mêlent l'eau et la vapeur est un long cône percé d'une série d'ouvertures en communication avec le trop-plein. Une soupape, s'ouvrant du dehors en dedans, s'oppose à l'aspiration de l'air, et peut être fermée quand on se sert de la prise de vapeur pour réchauffer l'eau du tender. La chambre est libre de se déplacer légèrement suivant sa longueur. Une soupape, au bout du *dévergent*, empêche tout retour d'eau de la chaudière. Un injecteur Sellers débite un peu plus d'eau qu'un injecteur Giffard à divergent de même diamètre.

52. Injecteur Gresham. — L'injecteur Gresham (fig. 88) est remarquable par la réunion, en une pièce unique, de la prise de vapeur, de l'injecteur même, et de la chapelle de refoulement, pièces qui sont ordinairement distinctes et raccordées par des tuyaux plus ou moins longs et contournés. Cet injecteur, qui est aspirant, se monte sur la face arrière de la chaudière : les seuls tuyaux extérieurs qu'il comporte le relie au tender et servent au dégagement du trop-plein. Un robinet, placé au point le plus bas du premier de ces tuyaux, permet de le vider lors des gelées ou bien s'il se remplit d'eau chaude, qui nuirait à l'amorçage : quand on veut ouvrir ce robinet, il ne faut pas oublier de fermer la soupape de prise d'eau sur le tender. A l'intérieur de la chaudière, et par conséquent soustraits à l'atteinte des gelées et à l'action de la pression, il y a deux tuyaux, un qui amène la vapeur sèche, un autre qui conduit l'eau vers l'avant de la chaudière (fig. 89). Ce dernier tuyau peut à la longue se remplir d'incrustations et doit être visité et au besoin remplacé lors des réparations de la chaudière, ou bien si l'injecteur refusait de fonctionner sans qu'on en trouvât d'autre cause.

La tuyère à vapeur est à la base de l'injecteur : la chambre reçoit l'eau sur le côté de la tuyère (l'entrée d'eau ne se voit que sur une des coupes), et se compose de deux cônes successifs. Le second de ces cônes est libre de prendre un petit déplacement suivant son axe ; cette disposition, qui existe également dans l'injecteur Sellers, facilite la remise en train automatique de l'appareil, s'il vient à se désamorcer, par suite de quelque choc, comme il s'en produit pendant les arrêts. La communication du trop-plein avec le tuyau de vidange (même coupe que pour l'entrée d'eau) peut se fermer par un robinet quand on veut réchauffer l'eau du tender. Enfin, la gerbe donnée par le divergent se recourbe en nappe circulaire et revient gagner, autour de ce divergent, le clapet de retenue.

La vis commandée par une tête carrée permet de fermer une soupape à l'entrée du refoulement, en cas de dérangement de la soupape

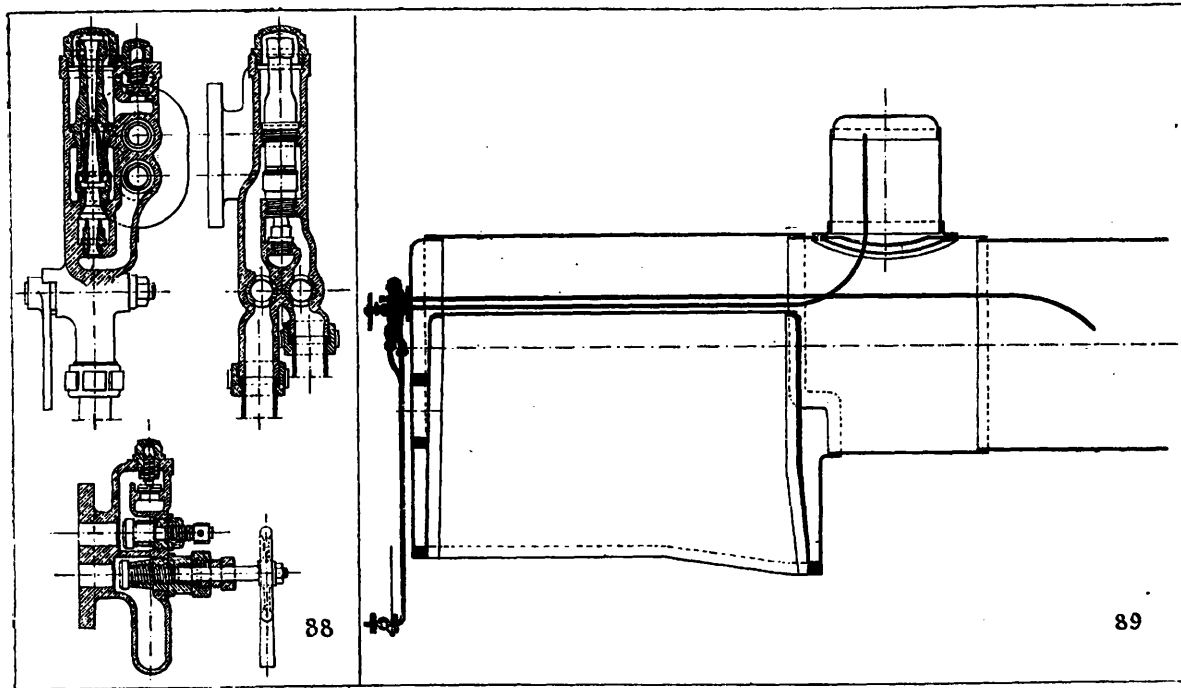


Fig. 88. Injecteur Gresham. — Fig. 89. Tuyauterie de l'injecteur Gresham.

automatique de retenue; pour visiter cette soupape, il suffit de dévisser le plus petit des deux chapeaux placés au haut de l'injecteur; mais cette manœuvre est dangereuse quand la chaudière est en pression, la fermeture de la soupape à vis pouvant n'être pas complète.

Pour faire fonctionner l'injecteur, on ouvre le robinet d'eau, puis la prise de vapeur; ensuite on referme un peu le robinet d'eau.

Le petit trou qu'on remarquera entre les deux robinets voisins placés vers le bas de l'appareil, laisse écouler toute l'eau contenue dans l'injecteur, quand on ferme le robinet d'arrivée: on évite ainsi qu'il ne se remplisse d'eau chaude de nature à en troubler l'amorçage. Il ne faut donc pas négliger de fermer ce robinet quand l'injecteur ne fonctionne pas, même si l'on n'a pas à craindre l'écoulement de l'eau du tender, qui peut être à un niveau inférieur.

Le débit de l'injecteur Gresham de 9 mm, avec une pression de 10 kg par cm^2 dans la chaudière, peut varier de 80 à 120 litres par minute; ce débit diminue quand la pression s'élève au-dessus de 10 kg. La température de l'eau d'alimentation ne doit pas dépasser 30 à 35°.

53. Injecteur Friedmann. — L'injecteur Friedmann n'a que des cônes fixes; l'admission de la vapeur s'y règle avec la soupape de prise montée sur la chaudière, et celle de l'eau avec le robinet que porte l'injecteur (fig. 90, p. 86). Sous sa forme usuelle, il ne donne pas de petit jet de vapeur pouvant aspirer l'eau à la mise en marche et doit être monté en *charge*. La *tuyère* qui donne le jet de vapeur s'évase vers son débouché; la *chambre* comporte trois cônes successifs: entre le deuxième et le troisième de ces cônes existe un vide communiquant avec le trop-plein; sur le trop-plein, une soupape se fermant du dehors au dedans s'oppose à l'aspiration de l'air; on peut fermer cette soupape à l'aide d'une vis quand on veut envoyer la vapeur au tender pour en réchauffer l'eau. Enfin le *divergent* débouche sous une soupape qui s'oppose à tout retour de l'eau de la chaudière.

Le type représenté figure 90 est remarquable par la facilité du démontage de l'appareil; en dévissant le chapeau fileté qui le ferme en bout, du côté du refoulement, on peut extraire tout le système des cônes intérieurs, sauf la tuyère à vapeur.

L'injecteur Friedmann prend de l'eau tiède jusqu'à 45 ou 50°; avec un divergent de 9 mm, il peut débiter 150 litres d'eau par minute.

54. Causes du raté des injecteurs. — L'importance de l'alimentation est capitale, puisque son arrêt prolongé entraîne une détresse irrémédiable. Si les injecteurs sont constamment tenus en bon état, il n'est guère vraisemblable que les deux puissent manquer à la fois, à moins que l'eau du tender n'ait été par trop réchauffée. Sur bien

des locomotives du chemin de fer de Lyon, on se contente d'avoir un seul injecteur. Outre la température trop élevée de l'eau du tender, les principales causes qui peuvent faire rater un injecteur sont les suivantes :

La vapeur est trop humide, fait qui ne doit pas se produire, même quand le niveau de l'eau est très élevé dans la chaudière, si la prise de vapeur est bien établie.

L'injecteur ou un de ses tuyaux est bouché par un morceau de déchet, ou par la matière d'un joint pénétrant à l'intérieur : il n'y a que la visite de l'appareil qui permette de remédier à cette conséquence d'une fâcheuse négligence.

L'injecteur est entartré : comme le dépôt de tartre ne se forme que lentement, cette circonstance indique un manque d'entretien.

Une rentrée d'air par les rotules peut empêcher l'amorçage d'un injecteur aspirant.

Lorsqu'un injecteur est très chaud, par suite de plusieurs tentatives d'amorçage, le fonctionnement peut en devenir plus difficile encore : il faut tâcher de le refroidir (ce qui est facile pour l'injecteur non aspirant, en laissant couler par le trop-plein l'eau du tender).

Enfin l'usure, le déplacement, la rupture des organes, les fuites intérieures dans l'injecteur Giffard, peuvent paralyser ou gêner le fonctionnement.

Quelquefois, après avoir passé en revue inutilement toutes les causes vraisemblables qui peuvent empêcher la marche d'un injecteur, on finit par s'apercevoir qu'on a été chercher midi à quatorze heures, comme on dit familièrement, et qu'une cause très simple paralyse l'appareil : on découvrira, par exemple, que le robinet de la chapelle de refoulement est fermé.

55. Dépôts dans les chaudières. — L'eau qui sert à l'alimentation des chaudières est quelquefois bourbeuse : le sable et la terre qu'elle contient se déposent alors à l'intérieur de la chaudière. En outre, la plupart des eaux, même très claires, renferment *en dissolution* des substances solides. Tout le monde connaît la dissolution du sucre et du sel dans l'eau ; le premier de ces corps ne se rencontre guère dans les eaux qu'on donne aux locomotives, mais quelquefois le second. Plus souvent ce sont les substances que l'on nomme carbonate de chaux (craie) et sulfate de chaux (pierre à plâtre) qui existent dans les eaux les plus limpides, en proportions variables. Ces substances restent dans la chaudière quand on vaporise l'eau, et en tapissent les parois intérieures. C'est surtout le sulfate de chaux qui forme des dépôts durs et adhérents, beaucoup plus nuisibles que les dépôts bourbeux ou pulvérulents, qui sortent avec l'eau quand on vide la chaudière. Le sulfate de chaux, qui est soluble dans l'eau froide, est insoluble à la température de 140°, et se dépose dès que l'eau atteint cette température dans la chaudière.

Les eaux de Châlons, de Gray, de Mohon, de Longwy, de Reims, qu'on peut citer comme étant de qualité moyenne, laissent un résidu-solide d'environ 0^{sr},25 par litre quand on les évapore. Après un parcours de 5 000 kilomètres, en dépensant environ 70 litres par kilomètre, on a évaporé 350 mètres cubes, et déposé 90 kilogrammes de matières solides dans la chaudière.

Certaines eaux, qu'on peut citer comme fort mauvaises, laissent un résidu de 1 à 2 grammes par litre.

Dans les Vosges, on trouve des eaux extrêmement pures, ne tenant que 2 à 3 centigrammes par litre, par exemple à Baccarat.

Voici quelques valeurs du résidu par litre laissé par les eaux employées sur le réseau de Paris à Lyon et à la Méditerranée :

Sources du Furens, à Saint-Étienne	0 ^s ,03
L'Allier, à Langeac.	0 07
La Loire, à Roanne.	0 12
Le lac de Genève, à Genève	0 16
Le Rhône, à Oullins	0 19
L'Yonne, à Laroche.	0 27
La Seine, à Paris.	0 32
Le canal de la Durance, à Marseille.	0 34
Sources à Firminy	0 39
Sources à Gannat	0 46
L'Arvan, à Saint-Jean-de-Maurienne.	1 09
Puits, à Fréjus.	1 22

Les croûtes solides déposées par l'eau recouvrent le foyer et les tubes et rendent plus difficile la transmission de la chaleur : le métal en contact avec le feu et les gaz chauds ne touche plus l'eau, si bien qu'il s'échauffe beaucoup et risque de s'altérer. Les dépôts sont une cause importante de détérioration des chaudières ; en outre, comme la suie dans les tubes, ils réduisent l'effet utile du combustible.

Nous avons cité la présence, dans certaines eaux d'alimentation, du sel ordinaire, dissous comme dans l'eau de mer. Quand on emploie ces eaux salées dans les chaudières, le sel reste dans l'eau de la chaudière, qui devient de plus en plus salée : or, dès que la proportion de sel devient un peu forte, la production de la vapeur est fort gênée ; l'eau devient mousseuse comme avec du savon, et cette mousse, entraînée par la vapeur, remplit les cylindres d'eau tandis que la chaudière se vide. Quand on est obligé d'employer des eaux tenant ainsi du sel en dissolution, il faut, par de fréquentes vidanges de la chaudière, empêcher la dissolution de se *concentrer* jusqu'à produire cet effet.

Le paragraphe 186 donne quelques détails sur l'opération du *lavage*, qui débarrasse les chaudières des dépôts solides.

56. Désincrustants. — Certains produits, mis dans l'eau des chaudières, empêchent les dépôts solides d'adhérer aux tôles : on les appelle *désincrustants* ; ce nom, pris à la lettre, signifie que non seulement ces substances empêchent les incrustations de se former, mais qu'elles peuvent décaper les tôles entartrées. Cet effet se produit quelquefois ; du reste, l'action de ces corps est fort variable, suivant la nature des eaux d'alimentation.

Les désincrustants ont tantôt une action chimique, et forment des produits *solubles*, qui restent dissous dans l'eau, en place des substances *insolubles*, qui constituent les dépôts ; tantôt leur action est *mécanique* : ils donnent lieu à la formation de *poudres* ou de *boues*, faciles à extraire lors des vidanges, au lieu de croûtes dures et adhérentes. La fécule de pomme de terre est le plus simple de ces désincrustants à action mécanique.

La compagnie de Lyon ne fait guère usage de désincrustants : seulement lorsque les eaux sont très chargées de sulfate de chaux, on ajoute, dans les tenders, du carbonate de soude, en poids égal à celui du sulfate de chaux dissous.

La compagnie de l'Est emploie, dans ses locomotives, un liquide dit *antitartrique*, qu'on prépare en mettant dans une cuve en bois 76 kilogrammes ou 76 litres d'eau et en y dissolvant

46 kg,	7	de carbonate de soude,
5	2	d'extrait de campêche,
1	7	d'extrait de quebracho.

On obtient ainsi une dissolution, dont l'action est double : le carbonate de soude agit chimiquement et décompose le *sulfate de chaux* ; qui forme les croûtes les plus dures sur les tôles ; les extraits de bois de campêche et de quebracho paraissent empêcher l'adhérence des précipités qui se forment.

Pour un service moyen, on verse dans le tender deux litres par jour de liquide antitartrique et quatre litres après chaque lavage. Cette dose peut être augmentée ou diminuée suivant le service de la locomotive.

La compagnie de l'Ouest prépare également un liquide à base de quebracho, en faisant bouillir dans l'eau, pendant plusieurs heures, la poudre de ce bois, additionnée de soude caustique : le poids de la soude est la moitié du poids du bois. La quantité de liquide employée dans les chaudières dépend de la nature des eaux d'alimentation.

Le bois de quebracho abonde dans la république Argentine, où il fournit d'excellentes traverses de chemin de fer, car il ne s'altère pas à l'humidité : des pieux, provenant de palissades établies il y a plus de cent cinquante ans, sont encore parfaitement sains. Ce bois, fort riche en tannin, est très lourd : il pèse 1 250 kilogrammes par mètre cube.

57. Épuration des eaux. — On évite sûrement ou du moins on réduit beaucoup les dépôts dans les chaudières, en épurant au préalable les eaux. Cette *épuration* consiste à *précipiter*, au moyen de réactions chimiques, les matières solides dissoutes dans l'eau ; on en sépare ensuite les sels précipités, en faisant passer l'eau à travers des filtres ou en la laissant séjourner dans des bassins de *décantation*. On produit ainsi les dépôts *avant* que l'eau n'entre dans les chaudières.

L'épuration préalable n'arrive pas en pratique à débarrasser entièrement l'eau de toute substance pouvant former des dépôts, mais réduit beaucoup la proportion de ces substances.

Avantageuse pour des eaux très incrustantes, l'épuration est moins utile pour celles de qualité moyenne ; dans chaque cas, on peut estimer, en faisant le devis de toutes les dépenses, s'il y a bénéfice ou non à installer les appareils nécessaires. De telles installations sont nombreuses sur le réseau du chemin de fer du Nord. Il en existe une à Mirecourt sur le réseau de l'Est.

58. Épreuves des chaudières. — On vérifie la résistance des chaudières neuves, réparées, ou en service depuis dix ans au plus, en les essayant à une pression qui dépasse de 6 kg par cm² la pression effective la plus grande de marche. Cette pression n'est pas obtenue avec la vapeur, ce qui serait fort dangereux en cas d'avarie, mais avec de l'eau refoulée par une pompe ou *presse hydraulique*. L'excès de pression, 6 kg par cm², est fort utile dans ce cas : à pression égale, la fatigue de la chaudière est plus grande à chaud. Chauffée, la chaudière s'allonge ou se *dilate* : les effets de la dilatation sont bien visibles sur la locomotive en service. Mais toutes les feuilles du métal ne sont pas également chaudes : il y a des dilatations inégales, d'où tiraillements en certains points et efforts s'ajoutant à la pression de la vapeur.

La rupture des tôles pendant l'essai n'est pas dangereuse, pourvu que la chaudière soit entièrement remplie d'eau et ne contienne pas d'air.

Après l'épreuve, les agents du service des mines poinçonnent une médaille ou *timbre* fixé à la chaudière et portant l'indication de la pression effective la plus forte qu'elle doit supporter, en kilogrammes par centimètre carré.

Lorsque la pression du timbre est inférieure à 6 kg, ce qui n'est pas le cas des locomotives, la pression effective d'épreuve est le double de la pression effective de marche ; la surcharge d'épreuve est au moins de 0,5 kg par cm², pour les récipients travaillant à très faible pression effective.

59. Affaiblissement des chaudières. — Si solide que soit une chaudière, elle ne conserve pas toujours sa résistance. Les corrosions se

produisent petit à petit, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des tôles. Le plus souvent, on ne peut éviter les corrosions intérieures, qui sont examinées lors des grandes réparations. Mais les corrosions extérieures ne se produisent qu'aux fuites de la chaudière, soit aux *pincés* des tôles, soit aux *rivets*, soit autour des *joints*. Sur une chaudière toujours bien entretenue, on ne tolère pas de fuites et par suite pas de corrosions extérieures : toute fuite aux tôles ou aux rivets doit être matée, et les joints, s'ils sont soigneusement faits, ne perdent pas.

Toutefois, si un joint vient à fuir, il ne faut pas resserrer les boulons qui le maintiennent pendant que la chaudière est en pression, surtout sur les pièces de fonte : on a vu cette manœuvre occasionner des ruptures fort dangereuses.

Une autre cause affaiblit énormément les chaudières et peut agir rapidement, si le personnel qui conduit la machine est négligent : les feuilles de métal ne conservent leur résistance qu'à la condition de n'être pas trop chaudes. Portés au rouge, le cuivre, le fer, l'acier n'ont pour ainsi dire plus aucune solidité, et déjà, bien avant le rouge, sont fort affaiblis. Ce qui empêche le métal en contact avec le feu de s'échauffer à l'excès, c'est l'eau qui en baigne l'autre face et qui absorbe facilement la chaleur ; si l'eau est remplacée par la vapeur, il n'en est plus de même.

Il ne faut pas interrompre longtemps l'alimentation dans une chaudière de locomotive pour que le ciel du foyer soit découvert. S'il restait ainsi exposé un certain temps à l'action du feu, il arriverait au rouge et finirait par s'affaisser ou se déchirer. Pour prévenir ce grave accident, on met des bouchons qui fondent avant que le cuivre ne soit au rouge, ce qu'on appelle des *bouchons fusibles* (fig. 91). La vapeur éteint le feu ; la machine ne peut continuer sa marche. Le bouchon est figuré renversé : la tête est du côté chauffé.

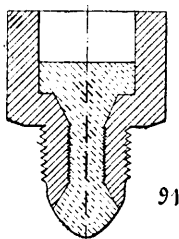


Fig. 91.
Bouchon fusible.

On peut s'apercevoir que le ciel du foyer n'est plus couvert d'eau et reçoit un *coup de feu*, sans que les bouchons aient fondu : il faut jeter le feu, par prudence, parce que la solidité du foyer est fort compromise et aussi afin de ne pas aggraver les dégâts : peu de temps suffit pour détériorer complètement un ciel de foyer.

Si quelque cause empêche de jeter le feu, on peut l'étouffer en le couvrant avec du menu charbon, le tirage étant, bien entendu, arrêté.

Un mécanicien habitué au service des plaines, s'il est envoyé sur une ligne de montagnes, doit bien se méfier de l'effet des changements de profil sur le niveau de l'eau. Quand on monte une rampe, comme la surface de l'eau est horizontale dans la chaudière, il y en a beaucoup au-dessus du foyer : si l'on arrive à une pente, l'eau se

porte vers l'avant de la chaudière et peut découvrir le ciel du foyer. Cet effet fait varier de près de 20 centimètres la hauteur de l'eau à l'arrière, quand on passe d'une rampe de 35 millimètres à une pente de 35 millimètres, avec les longueurs ordinaires de chaudières.

Les incrustations abondantes exposent aussi les foyers aux coups de feu : ces incrustations s'amassent si les lavages sont négligemment faits, ou si les bouchons et les tampons ne sont pas convenablement disposés sur la chaudière.

Il est une dernière cause de coups de feu, rare dans les locomotives, mais qu'il faut connaître : la présence d'huile ou de graisse sur les tôles, du côté de l'eau, empêche la transmission de la chaleur. Une expérience simple met en évidence cette action : une casserole ordinaire, pleine d'eau, peut être posée sur un feu ardent sans dommage : l'eau bout et s'évapore. Mais qu'on enduise d'huile l'intérieur de la casserole, qu'on la remplisse d'eau et qu'on la remette sur le feu : on pourra faire rougir le fond et même le percer.

Les chaudières neuves de locomotives contiennent souvent le suif des chandelles employées par les chaudronniers ou l'huile de leurs lampes ; mais ces matières ne recouvrent pas le foyer de manière à produire d'effet dangereux. Toutefois, ces graisses forment avec l'eau une émulsion et font primer la chaudière au début de la mise en service.

60. Explosions des chaudières. — L'explosion d'une chaudière est souvent accompagnée d'effets destructeurs d'une violence extrême. On peut citer des exemples curieux de la force des explosions :

La figure 92 (d'après le journal anglais *Engineering*) montre une locomotive projetée sur un tender et une autre locomotive qui la précédaient, en double traction ; cet accident s'est produit en Norvège, pendant l'année 1890.

En 1864, une locomotive fit explosion dans la gare de Vesoul : le mécanicien et le chauffeur en furent victimes ; la boîte à feu fut déchirée, et un morceau du poids de 270 kilogrammes fut retrouvé à une distance de 250 mètres.

La figure 93 représente une chaudière de locomotive après une explosion survenue en 1861 sur un chemin de fer espagnol, explosion qui a complètement détruit le corps cylindrique.

De 1840 à 1892, 33 locomotives ont fait explosion en France et en Algérie.

Aux États-Unis, les explosions sont bien plus fréquentes : sur les 780 locomotives possédées par une seule compagnie, qui a été particulièrement éprouvée, il est vrai, 12 ont péri par explosion pendant les trois années écoulées du 13 mai 1890 au 13 mai 1893 : la plupart de ces explosions sont attribuées au manque d'eau, explication douteuse.

Outre les projections dangereuses, de terribles brûlures par la

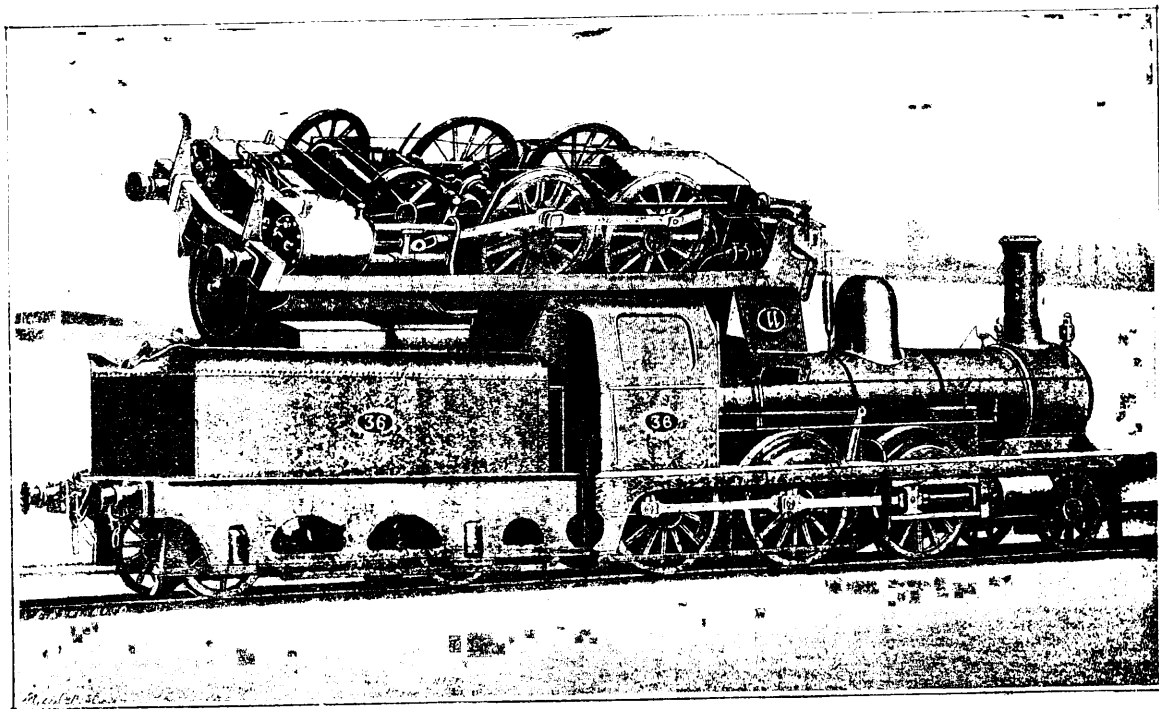


Fig. 92. — Effet d'une explosion de chaudière, en Norvège (d'après l'*Engineering*).

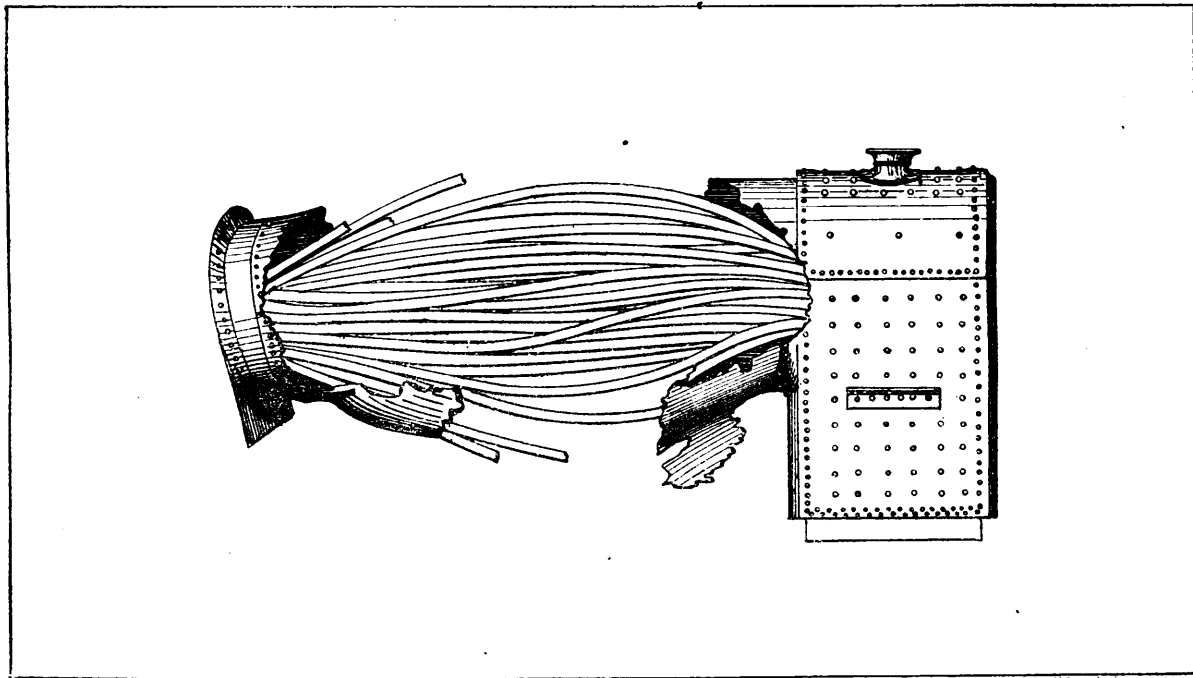


Fig. 93. — Chaudière de locomotive après explosion.

vapeur et l'eau chaude menacent le personnel de la locomotive et les personnes voisines, en cas d'explosion ou même d'une simple déchirure de la chaudière.

On s'explique les effets de l'explosion en songeant à la puissance de la vapeur, qui se forme subitement et en grande quantité, lorsque toute la masse d'eau qui remplit la chaudière, à une température élevée, est instantanément déchargée de la forte pression qu'elle subissait et soumise seulement à celle de l'atmosphère. Avec une pression effective de 10 kg par cm^2 , l'eau est à 183° ; sa température tombe à 100° dès que cette pression cesse, et la chaleur ainsi abandonnée transforme une partie de l'eau en vapeur (environ 150 grammes par kilogramme d'eau). Il y a ainsi formation subite d'une masse énorme de vapeur, qui chasse tout devant elle.

L'effet est entièrement différent si on fait crever une chaudière complètement remplie d'eau froide, sous une pression même bien plus forte, dans un essai à la presse : il n'y a pas alors de projections dangereuses.

61. Causes des explosions. — Les causes qui peuvent produire les explosions sont de trois sortes : l'insuffisance de résistance de la chaudière neuve, la corrosion des tôles, la maladresse ou l'imprudence du personnel.

Une chaudière neuve peut ne pas être assez solide, soit parce que les formes, les épaisseurs des tôles, les sections des tirants, sont mal déterminées, soit parce que les tôles sont mauvaises ou que l'exécution est défectueuse. Ces circonstances se présentent rarement pour les locomotives, qui sont étudiées avec soin et d'après les données d'une longue pratique, et dont la construction est également soignée. L'épreuve obligatoire à la presse (§ 58) n'est pas une garantie entière contre cette cause d'accidents, parce que les chaudières ne fatiguent pas à l'épreuve de même qu'en service.

Si bonne que soit une chaudière au début, la corrosion des tôles (§ 59), qui finit toujours par se produire en certains points, la rendra dangereuse à la longue : en visitant avec soin les chaudières et en les réparant ou les remplaçant en temps voulu, on évite ce danger.

La détérioration peut être hâtée par un mauvais emploi des appareils et par le manque de soin, par les refroidissements brusques, les petits coups de feu, les fuites qui rongent la tôle à l'extérieur.

Enfin, les fautes du personnel, pouvant provoquer une explosion immédiate, sont de deux sortes : le manque d'eau, dont nous avons indiqué l'effet au § 59, et l'excès de pression, résultant du calage ou de la surcharge des soupapes (voir § 42).

62. Combustibles. — On brûle dans les locomotives les combustibles les plus variés, suivant les ressources des contrées qu'elles desservent : d'abord les diverses variétés de houilles, y compris les anthracites et

les lignites ; les produits qui en dérivent, le coke, les briquettes, les goudrons ; les pétroles ; la tourbe ; le bois.

Nous donnons des détails sur les houilles, le coke et les briquettes aux § 63, 68 et 69, et nous dirons seulement quelques mots des autres combustibles. Le *pétrole* est un liquide naturel dont les gisements exploités les plus abondants se trouvent en Pennsylvanie et au Caucase : on en extrait, par distillation, successivement des essences fort inflammables, les huiles d'éclairage, celles de graissage ; il reste alors une huile lourde, épaisse comme le goudron, qui constitue un excellent combustible. On la brûle à l'aide d'une sorte de chalumeau, formé d'un appareil à cônes concentriques ; un petit jet de vapeur entraîne le pétrole et l'air nécessaire à sa combustion : deux de ces chalumeaux envoient leur jet de flamme, qu'on peut régler à volonté, dans le foyer de la locomotive. Ce combustible permet une grande propreté et l'emploi en est fort commode ; dans une station, devant un signal d'arrêt, en descendant une pente, on ferme l'arrivée de pétrole : les briques du foyer, portées au rouge, le rallument dès qu'on rouvre la prise de vapeur des chalumeaux.

Dix kilogrammes d'huile lourde sont à peu près l'équivalent de quinze kilogrammes de bonne houille. Cet excellent combustible coûte trop cher pour qu'on puisse l'employer couramment dans notre pays. Les *goudrons* des usines à gaz se brûlent comme les huiles lourdes de pétrole.

La *tourbe* est le produit de l'altération de divers végétaux sous l'influence combinée de l'eau et de l'air humide. Elle se forme encore de nos jours. Elle contient principalement du carbone, des cendres, et une grande proportion d'eau, qu'on élimine partiellement en faisant bien sécher les morceaux, découpés avec le *louchet* dans les bancs tourbeux. Une bonne tourbe peut produire en brûlant à peu près la même quantité de chaleur qu'un poids égal de bois.

L'eau forme encore le quart ou le cinquième du poids des *bois* bien secs. Le stère ou mètre cube de rondins, secs, pèse de 400 à 500 kilogrammes avec les bois durs, de 300 à 400 avec les bois résineux, et de 200 à 300 avec les bois blancs. Il faut un grand tender pour contenir la provision d'un trajet un peu long.

63. Houilles. — Nous avons mentionné, au § 11, les principaux éléments de la houille, carbone, gaz combustibles, cendres. Il existe de nombreuses espèces de houille, dont les compositions sont assez différentes : c'est surtout la proportion de matières gazeuses par rapport à celle du carbone fixe qui les caractérise. Un mécanicien et un chauffeur doivent connaître les principales variétés de combustible qu'ils peuvent être appelés à consommer.

La *anthracite* ne contient guère que du carbone et des cendres, avec fort peu de matières volatiles. Il s'enflamme difficilement et les morceaux isolés s'éteignent rapidement ; mais en masse il donne un très

bon feu avec peu de flamme et sans fumée. Quelques espèces d'anhracite *décépitent* ou se brisent en petits fragments sous l'action de la chaleur : cette propriété en rend l'emploi plus difficile. L'anhracite abonde en Pennsylvanie : l'ingénieur Wootten y a construit des locomotives à très vaste grille (comme celles de feu M. Belpaire, en Belgique) pour le brûler en menus morceaux. On exploite aussi l'anhracite dans le pays de Galles et, en France, dans le département de l'Isère.

Les *houilles maigres* se rapprochent des anhracites, mais renferment un peu plus de matières gazeuses : si l'on calcine dans un creuset 100 grammes de cette houille, supposée privée de cendres, on chassera 7 à 10 grammes de gaz, et il restera 93 à 90 grammes de carbone. Ces houilles brûlent avec une flamme courte et donnent peu de fumée.

Les *houilles demi-grasses* renferment un peu plus de matières volatiles (10 à 15 grammes pour 90 à 85 grammes de carbone fixe) ; les fragments s'agglutinent au feu.

Les *houilles grasses* tiennent encore plus de matières volatiles (15 à 20 grammes pour 85 à 80 grammes de carbone fixe) ; elles se ramollissent au feu, fondent en partie et se prennent en masse : parfois on les appelle *houilles maréchales*, à cause de l'emploi qu'on en fait dans les forges.

Les *houilles sèches à longue flamme* ou *flambantes* sont les plus riches en matières gazeuses (20 à 25 grammes pour 80 à 75 grammes de carbone fixe). Elles ne s'agglomèrent pas au feu, et brûlent avec flamme et fumée abondante. Ces houilles sont assez rares en France ; on en trouve beaucoup en Ecosse.

Les *lignite*s sont des combustibles minéraux qui proviennent de couches moins anciennes que celles des véritables houillers. Il en existe d'assez nombreuses variétés. Le plus souvent, le lignite est de couleur brune ou noire, plutôt terne que brillante. Il donne une fumée abondante d'une odeur désagréable ; il renferme une forte proportion d'eau, de sorte qu'à poids égal le pouvoir calorifique est moindre que celui de la houille.

64. Cendres des combustibles. — Il est important que la proportion de cendres dans un combustible soit aussi faible que possible, puisqu'elle réduit d'autant la quantité de véritable combustible. La nature des cendres a aussi une grande importance. Quand elles sont *infusibles* à la chaleur, comme c'est le cas de la plupart des cendres blanches, elles tombent en poussière et traversent sans peine les grilles. Les cendres très *fusibles*, comme il arrive souvent quand elles sont fortement colorées par l'oxyde de fer, coulent sans trop gêner la combustion. Les cendres à demi fusibles sont les plus gênantes : elles empâtent et encrassent les grilles, elles en attaquent même le métal, sous forme de *mâchefers*.

65. Grosses houilles. — La plupart des mines divisent la houille en plusieurs catégories, suivant la grosseur des morceaux, en la faisant passer sur des grilles et des cribles à mailles diversement espacées. Les morceaux de la plus grosse taille forment la *grosse houille*, facile à emmagasiner et pouvant se conserver longtemps sans altération. On doit séparer de la grosse houille, par un triage à la main, sur le carreau des mines, les fragments qui contiennent trop de matières pierreuses non combustibles. La grosse houille est facile à brûler et laisse une large place pour le passage de l'air nécessaire à la combustion.

Certaines sortes de houilles donnent beaucoup de gros morceaux ; d'autres, très friables, n'existent guère sous cette forme.

On distingue de nombreuses catégories suivant la grosseur des morceaux : ces classifications varient d'ailleurs avec les localités ; nous citerons l'expression assez générale de *gailleterie*, pour désigner les morceaux à peu près gros comme le poing, commodes surtout pour le chauffage domestique.

66. Tout-venant. — Le mot *tout-venant* désigne la houille telle qu'elle sort de la mine, les morceaux de toutes grosseurs étant confondus. En réalité, on appelle souvent *tout-venant* des houilles dont on a déjà séparé, en partie du moins, soit les plus gros morceaux, soit les menus les plus fins.

67. Houilles menues. — Pendant longtemps on n'a guère utilisé que les houilles en morceaux, en rejetant les menus, sauf ceux qui se collent au feu et qu'on pouvait transformer en coke. Les autres menus étaient perdus en grande partie : c'était un véritable gaspillage des richesses limitées que nous trouvons dans les terrains houillers. Les prix extrêmement bas de ces menus peu recherchés ont décidé plusieurs industriels et ingénieurs de chemins de fer à les employer ; quand on a pris les dispositions convenables pour cet emploi, on a facilement réussi, comme lorsqu'on a substitué au coke la houille en morceaux ; on a reconnu que le combustible menu pouvait, tout aussi bien que le gros combustible, servir à la production de la vapeur : il suffit de le brûler sur une grille d'étendue assez grande, car il laisse passer l'air moins facilement que les morceaux de grande taille.

Les menues houilles ont même certains avantages spéciaux sur les gros combustibles : elles peuvent être débarrassées, par le *lavage*, d'une partie des matières pierreuses qui formeraient les cendres. Ces matières pierreuses sont beaucoup plus lourdes que la houille, à égalité de volume des grains (on dit alors qu'elles sont plus *denses*), et forment des grains isolés, grâce à la grande division des morceaux ; l'action de l'eau, mise en mouvement par une pompe, les sépare en soulevant dans des caisses les seules parties combustibles, plus légères. On peut aussi mélanger des menus de diverses provenances, de manière à obtenir un combustible présentant certaines qualités qui le rendront

préférable à chacun des constituants brûlés isolément. Enfin les menus permettent l'emploi d'appareils mécaniques pour le chargement régulier et continu des foyers ; mais ces appareils ne servent guère sur les locomotives, jusqu'à présent du moins.

Pour toutes ces raisons, l'usage des menus s'est beaucoup développé, si bien qu'aujourd'hui son prix s'est rapproché de celui de la houille en morceaux, tout en restant inférieur. Il existe d'ailleurs bien des espèces de menus, suivant les dimensions des cribles qui séparent les diverses grosseurs. Les menus les plus fins trouvent leur application, même les boues formées de grains extrêmement ténus, qui sont entraînées par les eaux servant au lavage, et qu'on recueille dans des bassins de dépôt.

Si l'on n'avait pas su employer dans les locomotives les menus combustibles, l'énorme consommation de la grosse houille en aurait beaucoup élevé le prix : il en serait résulté un grand excès de dépenses, c'est-à-dire des transports plus coûteux, ou une diminution des services rendus par les chemins de fer.

Au lieu de parler de prix en argent, prix que bien des causes diverses font varier et qui peuvent ne pas indiquer nettement l'effet d'une seule cause, examinons le fait lui-même : si l'on rejette les menus, il faut que les mineurs extraient jusqu'à 1 500 et 2 000 kilogrammes de houille pour une tonne qui sera utilisée. Dans nos mines, la production moyenne par ouvrier est d'environ 200 tonnes par an ou de 650 kilogrammes par journée de travail. Quatre tonnes de menus, le chargement d'un tender, sont le produit du travail de 6 hommes pendant un jour : quatre tonnes de gros combustibles, plus deux à quatre tonnes de menus, jetés comme on le faisait autrefois, c'est le travail de 9 à 12 hommes !

Opérer ainsi, ce n'est pas seulement gaspiller le travail national, c'est aussi épuiser prématurément nos gisements de houille, qui sont loin d'être indéfiniment étendus.

On a donc eu bien raison de disposer les foyers de locomotives pour consommer les combustibles tels que nos mines les produisent, dût-il quelquefois en résulter un peu plus de difficulté à conduire le feu.

68. Coke. — Le *coke* est le résultat de la distillation de la houille, qu'on débarrasse de ses éléments volatils, soit en la chauffant dans des *cornues* pour en extraire le gaz d'éclairage, soit en la traitant dans des *fours* spéciaux, uniquement pour obtenir le coke. Cette opération enlève à la houille des carbures d'hydrogène capables de produire par leur combustion une grande quantité de chaleur ; en outre, vu le départ de ces carbures, il y a dans un kilogramme de coke plus de cendres que dans un kilogramme de la houille qui a servi à le produire. Exposé à l'air humide et à la pluie, le coke absorbe beaucoup d'eau. Le poids de l'eau ainsi absorbée peut s'élever jusqu'à 200

et même 250 grammes pour un kilogramme de coke sec. Cette eau consomme en pure perte de la chaleur lorsqu'elle se vaporise dans le foyer.

69. Briquettes. — Les briquettes sont formées de houille très menue, qui peut avoir été lavée, et qu'on agglutine à l'aide de *brai*, grâce à une forte compression.

Le *brai* provient de la distillation du *goudron* de houille, un des produits qu'on obtient en même temps que le gaz d'éclairage. Cette distillation sépare du goudron diverses matières volatiles. Le brai a une cassure vitreuse et se divise en petites parcelles aiguës. C'est pour cette raison qu'il donne une poussière fort irritante pour les yeux, comme on l'éprouve sur les locomotives chauffées à la briquette.

Le poids de brai qui entre dans la composition des briquettes est d'environ 80 kilogrammes par tonne. On forme une pâte en le malaxant avec la houille menue ; cette pâte est fortement comprimée dans des moules à section ronde ou rectangulaire. Le plus souvent on ne fait pas usage, pour chaque briquette, de moules spéciaux, analogues à des moules à briques, mais un piston refoule la pâte dans un tube ouvert : à chaque coup de piston elle avance d'une certaine quantité, et le boudin comprimé, qui sort du tube, se casse aisément.

La briquette, avec peu de cendres, est un bon combustible, analogue à la grosse houille très pure ; le brai qu'elle contient est lui-même un combustible pur et riche en carbone ; elle s'emmagasine facilement et peut se conserver plusieurs années sans s'altérer à l'air. On casse en quelques morceaux les grosses briquettes avant de les employer. Nous en parlons un peu plus loin, au § 73.

70. Combustion dans les foyers de locomotive. — Nous l'avons déjà dit, c'est du feu que sort la puissance des machines à vapeur : pour tirer bon parti de la locomotive, il faut, avant tout, savoir conduire ce feu bienfaisant, mais capricieux. Presque tout l'art du chauffeur peut se résumer en quelques mots : il faut brûler complètement le combustible, et il faut en brûler une quantité suffisante en une heure. C'est plus facile à dire qu'à faire ; ce qui complique le travail, c'est l'extrême diversité de ses conditions : il existe tant de variétés de combustibles ; la même mine, la même couche ne donnent pas toujours des houilles de qualité uniforme : la dimension et la disposition des chaudières sont fort variables ; deux locomotives de même type ne sont pas toujours identiques : quelques différences, difficiles à voir, dans la grille, dans l'échappement, sont très sensibles au chauffeur, sans qu'on puisse toujours reconnaître avec précision les conditions les plus favorables.

Certes, un chauffeur ne sera guère appelé à conduire les types les

plus variés de foyers et à employer les combustibles les plus différents : il lui serait difficile d'arriver dans son art à un tel développement et à une telle perfection qu'il pût se trouver également à l'aise sur toutes les locomotives et en présence de tous les combustibles ; mais il faut, au moins dans l'étendue d'un même réseau de chemin de fer, qu'il ne soit pas trop dépaycé s'il vient à changer de machine ou si la nature de la houille varie.

Passons en revue les principales circonstances qui peuvent influencer sur le régime de la combustion et les difficultés que doit surmonter le chauffeur. Nous avons indiqué, au § 11, les principes, bien simples, de la combustion : pour qu'elle soit complète, le carbone doit être entièrement transformé en acide carbonique, et l'hydrogène en eau, par la combinaison avec l'oxygène : pour cette transformation complète, il faut une quantité d'air suffisante et une température élevée du combustible.

L'air peut arriver au contact du combustible de deux manières. soit en traversant la grille, puis la masse qu'on veut brûler, soit au-dessus, en entrant par la porte du foyer et quelquefois par d'autres ouvertures ménagées à dessein dans les parois. La première manière est de beaucoup la plus usitée, et, sauf dans des cas spéciaux, l'air n'est admis au-dessus du combustible qu'en supplément, lorsqu'il n'en passe pas une quantité suffisante à travers.

Suivons l'air, appelé par l'échappement, dans son passage à travers le combustible. Il arrive sous la grille sans rencontrer d'obstacle dans les anciennes machines dépourvues de cendrier ; un cendrier n'en gêne guère l'accès, pourvu qu'on ne laisse pas les escarbilles l'engorger. Nous avons indiqué, au § 30, les avantages des barreaux minces. Après avoir traversé la grille, l'air circule entre les morceaux de combustible, par des passages plus ou moins larges : c'est là que commence la combustion. Pour qu'elle s'effectue, il faut que les fragments de combustible soient portés à une température élevée, manifestée par leur incandescence : la combustion même entretient cette température élevée et la transmet aux parties voisines de celles qui brûlent ; mais il est nécessaire que la masse allumée soit suffisante : des fragments isolés ou peu nombreux de houille s'éteignent, parce que l'air qui les entoure en forte proportion les refroidit plus que la combustion ne les chauffe. Cet effet est encore plus sensible avec le coke.

La combustion se continue au-dessus de la masse solide, par des flammes plus ou moins longues : les flammes sont produites par la combinaison avec l'oxygène du gaz *oxyde de carbone*, provenant de la combustion incomplète du carbone, et surtout des *carbures d'hydrogène* : l'oxyde de carbone donne ces courtes flammes bleuâtres qu'on voit au-dessus du coke. C'est lorsque ces gaz sont abondants qu'il est utile d'employer l'admission d'air par-dessus le combustible, parce qu'alors la quantité d'air, qui le traverse, n'est pas suffisante :

cela arrive quand les houilles sont très riches en matières volatiles, et aussi quand le combustible est en couche fort épaisse, quelle que soit sa nature : la proportion d'air étant alors faible par rapport à celle du carbone, la masse dégage de l'oxyde de carbone.

Nous le répétons encore, si un petit excès d'air est désirable, vu l'impossibilité de le doser toujours exactement, un grand excès d'air est nuisible, pour trois motifs : en premier lieu, cet excès d'air refroidit le combustible solide ou les gaz qu'il dégage ; or la combustion se fait d'autant plus franchement que les éléments à brûler sont à une température plus élevée ; mais les gaz circulent vite dans le foyer, et il ne faut pas qu'ils perdent de temps avant de s'unir à l'oxygène : qu'ils hésitent un instant, et ils sont engouffrés dans les tubes, où l'union ne peut plus guère se produire ; aussi convient-il qu'ils soient très chauds. En second lieu, l'excès d'air inutile prend la température du courant rejeté par la cheminée et emporte ainsi de la chaleur sans profit ; enfin les courants froids sont une cause de fuites à la tubulure.

Il est aisé de calculer la quantité de chaleur emportée par un poids donné d'air en excès, : il sort, par la cheminée, à une température assez élevée. qu'on peut estimer à 300° en moyenne. La quantité de chaleur qu'il faut ainsi fournir pour un mètre cube d'air, pris à 15°, serait capable de chauffer et de vaporiser dans la chaudière près de 140 grammes d'eau.

Supposons que, pour brûler complètement le combustible, il faille 9 mètres cubes d'air froid, comme nous l'avons dit au § 11, et que ce kilogramme vaporise 8 kilogrammes d'eau. Si l'on double la quantité d'air, on vaporisera près de 1^{kg},3 en moins, en admettant même que cet excès d'air froid n'empêche pas une partie des gaz combustibles de brûler ; ces chiffres montrent que si un léger excès d'air n'a pas, sous ce rapport, d'effet fâcheux bien important, tandis qu'il assure une combustion complète, un grand excès est franchement nuisible.

Il ne suffit pas que la combustion soit complète, il faut qu'on brûle chaque heure, ou plutôt chaque minute, un poids suffisant de combustible. Il est rare que toute la masse du combustible, contenu dans le foyer, soit en ignition ; les seules parties qui brûlent sont celles qui sont incandescentes et en contact avec l'air ; c'est en somme seulement la surface des morceaux, si l'on ne tient pas compte des gaz combustibles que peut distiller l'intérieur de la masse : aussi plus les morceaux sont petits, plus un poids donné peut être rapidement brûlé, abstraction faite des difficultés que présente la combustion des menus dans certains foyers.

71. Difficultés de la conduite du feu. — Divers phénomènes troublent souvent la combustion dans le foyer des locomotives et ne permettent pas de la produire avec toute la régularité désirable. Des

fragments de charbon peuvent passer en abondance à travers la grille : les barreaux doivent être suffisamment rapprochés pour réduire cette perte ; puis les changements se feront sur une première couche de houille capable de retenir les menus, en attendant qu'ils s'agglomèrent au feu. Le charbon peut aussi quitter la grille, mais en suivant le courant gazeux, qui le dépose en partie dans la boîte à fumée. Le combustible ainsi entraîné a perdu des matières volatiles et se trouve à l'état de petits grains de coke, mélangés de cendre ; c'est ce qu'on appelle le fraisil, qui s'accumule dans la boîte à fumée. Si les portes n'en sont pas étanches, le fraisil peut y brûler : les parois rougissent et se détériorent.

L'entraînement du combustible constitue une perte sérieuse, et c'est la marque d'une mauvaise combustion. C'est surtout quand le courant est inégalement réparti dans le foyer que l'air entraîne ainsi le charbon : s'il traversait toute la surface de la grille, il ne serait nulle part trop violent ; mais s'il ne passe qu'en quelques points, sa vitesse y est exagérée, le combustible est entraîné, tandis qu'il manque d'air dans le reste du foyer. Cette mauvaise distribution du courant d'air peut tenir à ce que la grille n'est pas également garnie, et à ce qu'elle est obstruée par des mâchefers. Souvent aussi elle est causée par la disposition même de la locomotive, à laquelle le mécanicien ne peut remédier. Ajoutons que ces locomotives défectueuses peuvent parfois être améliorées par des modifications légères. Lorsque la tuyère d'échappement s'élève trop près de l'embouchure de la cheminée, en l'abaissant, on améliore généralement le tirage.

Un serrage excessif de l'échappement, surtout avec des charbons légers, provoque l'entraînement, et doit être évité.

Il est bon de recueillir à part, dans les dépôts, les fraisils de boîte à fumée, car c'est un combustible qu'on brûle très bien dans des foyers appropriés, notamment pour le chauffage des ateliers et des bureaux. Mais c'est un combustible qui en réalité coûte bien cher et qu'il faut avant tout tâcher de ne pas produire.

Certaines houilles, loin d'être entraînées par un courant d'air énergique, ont au contraire le défaut de s'agglomérer en masse telles que l'air ne les pénètre pas : il se forme alors entre ces grandes masses des trous ou des crevasses, qu'il faut remplir avec du combustible en ignition, tandis qu'on divise les masses agglomérées.

Le feu est encore difficile à conduire lorsque le combustible encrasse les grilles au bout de peu de temps, en y formant des gâteaux de mâchefers. L'enlèvement de ces mâchefers exige un stationnement assez prolongé ; pendant la marche, on ne peut guère procéder à un dégrassage complet : on se contente de retirer quelques-uns des plus gros morceaux. Certains mâchefers se divisent en fragments et n'opposent pas un trop grand obstacle au passage de l'air.

Le foyer de la locomotive est une sorte de laboratoire de chimie, où l'on traite les combustibles solides au moyen d'un courant gazeux.

Nous venons de faire diverses observations sur la tenue au feu des matières solides : celles-ci peuvent être difficiles à traiter, mais au moins on voit ce qu'elles deviennent ; on se rend compte à chaque instant de leur état. Il n'en est pas de même pour le courant gazeux, qui est ou complètement invisible, ou dont l'aspect, à l'état de flamme et de fumée, ne permet que des conjectures sur sa composition ; et cependant ce courant gazeux doit aussi être convenablement réglé. Nous l'avons déjà dit, il faut assez d'air ; il n'en faut pas trop ; mais mieux vaut un peu trop d'air que pas assez ; il faut encore que cet air soit partout bien mélangé avec les éléments combustibles. La fumée que dégage la cheminée après un chargement est teintée en noir par des particules de carbone non brûlé : et ce carbone ne provient pas de fragments solides de la houille directement entraînés, mais de la décomposition des matières volatiles ou carbures d'hydrogène, que la houille chauffée dégage. Le poids de carbone ainsi visible dans la fumée n'est qu'une bien faible fraction du combustible consommé, et la perte peut en sembler négligeable : mais à côté de ce qu'on voit dans la fumée, il y a ce qu'on ne voit pas : elle peut renfermer, sans que rien le décèle, une quantité considérable de gaz combustibles non brûlés. S'il y a du carbone non consommé dans la fumée, c'est parce que la quantité d'air qui pénètre dans le foyer est insuffisante ; c'est souvent aussi parce que le combustible et les gaz qu'il dégage ne sont pas portés à une température suffisante pour assurer une combustion vive et rapide ; ces mêmes causes font que des gaz combustibles se perdent par la cheminée. Le remède consiste à charger la houille par petites quantités, sur un feu clair et vif, et à laisser au besoin entrer un peu d'air par les ouvertures de la porte, après le chargement.

Une couche épaisse de charbon, même bien allumé, sans admission d'air supplémentaire par-dessus, peut dégager de l'oxyde de carbone : quelquefois la cheminée rejette cet oxyde de carbone à une température assez élevée pour qu'il s'enflamme au contact de l'air, en donnant des flammes bleuâtres, visibles la nuit. Dans la locomotive, le mélange avec la vapeur d'échappement refroidit ces gaz et peut les empêcher de s'allumer.

L'insuffisance d'air favorise les dépôts de suie dans les tubes, qu'un feu ardent diminue au contraire : la suie ralentit la transmission de la chaleur à l'eau de la chaudière.

Nous avons indiqué, au § 70, les inconvénients d'un excès d'air trop considérable dans le foyer.

72. Travail de la chauffe. — Pour charger le feu commodément, le chauffeur dispose le charbon sur l'avant de la soute du tender ; autant que possible, il doit se placer de telle sorte que, pendant tout le chargement, ses pieds ne bougent pas, sauf un léger pivotement sur les talons : cette précaution lui permet de mieux résister aux

calots sans être déplacé. Il se trouve alors un peu sur la gauche de la machine, et tourne le dos vers la rampe voisine. Sa main droite saisit l'extrémité du manche de la pelle, et sa main gauche le soutient vers le milieu. Sur certains chemins de fer étrangers, le mécanicien se place à gauche de la machine ; la porte du foyer, si elle est à charnières, doit alors s'ouvrir en sens inverse des nôtres, et le chauffeur se met dans une position opposée, la main gauche à l'extrémité du manche de la pelle. Cette position n'est d'ailleurs guère plus difficile à prendre que la première ; souvent même des chauffeurs novices ont tendance à l'adopter instinctivement.

La forme et la dimension de la pelle sont loin d'être indifférentes : comme il s'agit d'un outil qu'on manie constamment, et qu'on doit manier avec adresse, il faut qu'il soit aussi commode que possible. La pelle ne sera pas trop grande, pour que le poids à soulever ne soit pas trop fort ; elle sera munie de rebords, afin qu'il ne tombe pas de charbon sur le tablier de la machine.

Le chargement doit se faire avec précision et avec rapidité, la porte ne restant ouverte que le moins longtemps possible. Le chauffeur arrête sa pelle à la porte même, sans la faire pénétrer dans le foyer, et, d'un coup sec, en envoie la charge droit au point qu'il veut garnir. Seulement pour déposer le charbon contre la face arrière du foyer, il y engage un peu sa pelle, puis la retourne.

L'outillage du tender comprend quelques crochets et ringards et une sorte de fourche pour retirer les mâchefers. Avec les longs foyers, ces outils prennent une grande dimension et la manœuvre nécessaire pour les introduire et les retirer est assez gênante : il faut veiller à ne heurter aucun obstacle extérieur pendant cette manœuvre, car un choc serait fort dangereux à grande vitesse.

Les crochets permettent d'égaliser la surface du combustible, et de combler les cavités qui s'y forment ; on s'en sert aussi pour soulever et diviser la masse ; mais il ne faut remuer le combustible qu'avec précaution et le moins possible, car, en piquant trop le feu, on risque souvent de troubler la combustion plus qu'on ne l'améliore.

Lorsque les mâchefers obstruent le passage de l'air, il faut les retirer : on repousse le charbon, qui les recouvre, sur une partie de la grille ; si elle est munie d'un jette-feu mobile, on abaisse ce jette-feu, et on peut alors chasser au dehors les mâchefers ; sinon, il faut les extraire par la porte du foyer. Cette opération se fait en fin de parcours ou pendant les stationnements prolongés. Pour les longues étapes, il est désirable que le combustible n'encrasse pas trop la grille avant la fin du trajet.

73. Emploi des houilles en gros morceaux. — En France, on n'emploie plus que rarement la houille en gros morceaux seule, pour les locomotives ; mais en Angleterre, l'usage de ce combustible, commode

mais bien coûteux, est fréquent : ce n'est pas un des points de la pratique anglaise qu'il soit utile d'imiter.

Les gros morceaux laissant entre eux de larges intervalles, on peut en empiler une grande épaisseur sur la grille sans gêner le tirage : cette grande épaisseur évite le passage à travers le combustible d'un excès d'air nuisible. On a eu soin de concasser les trop gros fragments avant de les charger. La grille n'a pas besoin d'une très grande surface pour porter un poids considérable de combustible en ignition.

Les chargements doivent se faire surtout contre les parois du foyer, la surface du combustible restant un peu creuse vers le milieu : on évite ainsi sûrement les trous dans la masse sur les côtés ; au milieu, il est facile de les combler, et il est avantageux de porter vers le centre la zone de combustion la plus active, afin de ménager les parois du foyer.

Le feu doit être préparé longtemps d'avance, afin d'être bien allumé au départ ; par contre, on peut cesser les chargements et laisser la masse se réduire assez longtemps avant la fin du trajet.

Suivant la proportion de matières volatiles contenues dans la houille, l'admission d'air par la porte sera ou non utile.

La briquette seule, qu'on divise en fragments, se comporte à peu près de même. Elle a cependant l'avantage, par suite de son mode de préparation, de ne renfermer les matières pierreuses qu'à l'état de poudres très fines : aussi la cendre qu'elle donne est-elle entraînée par le courant gazeux ou tombe-t-elle facilement à travers la grille. On doit concasser la briquette avec précaution, pour ne pas faire de menus fragments. C'est aussi un combustible d'un prix élevé, dont il faut, par conséquent, restreindre l'emploi autant qu'on le peut.

74. Emploi des menus maigres. — Pour bien brûler les menus de houille maigre, ne s'agglomérant pas du tout au feu, ou bien l'an-thracite en petits fragments, des dispositions spéciales du foyer sont nécessaires : la grille doit être composée de barreaux étroits et serrés et offrir une grande surface, sur laquelle on étale une couche mince de combustible, dont l'épaisseur n'est que de quelques centimètres. Le chauffeur entretient cette couche uniforme par des chargements fréquents, en y distribuant le charbon à la volée.

Grâce à la faible épaisseur de la couche, l'air la traverse en proportion suffisante : la grande surface de grille est alors nécessaire pour que le poids de charbon en ignition soit suffisant ; autrement la quantité brûlée à l'heure ne serait pas assez forte. En outre, l'air passant à travers une vaste grille circule en chaque point assez lentement pour ne pas soulever et entraîner les petits fragments de combustible.

Les grandes grilles des foyers Belpaire et Wootten, dont la surface atteint parfois six mètres carrés, ont été étudiées pour brûler ces menus maigres.

75. Mélanges de combustibles. — Il est souvent difficile de trouver un combustible qui convienne parfaitement au service des locomotives, à moins de le payer fort cher. En prenant des houilles de qualités diverses, on peut en former des mélanges convenables, quoique de prix modérés. Les charbons menus se prêtent bien à ces mélanges. C'est ainsi que l'addition de houilles grasses ou demi-grasses à des houilles maigres les agglomère au feu et permet de les brûler dans les foyers ordinaires de locomotives.

Des mélanges habilement faits permettent de constituer des combustibles de qualité moyenne et assez constante, malgré la diversité inévitable des provenances : le mélange doit être approprié au service qu'ont à fournir les machines et au type des foyers. Chaque dépôt peut ainsi posséder deux ou trois qualités différentes et bien définies de combustibles. Suivant les cas, on donne à une machine telle ou telle qualité ; on y ajoute une proportion plus ou moins grande de houille en gros morceaux ou de briquettes.

Le mélange peut se faire au moment même du chargement dans le tender, ou lorsqu'on approvisionne le combustible en tas : cette seconde méthode est généralement préférée.

Ce système permet d'assurer les services de traction, en réduisant autant que possible les dépenses, toujours si considérables, faites pour l'achat des combustibles. Il n'est pas seulement désirable que ces dépenses ne soient pas inutilement exagérées, mais le devoir de tous ceux qui coopèrent à l'exploitation d'un chemin de fer est de rechercher la plus grande économie dans cette branche de service, comme dans toutes les autres. Qu'on nous permette d'insister encore sur ce point : réduire le prix de revient des transports, les effectuer en consommant la moindre quantité de cette denrée si précieuse, le travail humain sous toutes ses formes, c'est la grande raison d'être des chemins de fer. Brûler dans la locomotive des combustibles plus chers qu'il ne faudrait, des combustibles qui pourraient plus utilement être appliqués à d'autres usages, c'est gaspiller du travail. Lorsqu'on laboure un champ, il est clair que le sillon doit être bien tracé, que le soc doit être enfoncé à la profondeur convenable ; sinon, le laboureur n'utilise pas comme il le devrait sa charrue, les chevaux qui la traînent et son propre travail. On agit exactement de même en augmentant inutilement les dépenses d'une industrie quelconque, si compliquée qu'elle soit et si nombreux que soient les intérêts mis en jeu.

Tout le monde sait aujourd'hui, ou du moins tous ceux qui veulent être éclairés savent, que cette recherche continuelle de l'économie, loin de faire abaisser le salaire des ouvriers, est précisément ce qui l'augmente : la remarquable organisation du service des mécaniciens et chauffeurs de locomotives en France, avec les primes d'économie de matières, en est un exemple ; c'est le mode de rétribution du travail qui rapproche le plus de travailleur de cette situation dési-

nable entre toutes, mais dans bien des cas impossible à réaliser, celle où il travaille directement pour son propre compte.

76. Emploi des combustibles de qualités moyennes. — On peut définir comme il suit les conditions normales de la combustion dans les locomotives récentes des réseaux de l'Est et de Paris à Lyon et à la Méditerranée. La surface de la grille se tient aux environs de deux mètres carrés : la largeur étant le plus souvent d'un mètre, la longueur est un peu inférieure ou supérieure à deux mètres. La grille est légèrement inclinée vers l'avant ; la profondeur du foyer n'est pas très grande. Il contient une voûte en briques et un déflecteur au-dessus de la porte, munie d'un registre pour l'entrée de l'air. Pendant longtemps les barreaux de la grille, en fer, sont restés assez gros ; la tendance actuelle est de les faire minces, avec des vides égaux aux pleins : ils sont alors formés de plusieurs lames en fonte coulées en une seule pièce ou de barres en fer rivées aux extrémités par groupes.

Le combustible consiste principalement en menus, formant un mélange demi-gras ; on y ajoute une certaine proportion de briquettes ou de grosse houille, d'autant plus grande que la grille est plus petite et que le service de la machine est plus difficile.

La grille est au début garnie de gros morceaux, qui forment une sorte de fondation sur laquelle reposent les couches de menus : ces menus, en s'agglomérant, remplacent cette base quand elle est consumée. C'est surtout à l'allumage, et après les décrassages de la grille, qu'on emploie de la sorte les briquettes ou la grosse houille ; cependant on charge parfois une certaine quantité de ces combustibles de choix avec les menus, quand on veut ranimer le feu qui languit, ou donner un coup de collier.

Le charbon forme une couche de 10 à 15 centimètres sur l'avant de la grille, et plus épaisse à l'arrière, sous la porte du foyer : souvent la masse de combustible ainsi placée contre la paroi arrière du foyer est assez considérable et ne brûle pas activement ; ses produits volatils distillent d'abord et s'enflamment, laissant du coke qui ne se consume que lentement. Petit à petit ce combustible chargé à l'arrière descend vers l'avant, aidé au besoin par le crochet : toutefois il ne suffit généralement pas à entretenir la grille garnie à l'avant, où il faut aussi charger directement une notable partie du charbon.

On obtient peut-être les meilleurs résultats avec une couche peu épaisse sur la grille, mais à condition de l'entretenir toujours uniforme ce qui exige beaucoup de soin et d'adresse. Le feu est plus facile à conduire avec une épaisseur un peu forte de combustible, mais il est toujours à craindre qu'il ne distille des gaz combustibles incomplètement brûlés. L'admission d'air par la porte évite cette perte, mais il est difficile de régler exactement cette admission.

Les chargements doivent être fréquents et se composer de quelques pelletées seulement, afin que l'allure du feu soit bien régulière. C'est

un mauvais système que de jeter sur le feu des dix, des quinze pelletées à la fois, puis d'attendre que le combustible devienne rare sur la grille pour recommencer. Il ne faut pas traiter une locomotive comme une oie qu'on gave.

Deux ou trois pelletées distribuées vers l'avant, et de manière à boucher les trous qui peuvent se former, puis autant vers l'arrière, sur la masse un peu plus épaisse, suffisent pour un chargement. La pelle, bien entendu, ne doit pas être trop grande, sinon la quantité chargée serait excessive. La porte ne reste d'ailleurs pas ouverte plus longtemps avec les chargements fréquents mais courts, qu'avec les chargements rares mais longs : elle ne doit être ouverte que pendant le temps strictement nécessaire pour enfourner le combustible. Certains mécaniciens soigneux la referment entre l'introduction de chaque pelletée pendant que le chauffeur garnit sa pelle ; c'est une bonne précaution, facile quand on peut manœuvrer la porte au moyen d'une poignée rigide.

Il paraît préférable de faire autant que possible les chargements lorsque le régulateur est ouvert : le charbon s'allume plus vite. En chargeant pendant les stationnements, on produit une fumée gênante, qu'on doit faire disparaître, en ouvrant le souffleur et la porte du foyer ; il est très facile de se débarrasser ainsi de la fumée, mais en faisant entrer un excès d'air assez grand dans le foyer, ce qui n'est pas économique.

L'échappement variable doit toujours être ouvert aussi largement que possible : un échappement serré produit une contre-pression nuisible sur les pistons et entraîne le combustible dans la boîte à fumée. Le serrage de l'échappement est une ressource dont on n'usera qu'avec ménagement : on paye bien cher, en mauvaise utilisation du combustible, les services d'un échappement serré, services dont on ne saurait guère se passer en certains cas, malheureusement.

77. Mouillage des menus. — Au moment de charger les menus dans les foyers, on peut les arroser abondamment et les malaxer, de manière à en former une pâte consistante. La pelle prend mieux le menu ainsi préparé, et il est plus facile au chauffeur de le lancer aux endroits qu'il veut garnir ; pendant ce chargement, le tirage n'entraîne pas les grains les plus fins, qui restent même agglomérés par l'eau quelques instants après le chargement. Par contre, ce procédé dépense la quantité de chaleur nécessaire pour transformer en vapeur l'eau imprégnant le combustible, vapeur qui s'échappe par la cheminée : une certaine fraction du charbon brûlé ne sert pas à autre chose, tandis qu'elle pourrait vaporiser à peu près la même quantité d'eau dans la chaudière. Par exemple, si un kilogramme de charbon sec vaporise dans une chaudière 8 kilogrammes d'eau, mouillons-le avec 250 grammes d'eau, nous vaporiserons encore 8 kilogrammes d'eau, mais seulement 7^{kg}, 75 dans la chaudière : pour retrouver nos 8 kilogrammes de vapeur dans la chaudière, il nous faudra brûler 1 032

grammes de houille. C'est une augmentation de plus de 3 pour 100 dans la consommation, augmentation qui n'est pas négligeable.

Un mécanicien peut facilement mesurer la proportion d'eau qu'il emploie pour le mouillage du menu et refaire ce calcul simple avec le chiffre réel : il saura ainsi ce que lui coûte ce procédé, et il mettra la dépense en balance avec ses avantages. Sans faire de calcul, on voit qu'il faut éviter avec soin d'exagérer la quantité d'eau mélangée au combustible, et même chercher à la réduire autant qu'on le pourra.

78. Emploi du coke. — Anciennement les locomotives (encore en 1851 dans notre pays) ne brûlaient que du coke. Lorsqu'on a voulu sérieusement y substituer la houille, on a reconnu ce qu'on avait pu prévoir, que, pour produire de la vapeur, la houille était préférable au coke. Aujourd'hui les chauffeurs seraient bien fâchés si on revenait au coke, qu'on n'emploie plus que par exception, lorsqu'il faut absolument éviter la fumée ou faute d'autres combustibles. On se servait autrefois d'un coke fabriqué spécialement, qu'on empilait dans des foyers profonds, sur des grilles de faible surface. On consomme aujourd'hui le coke produit par les usines à gaz. On le brûle dans les foyers ordinaires des locomotives, qui ont souvent une surface assez grande.

Comme le coke est un combustible léger (40 kilogrammes l'hectolitre environ) et qui laisse facilement passer l'air, il faut en charger une assez forte épaisseur sur la grille, pour qu'il ne soit pas traversé par un trop grand excès d'air. L'épaisseur de la couche est d'environ 25 centimètres. On peut, sans inconvénient, le charger pendant les stationnements, puisqu'il ne donne pas de fumée ; cette méthode a même l'avantage d'éviter le passage de l'air dans le foyer en trop grande quantité. Comme la proportion de cendres est, en général, plus forte dans le coke que dans la houille, les grilles s'obstruent assez rapidement, bien qu'on ait la précaution de les former de barreaux écartés : il faut pouvoir faire de fréquents décrassages.
