

ÉDOUARD SAUVAGE

LA

MACHINE LOCOMOTIVE

PARIS

CH. BÉRANGER ÉDITEUR

LA
MACHINE LOCOMOTIVE

MANUEL PRATIQUE

DONNANT LA DESCRIPTION

DES ORGANES ET DU FONCTIONNEMENT DE LA LOCOMOTIVE

A L'USAGE DES MÉCANICIENS ET DES CHAUFFEURS

PAR

ÉDOUARD SAUVAGE

Ingénieur en chef des mines,
Ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction
des chemins de fer de l'Ouest.

Troisième édition.

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

Successeur de BAUDRY et C^{ie}

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

—
1899

Tous droits réservés.

OUVRAGE DÉDIÉ AU PERSONNEL DE LA TRACTION
DES CHEMINS DE FER

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	XIII
------------------------	------

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

1. Origine de la puissance des locomotives.	1
2. Notes historiques.	1
3. Statistique des chemins de fer.	5
4. Système métrique.	7
5. Forces.	8
6. Dynamomètre.	9
7. Travail.	10
8. Puissance des machines.	10
9. Résistance des trains.	10
10. Pression atmosphérique.	13
11. Pression et température de la vapeur.	13
12. Combustion.	16
13. Pouvoir calorifique des combustibles, et quantités de chaleur nécessaires pour chauffer et vaporiser l'eau.	17
14. Métaux employés à la construction des locomotives.	19
15. Centre de gravité.	21
16. Cercle.	22
17. Angles.	22
18. Gabarit de chargement	23
19. Vitesse des trains.	24
20. Indicateurs de vitesse.	27
21. Heures.	28

CHAPITRE II

CHAUDIÈRE

22. Dispositions essentielles de la chaudière de locomotive	31
23. Foyer.	34
24. Porte de foyer.	39

25. Grille.	40
26. Cendrier.	42
27. Voûte en brique.	43
28. Bouilleur Tenbrinck.	45
29. Tubes.	47
30. Surface de chauffe.	50
31. Boîte à fumée.	53
32. Cheminée.	57
33. Échappement.	58
34. Souffleur.	61
35. Boîte à feu.	63
36. Corps cylindrique.	65
37. Liaison de la chaudière au châssis.	65
38. Dôme.	67
39. Manomètre.	69
40. Soupapes de sûreté.	70
41. Enveloppes des chaudières.	74
42. Accessoires des chaudières.	75
43. Indicateurs du niveau de l'eau.	76
44. Alimentation.	79
45. Tuyauterie d'alimentation.	81
46. Pompes.	81
47. Injecteurs.	82
48. Injecteurs à vapeur d'échappement.	91
49. Dépôts dans les chaudières.	91
50. Désincrustants.	93
51. Épuration des eaux.	94
52. Épreuves des chaudières.	94
53. Explosions.	95
54. Combustibles.	97
55. Houilles.	98
56. Cendres.	100
57. Coke.	100
58. Briquettes.	100
59. Mélanges de combustibles.	101
60. Combustion dans les foyers de locomotive.	102
61. Difficultés de la conduite du feu.	103
62. Combustibles liquides.	105

CHAPITRE III

MÉCANISME

63. Adhérence.	108
64. Accouplement.	109
65. Sablières.	109
66. Lavage des rails.	112
67. Effort de traction de la locomotive.	112
68. Régulateur des locomotives.	115
69. Action motrice de la vapeur.	118
70. Transmission du mouvement du piston.	119

71. Cylindres	122
72. Pistons	126
73. Graissage des tiroirs et des pistons	130
74. Garnitures de tiges	133
75. Tête ou crosse de piston et glissières	138
76. Bielles motrices	141
77. Bielles d'accouplement	147
78. Graissage des mécanismes	149
79. Espaces libres des cylindres	150
80. Tiroir	151
81. Phases de la distribution	153
82. Laminage de la vapeur	155
83. Indicateur et diagrammes	156
84. Commande du tiroir	158
85. Marche arrière	165
86. Coulisse de Stephenson	166
87. Manœuvre de l'arbre de relevage,	172
88. Commande du tiroir par tige oblique, et par balancier	177
89. Coulisse de Gooch	178
90. Coulisse d'Allan	179
91. Distribution Walschaert.	180
92. Systèmes divers de coulisses	183
93. Distributions à obturateurs multiples	183
94. Tiroir à canal.	184
95. Frottement des tiroirs.	185
96. Tiroirs cylindriques.	188
97. Marche au point mort de la distribution.	189
98. Action du régulateur et du changement de marche	189
99. Mise en marche	196
100. Marche à régulateur fermé	198
101. Machines à vapeur compound.	200
102. Locomotives compound.	204
103. Locomotives compound à deux cylindres	205
104. Locomotives compound à trois et à quatre cylindres.	210
105. Emploi des locomotives compound	212
106. Contrepoids des roues de locomotives.	214
107. Équilibre des pièces à mouvement alternatif	218
108. Perturbations dues à l'inclinaison des cylindres et à la pression sur les glissières	220

CHAPITRE IV

CHASSIS, SUSPENSION, ROUES

109. Châssis des locomotives.	221
110. Suspension.	222
111. Répartition du poids suspendu	226
112. Balanciers	228
113. Roues et bandages	232
114. Essieux	235
115. Boîtes	236

116.	Chasse-pierres	240
117.	Dispositions pour faciliter la circulation en courbe.	242
118.	Jeu transversal des essieux.	242
119.	Bogies	243
120.	Trains articulés d'un seul essieu	248
121.	Articulation de deux groupes d'essieux	251

CHAPITRE V

TYPES DIVERS DE LOCOMOTIVES

122.	Appréciation des types	252
123.	Locomotives à essieux indépendants.	253
124.	Locomotives à deux essieux couplés, non compound	255
125.	Locomotives compound à deux essieux couplés.	266
126.	Locomotives à trois essieux couplés.	271
127.	Locomotives à plus de trois essieux couplés	277
128.	Locomotives-tenders	283
129.	Locomotives articulées	294
130.	Locomotives pour voie étroite	296
131.	Locomotives à crémaillère	298

CHAPITRE VI

TENDERS

132.	Remarques générales	306
133.	Attelage des tenders aux locomotives	306
134.	Attelage derrière les tenders.	310
135.	Réchauffage de l'eau du tender	313
136.	Condensation de la vapeur d'échappement.	313
137.	Prise d'eau sans arrêt.	314

CHAPITRE VII

MOYENS D'ARRÊT

138.	Freins manœuvrés à la main	317
139.	Freins à vapeur des locomotives	318
140.	Freins continus.	319
141.	Réglage des sabots	319
142.	Freins Westinghouse	320
143.	Freins Westinghouse à action rapide	329
144.	Freins Westinghouse automatiques et modérables à double conduite	332
145.	Appareil avertisseur à air comprimé.	333
146.	Systèmes divers de freins continus	334
147.	Contre-vapeur	335

CHAPITRE VIII

CONDUITE DES LOCOMOTIVES

148. Réflexions sur l'art du mécanicien.	340
149. Organisation du service des locomotives.	342
150. Inspection de la machine au départ.	345
151. Démarrages.	346
152. Marche de la machine.	347
153. Observation des signaux.	350
154. Précautions à prendre en stationnement.	352
155. Double traction.	352
156. Chauffages.	353
157. Avaries de la chaudière.	354
158. Avaries des roues et de la suspension.	354
159. Avaries du mécanisme.	355

CHAPITRE IX

SERVICE DANS LES DÉPÔTS

160. Stationnements au dépôt.	359
161. Nettoyages.	359
162. Lavage des chaudières.	361
163. Confection des joints.	362
164. Réglage sur la bascule.	365
165. Allumage.	366
166. Réparations des roues et des mécanismes.	366
167. Réparation des chaudières.	367
168. Locomotives en chômage.	371
169. Réglage d'un tiroir.	372
CONCLUSION.	373
TABLE ALPHABÉTIQUE.	376

ERRATUM

Page 89, ligne 11, transposer le mot « si » de la fin au commencement de la ligne.

Page 297, légende de la figure 288. La surface de chauffe est 131,6 m² et non 144,3.

INTRODUCTION

Le nombre des ouvrages qui ont été publiés sur les machines locomotives est considérable ; mais la plupart de ces ouvrages ne sont pas facilement accessibles aux agents qui assurent le service de ces machines. « La Machine locomotive » est une étude spécialement composée pour le personnel de la traction des chemins de fer. Les hommes qui composent ce personnel aimeront à lire, on peut l'espérer, une explication simple de ces merveilleux engins qu'ils dirigent. C'est l'adresse, le sang-froid, le sentiment du devoir, l'esprit de discipline de ces hommes qui assurent la sécurité des trains ; tout ce qui peut leur faire mieux connaître les principes et les détails de l'instrument qui leur est confié ne peut qu'en rendre le maniement plus facile et développer chez eux l'amour de leur métier. L'amour du métier seul permet d'exceller dans une profession et rend la vie heureuse, en donnant du charme au travail quotidien, et en adoucissant les difficultés, les fatigues, les ennuis auxquels nul ne peut toujours se soustraire.

Dans ses descriptions et ses explications, l'auteur de « la Machine locomotive » a surtout cherché la clarté. Mais il n'a pas voulu dissimuler les complications que présentent nécessairement certaines parties de l'étude des machines, quand on la veut sérieuse. Si le lecteur éprouve quelque peine à bien saisir un passage, qu'il ne se décourage pas ; qu'il ne s'arrête même pas trop longtemps sur ce passage, mais qu'il y revienne plus tard : peut-être la lecture de ce qui suit rendra-t-elle plus clair l'endroit embarrassant. Il est à souhaiter aussi que ce livre serve de guide pour un enseignement mutuel : les agents qui ont acquis une longue expérience pourront donner à certains articles des développements précieux pour ceux qui les suivent dans la carrière. Que les hommes de bon vouloir, s'ils trouvent quelque intérêt à l'ouvrage, l'expliquent et l'enrichissent de leurs commentaires, et qu'ils en secondent ainsi l'auteur.

Dans un travail, qui porte sur tant de détails, on ne peut se flatter d'éviter toute inexactitude, toute omission importante ; on doit aussi traiter certaines questions contestées, ou pour lesquelles l'expérience actuelle ne fournit que des données incomplètes : des observations nouvelles pourront donc modifier quelques-unes des opinions exprimées. L'auteur accueillera avec reconnaissance toutes les remarques qu'on voudra bien lui faire. Sur ces sujets techniques, comme sur beaucoup d'autres, la discussion est féconde, quand elle est faite avec l'unique désir de s'approcher de la vérité, et quand elle se fonde sur des observations précises et sur des déductions logiques, et non sur des habitudes, sur des préjugés, ou sur des impressions vagues.

Quoi qu'on fasse, d'ailleurs, on n'apprendra pas un métier manuel sans le pratiquer, sans les conseils et les exemples de ceux qui l'exercent ; c'est surtout en donnant les raisons des choses, souvent difficiles à découvrir, qu'un livre peut être utile.

Un arrêté du Ministre des travaux publics¹ oblige le personnel des

¹ Cet arrêté ministériel est ainsi conçu :

Le Ministre des travaux publics,

Vu la loi du 15 juillet 1845 sur la police des chemins de fer ;

Vu les articles 18, 1^{er} alinéa, et 74 de l'ordonnance royale du 15 novembre 1846, portant règlement d'administration publique sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer ;

Vu le décret du 9 mars 1889 ;

Vu l'avis de la section de contrôle du comité de l'exploitation technique des chemins de fer, en date du 12 avril 1892 ;

Sur le rapport du directeur des chemins de fer,

Arrête :

ARTICLE PREMIER. — A partir du 1^{er} juin 1892, quiconque demandera un emploi de chauffeur, assistant un mécanicien conducteur de train sur un chemin de fer ouvert à l'exploitation, ne pourra être admis au concours que s'il satisfait aux conditions suivantes :

Être Français ou naturalisé Français ;

Avoir fait constater par un médecin, agréé par l'administration du chemin de fer, qu'il présente toutes les conditions physiques nécessaires, notamment qu'il distingue les signaux par l'ouïe et par la vue et qu'il perçoit nettement les couleurs ;

Avoir subi d'une manière satisfaisante un examen technique et des essais pratiques.

ART. 2. — Le programme minimum de l'examen technique comprend :

Des notions élémentaires sur le règlement des signaux, sur les principaux organes de la machine et du tender, et notamment sur les appareils de sûreté.

Le programme minimum des essais pratiques comprend :

L'arrêt de la machine, la manœuvre des freins et l'alimentation.

ART. 3. — A partir du 1^{er} juin 1892, quiconque demandera un emploi de

locomotives à prouver, dans certains examens, qu'il les connaît bien : dans ces examens, il ne suffit pas de montrer qu'on peut effectivement conduire les trains, mais il faut expliquer le fonctionnement des organes de la machine. A l'intérêt général de l'étude des locomotives s'ajoutent donc les nécessités des examens.

La première édition de « la Machine locomotive » a été rédigée en 1894 et largement distribuée au personnel des chemins de fer de l'Est, grâce à l'initiative de M. L. Salomon, ingénieur en chef du matériel et de la traction, qui désirait répandre un ouvrage de ce genre parmi les agents du service qu'il dirige. Cette distribution a été approuvée par M. le Directeur des chemins de fer de l'Est, par M. le Président et par les membres du conseil d'administration. Les dessins qui éclaircissent les descriptions de la première édition ont été exécutés par MM. Heulin et Allard, dessinateurs au bureau des études du matériel et de la traction des chemins de fer de l'Est. Il serait, d'ailleurs, difficile de citer les noms de toutes les personnes qui ont fourni des documents pour ce travail.

mécanicien conducteur de train sur un chemin de fer ouvert à l'exploitation ne pourra être admis au concours que s'il satisfait aux conditions suivantes :

Être Français ou naturalisé Français ;

Avoir subi un examen médical semblable à celui que définit le paragraphe 3 de l'article 1^{er} du présent arrêté ;

Avoir fait un service d'une durée minimum de six mois comme chauffeur assistant un mécanicien conducteur de train, sauf exceptions justifiées par des circonstances spéciales et avec autorisation de l'administration ;

Avoir subi d'une manière satisfaisante un examen technique et des essais pratiques.

ART. 4. — Le programme minimum de l'examen technique comprend :

Le règlement des signaux, le règlement des mécaniciens, le règlement sur la circulation des trains, ainsi que les instructions et ordres de service qui s'y rapportent ou en tiennent lieu ;

Le montage et le démontage des principales pièces de la machine et du tender, le fonctionnement de tous les organes, la connaissance des organes et de la manœuvre des divers freins en usage sur le réseau de la compagnie à laquelle appartient l'agent, les avaries de route et le moyen d'y remédier.

Le programme minimum des essais pratiques comprend la conduite de plusieurs trains.

ART. 5. — Le jury d'examen est nommé par l'administration du chemin de fer.

Avant toute autorisation de faire le service de mécanicien conducteur de train ou de chauffeur assistant un mécanicien conducteur de train, une copie certifiée conforme du procès-verbal de l'examen technique et des essais pratiques est envoyée à l'ingénieur en chef du contrôle de l'exploitation technique, qui s'assurera que l'examen répond bien aux conditions prescrites par le présent arrêté.

Une seconde édition, avec quelques additions, a été rendue nécessaire par les demandes faites pour les agents des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, de l'Ouest et de l'État : l'auteur en exprime de nouveau sa vive reconnaissance aux directeurs de ces chemins de fer, ainsi qu'à MM. les ingénieurs en chef Baudry, Clérault et Parent, qui ont ainsi aidé à la diffusion de ce travail. Les demandes d'autres administrations de chemins de fer et de nombreux acheteurs isolés ont épuisé cette seconde édition.

La présente édition contient la description de nouvelles dispositions adoptées en France ; en outre, quelques exemples ont été empruntés à la pratique des pays étrangers. Pour bien faire connaître l'état actuel de la construction des locomotives, beaucoup de figures anciennes ont été remplacées ; plusieurs figures nouvelles ont été empruntées à l'excellent « *Traité pratique de la machine locomotive* » de M. Demoulin, publié en 1898 par MM. Baudry et C^{ie}, véritable encyclopédie d'une richesse et d'une clarté admirables. Le livre de M. Deghilage, « *les Origines de la locomotive* », a servi pour la rédaction du paragraphe 2 ; un travail de M. Morandière sur les locomotives anglaises, dans la *Revue générale des chemins de fer*, beaucoup de publications, et bien des documents inédits ont été mis à profit.

LA MACHINE LOCOMOTIVE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

1. Origine de la puissance des locomotives. — La locomotive est une forme simple, complète et imposante de la machine à vapeur. Comme toute machine à vapeur, elle prend sa puissance dans la chaleur que dégage le combustible : la vapeur d'eau n'est qu'un intermédiaire, qui reçoit cette chaleur et en change une partie en travail. On est souvent témoin de la transformation du travail en chaleur : plus que tout autre, le mécanicien connaît ce phénomène et le voit sans plaisir, car le chauffage d'une boîte n'est pas un incident agréable ; mais on ne peut effectuer directement la transformation inverse : on aurait beau chauffer les boîtes, on n'arriverait pas à faire tourner les essieux. Il faut communiquer la chaleur à un intermédiaire, qui, dans la locomotive, est la vapeur d'eau. Certains moteurs utilisent comme intermédiaire l'air ou d'autres fluides.

D'après la fable antique, Prométhée a donné aux hommes le feu, qu'il avait dérobé au ciel ; on devrait alors le placer avant tout autre dans la longue liste des inventeurs de génie, trop souvent oubliés, qui ont transformé les conditions d'existence de l'humanité, en la dotant de machines et d'outils, souvent si simples qu'on oublie combien l'invention en est admirable.

2. Notes historiques ¹. — Les premières locomotives, au début du XIX^e siècle, remorquaient lentement, sur les voies des mines, des trains de wagonnets. La faible production des chaudières en limitait étroitement la puissance. Le générateur tubulaire, objet du brevet pris en 1828 par l'ingénieur français Séguin, et l'échappement

¹ Ce paragraphe ne contient pas un historique complet de la locomotive, mais seulement quelques indications intéressantes dans l'histoire de cette classe de machines.

de vapeur dans la cheminée, appliqué par G. Stephenson, ont permis de réunir la puissance et la légèreté. Au concours institué en 1829

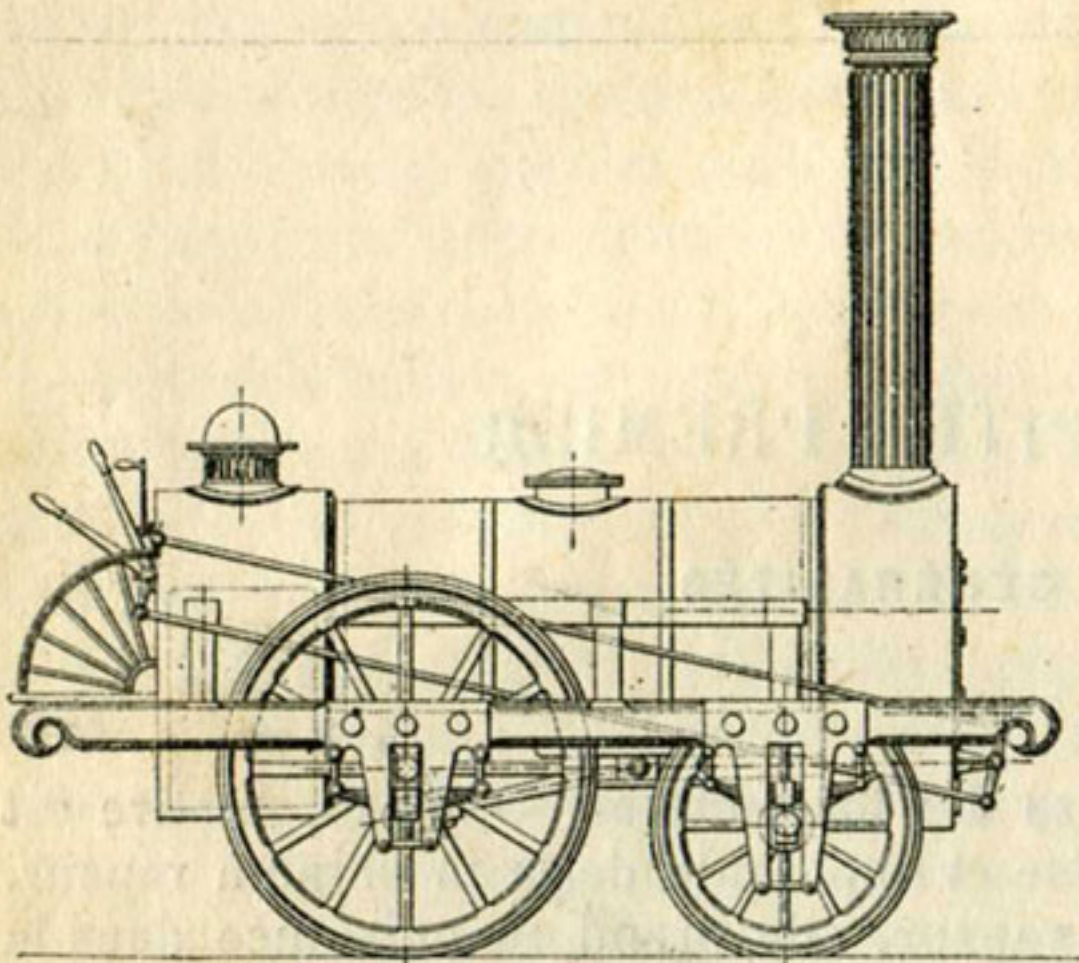


Fig. 1. — Locomotive du type « Planet », construite en 1832 par Stephenson pour le chemin de fer de Liverpool à Manchester. (D'après M. Deghilage.)

sur le chemin de Liverpool à Manchester, la « Fusée » a montré ces deux perfectionnements : elle avait deux essieux, l'essieu d'avant commandé par des cylindres très inclinés; la charge sous cet essieu était de 4300 kg. La vitesse atteignit 50 km à l'heure, avec une seule voiture remorquée, vitesse plus tard dépassée de beaucoup par cette même locomotive.

En 1832, la locomotive « Planet » (fig. 1), construite par Stephenson, était portée de même par deux essieux; des cylindres intérieurs commandaient l'essieu d'arrière; le poids à vide était de 8 tonnes. La même année vit paraître les machines à deux essieux couplés.

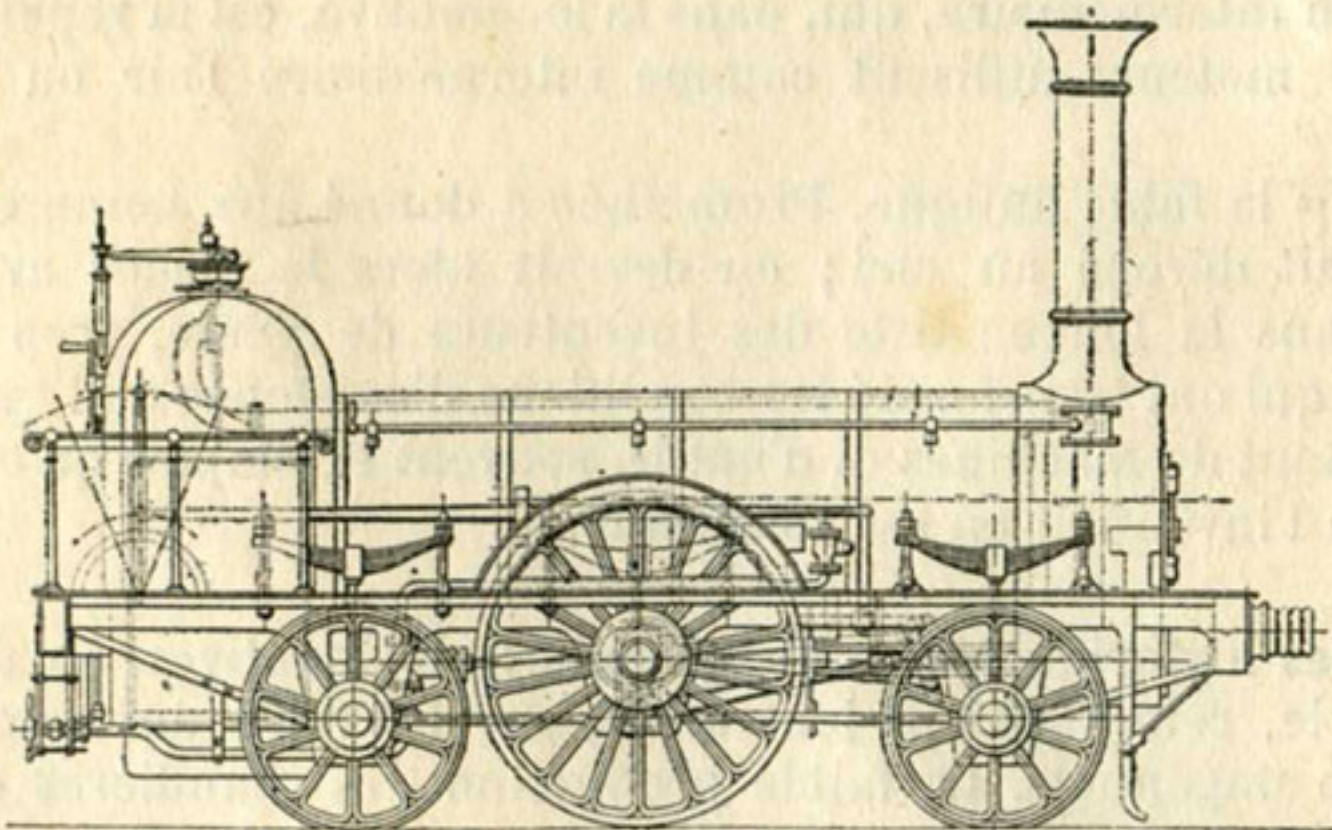


Fig. 2. — Locomotive construite en 1843 par Stephenson pour le chemin de fer de Paris à Orléans. (D'après M. Deghilage.)

En 1834, on construisit des locomotives à trois essieux indépendants, avec l'essieu du milieu moteur. Telle était « la Gironde », exécutée au Creusot, en 1838, pour le chemin de fer de Versailles rive droite.

On retrouve la même disposition d'essieux dans des locomotives construites en 1843 pour le chemin de fer de Paris à Orléans (fig. 2), mais avec le foyer en porte à faux, tandis qu'il était compris entre l'essieu moteur et l'essieu arrière de la Gironde.

La « Victorieuse » (fig. 3), construite en 1838, avait trois essieux, dont deux couplés, et pesait, en service, 13 t.

En 1842, Stephenson imagina la coulisse, qui permet le passage facile d'un sens de marche à l'autre, et donne aux crans intermédiaires une détente économique de la vapeur.

Aux États-Unis, la construction des locomotives a commencé vers 1830; on y employa de bonne heure le bogie, caractéristique des types américains (fig. 4).

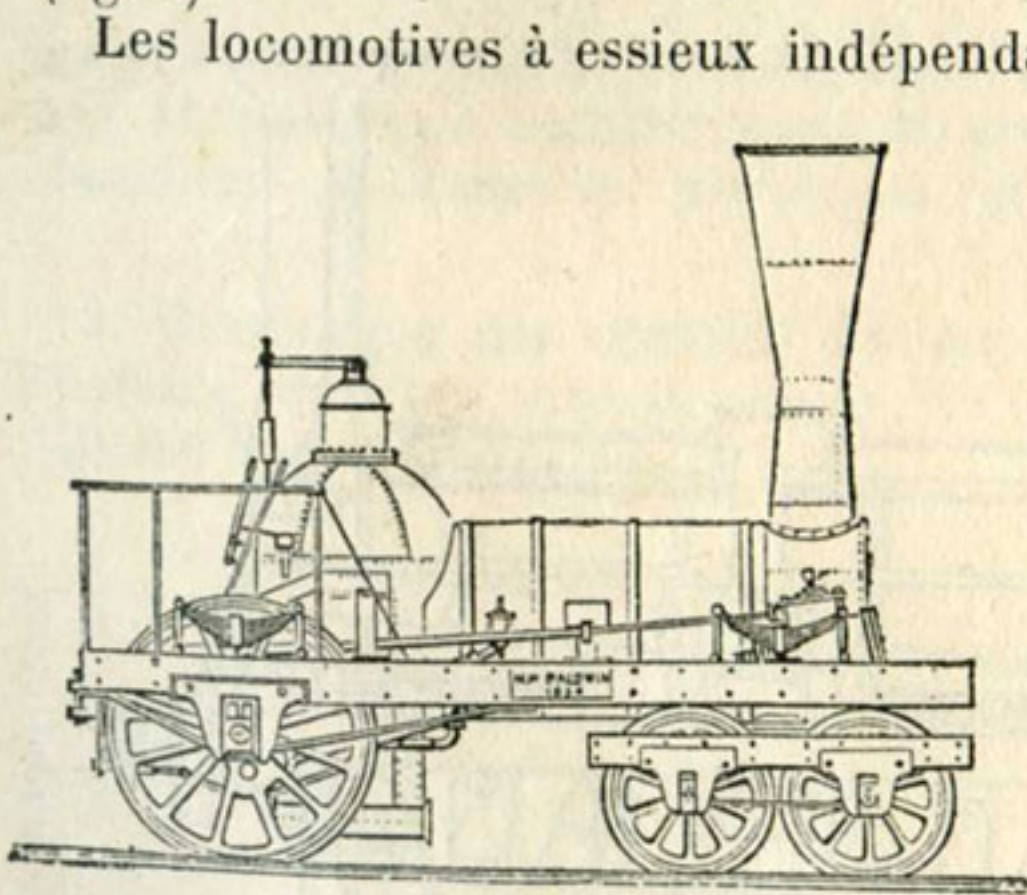


Fig. 4. — Locomotive construite par Baldwin, à Philadelphie, en 1834.

En 1851, le concours institué pour la traction sur la ligne de montagne du Semmering, en Autriche, réunit plusieurs locomotives très puissantes, notamment celle d'Engerth, où des engrenages reliaient les roues de la locomotive et de son tender, engrenages supprimés plus tard.

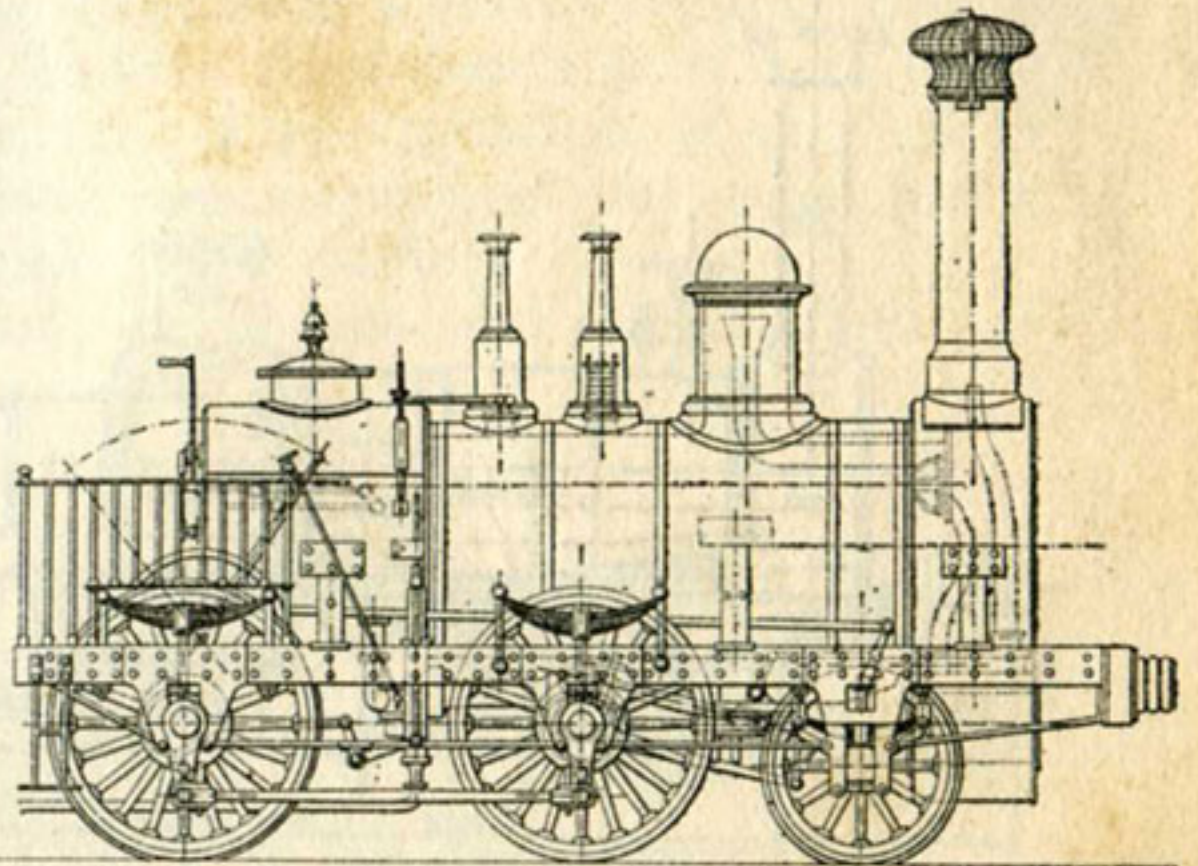


Fig. 3. — La « Victorieuse », construite en 1838 par Stephenson pour le chemin de fer de Versailles rive gauche. (D'après M. Deghilage.)

Les locomotives à essieux indépendants de Buddicom (fig. 5) ont été faites en 1843 pour le chemin de fer de Paris à Rouen. Le « Mammouth », construit en 1845 par Stephenson pour le chemin de fer d'Orléans, avait trois essieux couplés et pesait, en service, 22 300 kg.

Les locomotives Crampton (fig. 6), qui ont eu un grand succès en France, datent de 1848. La même année, aux États-Unis, les ateliers de Baldwin exécutaient un type analogue, mais avec bogie (fig. 7).

En 1870, le chemin de fer du Nord fit construire, pour les trains express, des locomotives d'un type déjà usité en Angleterre, à trois essieux dont deux couplés, avec roues de 2,100 m de diamètre et foyer profond descendant entre les essieux couplés; les locomotives à deux essieux couplés et à bogie (avec pivot fixe) ont été introduites sur ce même réseau en 1877.

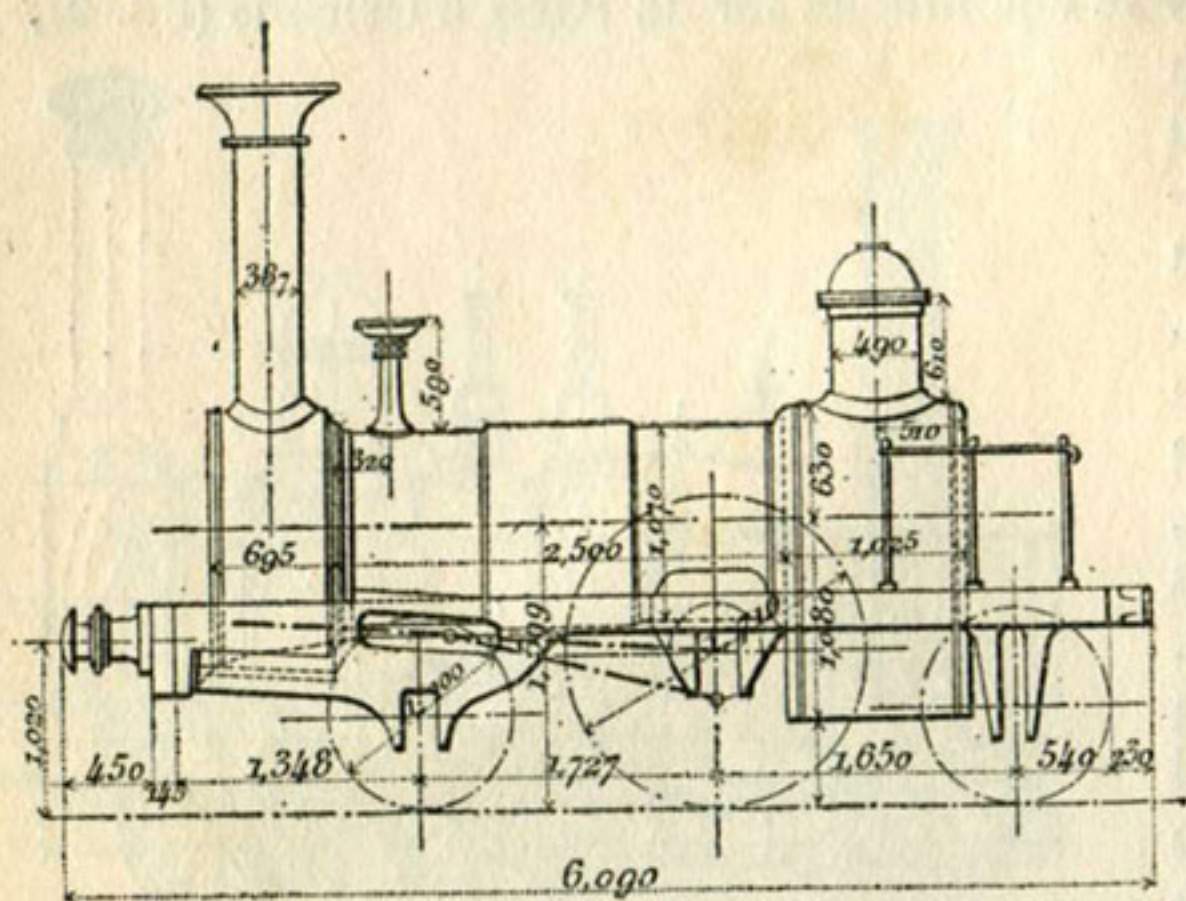


Fig. 5. — Locomotive à essieux indépendants de Buddicom, construite en 1843 pour le chemin de fer de Paris à Rouen. Surface de grille, 0,87 m²; diamètre des cylindres, 317 mm; course des pistons, 534 mm; poids de la machine en service, 14 700 kg.

Le bogie à déplacement transversal a été employé par les chemins de fer de l'Ouest en 1889.

Les locomotives à grande vitesse du chemin de fer d'Orléans avaient primitivement trois essieux sous le corps

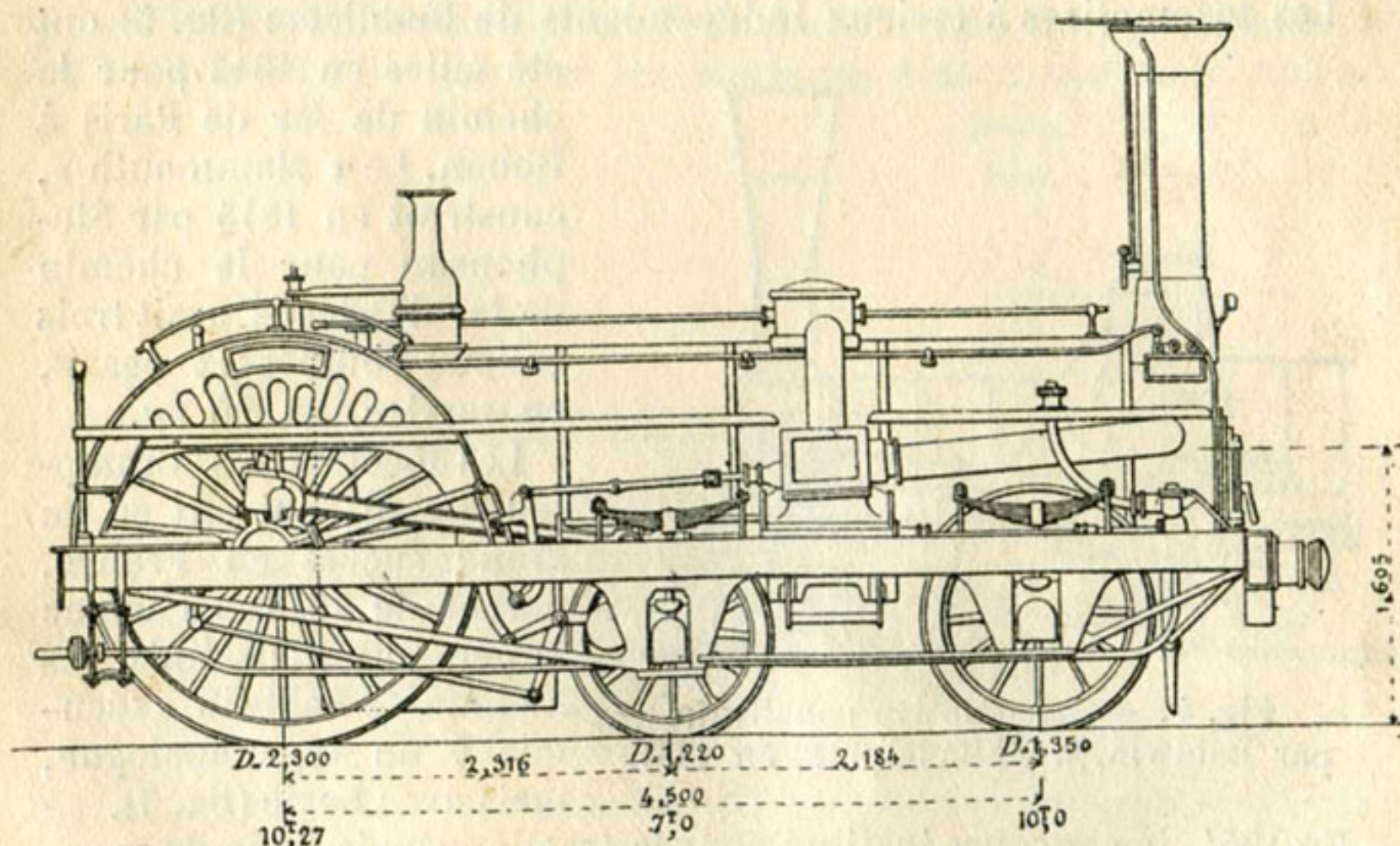


Fig. 6. — Locomotive Crampton des chemins de fer de l'Est; type de 1852. (D'après M. Demoulin.)

cylindrique de la chaudière, les deux essieux d'arrière étant cou-

plés ; un quatrième essieu, porteur, a été ajouté à l'arrière vers 1873.

Les premières locomotives compound à deux cylindres, dues à M. Mallet, remontent à 1876. En 1882, l'ingénieur anglais Webb construisit une locomotive compound à trois cylindres, et, en 1886, la Société alsacienne de constructions mécaniques une compound à quatre cylindres pour le chemin de fer du Nord.

Les locomotives de construction récente sont remarquables par

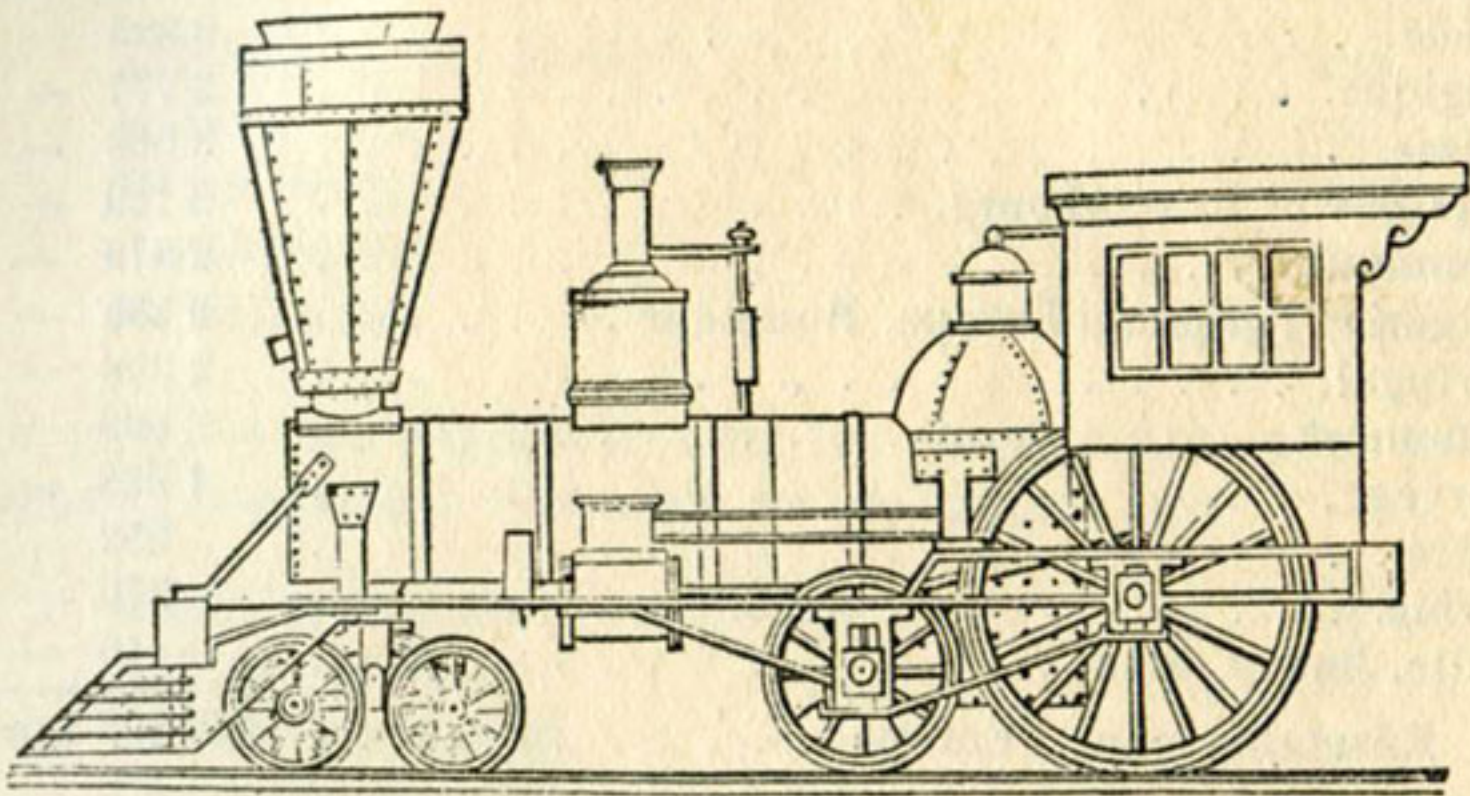


Fig. 7. — Locomotive construite par Baldwin en 1848.

les grandes dimensions données aux diverses parties, et notamment à la chaudière ; à signaler aussi la grande élévation de l'axe de la chaudière au dessus du niveau du rail.

3. Statistique des chemins de fer. — La longueur totale des chemins de fer, exploités à la fin de l'année 1896, dépassait 700 000 km, dont environ :

375 000 km	en Amérique ;
257 000	— en Europe ;
46 000	— en Asie ;
22 000	— en Océanie ;
15 000	— en Afrique.

Ces chiffres ne sont qu'approximatifs ; car, outre les erreurs matérielles qui peuvent exister dans certains éléments d'une statistique aussi étendue, il est difficile de définir exactement ce qu'on compte comme chemin de fer, en excluant les tramways et certains raccordements industriels. On doit remarquer, en outre, que ces totaux réunissent les lignes à une voie, à deux et à plusieurs voies, et ne tiennent pas compte des voies des gares.

Les chemins de fer d'Europe, à la fin de l'année 1896, se répartissaient comme il suit entre les divers pays¹ :

Allemagne.	47 348 km.
France	41 173 —
Russie et Finlande	38 642 —
Grande-Bretagne et Irlande.	34 221 —
Autriche-Hongrie et Bosnie	32 180 —
Italie	15 447 —
Espagne.	12 282 —
Suède.	9 895 —
Belgique.	5 777 —
Suisse.	3 563 —
Pays-Bas et Luxembourg.	3 129 —
Roumanie.	2 879 —
Bulgarie, Turquie d'Europe, Roumélie	2 430 —
Portugal.	2 358 —
Danemark.	2 309 —
Norvège.	1 938 —
Grèce	952 —
Serbie.	570 —
Malte, Jersey, Man.	110 —
Ensemble pour l'Europe	<u>257 203 km.</u>

On estime à 132 000 le nombre des locomotives employées à l'exploitation de tous ces chemins de fer (à la fin de l'année 1896). La même cause d'incertitude existe pour le calcul de ce nombre, car les locomotives de tramways, de mines et d'usines peuvent être comprises dans les relevés relatifs aux diverses contrées, ou bien en être exclues.

De ces 132 000 locomotives, on compte environ :

- 78 400 en Europe ;
- 44 000 en Amérique ;
- 5 500 en Asie ;
- 2 600 en Océanie ;
- 1 500 en Afrique.

La France, à la fin de 1896, possédait 9 911 locomotives sur les chemins de fer d'intérêt général, 450 sur les chemins d'intérêt local, 459 sur les chemins de fer industriels, et 523 (locomotives à vapeur) sur les tramways, soit au total 11 343. Il y en avait à la même date 286 en Algérie².

¹ Nombres donnés d'après le *Bulletin de la commission internationale du Congrès des chemins de fer*, qui les a empruntés à l'*Archiv für Eisenbahnwesen*.

² En 1897, ces nombres sont devenus respectivement 9 997, 465, 481 et 571, soit au total 11 514 ; pour l'Algérie 305.

4. Système métrique. — Le mètre est, à peu près, la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre, ou portion du méridien comprise entre l'équateur et le pôle ; avec la grande précision de certains instruments de mesure aujourd'hui usités, cette définition n'est pas assez exacte, et la vraie longueur du mètre est celle des étalons établis par le comité international des poids et mesures. Pour désigner les principales mesures du système métrique, il est commode d'employer les abréviations adoptées par ce comité. On compte par :

Kilomètres, en abrégé.	. . . . .	km.
Mètres,	—	m.
Décimètres,	—	dm.
Centimètres,	—	cm.
Millimètres,	—	mm.

Les mesures de superficie sont les carrés ayant pour côtés les mesures de longueur ; c'est ainsi qu'on compte en :

Kilomètres carrés, en abrégé	. . . . .	km ² .
Mètres carrés,	—	m ² .
Décimètres carrés,	—	dm ² .
Centimètres carrés,	—	cm ² .
Millimètres carrés,	—	mm ² .

L'are est un carré de 10 m de côté, et renferme 100 m² ; l'hectare est 100 ares ou 10 000 m².

Les mesures de volume sont les cubes ayant pour côtés les mesures de longueur :

Mètre cube, en abrégé.	. . . . .	m ³ .
Décimètre cube,	—	dm ³ .
Centimètre cube,	—	cm ³ .
Millimètre cube.	—	mm ³ .

Le litre (en abrégé l) est un autre nom du décimètre cube.

On rapporte les poids au poids de la masse du kilogramme, qui est celle d'un décimètre cube d'eau parfaitement pure, à la température de 4°. De même que celle du mètre, cette définition n'est pas rigoureusement exacte, et la véritable unité est la masse des étalons du comité international.

Le poids d'un corps varie légèrement suivant l'endroit de la terre où il est placé, mais, dans les usages courants, cette variation du poids est insensible.

Les abréviations sont les suivantes :

Tonne (1 000 kilogrammes).	. . . . .	t.
Quintal (100 kilogrammes).	. . . . .	q.

Kilogramme (1 000 grammes).	kg.
Gramme	g.
Décigramme (0 ^g ,1).	dg.
Centigramme (0 ^g ,01).	cg.
Milligramme (0 ^g ,001).	mg.

Souvent le nombre à écrire est fractionnaire ; alors il est commode de mettre l'abréviation, qui désigne l'unité, après la dernière décimale. Ainsi 135,7 m³ signifie 135 mètres cubes plus 7 dixièmes de mètre cube ; 0,6 g signifie 6 dixièmes de gramme.

5. Forces. — Pour toute étude, on doit connaître le sens de certains mots, et le connaître avec précision. Un des plus usités

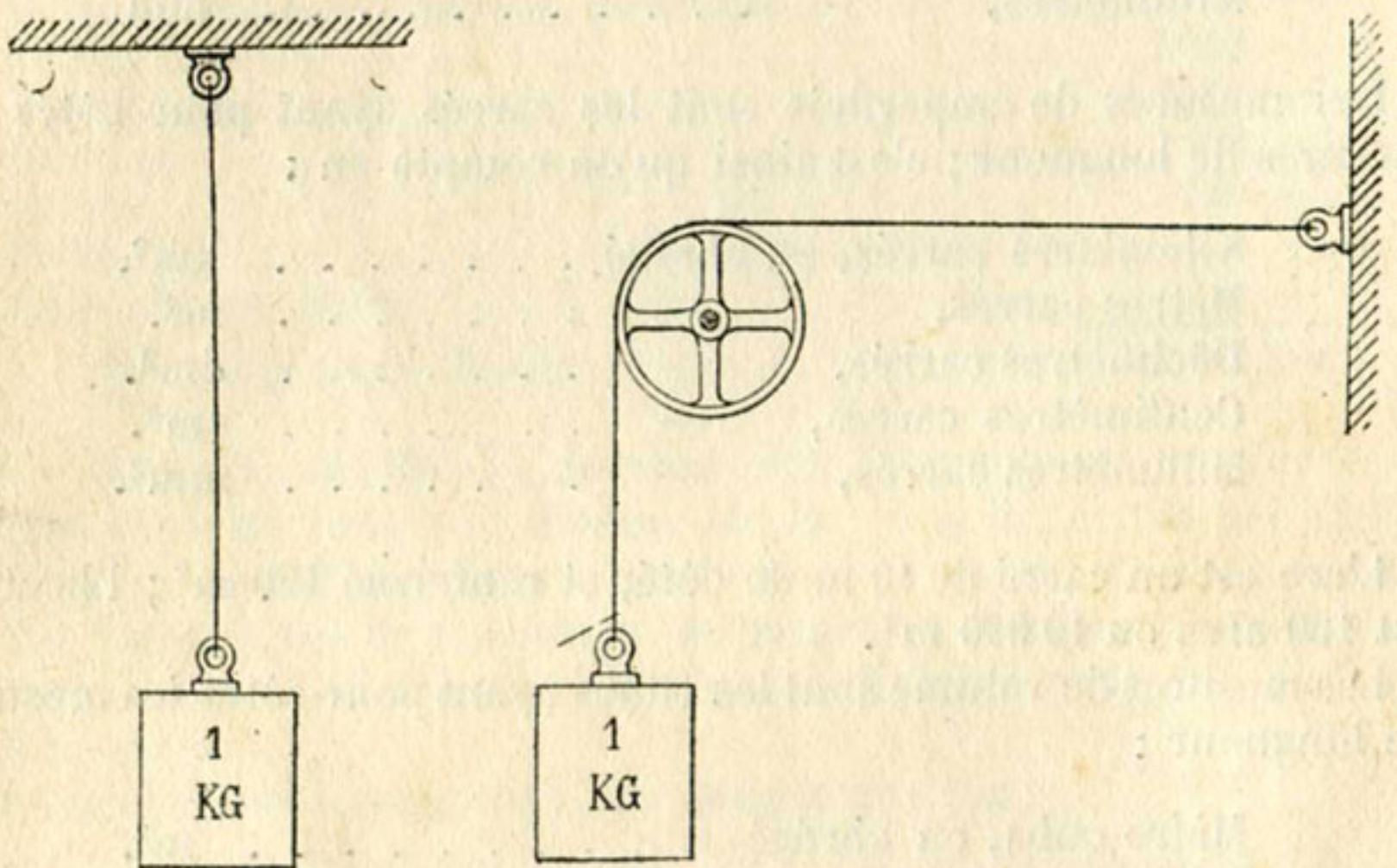


Fig. 8. — Force verticale et force horizontale d'un kilogramme.

dans le vocabulaire de la mécanique est le mot force, qui désigne une action capable de mettre un corps en mouvement, ou de modifier ce mouvement.

Celle dont les effets sont le plus apparents est la pesanteur, qu'on a choisie pour unité de mesure : en suspendant à un fil un poids d'un kilogramme (fig. 8), on soumet ce fil à une force d'un kilogramme. La pesanteur agit verticalement, soit en tirant le fil de suspension, soit en appuyant un poids sur un support ; mais les forces peuvent avoir une direction différente. Le fil enroulé sur une poulie de renvoi, comme le montre la figure, est tendu par une force horizontale d'un kilogramme.

Lorsqu'un train est attelé au crochet d'arrière d'un tender, il faut que la locomotive développe une certaine force pour tirer le train ; cette force, qui, en palier, est horizontale, s'évalue en kilogrammes ;

on se la représente en supposant le train remplacé par une masse suspendue à un câble, qui passerait sur une poulie de renvoi et viendrait s'attacher au tender (fig. 9) : la force de traction est pré-

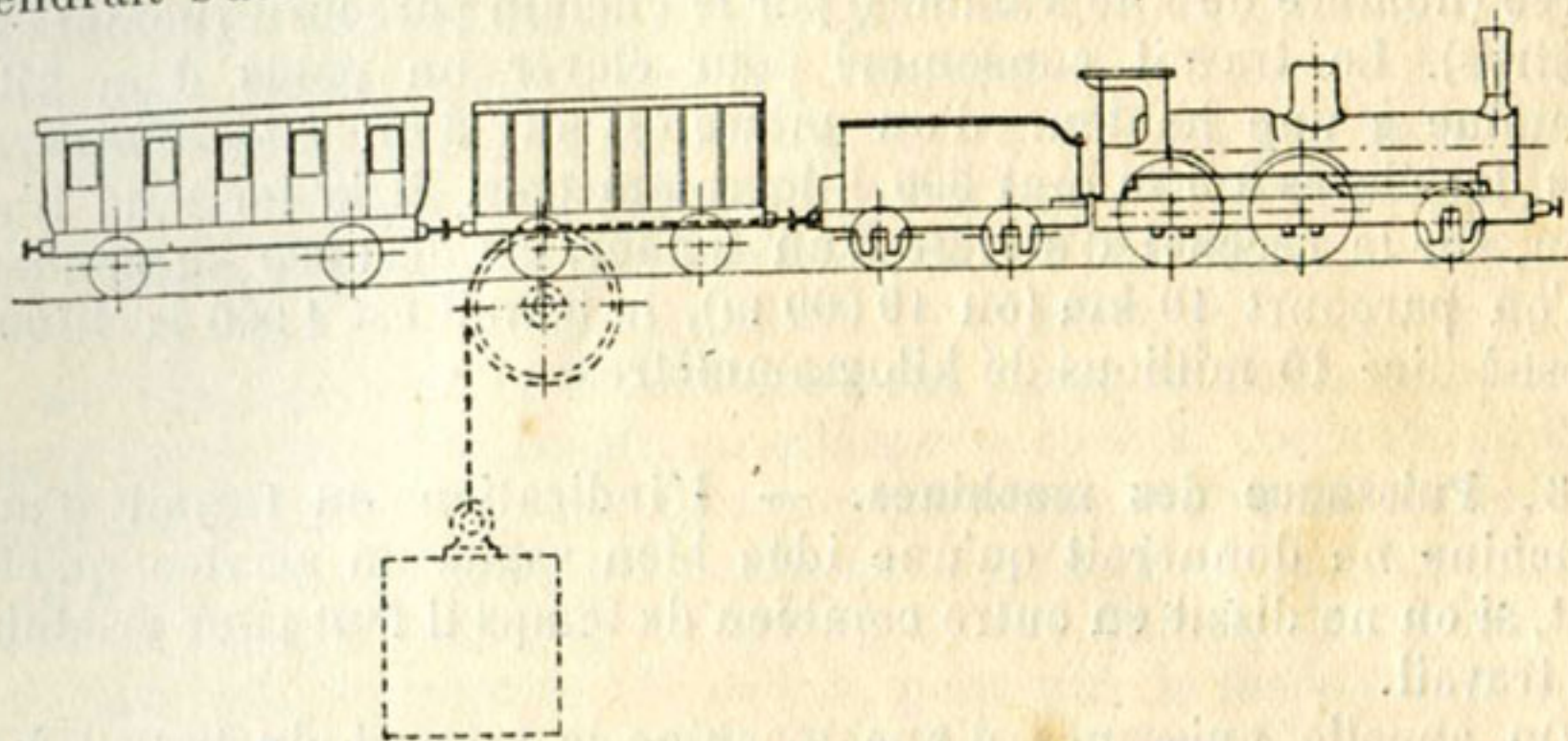


Fig. 9. — Force de traction de la locomotive.

cisément le poids en kilogrammes de la masse ainsi suspendue, du moins dans la marche à vitesse uniforme.

6. Dynamomètre. — Il ne serait guère possible de remplacer ainsi un train par un poids suspendu au bout d'une corde, lorsqu'on veut mesurer l'effort de traction d'une locomotive ; les ressorts donnent un moyen commode d'effectuer cette mesure. Un ressort, auquel on suspend des poids connus, en quantité croissante (fig. 10), fléchit d'une quantité déterminée pour chaque valeur des poids ; on mesure ces flexions : c'est ce qu'on appelle tarer le ressort. On le monte alors dans un wagon-dynamomètre, et la locomotive tire sur le ressort, à la place des poids suspendus : en mesurant la flexion du ressort, comme on sait combien il faut de kilogrammes pour la produire, on sait quelle est la force de traction de la locomotive.

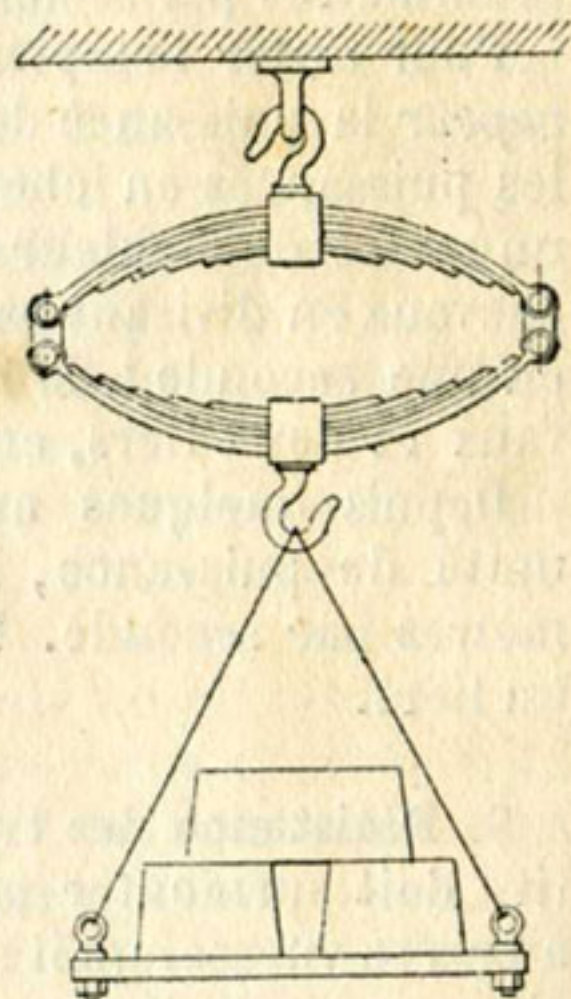


Fig. 10. — Tare du ressort de dynamomètre.

Au lieu de mesurer de temps en temps la flexion du ressort, on l'enregistre continuellement sur une bande de papier, qui se meut perpendiculairement à la barre de traction, avec une vitesse proportionnelle à celle du train. Un crayon fixé à une tige, qui fait corps avec le milieu du ressort, en trace les allongements sur la bande de papier. On peut lire sur la bande l'effort de traction en chaque point du parcours d'un train.

7. Travail. — Une force produit un travail quand elle déplace le corps qu'elle tire (ou qu'elle pousse). Si le déplacement a lieu suivant la direction de la force, on mesure le travail en multipliant la force (nombre de kilogrammes) par le chemin parcouru (nombre de mètres). Le travail consommé pour élever un poids d'un kilogramme à une hauteur d'un mètre est dit d'un *kilogrammètre* : 100 kg élevés à 5 m font 500 kilogrammètres. Si la force de traction, sur le crochet d'arrière d'un tender, est de 1 000 kg pendant qu'on parcourt 10 km (ou 10 000 m), le travail est $1\,000 \times 10\,000$, c'est-à-dire 10 millions de kilogrammètres.

8. Puissance des machines. — L'indication du travail d'une machine ne donnerait qu'une idée bien vague du service qu'elle fait, si on ne disait en outre combien de temps il faut pour produire ce travail.

On appelle puissance d'une machine le rapport du travail à la durée, rapport qui est mesuré par le travail accompli en une seconde. Ainsi une locomotive, qui exerce un effort de traction de 1 000 kg, en faisant 72 km à l'heure ou 20 m par seconde, développe 20 000 kilogrammètres ($1\,000 \times 20$) par seconde. Avec une vitesse moitié moindre, 10 m par seconde, et un effort de traction double, 2 000 kg, on retrouve la même puissance de 20 000 kilogrammètres par seconde.

Pour éviter l'emploi de trop grands nombres, on appelle *cheval-vapeur* la puissance de 75 kilogrammètres par seconde, et on compte les puissances en chevaux-vapeur. Un cheval-vapeur élève 75 kg à un mètre de hauteur en une seconde ; on obtient la puissance en chevaux en divisant par 75 le nombre de kilogrammètres développés en une seconde : 20 000 kilogrammètres par seconde font 266 chevaux et deux tiers, environ 267.

Depuis quelques années, on emploie fréquemment une autre unité de puissance, le *kilowatt*, qui est d'environ 102 kilogrammètres par seconde. Un kilowatt est donc un peu plus d'un cheval un tiers.

9. Résistance des trains. — Pour remorquer un train, la locomotive doit surmonter plusieurs résistances, qui sont, quand le train a pris sa vitesse, qu'il s'agit d'entretenir uniforme sur un palier et en alignement droit : la résistance au roulement, causée par la flexion de la voie sous le poids des roues, par ses inégalités, et par la déformation des roues mêmes ; le frottement des fusées des essieux contre les coussinets ; la résistance de l'air. Ces forces varient souvent, et il est difficile de les mesurer séparément. On les rapporte d'habitude, en bloc, au poids du train : si elles sont de 5 kg par tonne, l'effort de traction nécessaire pour entretenir en vitesse uniforme, sur palier, un train pesant 200 t sera de 200×5 ou 1 000 kg.

La résistance au roulement est souvent estimée à un kilogramme par tonne.

Le frottement des fusées dépend de la nature et de la dimension des coussinets, de la charge qu'ils supportent, et du graissage. Pour que l'huile pénètre bien entre le coussinet et la fusée, il faut que la charge qui les presse l'un contre l'autre ne soit pas trop forte ; en d'autres termes, pour supporter une charge déterminée, il faut que la surface de portée soit assez grande. Pour augmenter la surface de portée, on peut agrandir le rayon ou la longueur de la fusée. L'allongement de la fusée ne peut être qu'avantageux, tandis qu'en agrandissant le rayon, on allonge le chemin parcouru contre le coussinet, pour un tour de roue, par chaque point de la fusée : à égalité de frottement, on augmente le travail de ce frottement pour un même parcours du train, travail qui est en définitive demandé à la locomotive. Toutefois, pour que la fusée soit solide, pour qu'elle ne rompe pas ou ne fléchisse pas sensiblement, on ne peut la faire très mince et très longue.

Pendant les gelées, après un long stationnement, les huiles de graissage sont solidifiées : au départ, la résistance due au frottement des fusées est considérable. Une fois en marche, les boîtes s'échauffent par le frottement, et cette résistance diminue : elle reste néanmoins souvent plus forte en hiver qu'en été. On réduit cet inconvénient en employant, pendant l'hiver, des huiles de qualités spéciales, suffisamment fluides à basse température. Cet effet est encore plus marqué avec les boîtes à graisse, d'un usage général au début des chemins de fer ; on trouve d'ailleurs encore des wagons où l'on se sert de graisse au lieu d'huile. On peut compter pour la résistance due au frottement des fusées 1 à 2 kg par tonne. Cette résistance est moindre avec les boîtes à rouleaux ou à billes, qu'on essaie pour le matériel des chemins de fer.

La résistance de l'air est la plus variable : peu importante, négligeable même pour les trains à marche lente, elle augmente beaucoup avec la vitesse, et devient considérable quand la marche est très rapide. La vitesse du train n'est pas seule en jeu : celle d'un vent contraire s'y ajoute pour augmenter la force opposée à la marche, tandis que le vent arrière la diminue. C'est surtout le vent de côté, quand il est un peu fort, qui est une gêne sérieuse, en poussant par le travers les wagons, dont les bandages frottent contre le rail. Le vent est quelquefois assez violent pour renverser des wagons.

On estime en moyenne la résistance totale des trains, d'ailleurs fort variable, à 3 kg par tonne pour la vitesse de 20 km à l'heure, à 5 kg pour celle de 40 km, à 7 kg pour celle de 70 km.

La locomotive est encore plus exposée à l'action de l'air que le reste du train. La disposition des essieux, l'effet des bielles y augmentent aussi les autres forces résistantes. On compte souvent, pour

une tonne de la locomotive, sur un effort double de ce qu'il faut pour une tonne du train. Le tender, pourvu qu'il soit très bien entretenu, est à peu près assimilable, sous ce rapport, au reste du train.

D'autres causes s'ajoutent aux précédentes. C'est d'abord l'influence des rampes. Ces rampes sont définies par l'élévation en millimètres par mètre de parcours. D'après une règle de la mécanique élémentaire, la résistance est d'autant de kilogrammes par tonne que la rampe compte de millimètres par mètre : pour un train de 300 t (locomotive comprise), sur une rampe de 6 mm par mètre, elle est de 6×300 ou 1 800 kg.

Parcourue en sens contraire, la rampe est une pente, et la même force (1 800 kg dans l'exemple) vient en déduction des autres résistances, qu'elle dépasse dès que la pente est un peu forte : le train roule spontanément et souvent même il devient nécessaire d'en modérer la vitesse. Certaines pentes mettent clairement en évidence la variation de résistance avec la vitesse : sur une pente de 5 mm par mètre, un train de marchandises roule sous la seule action de la pesanteur ; il faut même parfois en serrer les freins, tandis que, pour soutenir la vitesse des express, la locomotive doit y dépenser beaucoup de vapeur. Et cependant les wagons à marchandises du premier train opposent presque toujours, à même vitesse, et à égalité de poids, une plus grande résistance que les voitures du second.

Les courbes viennent encore ajouter une résistance à la marche des trains, résistance d'autant plus grande que le rayon en est moindre. On estime qu'en moyenne, avec le matériel européen, une courbe de 300 m de rayon équivaut à une rampe de 3 mm, c'est-à-dire crée une résistance de 3 kg par tonne. Une courbe de 200 m vaudrait une rampe de 5 mm et une de 150 m, une rampe de 6,5 mm.

Certaines dispositions des locomotives et des véhicules remorqués réduisent cet effet des courbes. Le graissage des boudins sur les roues d'avant de la locomotive a été parfois appliqué pour les lignes sinueuses. Une mèche alimentée par un godet, ou bien l'extrémité d'un tube en bois rempli de graisse solide, frotte contre le boudin. Ailleurs, c'est la face interne des rails qui est enduite d'une pâte lubrifiante contenant de la plombagine.

Toute la force de la locomotive n'est pas employée à surmonter les diverses résistances qui viennent d'être énumérées : l'augmentation de la vitesse du train consomme du travail moteur. Par contre, lorsqu'on laisse un train se ralentir, il restitue le travail ainsi consommé, et la machine n'a plus qu'un effort de traction réduit à développer. Mais ce travail, au lieu d'être restitué, est souvent détruit par l'application des freins.

La mécanique permet le calcul du travail moteur nécessaire

pour imprimer à un train de poids total connu (locomotive comprise) une vitesse déterminée, en partant du repos. Par chaque kilogramme du poids total, on consomme 1,3 kilogrammètre pour atteindre la vitesse de 5 m par seconde ; 5,12 kilogrammètres pour atteindre la vitesse de 10 m par seconde ; 11,5 — 20,4 — 32 kilogrammètres pour les vitesses de 15 — 20 — 25 m. Ce travail, nécessaire pour produire l'accélération de la masse du train et de sa machine, s'ajoute à celui qui est consommé, pendant ce temps, par les diverses résistances.

10. Pression atmosphérique. — Les machines à vapeur mettent en jeu certaines forces qu'on appelle pressions des fluides. L'air exerce une pression, que montrent clairement les expériences faites avec une pompe à air ou machine pneumatique. Soit un cylindre vertical fermé en bas, ouvert en haut, avec un piston ; en enlevant tout l'air sous le piston, il portera la pression de l'atmosphère, qui est le poids d'une colonne d'air montant jusqu'à la limite (inconnue) de la couche gazeuse qui entoure la terre : pour empêcher le piston de descendre sous l'action de ce poids ou de cette pression, il faudra le maintenir, par exemple au moyen d'une corde passant sur une poulie et portant un poids en métal (fig. 11) : si le piston a une surface d'un décimètre carré ou de 100 cm^2 (le diamètre est alors de 113 mm), le poids nécessaire pour le maintenir sera de 100 kg environ, c'est-à-dire de 1 kg par cm^2 . Cette pression est une force comparable au poids d'un morceau de métal ; mais elle s'exerce également dans tous les sens, tandis que le poids du métal agit toujours de haut en bas : l'air est parfaitement élastique et transmet de tous côtés les efforts qu'il reçoit. En retournant le cylindre et en pompant l'air, cette fois au-dessus du piston, la pression de l'air s'exercera de bas en haut : elle aura la même valeur d'à peu près 100 kg. Il en est de même quand le cylindre est horizontal.

Lorsqu'on ne pompe pas l'air avec la machine pneumatique, comme il s'insinue dans tous les vides que laissent les corps solides (et liquides), il vient exercer partout sa pression : le piston de l'appareil d'expériences est également pressé sur ses deux faces, et les deux pressions égales se font équilibre. C'est pour cette raison que le corps humain ne sent pas la pression de l'atmosphère qui l'entoure.

Les liquides transmettent aussi les pressions dans tous les sens ; un nageur qui plonge à une profondeur de plusieurs mètres n'est pas écrasé par le poids énorme de l'eau qui le surmonte, pas plus que par celui de l'atmosphère, parce que la pression se transmet sur toute la surface et dans tout l'intérieur de son corps.

11. Pression et température de la vapeur. — En chauffant l'eau suffisamment, on la transforme en vapeur : on la fait passer de l'état

liquide à l'état de gaz ou de fluide semblable à l'air. Si l'eau qu'on chauffe est enfermée dans une chaudière, la vapeur ainsi formée ne peut se dissiper au dehors et conserve une certaine pression. Qu'on suppose à la partie supérieure de la chaudière un piston dans

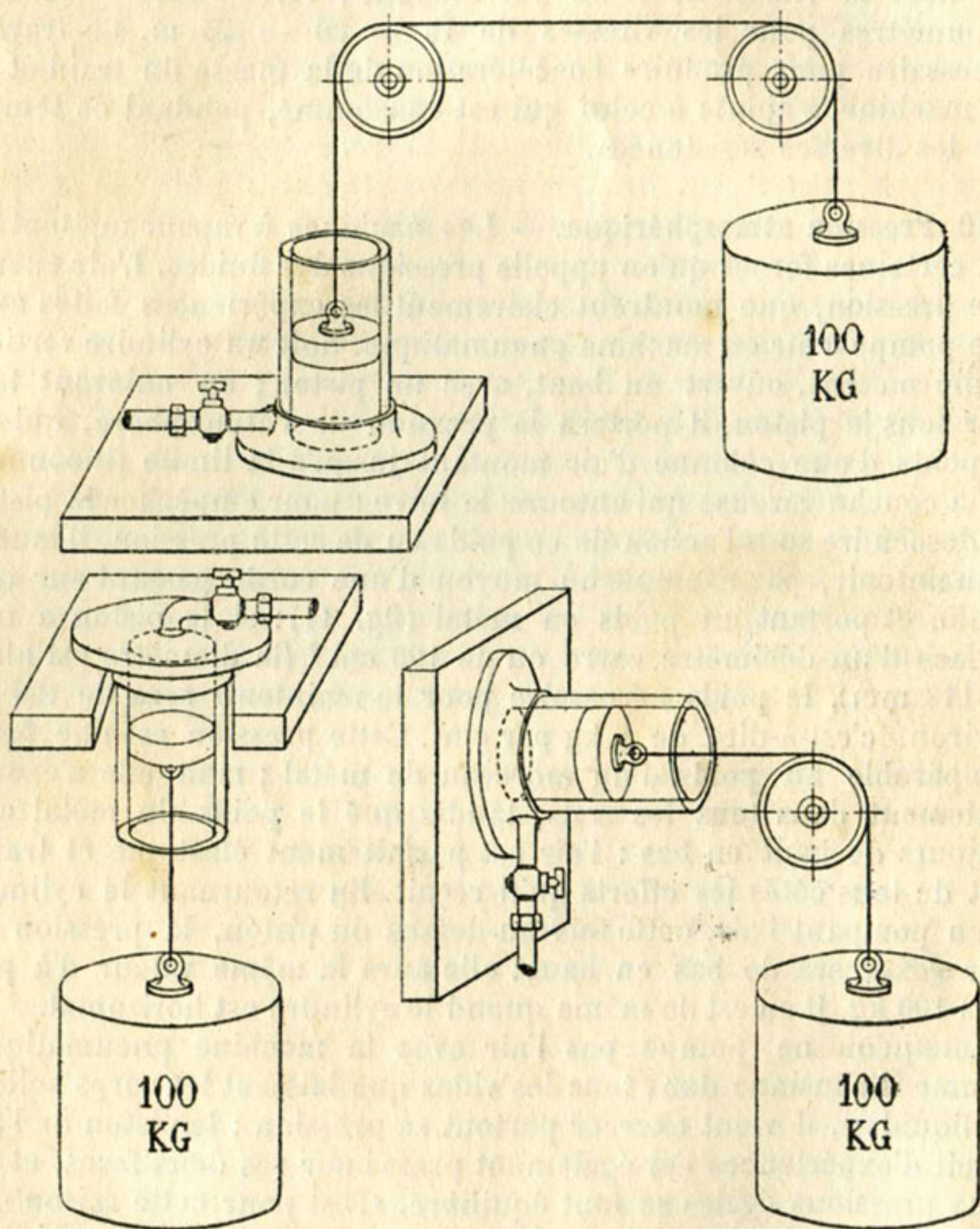


Fig. 11. — Pression atmosphérique verticale de haut en bas ; pression atmosphérique verticale de bas en haut ; pression atmosphérique horizontale.

un cylindre communiquant en dessous avec la chaudière, et en dessus avec l'air extérieur ; qu'on suppose aussi tout l'air chassé de l'intérieur de la chaudière par un dégagement préalable de vapeur.

Le dessus du piston est soumis à la pression de l'atmosphère, d'environ un kg sur chaque cm^2 , et le dessous à la pression de la

vapeur dans la chaudière. S'il ne monte ni ne descend, sans être chargé d'aucun poids, la pression de la vapeur est égale à celle de l'atmosphère, c'est-à-dire aussi de un kg sur chaque cm^2 . En chauffant suffisamment la chaudière, on augmente la pression de la vapeur; par exemple, si la surface du piston est toujours de 100 cm^2 , on pourra élever la pression de telle sorte que le piston soulève, en plus de l'atmosphère, un poids de 100 kg, ou de 1 kg par cm^2 : la pression de la vapeur sera alors doublée; elle atteindra 2 kg par cm^2 . On pourra élever davantage la pression: le piston soulèvera 500 kg, 1 000 kg en plus de l'atmosphère, c'est-à-dire soulèvera en réalité 600, 1 100 kg; la pression de la vapeur sera alors de 6, de 11 kg sur chaque cm^2 .

Ainsi à l'extérieur de la chaudière, la pression est un kg par centimètre carré; à l'intérieur, elle atteint un certain nombre de kilogrammes par centimètre carré. Comme ce n'est que la différence de ces deux pressions qui peut faire rompre la chaudière, l'habitude est venue de ne pas compter la *pression absolue* ou totale de la vapeur, qui est, dans ces exemples, successivement de 1, 2, 6, 11 kg par cm^2 , mais de tenir compte de la *pression effective*, ou de la pression absolue diminuée de la pression extérieure de l'air: cette pression effective est indiquée par les poids posés sur le piston. On la mesure, en pratique, avec le manomètre (§ 39).

Si l'on fixe sur une chaudière un tube, fermé au bout, ouvert vers l'extérieur et pénétrant dans la vapeur, en y faisant entrer un thermomètre, on mesure la température de la vapeur; cette expérience indique toujours la même température pour une même pression. Il n'y a d'exception à cette règle que lorsqu'on chauffe la vapeur sans eau dans des appareils spéciaux, dits surchauffeurs; mais ces appareils n'existent pas sur la locomotive. En lisant la pression au manomètre, on peut donc dire quelle est la température que marquerait le thermomètre dans la vapeur.

A la pression moyenne de l'atmosphère vers le niveau de la mer, la température est de 100° : c'est celle de l'eau qui bout dans un vase ouvert.

A la pression effective de 5 kg par cm^2 , la vapeur a une température de 158° . Cette température est de 183° à la pression effective de 10 kg, de 191° à celle de 12 kg, et de 200° environ à celle de 15 kg, pression effective adoptée pour les chaudières de certaines locomotives compound.

La température de l'eau est la même que celle de la vapeur, au moins dans sa partie supérieure. Il peut arriver qu'au débouché du tuyau d'alimentation ou au fond de la chaudière l'eau reste quelque temps plus froide que la vapeur.

On trouvera, dans le tableau qui suit, quelques données relatives à la *vapeur saturée sèche* (vapeur en contact avec l'eau qui l'a produite, mais non mélangée d'eau).

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	PRESSION ABSOLUE en kilogrammes par cm ² .	POIDS DU MÈTRE CUBE en grammes.
0	0,0063	5
80	0,4822	296
100	1,0334	606
150	4,8695	2 597
160	6,3250	3 320
170	8,1063	4 192
180	10,2611	5 230
190	12,8396	6 456
200	15,8939	7 888

12. Combustion. — La combustion, qui produit la chaleur, est une combinaison chimique des corps combustibles avec l'oxygène, qui existe dans l'air. L'air est un mélange d'oxygène et d'autres gaz, dont le principal est l'azote. On y a récemment découvert, en petites proportions, de nouveaux gaz précédemment confondus avec l'azote, notamment l'argon. 100 litres d'air contiennent 21 litres d'oxygène. En poids, 1 kg d'air renferme 230 g d'oxygène. Dans la combustion, l'azote et les autres gaz qui lui sont associés n'agissent pas directement; ils atténuent seulement l'action très vive de l'oxygène pur, qui brûle les combustibles avec une rapidité extrême. On peut comparer le mélange d'oxygène et de gaz inertes au mélange de vin et d'eau.

Les éléments combustibles qui existent dans la houille, ainsi que dans les autres substances employées pour le chauffage, sont le carbone et l'hydrogène. Le corps qu'on appelle graphite, plombagine ou mine de plomb, est du carbone à peu près pur; le diamant est du carbone pur cristallisé. L'hydrogène est un gaz; dans la houille il est combiné au carbone, et il forme des carbures d'hydrogène, qui se dégagent par la distillation et donnent le gaz d'éclairage. D'autres carbures d'hydrogène, liquides, constituent le pétrole. La houille renferme en outre des matières solides non combustibles, qui restent après la combustion et forment les *cendres*.

En se combinant avec l'oxygène, dans l'acte de la combustion, le carbone peut former deux gaz différents, l'oxyde de carbone et l'acide carbonique : 6 g de carbone et 8 g d'oxygène donnent 14 g d'oxyde de carbone, qui est un gaz encore combustible ; 8 autres g d'oxygène avec 14 d'oxyde de carbone (ou 16 g d'oxygène et 6 g de carbone) forment 22 g d'acide carbonique, qui n'est plus combustible.

Ainsi, le carbone peut brûler en deux fois, donnant d'abord l'oxyde de carbone, qui produit à son tour l'acide carbonique. La combustion complète peut aussi se faire immédiatement en produi-

sant du premier jet l'acide carbonique. Dans tous les cas, le carbone n'est complètement utilisé que s'il est transformé en acide carbonique; tout dégagement d'oxyde de carbone non brûlé constitue une perte importante : en effet, la transformation du carbone en oxyde de carbone ne produit que les trois dixièmes de la chaleur qu'il peut donner, et les sept autres dixièmes résultent de la combustion de l'oxyde de carbone. C'est un fait capital qu'il ne faut jamais oublier quand on brûle la houille : laisser échapper de l'oxyde de carbone, c'est perdre les sept dixièmes du carbone correspondant.

Pour que l'oxyde de carbone se transforme en acide carbonique, il faut qu'il rencontre une quantité suffisante d'oxygène, c'est-à-dire d'air qui le renferme : il faut encore qu'il soit à une température assez élevée ; à froid ou peu chauffés, l'oxyde de carbone et l'oxygène ne se combinent pas.

L'hydrogène, en s'unissant à l'oxygène, forme de la vapeur d'eau : 1 g d'hydrogène et 8 g d'oxygène donnent 9 g d'eau, en dégageant plus de quatre fois la quantité de chaleur produite par un gramme de carbone transformé en acide carbonique.

Si la quantité d'air est insuffisante, il peut arriver que les carbures d'hydrogène, dégagés par la houille, s'échappent sans être brûlés : c'est une perte qui s'ajoute à celle de l'oxyde de carbone.

Les chimistes savent calculer dans chaque cas la quantité d'oxygène nécessaire pour brûler complètement un kilogramme d'un combustible donné. De la quantité d'oxygène on déduit facilement le poids ou le volume d'air nécessaire. On trouve ainsi, pour la plupart des houilles, un nombre voisin de douze kilogrammes d'air par kilogramme de combustible. C'est à peu près neuf mètres cubes d'air pris à la température et à la pression ordinaires.

Si la quantité d'air fournie pour la combustion est moindre, on peut être sûr qu'une partie du combustible se perdra en gaz non brûlés. Si elle est plus grande, l'excès d'air se chauffera dans le foyer et sortira avec les gaz de la combustion par la cheminée : les gaz ainsi rejetés étant encore chauds, il en résulte une perte de chaleur. Mais comme on ne peut pas doser exactement le volume d'air qui traverse un foyer, comme aussi il n'y a pas mélange parfait, en tous les points, de l'air et des éléments combustibles, il vaut toujours mieux pécher par excès d'air que par défaut.

13. Pouvoir calorifique des combustibles, et quantités de chaleur nécessaires pour chauffer et vaporiser l'eau. — Un kilogramme d'un combustible, brûlé complètement, dégage une quantité de chaleur déterminée, qui dépend de sa nature. Cette quantité de chaleur peut être mesurée dans des expériences de laboratoire assez simples; elle s'exprime en unités de chaleur ou *calories*, la calorie étant la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer un

kilogramme d'eau de 0° à 1°. Par exemple, le pouvoir calorifique du carbone pur est de 8 080 : cela veut dire qu'un kilogramme de carbone complètement brûlé dégage 8 080 calories, qui pourraient chauffer de 0° à 1° 8 080 kg d'eau. Un kilogramme de gaz hydrogène, en brûlant, produit 34 460 calories.

D'autre part, la transformation de l'eau en vapeur, sous une pression déterminée, exige d'abord qu'elle soit chauffée jusqu'à la température de la vapeur sous cette pression, ce qui consomme une certaine quantité de chaleur; ensuite il faut encore lui fournir de la chaleur pour la vaporiser, bien que la température, indiquée par un thermomètre, ne varie pas pendant cette transformation. En se changeant en vapeur, l'eau absorbe ou emmagasine de la chaleur en quantité considérable. Par exemple, l'eau est prise à la température de 15° et transformée en vapeur sous la pression effective de 10 kg par cm²; à cette pression, la température de vaporisation est de 183°; pour chauffer un kilogramme d'eau de 15° à 183°, il faut lui communiquer 171 calories, puis, pour transformer en vapeur, à la même température de 183°, ce kilogramme d'eau, il faut 477 calories, presque trois fois plus¹. Ainsi, dans les conditions les plus fréquentes, un peu plus du quart du combustible brûlé dans la locomotive sert à chauffer l'eau, et près des trois quarts transforment l'eau chaude en vapeur sans en modifier la température.

Connaissant d'une part le pouvoir calorifique d'un combustible et, d'autre part, la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser un kilogramme d'eau, on peut calculer le nombre de kilogrammes que pourrait vaporiser un kilogramme du combustible, si toute la chaleur était utilisée. Par exemple, un kilogramme de carbone pur, dégageant 8 080 calories, pourrait vaporiser, sous la pression effective

¹ Ces quantités de chaleur sont les suivantes, pour diverses pressions, le kilogramme d'eau étant toujours supposé pris à la température de 15°;

PRESSION EFFECTIVE en kg par cm ² .	NOMBRE DE CALORIES		
	Pour chauffer l'eau.	Pour la vaporiser.	Total.
6	151	490	641
8	162	483	645
12	178	471	649
14	185	466	651
15	188	464	652

Si la température initiale de l'eau est inférieure ou supérieure à 15°, il suffit d'ajouter ou de retrancher un nombre de calories égal à l'écart en degrés.

de 10 kg par cm², 12 450 kg d'eau prise à 15°, puisqu'il faut 648 calories par kilogramme d'eau.

On ne vaporise jamais dans une locomotive, par chaque kilogramme de combustible, la quantité d'eau ainsi calculée. D'abord la combustion réalisée en pratique n'est pas parfaite, et, par suite, ne produit pas toute la chaleur que pourrait donner le combustible; en outre, le courant gazeux, qui arrive dans la boîte à fumée et qui est rejeté au dehors par la cheminée, est encore chaud; il emporte de la chaleur, qui aurait été transmise à l'eau dans les expériences de laboratoire. Enfin la chaudière perd de la chaleur en échauffant l'air qui l'entoure.

Quelquefois la vapeur produite dans la locomotive entraîne des gouttelettes d'eau non transformées en vapeur: on dit que la chaudière *prime*. La quantité d'eau qui sort de la chaudière est alors augmentée, et on peut croire que le kilogramme de combustible est mieux utilisé, puisqu'il semble fournir des kilogrammes de vapeur en plus grand nombre; mais tous ces kilogrammes ne sont pas de la vapeur; une partie est encore à l'état d'eau: il y a tromperie sur la qualité du fluide fourni par la chaudière.

14. Métaux employés à la construction des locomotives. — Les métaux qui forment la locomotive sont: le fer, à l'état de fer proprement dit, d'acier et de fonte; le cuivre, pur ou allié à d'autres métaux; le zinc, l'étain, le plomb, l'antimoine, en alliages.

L'*acier* est du fer uni à une petite quantité de carbone et parfois d'autres substances. Le véritable acier, qui sert à construire les ressorts et les outils tranchants, durcit beaucoup à la trempe. Mais on appelle aussi acier du fer ne renfermant qu'une très faible proportion de carbone et ne durcissant que peu, ou même pas du tout, à la trempe: le mot acier a trait alors au mode de fabrication: c'est un métal obtenu en lingots fondus, tandis que le *fer* se fabrique avec des paquets, soudés au pilon, de fer brut provenant du puddlage de la fonte, ou de ferrailles. Certains *aciers très doux* ne sont que du fer fondu, à peu près exempt de toute substance étrangère.

La *fonte*, qu'on obtient par le traitement des minerais de fer dans les hauts fourneaux, est plus carburée que l'acier.

Le fer et l'acier s'emploient en pièces forgées ou en tôles et barres laminées. Le fer et l'acier très doux peuvent se souder, qualité précieuse pour la construction et surtout pour la réparation de certaines pièces. On durcit les parties soumises à des frottements qui les usent, ou des poussées qui les mattent, par la cémentation, qui transforme en acier dur, prenant bien la trempe, la couche superficielle du métal.

On demande au fer et à l'acier une résistance suffisante par millimètre carré: cette résistance est facilement obtenue, mais il importe que le métal ne soit pas fragile. Les essais au choc sur des barrettes décèlent la fragilité.

Les tôles d'acier doux, employées depuis plusieurs années pour la construction des chaudières, sont plus homogènes que les tôles de fer, qui présentent parfois des dédoubleures ; elles supportent bien le travail de l'emboutissage, nécessaire pour certaines parties des chaudières.

La fonte s'emploie en pièces fondues. Une bonne fonte de moulage est homogène, exempte de soufflures et d'autres défauts ; la cassure montre un grain fin de couleur grise ; le burin et la lime l'entament facilement. La fonte résiste bien aux efforts de compression, avec une résistance à la traction très inférieure à celle du fer.

Depuis quelques années, on emploie beaucoup l'acier coulé pour remplacer les pièces en fonte par d'autres plus légères ou plus résistantes, et les pièces en fer ou en acier forgé d'exécution difficile. La résistance de ces pièces coulées, quand elles sont bien faites, est comparable à celle des pièces forgées qu'elles remplacent.

Le *cuivre*, avec une résistance inférieure à celle du fer, est très malléable et se prête sans se criquer à de petites déformations ; c'est ce qui l'a fait adopter pour les foyers et leurs entretoises.

Allié à l'étain, le cuivre fournit le bronze, dont sont formés les coussinets, les tiroirs, les robinets ; allié au zinc, c'est le laiton. Outre les deux métaux principaux, ces alliages en contiennent souvent d'autres ; c'est ainsi que les bronzes renferment fréquemment du zinc et du plomb.

Voici quelques exemples de compositions de bronzes et de laiton, données en poids pour 100 parties (d'après la pratique des chemins de fer de l'Ouest) :

	CUIVRE	ÉTAIN	ANTIMOINE	ZINC
Bronze pour tiroirs	84	14	»	2
Bronze pour bagues de bielles . .	82	18	»	»
Bronze pour cloches	78	20	2	»
Bronze pour clés de robinets . . .	88	9	»	3
Laiton	70	»	»	30

Pour les coussinets, on préfère souvent au bronze des alliages blancs. On emploie, par exemple, les compositions suivantes, pour 100 parties en poids :

Métal blanc à base de zinc : cuivre, 5 ; étain, 18 ; zinc, 77 ;

Métal blanc à base d'étain : cuivre, 9 ; étain, 78 ; antimoine, 13.

Ces alliages réunissent deux qualités en apparence contradictoires : d'une part, ils présentent des parties dures, sur lesquelles la résistance due au frottement est très faible ; d'autre part, la masse est

assez molle pour s'ajuster facilement sur le tourillon, de sorte que les grippements sont rares.

Pour les garnitures métalliques de tiges, un des alliages adoptés contient 5 parties de cuivre, 32 d'étain, 3 d'antimoine et 60 de plomb.

Outre les métaux qui viennent d'être cités, on trouve encore dans certains aciers du manganèse, du nickel, du chrome, de l'aluminium. Enfin, parmi les corps simples que le chimiste trouverait dans une locomotive, on peut citer le phosphore, l'arsenic, le silicium, qui existent souvent, en petite quantité, dans les fers et les cuivres.

15. Centre de gravité. — On parle quelquefois du centre de gravité d'une locomotive, ou de la partie suspendue d'une locomotive : pour

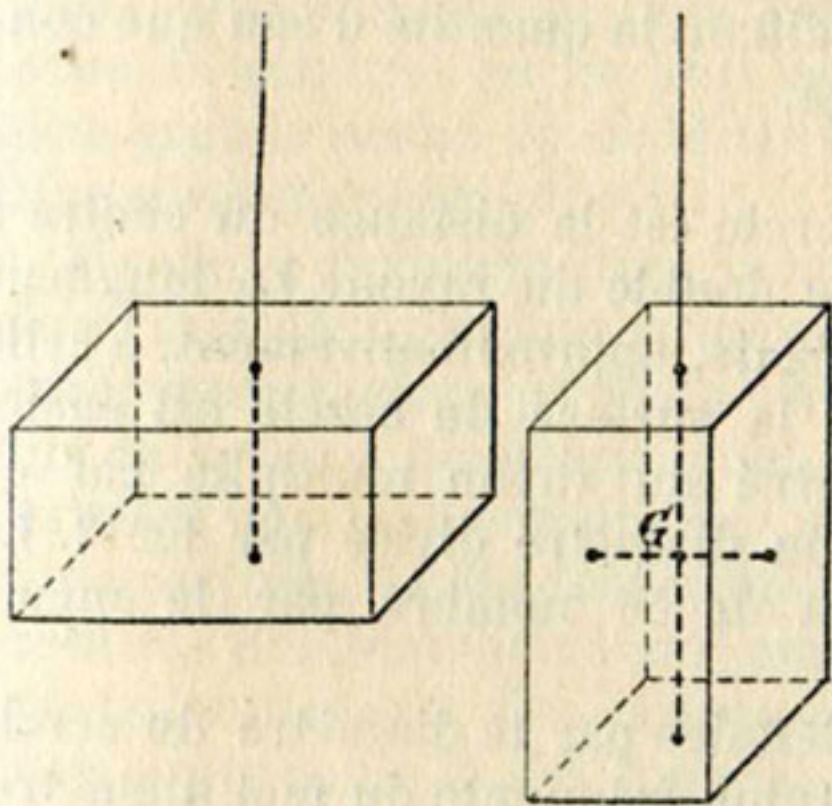


Fig. 12. — Détermination du centre de gravité, à l'intérieur d'un corps.

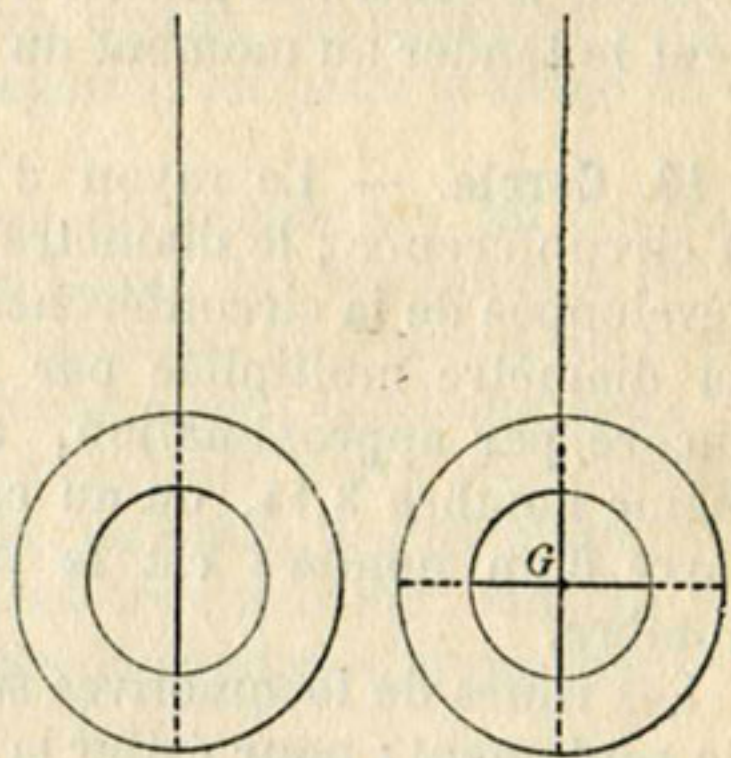


Fig. 13. — Détermination du centre de gravité, à l'extérieur d'un corps.

savoir exactement ce que cette expression désigne, qu'on suspende à un fil un corps pesant et qu'on marque à l'intérieur ou à l'extérieur de ce corps, suivant sa forme, la direction de ce fil, par exemple en y perçant un trou de très petit diamètre ou en fixant une tige mince à l'extérieur (fig. 12 et 13) ; en suspendant le même corps par un autre point et marquant de même sur le corps la direction du fil, la mécanique démontre et l'expérience fait voir que les deux directions ainsi déterminées se coupent en un point, qui est le même quelle que soit la place d'attache du fil : c'est ce point qu'on nomme centre de gravité du corps ; sur la figure 12, le centre de gravité est à l'intérieur du corps ; il est à l'extérieur sur la figure 13.

La considération du centre de gravité permet de simplifier certains problèmes, en supposant le corps pesant remplacé par un seul point, où serait concentrée sa masse entière, et qui par suite aurait le même poids.

Pour tourner les locomotives, on emploie fréquemment des ponts à pivot, où tout le poids de la machine avec son tender peut porter sur le pivot. Pour cela, il faut que le centre de gravité de l'ensemble formé par la locomotive et le tender se trouve juste au-dessus du pivot : le virage est alors facile. Il n'est pas besoin d'ailleurs de connaître d'avance la position du centre de gravité sur la machine : comme le pont peut s'incliner légèrement suivant sa longueur, la machine est bien placée quand les galets, qui existent aux extrémités du pont, ne touchent leur chemin de roulement circulaire ni d'un côté ni de l'autre.

Pour qu'on puisse amener une machine dans cette position, il est en général nécessaire que le pont soit un peu plus long que ne l'exigerait l'espacement des roues extrêmes de la locomotive avec son tender : quand on ne dispose pas de cet excès de longueur, on déplace le centre de gravité en modifiant la quantité d'eau que contient le tender au moment du virage.

16. Cercle. — Le rayon d'un cercle est la distance du centre à la circonférence ; le diamètre est le double du rayon. La longueur développée de la circonférence est égale, approximativement, à celle du diamètre multipliée par 3,14 ; la surface du cercle est égale, encore par approximation, au carré du rayon multiplié par ce même nombre 3,14, ou au carré du diamètre divisé par 1,273. Le carré d'un nombre est le produit de ce nombre par le même nombre.

Les roues de locomotives sont définies par le diamètre du cercle de roulement ; pour éviter la répétition fréquente du mot diamètre, on dit des roues de 2 m, par exemple, quand ce diamètre est de 2 m. De même un cylindre de 450 mm est un cylindre de 450 mm de diamètre.

17. Angles. — Un angle est la figure formée par deux lignes droites, qu'on appelle côtés, et qui se terminent au point où elles se rencontrent, dit sommet de l'angle. En plaçant au sommet le centre d'un cercle de rayon choisi une fois pour toutes, égal à un mètre par exemple, l'arc de ce cercle, compris entre les côtés, mesure l'angle. La circonférence entière est partagée en 360 degrés (360°) ; chaque degré se subdivise en 60 minutes ($60'$) et chaque minute en 60 secondes ($60''$). L'angle droit est mesuré par l'arc de 90° , qui est le quart de la circonférence : l'angle aigu est plus petit que l'angle droit, l'angle obtus est plus grand. Ces mesures non décimales sont peu commodes, mais il serait difficile de les changer, parce qu'elles sont partout employées de même.

Deux lignes droites qui font un angle droit sont dites perpendiculaires. Une droite perpendiculaire à un plan est perpendiculaire à une droite quelconque menée par son pied dans ce plan. La direc-

tion verticale, donnée par le fil à plomb, est perpendiculaire au plan horizontal, formé par la surface d'un liquide en repos. Il ne faut pas dire une droite *perpendiculaire* pour désigner la verticale ; c'est une locution vicieuse qu'on entend trop souvent.

18. Gabarit de chargement. — Tout véhicule d'un chemin de fer doit passer librement dans le gabarit de chargement, qui n'est pas le même pour toutes les lignes.

La différence des gabarits est une gêne sérieuse pour la circulation des wagons passant d'un réseau sur un autre. Aussi les administrations de la plupart des chemins de fer (à voie normale, de 1,44 m environ entre rails) de l'Europe continentale ont proposé, pour l'échange du matériel, un gabarit commun dit *passé-partout* (fig. 14). Chaque chemin de fer conserve en outre ses gabarits spéciaux, qui sont tantôt plus restreints, tantôt plus grands que le gabarit *passé-partout* : pour le matériel qui ne sort pas d'un réseau, notamment pour la plus grande partie du matériel à voyageurs, on peut profiter de ce agrandissement du gabarit.

Simple à première vue, la question du gabarit est au contraire assez délicate : pendant la marche des trains, les véhicules se déplacent transversalement d'une certaine quantité, et peuvent alors sortir du gabarit de chargement. Ce déplacement tient aux jeux qui existent entre les boudins des roues et les rails, entre les coussinets et les extrémités des fusées des essieux ; en outre, les oscillations des ressorts donnent lieu à un mouvement très marqué, surtout à la partie supérieure des caisses, dont les corniches s'approchent des voûtes des ponts et des tunnels.

Il est nécessaire que le profil transversal du chemin de fer présente, pour le passage des trains, une ouverture supérieure à celle du gabarit de chargement, afin de tenir compte de ces circonstances. On doit aussi prévoir les petits déplacements accidentels de la voie, qui peuvent se produire lors des réparations.

Une autre cause s'ajoute aux précédentes dans les courbes : le milieu du véhicule prend une certaine saillie vers l'intérieur de la courbe, tandis que les extrémités sortent vers l'extérieur. Cet effet devient important pour les véhicules de grande longueur, tels que les voitures à bogies : il faut donc ou réduire le gabarit transversal de ces voitures, ce qui est souvent gênant, ou bien prévoir autour du gabarit de chargement un jeu plus grand dans les courbes.

De ce qu'un wagon plein a passé librement dans le gabarit de chargement, il n'en résulte pas qu'une fois déchargé, il en sera de même, parce que les ressorts, en se débandant, relèvent le véhicule.

La construction récente, en France, de quais hauts de 85 cm au-dessus du niveau des rails, dans quelques gares à voyageurs, rétrécit légèrement le gabarit dans la partie inférieure, peu utilisée pour les

chargements. Il importe, en effet, pour la sécurité des voyageurs, que ces quais s'approchent le plus possible des marchepieds des voi-

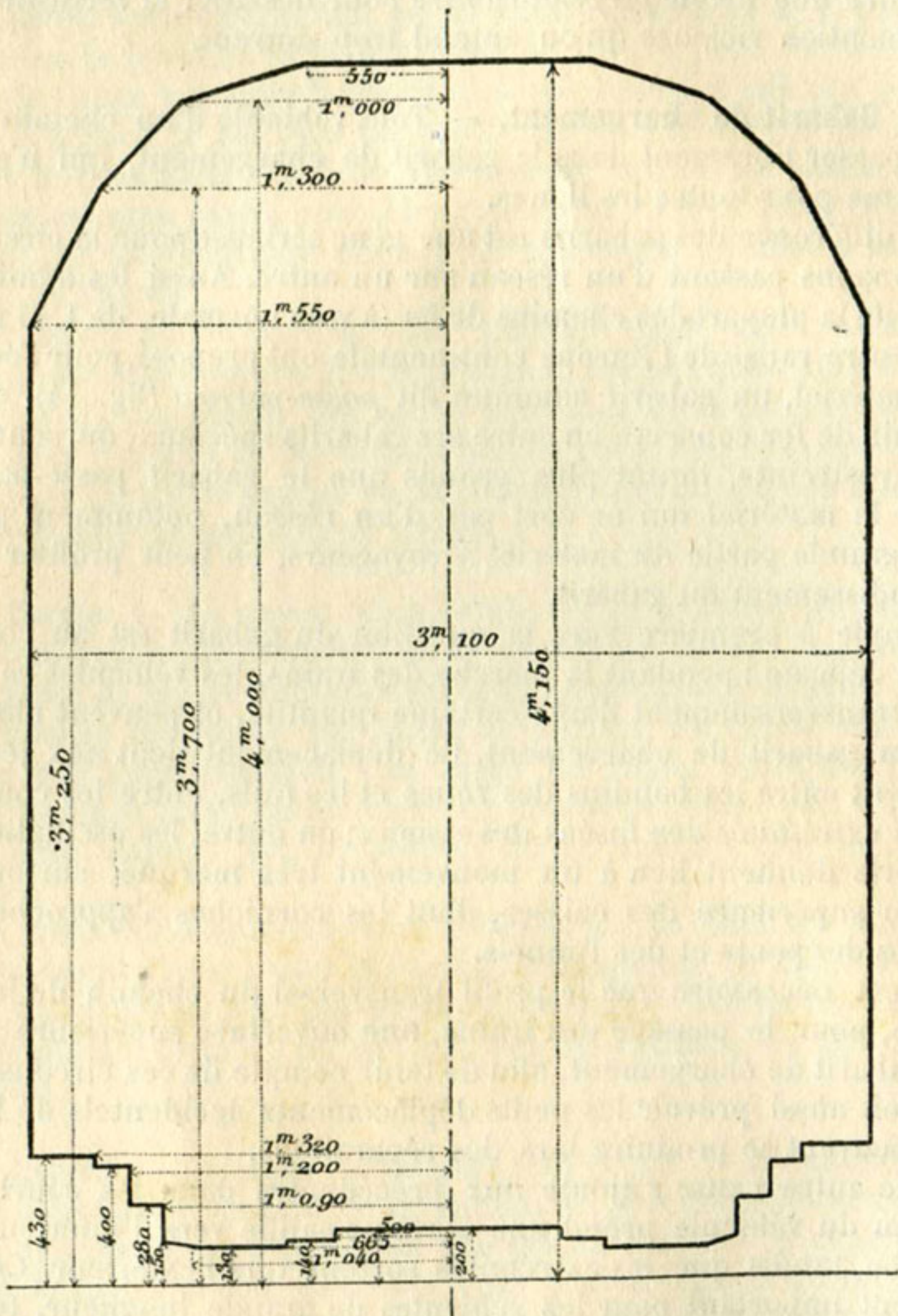


Fig. 14. — Gabarit de chargement proposé, dit *passé-partout*, des chemins de fer de l'Europe continentale. Ce gabarit ne porte pas l'indication du vide qui doit rester au-dessus des rails pour le passage des roues.

tures. Les quais hauts avaient été autrefois en usage en France, puis supprimés pour la plupart. Ils sont d'un usage général en Angleterre.

19. Vitesse des trains. — La vitesse des trains s'exprime en kilomètres à l'heure; dans le sens étroit des mots, cette manière de comp-

ter supposerait pendant une heure une marche uniforme, bien rarement réalisée. Pour déduire de la vitesse en kilomètres à l'heure le parcours en mètres par seconde, on multiplie par 1 000 le nombre des kilomètres, ce qui donne le nombre de mètres, puis on divise le produit par 3 600, nombre de secondes en une heure; plus simplement, il suffit de multiplier par 10 et de diviser par 36, ce qui revient au même. Par exemple, à la vitesse de 90 km à l'heure, on parcourt 900 divisé par 36, c'est-à-dire 25 mètres à la seconde.

On appelle *vitesse commerciale* d'un train la vitesse uniforme qui lui permettrait d'accomplir son parcours dans le temps même qu'il emploie, arrêts intermédiaires compris. Pour la calculer, en kilomètres à l'heure, on compte combien de minutes s'écoulent depuis le départ jusqu'à l'arrivée, puis on divise le nombre des kilomètres parcourus par celui des minutes, ce qui donne le parcours par minute; en le multipliant par 60, on a le parcours moyen par heure ou vitesse commerciale. On obtient un peu plus facilement le même résultat en multipliant d'abord par 60 le nombre de kilomètres, puis en divisant le produit par le nombre des minutes. Par exemple, si un train part de Paris à 9 h 35 du matin pour arriver à Bordeaux à 5 h 29 du soir, il parcourt 578 km en 474 minutes: la vitesse commerciale est de 578×60 ou 34.680 divisé par 474, c'est-à-dire de 73 km à l'heure. On calcule de même la vitesse commerciale d'une station à la suivante, pour un trajet sans arrêt. On va de Paris à Reims (156 km) en 1 h 56 min, ou en 116 minutes: c'est une vitesse commerciale de 81 km à l'heure environ.

Le calcul est un peu plus simple lorsque le trajet occupe un nombre entier d'heures, de demi-heures, ou de quarts d'heures. Un train quittant Paris à midi 20, pour arriver à la gare maritime de Calais à 3 h 50, parcourt 298 km en 3 heures et demie: la vitesse commerciale est de 85 km à l'heure.

On appelle *vitesse moyenne de marche*, d'une station à la suivante, la vitesse uniforme qui permettrait de faire effectivement le trajet, en tenant compte du temps nécessaire pour le démarrage, l'arrêt et les ralentissements, estimé d'après certaines règles. Si on donne deux heures ou 120 minutes pour un trajet de 130 km entre deux arrêts, la vitesse commerciale sera de 65 km à l'heure; si la durée estimée du démarrage, des ralentissements, et de l'arrêt est de 7 minutes, on calculera la vitesse pour le parcours en 113 minutes seulement, ce qui donne une vitesse moyenne de marche de 69 km à l'heure.

Comme en réalité la vitesse n'est pas uniforme sur tout le trajet, la *vitesse effective de marche* dépasse à certains moments la vitesse moyenne, pour se tenir en dessous à d'autres.

Pour obtenir des vitesses commerciales élevées, il faut non seulement une bonne vitesse moyenne de marche, mais encore peu de pertes de temps en démarrages, ralentissements et arrêts. La mise

en vitesse des trains lourds et rapides fait perdre beaucoup de temps.

Sur les lignes chargées, la différence des vitesses moyennes des divers trains complique l'exploitation. Parfois, en accélérant un peu la marche des trains de marchandises et en leur faisant faire de longs parcours sans arrêt, on peut leur donner une vitesse moyenne égale à celle des trains de voyageurs à fréquents arrêts, et leur éviter de longs stationnements dans les garages. C'est pour ce motif que sur

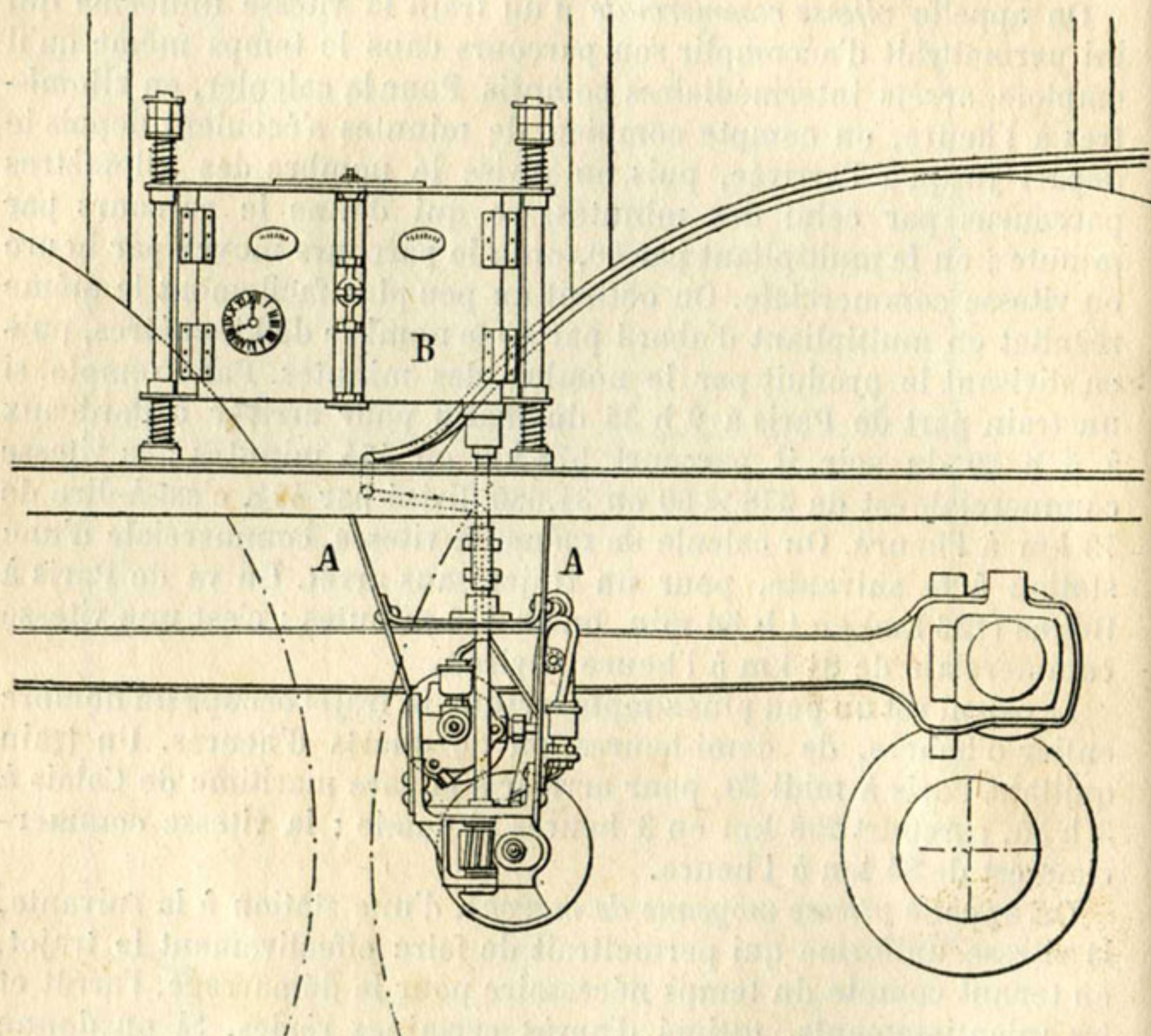


Fig. 15. — Chronotachymètre des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

le chemin de fer anglais du Lancashire and Yorkshire les locomotives à marchandises sont munies de l'appareil à embarquer l'eau en route, décrit au paragraphe 137.

Sur quelques lignes à très grand trafic, on ajoute des voies supplémentaires, qui servent à la circulation des trains de marchandises, souvent sur une grande longueur : c'est ainsi que plusieurs des chemins de fer qui rayonnent autour de Londres ont quatre voies sur plusieurs centaines de kilomètres. Aux États-Unis, la ligne d'Albany à Buffalo a quatre voies sur une longueur de près de 500 km.

Quelle est la plus grande vitesse qu'aient atteinte les locomotives ? Il est difficile de répondre avec précision à cette question ; mais les machines stables, sur une bonne voie, ont parfois marché avec une très grande rapidité. Dans des essais effectués par la compagnie de Lyon, à la suite de l'exposition universelle de 1889, on a atteint 144 km à l'heure, 40 m à la seconde, et il semble que ce chiffre eût pu facilement être dépassé. On a récemment annoncé des vitesses supérieures en Angleterre et aux États-Unis.

20. Indicateurs de vitesse. —

On munit quelquefois les locomotives d'indicateurs qui en font connaître la vitesse ; un grand nombre d'appareils différents ont été étudiés ou construits à cet effet. Au simple indicateur, qui s'adresse seulement au mécanicien, on peut adjoindre un enregistreur, qui inscrit sur une bande de papier ou sur un disque de carton les vitesses pendant tout le parcours de la locomotive.

Quand les indicateurs de vitesse sont commandés directement par une des roues de la locomotive ou par un point d'une bielle d'accouplement, ils doivent être réglés suivant le diamètre de la roue, que l'usure et le retournage des bandages réduisent. On emploie aussi pour la transmission un galet de diamètre invariable, qui appuie sur le bandage, dont le diamètre est alors indifférent.

L'indicateur Stroudley consiste en une petite pompe centrifuge qui refoule un liquide dans un tube gradué, placé en vue du mécanicien. Le chronotachymètre Pouget (fig. 15) inscrit la vitesse sur

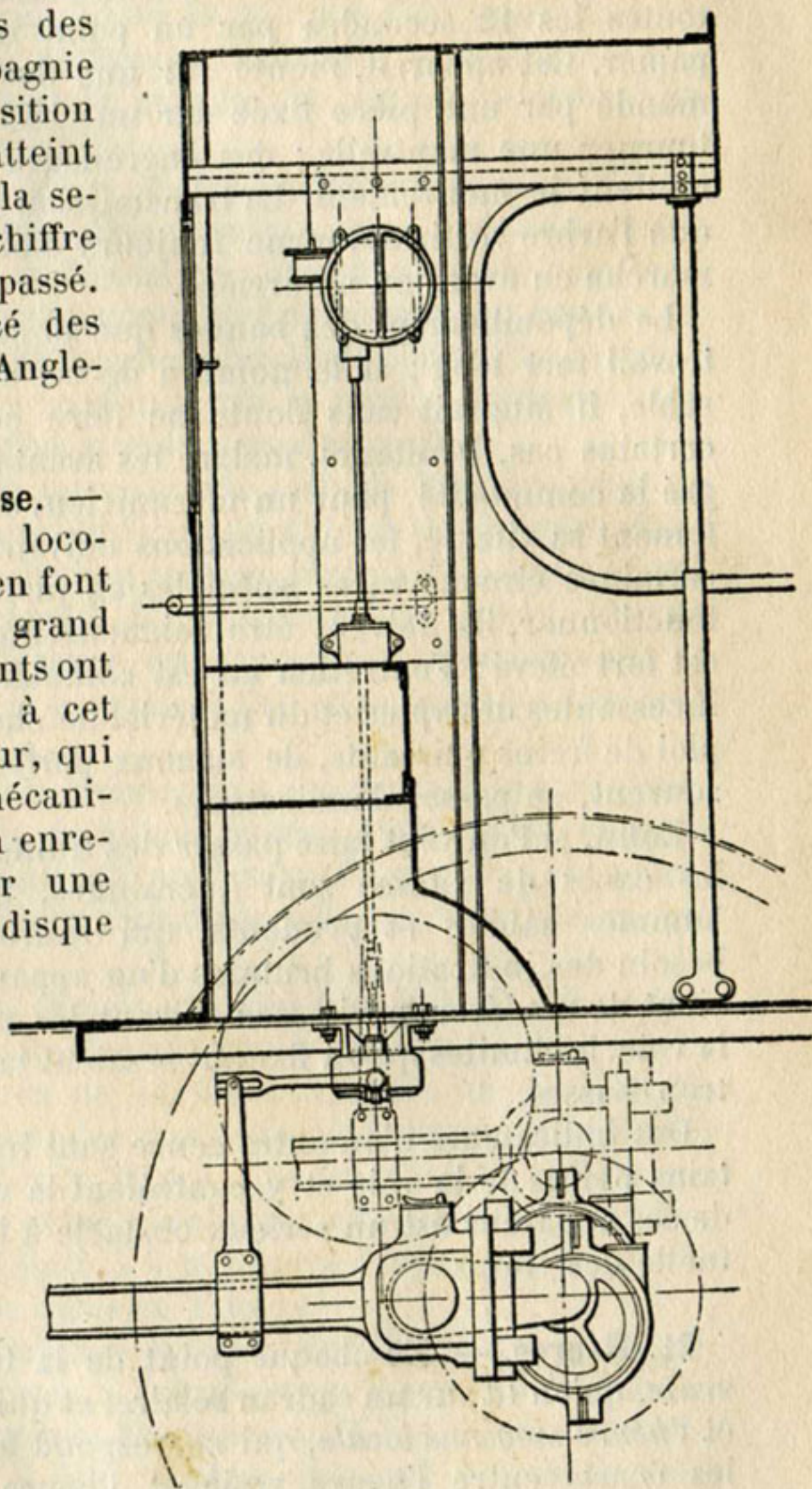


Fig. 16. — Montage de l'indicateur de vitesse Hausshaelter sur une locomotive des chemins de fer de l'Est (série 813 à 840).

une bande de papier déroulée par un mouvement d'horlogerie.

L'indicateur Hausshaelter (fig. 16) comporte un cadran sur lequel une aiguille indique la vitesse. En outre, la vitesse est enregistrée toutes les 12 secondes par un point marqué sur une bande de papier. Cet appareil, monté sur une des parois de l'abri, est commandé par une pièce fixée sur une bielle d'accouplement, qui fait tourner une manivelle ; des engrenages et un arbre vertical transmettent le mouvement. La transmission est disposée de telle sorte que l'arbre vertical tourne toujours dans le même sens, que l'on marche en avant ou en arrière.

Le dépouillement des bandes que donnent les indicateurs est un travail fort long : si le nombre de ces appareils devenait considérable, il faudrait sans doute ne faire ce dépouillement que dans certains cas. D'ailleurs, malgré les avantages de ces appareils, malgré la commodité, pour un mécanicien, de toujours connaître exactement sa vitesse, les applications doivent en rester limitées ; seules certaines circonstances spéciales en justifient l'emploi. Pour bien fonctionner, ils doivent être soigneusement construits, et leur prix est fort élevé ; l'entretien en est coûteux. Grâce aux améliorations incessantes des voies et du matériel de chemins de fer, grâce à l'emploi de freins puissants, de signaux perfectionnés, on peut, le plus souvent, se passer d'indicateurs.

Enfin, si l'on veut faire passer des trains rapides sur des lignes où les excès de vitesse sont à craindre, il faut les confier à des hommes habiles et prudents, qui sauront apprécier, sans avoir besoin des indications brutales d'un appareil, à quel moment il convient de modérer la vitesse ; suivant les machines, suivant l'état de la voie, les limites qu'on fixerait seraient tantôt trop élevées et tantôt trop basses.

Des indicateurs d'un autre genre sont installés à demeure en certains points de la voie et y contrôlent la vitesse de passage. L'abus de ces appareils est un sérieux obstacle à la marche rapide et ponctuelle des trains.

21. Heures. — En chaque point de la terre, on distingue l'*heure vraie*, qu'on lit sur un cadran solaire, et qui n'a pas d'usage pratique, et l'*heure moyenne locale*, qui correspond à la marche des horloges : les écarts entre l'heure vraie et l'heure moyenne dépassent un quart d'heure à certaines époques de l'année¹. Sur tous les points d'un même méridien, c'est-à-dire en marchant exactement du nord au sud, on trouve la même heure locale ; mais elle varie d'un méridien

¹ Temps moyen à midi vrai :

le 11 février 1899.	midi 14 min. 27 sec. ;
le 15 avril	midi 0 min. 4 sec. ;
le 1 ^{er} novembre	11 h. 43 min. 40 sec.

dien à l'autre, de 4 minutes par chaque degré de longitude, ou d'une heure par 15 degrés (15°). Comme les chemins de fer et les télégraphes s'accommodent mal de cette variation, on a adopté pour chaque pays une heure unique. La loi du 14 mars 1891 prescrit, pour la France et l'Algérie, celle de Paris : toutefois les horloges intérieures des gares, qui règlent la marche des trains, retardent de 5 minutes sur l'heure de Paris.

Ce système suffit tant qu'on ne sort pas d'un même pays d'étendue modérée ; mais le passage d'une contrée dans une autre n'est pas trop commode, vu les additions ou soustractions de nombres compliqués de minutes. Et puis, comment faire quand un empire est très étendu de l'est à l'ouest, comme les États-Unis d'Amérique ? Une heure unique ne peut y convenir, car le midi s'écarterait trop du milieu du jour dans la plus grande partie du pays.

On a imaginé de diviser la terre en une série de fuseaux, compris chacun entre deux méridiens distants de 15°, et de prendre dans chaque fuseau l'heure du méridien moyen, placé à 7 degrés et demi des deux méridiens extrêmes. D'un fuseau au voisin l'heure est différente, mais la différence est exactement d'une heure, ce qui rend les calculs faciles et permet de lire sans peine les horaires des trains.

Il est commode que, dans un même pays et dans certaines régions, on ait, autant que possible, la même heure ; aussi a-t-on un peu triché sur les limites qui séparent un fuseau du voisin : on a pris les frontières politiques ou administratives voisines du méridien qui devrait faire la séparation.

Dans ce système, il fallait choisir un méridien initial, qui donne en quelque sorte l'heure à tous les autres : le choix s'est fixé sur le méridien de Greenwich, près de Londres. L'heure de Greenwich retarde de 9 minutes 21 secondes sur celle de Paris : quand il est midi à Paris, il est 11 h 50 min 39 sec à Greenwich. La différence entre l'heure de Greenwich et celle qui règle effectivement les chemins de fer français est réduite à 4 minutes environ, par le retard des horloges intérieures des gares en France.

La France, qu'on avait toujours vue prendre l'initiative quand il s'agissait d'unifier les mesures, a refusé jusqu'à présent de s'associer à cette réforme si commode des heures, déjà adoptée dans un grand nombre de pays ; il faut espérer que cet isolement cessera bientôt. L'Angleterre et l'Ecosse, la Belgique, la Hollande, se règlent sur l'heure même de Greenwich, qu'on appelle *heure de l'Europe occidentale* ; en ajoutant une unité au chiffre des heures, on a l'*heure de l'Europe centrale*, usitée en Suède, en Norvège, en Suisse, en Alsace-Lorraine, dans toute l'Allemagne, en Autriche, en Hongrie, en Serbie, en Italie, en Danemark ; l'addition d'une nouvelle unité donne l'*heure de l'Europe orientale*, qui sert en Roumanie, en Bulgarie, en Turquie. Dans l'est de la Russie, les chemins de fer sont

réglés sur l'heure de Saint-Pétersbourg, qui se trouve être, à une minute près, celle de l'Europe orientale.

Les États-Unis d'Amérique sont partagés en quatre grandes zones de l'est à l'ouest, où l'on emploie successivement l'heure de l'*Est*, celles du *Centre*, de la *Montagne* et du *Pacifique*; c'est celle de Greenwich moins 5, 6, 7 et 8 unités au chiffre des heures. Quand il est midi à Greenwich, on compte 7 heures du matin à New-York.

Parmi les autres États qui ont adopté ce système, se trouvent les Indes, l'Australie, le Japon : au Japon 9 heures du soir correspondent au midi de Greenwich.

Une autre réforme, qui améliore les horaires des chemins de fer, consiste à compter les heures de 0 à 24 depuis minuit jusqu'à minuit, et non plus par deux périodes de 12; c'est ainsi que sont tracés les horaires en Italie. La confusion des heures du matin et du soir n'est plus possible¹.

¹ Par exemple, la marche d'un train traversant toute l'Italie, de Milan à Gallipoli, est indiquée comme ci-dessous :

Milan	Départ	13 h 30
Lodi		14 5
Plaisance		14 58
Parme		16 14
Modène		17 23
Bologne		19 5
Rimini		21 21
Ancône		23 25
Castellammare		2 33
Foggia		6 5
Barletta		7 24
Brindisi		11 10
Gallipoli	Arrivée	14 30

CHAPITRE II

CHAUDIÈRE

22. 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 de combustible suffisant à la production de vapeur demandée ; l'utilisation de la chaleur produite par cette combustion dépend, d'ailleurs, de la surface chauffée du récipient, dite surface de chauffe. Les parties principales de la chaudière de locomotive (fig. 17 et 18) sont le foyer, les tubes, la boîte à feu, le corps cylindrique, la boîte à fumée.

Le foyer est une sorte de caisse, formée de quatre parois à peu près verticales, supportant le ciel horizontal ; 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 la longueur ne dépasse guère 2,60 m, ce qui fait une surface de 2,6 m². Cette grille, déjà grande pour une locomotive, serait beaucoup trop petite pour brûler la quantité de charbon nécessaire, si on n'activait pas la combustion au moyen d'un appel d'air énergique, produit 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.

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 caisses ; l'eau recouvre le ciel et baigne les parois latérales du foyer, excepté à l'endroit du trou qui reçoit la porte, également entouré d'un cadre.

Il ne suffirait pas de compenser les dimensions restreintes de la surface de grille par l'emploi de l'échappement, si la chaudière tubulaire de Séguin, petite et légère, ne donnait une grande surface de chauffe. 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. Par exemple, la surface de chauffe d'un tube, qui a 40 mm de diamètre à l'intérieur et 4 m de longueur, est d'un demi-mètre carré : 200 de ces tubes donnent donc 100 m², et la surface du foyer s'y ajoute.

Les tubes, emmanchés dans la plaque tubulaire du foyer, traversent

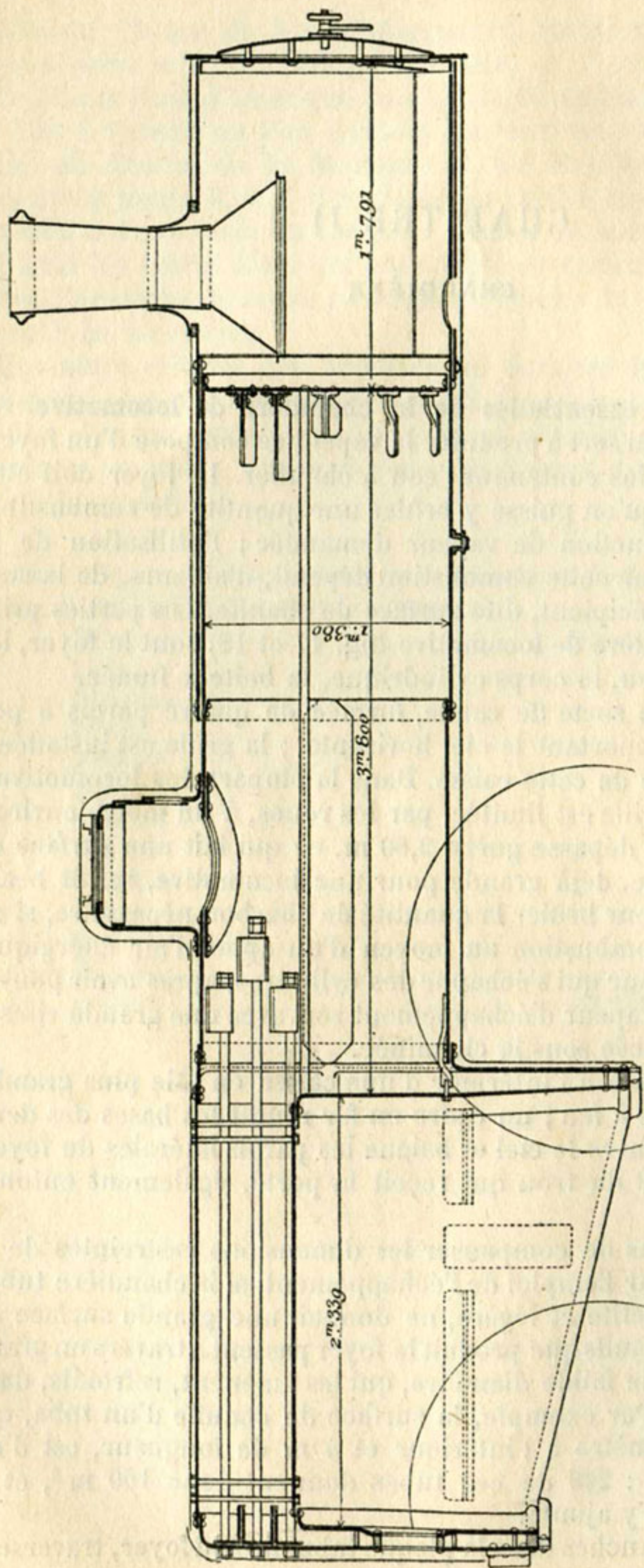


Fig. 17. — Chaudière des locomotives nos 503 à 522 des chemins de fer de l'Ouest (compound à 4 cylindres et à 2 essieux couplés); coupe longitudinale.

Timbre de la chaudière.	14 kg.	Nombre de tubes (en acier, à ailettes intérieures)	96.	Surface de chauffe des tubes (développement total intérieur).	122,6 m ² .
Diamètre intérieur moyen de la chaudière	1,364 m.	Volume d'eau (avec 20 cm d'eau au-dessus du ciel).	4,9 m ³ .	Surface de chauffe totale	133,7 m ² .
Longueur des tubes entre plaques tubulaires	3,800 m.	Surface de chauffe du foyer.	11,1 m ² .	Surface de grille.	2,4 m ² .
Diamètre extérieur des tubes	70 mm.				

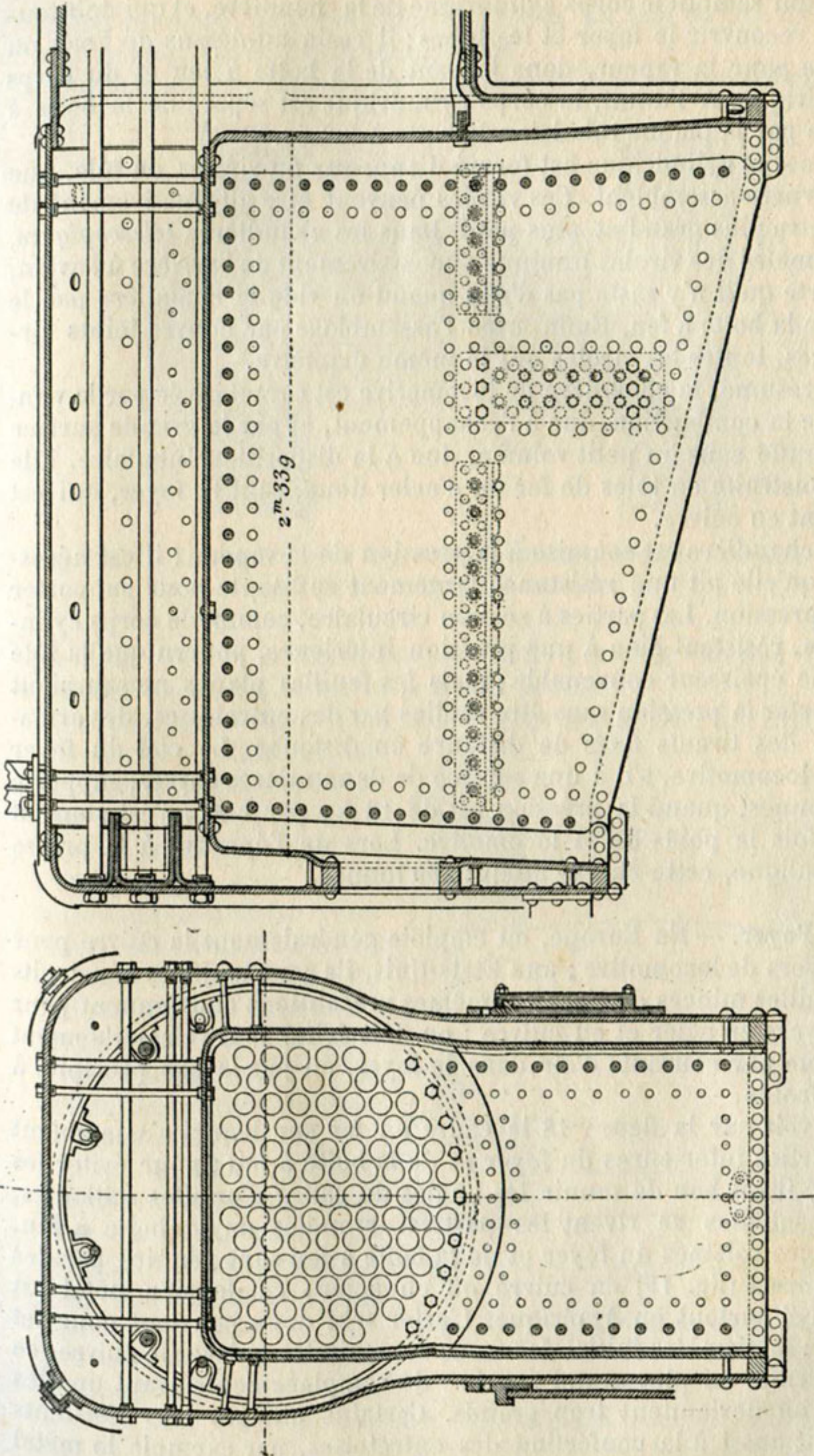


Fig. 18. — Boîte à feu et foyer des chaudières des locomotives n^{os} 503 à 522 des chemins de fer de l'Ouest; coupe longitudinale et coupe transversale; le dessin ne porte pas les rangées intermédiaires de tirants verticaux et d'entretoises.

l'eau qui remplit le corps cylindrique de la chaudière, et qui doit toujours 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 d'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 circulaires, toutes les viroles ont le 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. Elle est construite en tôles de fer ou d'acier doux, sauf le foyer, qui est souvent en cuivre.

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 entretoises, des armatures, des tirants fixés de distance en distance. Le ciel du foyer d'une locomotive, s'il a une surface de deux mètres carrés, supporte 240 tonnes, quand la pression est de 12 kg par cm^2 : c'est souvent cinq fois le poids de la locomotive. Lors de l'épreuve à la presse hydraulique, cette charge atteint 360 tonnes.

23. Foyer. — En Europe, on emploie généralement le cuivre pour les foyers de locomotive ; aux États-Unis, ils sont toujours construits en feuilles minces d'acier. Les mêmes précautions conviennent pour les foyers en acier et en cuivre : on doit éviter tout refroidissement brusque par courants d'air dans le foyer, ou par lavage précipité à l'eau froide.

On voit sur la figure 18 le cadre en fer sur lequel s'assemblent les parties inférieures du foyer et de la boîte à feu ; pour éviter les fuites, il est bon de munir les angles du cadre d'oreilles saillantes, sur lesquelles se rivent les parties arrondies de la boîte à feu. Les faces voisines du foyer et de la boîte à feu sont réunies par des entretoises (fig. 19) en cuivre ou en acier ; ce dernier métal est employé surtout en Amérique. L'acier très doux convient pour cet usage : le diamètre initial des trous est moindre qu'avec le cuivre, ce qui permet un plus grand nombre de remplacements avant que les trous ne deviennent trop grands. Certains alliages très résistants servent aussi à la confection des entretoises, par exemple le métal

Stone, composé, pour 100 parties en poids, de 61,5 parties de cuivre, 37,9 de zinc, 0,6 de fer et manganèse.

On peut enlever, sur le tour, les filets de la partie qui restera entre

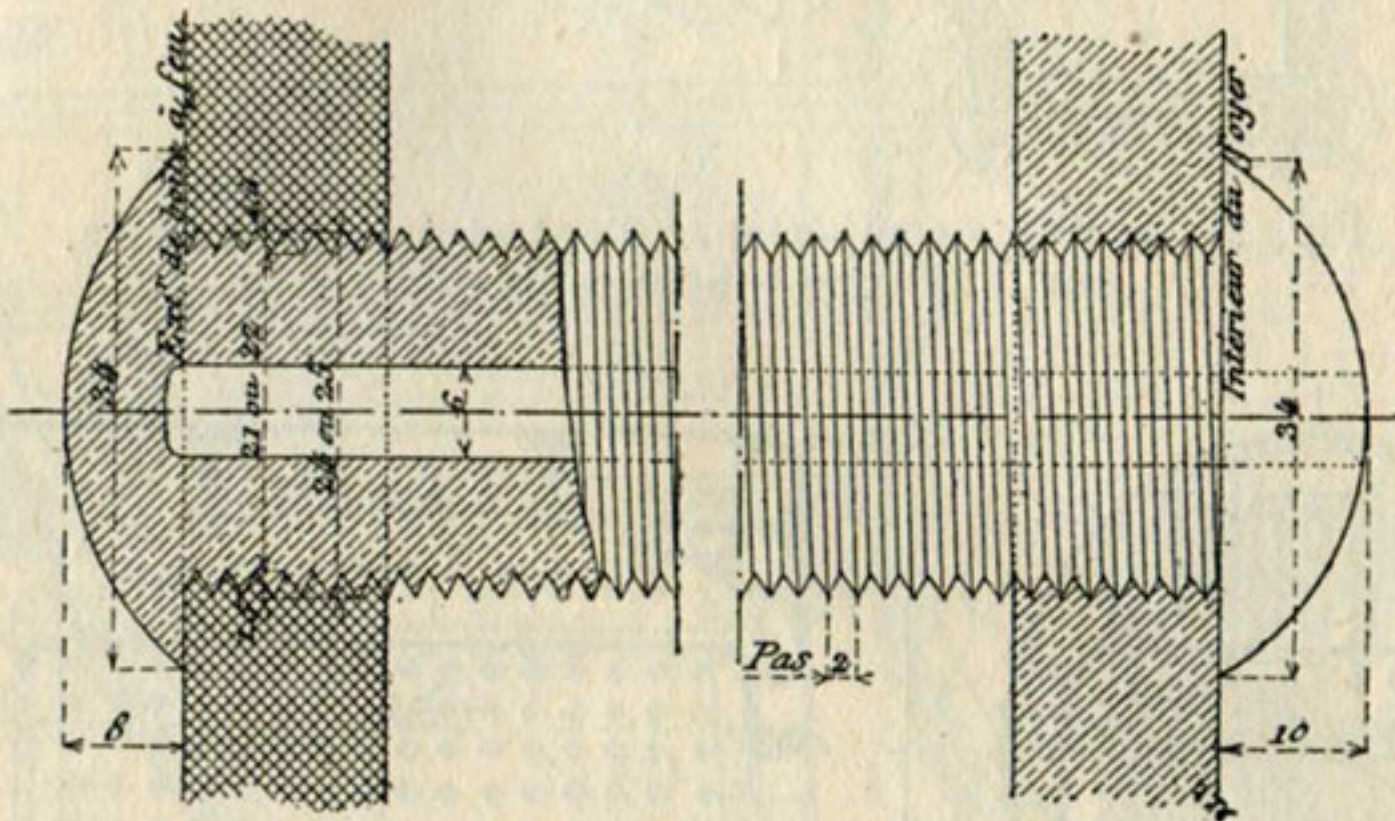


Fig. 19. — Entretoise pour foyer de locomotive, perforée de part en part, puis bouchée à l'extérieur.

les deux tôles : la résistance de l'entretoise à la traction n'en est pas diminuée, et elle est un peu plus flexible.

Le trou percé dans l'entretoise pour en décélérer la rupture est bouché vers l'extérieur, de manière à éviter l'entrée de l'air ; il laisse fuir l'eau dans le foyer si elle vient à se rompre. Une entretoise rompue doit être remplacée sans retard. Parfois on perce un trou borgne de chaque côté de l'entretoise. En ouvrant le trou à l'aide d'un mandrin conique, on obtient une entretoise étanche sans tête rivée (fig. 20).

Une attache spéciale (fig. 21) est nécessaire pour fixer la paroi plane du foyer en dessous des tubes.

La consolidation la plus difficile est celle du ciel. Souvent on le suspend à des poutrelles ou fermes, transversales ou longitudinales (fig. 22), qui reposent elles-mêmes sur les parois verticales du foyer. Parfois les fermes transversales

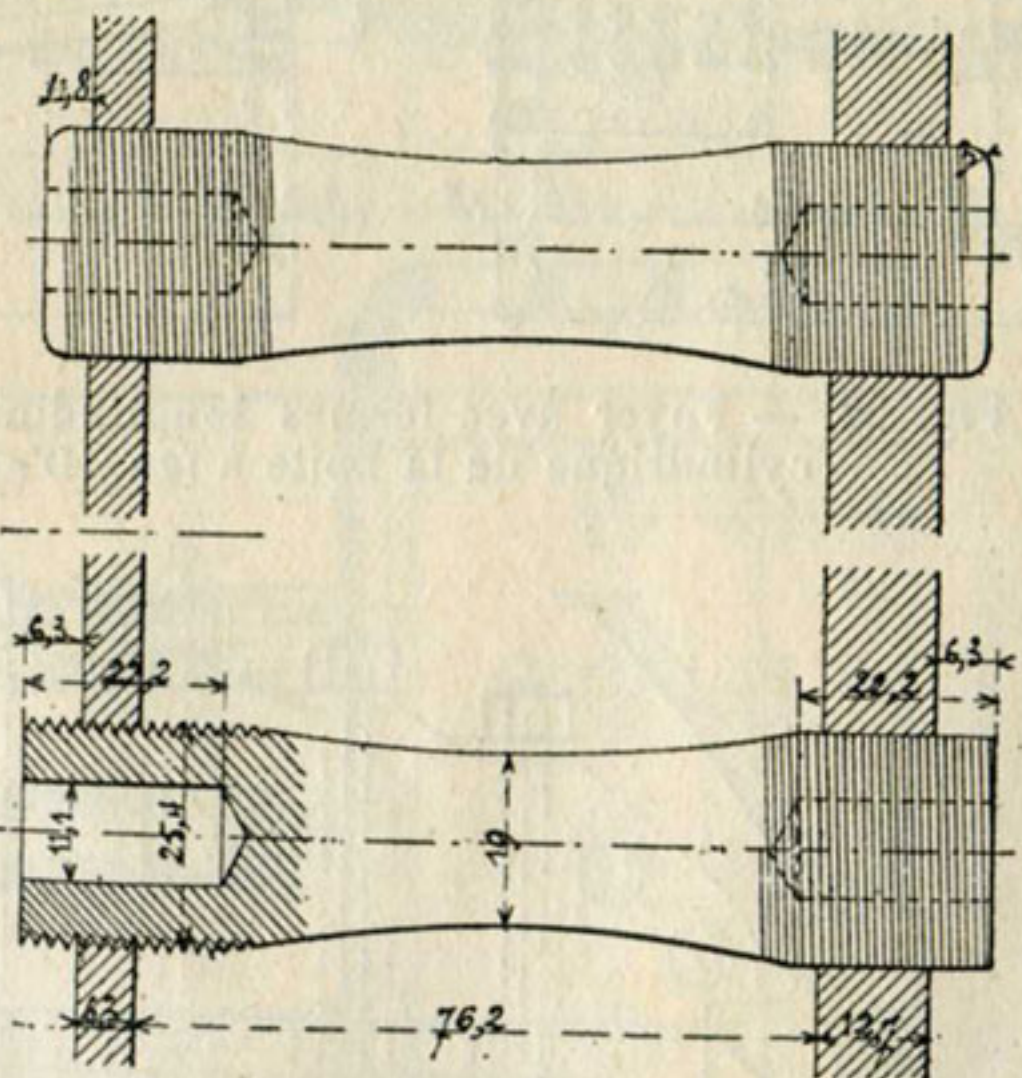


Fig. 20. — Entretoise sans tête rivée, serrée à l'aide d'un mandrin conique.

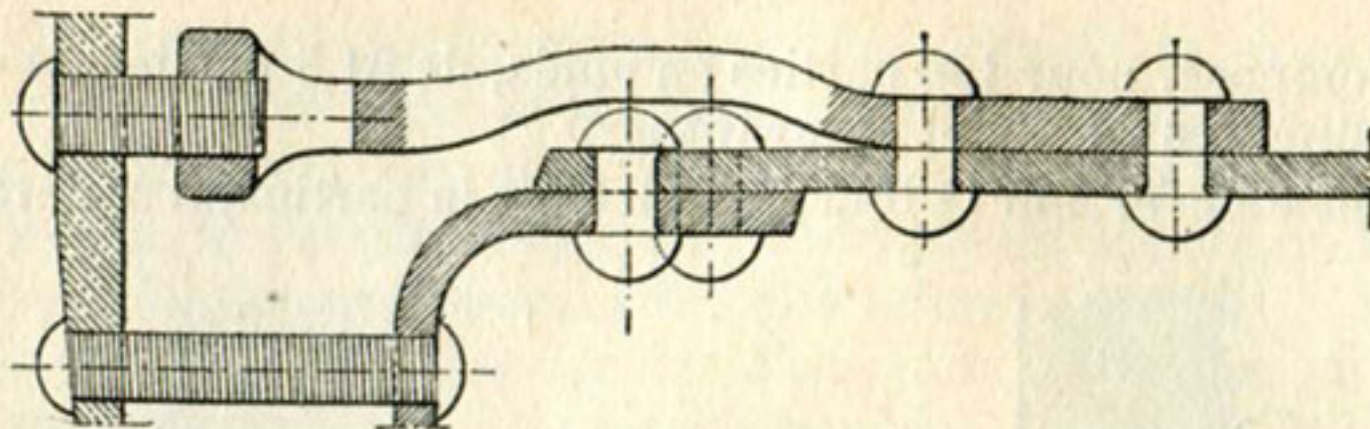


Fig. 21. — Rangée supérieure d'entretoises ou agrafes, sur la plaque tubulaire de foyer.

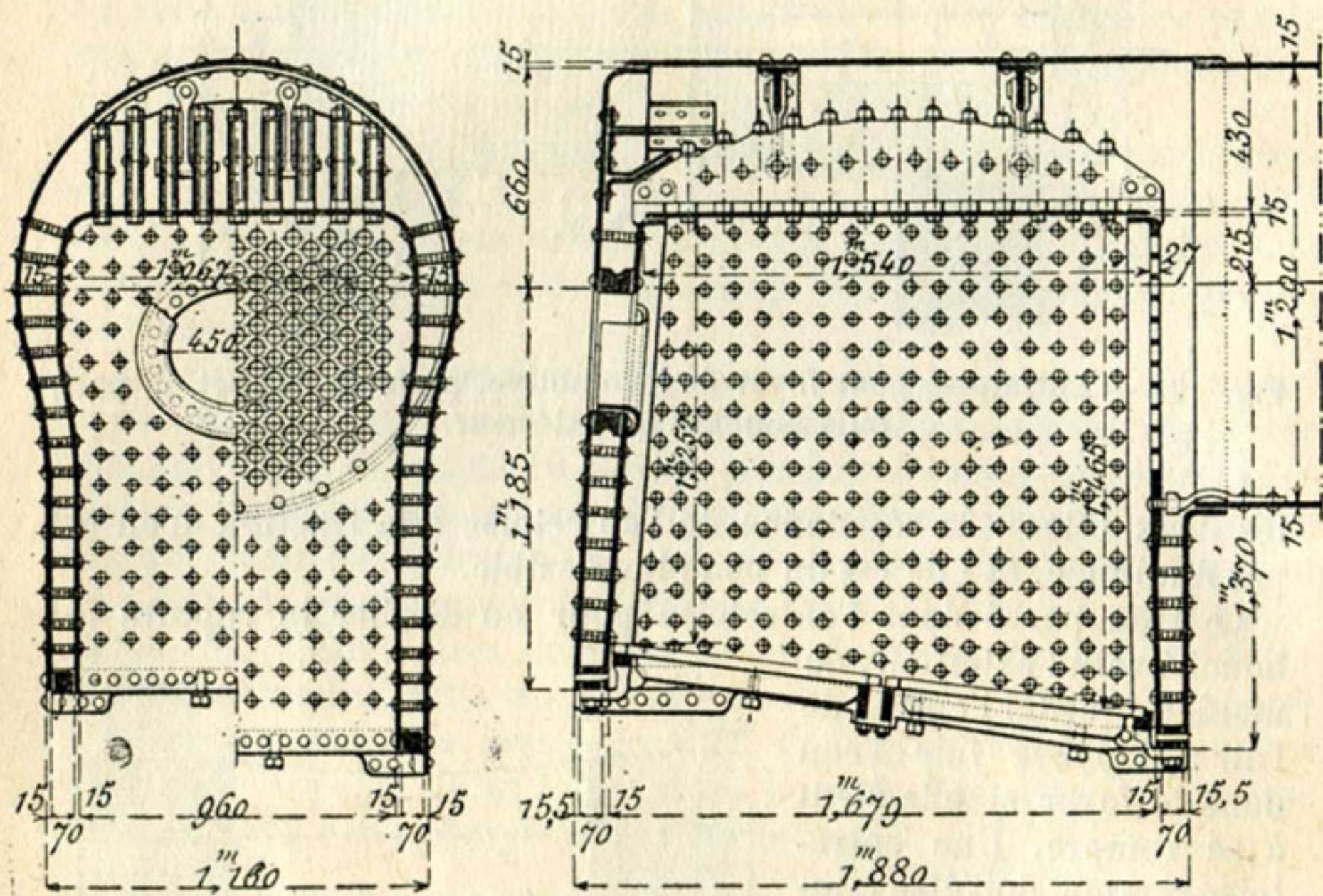


Fig. 22. — Foyer avec fermes longitudinales, rattachées au berceau cylindrique de la boîte à feu. (D'après M. Demoulin.)

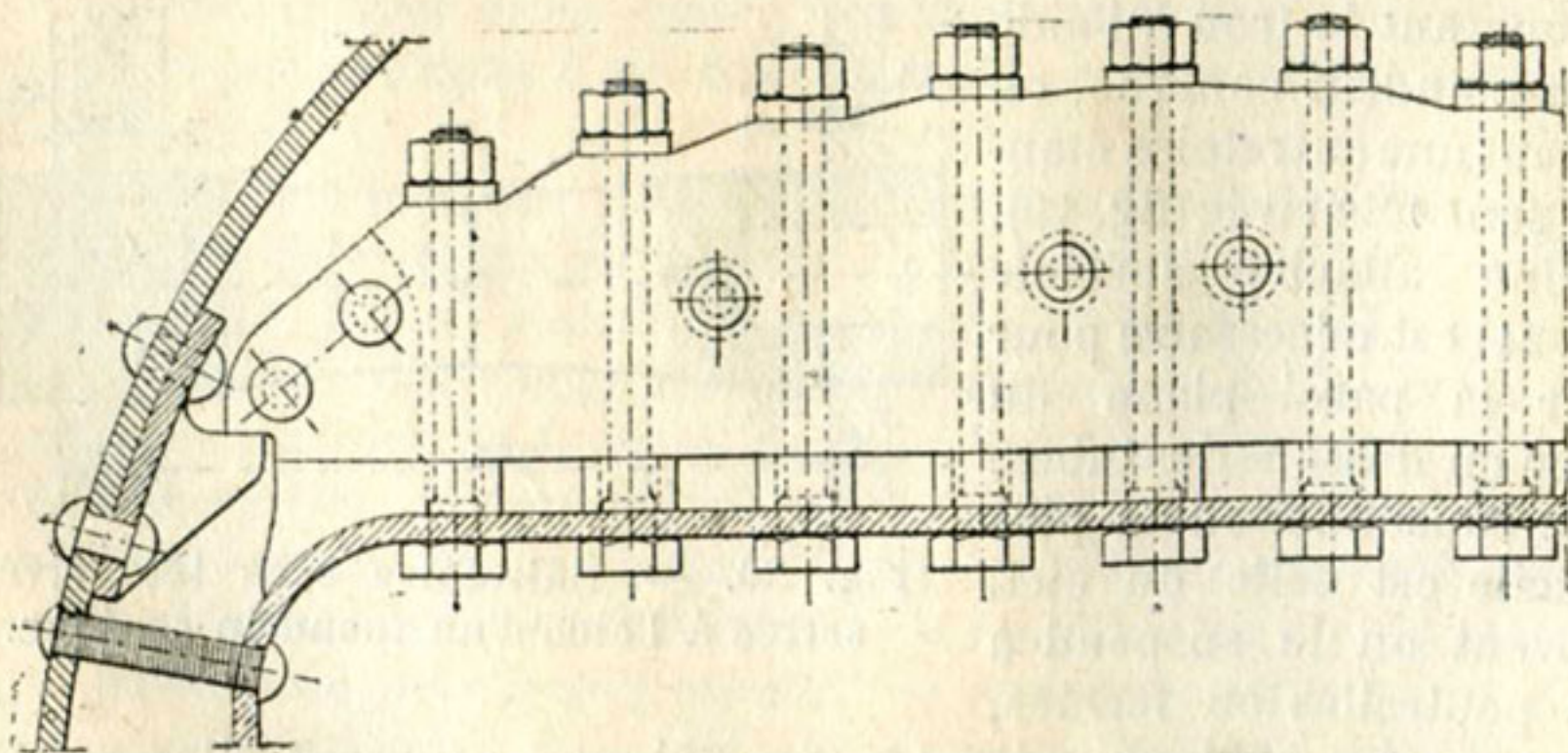


Fig. 23. — Fermes transversales reposant sur des consoles rivées contre la boîte à feu.

sont prolongées et peuvent reposer sur des consoles rivées contre

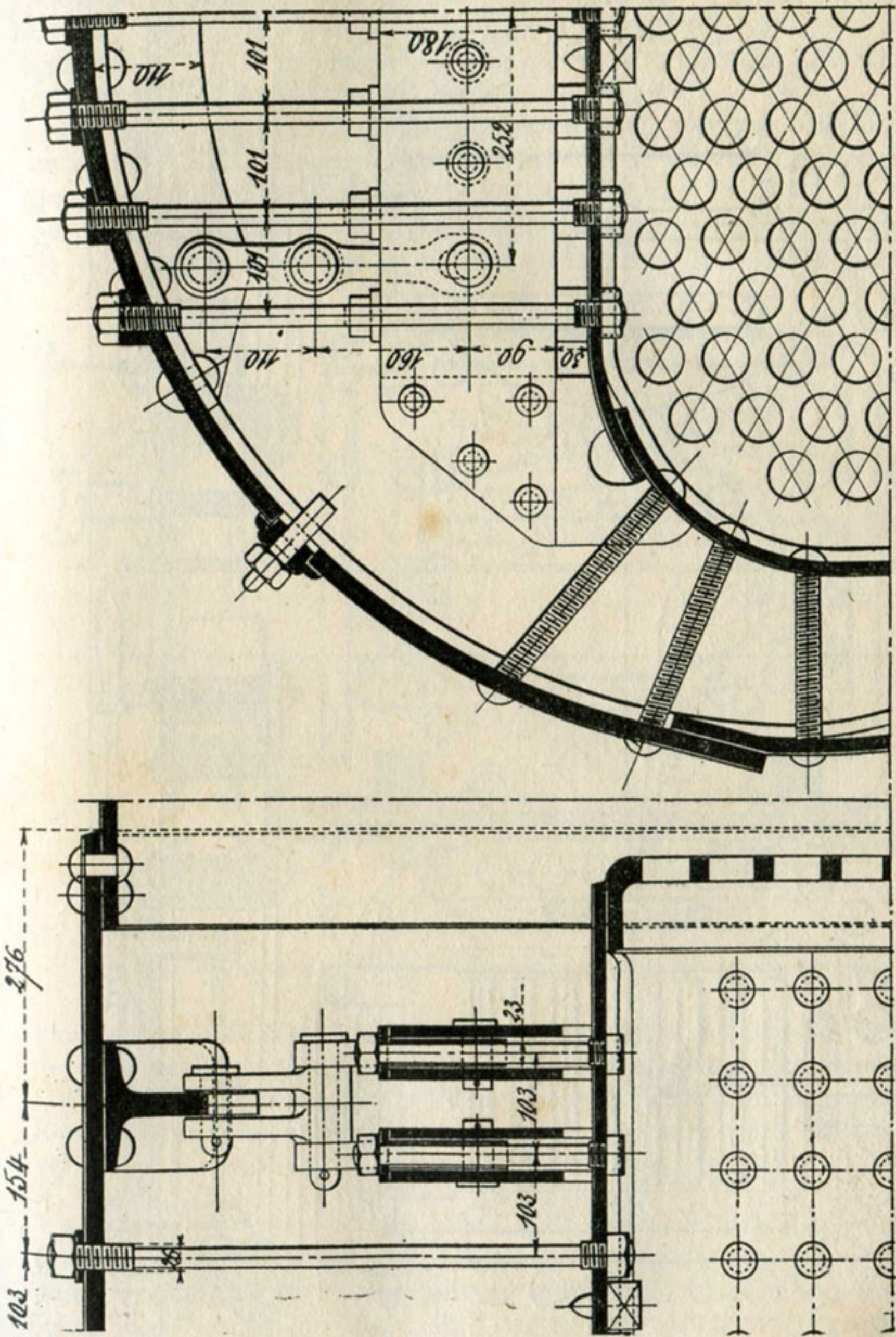


Fig. 24. — Entretènement direct du ciel du foyer et du berceau cylindrique, avec fermes transversales suspendues remplaçant les deux premiers rangs de tirants ; locomotives 3 006-3 010 des chemins de fer de l'Est. (D'après M. Demoulin.)

la paroi de la boîte à feu (fig. 23); lors de l'allumage, la dilatation soulève le haut du foyer et les fermes quittent les consoles; mais la pression rétablit le contact. Les fermes longitudinales sont fréquem-

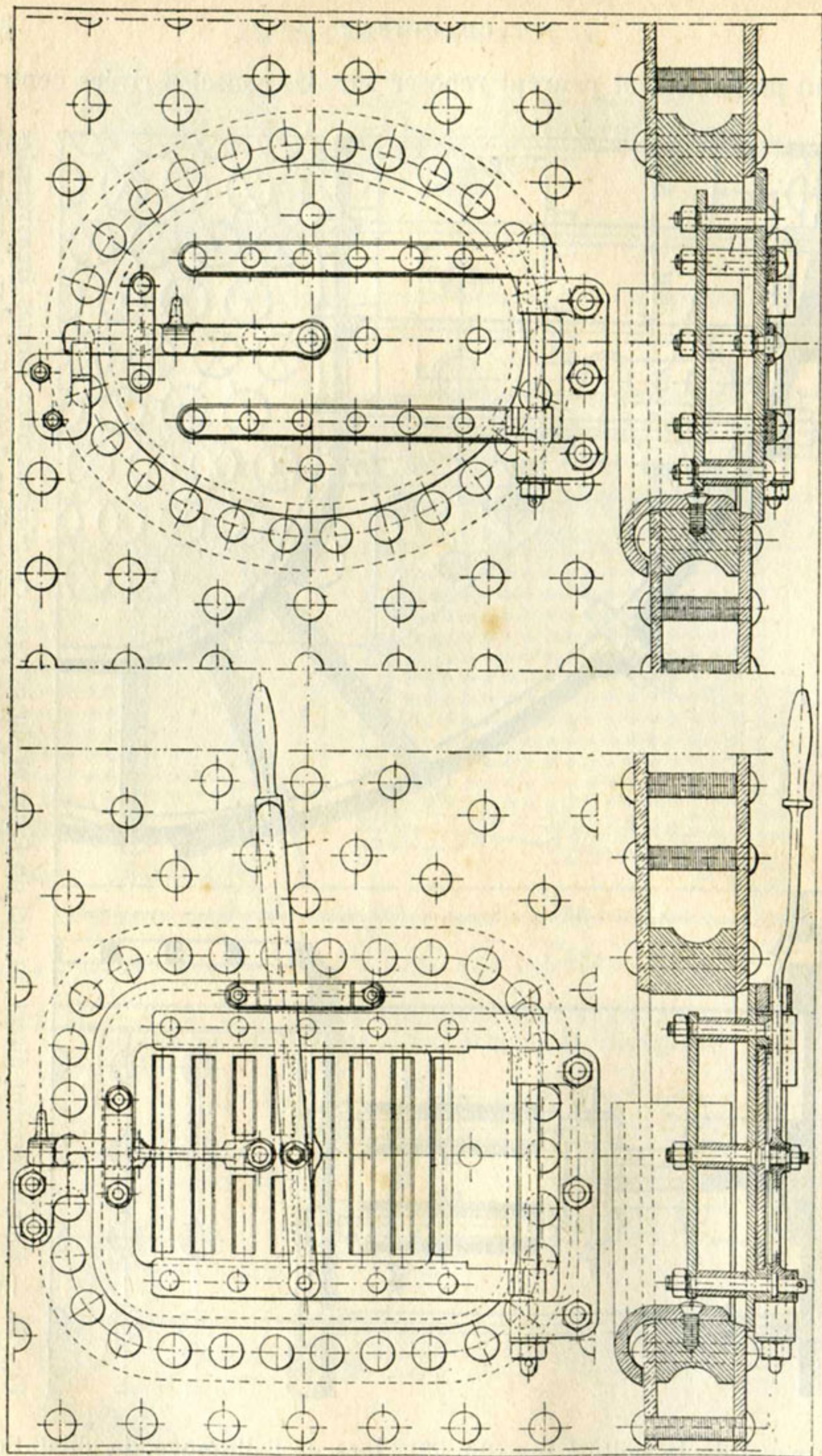


Fig. 25. — Porte de foyer à cadre ovale.

Fig. 26. — Porte de foyer avec entrée d'air, des chemins de fer de l'Est.

ment rattachées au berceau cylindrique de la boîte à feu (fig. 22 et 37).

On paraît préférer aujourd'hui l'entretoisement direct, à l'aide de tirants, du ciel de foyer et de la face supérieure de la boîte à feu, quand elle est plane (fig. 18). Cet entretoisement a même été appliqué lorsque la boîte à feu est cylindrique (fig. 24).

Les tirants sont vissés dans les tôles et munis d'écrous ; 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 dûs à la dilatation de la

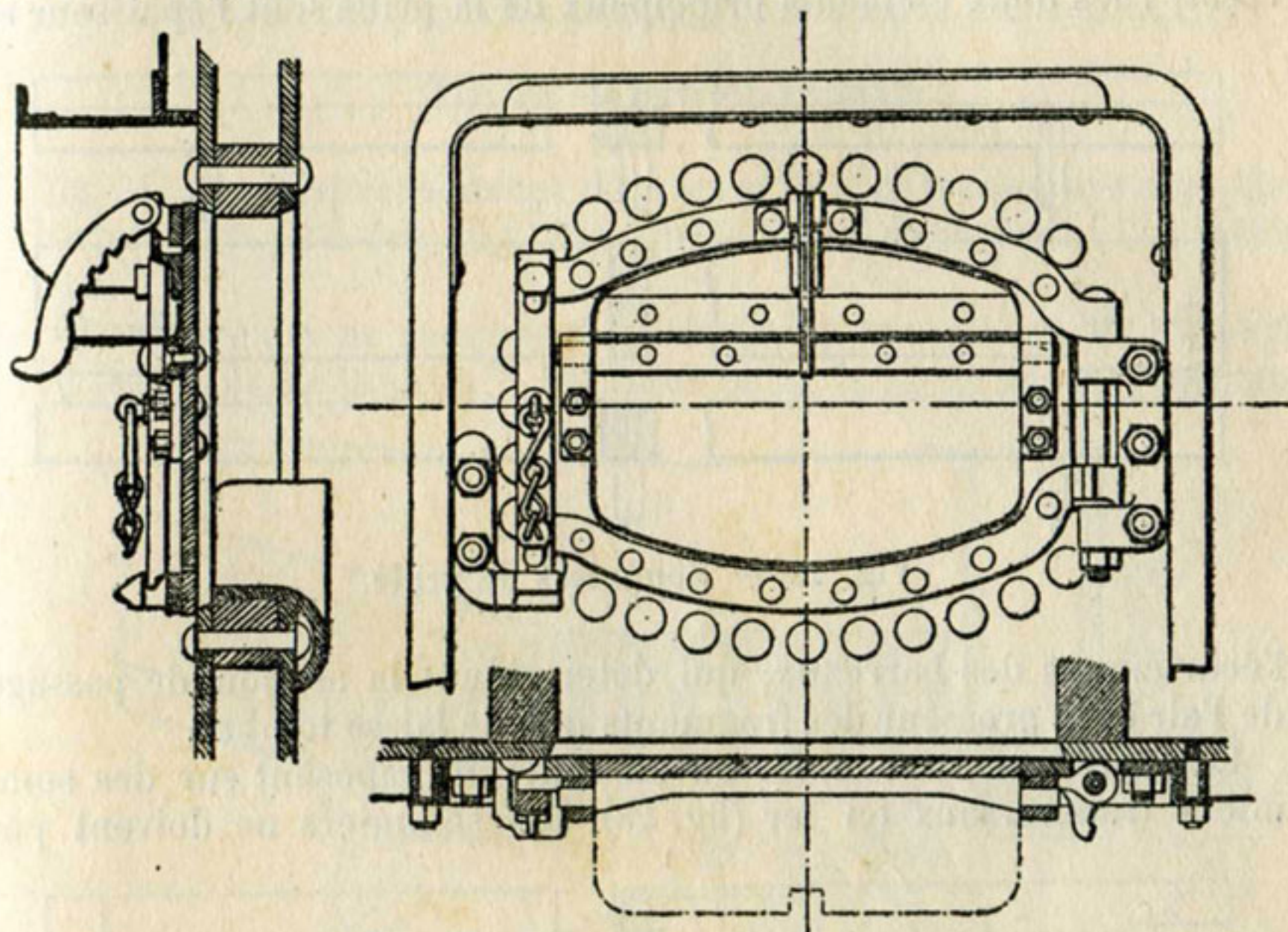


Fig. 27. — Porte de foyer à volet, des chemins de fer de l'Ouest.

plaque par la chaleur ; quelquefois les premiers tirants sont formés de deux parties articulées, qui permettent le soulèvement du foyer.

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 (fig. 24).

24. Porte de foyer. — La porte de foyer peut être disposée de bien des manières différentes. La figure 25 représente une porte à cadre ovale, la figure 26 une porte rectangulaire avec registre à coulisse, pour admission d'air. Une contreporte préserve la porte de l'action du feu. 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.

Le volet mobile en tôle de la figure 27 peut être fixé dans une

position plus ou moins inclinée, et donne dans le foyer une entrée d'air, qu'il dirige à la façon du déflecteur qu'on voit sur les figures 34 et 35. 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.

25. Grille. — La grille doit être appropriée au combustible qu'elle reçoit : les deux éléments principaux de la grille sont l'épaisseur et

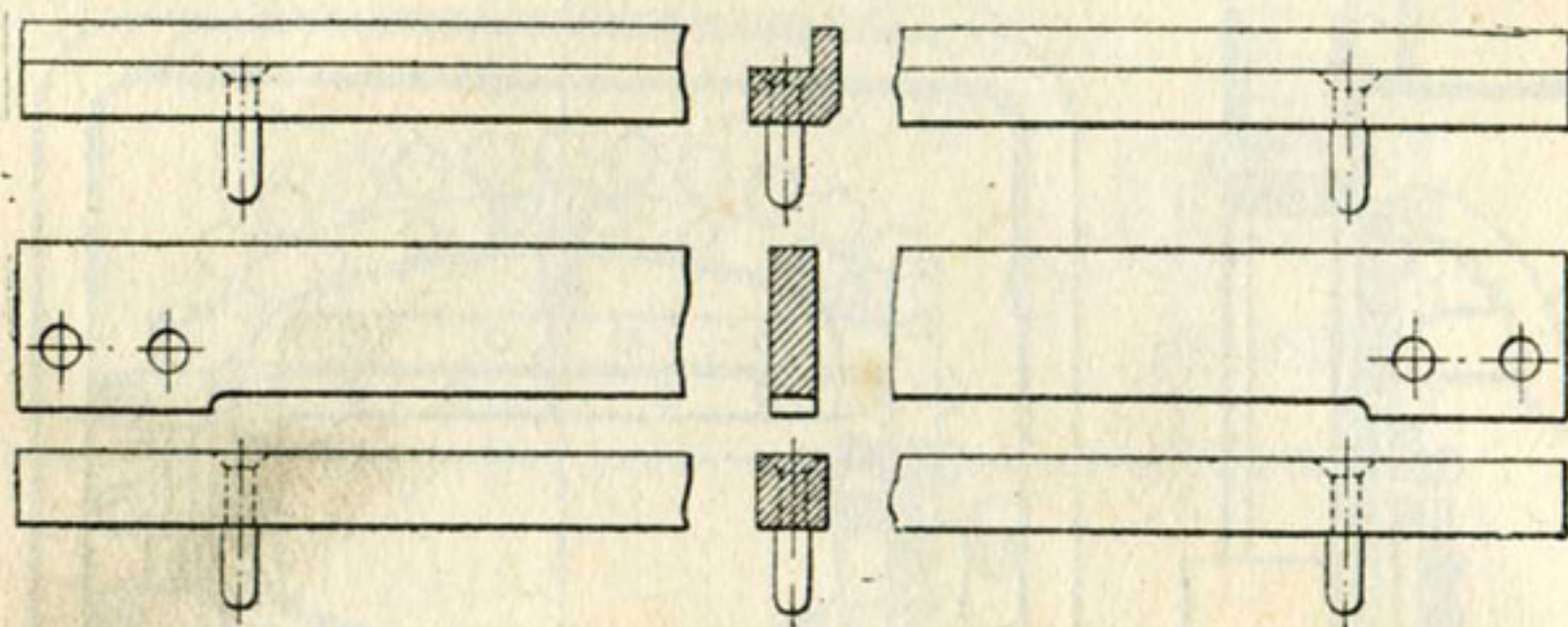


Fig. 28. — Sommiers de grille.

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. 28). Ces sommiers ne doivent pas

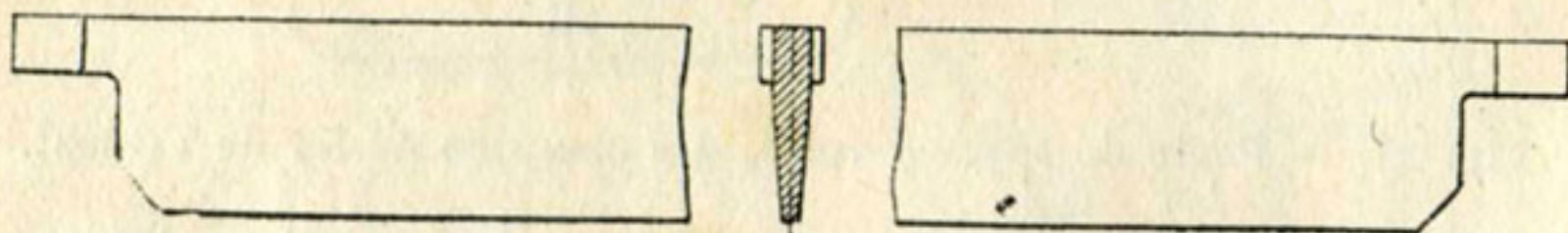


Fig. 29. — Gros barreau en fer.

buter contre les parois du foyer, parce que la chaleur les allonge : alors ils se plieraient ou bien ils écarteraient les parois. En coupe

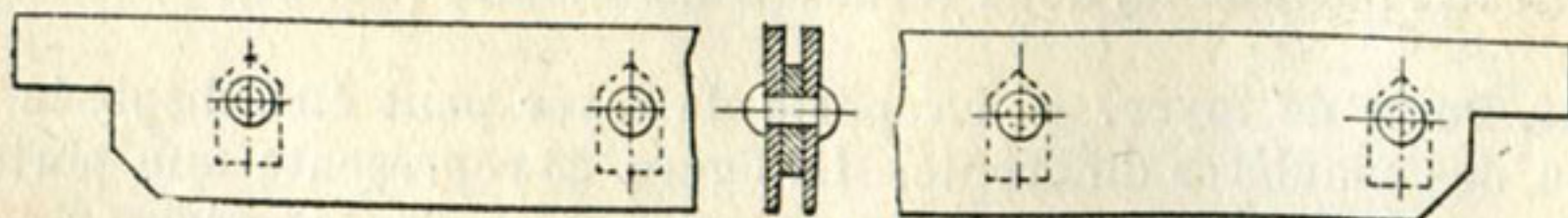


Fig. 30. — Barreaux minces en fer, rivés.

transversale, les barreaux s'amincissent vers le bas, afin que les fragments de combustible ne s'arrêtent pas entre eux.

Les gros barreaux en fer (fig. 29) ont des têtes forgées qui en déter-

minent l'écartement. Les petits barreaux en fer sont souvent rivés par groupes de deux ou plusieurs (fig. 30), avec des cales entre eux. La fonte forme également des groupes de plusieurs barreaux

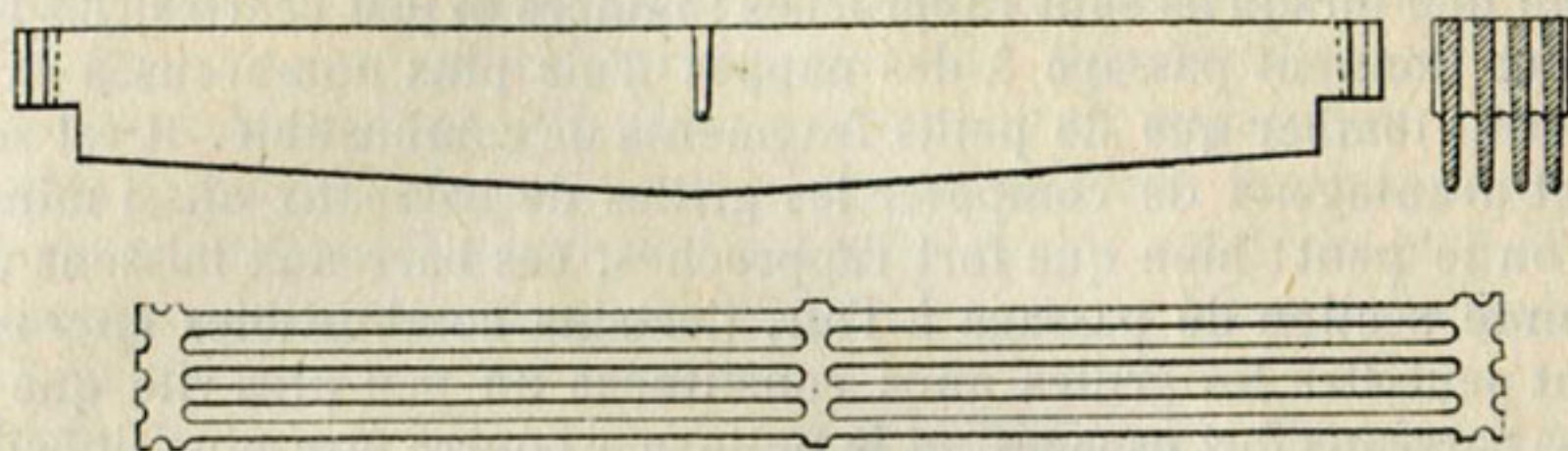


Fig. 31. — Barreau en fonte.

(fig. 31). On dispose souvent dans les grilles de locomotive une partie mobile dite jette-feu (fig. 32), qui facilite l'enlèvement des mâchefers.

Les barreaux ne garnissent pas toujours complètement les angles ou les côtés de la grille : les vides qu'ils laissent ont une influence

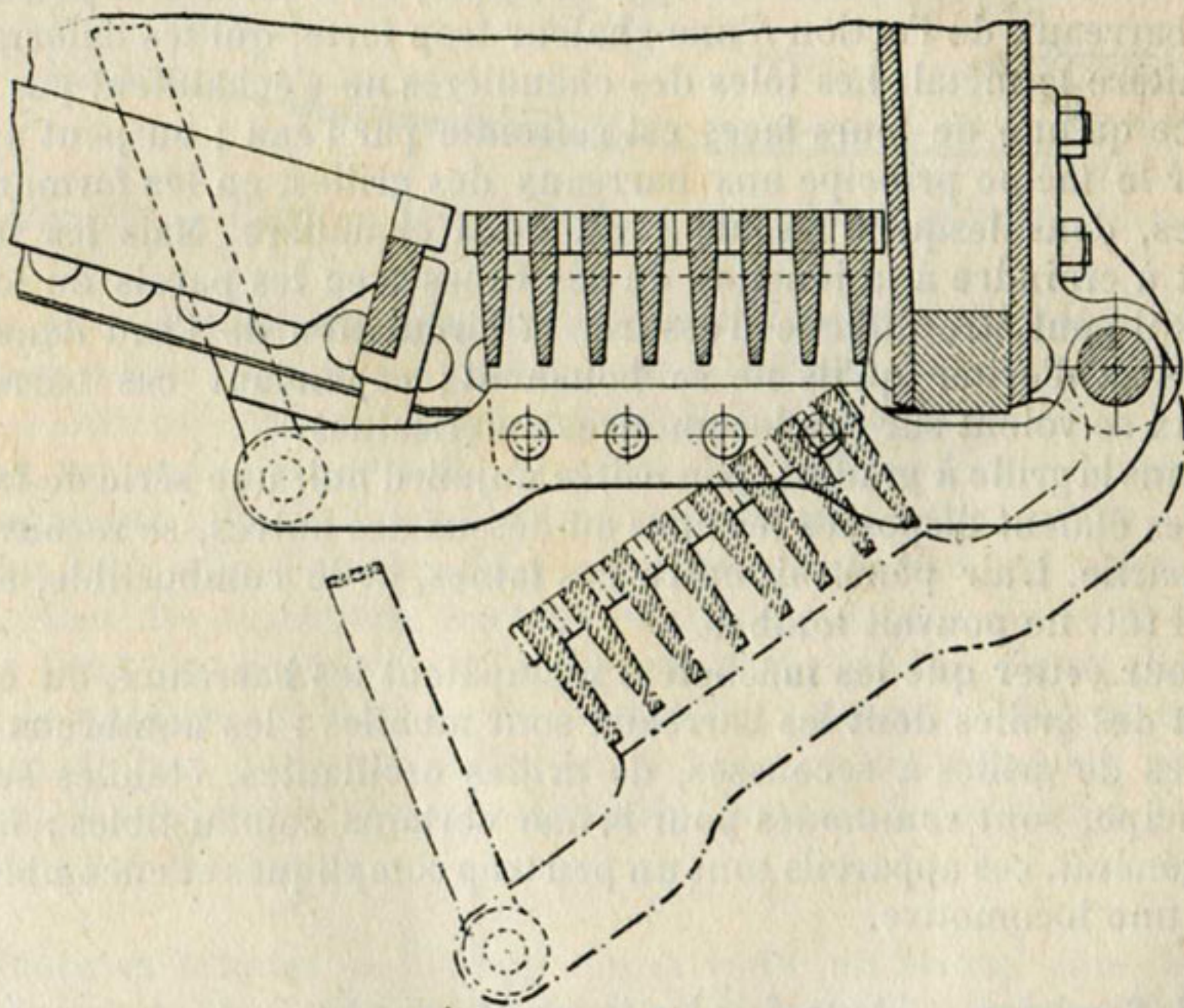


Fig. 32. — Jette-feu.

fâcheuse, en permettant la chute du combustible et en laissant passer des courants d'air nuisibles. Il faut avoir soin de boucher ces vides 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, dont la nature commande la grosseur et l'écartement des barreaux. 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. Il est souvent avantageux de composer les grilles de barreaux aussi minces qu'on le peut ; bien que fort rapprochés, ces barreaux laissent 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 mm, avec un vide égal, paraît convenable pour les combustibles, souvent menus, de plus en plus employés en France.

Les grilles de certaines locomotives ne sont pas toujours composées de barreaux ordinaires : par exemple, 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, en les formant de tubes, dans lesquels circule l'eau de la chaudière. Mais les fuites sont à craindre à la jonction de ces tubes avec les parois du foyer, 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 se voient sur des locomotives américaines.

Dans la grille à gradins, peu usitée aujourd'hui, une série de lames plates étaient disposées les unes au-dessus des autres, se recouvrant en partie. L'air pénétrait entre ces lames, et le combustible, si fin qu'il fût, ne pouvait tomber.

Pour éviter que les mâchefers n'empâtent les barreaux, on construit des grilles dont les barreaux sont mobiles : 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 sont un peu trop compliqués et encombrants sur une locomotive.

26. 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 sous le cadre du foyer des tôles verticales qui descendent assez bas. On ne peut guère placer ces tôles à moins de 12 cm de la surface du rail, et encore faut-il échancre 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'ouvertures qu'à l'avant et à l'arrière (fig. 33), 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, on ouvre la porte à l'avant du cendrier et on ferme celle de

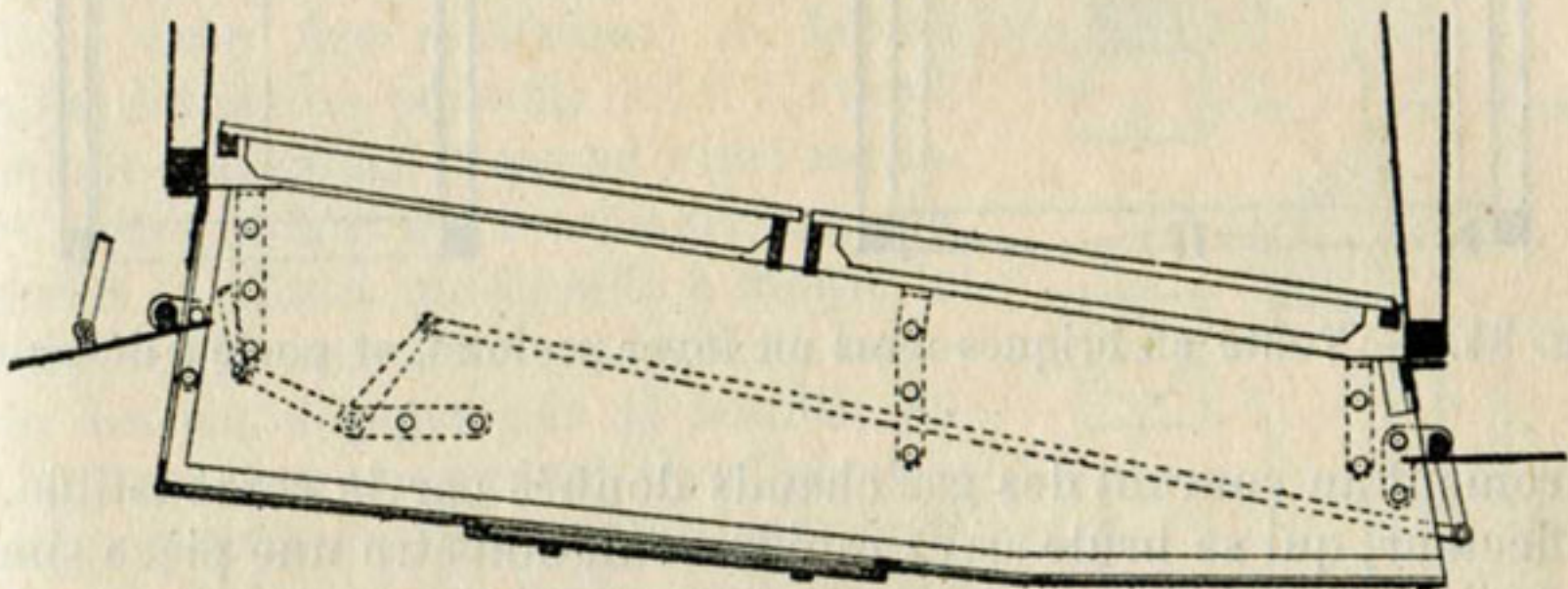


Fig. 33. — Cendrier à deux portes ; coupe longitudinale.

l'arrière pour obtenir un bon tirage. Dans la marche cheminée en arrière, on laisse souvent les portes dans la même position, afin que le feu ne devienne pas trop actif du côté de la porte du foyer.

Quand un essieu passe sous la grille, le cendrier fermé devient plus compliqué : l'essieu doit être protégé par une gaine en tôle.

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 elles gênent le passage de l'air et les escarbilles chaudes brûlent les barreaux. Il faut aussi surveiller les écrous ou les clavettes qui attachent le cendrier au-dessous du cadre, pour qu'il ne risque pas de tomber sur la voie.

27. Voûte en briques. — L'usage d'une voûte en brique dans les foyers de locomotives, général en Angleterre depuis longtemps, s'est aussi beaucoup répandu en France. Cette voûte (fig. 34) 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. 35), 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; un déflecteur en fonte ou en tôle rabat cet air perpendicu-

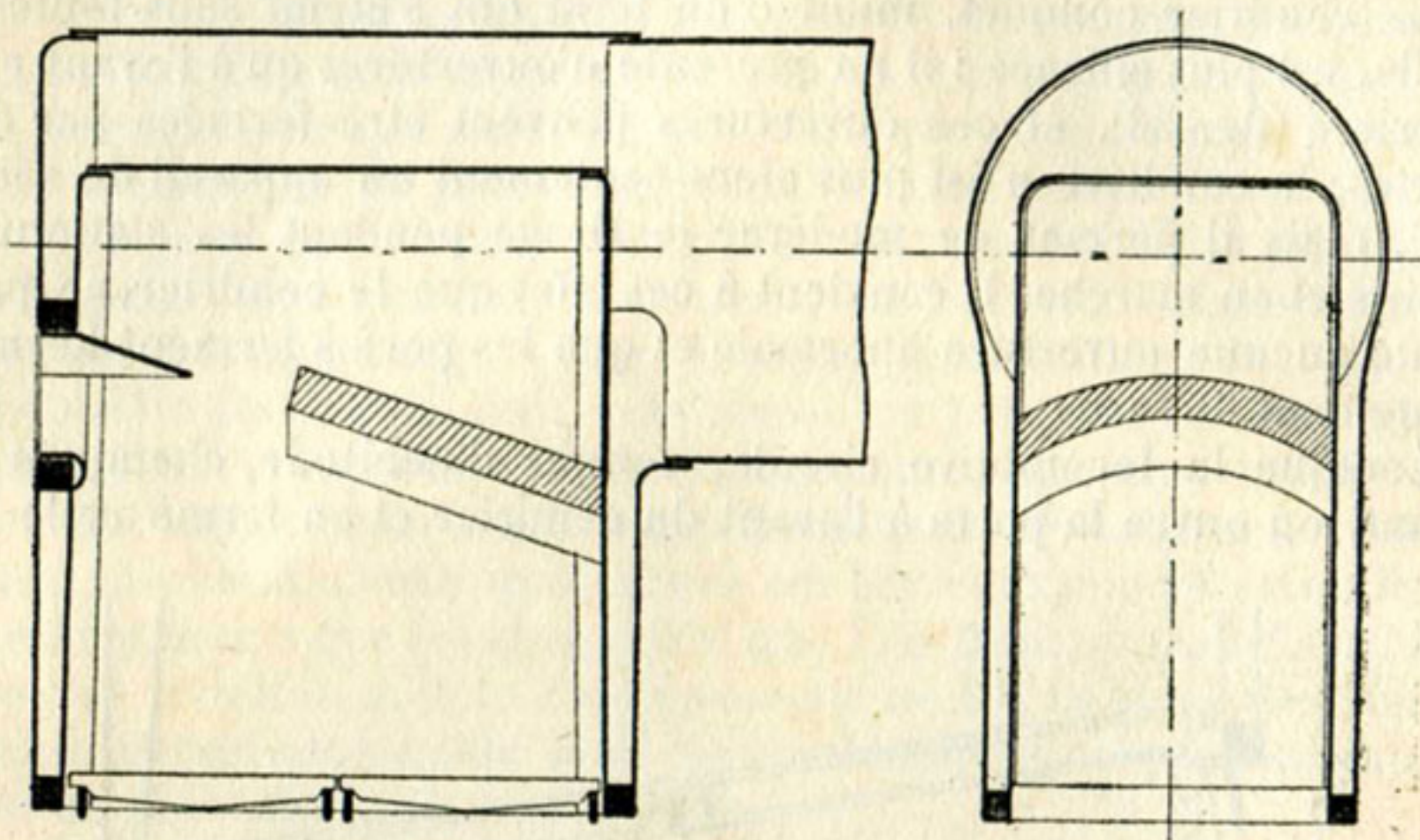


Fig. 34. — Voûte en briques dans un foyer profond, et porte à déflecteur.

lairement au courant des gaz chauds donnés par le combustible. Ce déflecteur, qui se brûle assez rapidement, doit être une pièce simple et facile à remplacer.

Une petite ouverture ménagée au-dessus de la porte, sur les

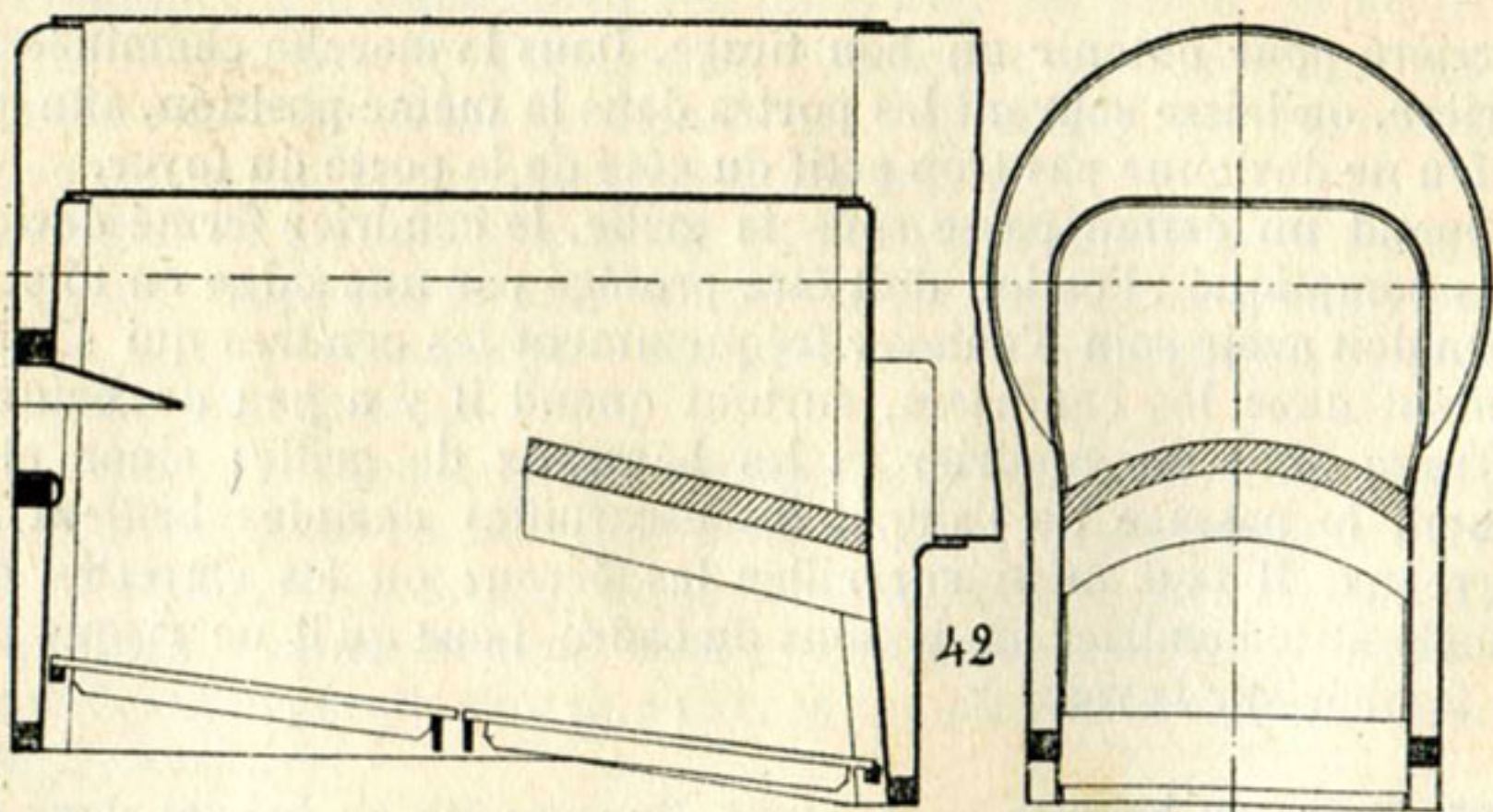


Fig. 35. — Voûte en briques dans un foyer peu profond, et porte à déflecteur.

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 76, on voit le clapet qui ferme cette ouverture.

La voûte est construite avec des briques à couteau, c'est-à-dire

à faces non parallèles, qui forment un berceau cylindrique de petit rayon. Les deux rangées extrêmes sont formées de briques spéciales et posent sur des sommiers en fer, qui s'appuient sur des vis à tête carrée (fig. 36). 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.

On construit la voûte sur des madriers supportés par des cintres légers; on la laisse sécher avant d'allumer le feu, qui doit 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 en attendre la chute, 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 la chaleur, mais elle la recueille, l'emmagasine et la restitue. Enfin, la voûte préserve 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.

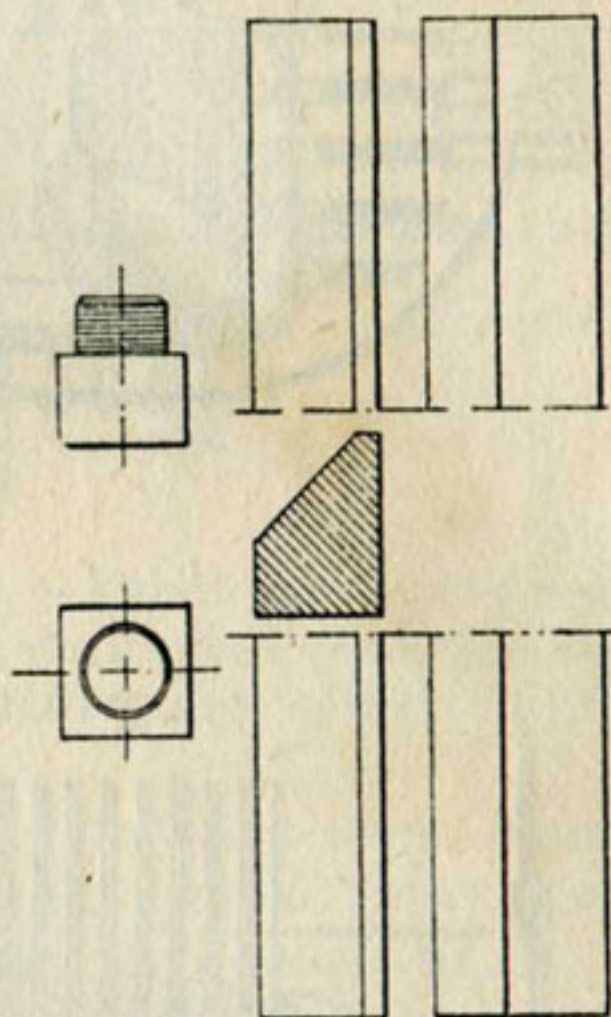


Fig. 36. — Sommier de voûte, en fer, et vis support de sommier.

28. Bouilleur Tenbrinck. — Le bouilleur Tenbrinck (fig. 37) tient la place d'une voûte en briques. C'est une caisse plate formée de deux feuilles parallèles en cuivre, réunies par des bords emboutis et par des entretoises. Cette caisse communique avec la chaudière par deux ou trois tubulures inférieures et deux tubulures supérieures. L'eau fortement chauffée dans le bouilleur s'élève par les tubulures supérieures; il en rentre par les tubulures inférieures, et cette circulation paraît favoriser la transmission de la chaleur. Des bouchons placés devant les tubulures permettent l'enlèvement des dépôts.

Le bouilleur produit le bon effet d'une voûte. Mais il faut beaucoup de soins pour que les joints des tubulures soient bien étan-

ches; en outre, il coûte cher et pèse assez lourd : c'est pourquoi il est rarement employé.

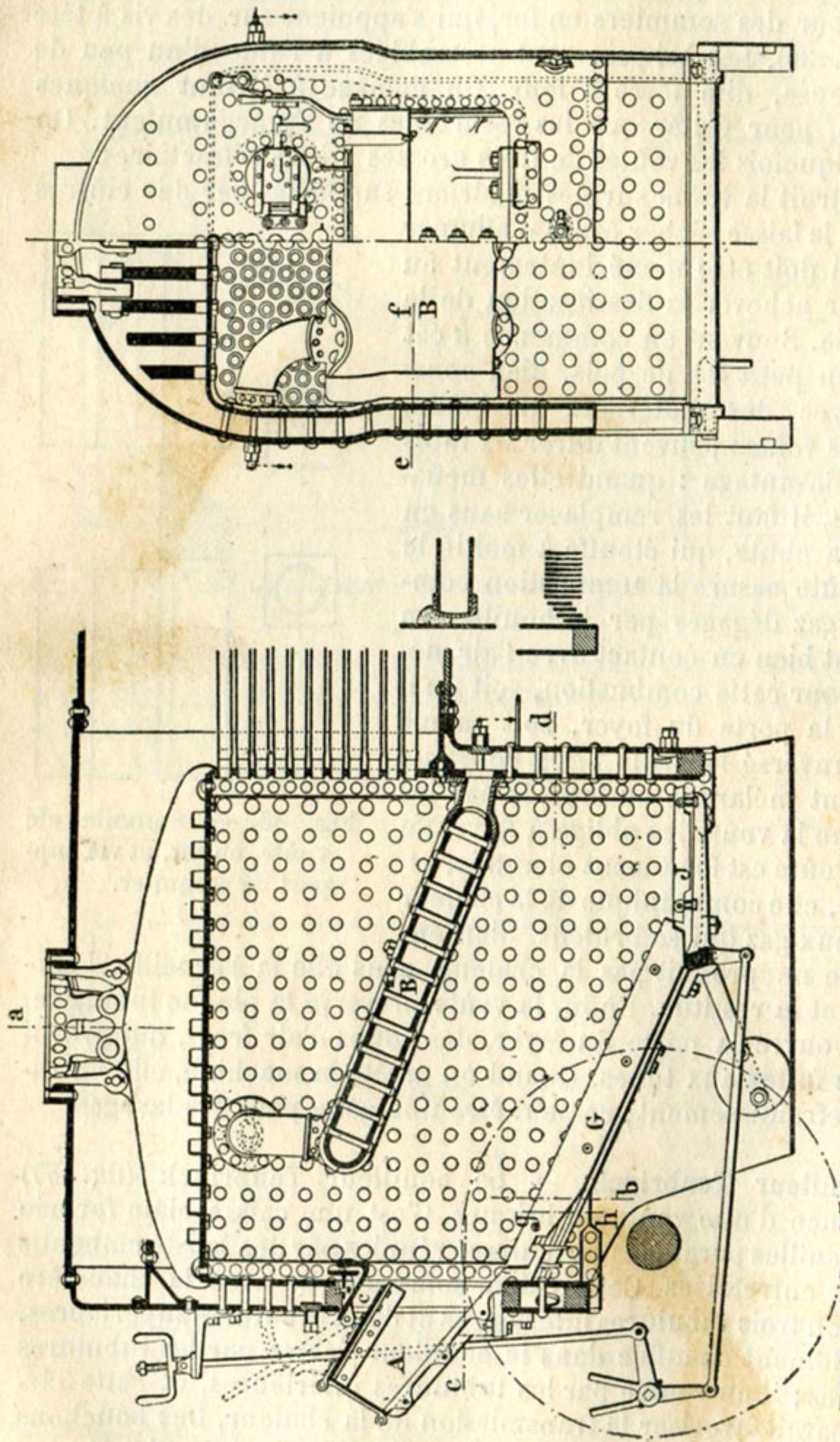


Fig. 37. — Bouilleur et foyer Tenbrinck des locomotives à grande vitesse du chemin de fer de Paris à Orléans : B, bouilleur; A, trémie de chargement, presque aussi large que le foyer; G, grille inclinée; J, jette-feu. (D'après M. Demoulin)

Dans les locomotives du chemin de fer de Paris à Orléans, le bouilleur Tenbrinck est placé 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 jeté dans une trémie fixée sur cette ouverture et descend spontanément jusqu'au bas de la grille, à mesure que la combustion s'opère. L'air est admis au-dessus du combustible.

29. 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 3 à 2 mm. Ils sont en laiton, 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 chemins de fer y ont renoncé.

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. 38). On applique aussi parfois ces bouts en cuivre rouge aux tubes en fer, où ils sont moins utiles.

La partie délicate de la construction des chaudières tubulaires

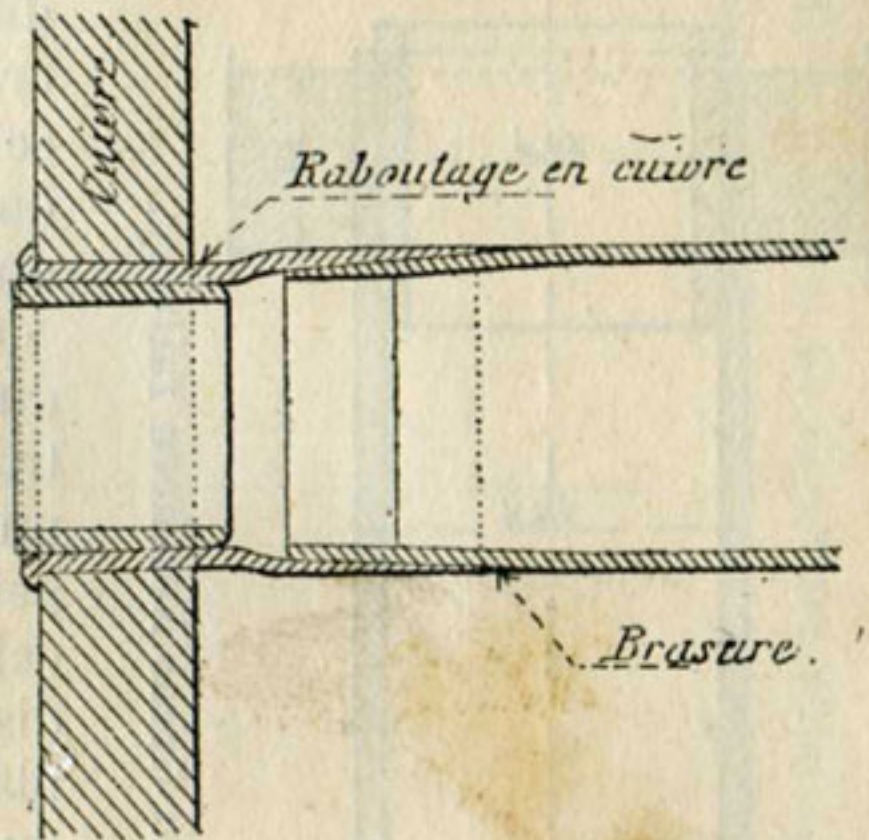


Fig. 38. — Tube à air chaud des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (côté du foyer).

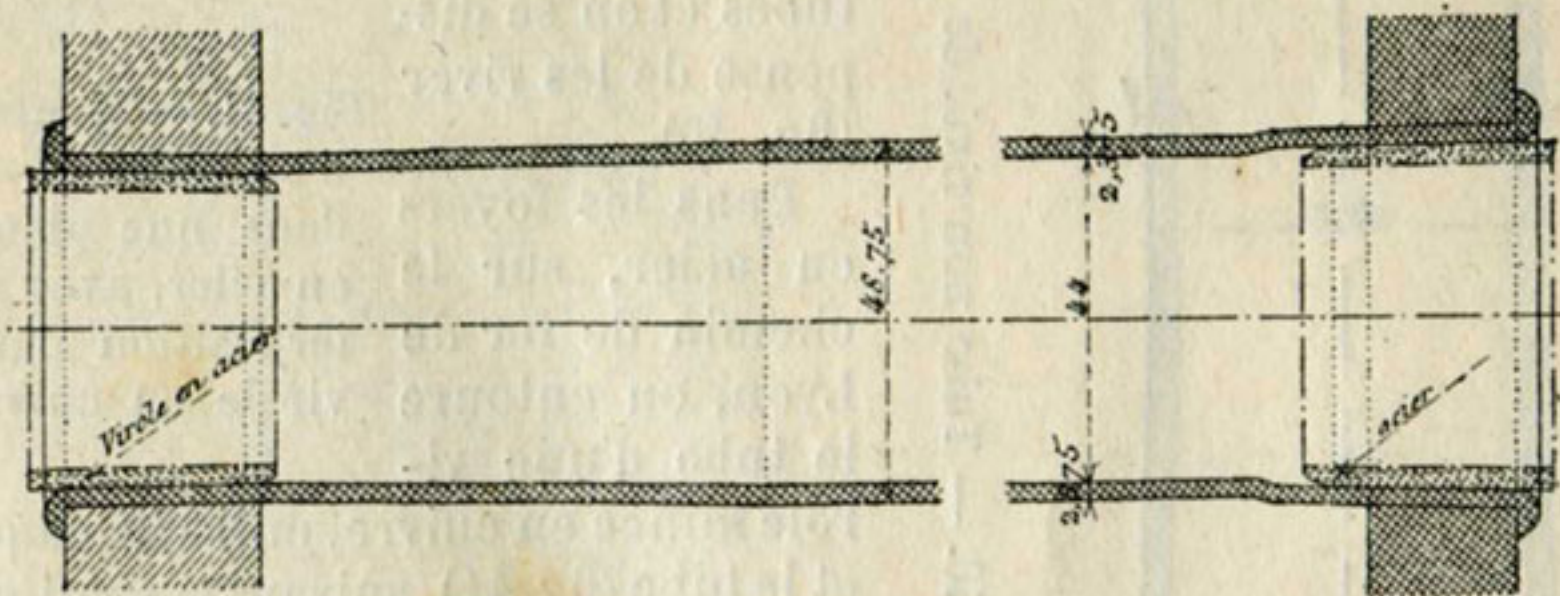


Fig. 39. — Montage de tube de chaudières de locomotives des chemins de fer de l'Est. La virole est habituellement montée du côté du foyer seulement (à gauche sur la figure).

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. Dans les locomotives, le tube est mandriné au *dudgeon*, puis rivé (fig. 39.) Habituellement on ajoute des bagues ou viroles

du côté du foyer, pour augmenter l'étanchéité, mais surtout pour préserver le tube de la trop grande chaleur. Du côté de la boîte à fumée, les viroles sont inutiles. On peut essayer de s'en passer aussi

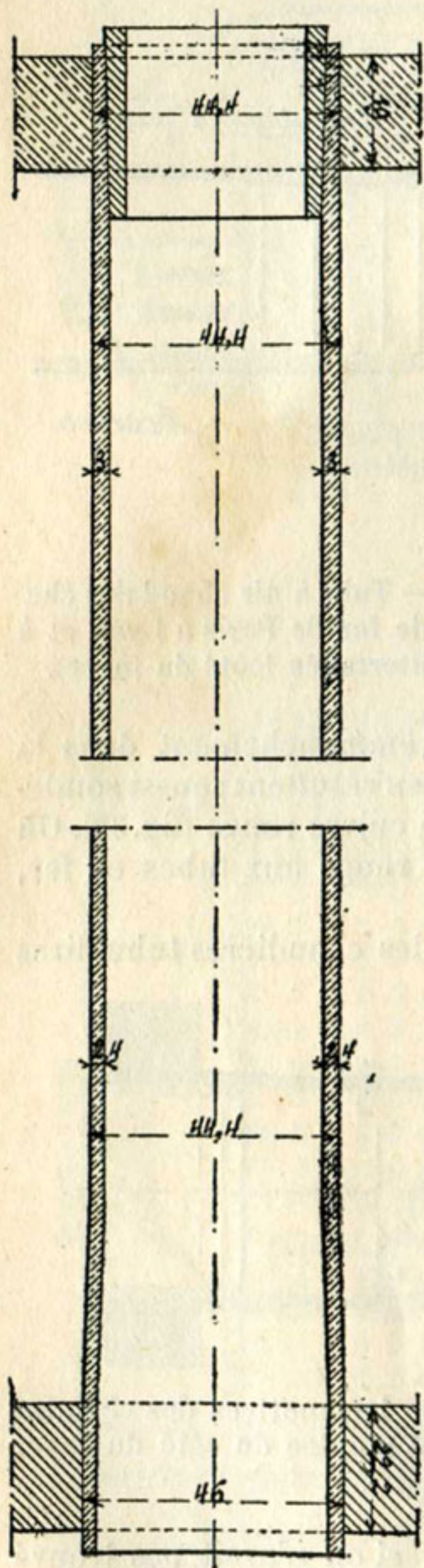


Fig. 40. — Tube non rivé, de chaudières de locomotives du Great Northern railway.

du côté du foyer, mais il est à craindre que le bout des tubes ne se détruise rapidement. Les viroles ont d'ailleurs l'inconvénient de réduire la section de passage des gaz.

Comme les tubes sont introduits du côté de la boîte à fumée, les trous de la plaque ont de ce côté un diamètre un peu supérieur à celui du tube, tandis que ceux de la plaque tubulaire du foyer ont habituellement un diamètre un peu moindre : les tubes sont rétreints du côté du foyer, et dilatés à l'autre extrémité.

Quelquefois on se contente du mandrinage des tubes et on se dispense de les river (fig. 40).

Dans les foyers en acier, sur le chemin de fer de Lyon, on entoure le tube d'une virole mince en cuivre, entre la plaque et le tube (fig. 41), suivant la pratique américaine.

Les tubes peuvent être disposés en *rangées horizontales* (fig. 42) ou *verticales* (fig. 43) : 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 mm dans la locomotive.

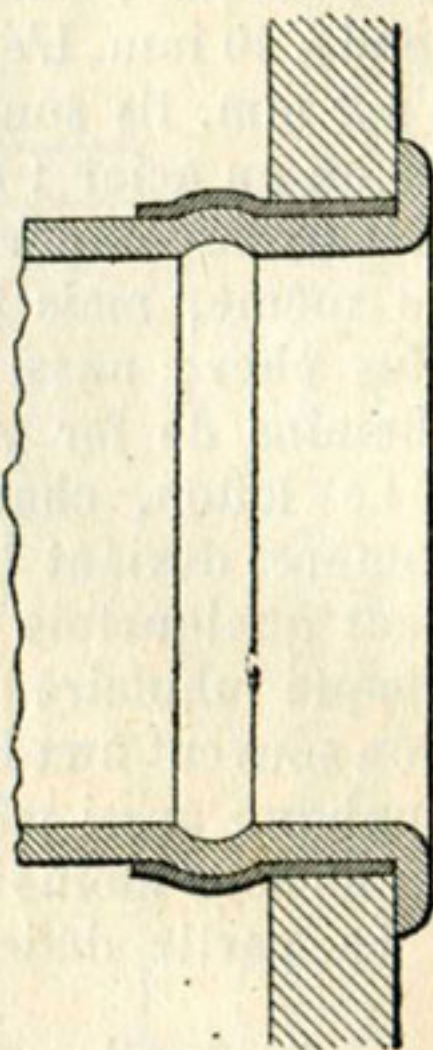


Fig. 41. — Montage d'un tube en fer dans une plaque en acier, avec interposition d'une virole en cuivre.

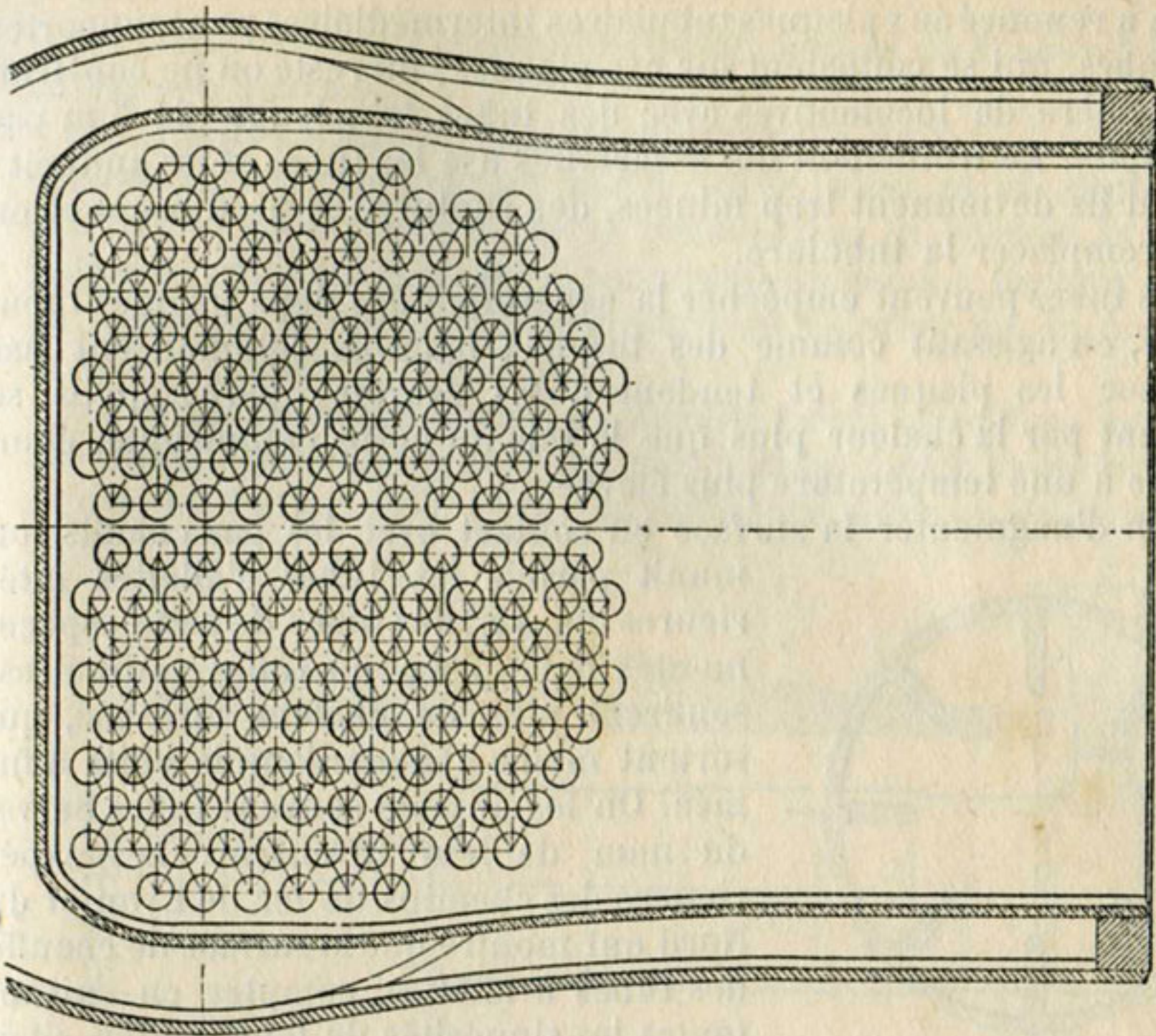


Fig. 43. — Division tubulaire en rangées verticales.

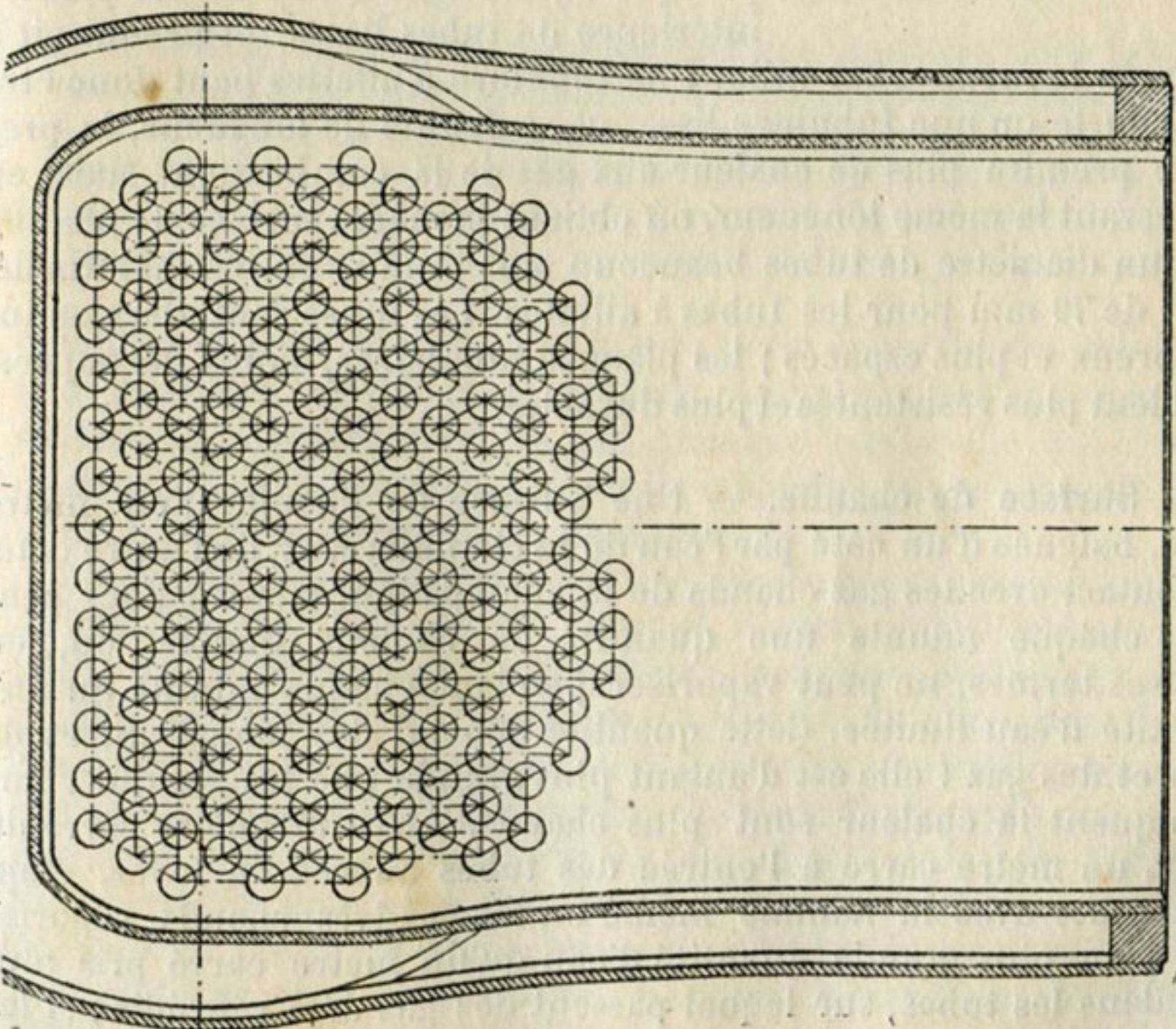


Fig 42. — Division tubulaire en rangées horizontales.

On a renoncé aux plaques tubulaires intermédiaires pour supporter les tubes, qui se coupaient sur ces plaques; du reste on ne construit plus guère de locomotives avec des tubes très longs (de 5 m par exemple). 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.

Les tubes peuvent empêcher la séparation des deux plaques tubulaires, en agissant comme des tirants; mais ils commencent par pousser 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.

Afin d'augmenter la surface en contact avec les gaz chauds, on

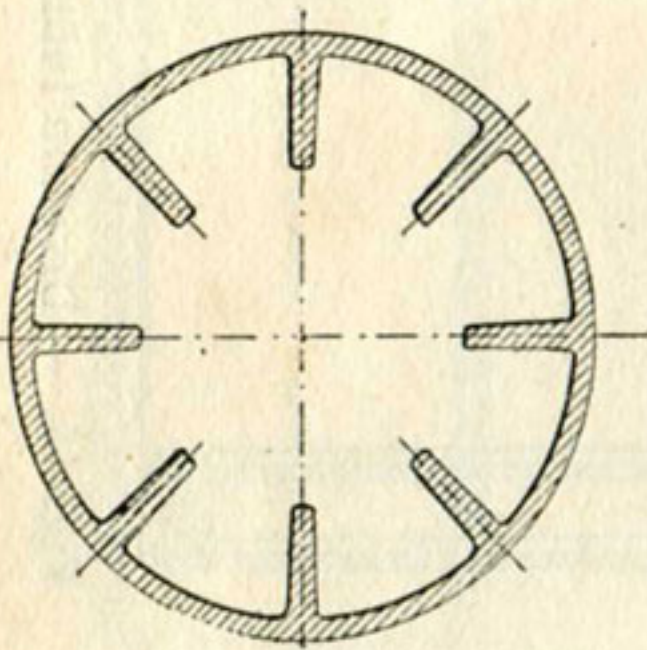


Fig. 44. — Tube à ailettes.

munit parfois les tubes d'ailettes intérieures (fig. 44); 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 des chemins de fer de Lyon et du Nord 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. Mais, en conservant la même longueur, on obtient la même surface de chauffe avec un diamètre de tubes beaucoup plus grand, qui est habituellement de 70 mm pour les tubes à ailettes. Les tubes sont alors moins nombreux et plus espacés; les plaques tubulaires, moins découpées, semblent plus résistantes et plus durables.

30. Surface de chauffe. — Une surface de chauffe d'un mètre carré, baignée d'un côté par l'eau de la chaudière, et, de l'autre côté, en contact avec les gaz chauds de la combustion, laisse passer pendant chaque minute une quantité de chaleur limitée, ou, en d'autres termes, ne peut vaporiser pendant chaque minute qu'une quantité d'eau limitée. Cette quantité dépend des températures de l'eau et des gaz : 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, vaporise une bien plus grande quantité d'eau qu'un mètre carré pris plus loin dans les tubes, sur lequel passent des gaz déjà refroidis; si les

tubes sont très longs, la dernière partie, auprès de la boîte à fumée, en 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 de moins en moins chauds à mesure qu'il 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

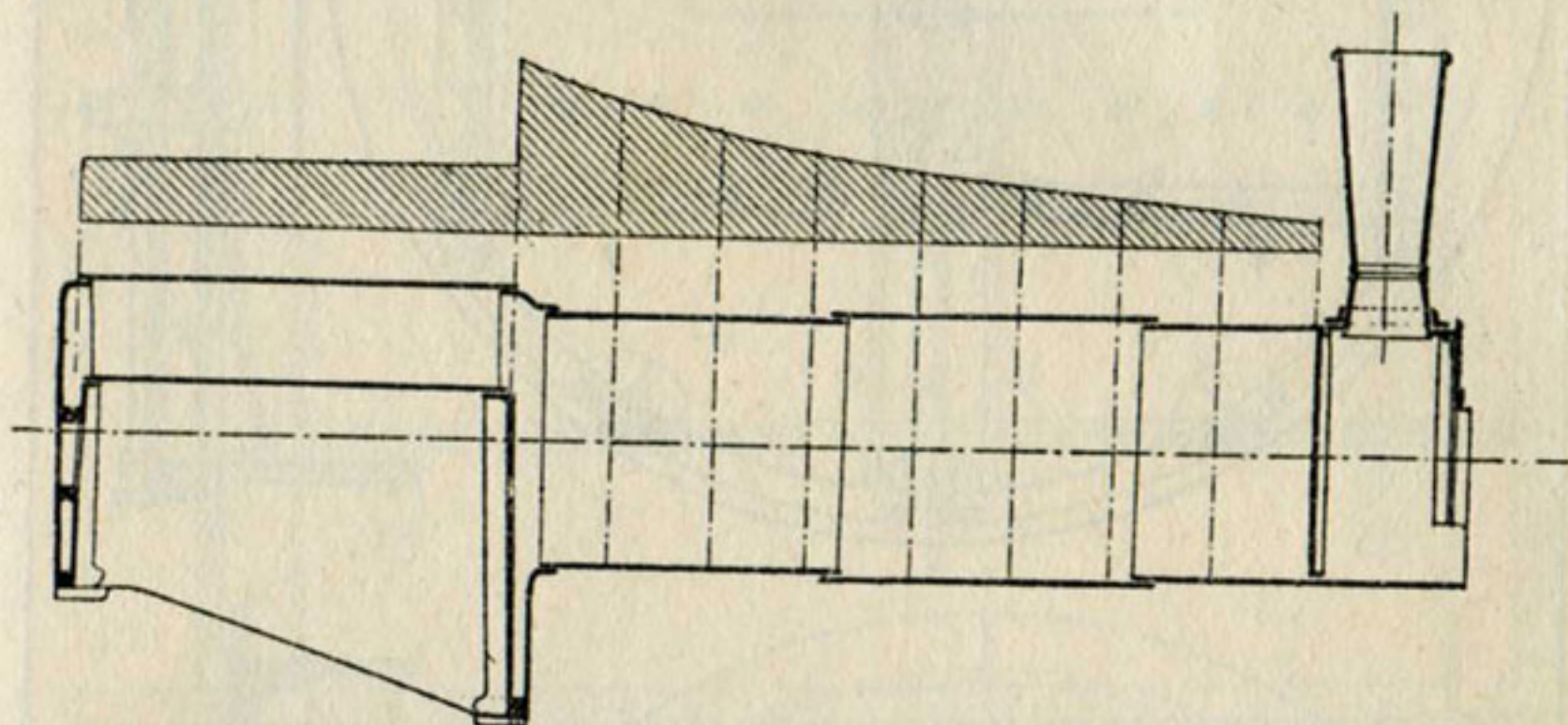


Fig. 45. — Diagramme de la vaporisation d'une chaudière (série 543-562 des chemins de fer de l'Est); 178 tubes de 44 mm de diamètre intérieur, longs de 4,100 m; surface de chauffe du foyer, 9,13 m²; des tubes (à l'intérieur) 101 m². Les surfaces couvertes de hachures, au-dessus de chaque tranche de la chaudière, figurent la quantité d'eau vaporisée dans cette tranche. Sur 90 kg de vapeur par minute, le foyer en donne environ 30.

obtenus est assez grande, à cause du petit diamètre des tubes et de leur épaisseur relativement grande. Le mieux est de compter la surface en contact avec les gaz, puisque c'est celle qui reçoit la chaleur. Mais pour prévenir toute méprise, on ne devrait jamais omettre de dire comment on compte.

Des expériences ont déterminé le poids d'eau que pouvait vaporiser, en une minute, d'une part le foyer et, d'autre part, le faisceau tubulaire, supposé partagé en plusieurs tronçons successifs par des plaques intermédiaires : la figure 45 représente approximativement ces poids vaporisés en une minute, quand la combustion est active : elle montre au-dessus de la surface de l'eau la quantité qui se vaporise dans chaque tranche de la chaudière, celle que l'alimentation devrait y amener si ces tranches étaient isolées par une série de cloisons. Les proportions de vapeur ainsi produites par les diverses parties d'une chaudière varient avec ses dimensions, et, dans un même appareil, avec l'activité de la combustion.

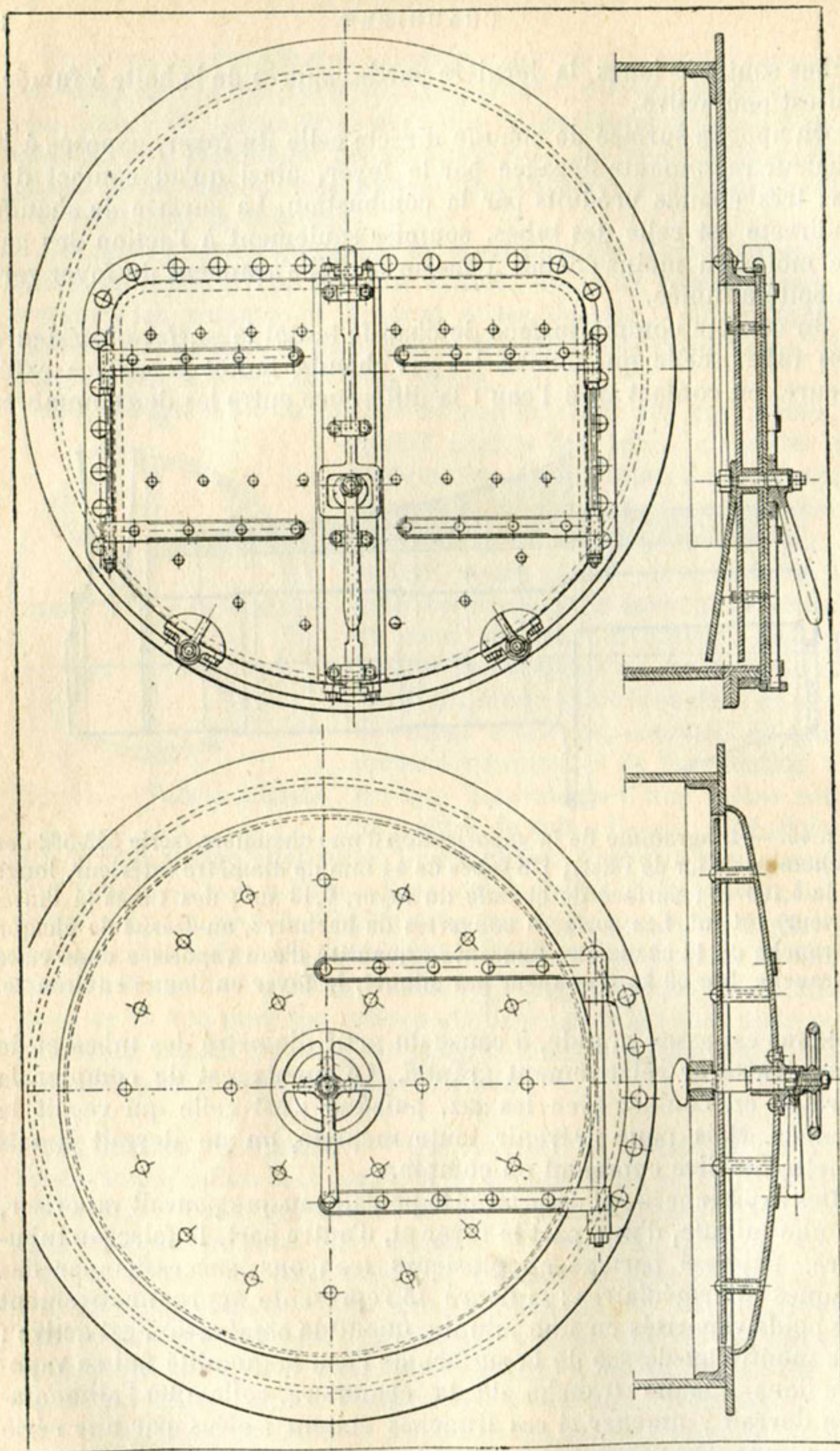


Fig. 46. — Ancienne porte de boîte à fumée à deux vantaux.
 Fig. 47. — Porte ronde de boîte à fumée.

31. Boîte à fumée. — Les tubes vomissent les gaz chauds dans la boîte à fumée, où ils sont appelés par l'aspiration 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. A l'ancienne porte à deux vantaux (fig. 46), compliquée et difficilement hermétique, on préfère

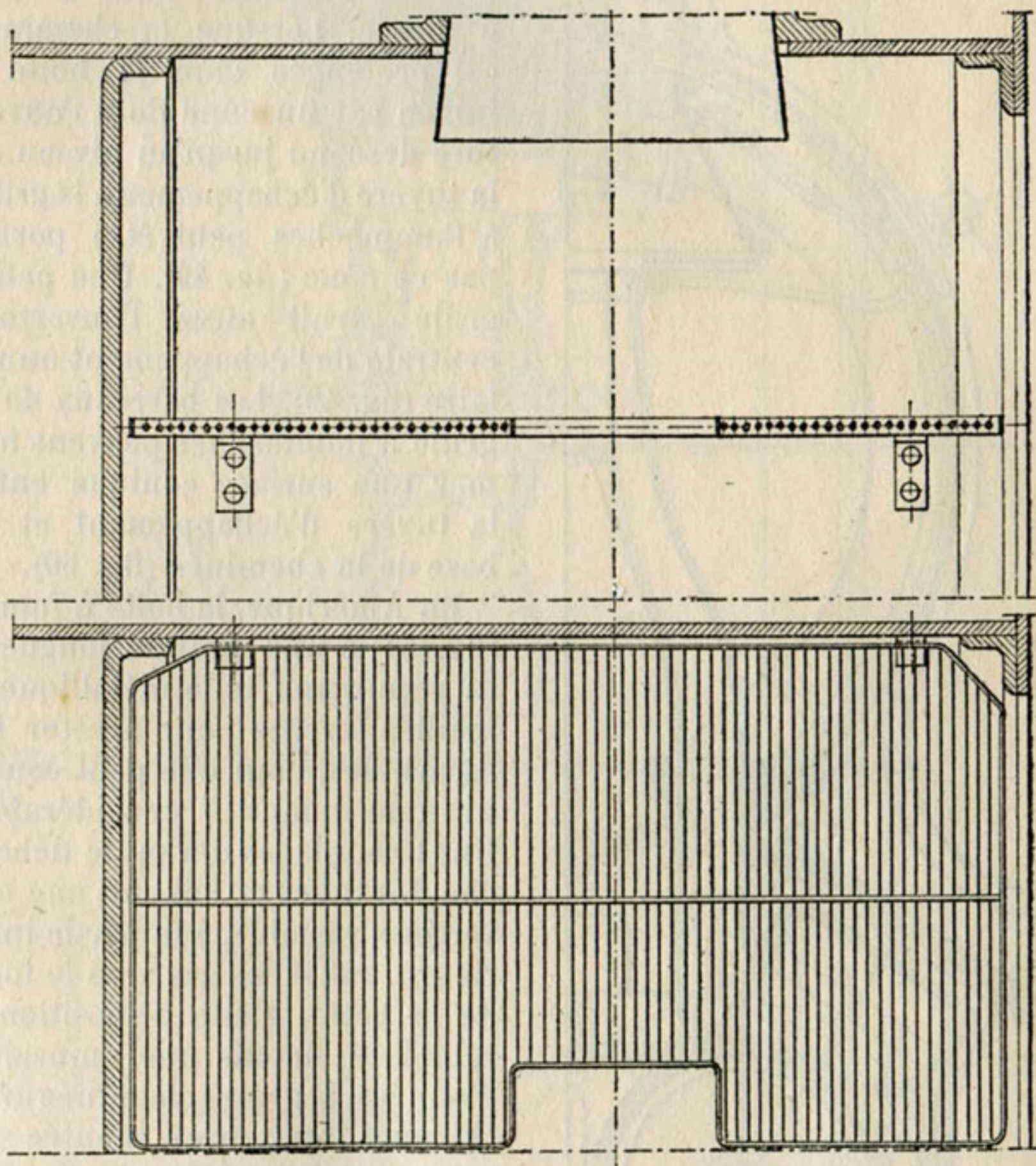
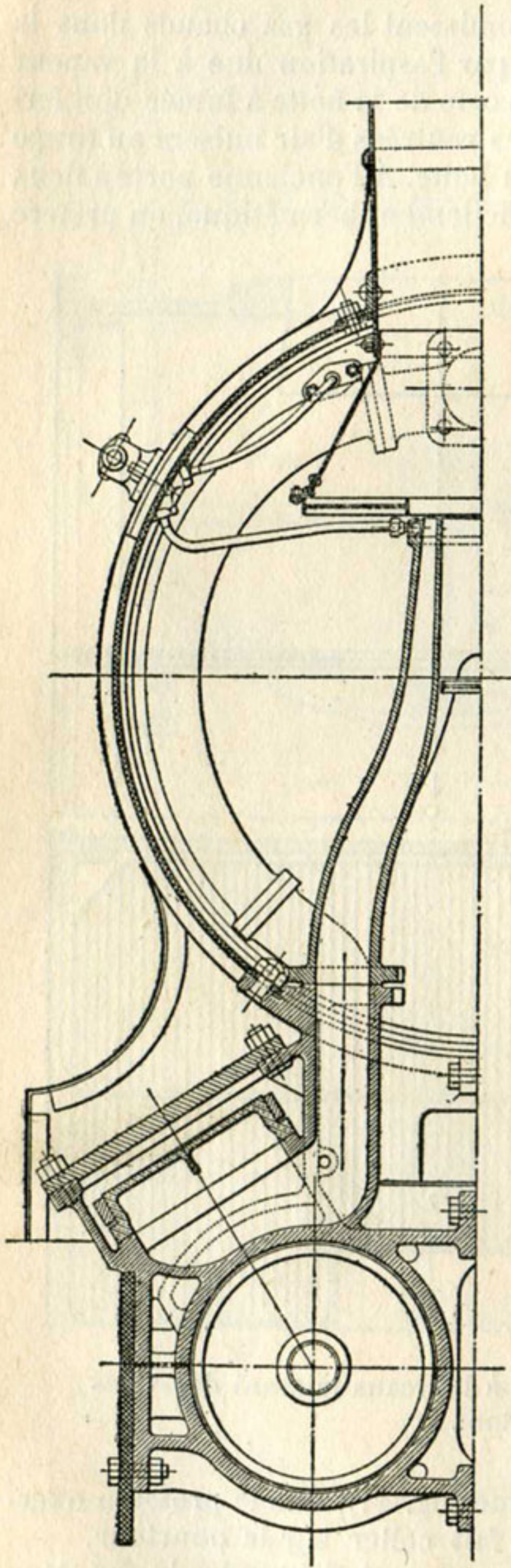


Fig. 48. — Grille à flammèches, à barreaux laissant des vides de 10 mm.

généralement la porte ronde unique (fig. 47), que la pression exercée au centre par la vis de serrage fait coller sur le pourtour.

Quelquefois un robinet d'arrosage permet d'éteindre le feu dans une boîte à fumée mal close : il convient de s'en servir avec mesure, parce que l'eau accélère la destruction des tôles inférieures de la boîte. En France, l'article 41 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 prescrit que les « locomotives devront être pourvues d'appareils ayant



pour objet d'arrêter les fragments de coke tombant de la grille, et d'empêcher la sortie des flammèches par la cheminée » ; à cet effet, une grille à barreaux espacés de 10 mm (fig. 48) est montée dans la boîte à fumée. Lorsque la cheminée est prolongée dans la boîte à fumée par un cône dont l'ouverture descend jusqu'au niveau de la tuyère d'échappement, la grille à flammèches peut être portée par ce cône (fig. 49). Une petite grille garnit aussi l'ouverture centrale de l'échappement annulaire (fig. 49). Les barreaux de la grille à flammèches peuvent former une surface conique entre la tuyère d'échappement et la base de la cheminée (fig. 50).

En Amérique, la boîte à fumée (fig. 51) 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 laissant 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. En Europe aussi on construit de plus en plus de grandes boîtes à fumée. Pendant longtemps on a pensé que le volume de la boîte à fumée devait être très petit pour

Fig. 49. — Demi-coupe verticale à travers la boîte à fumée des locomotives à grande vitesse, avec bogie, des chemins de fer de l'Ouest. La grille à flammèches est formée de deux parties, une portée par le cône de la cheminée, l'autre garnissant l'ouverture centrale de l'échappement annulaire.

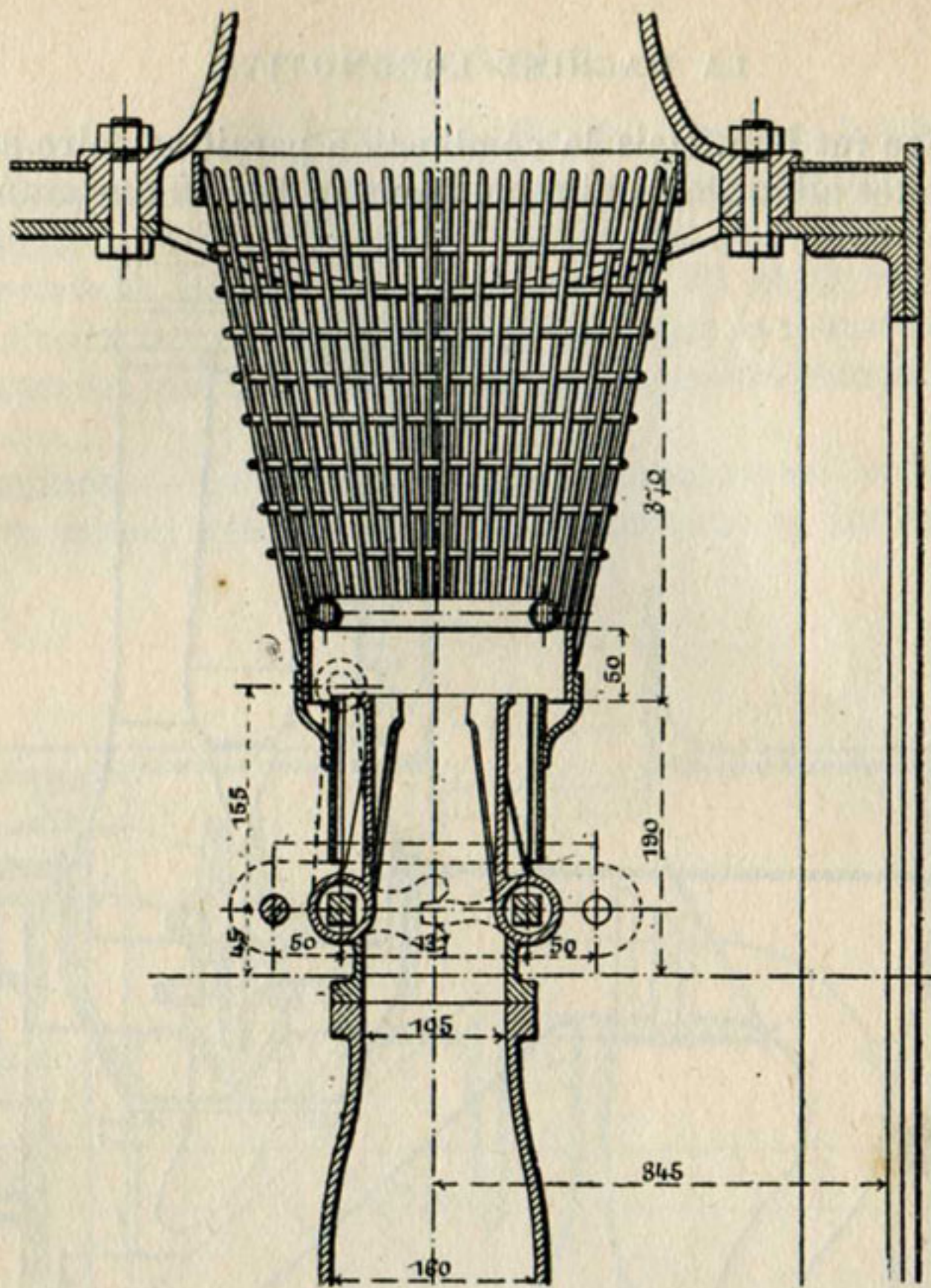


Fig. 50. — Grille à flammèches des chemins de fer Roumains.

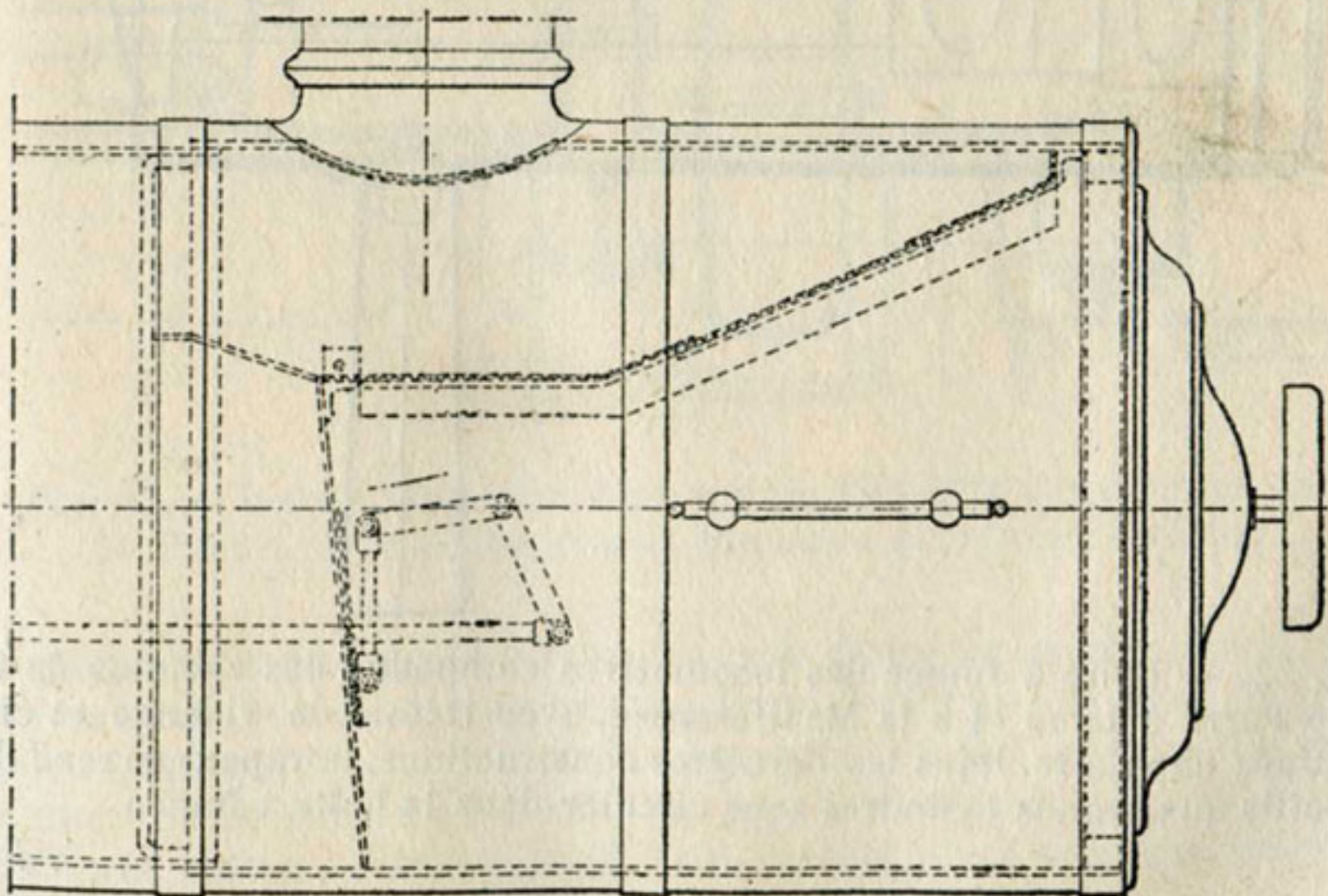


Fig. 51. — Boîte à fumée américaine, allongée, avec grille étendue et tôle mobile formant déflecteur devant les tubes.

que le tirage fut bon. Mais la combustion paraît se faire aussi bien avec les boîtes allongées, qui recueillent au besoin une grande quan-

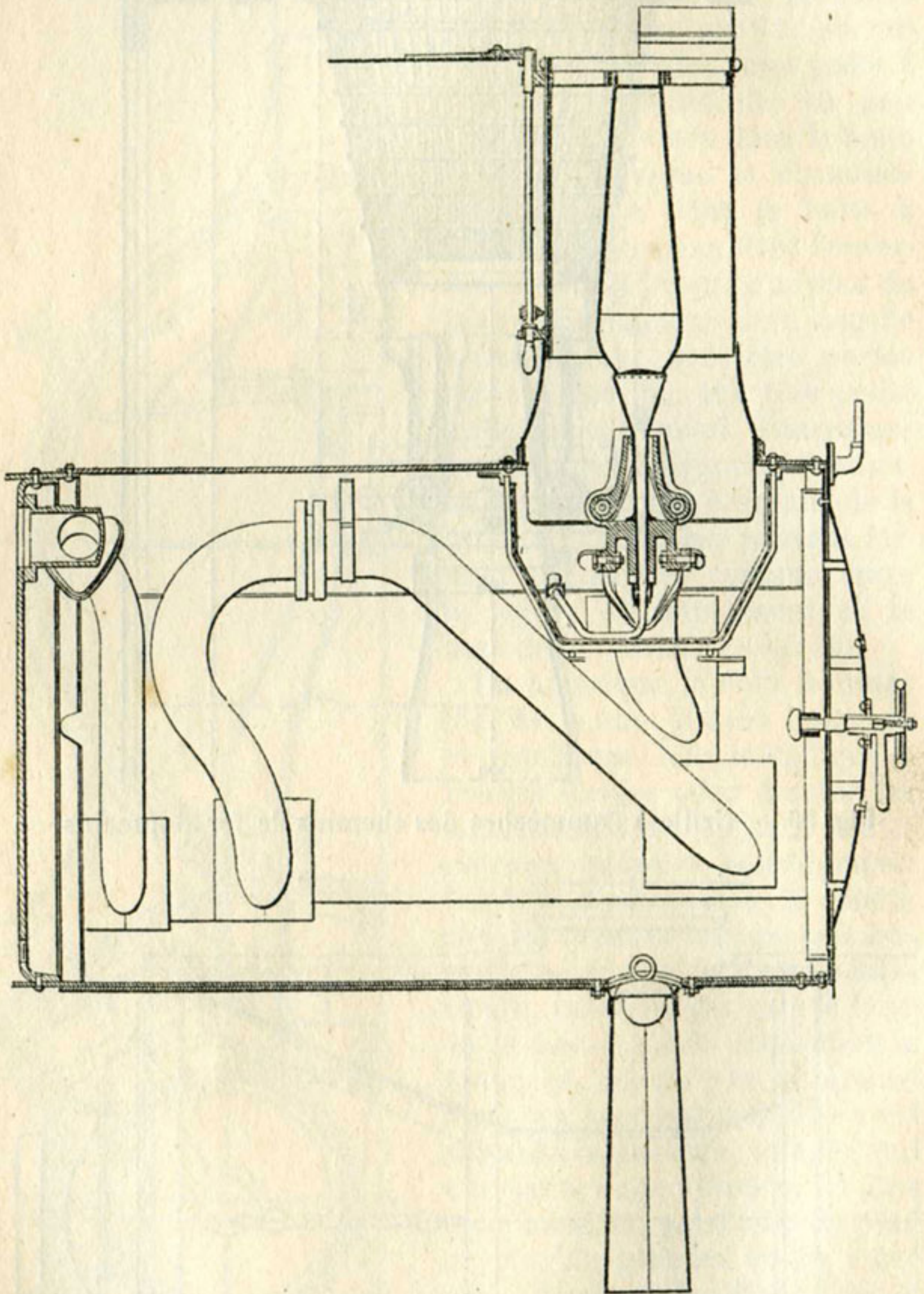


Fig. 52. — Boîte à fumée des locomotives compound des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, avec trémie de vidange et cheminée annulaire. Dans les dernières constructions, la vapeur se rend des petits aux grands cylindres sans circuler dans la boîte à fumée.

tité d'escarbilles sans être obstruées. Telle est la boîte des locomotives compound du chemin de fer de Lyon (fig. 52), où se logent

commodément les tuyaux de vapeur. On préfère habituellement placer la cheminée vers l'arrière ou au milieu des longues boîtes, dont la partie antérieure reçoit les escarbilles (fig. 17 et 53).

Une ouverture fermée par un clapet (fig. 52 et 53) est commode pour la vidange des escarbilles. Il convient que la manœuvre en soit facile et surtout que la fermeture en soit toujours étanche.

32. Cheminée. — La cheminée de la locomotive est forcément très courte. On admet généralement qu'il convient de lui donner une

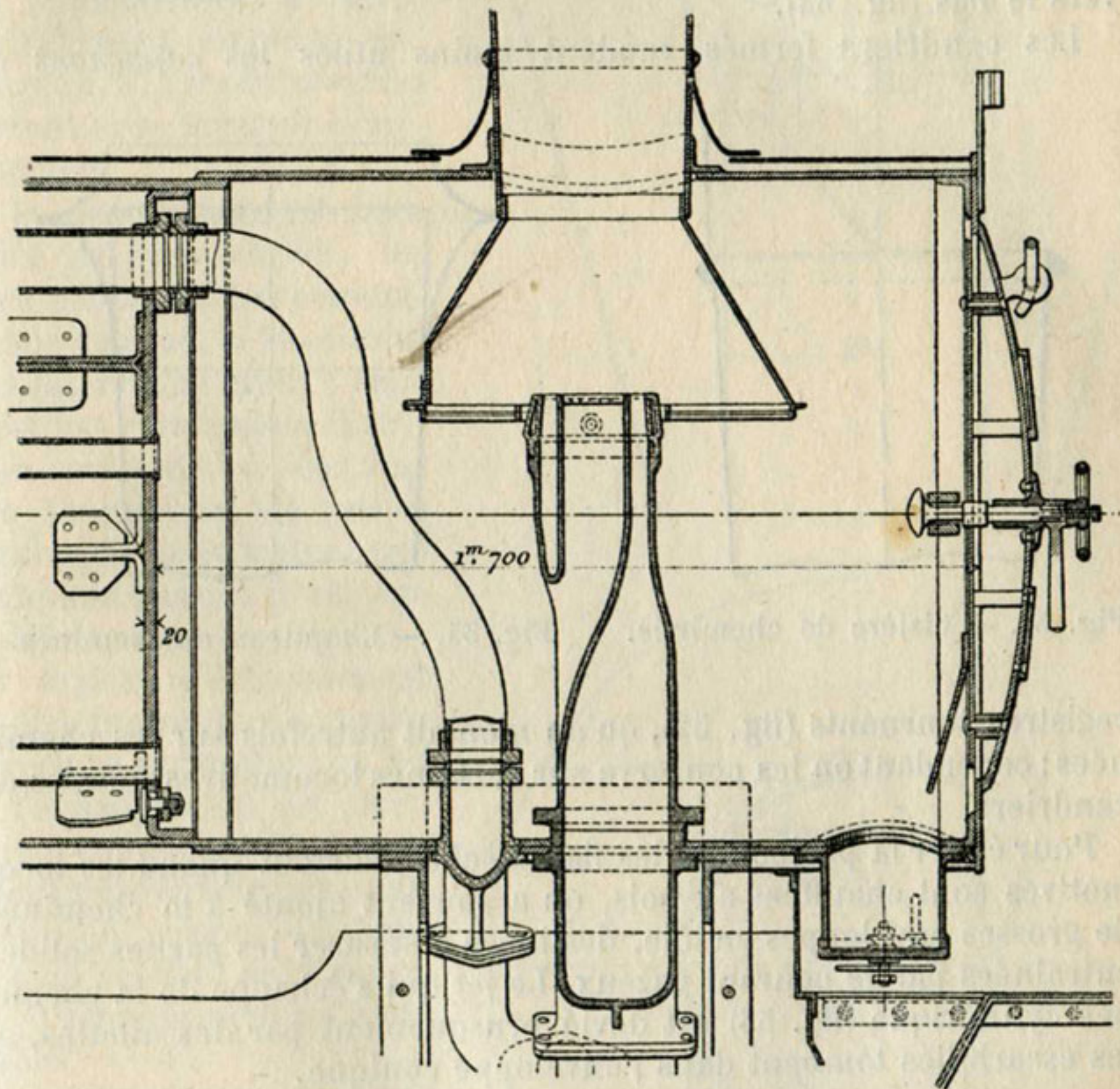


Fig. 53. — Boîte à fumée des locomotives 3701-3725 des chemins de fer de l'Ouest, avec échappement annulaire et trémie de vidange.

hauteur au moins 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'une visière placée à l'avant (fig. 54); le chapiteau (fig. 55) a peut-être une action analogue, mais il est surtout placé avec une intention décorative.

Les cheminées sont cylindriques ou légèrement évasées vers le

haut. Elles peuvent être prolongées, dans l'intérieur de la boîte à fumée, par un entonnoir renversé, qui descend jusqu'au niveau supérieur de la tuyère d'échappement. Cette disposition paraît en général améliorer le tirage.

Le diamètre des cheminées, n'est pas, plus que la hauteur, déterminé par des règles précises ; peut-être pourrait-on l'augmenter avantageusement sur un assez grand nombre de locomotives puissantes. Certaines locomotives belges ont une cheminée à large section carrée, qui se raccorde avec la boîte à fumée en s'évasant vers le bas (fig. 63).

Les cendriers fermés rendent moins utiles les *capuchons* ou

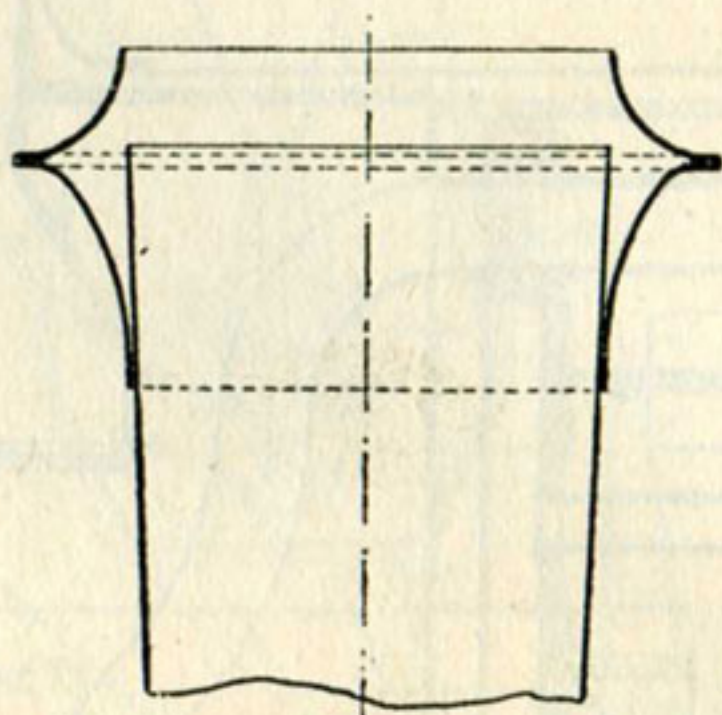
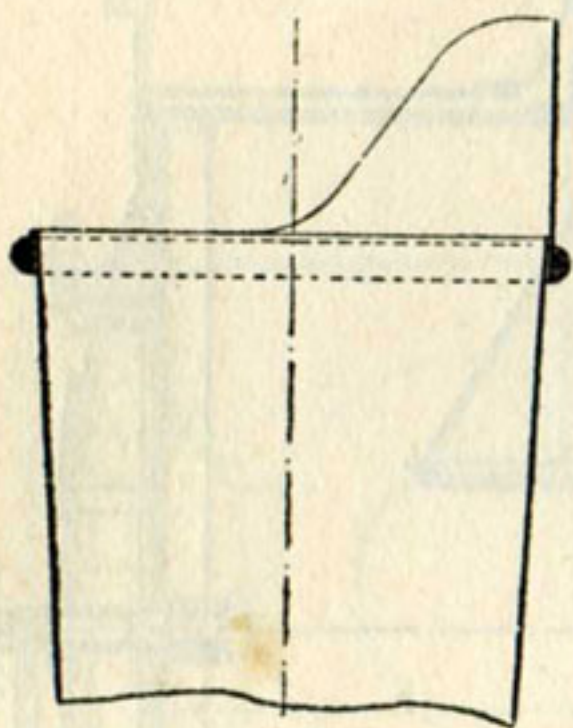


Fig. 54. — Visière de cheminée.

Fig. 55. — Chapiteau de cheminée.

registres tournants (fig. 52), qu'on montait autrefois sur les cheminées ; cependant on les conserve sur certaines locomotives munies de cendriers.

Pour éviter la projection des flammèches, surtout quand les locomotives sont chauffées au bois, on a souvent ajouté à la cheminée de grosses enveloppes en tôle, destinées à séparer les parties solides entraînées par le courant gazeux. Le jet qui s'échappe de la cheminée cylindrique (fig. 56) est dévié brusquement par des ailettes, et les escarbilles tombent dans l'enveloppe conique.

33. 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 ; on obtient généralement un bon tirage quand elle ne dépasse pas beaucoup le niveau de la rangée supérieure de tubes. Cette règle n'est pas sans exceptions : c'est ainsi qu'une tuyère élevée donne de bons résultats sur les locomotives du chemin de fer de Lyon, mais avec l'addition, dans la cheminée, d'un noyau plein qui épanouit en cône le jet de vapeur (fig. 52). Les conduits d'échappement doivent être tracés sans coudes brusques, et de manière 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. 57), 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, de petites irrégularités inévitables, qui n'indiquent pas que le réglage soit défectueux.

La tuyère d'échappement peut être formée par un tuyau d'ouverture 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: en réduisant

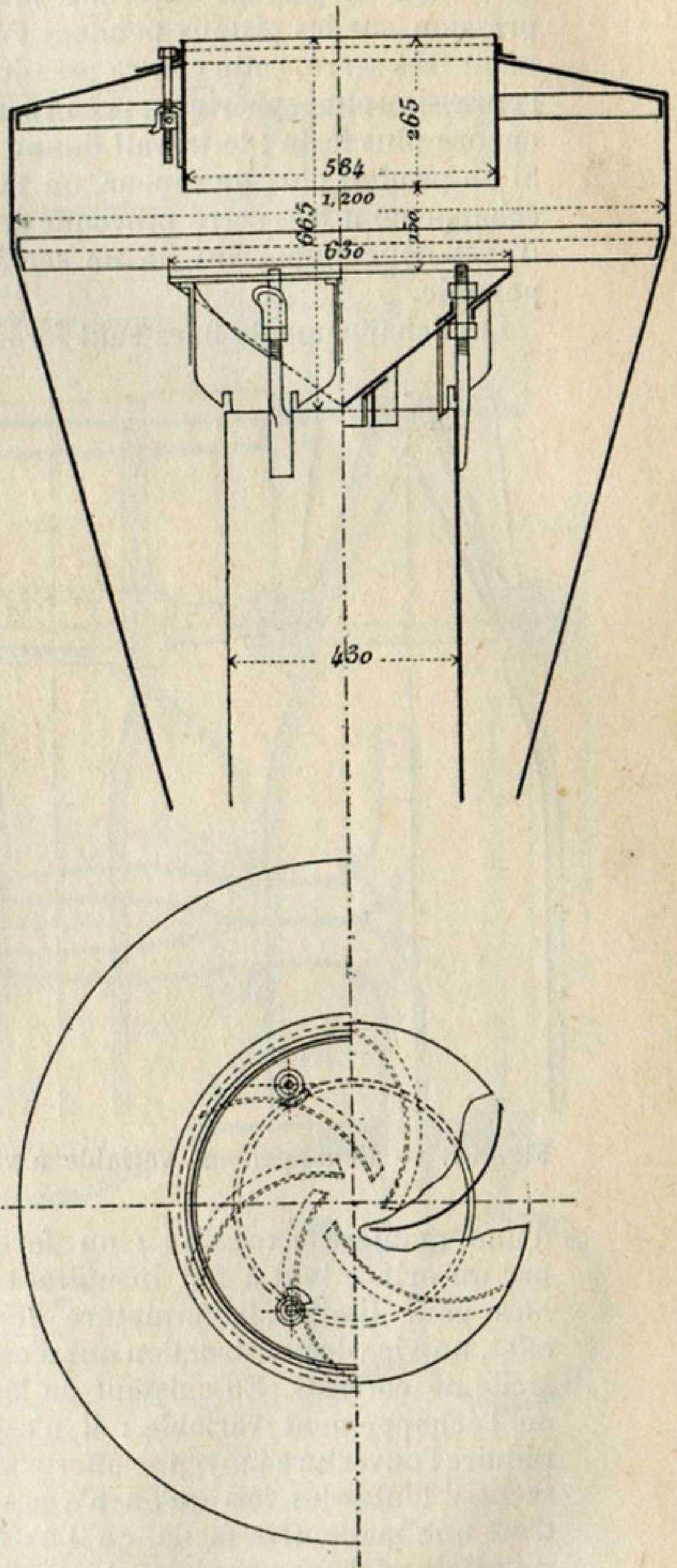


Fig. 56. — Cheminée pour locomotives chauffées au bois du chemin de fer de Moscou-Brest.

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 important de ne serrer l'échappement que le moins possible.

Les échappements fixes sont forcément toujours assez serrés : ce-

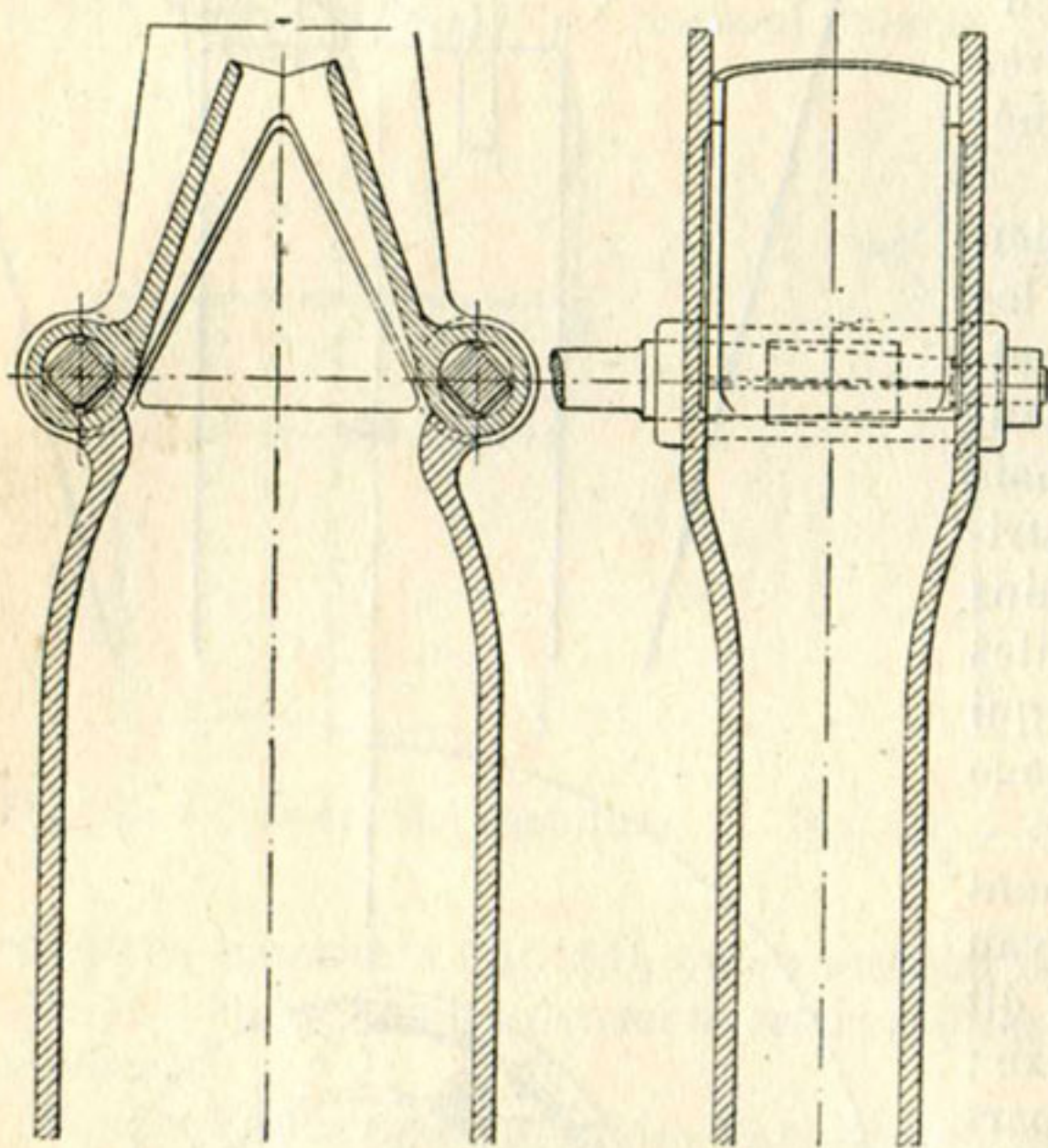


Fig. 57. — Echappement variable à valves.

pendant, dans quelques cas, la section en est encore trop grande et l'action en est insuffisante; 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 de la sorte, 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* (fig. 58); 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. Par contre, il est un peu moins facile d'en rendre variable la section, ce qui est cependant possible (fig. 59).

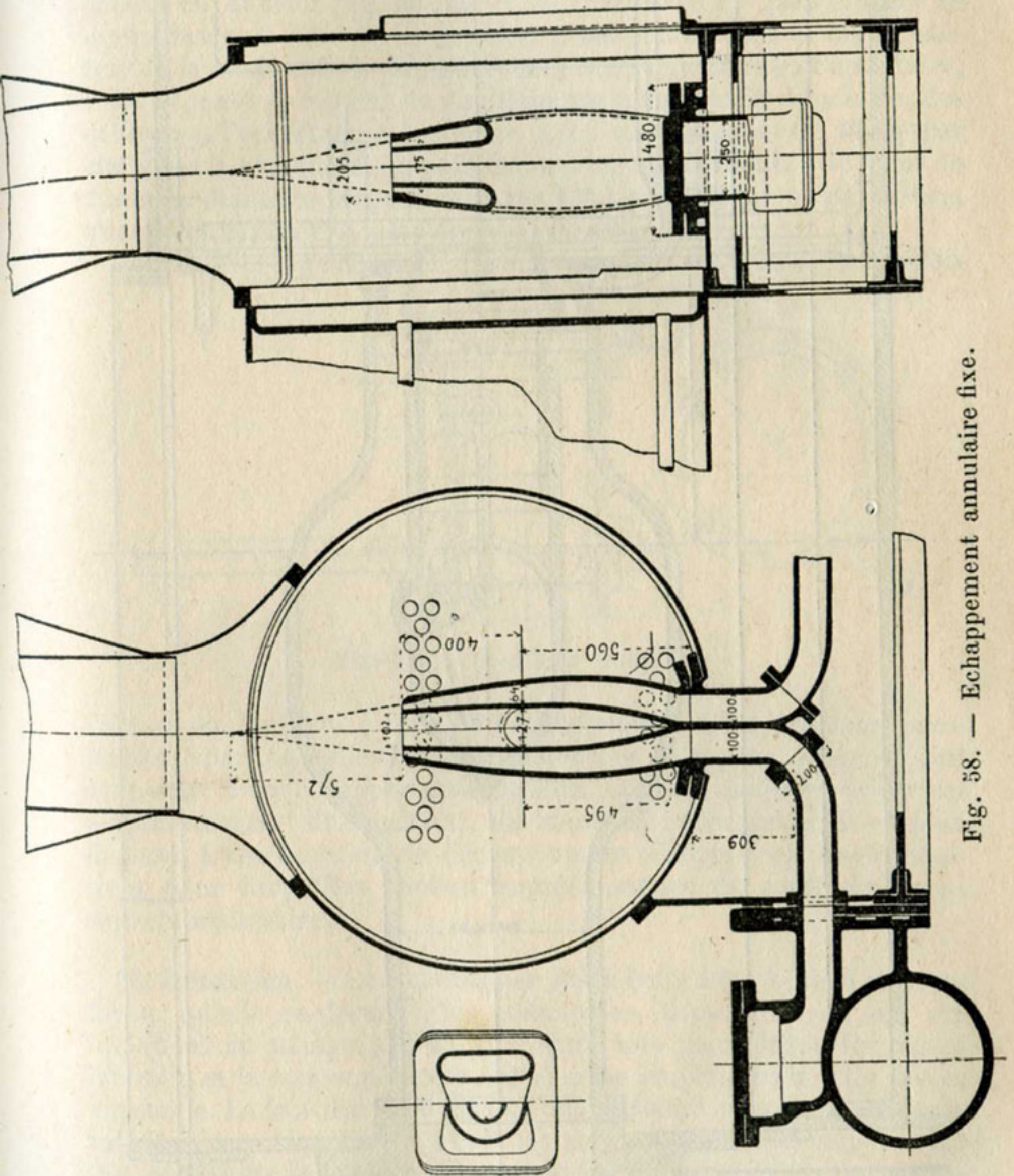


Fig. 58. — Echappement annulaire fixe.

34. Souffleur. — Le souffleur active le tirage au moyen d'un jet de vapeur prise dans la chaudière et envoyée dans la cheminée. 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

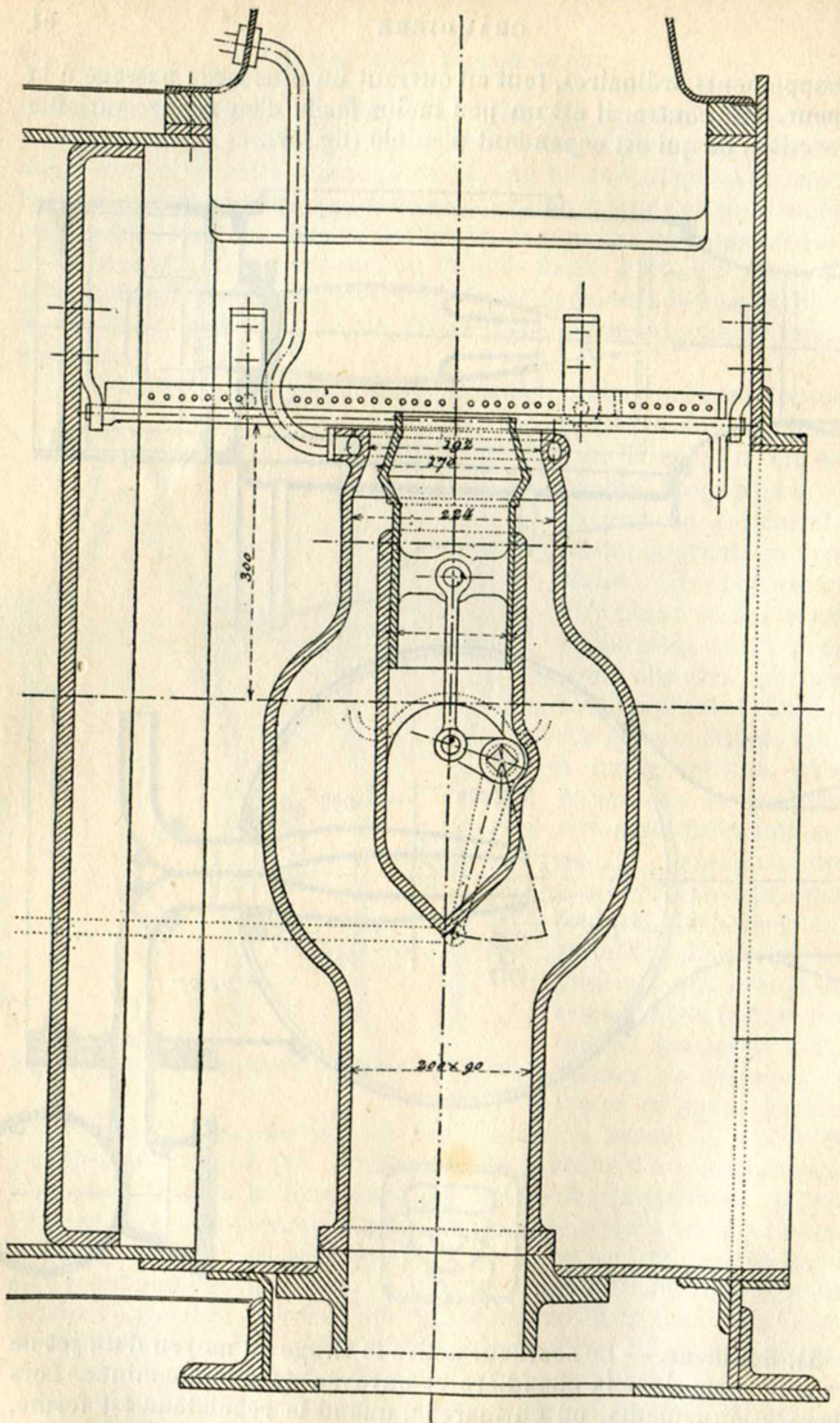


Fig. 59. — Echappement annulaire variable de locomotives belges, avec souffleur en couronne percée de trous et grille à flammèches.

foyer, retour de flamme salissant l'arrière de la machine, et même dangereux, si la porte est ouverte en grand.

Certains souffleurs lancent un jet unique dans la cheminée, mais on préfère une série de petits jets donnés par les trous d'un tuyau courbé en anneau (fig. 60, 49 et 50) : l'appareil est plus efficace et moins bruyant. Une série de petits trous percés dans le tuyau central de la cheminée de la figure 52 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 par cm^2 dans la chaudière, on peut estimer qu'un souffleur, à 10 trous de 2 mm de diamètre, dépense environ 130 kg de vapeur en une heure, quand le robinet est complètement ouvert.

Pour activer la production d'une locomotive, on ajoute quelquefois

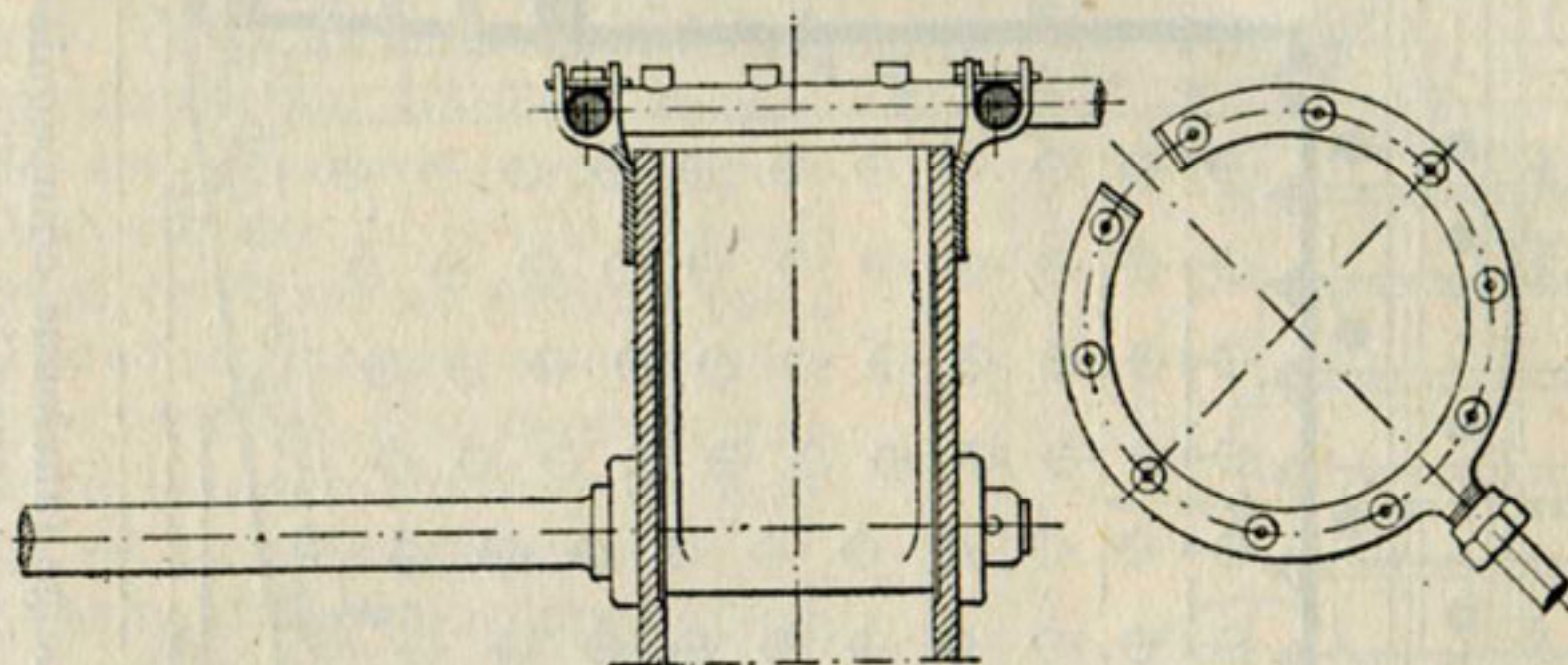


Fig. 60. — Souffleur annulaire.

l'action du souffleur à celle de l'échappement. C'est une manœuvre fâcheuse parce qu'elle augmente la dépense de vapeur. En se servant avec soin d'un échappement variable, on peut toujours éviter cet emploi anormal du souffleur, du moins si l'échappement est bien disposé. L'amélioration de l'échappement s'impose sur les locomotives pour lesquelles l'action supplémentaire du souffleur serait souvent nécessaire.

35. Boîte à feu. — La construction de la boîte à feu se lie à celle du foyer, qu'elle renferme : les principales dispositions en ont été indiquées au paragraphe 23. Une seule tôle peut former les parois latérales et la face supérieure, ou bien on emploie trois tôles rivées ensemble. La face d'arrière est une tôle *emboutie*, c'est-à-dire à bords rabattus, sur laquelle se rivent les parois latérales et supérieures (fig. 61). Toute la partie inférieure de la plaque d'arrière est entretoisée avec le foyer; la partie plane supérieure de cette plaque est raidie par des armatures et, en outre, consolidée par des tirants, qui se rattachent au corps cylindrique.

A l'avant, une autre plaque emboutie se rive sur la partie inférieure de la dernière virole du corps cylindrique; à la partie supérieure,

si la boîte à feu forme un berceau demi-cylindrique, ce berceau est

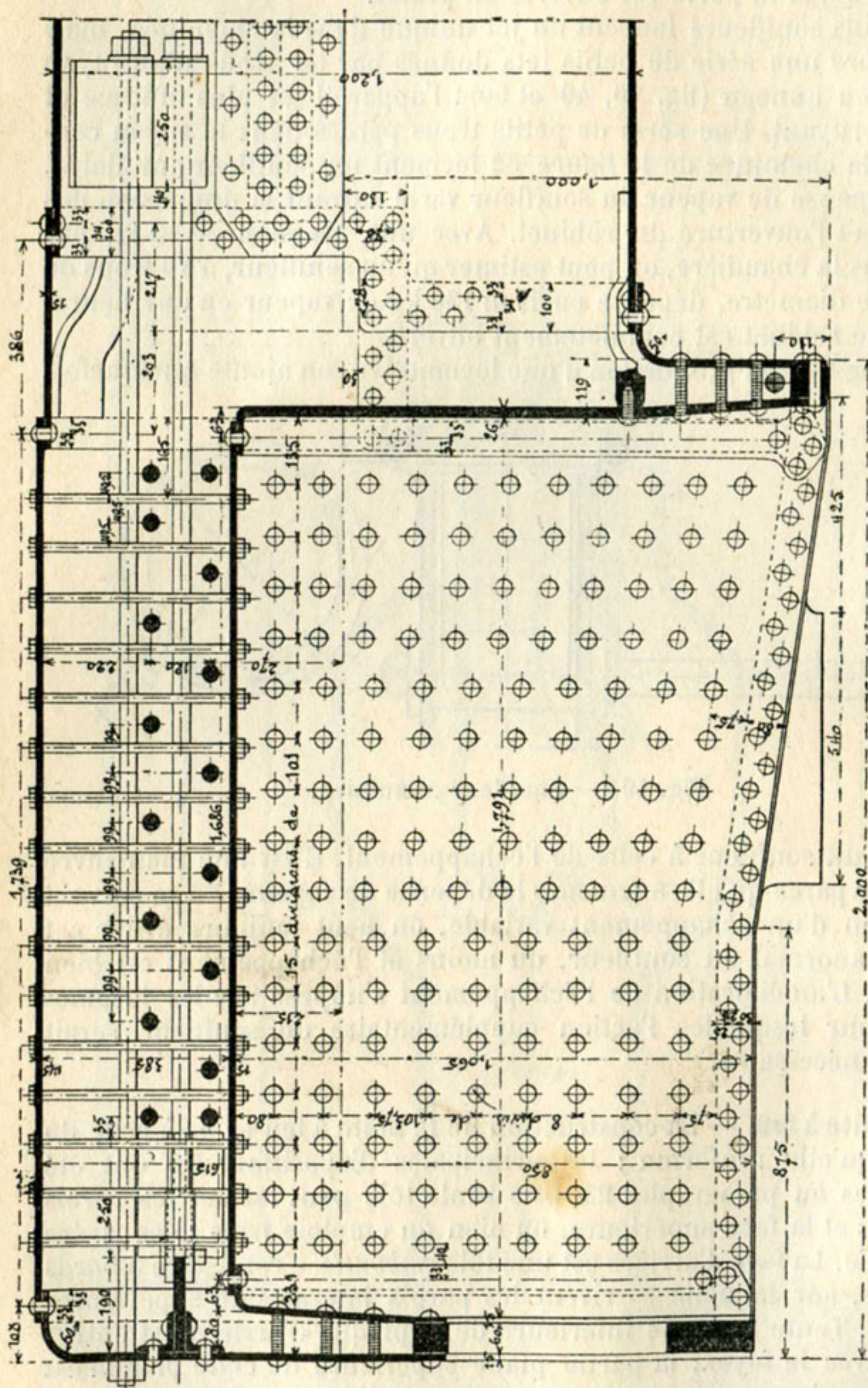


Fig. 61. — Boîte à feu de locomotive belge (ancienne compagnie du Grand Central, actuellement Etat belge); coupe longitudinale.

rivé directement sur la virole; sinon une autre plaque emboutie est nécessaire pour le raccordement. Les deux parties embouties d'avant peuvent former une pièce unique.

36. Corps cylindrique. — Le corps cylindrique est formé de deux ou de plusieurs *viroles* en tôle. Ces viroles sont assemblées à l'aide de rivures à *recouvrement* (fig. 62), ou à *couvre-joints*, simples ou doubles. Les couvre-joints s'appliquent à la rivure longitudinale de chaque virole, et à l'assemblage de deux viroles entre elles (fig. 63). Certains couvre-joints longitudinaux ont des largeurs inégales (fig. 64); le couvre-joint extérieur, plus étroit, est fixé de chaque côté par une seule rangée de rivets rapprochés; les secondes rangées de rivets, plus écartés, prennent seulement le couvre-joint intérieur et la tôle de la virole. La virole ne se trouve pas trop affaiblie par les trous rapprochés des premières rangées, puisqu'une rupture de la tôle de virole suivant ces trous ne suffirait pas à détruire l'assemblage; en outre, une fissure résultant d'un mauvais matage le long du couvre-joint extérieur est moins dangereuse.

La boîte à fumée se compose d'une virole qui prolonge celles du corps cylindrique, ou bien elle a un plus grand diamètre : la plaque tubulaire est alors rivée sur une cornière circulaire, qui entoure la première virole du corps cylindrique; les bords en sont rabattus et reçoivent la virole de boîte à fumée (fig. 65).

37. Liaison de la chaudière au châssis. — La chaudière repose sur le châssis par la boîte à fumée et la boîte à feu, souvent aussi en des points intermédiaires. La boîte à fumée est solidement boulonnée au châssis, ou aux cylindres quand ils sont intérieurs; les écrous placés dans l'intérieur de la boîte à fumée, étant en bronze et à chapeau, ne se brûlent pas et protègent les boulons.

Quand on allume le feu, la chaudière se dilate ou s'allonge en s'échauffant : la dilatation du fer et de l'acier est d'environ 1 mm par mètre quand on en élève la température de 100°. La température de

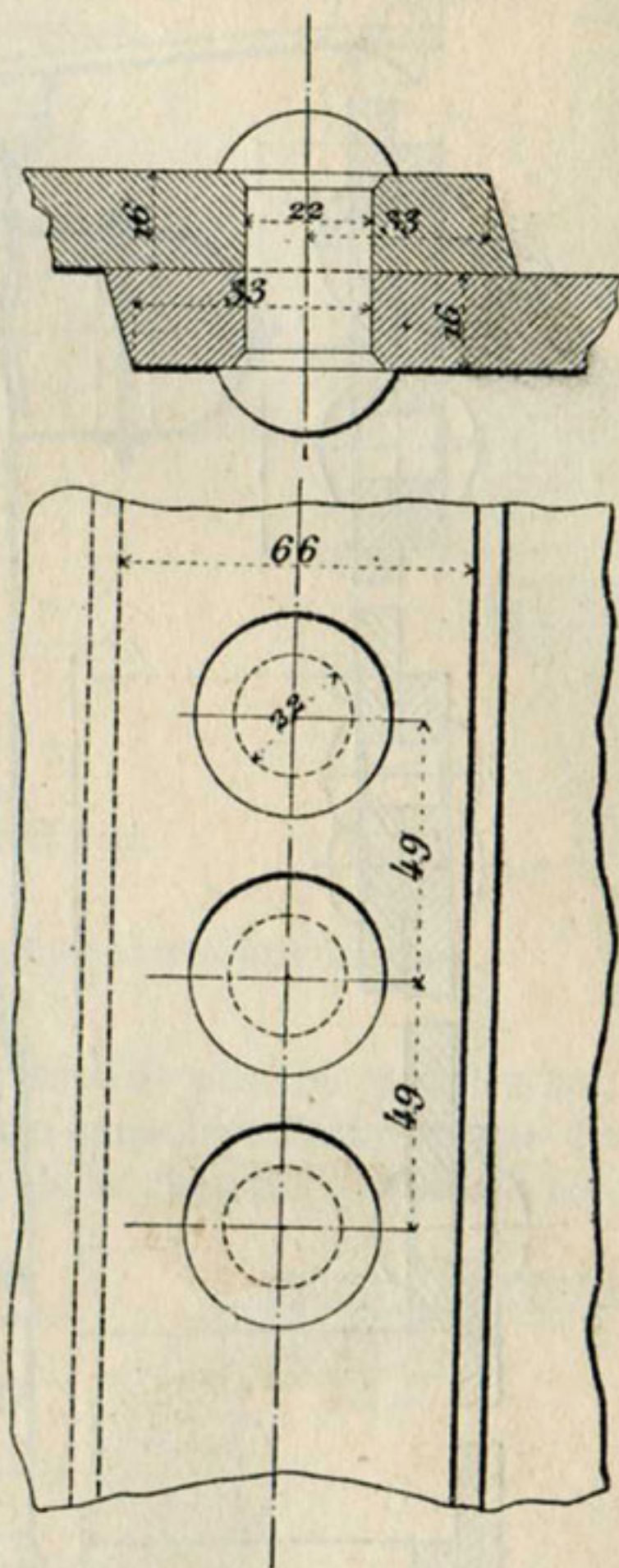


Fig. 62. — Rivure à recouvrement, avec simple rang de rivets.

(Nota : une des cotes 33 est mal placée sur cette figure.)

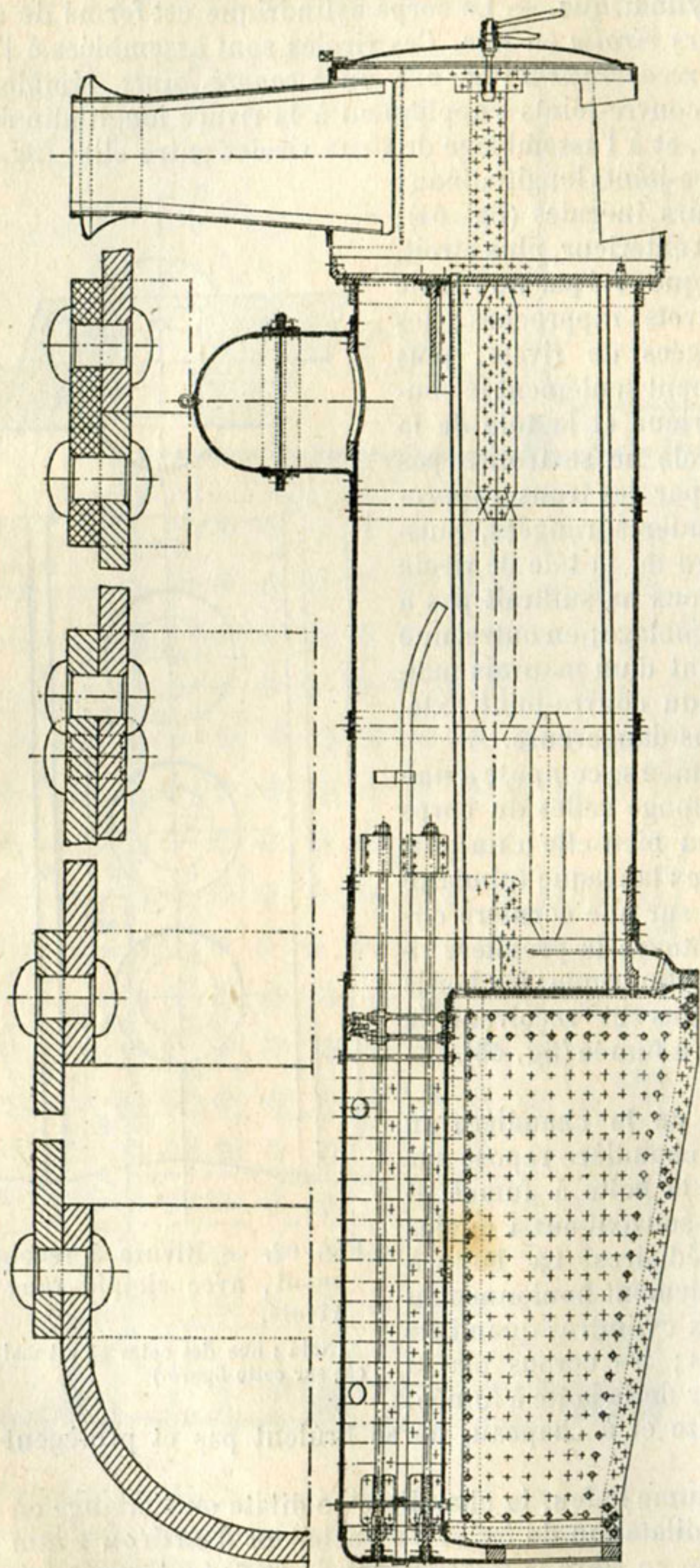


Fig. 63. — Chaudière de locomotive à trois essieux couplés de l'Etat belge, avec foyer Belpaire et large cheminée à section rectangulaire. Coupe longitudinale et détails des rivures, à couvre-joints circulaires et longitudinaux sur le corps cylindrique.

toutes les parties d'une chaudière n'est pas la même, mais on peut compter en moyenne sur une variation de 150° ou un peu plus entre la chaudière froide et en feu. Si elle est longue de 6 m, elle se dilatera alors de $6 \times 1,5$ ou 9 mm. Il faut que la boîte à feu

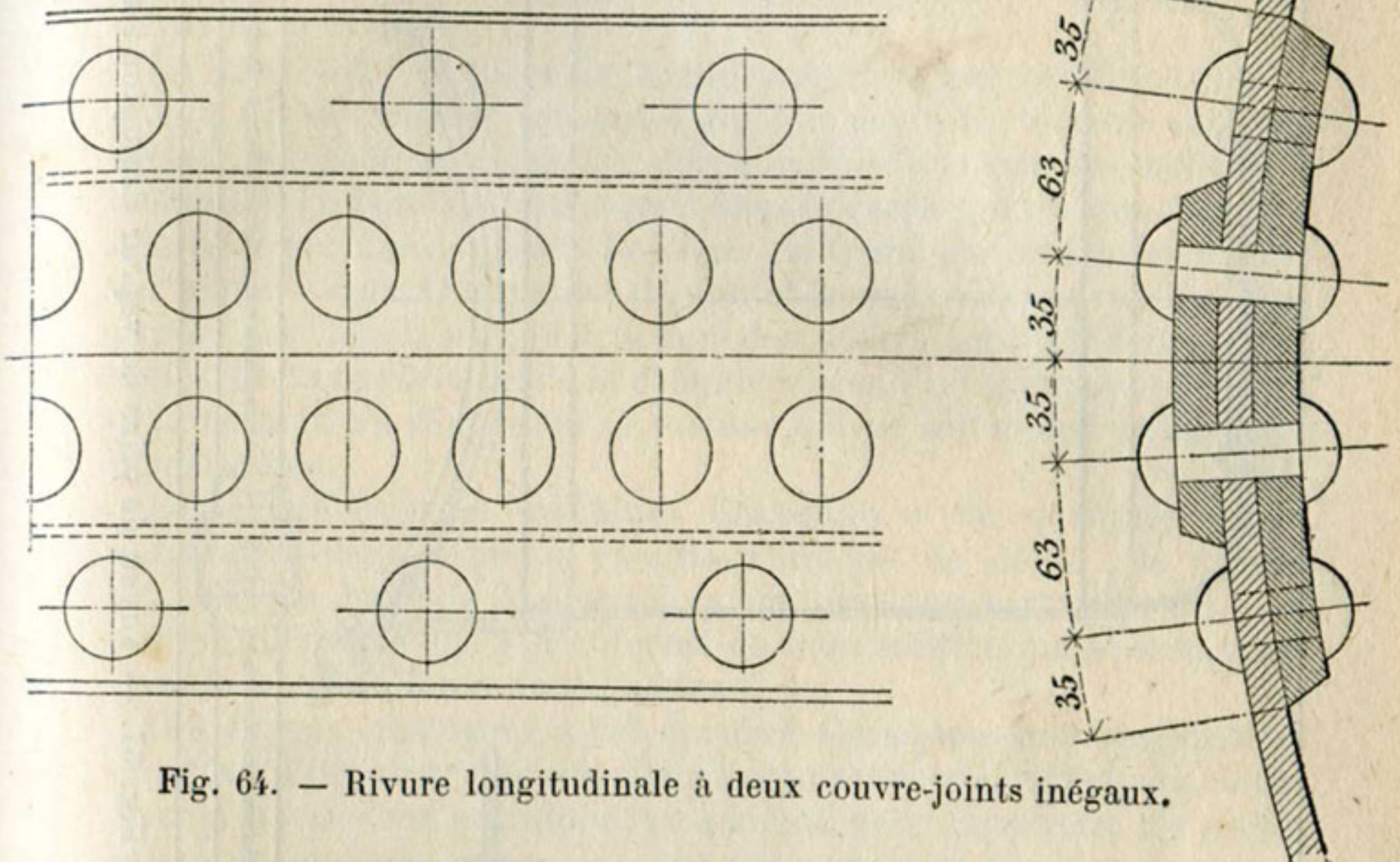


Fig. 64. — Rivure longitudinale à deux couvre-joints inégaux.

puisse glisser sur le châssis : aussi n'y est-elle pas liée par des boulons, mais elle pose sur ses supports. On consolide l'attache par des *agrafes*, qui s'opposent à la séparation de la chaudière et du châssis lors des trépidations en marche, et quand on souève la machine par le cadre du foyer.

Il faut que ce glissement de la chaudière sur le châssis se produise toujours librement, de manière à éviter des tiraillements ou des ruptures dans l'une ou l'autre partie de la machine.

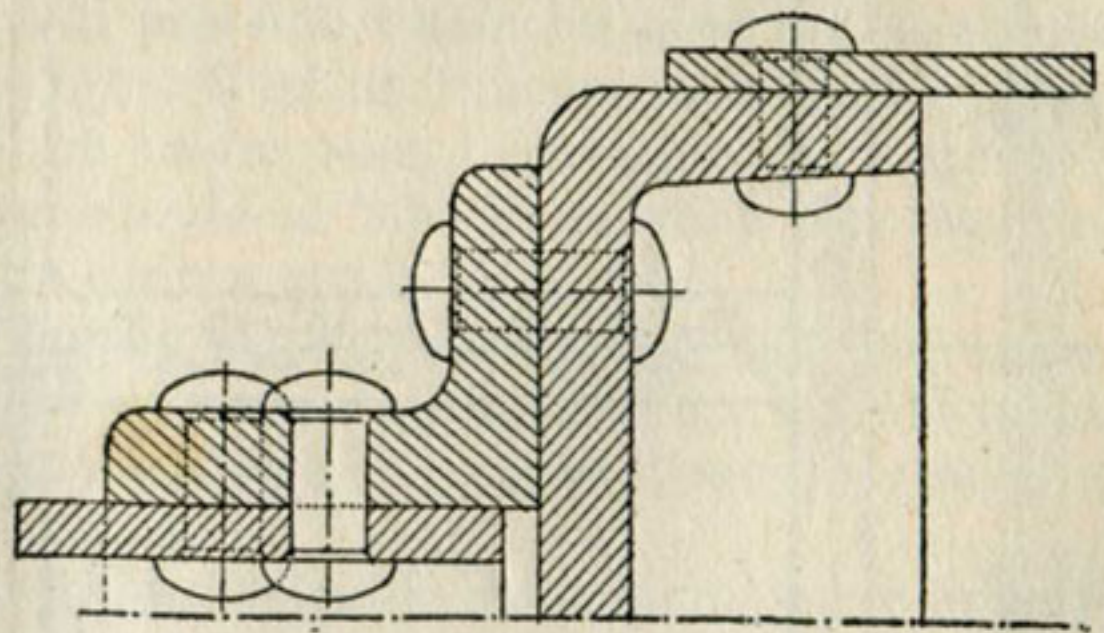


Fig. 65. — Rivure de boîte à fumée renflée de la chaudière représentée figure 63.

38. 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

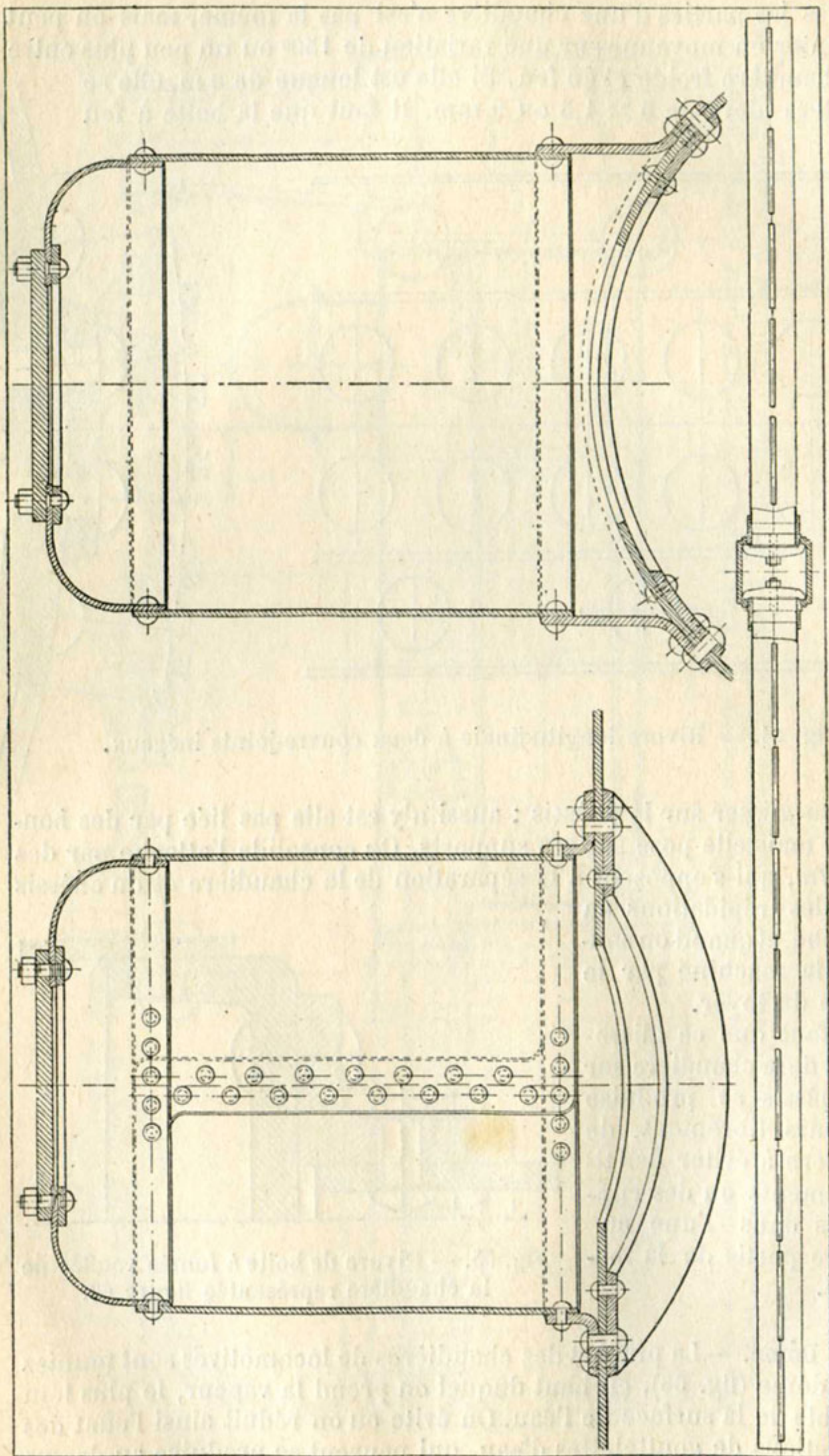


Fig. 66. — Dôme.

Fig. 67. — Tuyau de prise de vapeur Crampton; vue en plan.

de cette surface, et la vapeur est prise plus sèche. Quant à l'effet du volume plus ou moins grand du dôme, formant réservoir de vapeur, il paraît bien faible; il convient donc de construire de petits dômes, qui affaiblissent moins la chaudière que les grands et ne gênent pas la vue du personnel.

Le dôme est une pièce de chaudronnerie d'une certaine complication : il se compose souvent d'une tôle envirolée et rivée sur elle-même, ou soudée, 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 un plateau démontable, qui porte souvent les soupapes. Les détails de construction des dômes sont d'ailleurs assez variés. 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'ont pas de dôme : la vapeur est prise en haut de la chaudière par un long tuyau, fendu à sa partie supérieure (fig. 67), et formé de deux sections qui s'assemblent dans la boîte en fonte du régulateur.

Des tuyaux analogues à cet appareil Crampton sont quelquefois montés à l'intérieur des chaudières pour amener la vapeur au dôme et en séparer l'eau entraînée; en général, cette tuyauterie n'a qu'un intérêt secondaire.

39. Manomètre. — Le manomètre, monté sur les chaudières, indique la pression effective que la vapeur exerce sur chaque centimètre carré, c'est-à-dire la pression totale ou absolue, diminuée de la pression de l'atmosphère. C'est un tube creux courbé et élastique, se déformant plus ou moins sous la pression qui s'exerce à l'intérieur. L'extrémité mobile de ce tube commande une aiguille, qui se déplace le long d'un cadran gradué (fig. 68).

La vapeur de la chaudière ne pénètre pas dans le tube du manomètre, dont la chaleur pourrait fausser les indications, mais le tuyau de communication avec la chaudière se remplit d'eau qui transmet la pression.

Quand la chaudière est froide, l'aiguille du manomètre indique le zéro, ce qui veut dire que la pression à l'intérieur de la chaudière ne dépasse pas la pression de l'atmosphère à l'extérieur. S'il règne alors dans la chaudière une pression égale à celle de l'atmosphère, bien qu'elle ne contienne pas de vapeur, c'est parce que l'air y pénètre pendant le refroidissement, quand la vapeur se condense : l'air peut entrer en soulevant le tiroir du régulateur. Pendant le refroidissement d'un récipient de vapeur bien clos, où l'air ne pourrait pas s'insinuer, le vide se ferait (comme avec une pompe à air) par suite de la condensation de la vapeur; la pression atmosphé-

rique extérieure risquerait alors d'aplatir le récipient, qui peut être capable de résister seulement à la pression intérieure de la vapeur, mais non à une pression extérieure.

Suivant la prescription de l'article 7 du décret du 30 avril 1880, relatif aux appareils à vapeur, une marque très apparente indique, sur l'échelle du manomètre, la limite que la pression effective ne doit point dépasser.

Les manomètres se dérèglent avec le temps : on les vérifie en montant sur la chaudière un manomètre étalon construit avec

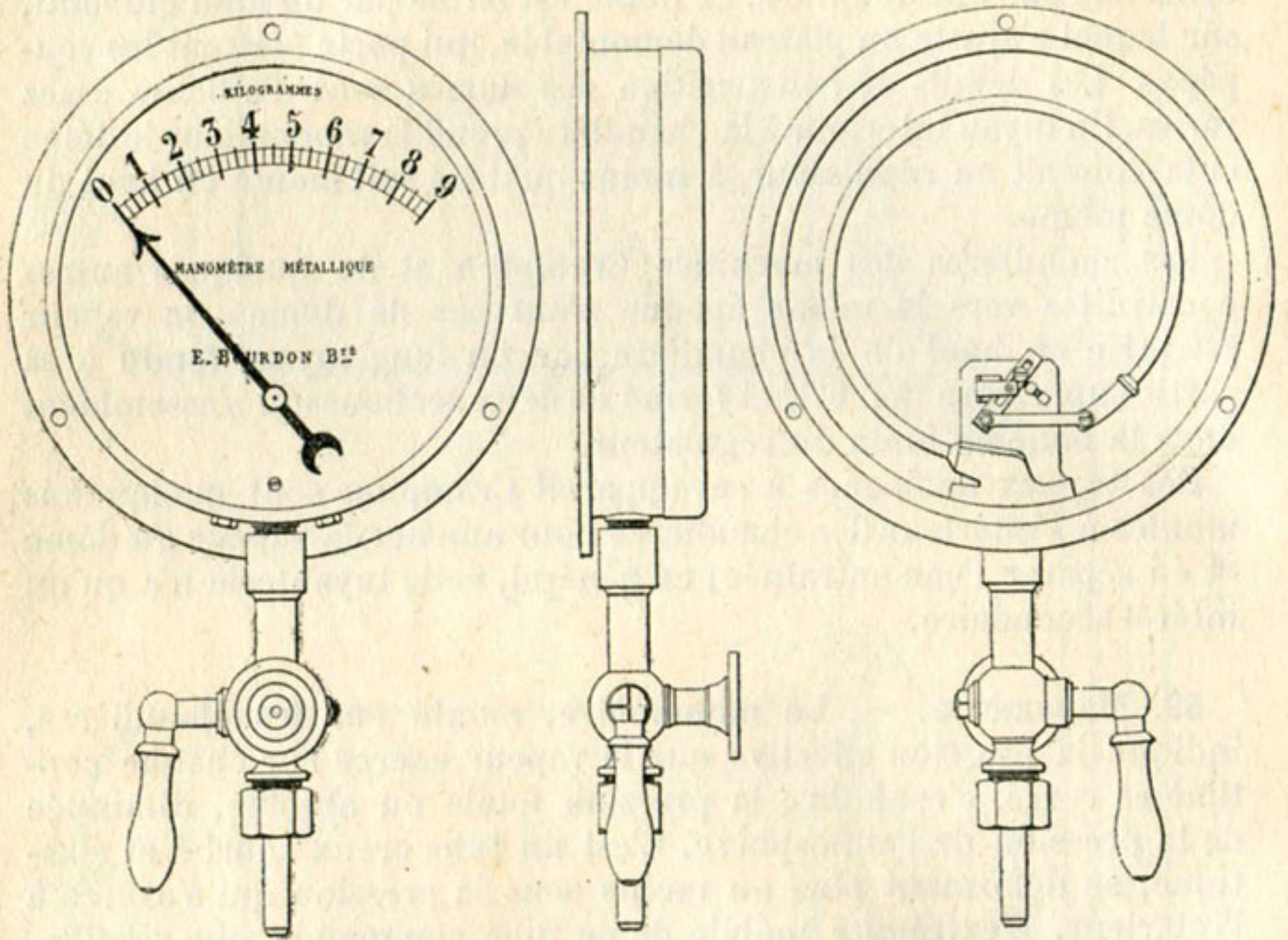


Fig. 68. — Manomètre Bourdon à tube métallique.

soin et toujours en bon état. Le mécanicien voit d'ailleurs si l'aiguille du manomètre marque bien la pression supérieure limite, au moment où les soupapes se lèvent, ce qui doit avoir lieu quand manomètre et soupapes sont en bon ordre. On doit signaler, pour le faire réparer, tout manomètre dont l'aiguille donne, à ce moment, une indication erronée d'un quart de kilogramme en plus ou en moins.

Il peut arriver que l'aiguille du manomètre ne retombe pas exactement au zéro quand toute pression effective cesse dans la chaudière; cela n'a pas une grande importance, si l'indication de l'aiguille est juste à la pression supérieure.

40. Soupapes de sûreté. — La pression effective de la vapeur dans la chaudière, en kilogrammes par centimètre carré, ne doit pas

dépasser le nombre inscrit sur le timbre (voir § 52). 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 ; on calcule, en kilogrammes, la charge qu'elle doit porter, en multipliant le timbre par le nombre de centimètres carrés contenus dans la surface de l'ouverture fermée par la soupape ; ce produit donne bien la force qui tend à soulever la soupape, quand la vapeur atteint sa tension limite. Ce serait 785 kg pour une soupape de 100 mm de diamètre et un timbre de 10.

Afin d'éviter l'application de lourdes masses sur les soupapes, on les charge fréquemment par l'intermédiaire d'un levier, articulé sur un support fixe : on appelle bras du

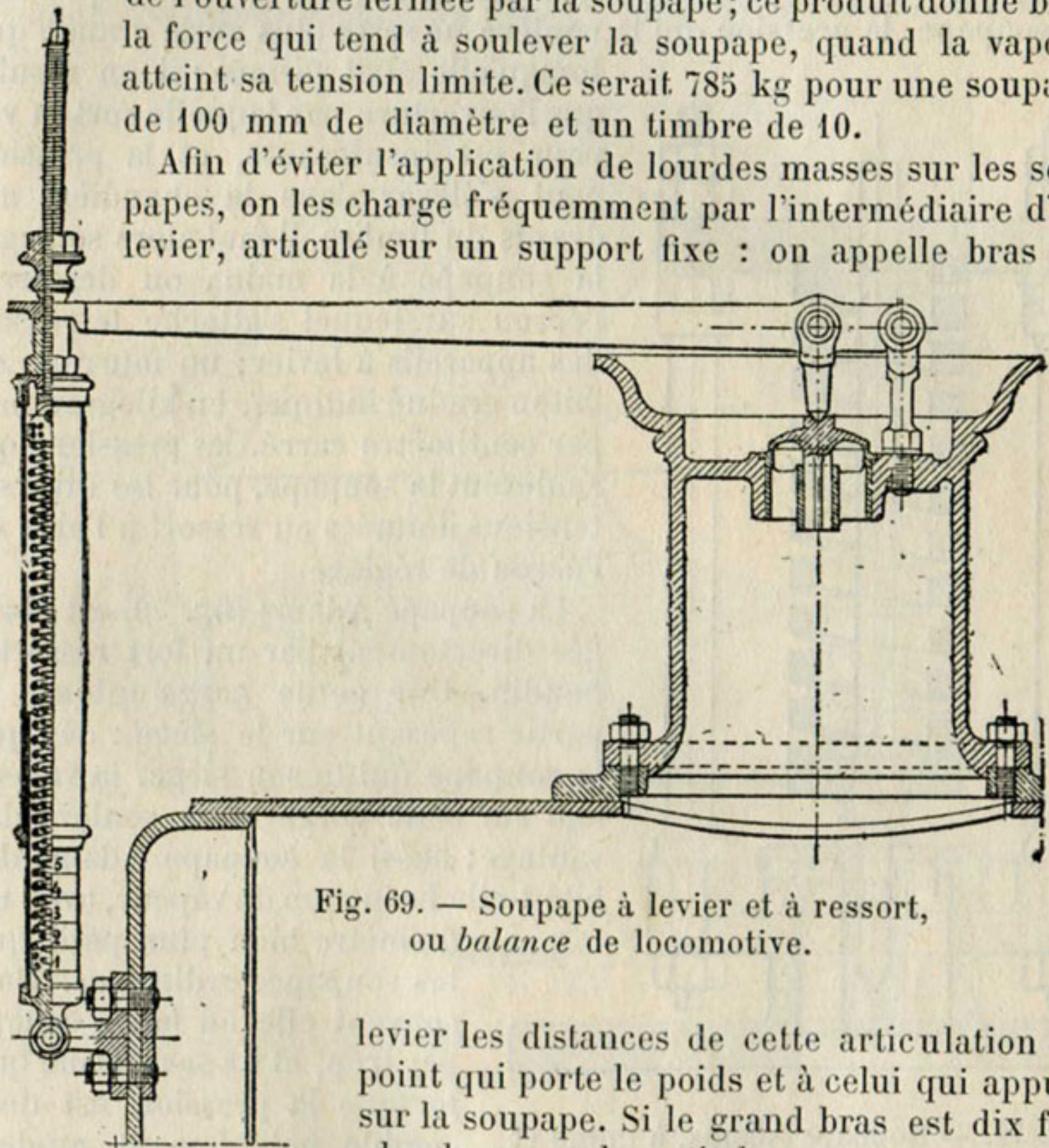


Fig. 69. — Soupape à levier et à ressort, ou *balance* de locomotive.

levier les distances de cette articulation au point qui porte le poids et à celui qui appuie sur la soupape. Si le grand bras est dix 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 (en négligeant le poids du levier).

Sur les locomotives, le poids fonctionne mal, parce qu'il danse constamment en marche : aussi le remplace-t-on par un ressort à boudin, agissant à l'extrémité du levier (fig. 69). Cet appareil est souvent désigné par le nom de *balance*, qui ne convient guère.

On préfère souvent la charge directe par ressort à la charge par levier : le montage de la soupape est un peu plus aisé, et il est moins facile d'en modifier le réglage, qui doit être fait à l'atelier seulement. Dans le montage Webb, les deux soupapes sont disposées 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 fonctionnement de la soupape ordinaire n'est pas tout à fait satisfaisant : si elle est bien réglée, elle se lève dès que la pression de la vapeur atteint la valeur 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 fermée : il en résulte que l'ouverture par laquelle sort la vapeur est insuffisante, et la pression peut s'élever dans la chaudière au-dessus du timbre. Il faut alors soulager la soupape à la main, ou desserrer l'écrou sur lequel s'attache le ressort des appareils à levier; un fourreau en laiton gradué indique, en kilogrammes par centimètre carré, les pressions qui soulèvent la soupape, pour les diverses tensions données au ressort à l'aide de l'écrou de réglage.

La soupape Adams (fig. 70) est chargée directement par un fort ressort à boudin. Une petite gorge 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. Mais souvent elle en laisse échapper trop, et ne se referme que lorsque la pression est descendue notablement au-dessous du timbre. Dès que le manomètre baisse de plus

d'un demi-kilogramme avant la fermeture d'une soupape Adams, il convient de 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 soupape à disque (fig. 71) est chargée par l'intermédiaire d'un levier. Dès que la vapeur soulève cette soupape, la pression baisse dans l'espace compris entre la soupape et le disque inférieur : la pression dans la chaudière, qui s'exerce sans réduction sous ce disque, augmente la levée. Avec une vaporisation très active, la

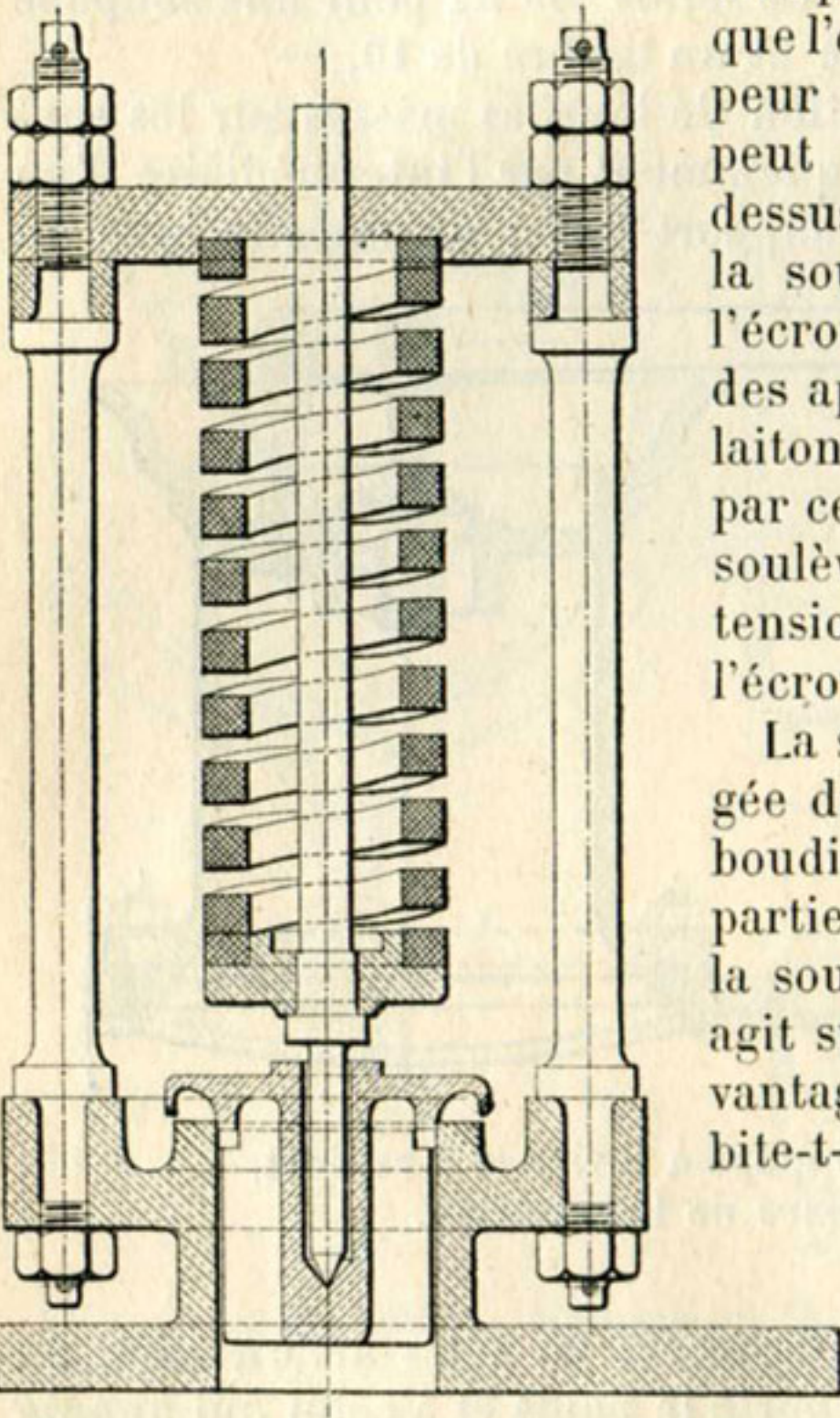


Fig. 70. — Soupape Adams, à gorge et à charge directe, pour locomotive.

pression ne dépasse guère le timbre augmenté de 0,5, et la fermeture se fait sans trop de retard.

Le disque supplémentaire de la soupape Lethuillier-Pinel (fig. 72) est extérieur et placé à petite distance d'un rebord du siège; des ailettes guident la soupape et le disque.

Les soupapes de sûreté d'une chaudière doivent toujours être en excellent état, bien rodées sur leur siège, et jouer librement, sans qu'aucun frottement vienne les gêner : caler les soupapes ou seule

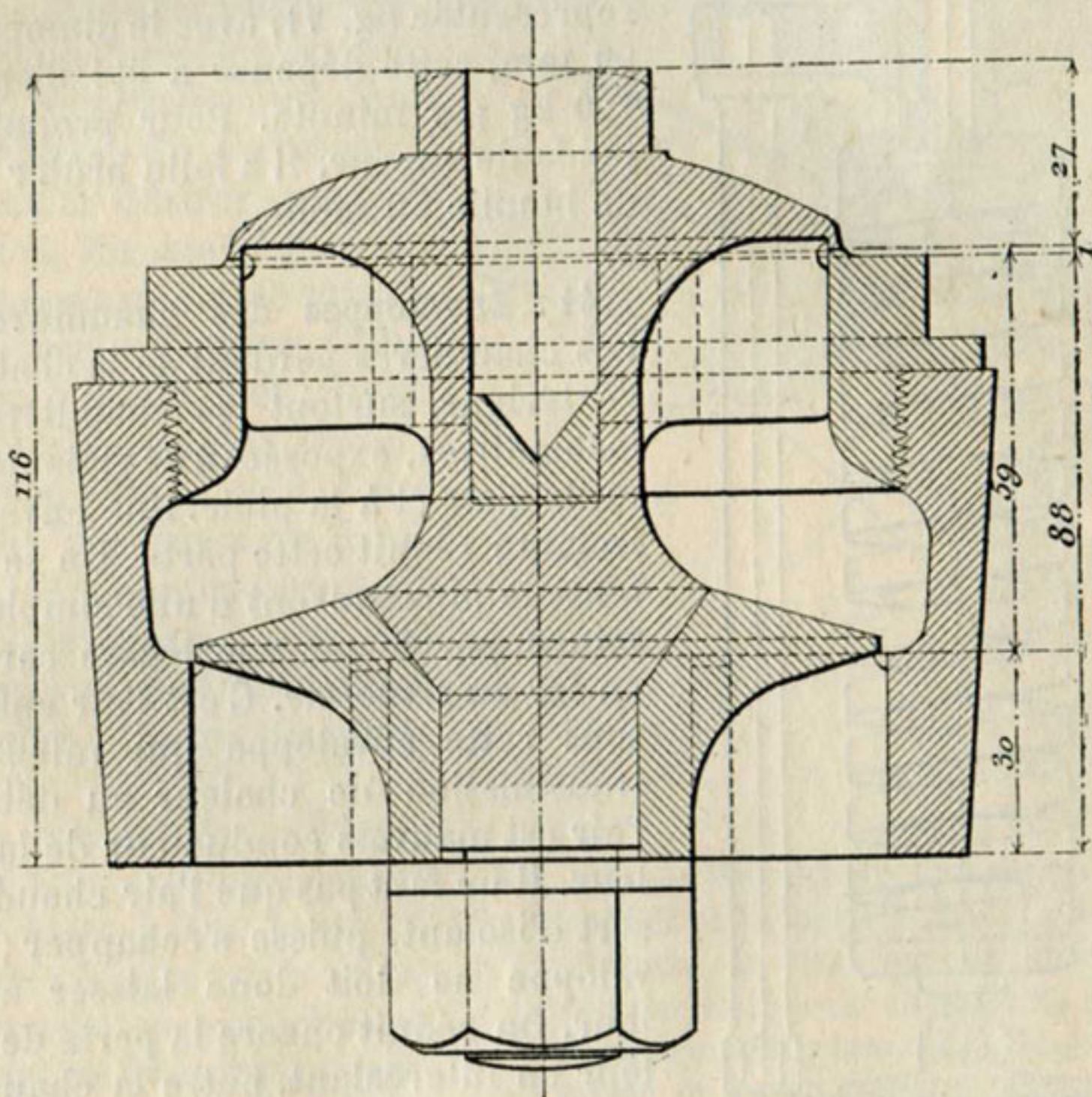


Fig. 71. — Soupape à disque des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

ment en gêner le fonctionnement est une faute des plus graves, et sans excuse. Avec les pressions élevées en usage aujourd'hui, on ne voit guère ce qu'on peut gagner à surcharger les soupapes; quand on veut forcer la machine, ce n'est pas l'excès de vaporisation, mais bien le manque de pression qui gêne. En calant les soupapes, on suivrait sans motif une ancienne tradition, qui date de l'époque où les pressions trop faibles, adoptées pour les chaudières, devaient être relevées, à tout prix, si l'on voulait obtenir des machines un effort suffisant.

Les mécaniciens et chauffeurs soigneux évitent de perdre trop souvent la vapeur par les soupapes, en réglant bien le feu, en ali-

mentant abondamment la chaudière au moment où la pression approche trop de sa valeur limite, enfin en réchauffant l'eau du tender.

La quantité de vapeur débitée par une soupape de locomotive ouverte en grand est en effet considérable, puisqu'elle doit donner issue à toute la vapeur produite : dans des expériences exécutées sur la soupape représentée fig. 71, avec le diamètre de 90 mm, cette dépense a été d'environ 100 kg par minute. Pour produire ce poids de vapeur, il a fallu brûler 12 kg de houille au moins.

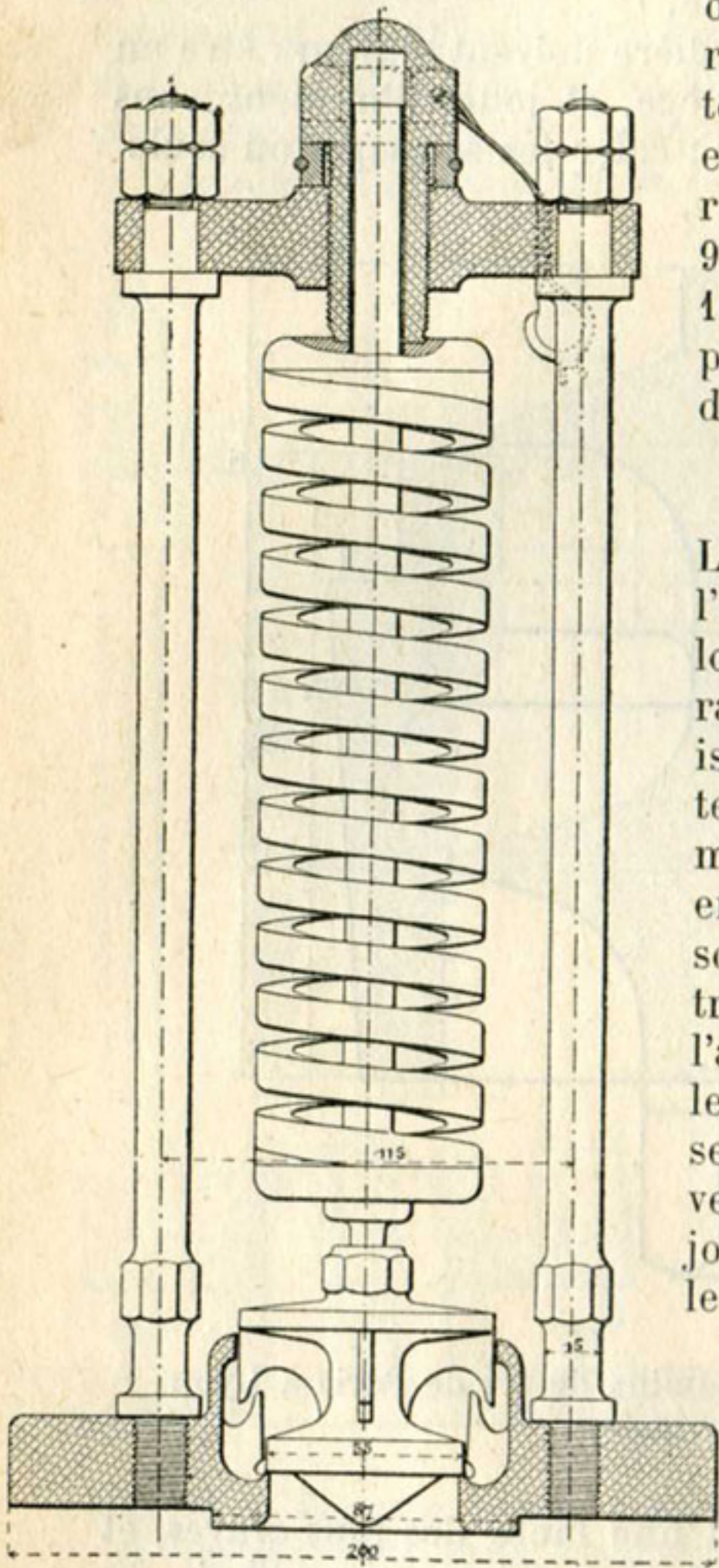


Fig. 72. — Soupape Lethuillier-Pinel des locomotives des chemins de fer de l'Ouest. (D'après M. Demoulin.)

41. 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 *crinoline*. 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, des substances peu conductrices, telles que bois, feutre, liège, 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 quantité de chaleur perdue par une chaudière sans enveloppe, tandis qu'avec un bon isolant la perte n'était que du tiers. La chaleur perdue, avec l'enveloppe simple de tôle, correspondait, par vingt-quatre heures, à la combustion de 150 kg 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.

42. Accessoires des chaudières. — Le sifflet est une cloche en bronze qui vibre quand une nappe de vapeur en frappe le bord ; les vibrations, au nombre de plusieurs centaines ou de plusieurs milliers par seconde, se communiquent à l'air. 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.

Il est regrettable que tant de sifflets de locomotive laissent à désirer sous ce rapport. En Amérique, les sifflets ont une note grave ; 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. Un bon mouvement de sifflet donne une ouverture et une fermeture franches, sans tremblements.

Le robinet de vidange, placé à la partie inférieure de la boîte à feu, porte un pas de vis pour recevoir les tuyaux qui servent à l'écoulement de l'eau et au remplissage.

Il est commode de trouver sur les locomotives une prise de vapeur, avec un raccord bien calibré, pouvant recevoir un tuyau flexible : cette prise fournit de la vapeur pour le ramonage des tubes, pour la commande d'un pulsomètre ou d'un éjecteur servant à l'élévation de l'eau, pour le réchauffage de l'eau dans des bouillottes ou dans la chaudière d'une autre locomotive.

Plusieurs orifices sont nécessaires pour le lavage et le nettoyage de la chaudière. Les plus petits sont fermés par des bouchons filetés. Pour que les tringles de nettoyage n'usent pas les filets de vis, on peut placer l'ouverture dans un siège rivé ou vissé, portant un filetage extérieur, sur lequel se visse un chapeau (fig. 73). D'autres

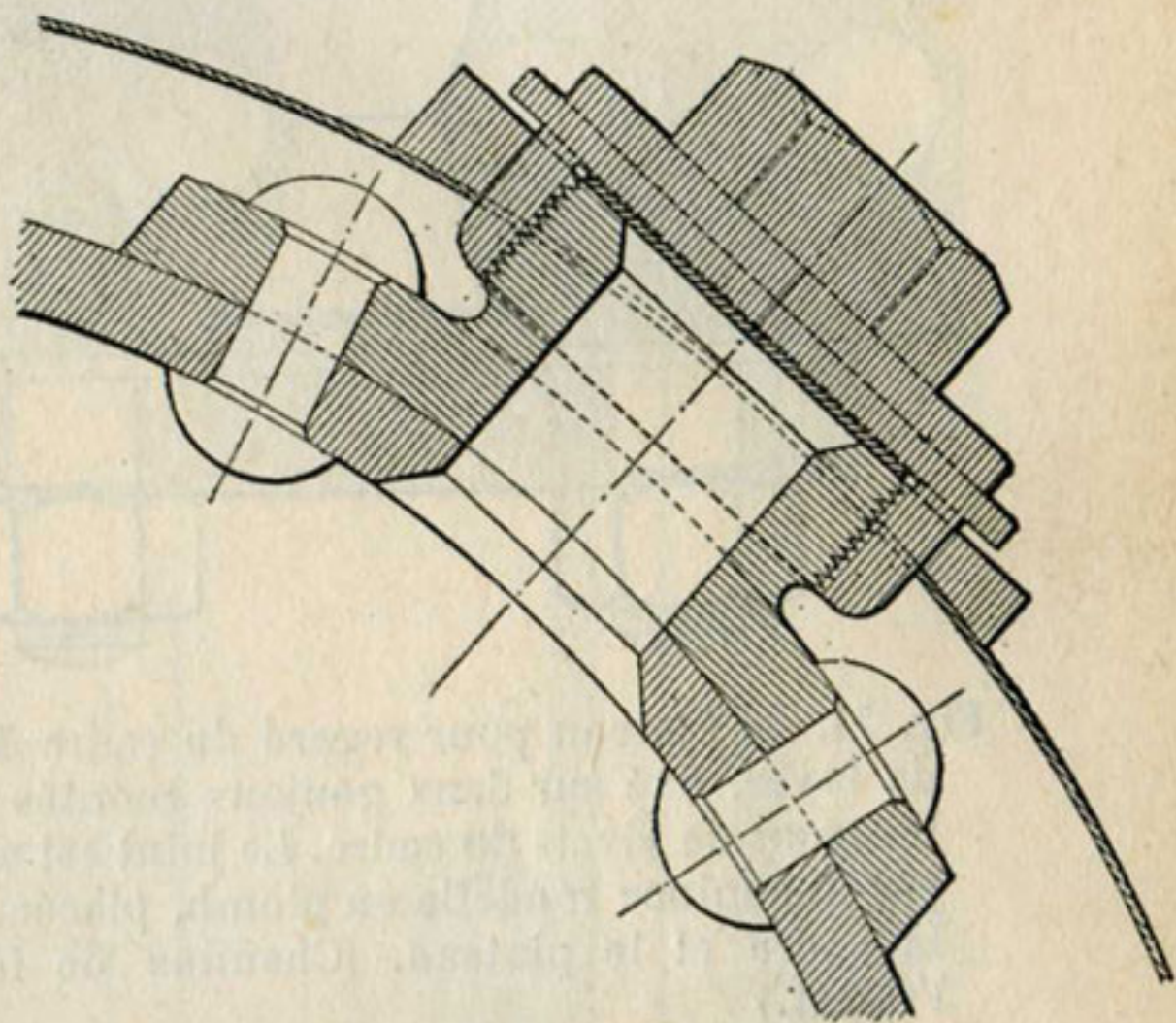


Fig. 73. — Regard de lavage monté sur l'arrondi de la boîte à feu. Le bouchon, en bronze, se visse sur une pièce en fer, rivée sur la tôle de chaudière, et filetée extérieurement ; une rondelle en cuivre, épaisse de 2 mm, assure l'étanchéité du joint entre les deux pièces. Le bouchon porte une embase qui appuie sur une rondelle fixée à l'enveloppe de la chaudière. (Locomotives des chemins de fer de l'Ouest.)

ouvertures se ferment à l'aide de tampons autoclaves ou de plateaux extérieurs (fig. 74).

43. Indicateurs du niveau de l'eau. — Deux appareils distincts font connaître le niveau de l'eau dans la chaudière. L'un est le tube en verre, qui laisse voir l'eau même, tube prescrit en France par l'art. 11 du décret du 30 avril 1880. C'est un instrument commode, mais certaines précautions sont nécessaires pour que les indications n'en soient

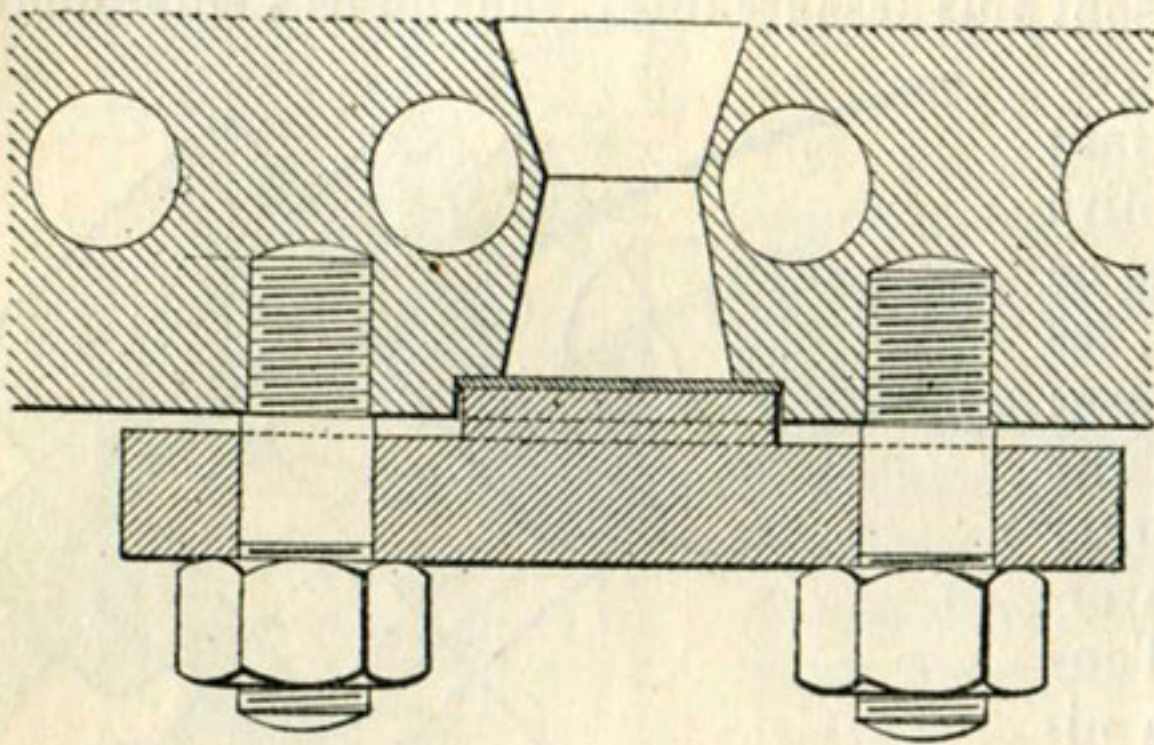


Fig. 74. — Plateau pour regard du cadre de bas de foyer, fixé sur deux goujons montés entre les trous de rivets du cadre. Le joint est assuré par une mince rondelle en plomb, placée entre le cadre et le plateau. (Chemins de fer de l'Ouest.)

pas trompeuses. Il faut d'abord que les tubulures, qui le font communiquer avec la chaudière, ne se bouchent pas; quand la machine est en lavage, on y passe une raclette; en marche, on doit ouvrir le robinet de purge au moins une fois toutes les heures. A défaut de ces précautions, le tube peut rester plein d'eau quand la chaudière se vide.

Le joint étanche du tube en verre dans

les tubulures en bronze est assuré au moyen d'une bague en caoutchouc serrée par un presse-garniture (fig. 75). Quelquefois le caoutchouc pénètre en dessous du verre, qui risque alors d'être bouché (fig. 75 bis) : on évite cet accident en plaçant contre la bague en caoutchouc, en dessus et en dessous, une petite tresse en chanvre, à moins que la monture ne soit construite de manière à éloigner suffisamment le caoutchouc de l'extrémité du tube (fig. 75).

Il importe que les robinets du tube de niveau se manœuvrent toujours facilement, pour 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 qu'ils se ferment ensemble (fig. 76). Ces robinets ne doivent pas fuir. Des robinets qui pleurent ou qu'on ne peut faire tourner font aussitôt juger que le personnel des machines et des dépôts manque de soin. On doit avoir sur chaque locomotive deux ou trois tubes de rechange, coupés à la longueur convenable.

M. Olivier, mécanicien aux chemins de fer de l'Ouest, a imaginé un montage qui facilite beaucoup le remplacement d'un tube : le tube

de verre est simplement serré à ses deux extrémités (fig. 77) par l'effet d'un ressort et de la pression de la vapeur : le ressort agit sur une pièce métallique T T, qui passe à travers une garniture. Pour mettre en place un tube, il suffit d'abaisser cette pièce à l'aide d'un petit levier. Les extrémités du tube en verre sont coniques, ce qui en complique la préparation; il semble qu'on pourrait remplacer ces portées coniques par des faces planes. Ce système ingénieux n'a malheureusement pas fonctionné aussi bien qu'on pouvait l'espérer.

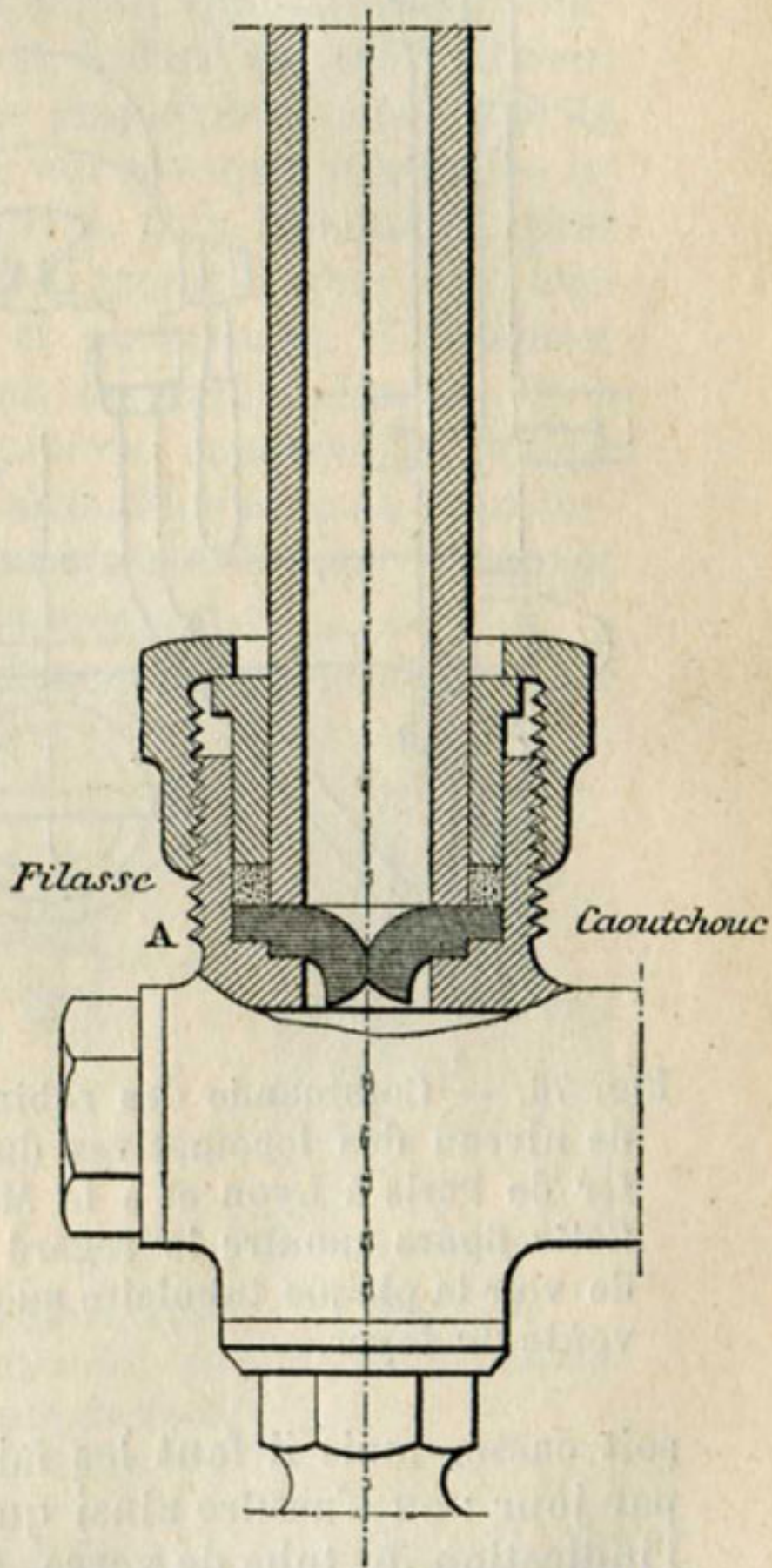
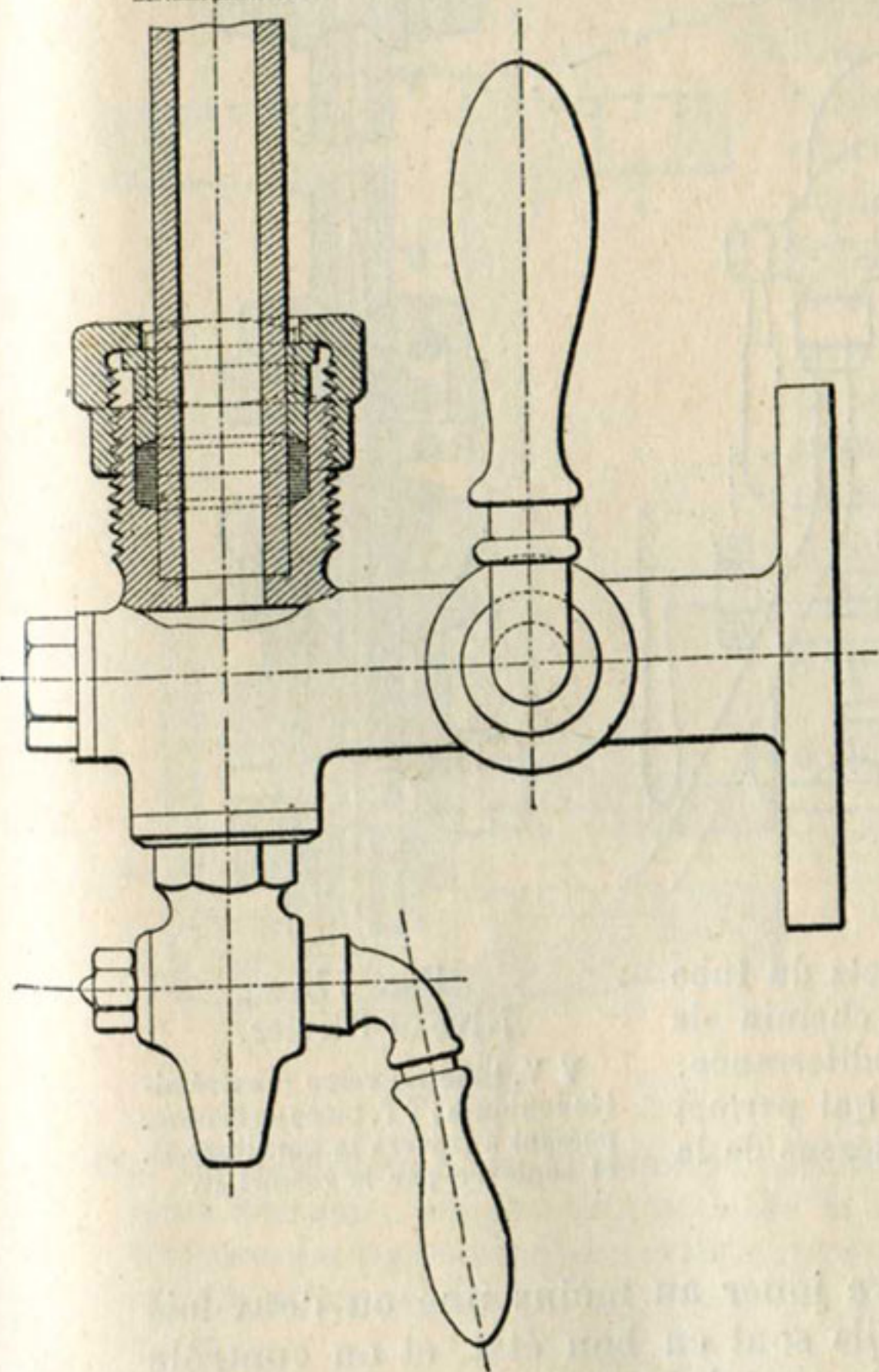
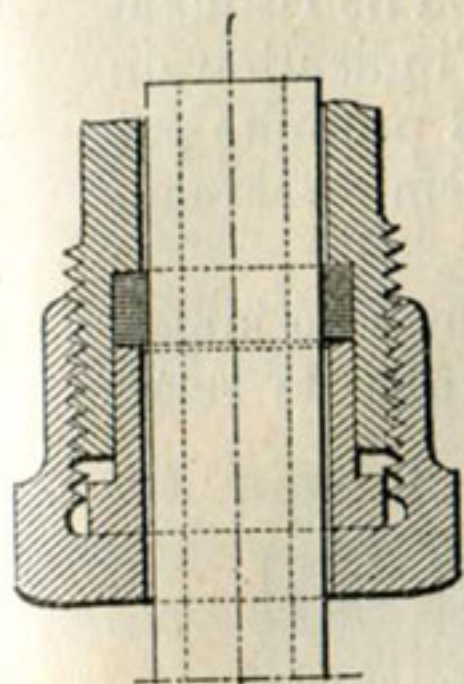


Fig. 75. — Garniture disposée pour éviter l'obstruction du tube. (D'après M. Walckenaer.)

Fig. 75 bis. — Tube en verre bouché par la bague en caoutchouc de la garniture. (D'après M. Walckenaer.)

La fermeture de certains niveaux est automatique, pour boucher

les issues de l'eau et de la vapeur quand le tube se brise. Ces appareils doivent être étudiés et entretenus avec soin, sinon ils risquent de se fermer à tort, surtout au moment des purges : l'indication du tube est alors faussée. La fermeture automatique est produite par de petites billes ou par des soupapes coniques (système Serveau, fig. 78).

Le second appareil de niveau se compose de robinets de jauge. On ne doit pas attendre, pour s'en servir, que le tube de verre

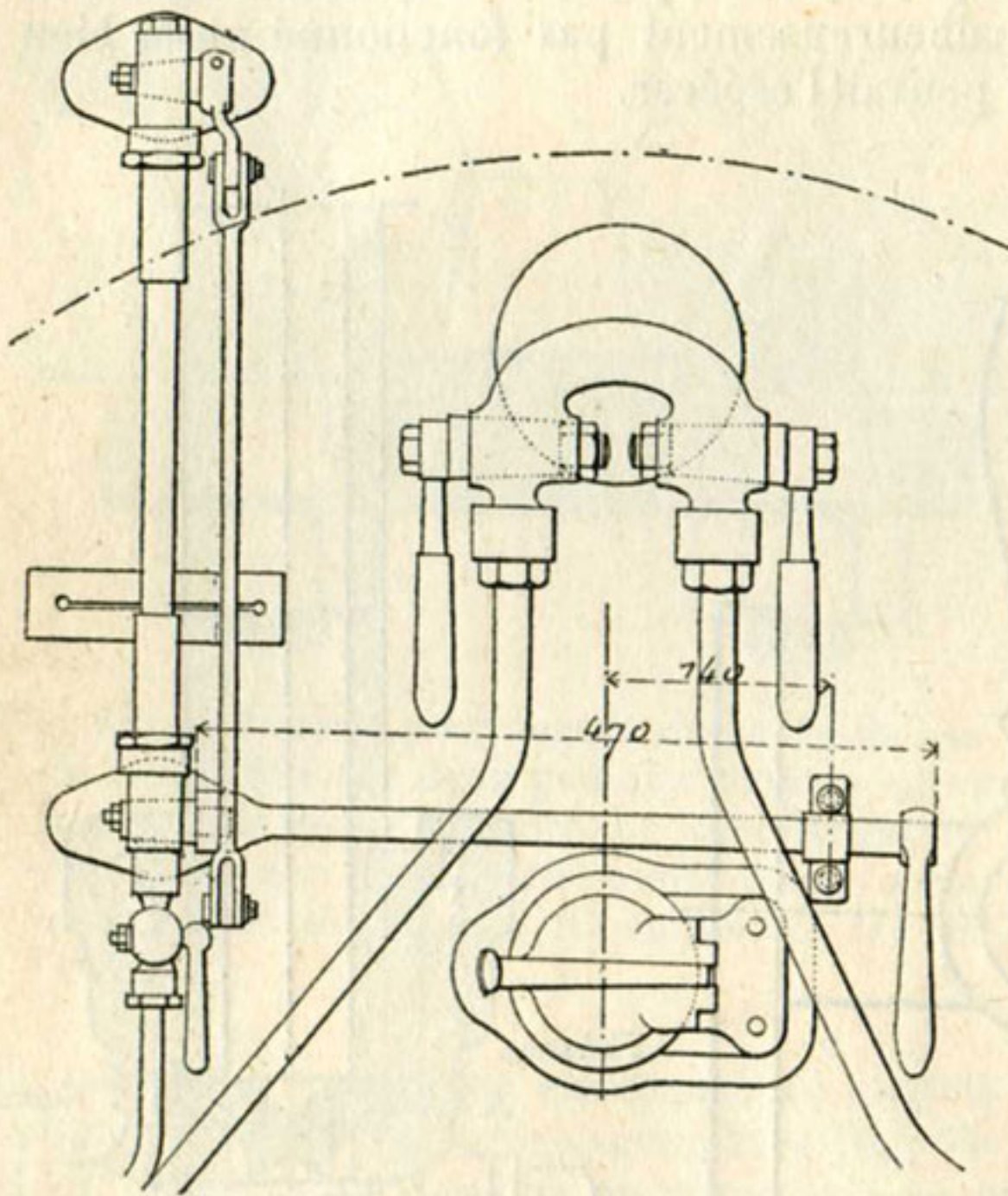


Fig. 76. — Commande des robinets du tube de niveau des locomotives du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Cette figure montre le regard qui permet de voir la plaque tubulaire au-dessus de la voûte du foyer.

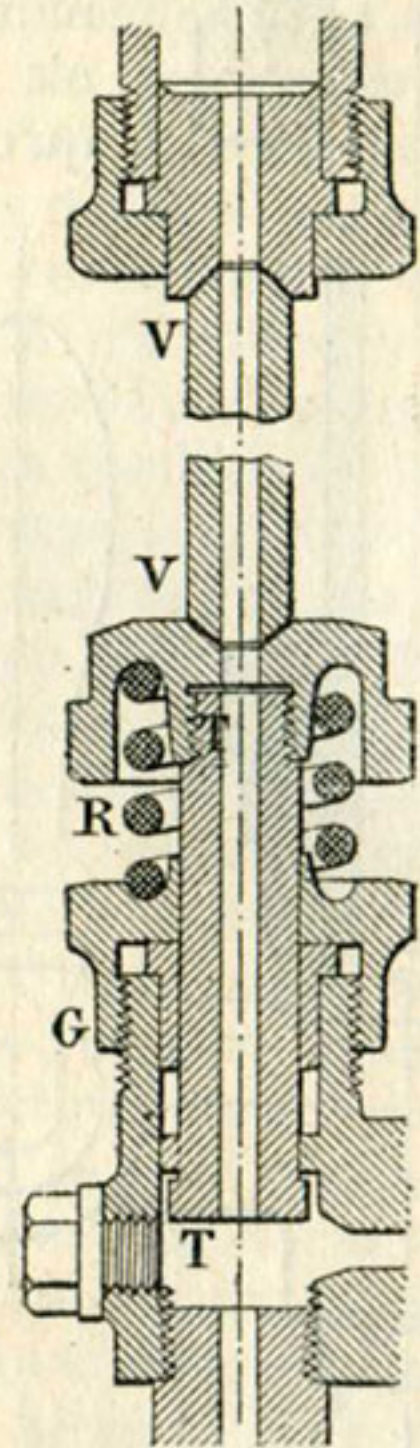


Fig. 77.
Niveau Olivier.

V V, tube en verre à extrémités coniques ; T T, pièce en bronze, passant à travers la garniture G, et soulevée par le ressort R.

soit cassé, mais il faut les faire jouer au moins une ou deux fois par jour : on s'assure ainsi qu'ils sont en bon état, et on contrôle l'indication du tube de verre. On remplace quelquefois ces robinets par un second tube en verre ; les indications des deux tubes se vérifient réciproquement.

Pour atténuer les effets désastreux d'un manque d'eau, le ciel du foyer porte deux *bouchons fusibles* (fig. 79), dont le plomb fond quand il n'est plus refroidi par l'eau. La vapeur éteint alors le feu

et la machine ne peut continuer sa marche. Il faut construire avec soin ces bouchons, et on ne doit pas les laisser s'entarter; car le plomb pourrait se détacher ou fondre sans que l'eau ait manqué.

La limite inférieure du niveau de l'eau, marquée sur la chaudière, doit être à 10 cm au-dessus du foyer; le décret du 30 avril 1880 n'exige que 6 cm. Les mécaniciens feront 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.

44. 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. On a quelquefois conservé la pompe pour alimenter avec de l'eau fortement réchauffée par la vapeur d'échappement.

L'alimentation peut être conti-

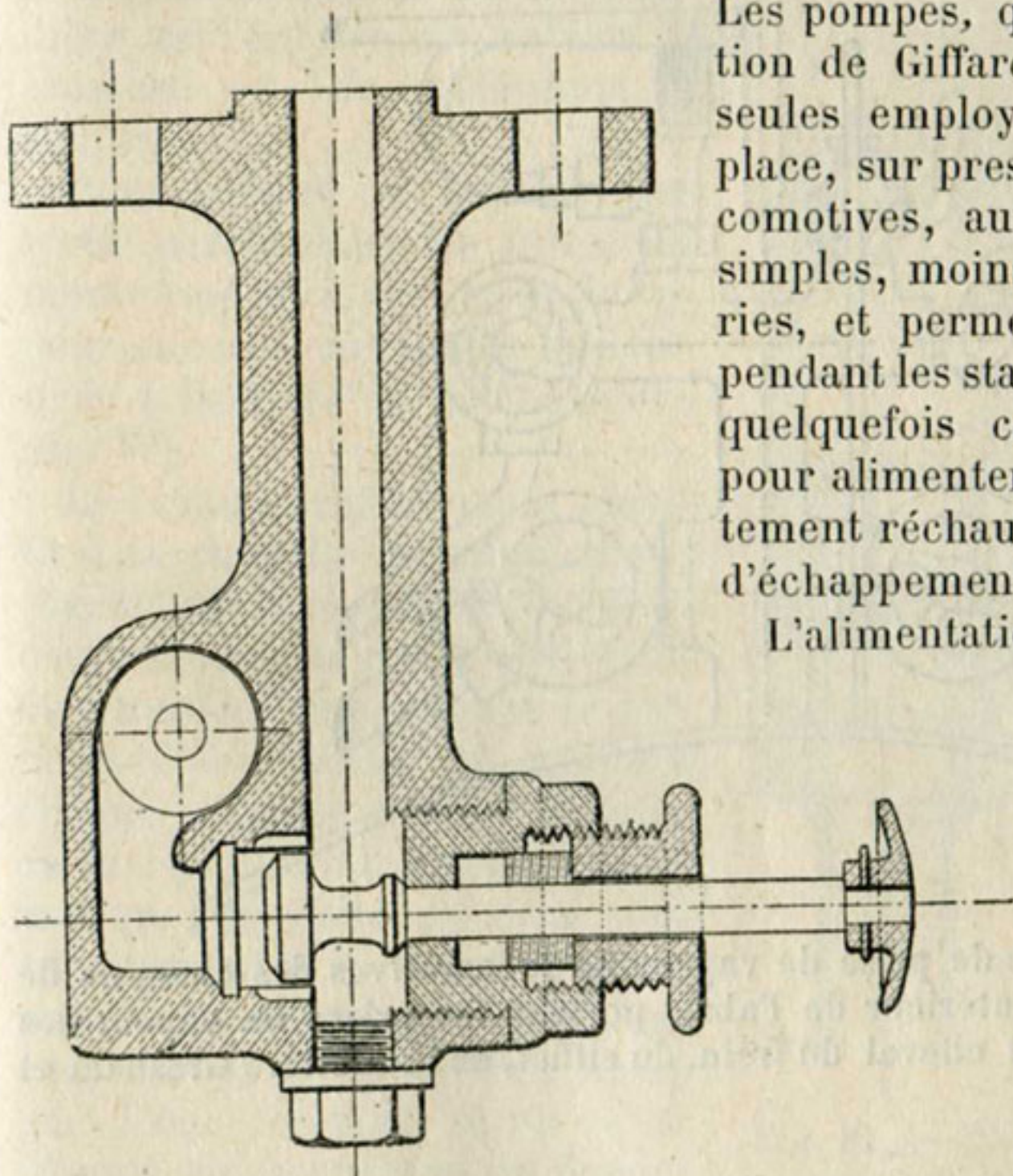


Fig. 78. — Niveau d'eau à fermeture automatique, système Serveau; coupe horizontale de la tubulure inférieure. La tige sortant à l'extérieur permet de rouvrir la soupape, après remplacement d'un tube.

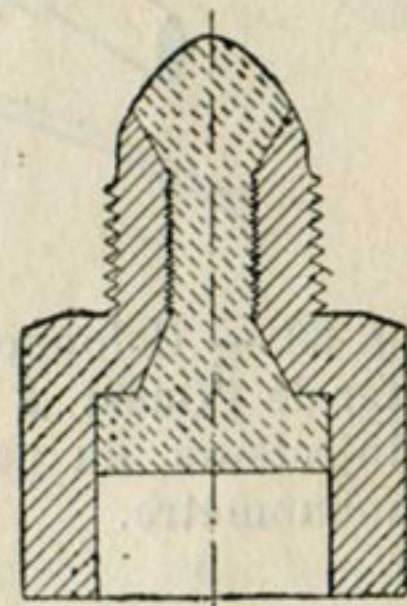


Fig. 79. Bouchon fusible.

nue 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 parfois 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.

Sur les profils très variables, au contraire, l'alimentation discontinue est commode. La chaleur fournie par le combustible doit d'abord échauffer l'eau jusqu'à la température de la vapeur, puis ensuite la vaporiser : l'eau étant prise à 15° et la pression étant de 10 kg par cm², on a vu que 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 qui y pénètre sert alors à transformer

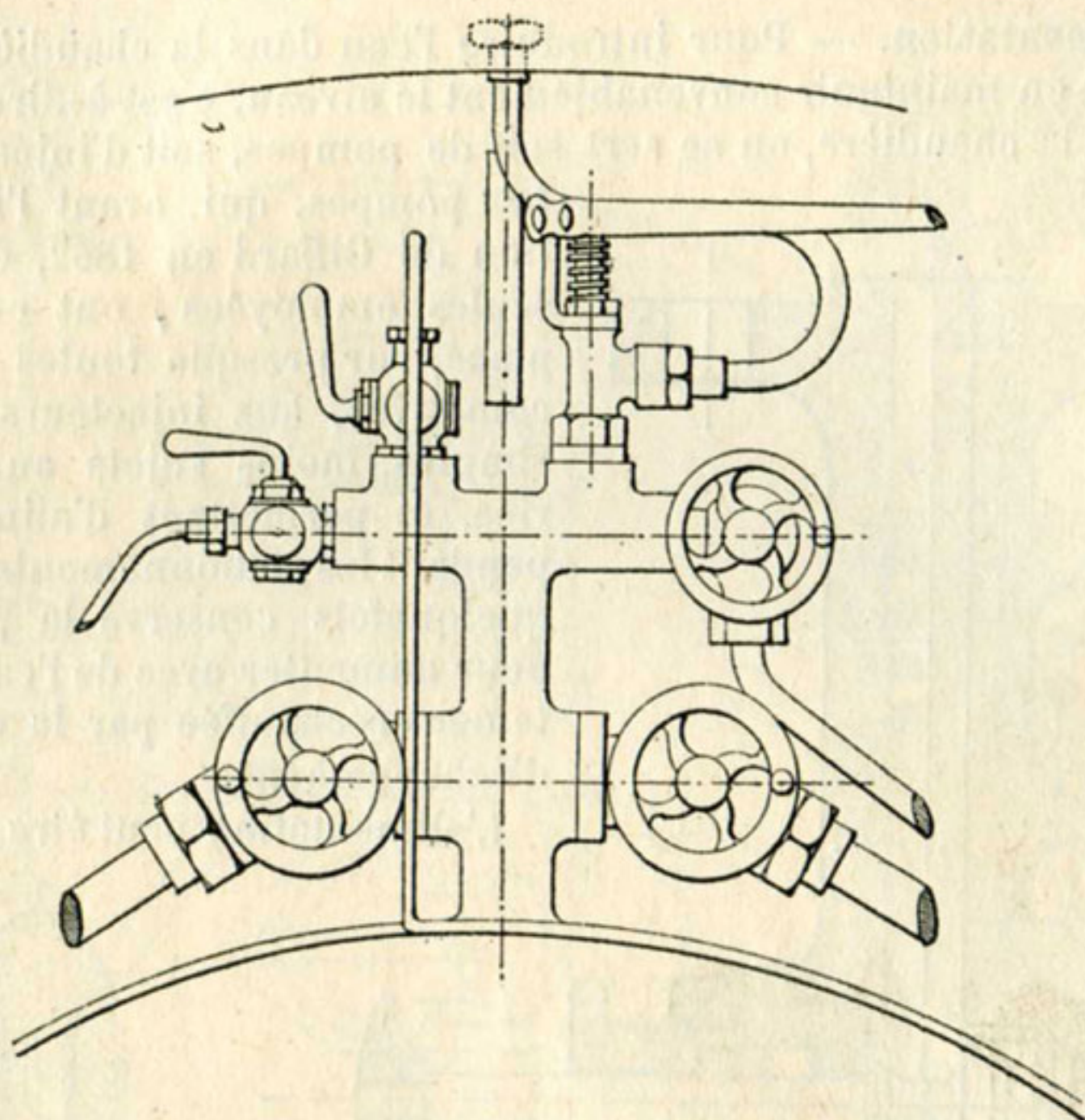


Fig. 80. — Colonnnette de prise de vapeur de locomotives des chemins de fer de l'Ouest, à l'intérieur de l'abri, portant les prises de vapeur des injecteurs, du petit cheval du frein, du sifflet, de la sablière Gresham et manomètre.

l'eau chaude en vapeur : la quantité de vapeur produite peut être ainsi augmentée, sans que la pression tombe. Mais 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. 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.

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. En outre, l'abaissement excessif du niveau de l'eau, en montant les rampes, est dangereux, par suite du mouvement de bascule fait par la locomotive en passant de la rampe à une pente ou même à un palier.

45. Tuyauterie d'alimentation. — Les appareils d'alimentation exigent des tuyaux souvent longs et compliqués. La tuyauterie est distincte pour chacun des injecteurs, qui 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 à boisseau ou, de préférence, à soupape.

Pour réduire le nombre des trous percés dans les tôles, on monte une série de prises de vapeur sur une colonnette unique fixée à l'arrière de la chaudière (fig. 80).

Le tuyau de refoulement aboutit à la chapelle de refoulement (fig. 81) 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 de la chaudière la soupape automatique; la visite de cette soupape, quand la locomotive est en pression, présente quelque danger, 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 être revêtues de matières isolantes, et il faut avoir soin de ne jamais les laisser pleines d'eau quand elles ne servent pas. Il y a intérêt à les simplifier, par exemple en montant directement les injecteurs sur la face arrière des chaudières (§ 47).

46. Pompes. — Les pompes sont à piston plongeur, jouant à travers une garniture; les soupapes d'aspiration et de refoulement sont parfois des boulets creux en bronze. Le piston est commandé par une bielle, qui s'articule sur le collier d'un des excentriques de dis-

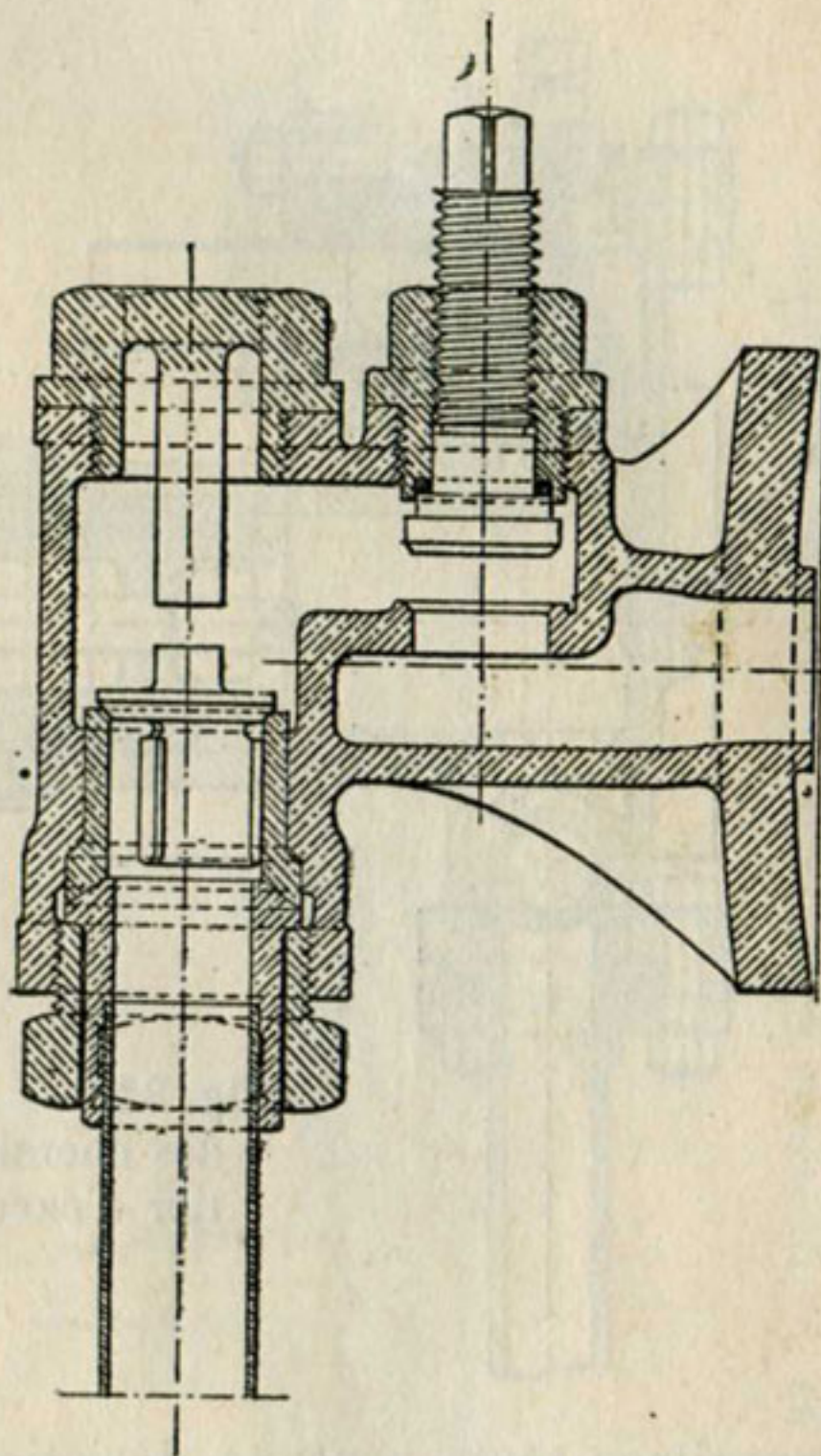


Fig. 81. — Chapelle de refoulement, avec fermeture auxiliaire par soupape à vis.

tribution (fig. 82), ou bien est mené directement par la tige du piston.

Pour alimenter, on ouvre la prise d'eau sur le tender; on la referme quand on veut arrêter l'alimentation. Le robinet d'épreuve, monté sur le tuyau de refoulement, permet de vérifier si la pompe refoule effectivement de l'eau : il doit lancer un jet au dehors quand il est ouvert.

A grande vitesse, les pompes donnent souvent des chocs violents. On cherche à éviter ces chocs en traçant les appareils de manière à

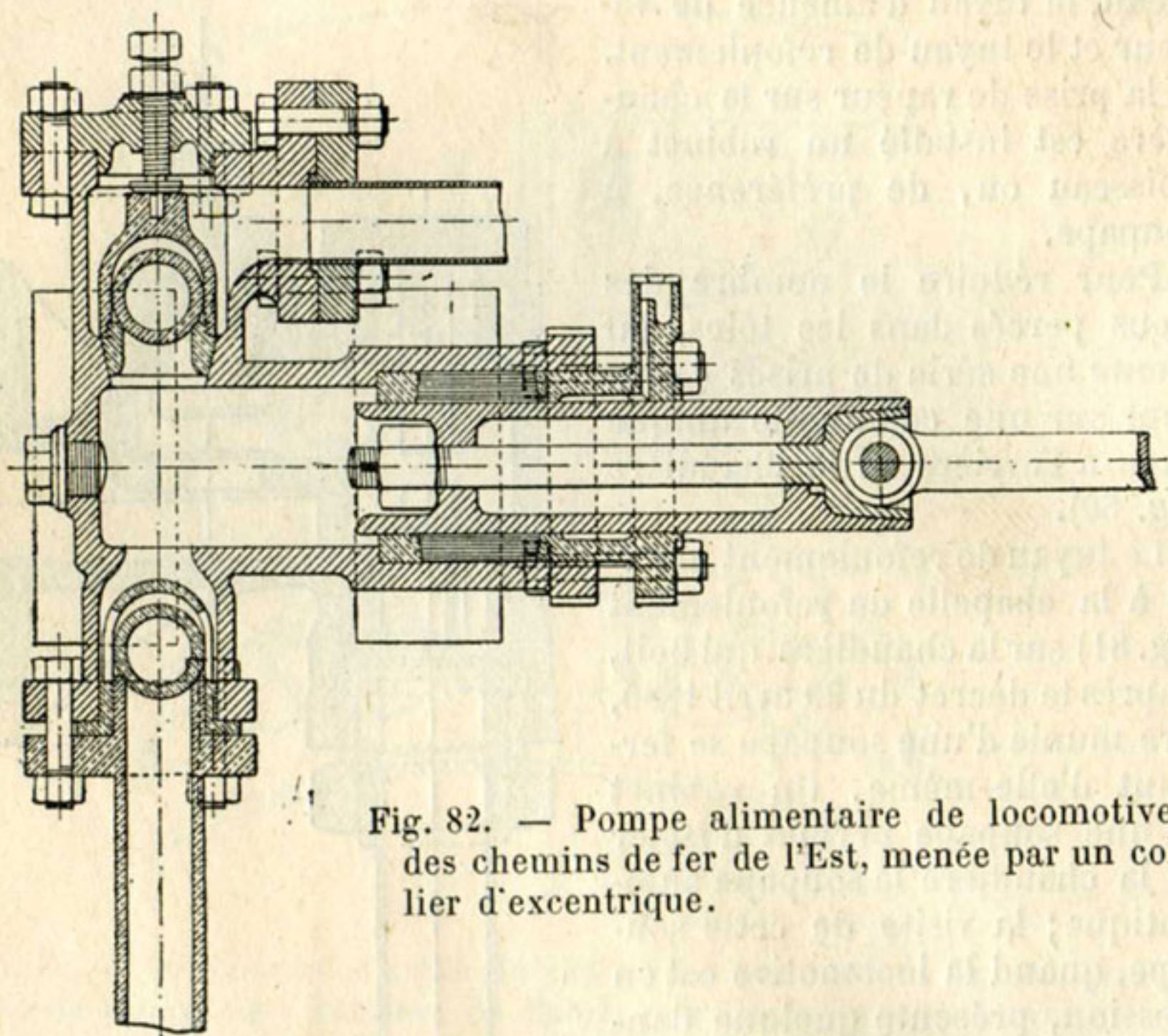


Fig. 82. — Pompe alimentaire de locomotives des chemins de fer de l'Est, menée par un collier d'excentrique.

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.

Quand l'eau aspirée est très chaude, les pompes fonctionnent difficilement. On en facilite la marche en perçant dans le corps de pompe un très petit trou, qui donne lieu à une fuite d'eau insignifiante pendant le refoulement.

47. Injecteurs. — Bien que différant d'aspect, la plupart des injecteurs comportent les mêmes organes essentiels. La *tuyère* laisse écouler avec une grande vitesse un jet de vapeur venant 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*, simple ajustage conique, ou composée de plusieurs cônes convergents; cette chambre ou cheminée reçoit l'eau par une prise spéciale; la vapeur se condense au contact de l'eau et il se forme un jet d'eau chaude 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; 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

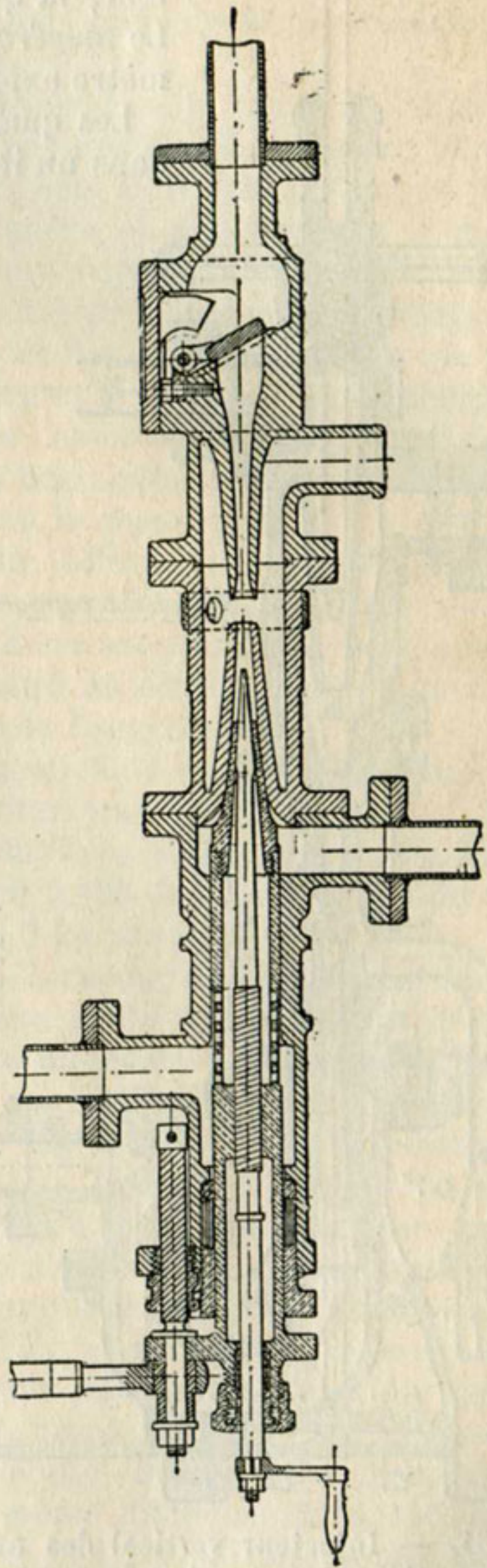


Fig. 83. — Injecteur Giffard des chemins de fer de l'Est.

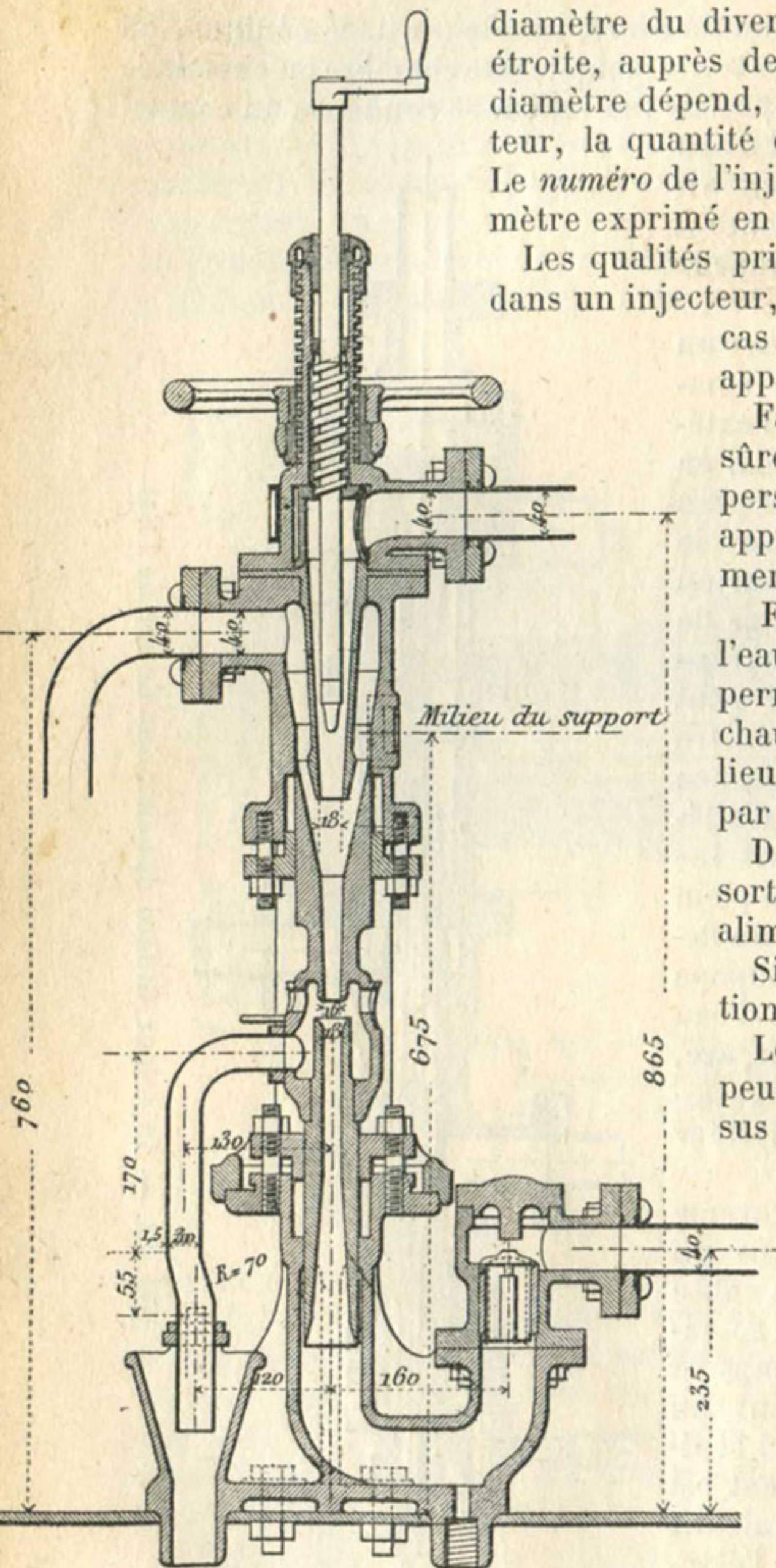


Fig. 84. — Injecteur vertical des anciennes locomotives des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, dérivé du type Giffard.

diamètre du divergent à sa section la plus étroite, auprès de son embouchure : de ce diamètre dépend, pour chaque type d'injecteur, la quantité d'eau qu'il peut refouler. 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, font 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 ;

Fonctionnement avec de l'eau assez chaude, ce qui permet des économies en réchauffant l'eau du tender au lieu de laisser perdre la vapeur par les soupapes ;

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

Simplicité de la construction et facilité de l'entretien.

Les injecteurs *aspirants* peuvent être montés au-dessus du niveau de l'eau dans la

bâche où ils la puisent ; les injecteurs *non aspirants* doivent recevoir l'eau en charge, ce qui oblige à les placer en dessous du tablier de la locomotive.

On trouve encore en service l'injecteur Giffard, à peu près tel qu'il est sorti des mains du célèbre inventeur (fig. 83) : 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 intérieure est le principal défaut de l'injecteur Giffard ; dans les types de Turck, et des chemins de fer de Lyon (fig. 84), la pièce qui porte la tuyère et le divergent est mobile entre deux garnitures, qu'on resserre de l'extérieur. Le trop-plein s'ouvre librement au dehors. Un clapet ou une soupape ferme l'extrémité du divergent, du côté du refoulement à la chaudière.

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 par cm^2 , 60 à 120 litres d'eau prise au tender par minute. Ces nombres deviennent 80 à 130 pour la pression de 13 kg par cm^2 , et 40 à 100 pour celle de 7 kg par cm^2 .

Dans l'injecteur Sellers (fig. 85), la vapeur non seulement sort par la tuyère, mais forme en outre une petite nappe autour de cette tuyère. La soupape, commandée par un levier, commence par donner passage seulement à cette nappe auxiliaire de vapeur, à cause du téton qui s'engage dans la tuyère : elle produit alors 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'appliquant de l'extérieur vers l'intérieur, 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. Une soupape, au bout du divergent, 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 (70 à 140 litres, sous la pression de 10 kg, au lieu de 60 à 120). Il fonctionne encore avec de l'eau à la température de 50°. La manœuvre en est très facile, mais l'appareil doit être très bien construit et bien entretenu. Il faut notamment que la fente annulaire, qui donne la nappe auxiliaire de vapeur autour de la tuyère, ne soit pas trop large.

L'injecteur Friedmann et Lavezzari (fig. 86), a beaucoup d'ana-

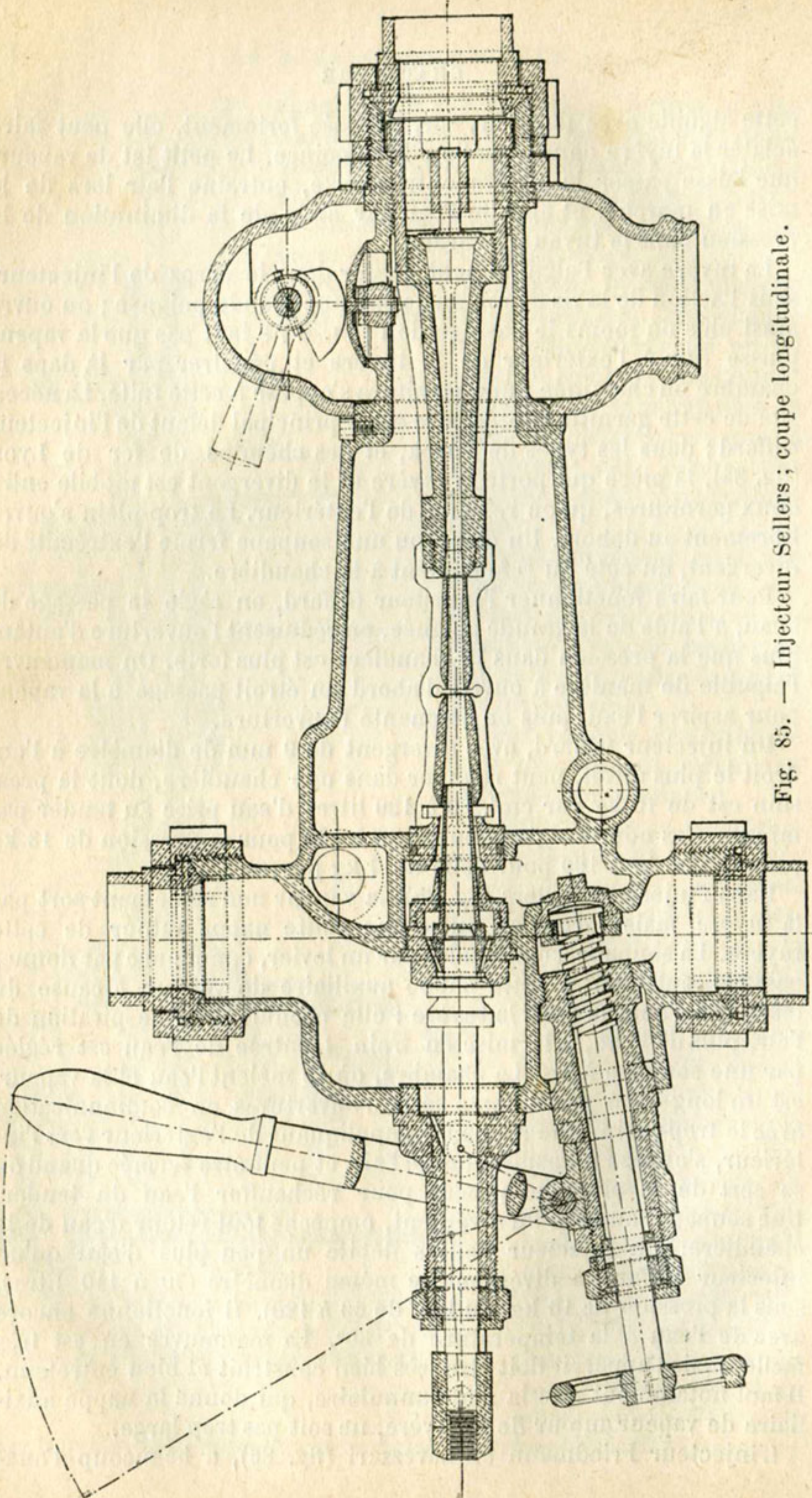


Fig. 85. — Injecteur Sellers ; coupe longitudinale.

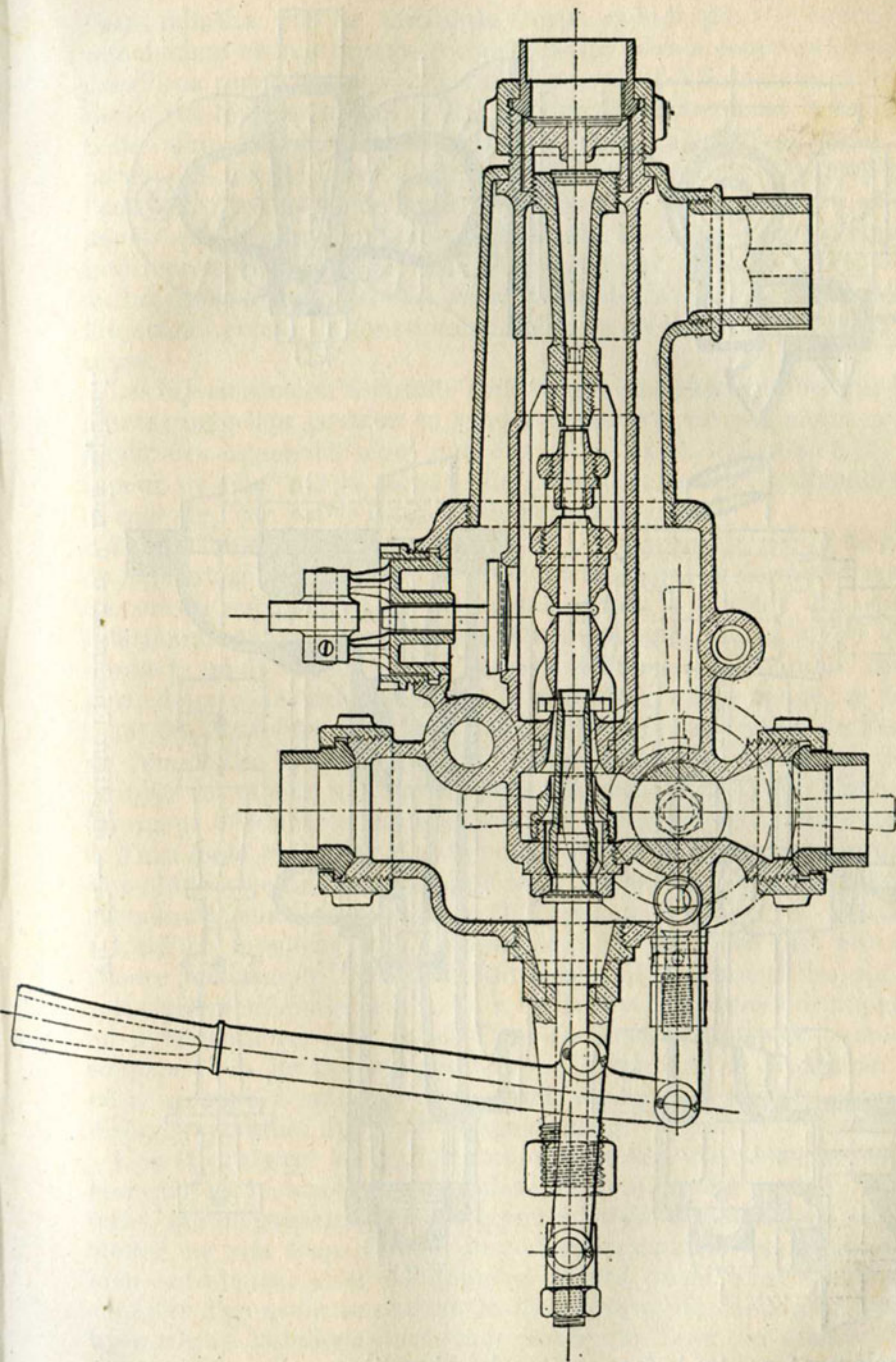


Fig. 86. — Injecteur Friedmann et Lavezzari ; type aspirant horizontal.

logie avec le précédent. Cet injecteur est aussi disposé pour se placer

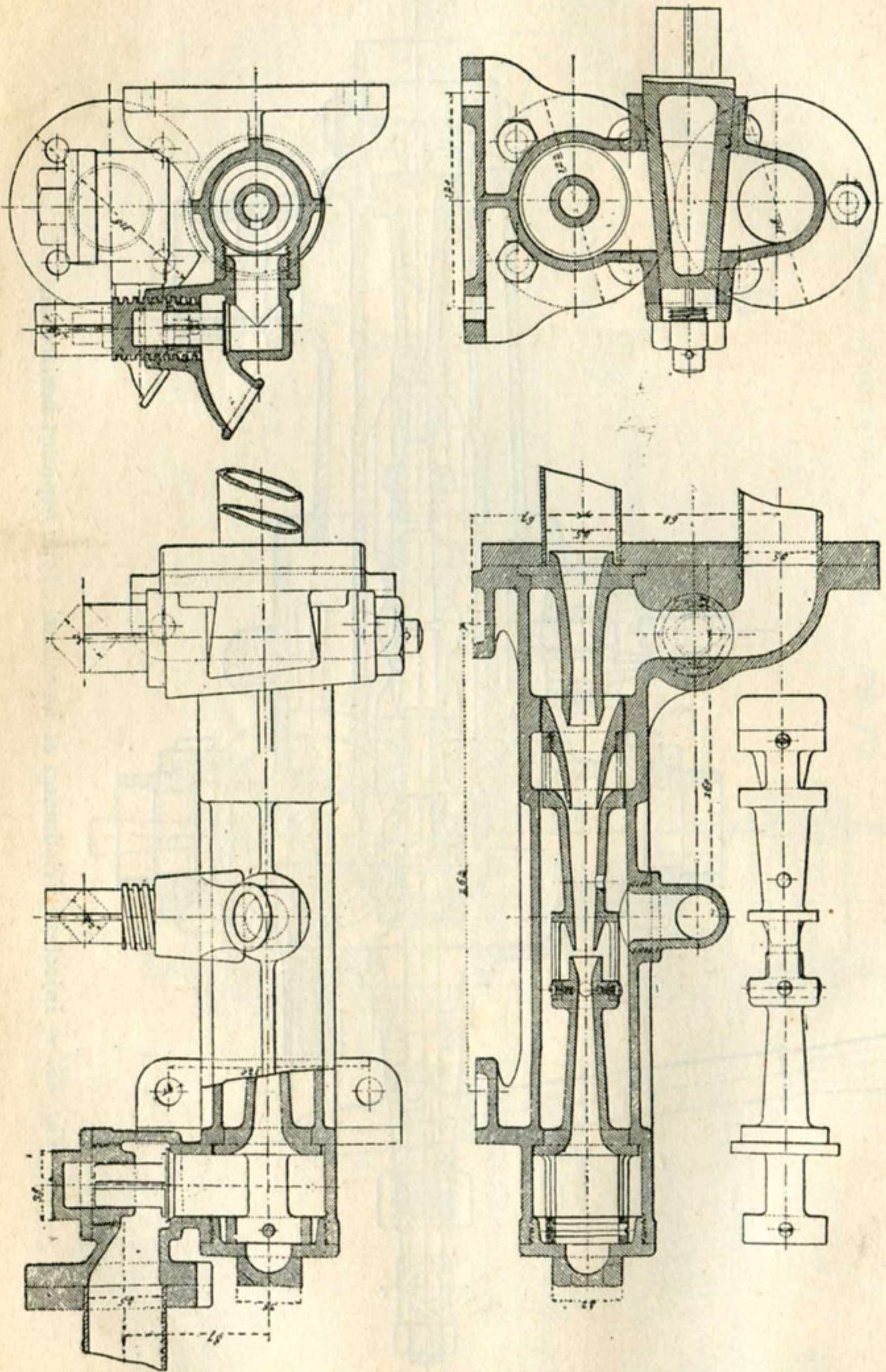


Fig. 87. — Injecteur Friedmann n° 9, non aspirant.

verticalement, contre la face arrière des chaudières; alors un tuyau intérieur prend la vapeur sèche dans le dôme; un autre tuyau porte

l'eau refoulée vers le milieu du corps cylindrique. Ce tuyau de refoulement est d'ordinaire recourbé de manière à toujours plonger dans l'eau ; mais on ne voit pas d'inconvénient à le maintenir horizontal sur toute sa longueur et à le faire déboucher dans la vapeur. Cette alimentation dans la vapeur, qu'on craignait autrefois, ne paraît pas nuisible ; au contraire, elle offre certains avantages : l'eau arrive moins froide sur les tôles du fond de la chaudière, et les dépôts qu'elle laisse sont moins adhérents. Le tuyau de refoulement intérieur se remplit à la longue d'incrustations, et doit être visité et au besoin remplacé lors des réparations de la chaudière, ou bien l'injecteur refuse de fonctionner sans qu'on en trouve d'autre si cause.

Les injecteurs non aspirants sont en général plus simples que les autres ; mais leur position en rend la manœuvre un peu moins commode. Ces injecteurs n'ont que des cônes fixes ; l'admission de la vapeur s'y règle par la soupape de prise montée sur la chaudière, et celle de l'eau par le robinet que porte l'injecteur.

Tel est l'injecteur Friedmann (fig. 87), remarquable par la facilité de démontage ; 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. Dans cet appareil, la tuyère qui donne le jet de vapeur s'évase vers son débouché ; la chambre comporte deux cônes successifs ; sur le trop-plein, une soupape, se fermant de l'extérieur vers l'intérieur, empêche l'aspiration de l'air ; on immobilise 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. Cet injecteur prend de l'eau tiède jusqu'à 45 ou 50° ; avec un divergent de 9 mm, il débite 75 à 150 litres d'eau par minute, sous la pression de 10 kg par cm².

L'ancien injecteur des chemins de fer du Nord (fig. 88) est encore plus simple : il est réduit à ses pièces essentielles, qu'on voit clairement sur le dessin. En *n* est la tuyère d'arrivée de vapeur, en *a* la chambre, qui reçoit l'eau en charge lorsqu'on ouvre la soupape *f* : le jet s'écoule par le cône *o*, traverse le trop-plein *h*, où la soupape *k* empêche l'aspiration de l'air, et pénètre dans le divergent *p*, muni du clapet automatique *q*.

L'arrêt prolongé de l'alimentation entraîne une détresse. C'est pourquoi les locomotives sont habituellement munies de deux injecteurs, qui ne peuvent guère manquer à la fois, à moins que l'eau du tender ne soit trop chaude. Les chances d'avarie des injecteurs, bien entretenus, sont d'ailleurs si faibles qu'on s'est longtemps contenté d'en avoir un seul sur les locomotives du chemin de fer de Lyon. 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 chiffon, ou par la matière d'un joint pénétrant à l'intérieur : il n'y a

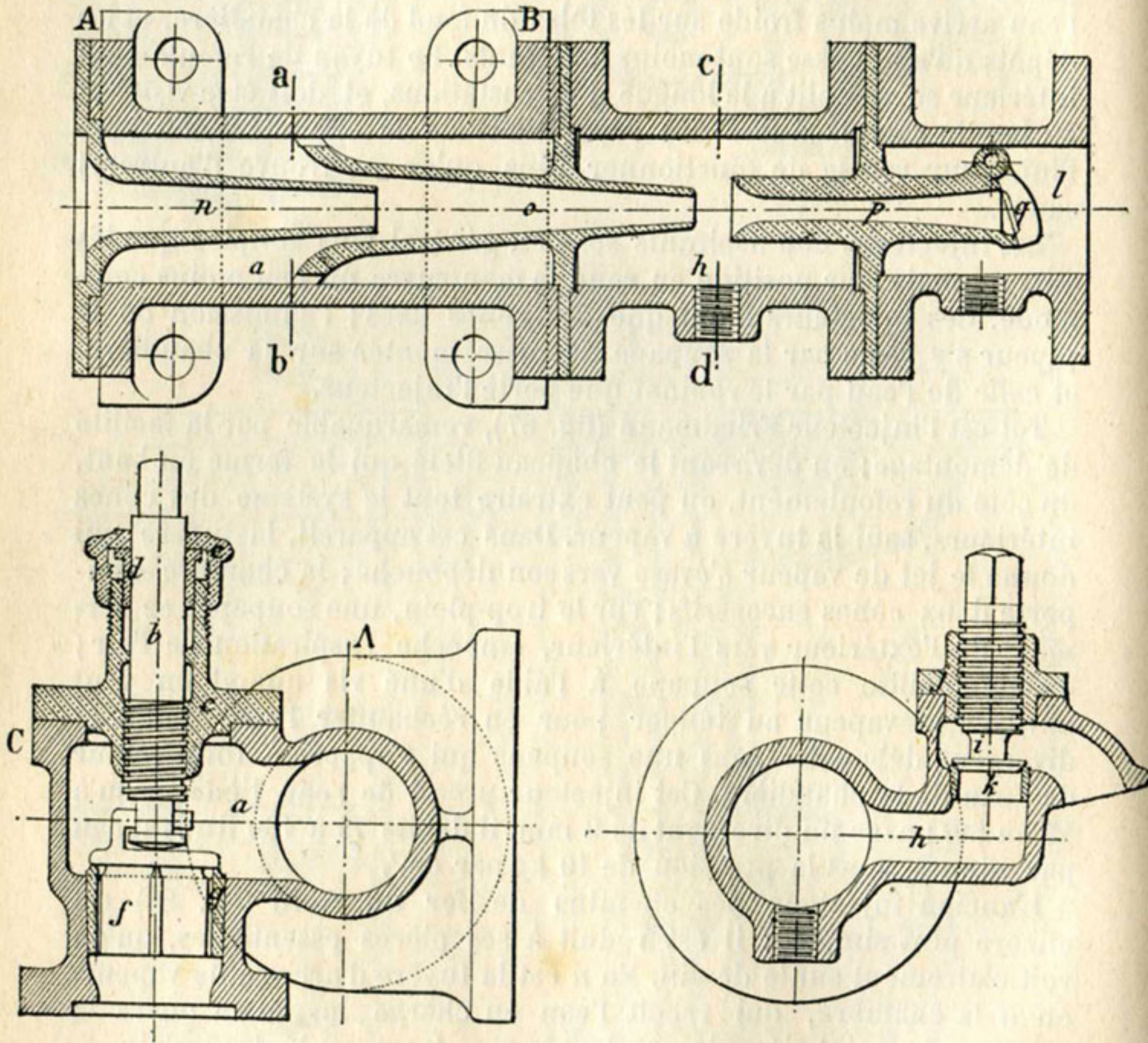


Fig. 88. — Injecteur du type Nord (ancien) : coupe longitudinale et coupes transversales *a b* et *c d*, par la soupape d'arrivée d'eau et par l'ouverture du trop-plein.

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.

48. Injecteurs à vapeur d'échappement. — On a souvent cherché à réduire la dépense de combustible dans les locomotives en réchauffant l'eau d'alimentation à l'aide d'une partie de la vapeur d'échappement ; la quantité de vapeur ainsi détournée, ne dépassant pas le quart ou le cinquième de ce que rejettent les cylindres, ne paraît pas assez grande pour que le tirage en soit notablement réduit. L'économie due au réchauffage de l'eau est évidente : mais on n'aime guère à monter sur les locomotives des appareils qui ne sont pas indispensables. L'injecteur à vapeur d'échappement est un de ces appareils. Au sortir du cylindre, la vapeur s'échappe avec une vitesse assez grande pour alimenter un injecteur convenablement disposé, pourvu que la pression au refoulement ne dépasse pas 4 ou 5 kg par cm². Pour les pressions plus élevées, qui existent dans la chaudière de locomotive, on ajoute à l'appareil une petite tuyère supplémentaire, qui reçoit directement la vapeur de la chaudière. En outre, dans l'appareil Davies et Metcalfe, l'eau envoyée par l'injecteur à vapeur d'échappement traverse un second injecteur, mis en action par la vapeur prise à la chaudière.

Un inconvénient accessoire de cet emploi de la vapeur d'échappement est l'envoi dans la chaudière de matières grasses provenant des cylindres : on tâche de séparer ces matières de la vapeur avant qu'elle n'entre dans l'injecteur.

49. 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 à l'intérieur de la chaudière. En outre, la plupart des eaux, même très claires, renferment en dissolution des substances solides. Tout le monde sait que le sel marin se dissout dans l'eau ; ce corps se rencontre quelquefois dans les eaux qu'on donne aux locomotives ; plus souvent le carbonate de chaux (craie) et le sulfate de chaux (pierre à plâtre) 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. Un peu soluble dans l'eau froide, le sulfate de chaux est insoluble à la température de 140° et se dépose dès que l'eau atteint cette température dans la chaudière.

La proportion des matières solides dissoutes dans l'eau, qu'on mesure par l'évaporation de l'eau, est très variable. Certaines eaux, exceptionnellement pures, ne contiennent que quelques centigrammes de matières solides par litre; très fréquemment, le résidu est de 20 à 30 centigrammes par litre; enfin il s'élève parfois à un gramme et au-dessus : on n'emploie des eaux aussi impures que par absolue nécessité.

Voici quelques exemples du résidu par litre laissé par des eaux, employées pour la plupart à l'alimentation des locomotives :

Source à Baccarat (Vosges).	2 à 3 cg.
Sources du Furens, à Saint-Etienne	3 —
L'Allier, à Langeac	7 —
Eau à Redon	8 —
Alimentation de Morlaix.	10 —
La Loire à Roanne	12 —
Alimentation de Cherbourg	15 —
Le lac de Genève, à Genève.	16 —
Alimentation d'Angers.	17 —
Le Rhône à Oullins	19 —
Alimentation de Brest.	19 —
Alimentations de Chartres, de Mantes	24 —
Alimentations de Châlons-sur-Marne, Gray, Mohon, Longwy, Reims.	25 —
L'Yonne à Laroche	27 —
Alimentations du Havre, de Granville	29 —
Alimentation d'Evreux.	30 —
La Seine à Paris.	32 —
Canal de la Durance à Marseille.	34 —
Sources à Firminy.	39 —
Sources à Gannat.	46 —
L'Arvan à Saint-Jean de Maurienne	109 —
Puits à Fréjus.	122 —

Souvent on essaye rapidement les eaux au moyen d'une dissolution titrée de savon dans l'alcool, qui, versée dans l'eau, ne produit de mousse que lorsque les sels dissous ont été neutralisés par le savon. On obtient ainsi ce qu'on appelle le *titre hydrotimétrique* de l'eau. Un degré hydrotimétrique correspond à un poids déterminé de chaque sel, à 1,2 cg de sel marin par litre d'eau, à 1,03 cg de carbonate de chaux, à 1,4 cg de sulfate de chaux.

Dans les chaudières, les matières solides abandonnées par l'eau

forment des poudres, des boues et des croûtes dures. Les croûtes 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.

Certaines eaux d'alimentation tiennent en dissolution du sel marin, qui se concentre dans l'eau de la chaudière ; une proportion de sel un peu forte gêne la production de la vapeur : l'eau devient mousseuse, 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.

50. Désincrustants. — Certains produits, appelés désincrustants, mis dans l'eau des chaudières, empêchent les dépôts solides d'adhérer aux tôles ; pris à la lettre, ce mot 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.

Le sulfate de chaux est décomposé par le carbonate de soude, dissous dans l'eau d'alimentation : il se dépose du carbonate de chaux, et il reste en dissolution du sulfate de soude, sel fort soluble.

On prépare des liquides *antitartriques*, qu'on ajoute à l'eau des tenders, en dissolvant dans l'eau du carbonate de soude ou de la soude, et des extraits de bois de campêche, de châtaignier, de quebracho. Par exemple, on ajoute à 78 litres d'eau 10 kg de carbonate de soude et 12 kg d'extrait de châtaignier (formule des chemins de fer de l'Est). Le carbonate de soude agit chimiquement et décompose le sulfate de chaux, qui forme les croûtes les plus dures sur les tôles ; l'extrait de bois de châtaignier paraît empêcher l'adhérence des précipités qui se forment. Pour un service moyen, on verse dans le tender deux litres par jour de ce liquide et quatre litres après chaque lavage. Cette dose peut être augmentée ou diminuée suivant le service de la locomotive.

On prépare un autre 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 (formule des chemins de fer de l'Ouest).

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 est très dense : il pèse 1 250 kg par mètre cube.

51. Épuration des eaux. — 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.

52. 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. L'excès de pression, 6 kg par cm², est utile, car, à pression égale, la fatigue de la chaudière est moins grande à froid. 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 : les dilatations inégales causent en certains points des tiraillements et des efforts qui s'ajoutent 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 par cm², 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 cm^2 pour les récipients travaillant à une très faible pression effective.

53. Explosions. — De 1840 à 1897, 36 locomotives ont fait explosion en France et en Algérie. Cette statistique présente d'ailleurs quelque incertitude, car il est difficile de préciser ce qu'on entend par explosion : la rupture d'un tube, par exemple, ou une petite déchirure, donnant lieu à une fuite légère, peuvent être ou non comptées comme explosions. Même lorsqu'il n'y a pas de projections violentes, ces accidents sont toujours dangereux à cause de la gravité

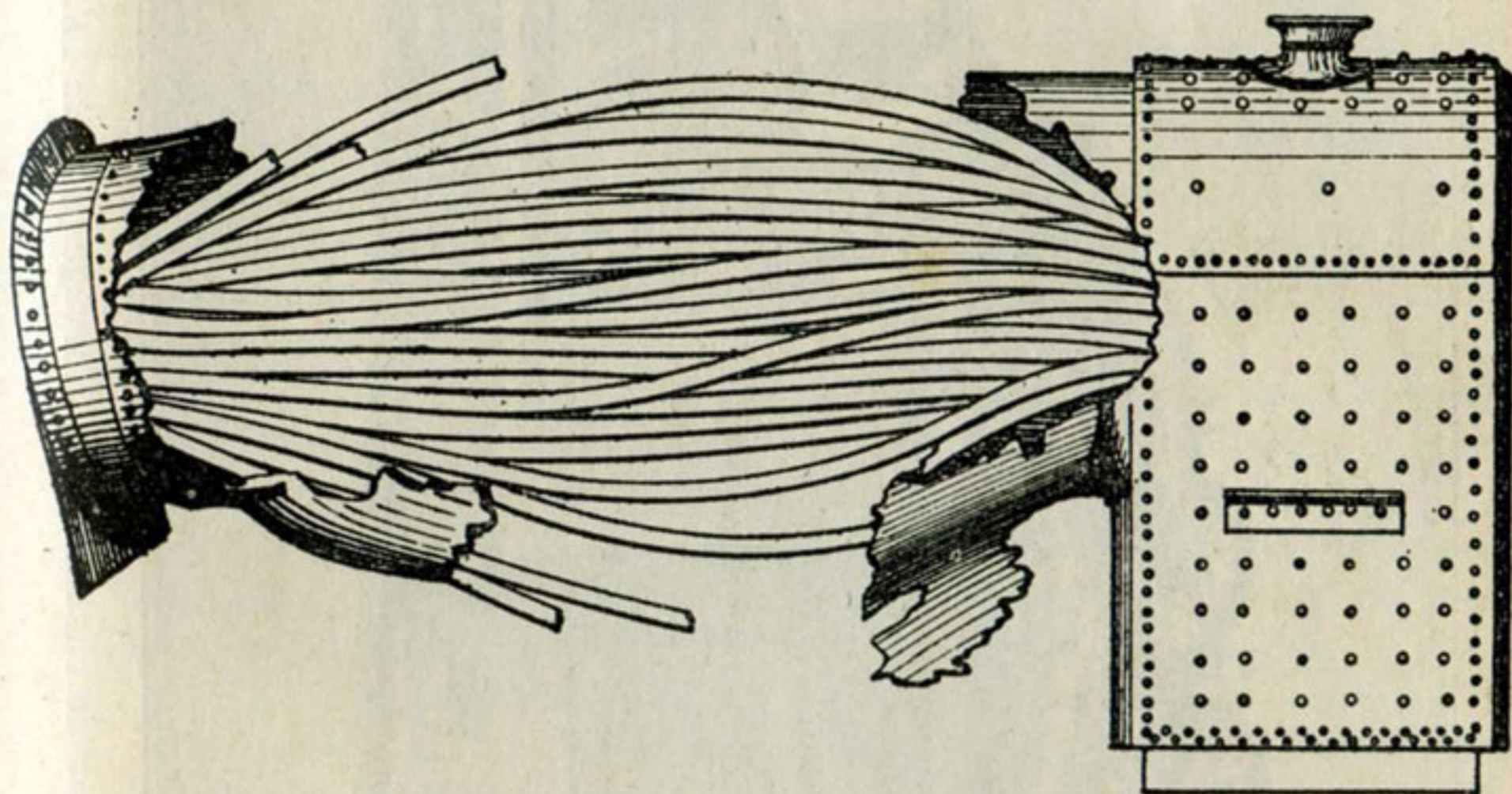


Fig. 89. — Chaudière de locomotive après explosion du corps cylindrique, survenue sur un chemin de fer espagnol en 1861.

des brûlures causées par l'eau chaude et la vapeur. La figure 89 représente une chaudière dont une explosion a détruit le corps cylindrique.

On s'explique les effets destructeurs de certaines explosions 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 g par kg d'eau). Il y a ainsi formation subite d'une masse énorme de vapeur, qui chasse tout devant elle.

La figure 90 (d'après le journal anglais *Engineering*) montre une locomotive projetée par l'explosion de sa chaudière sur un tender

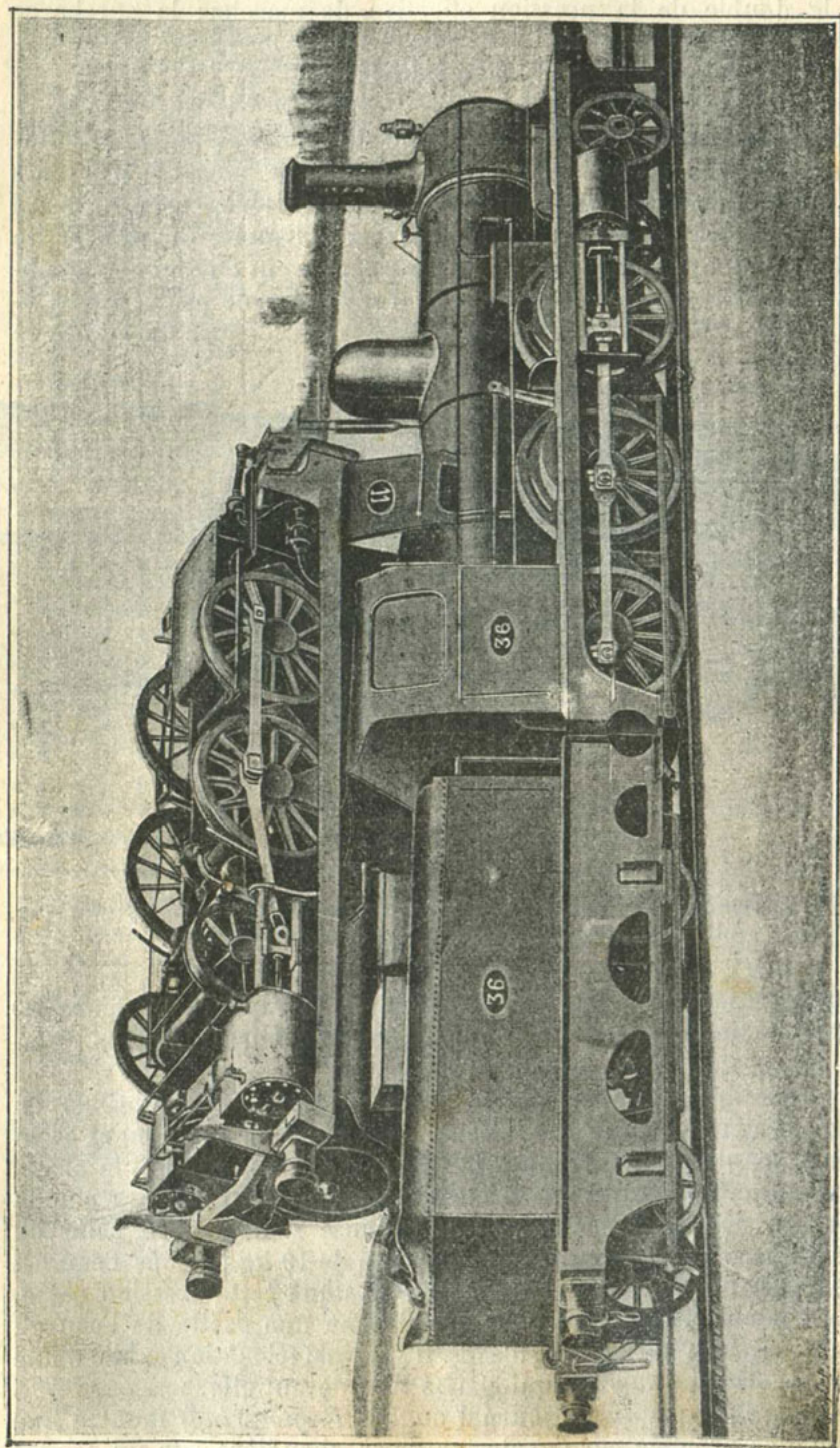


Fig. 90. — Effet d'une explosion de chaudière, en Norvège (d'après l'*Engineering*).

et une autre locomotive qui la précédaient, en double traction ; cet accident s'est produit en Norvège, dans le cours de l'année 1890.

Les causes des 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 de tôles, les sections de tirants, sont mal déterminées, soit parce que les tôles sont mauvaises ou 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 généralement soignée. L'épreuve obligatoire à la presse n'est pas une garantie entière contre cette cause d'accidents, car les efforts pendant l'épreuve et en service ne sont pas exactement les mêmes.

Si bonne que soit une chaudière au début, la corrosion des tôles, qui finit toujours par se produire en certains points, la rendrait dangereuse à la longue : les visites soigneusement faites, les réparations ou les remplacements en temps opportun écartent ce danger.

La détérioration est 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 et l'excès de pression, résultant du calage ou de la surcharge des soupapes.

54. Combustibles. — On brûle dans les locomotives les combustibles les plus variés, suivant les ressources des contrées qu'elles parcourent : les diverses variétés de houilles, y compris les anthracites et les lignites ; les produits qui en dérivent, coke, briquettes, goudrons ; les pétroles ; la tourbe ; le bois.

La tourbe est le produit de l'altération de végétaux ; elle se forme encore actuellement. 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 400 à 500 kg avec les bois durs (hêtre, chêne, charme, frêne, érable, bouleau, etc.), de 300 à 400 kg avec les bois résineux (pin, sapin, etc.), et de 200 à 300 kg. avec les bois tendres (châtaignier, tilleul, tremble, saule, peuplier, etc.). Le pouvoir calorifique des bois, contenant en poids un cinquième d'eau, est d'environ 3.000 calories par kilogramme.

55. Houilles. — Les principaux éléments de la houille, carbone, matières volatiles, cendres, ont été mentionnés au paragraphe 12. Il existe de nombreuses espèces de houille, dont les compositions sont assez différentes : c'est surtout la proportion des matières gazeuses, par rapport à celle du carbone fixe, qui les caractérise.

L'anhracite 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 décrépitent 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 : en calcinant dans un creuset 100 g de cette houille, supposée privée de cendres, on chasse 7 à 10 g de gaz, et il reste 93 à 90 g 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 g pour 90 à 85 g de carbone fixe) ; les fragments s'agglutinent au feu.

Les houilles grasses tiennent encore plus de matières volatiles (15 à 20 g pour 85 à 80 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 g pour 80 à 75 g de carbone fixe). Elles ne s'agglomèrent pas au feu, et brûlent avec flamme et fumée abondantes. Ces houilles sont assez rares en France ; on en trouve beaucoup en Ecosse.

Le pouvoir calorifique d'un kilogramme de houille pure, complètement débarrassée de cendres et d'humidité, est d'environ 9 000 calories. On trouve d'ailleurs des différences assez importantes pour les diverses espèces de houilles, le pouvoir calorifique pouvant s'abaisser à 8 000 calories et s'élever à 9 600.

Les lignites sont des combustibles minéraux qui proviennent de couches moins anciennes que celles des véritables terrains 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.

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 grande taille forment la grosse houille, facile à emmagasiner et pouvant se conserver longtemps sans altération. On doit enlever 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 se brûle facilement; elle laisse une large place pour le passage de l'air nécessaire à la combustion. Certaines sortes de houille 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; l'expression assez générale de gailleterie désigne les petits morceaux à peu près gros comme le poing, commodes surtout pour le chauffage domestique.

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.

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 qui existent 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 menus 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 plus denses que la houille, c'est-à-dire plus lourdes à égalité de volume, 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 les caisses les seules parties combustibles, plus légères. 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 ces raisons, l'usage des menus s'est beaucoup développé, si

bien qu'aujourd'hui l'écart entre les prix des menus et de la houille en morceaux n'est plus aussi grand. Il existe d'ailleurs bien des espèces de menus, suivant les dimensions des cribles qui séparent les diverses grosseurs. Les plus fins menus 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 décantation.

Si l'on n'avait pas trouvé le moyen d'utiliser 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.

56. Cendres. — Il est désirable 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 la plupart des cendres blanches, elles tombent en poussière et traversent sans peine les grilles. 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.

57. Coke. — Le coke est le résultat de la distillation de la houille, dont on extrait les éléments volatils, soit en la chauffant dans des cornues pour obtenir le gaz d'éclairage, soit en la traitant dans des fours spéciaux, uniquement pour produire 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 g pour un kilogramme de coke sec. Cette eau consomme en pure perte de la chaleur lorsqu'elle se vaporise dans le foyer.

58. 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. Aussi donne-t-il une poussière fort irritante pour les yeux, comme on éprouve sur les locomotives chauffées à la briquette.

Le poids de brai qui entre dans la composition des briquettes est

d'environ 80 kg 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.

La briquette, avec peu de cendres, est un combustible analogue à la grosse houille de bonne qualité ; le brai qu'elle contient est lui-même un combustible pur et riche en carbone ; elle s'emmagine 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.

59. 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 modéré. Les charbons menus se prêtent bien à ces mélanges. C'est ainsi que, grâce à une addition de houille grasse ou demi-grasse, les houilles maigres s'agglomèrent au feu et peuvent 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. Suivant les cas, on ajoute au mélange moyen 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.

Ce système permet d'assurer le service de la 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 ce service, comme dans tous les autres. Il n'est pas inutile d'insister 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, gaspillage qui se produit quand les dépenses d'une industrie quelconque sont inutilement augmentées.

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 rétri-

bution du travail qui rapproche le plus le travailleur de cette situation désirable entre toutes, mais dans bien des cas impossible à réaliser, celle où il travaille directement pour son propre compte.

60. Combustion dans les foyers de locomotive. — 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 des circonstances dont on doit tenir compte ; il existe tant de variétés de combustibles ; la même mine, la même couche ne donnent pas toujours des houilles de qualité uniforme ; les dimensions et les dispositions 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 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 dépaysé s'il vient à changer de machine ou si la nature de la houille varie.

Les principes de la combustion ont été indiqués au paragraphe 12 ; 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.

L'air, appelé par l'échappement, arrive sous la grille sans rencontrer d'obstacle dans les anciennes machines dépourvues de cendrier ; le cendrier n'en gêne guère l'accès, pourvu qu'on ne laisse pas les escarbilles l'engorger. 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 morceaux de combustible soient déjà 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 de l'oxyde de carbone, provenant de la combustion incomplète du carbone, et surtout des carbures d'hydrogène. 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 avec les houilles très riches en matières volatiles, et aussi avec le combustible en couche épaisse, quelle qu'en soit la nature.

Si un petit excès d'air est désirable, vu l'impossibilité de le doser toujours exactement, un grand excès d'air est nuisible : 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. 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.

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 g d'eau.

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. Les seules parties qui brûlent sont celles qui sont incandescentes et en contact avec l'air ; c'est 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.

61. Difficultés de la conduite du feu. — Divers phénomènes troublent souvent la combustion dans le foyer des locomotives et ne permettent pas d'y maintenir 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 on prend la précaution de charger les menus sur

une première couche de houille capable de les retenir, en attendant qu'ils s'agglomèrent au feu. Le charbon peut aussi quitter la grille 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 cendres : 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 produit 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, la vitesse y est exagérée, le combustible est entraîné, tandis que l'air manque 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. Toutefois de légères modifications peuvent améliorer certaines locomotives défectueuses sous ce rapport. Lorsque la tuyère d'échappement s'élève trop près de l'embouchure de la cheminée, en l'abaissant, on obtient en général un meilleur tirage. Un serrage excessif de l'échappement, surtout avec des charbons légers, provoque l'entraînement.

On recueillera 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 cher et qu'on doit s'efforcer 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 masses telles que l'air ne les pénètre pas : il se forme entre ces grandes masses des trous ou des crevasses, qu'il faut remplir de 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 tous ces mâchefers exige un stationnement assez prolongé ; pendant la marche, on ne peut guère procéder à un décrassage 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 les combustibles solides produisent un courant gazeux, qui est complètement invisible, ou dont l'aspect, à l'état de flamme ou de fumée, ne permet que des conjectures sur sa composition ; et cepen-

dant ce courant gazeux doit être convenablement réglé. Pour cela, 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 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 consumé 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 assez élevée 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 les gaz.

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.

62. Combustibles liquides. — 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, qui est un excellent combustible. Les goudrons des usines à gaz se brûlent comme les huiles lourdes de pétrole.

Dix kilogrammes d'huile lourde sont à peu près l'équivalent de quinze kilogrammes de bonne houille. Cet excellent combustible coûte trop cher en France pour qu'on puisse l'employer couramment. Il n'en est pas de même dans certaines parties de la Russie, où beaucoup de locomotives sont chauffées au pétrole. En France le pétrole est employé dans quelques locomotives du réseau de l'Ouest,

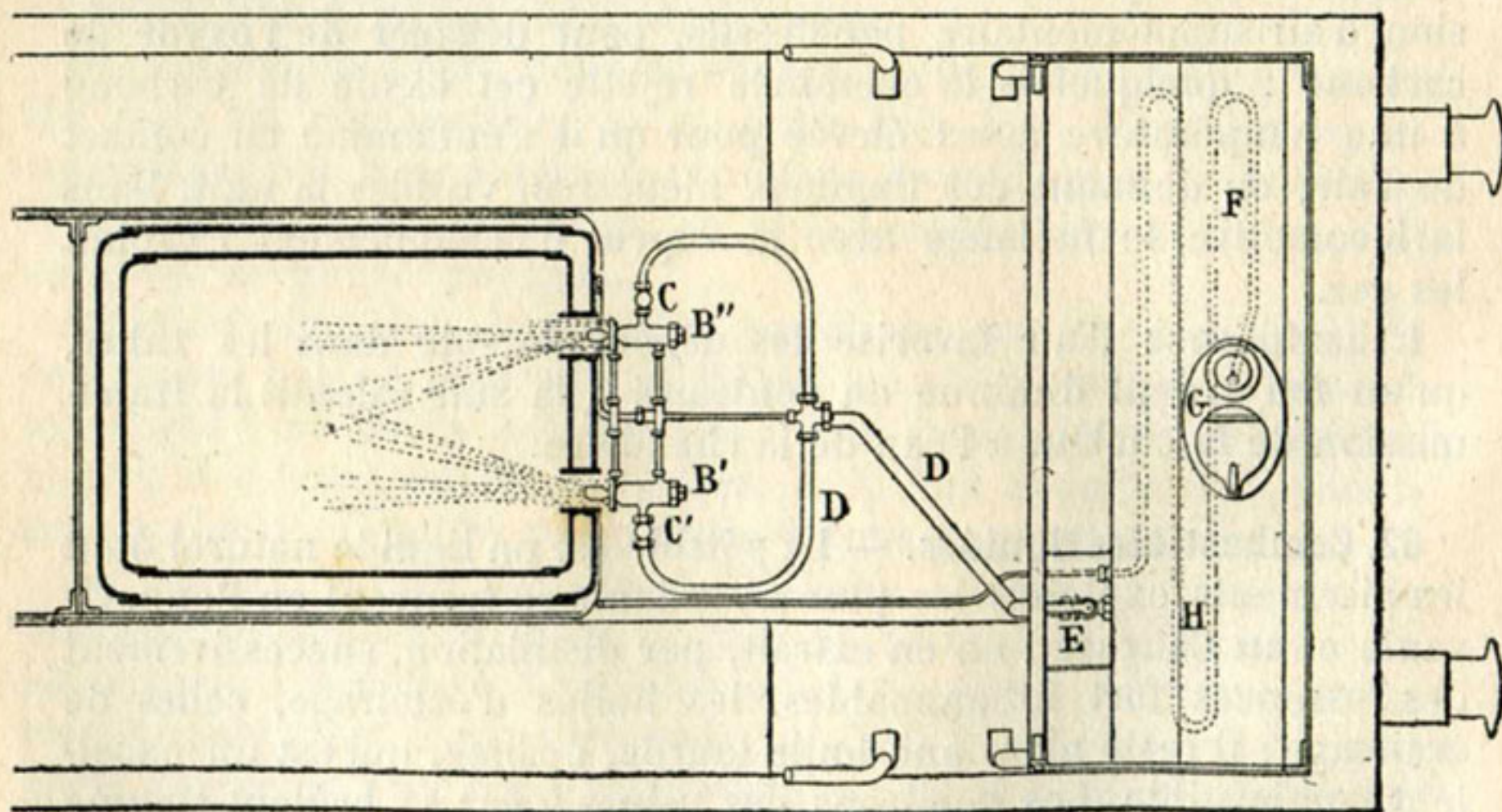
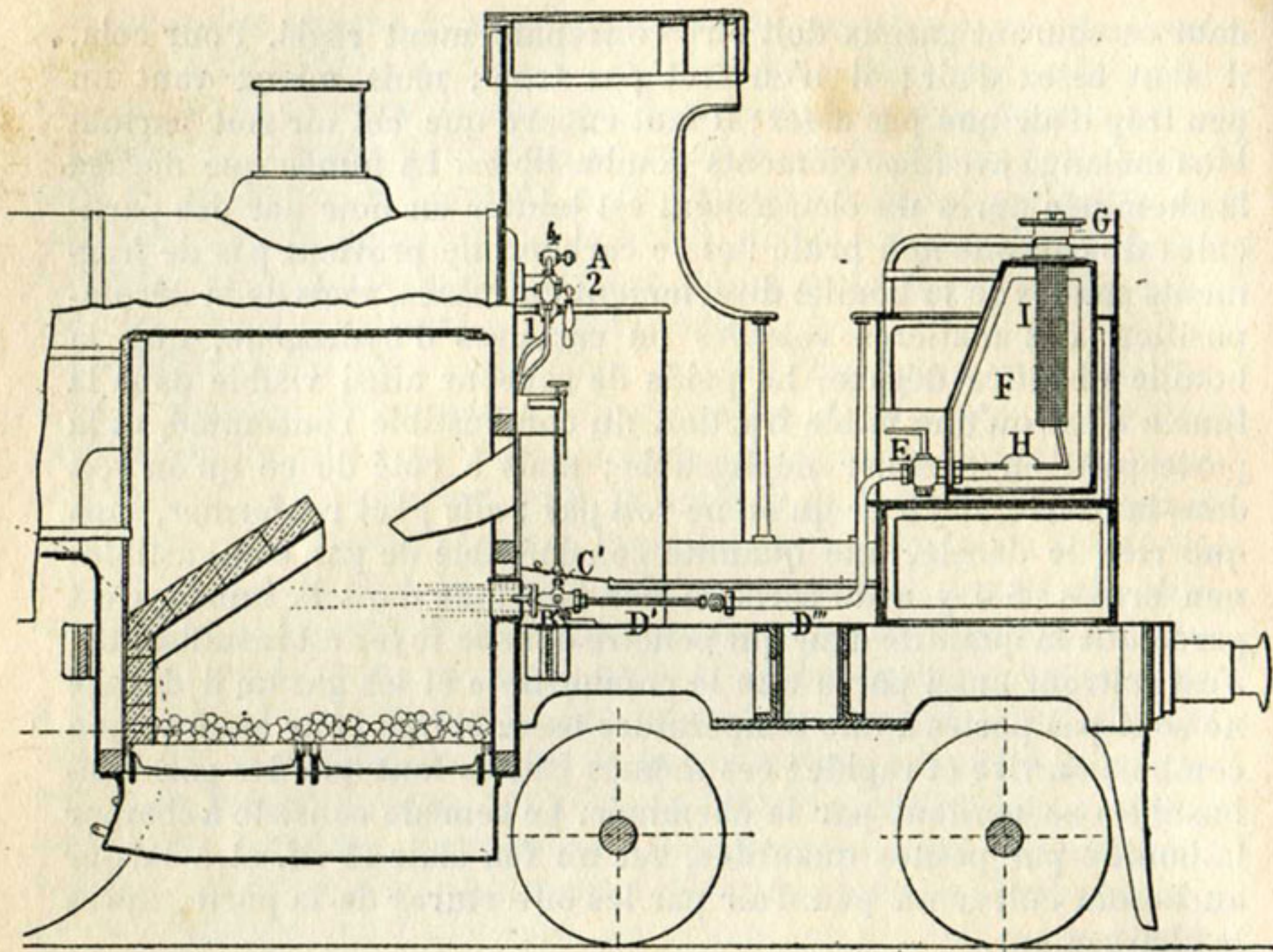


Fig. 91. — Application à une locomotive de l'appareil Holden, pour brûler du pétrole.

A, Distribution de vapeur par 4 robinets :
 1. Au réchauffeur du réservoir de combustible liquide ;
 2. Aux espaces annulaires des injecteurs ;
 3. Au centre des injecteurs ;
 4. Pour le nettoyage de la tuyauterie et des injecteurs.

B' B'', Injecteurs de combustible liquide.
 — C' C, Valves régulatrices. — D D' D'', Tuyaux avec robinet en E. — F, Réservoir.
 — G, Trou d'homme avec orifice de remplissage et admission d'air. — H, Réchauffeur. — I, Filtre épurateur.

comme auxiliaire passager de la houille, pour forcer par moments la production.

On brûle les huiles lourdes et les goudrons en les pulvérisant dans le foyer. Cette pulvérisation est produite à l'aide d'une sorte de chalumeau (fig. 92) formé de cônes concentriques; de petits jets de vapeur entraînent 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 (fig. 91). On conserve la grille ordinaire couverte de combustible solide, qui allume

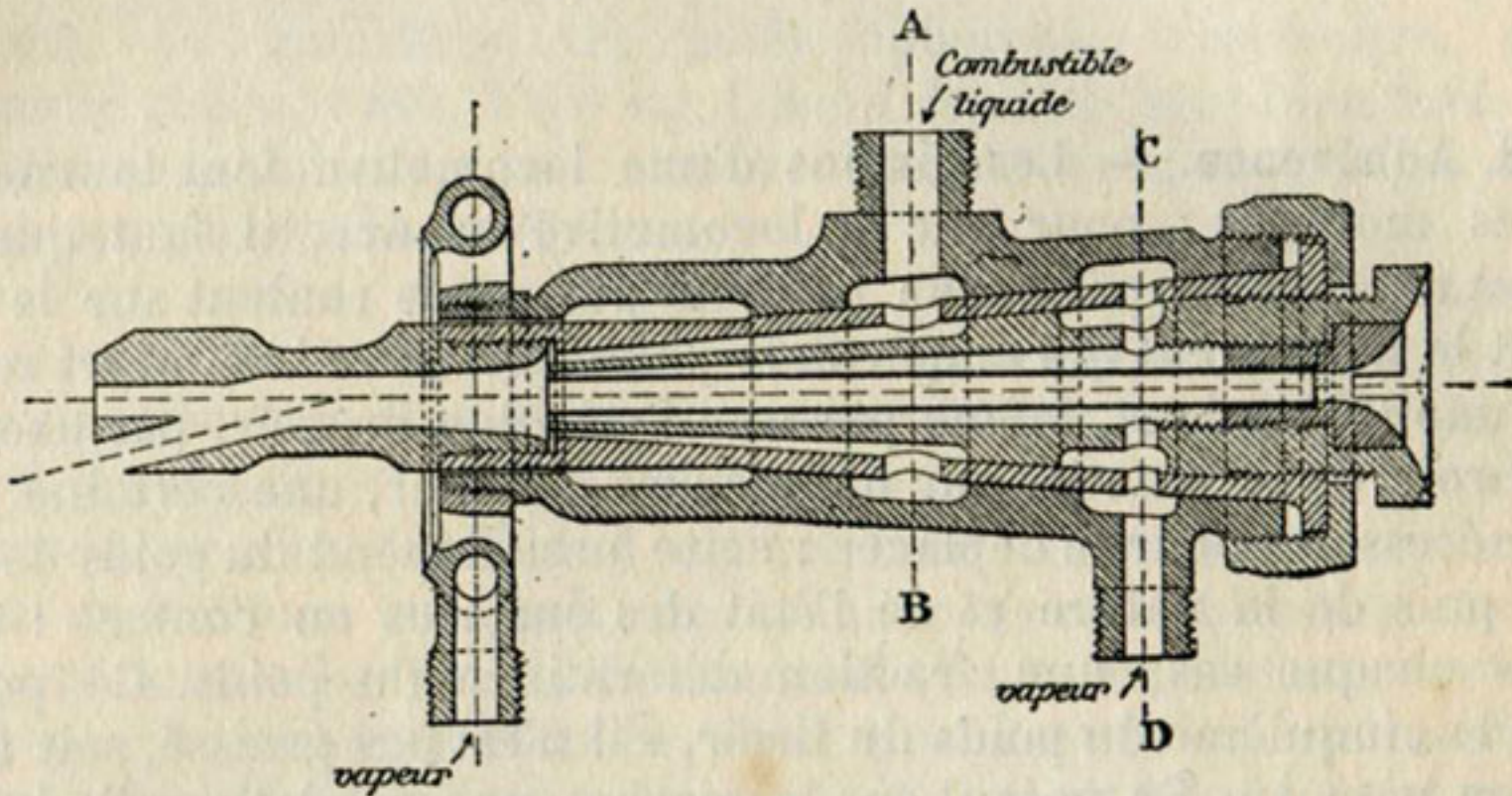


Fig. 92. — Injecteur à pétrole Holden, pour locomotive.

le jet pulvérisé. Lorsque la chauffe se fait uniquement au pétrole, on garnit le foyer de revêtements en briques réfractaires, qui sont portées au rouge, et qui rallument le pétrole après les extinctions. A la mise en marche, un feu auxiliaire de combustible solide chauffe les briques.

L'emploi du combustible liquide est commode et permet une grande propreté. Il donne une production active de vapeur, qu'on peut interrompre dès qu'elle n'est plus nécessaire, dans une station, devant un signal d'arrêt, en descendant une pente, quand les soupapes soufflent.