

CHEMINS DE FER

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE

LA CHAUDIÈRE

PAR

E. DEHARME

Ingénieur en chef honoraire
du Service central de la Compagnie du Midi,
Professeur du cours de Chemins de fer
à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures.

A. PULIN

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ex-Ingénieur chargé des Essais et
des Réceptions au Chemin de fer du Nord.

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES, ETC.
55, quai des Grands-Augustins

1900

Tous droits réservés

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	1
-------------------	---

INTRODUCTION

§ 1. Préliminaires.....	3
§ 2. Les premières locomotives.....	4
§ 3. Le concours de Rainhill. <i>La Fusée</i>	14
§ 4. Les perfectionnements.....	17

CHAPITRE PREMIER

Production de la vapeur

§ 1. Préliminaires.

1. Conditions réalisées par la chaudière de locomotive.....	25
2. Aperçu historique.....	26
3. Description sommaire d'une chaudière de locomotive.....	28

§ 2. Etude de l'appareil de combustion.

4. Disposition générale de la grille et du jette feu.....	35
5. Consommation de combustible par unité de surface de grille....	39
6. Surface de grille.....	40
7. Différentes sortes de combustibles.....	45
A. Les houilles.....	45
a_1 . Classification et gisements.....	46
a_2 . Commerce des houilles.....	55
a_3 . Qualité des houilles.....	56
a_4 . Briquettes ou charbons agglomérés.....	58
a_5 . Analyse des houilles.....	59
B. Le coke.....	62

C. La tourbe.....	63
D. Le bois.....	64
E. Le pétrole.....	64
8. De la combustion dans les foyers de locomotives.....	65
A. Combustion du carbone.....	66
B. Combustion des produits volatils.....	67
C. Température du foyer.....	69
D. Air nécessaire à la combustion.....	73
E. Utilisation du combustible.....	74
1°. Perte par combustion incomplète des produits volatils.....	74
2°. Perte par le combustible imparfaitement brûlé et entraîné avec les gaz.....	74
3°. Perte par le tamisage à travers la grille.....	75
4°. Perte par rayonnement en dessous de la grille.....	75
9. Analyse des gaz de boîte à fumée.....	76
10. Systèmes fumivores.....	81
A. Souffleur.....	82
B. Grille à gradins de MM. de Marsilly et Chobrzynski.....	82
C. Grille ordinaire inclinée.....	83
D. Grille de M. Raymondière.....	84
E. Admission directe de l'air au-dessus du combustible.....	84
1°. Entretoises perforées.....	84
2°. Guichets de prise d'air avec auvents ou déflecteurs.....	85
3°. Grille verticale, système Népilly.....	86
4°. Appareils fumivores systèmes Thierry et Barra.....	87
F. Voûte en briques.....	90
G. Foyer à parois en briques.....	95
H. Foyer système Tenbrinck.....	101
I. Foyer avec chambre de combustion séparée.....	106
J. Foyer pour charbons menus, système Belpaire.....	107
11. Foyers pour combustibles spéciaux.....	112
A. Foyer pour anthracite.....	112
B. Foyer au pétrole, système Urquhart.....	113
C. Foyer au pétrole, système Holden.....	117
D. Essai de l'emploi des combustibles liquides à la Compagnie de l'Ouest.....	121
12. Conduite du feu.....	123

§ 3. Tirage. Echappement.

13. Observations générales sur le tirage.....	130
14. Importance du tirage forcé pour les locomotives.....	131
15. Considérations théoriques sur l'action de l'échappement.....	133
16. Expériences sur le tirage par l'échappement.....	137
17. Evaluation de l'intensité du tirage forcé.....	139
A. Dépression de boîte à fumée des locomotives.....	140

B. Expériences du Chemin de fer de l' <i>Est</i>	142
C. Action de l'atmosphère sur le tirage des chaudières....	143
1°. Pression de l'air dans le cendrier.....	143
2°. Influence du vent sur le tirage.....	144
3°. Visière de la cheminée.....	146
18. Dispositions diverses concernant l'échappement.....	148
A. Volume de la boîte à fumée.....	148
B. Dimensions et forme de la cheminée.....	150
C. Grilles à flammèches et pare-étincelles.....	151
D. Section et position de la tuyère d'échappement.....	155
E. Variabilité de l'échappement.....	157
F. Répartition du courant gazeux dans les tubes. Emploi du Petticoat.....	159
19. Systèmes divers d'échappement.....	161
A. Echappement fixe.....	161
a_1 . Echappement système Brown..	161
a_2 . Echappement système Adams.....	162
B. Echappement variable.....	164
b_1 . Echappement système Mallet.....	164
b_2 . Echappements systèmes Belpaire et Masui.....	165
b_3 . Echappement variable à cônes étagés.....	166
b_4 . Echappement système Kordina.....	168
b_5 . Echappement variable de la Compagnie <i>P.-L.-M.</i> ...	169
20. Dérivation de la vapeur d'échappement.....	169
21. Tirage par le souffleur.....	171
22. Considérations pratiques concernant l'échappement.....	173

§ 4. Etude de l'appareil de vaporisation.

23. Observations sur les pertes de chaleur.....	176
24. Transmission de la chaleur.....	178
A. Transmission de la chaleur à travers une paroi.....	179
B. Transmission de la chaleur à une paroi ou provenant d'une paroi.....	182
C. Convection des gaz.....	182
25. Surface de chauffe.....	183
A. Surface de chauffe directe.....	183
B. Surface de chauffe indirecte.....	185
b_1 . Diamètre des tubes à fumée.....	186
b_2 . Longueur des tubes à fumée.....	187
C., Rapport des surfaces de chauffe directe et indirecte....	189
D. Evaluation de la surface de chauffe.....	191
26. Chaleur transmise par mètre carré moyen de surface de chauffe.	193
27. Influence de la surface totale de chauffe sur le rendement.....	193
28. Influence de l'activité de la combustion sur le rendement.....	194
29. Relation entre la surface totale de chauffe et la surface de grille.	195

30.	Surface totale de chauffe rapportée au combustible brûlé.....	
31.	Développements successifs de la surface de chauffe.....	
32.	Dispositions spéciales de la surface de chauffe.....	
	A. Bouilleur Tenbrinck.....	
	B. Tubes à fumée avec chicanes.....	
	C. Tubes à ailerons système Serve.....	
33.	Expériences anciennes du Chemin de fer du <i>Nord</i> sur la vaporisation des chaudières.....	
34.	Expériences de vaporisation de la Compagnie <i>P.-L.-M</i>	
	A. But de l'étude.....	
	B. Description de la chaudière d'expérience.....	
	C. Appareils de mesure.....	
	1 ^o . Eau d'alimentation et combustible.....	
	2 ^o . Tirage.....	
	3 ^o . Température des gaz de la boîte à fumée.....	
	4 ^o . Composition des gaz de la boîte à fumée.....	
	5 ^o . Eau entraînée par la vapeur.....	
	6 ^o . Escarbilles entraînées par les gaz.....	
	7 ^o . Analyse et pouvoir calorifique du combustible.....	
	D. Programme des expériences.....	
	E. Résultats obtenus.....	
	e ₁ . Combustible brut brûlé par heure.....	
	e ₂ . Eau vaporisée par heure.....	
	e ₃ . Eau vaporisée par kilogramme de combustible brut.....	
	e ₄ . Proportion des escarbilles entraînées par les gaz....	
	e ₅ . Degré d'imperfection de la combustion.....	
	e ₆ . Volume d'air dépensé par kilogramme de combustible brut.....	
	e ₇ . Température des gaz dans la boîte à fumée.....	
	e ₈ . Coefficient économique de l'appareil de combustion.....	
	e ₉ . Coefficient économique de l'appareil de vaporisation.....	
	e ₁₀ . Proportion de chaleur entraînée par les gaz dans l'atmosphère.....	
	e ₁₁ . Proportion de chaleur perdue par conductibilité et rayonnement.....	
	F. Expériences complémentaires.....	
	G. Conclusions.....	
	H. Application des résultats d'expériences à des chaudières de locomotives de divers types.....	
	I. Résultats obtenus.....	
	i ₁ . Activité de la combustion.....	
	i ₂ . Vaporisation par kilogramme de combustible.....	
	i ₃ . Proportion d'escarbilles pour 1.000 kg. de combustible.....	
	i ₄ . Influence du diamètre des tubes à égalité de puissance des machines de même type.....	

J. Comparaison entre les résultats d'une chaudière de locomotive et ceux de la chaudière d'expérience.....	234
K. Expériences sur une chaudière munie de tubes à ailerons système Serve.....	236
L. Comparaison des tubes lisses et des tubes à ailerons...	237
<i>l</i> ₁ . Comparaison à égalité de tirage.....	238
<i>l</i> ₂ . Comparaison à égalité de surface de chauffe et de puissance de vaporisation E.....	240
<i>l</i> ₃ . Comparaison des tubes de faible longueur à égalité de longueur, de diamètre et de tirage.....	241
M. Conclusion sur l'emploi des tubes à ailerons.....	242
N. Observations sur l'ensemble des expériences.....	244
O. Rendement des chaudières de locomotives.....	247
35. Equivalence de surfaces de chauffe avec tubes ordinaires ou tubes à ailerons.....	249
36. Expériences du Chemin de fer du <i>Nord</i> , sur les tubes à ailerons système Serve.....	251
37. Production de vapeur des chaudières de locomotives.....	256
A. Considérations générales.....	256
B. Production de vapeur calculée.....	259
1 ^o Formule de M. Busse.....	259
2 ^o Formule de la Compagnie <i>P.-L.-M.</i>	262
C. Production de vapeur constatée en pratique.....	264
D. Coefficients de vaporisation à adopter.....	265
E. Conclusions.....	274
38. Consommation de vapeur des locomotives par cheval et par heure.....	276
39. Force des locomotives rapportée à leurs surfaces de grille et de chauffe.....	279
40. Pressions en usage. Avantages des pressions élevées.....	290
41. Réservoir de vapeur.....	292
42. Réservoir d'eau.....	293
43. Dégagement de la vapeur dans les chaudières tubulaires.....	296
A. Dispositions de la boîte à feu et des tubes, favorables au dégagement de la vapeur.....	297
1 ^o Écartement et inclinaison des parois.....	297
2 ^o Disposition et écartement des tubes.....	298
B. Surface du niveau de l'eau.....	301
 § 5. Calcul des éléments d'une chaudière de locomotive	
44. Exposé du sujet.....	304
45. Locomotive pour train express de ligne principale.....	305
A. Surface de grille.....	306
B. Surface de chauffe.....	307
46. Locomotive pour train de marchandises de ligne principale.....	310

47. Locomotive pour train de marchandises sur une ligne à fortes rampes.....	313
48 Conditions d'établissement de diverses chaudières de locomotives	316

CHAPITRE II

Appareils de sécurité

49. Epreuves des chaudières et timbre.....	319
50. Manomètre.....	320
51. Indicateurs du niveau de l'eau.....	322
A. Appareil de niveau d'eau ordinaire.....	322
B. Appareil de niveau d'eau système Chalou.....	324
52. Robinets d'épreuve.....	325
53. Ligne du niveau de l'eau.....	326
54. Bouchon fusible.....	327
55. Soupapes de sûreté.....	328
A. Considérations générales.....	328
B. Soupape ordinaire avec balance.....	331
C. Soupape ordinaire à charge directe.....	333
D. Soupape Adams.....	334
E. Soupape Lethuillier et Pinel.....	335
F. Expériences faites sur les soupapes de sûreté.....	337
56. Soupape de retenue.....	339

CHAPITRE III

Alimentation de la chaudière

§ 1er. Pompes et Injecteurs

57. Position de la chapelle d'entrée d'eau.....	341
A. Alimentation en pleine vapeur.....	342
58. Pompes alimentaires.....	343
59. Injecteurs.....	345
A. Principe de l'injecteur Giffard.....	345
B. Fonctionnement et débit de l'injecteur.....	348
C. Considérations sur la théorie de l'injecteur.....	349
D. Rendement de l'injecteur.....	356
60. Divers systèmes d'injecteurs.....	357
61. Injecteur système Turck.....	357
62. Injecteur système Polonceau.....	358
63. Injecteur système Sellers.....	360

64. Injecteur système Friedmann.....	362
65. Injecteur double de Kœrting.....	366
66. Injecteur système Gresham et Craven.....	367
67. Dimensions des injecteurs.....	367

§ 2. Réchauffage de l'eau d'alimentation

68. Emploi des injecteurs pour le réchauffage.....	368
69. Réchauffeurs d'eau d'alimentation.....	369
70. Pompe système Chiazzari.....	370
71. Injecteur réchauffeur système Kœrting.....	371
72. Réchauffeur système Lencachez.....	372
73. Suppression de l'échappement de vapeur par la cheminée.....	374

CHAPITRE IV

Prise de vapeur

§ 1^{er}. Eau entraînée par la vapeur

74. Influence de l'eau contenue dans les cylindres sur l'utilisation de la vapeur.....	379
75. Effets de l'entraînement de l'eau.....	381
76. Proportion d'eau entraînée par la vapeur.....	382
77. Réduction de l'entraînement d'eau.....	383
A. Dispositions de la chaudière.....	384
1 ^o Volume du réservoir de vapeur.....	384
2 ^o Surface du niveau de l'eau.....	385
3 ^o Position du dôme de prise de vapeur.....	385
B. Alimentation de la chaudière et conduite de la machine.....	387
78. Séchage et surchauffage de la vapeur.....	387

§ 2. Appareils de prise de vapeur

79. Dôme de prise de vapeur.....	389
80. Régulateur.....	390
1 ^o Régulateur à tiroir.....	390
2 ^o Régulateur à papillon.....	394
3 ^o Régulateur à soupape.....	395
4 ^o Observations sur le laminage de la vapeur et les détendeurs de vapeur.....	395
81. Conduites intérieures de vapeur.....	397
82. Tuyaux d'admission de vapeur des cylindres.....	398

CHAPITRE V

Accessoires divers de la chaudière.

83. Robinetterie.....	401
84. Tuyauterie.....	403
85. Sifflet.....	404
86. Trou d'homme.....	405
87. Robinet de vidange.....	405
88. Autoclaves et bouchons de lavage.....	406
89. Enveloppe de la chaudière.....	408
90. Appareils pour le nettoyage des tubes.....	411
91. Supports immédiats de la chaudière.....	413

CHAPITRE VI

Détails de construction de la chaudière.§ 1^{er}. Considérations générales.

92. Exposé du sujet.....	417
93. Qualité des métaux employés.....	418
94. Essai des matériaux.....	419

§ 2. Foyer.

95. Dispositions du foyer.....	422
96. Nature du métal du foyer.....	423
97. Epaisseur des plaques de foyer.....	428
98. Préparation des plaques de foyer.....	429
99. Rivetage des plaques.....	432
100. Matage des pinces et des rivets.....	433
101. Armatures du ciel du foyer.....	433

§ 3. Boîte à feu extérieure et corps cylindrique.

102. Nature du métal employé.....	436
103. Epaisseur des tôles.....	439
104. Préparation des tôles.....	440
A. Plaques d'avant et d'arrière de boîte à feu.....	440
B. Ciel de boîte à feu et parois latérales.....	443
C. Corps cylindrique.....	444

105. Rivures de tôles.....	445
A. Travail des rivets ; résistance des rivures.....	446
B. Nature, dimensions et résistance des rivets.....	448
C. Disposition des rivures.....	450
D. Rivetage des tôles.....	451
106. Matage des pinces et des rivets.....	453
107. Plaque tubulaire de boîte à fumée.....	453
108. Dôme de prise de vapeur.....	455

§ 4. Assemblage des parties constitutives de la chaudière.

109. Déformations de la chaudière.....	456
110. Cadres et porte du foyer.....	462
111. Entretoises du foyer.....	464
A. Montage provisoire du foyer.....	464
B. Nature du métal des entretoises.....	465
C. Confection et montage des entretoises.....	469
112. Tirants du ciel du foyer et de la boîte à feu extérieure.....	472
113. Agrafes du corps cylindrique et tirants des plaques tubulaires.....	476

§ 5. Boîte à fumée. Cheminée.

114. Boîte à fumée.....	477
115. Porte de boîte à fumée.....	478
116. Cheminée.....	479

§ 6. Tubes à fumée.

117. Considérations générales.....	480
118. Nature du métal et fabrication des tubes à fumée.....	484
119. Préparation des tubes.....	486
120. Montage des tubes.....	488

§ 7. Essais et terminaison de la chaudière.

121. Essais à froid et à chaud.....	492
122. Lessivage à la potasse.....	493
123. Application de l'enveloppe.....	494
124. Peinture de la chaudière et de son enveloppe.....	496

CHAPITRE VII

Entretien de la chaudière.

§ 1. Entretien courant.

125. Lavages périodiques de la chaudière.....	500
126. Causes de fuites.....	501

127. Nettoyage des tubes et de la boîte à fumée.....	502
128. Dépôts existant dans la chaudière.....	504
129. Incrustations des parois. Désincrustants.....	505
A. Electrogène Hannay.....	506
B. Produits anti-tartriques.....	508
130. Epuration préalable de l'eau d'alimentation.....	511
131. Nettoyage des tubes à l'extérieur. Piquage des chaudières.....	518

§ 2. Accidents.

132. Altérations des tôles.....	520
133. Avaries des tubes à fumée.....	526
134. Explosions de chaudières.....	528
A. Considérations générales.....	528
B. Effets et historique des explosions.....	534
1 ^o Explosions de la boîte à feu extérieure ou du corps cylindrique.....	544
2 ^o Explosions du foyer.....	547
C. Conclusions.....	550

ANNEXES

N ^o 1. Spécification pour la fourniture du cuivre rouge.....	555
— 2. — — — des tôles de fer.....	567
— 3. Spécification des conditions imposées pour les tôles en acier des chaudières de locomotives.....	573
— 4. Cahier des charges pour la fourniture des tôles en acier pour chaudières, de 5 ^{mm} d'épaisseur et au delà.....	575
— 5. Spécification générale pour la fourniture des tubes à fumée, en acier doux ou en fer.....	589