

330

403H

CL

UTÉ

L'INDUSTRIE DU GAZ

TRAITEMENT DES PRODUITS ET SOUS-PRODUITS

PAR

RENÉ MASSE et AUGUSTE BARIL

ANCIEN PRÉSIDENT
DU SYNDICAT PROFESSIONNEL
DE L'INDUSTRIE DU GAZ

SOUS-DIRECTEUR
A LA SOCIÉTÉ D'ÉCLAIRAGE,
CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE



AVEC 115 FIGURES DANS LE TEXTE

ECOLE CENTRALE DE LILLE

D0000003632

MAISON & C^o — GAUTHIER VILLARS & C^o
PARIS

ENCYCLOPÉDIE LÉAUTÉ (2^e Série)

Volumes parus :

- Les économies de combustibles. — Conduite rationnelle des foyers**, par PIERRE APPELL, Secrétaire général de l'Office de chauffe rationnelle. 1 volume de XIV-342 pages avec 72 figures. 17 fr.
- Les Progrès de la métallurgie du Cuivre**, par A. CONDUCHÉ, Professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Rennes. 1 volume de XVI-254 pages avec 26 figures dans le texte. 14 fr.
- L'Éclairage. — Solutions modernes des problèmes d'Éclairage industriel**, par E. DARMOIS, Professeur à la Faculté des sciences de Nancy. Préface de M. A. BLONDEL, membre de l'Institut. 1 volume de 276 pages avec 99 figures dans le texte. 15 fr.
- L'Azote. — La fixation de l'azote atmosphérique, et son avenir industriel**, par L. HACKSPILL, Professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Strasbourg. 1 volume de 272 pages avec 39 figures dans le texte. 14 fr.
- Les Procédés Modernes de l'Industrie du Gaz. — Distillation de la houille**, par R. MASSE, ancien Président du Syndicat professionnel de l'Industrie du gaz, et A. BARIL, Sous-Directeur à la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice. 1 volume de 300 pages avec 77 figures dans le texte. 20 fr.
- Les Procédés Modernes de l'Industrie du Gaz. — Traitement des produits et sous-produits de la distillation de la houille**, par R. MASSE, ancien Président du Syndicat professionnel de l'Industrie du gaz, et A. BARIL, Sous-Directeur à la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice. 1 volume de 308 pages avec 115 figures dans le texte. 20 fr.

Volumes à paraître dans la même collection :

Les économies de combustibles. — Combustibles artificiels et combustibles de remplacement, par P. APPELL. 1 volume d'environ 300 pages.

Les combustibles liquides (*leur avenir industriel, leur utilisation, leur contrôle*), par M. AUBERT, chef de travaux pratiques à la Faculté des sciences de Paris. 1 volume d'environ 300 pages.

Les tubes électroniques et leurs applications industrielles, par MARIUS LATOUR, Ingénieur conseil. 1 volume d'environ 300 pages.

Carburation et Carburateurs, par LÉON POINCARÉ, Ingénieur de la Marine. 1 volume d'environ 300 pages.

La distillation des Bois, par G. DUPONT, Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux. 1 volume d'environ 300 pages.

L'équipement électrique des installations industrielles. — Les moteurs, par J. BETHENOD, Ingénieur conseil, et H. GENKIN, Ingénieur. 1 volume d'environ 300 pages.

L'équipement électrique des installations industrielles. — Les appareils de sécurité, de contrôle et de mesure, par A. ILIOVICI, Ingénieur. 1 volume d'environ 300 pages.

La technique des fondations, par A. BRICE, Ingénieur conseil. 1 volume d'environ 250 pages.

Les alliages légers, par A. PORTEVIN, Ingénieur conseil, et de FLEURY, Ingénieur. 1 volume d'environ 300 pages.

La Chimie des parfums, par G. DARGENS, Professeur à l'École polytechnique. 1 volume d'environ 300 pages.

ENCYCLOPÉDIE LÉAUTÉ (2^e Série)

DIRECTEURS : ANDRÉ LÉAUTÉ et JEAN VILLEY

LES PROCÉDÉS MODERNES
DE L'INDUSTRIE DU GAZ

TRAITEMENT
DES PRODUITS
ET SOUS-PRODUITS
DE LA DISTILLATION DE LA HOUILLE

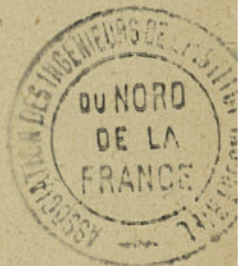
PAR

RENÉ MASSE et AUGUSTE BARIL

ANCIEN PRÉSIDENT
DU SYNDICAT PROFESSIONNEL
DE L'INDUSTRIE DU GAZ

SOUS-DIRECTEUR
A LA SOCIÉTÉ D'ÉCLAIRAGE,
CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE

AVEC 115 FIGURES DANS LE TEXTE



MASSON & C^{ie} = GAUTHIER VILLARS & C^{ie}
120, Boul^d S^t-Germain = 55, Quai des Grands-Augustins

PARIS — 1923

*Tous droits de reproduction,
de traduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.*

*Copyright 1923 by
Masson et C^{ie}*

ENCYCLOPÉDIE LÉAUTÉ

DEUXIÈME SÉRIE

INTRODUCTION

Le succès qu'a recueilli l'Encyclopédie scientifique des aide-mémoire dans son premier stade nous a encouragé à faire paraître sous le nom de son fondateur une deuxième série de volumes. Ils sont consacrés à des sujets techniques, économiques et financiers, touchant l'industrie.

Objet général.

Cette collection ne fait pas double emploi avec les autres Encyclopédies.

Elle ne vise pas, en effet, à présenter l'ensemble des connaissances de l'ingénieur; elle ne prétend pas fournir la documentation totale qui, au sens étymologique, constitue une Encyclopédie. Elle choisit, à chaque moment, les sujets les plus importants pour l'industrie et elle néglige les autres. Poussant plus loin sa doctrine, elle veut qu'au sein même de chaque ouvrage, une différence soit faite entre les parties du sujet suivant qu'elles ont peu

ou beaucoup progressé, et que, rapide touriste quand il parcourt les premières, l'auteur réserve son temps à approfondir les secondes.

C'est donc le mot : **Sélection**, que nous inscrivons au frontispice de notre Encyclopédie.

Une sélection : mais, pour l'opérer avec discernement, quel est notre fil conducteur? Eh bien! pour élaborer ce groupement d'ouvrages dédiés au public industriel, c'est le point de vue scientifique sur lequel nous nous appuyons. De la collaboration scientifique et industrielle, envisagée aujourd'hui comme un facteur de la renaissance française, nous avons déjà, par ailleurs, tenté de faire une réalité; cette Encyclopédie marque un nouvel effort dans le même sens. La science est la source vive des progrès dans les applications; malgré mille détours et mille obstacles qui, souvent, rendent ténu le fil qui les relie à elle, c'est bien d'elle qu'ils sortent tous. Voilà pourquoi les données scientifiques nous ont semblé fournir les meilleures bases des classifications industrielles et donner l'expression la plus claire de l'évolution qu'a subie la technique au cours des dernières années.

Le côté pratique.

De cette trame scientifique, une documentation extrêmement précise, remplit les mailles. Des dessins d'appareils, des tableaux de rendement, des chiffres de consommation. Qu'au lieu de lire un livre, il vous semble parcourir une usine!

Chaque fois qu'on le peut, les meilleurs mots sont des chiffres.

Et les prix de revient, dira-t-on? Point délicat, sur lequel nous aimons à nous expliquer. Le prix de revient est variable avec le cours des matières et les taux de la main

d'œuvre; nulle époque n'a vu, autant que la nôtre, l'extraordinaire instabilité des uns et des autres.

Cependant, on essaie, dans cette collection, de dégager, du prix de revient instable, les fondements fixes qui, à une époque quelconque, servent à bâtir le calcul complet. Une fois chiffrés les quantités de matières et le nombre d'heures de travail, une fois déterminés les pourcentages habituels de frais généraux, la durée d'amortissement du matériel, etc..., le lecteur a en mains un clavier sur lequel il peut jouer pour obtenir le prix de revient qu'il recherche.

* * *

Les volumes sont, en principe, suivis d'index où l'on s'efforce d'énumérer les établissements qui préparent les matières ou construisent les appareils mentionnés dans l'ouvrage. Cet index contient de courtes notices dans lesquelles ceux de ces établissements qui veulent bien s'y prêter, signalent les particularités les plus intéressantes de leurs produits.

Ainsi, après avoir acquis dans le corps de l'ouvrage les notions d'ensemble et les informations techniques les plus importantes, le lecteur reçoit de ces notices une première orientation, s'il veut lui-même aborder l'étude d'un projet ou effectuer un achat. Et cet index, qui jusqu'ici n'était pas dans les habitudes françaises, apparaît comme un pont nécessaire pour franchir la crevasse, souvent profonde, entre l'étude préalable et l'application personnelle.

ANDRÉ LÉAUTÉ.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

TRAITEMENT DU GAZ

I. — PREMIÈRE CONDENSATION.

	Pages.
1. Généralités.	1
2. Première condensation.	2
3. Théorie de la condensation du gaz.	2
4. Barillet.	3
5. Dispositifs permettant l'évacuation des produits de condensation.	5
6. Dispositifs permettant le nettoyage des barillets.	6
7. Concentration des eaux ammoniacales des barillets.	7
8. Produits de condensation recueillis dans le barillet.	8
9. Collecteurs.	9
10. Condenseurs réfrigérants.	9
11. Condenseurs à air. Généralités.	9
12. Condenseurs à air à tubes verticaux. Jeux d'orgues.	10
13. Condenseurs à air à tubes horizontaux.	11
14. Condenseurs à air annulaires (Kirkham Wright).	12
15. Condenseurs à eau.	12

II. — EXTRACTION DU GAZ.

16. Utilité et emplacement des extracteurs.	14
17. Puissance absorbée par les extracteurs.	14
18. Extracteurs à piston.	15
19. Extracteurs rotatifs. Appareil Beale.	15
20. Extracteurs rotatifs centrifuges.	17
21. Réglage des extracteurs.	18
22. Régulateurs de retour.	19
23. Régulateur de vapeur.	20
24. Vanne à clapet automatique.	21

III. — DEUXIÈME CONDENSATION DU GAZ.

	Pages.
25. But de la deuxième condensation.	23
26. Condensateurs à choc. Appareils Pelouze et Audouin.	23
27. Condensateurs à cloches multiples.	24
28. Réglage du condensateur Pelouze et Audouin.	25
29. Condensateurs à cloche rotative, système Mallet.	25
30. Condensation électrostatique. Procédé Cottrell.	26
31. Contrôle de l'efficacité des condensateurs à godron.	27

IV. — LAVAGE DU GAZ.

32. Généralités.	29
33. Élimination de la naphthaline. Sa nécessité.	30
34. Lavage par l'huile d'anthracène.	31
35. Laveurs Standard.	31
36. Contrôle de la marche des laveurs à naphthaline.	32
37. Élimination du cyanogène.	33
38. Procédé Bueb-Guillet. Principe.	34
39. Réalisation du lavage pour élimination du cyanogène.	35
40. Traitement des boues.	36
41. Contrôle de la marche du laveur à cyanogène.	37
42. Élimination de l'ammoniaque et de l'acide carbonique.	37
43. Influence de la température.	37
44. Colonnes de lavage ou scrubbers.	38
45. Laveurs à barbotage.	39
46. Laveurs rotatifs à surfaces de contact mouillées.	40
47. Laveurs centrifuges.	40
48. Contrôle de la marche des laveurs à ammoniaque.	42
49. Élimination des produits ammoniacaux par lavage à l'acide (sulfatation directe).	42

V. — EPURATION CHIMIQUE.

50. Généralités.	45
51. Nécessité de l'élimination de l'hydrogène sulfuré.	45
52. Principe de l'élimination à sec de l'hydrogène sulfuré.	46
53. Théorie de la revivification.	47
54. Revivification continue.	47
55. Élimination de l'hydrogène sulfuré par lavage.	49
56. Élimination du sulfure de carbone.	50
57. Élimination de l'ammoniaque.	51
58. Élimination du cyanogène.	52
59. Élimination de l'anhydride carbonique.	53
60. Épuration double, liquide et solide. Procédé de la Société du Gaz de Paris.	53

	Pages.
61. Réalisation de l'épuration chimique. Généralités.	54
62. Matières d'épuration.	55
63. Cuves d'épuration.	56
64. Nombre et dimensions des cuves d'épuration.	58
65. Manœuvre des couvercles et manutention de la matière.	60
66. Distribution méthodique du gaz dans les épurateurs.	61
67. Appareils revivificateurs.	64
68. Conduite de l'épuration et de la revivification.	65
69. Contrôle de l'épuration.	67
70. Contrôle de la purification du gaz.	67
71. Contrôle de la valeur des matières épurantes.	68
72. Vieilles matières.	69
73. Élimination combinée des produits ammoniacaux et sulfurés.	69
74. Procédé Burkheiser.	70
75. Procédé Feld.	72

DEUXIÈME PARTIE

SERVICES ACCESSOIRES DE LA FABRICATION

VI. — MESURAGE DU GAZ.

76. Rôle du compteur de fabrication.	75
77. Principe du fonctionnement d'un compteur de fabrication.	76
78. Description d'un compteur ordinaire.	76
79. Dispositifs particuliers aux compteurs de fabrication.	78
80. Enregistrement du débit.	78
81. Vitesse de rotation des compteurs.	79
82. Compteur Duplex à grande vitesse.	79
83. Compteur Multiplex à grand débit.	80
84. Compteur Rotary.	80
85. Compteur électrique Thomas.	81
86. Indicateurs de débit.	81

VII. — EMMAGASINAGE DU GAZ.

87. Généralités.	84
88. Capacité gazométrique.	84
89. Types de gazomètres.	85
90. Cuves en maçonnerie.	86
91. Calcul de l'épaisseur d'une cuve en supposant que la maçonnerie travaille à la traction.	87
92. Cuves en ciment armé.	88
93. Cuves métalliques.	88

	Pages.
94. Cuves à parois cylindriques.	89
95. Cuves à parois courbes.	91
96. Gazomètres sans cuve.	91
97. Cloches de gazomètres.	93
98. Paroi cylindrique de la cloche.	94
99. Calotte et charpente de soutien.	94
100. Couronne annulaire.	95
101. Cloches télescopiques.	96
102. Guidage des gazomètres.	97
103. Efforts exercés sur la cloche.	98
104. Guidages radial et tangentiel.	98
105. Galets extérieurs et galets intérieurs.	100
106. Guidage hélicoïdal.	101
107. Guidage par câbles.	101
108. Emploi des gazomètres. Mise en gaz.	102
109. Entretien.	103
110. Contamination du gaz dans les gazomètres.	103

VIII. — ÉMISSION DU GAZ.

111. Généralités.	105
112. Régulateurs d'émission.	106
113. Régulateurs à pression constante.	107
114. Réglage de la pression au centre de consommation.	108
115. Régulateurs de sûreté.	110
116. Manomètres ordinaires.	110
117. Manomètres inclinés.	112
118. Manomètres enregistreurs.	113

IX. — COMPOSITION ET QUALITÉ DU GAZ.

119. Généralités.	114
120. Méthodes d'analyse du gaz.	114
121. Principe de la méthode volumétrique.	114
122. Burette de Bunte.	116
123. Méthode générale d'analyse des mélanges gazeux. Procédé Lebeau et Damiens.	117
124. Dosage du goudron.	118
125. Dosage de l'ammoniaque.	118
126. Dosage de l'hydrogène sulfuré.	118
127. Dosage du soufre total (Procédé de Drehschmidt).	118
128. Dosage de la naphthaline.	119
129. Dosage du cyanogène.	120
130. Principe de la méthode de Knublauch.	120

	Pages.
131. Principe de la méthode de Feld.	121
132. Définition du pouvoir éclairant.	122
133. Unités d'intensité lumineuse.	123
134. Détermination du « pouvoir éclairant » français.	123
135. Définition du pouvoir calorifique.	125
136. Détermination du pouvoir calorifique par le calcul.	125
137. Détermination du pouvoir calorifique par la méthode calorimétrique.	125
138. Calorimètre Junkers.	126
139. Calorimètres enregistreurs.	127
140. Définition de la densité.	128
141. Appareil de Schilling.	128

X. — CITERNES A GOUDRON ET A EAU AMMONIACALE.

142. Généralités.	130
143. Citernes de décantation.	130
144. Capacité des citernes.	131
145. Reprise des goudrons et des eaux ammoniacales.	133

TROISIÈME PARTIE

XI. — DISTRIBUTION DU GAZ.

146. Généralités.	135
147. Estimation du débit d'une canalisation de gaz.	135
148. Calcul du diamètre des canalisations.	136
149. Calcul de la perte de charge en tenant compte des branchements.	137
150. Influence des changements de direction.	138
151. Influence des changements de section.	138
152. Influence du changement d'altitude.	139
153. Groupement des conduites principales.	139
154. Distribution du gaz par surpression.	140
155. Avantages de la distribution à haute pression.	140
156. Surpresseurs.	141
157. Ventilateurs rotatifs.	142
158. Ventilateurs centrifuges.	143
159. Accouplement des ventilateurs centrifuges.	144
160. Détendeurs, régulateurs.	145
161. Régulateurs à surcharge automatique.	146
162. Gazomètres relais.	148
163. Distribution du gaz dans la banlieue de Paris.	149

QUATRIÈME PARTIE

XII. — RÉCUPÉRATION DU BENZOL
ET DE L'ÉTHYLÈNE DANS LE GAZ D'ÉCLAIRAGE

	Pages.
164. Généralités.	153
165. Historique.	153
166. Teneur en benzol du gaz d'éclairage.. . . .	154
167. Dosage du benzol dans le gaz. Méthode de M. E. Sainte-Claire Deville.	156
168. Schéma de la fabrication du benzol.	158
169. Méthodes de captation du benzol dans le gaz.	159
170. Captation du benzol par lavage du gaz.	159
171. Propriétés des liquides employés pour le débenzologie du gaz par lavage.	159
172. Principaux liquides laveurs : huile, goudron, crésols, pétrole.	160
173. Réalisation du lavage du gaz.	162
174. Considérations générales relatives aux laveurs.	164
175. Colonne de lavage P. Mallet.	164
176. Laveur Livesey.	165
177. Laveurs à claies. Système Zschocke.. . . .	166
178. Anneaux Raschig.	166
179. Anneaux Prymm.	166
180. Élément Brégeat.	167
181. Laveurs Standard et laveurs centrifuges.	167
182. Désessenciment de l'huile.	167
183. Désessenciment et fractionnement combinés.	168
184. Composition des huiles légères obtenues.	169
185. Absorption du benzol au moyen du charbon de bois activé.	170
186. Liquéfaction du benzol par réfrigération du gaz.	172
187. Première rectification.	172
188. Lavage chimique.	173
189. Rectification finale.	175
190. Appareil à rectification continue.	176
191. Caractéristiques et contrôle des produits commerciaux.	178
192. Influence du débenzologie sur le pouvoir calorifique du gaz.	180
193. Influence du débenzologie sur le pouvoir éclairant du gaz.	182
194. Récupération de l'éthylène dans le gaz d'éclairage.	182

CINQUIÈME PARTIE

XIII. — TRAITEMENT DU COKE.

195. Emplois du coke.	185
196. Qualités du coke de gaz.	185

	Pages.
197. Criblage et conditionnement du coke.	187
198. Meilleures conditions de criblage et de manutention du coke.	187
199. Trommels.	188
200. Tables à secousses.	189
201. Autres appareils classeurs.	190
202. Dispositions générales des installations du criblage.	190

SIXIÈME PARTIE

XIV. — TRAITEMENT DES EAUX AMMONIACALES.

203. Eaux ammoniacales.	193
204. Production et consommation de sulfate d'ammoniaque.	195
205. Théorie de la fabrication du sulfate d'ammoniaque.	196
206. Disposition générale d'un atelier de sulfate d'ammoniaque.	199
207. Échangeurs de température.	201
208. Appareils distillatoires.	202
209. Déphlegmateur.	202
210. Colonne à sels volatils.	204
211. Colonne à sels fixes.	205
212. Appareil à colonne unique.	207
213. Délayeur à chaux.	207
214. Saturateurs.	209
215. Séchage du sulfate d'ammoniaque.	211
216. Marche et contrôle de la fabrication du sulfate.	211
217. Coloration du sulfate d'ammoniaque.	214
218. Procédé de sulfatation par le bisulfate de sodium.	215
219. Procédé de sulfatation par le sulfate de chaux.	215
220. Fabrication d'eaux ammoniacales concentrées.	216
221. Fabrication de gaz ammoniac pur.	217

SEPTIÈME PARTIE

LE GOUDRON DE HOUILLE

XV. — FORMATION DU GOUDRON.

222. Généralités.	221
223. Composition chimique.	221
224. Facteurs influant sur la quantité et la composition du goudron.	224
225. Influence de la nature du charbon.	224
226. Influence de la température de distillation du charbon.	225
227. Influence de la forme des cornues.	226
228. Influence de la pression à l'intérieur de la cornue.	226

	Pages.
229. Quantité de goudron recueillie par tonne de charbon.	226
230. Emplois du goudron brut.	227

XVI. — TRAITEMENT DU GOUDRON.

231. Utilité du traitement du goudron.	228
232. Déshydratation.	229
233. Déshydratation mécanique ou essorage du goudron.	229
234. Déshydratation thermique.	229
235. Déshydratation système P. Mallet.	231
236. Distillation.	232
237. Distillation discontinue.	233
238. Chaudières.	234
239. Condenseurs.	235
240. Éprouvettes.	235
241. Étouffoirs.	235
242. Fosses à brai.	236
243. Marche et contrôle de la distillation discontinue.	236
244. Procédé de distillation continue Ettore-Ray.	237
245. Procédé de distillation continue Raschig.	239
246. Procédé de distillation continue Lenhard.	241
247. Résultats de la distillation du goudron.	242

XVII. — HUILES ET BRAI DE GOUDRON.

248. Huile légère.	244
249. Huile moyenne ou à naphthaline.	244
250. Huile lourde ou intermédiaire.	245
251. Huile d'anthracène.	245
252. Brai.	246
253. Usages directs des huiles.	246

XVIII. — EXTRACTION DES PRINCIPAUX
COMPOSANTS DU GOUDRON.

254. Traitement des huiles.	248
255. Extraction des benzols.	248
256. Extraction et purification de la naphthaline.	248
257. Usages de la naphthaline.	249
258. Fabrication du phénol brut.	250
259. Fabrication du phénol purifié.	251
260. Fabrication des crésols purifiés.	252
261. Usage des phénols et crésols.	253
262. Extraction de l'anthracène.	253
263. Purification de l'anthracène.	253
264. Usages de l'anthracène.	255

HUITIÈME PARTIE

**XIX. — EMBLACEMENT DE L'USINE A GAZ
GROUPEMENTS DE SES DIFFÉRENTS SERVICE**

	Pages.
265. Emplacement de l'usine à gaz.	257
266. Proximité des moyens de communication.	257
267. Prix, nature et altitude du terrain.	258
268. Superficie de l'emplacement à acquérir.	258
269. Les services principaux.	260
270. Emplacements à réserver aux différents services.	261
271. Plan de l'usine à gaz de la Villette.	263
272. Plan de l'usine à gaz de Gennevilliers.	263

NEUVIÈME PARTIE

**XX. — CONTRATS DE CONCESSION.
CONTRAT-TYPE.**

273. Origines des interventions administratives.	267
274. Systèmes de concessions actuellement en vigueur.	268
275. Contrat-type. Circulaire ministérielle du 12 avril 1921.	269

**CONCESSIONS DE DISTRIBUTIONS D'ÉCLAIRAGE
PAR LE GAZ.**

Modèle de cahiers de charges.	271
---------------------------------------	-----

PREMIÈRE PARTIE

TRAITEMENT DU GAZ

I. — PREMIÈRE CONDENSATION

1. Généralités. — Nous appelons traitement du gaz l'ensemble des opérations qu'il convient de lui faire subir pour le faire passer de l'état brut, auquel il se trouve en sortant des récipients de distillation, à l'état purifié auquel il est

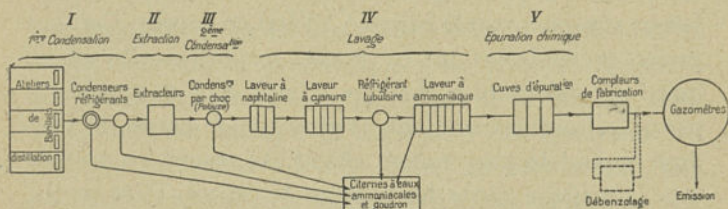


Fig. 1. — Schéma de l'ensemble du traitement du gaz.

nécessaire de l'amener pour satisfaire aux exigences des consommateurs.

Nous examinerons les différents traitements usités dans leur ordre normal d'exécution, c'est-à-dire :

- I. — Première condensation,
- II. — Extraction,
- III. — Deuxième condensation,
- IV. — Lavage du gaz,
- V. — Epuration chimique,

ainsi que cela est montré par le schéma (fig. 1).

Traitement des produits.

2. Première condensation. — Cette opération a pour but d'éliminer la majeure partie des produits facilement condensables, c'est-à-dire l'eau et le goudron contenus dans le gaz brut. Cette eau dissout en se refroidissant une certaine quantité de gaz ammoniac et de sels ammoniacaux : telle est l'origine des eaux ammoniacales.

Cette condensation s'effectue successivement dans le barillet et les condenseurs réfrigérants. Une quantité assez importante de goudron est aussi recueillie dans les collecteurs qui relient entre eux ces appareils.

3. Théorie de la condensation du gaz. — L'objectif de la condensation du gaz a longtemps été le suivant : étant donné que le benzol est la source principale du pouvoir éclairant, débarrasser le gaz brut de sa naphtaline en la faisant absorber par le goudron en voie de condensation et laisser subsister tout le benzol¹ à l'état de vapeur. Certains gaziers prétendaient que ce résultat ne pouvait être atteint qu'en « condensant à chaud », c'est-à-dire en liquéfiant, par un refroidissement lent, la plus grande partie du goudron quand le gaz, encore chaud, se trouve en contact avec la majeure partie des vapeurs de benzol. Dans ce cas, malheureusement, les vapeurs de naphtaline restaient dans la masse gazeuse. Les mêmes expérimentateurs ajoutaient que, dans le cas inverse, c'est-à-dire par refroidissement brusque ou « condensation à froid », la naphtaline et le benzol étaient éliminés du même coup.

En résumé, la « condensation à chaud » aurait conservé au gaz son benzol et sa naphtaline ; la « condensation à froid » aurait supprimé les deux.

M. E. Sainte-Claire Deville a montré que la différence entre ces deux modes de condensation n'était pas aussi grande

1. Sous le nom de benzol, on comprend un mélange de carbures de la série aromatique, contenant principalement du benzène.

qu'on le croyait. Il a trouvé, en effet, que la répartition des vapeurs de benzol s'opère de la manière suivante :

	CONDENSATION A CHAUD ou lente	CONDENSATION A FROID ou brusque
Benzol du gaz.	99	93
Benzol du goudron.	1	7
	<hr/> 100	<hr/> 100

Les conclusions précitées sont donc beaucoup trop absolues et en réalité la meilleure solution est la « condensation à froid » ; la question de la disparition du benzol dans le gaz au cours de la condensation a d'ailleurs perdu beaucoup de son importance depuis que le pouvoir éclairant a cessé d'être un facteur d'appréciation de la valeur du gaz.

4. Barillet. — Le barillet est à la fois un condenseur et un clapet de retenue automatique. Pour atteindre ce dernier but, c'est-à-dire pour éviter que le gaz ne se répande dans les cornues, par exemple en cas d'arrêt des extracteurs, il faut que la surface du plan d'eau du barillet soit très grande par rapport à la section totale des plongeurs. Le rapport entre ces deux surfaces est évidemment fonction de l'importance de la pénétration normale des pipes de plongeur dans l'eau du barillet et de la pression que ce dernier peut accidentellement avoir à supporter. En général, cette dernière est, au maximum, celle des gazomètres.

Pour les fours à cornues horizontales, la surface du barillet est environ 10 décimètres carrés par 100 mètres cubes produits par 24 heures : elle est seulement de 4 décimètres carrés pour les fours à chambres.

Le barillet remplit d'autant mieux son rôle de condenseur que, toutes proportions gardées, sa surface extérieure est plus grande et qu'il est placé à l'abri du rayonnement

du massif des fours. Pour les fours à cornues horizontales, on peut généralement réaliser ces deux desiderata ; quand il n'en est pas ainsi, il faut recourir à des artifices tels que l'injection directe d'eau froide avec ou sans dispositif de concentration des eaux ammoniacales, ou l'emploi d'une réfrigération par serpentín logé dans le barillet et alimenté en eau froide, ou encore d'autres procédés.

En général, la température des liquides contenus dans le barillet est 65 à 70°.

La figure 2 est la reproduction des indications fournies

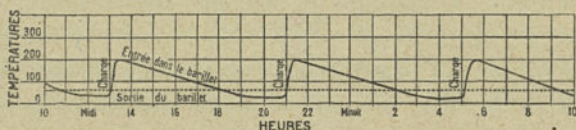


Fig. 2. — Graphique des températures du gaz dans un barillet de four à cornues.

par des thermomètres enregistreurs placés à l'entrée et à la sortie du gaz dans le barillet d'un four à cornues horizontales de 6 mètres de long, distillant 600 kilogrammes en 8 heures et n'ayant qu'une seule colonne montante par cornue.

La figure 3 donne les mêmes indications relatives au

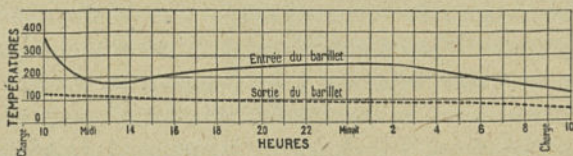


Fig. 3. — Graphique des températures du gaz dans un barillet de four à chambres.

barillet d'un four à chambres inclinées distillant environ 6 tonnes par chambre et par 24 heures, muni du dispositif de concentration des eaux ammoniacales décrit au paragraphe 7.

5. Dispositifs permettant l'évacuation des produits de condensation. — On emploie encore, dans de petites

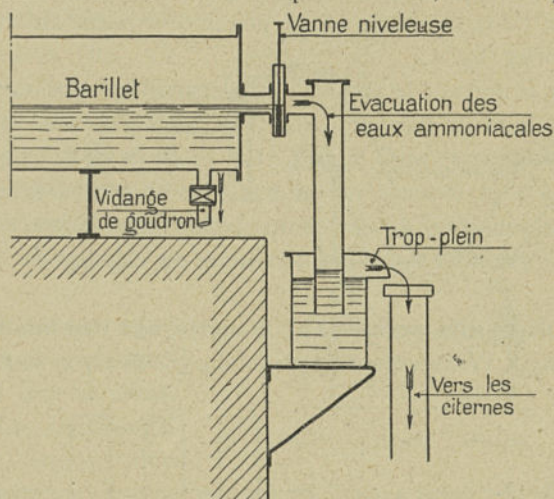


Fig. 4. — Siphon de barillet.

usines, des barillets permettant l'évacuation continue des

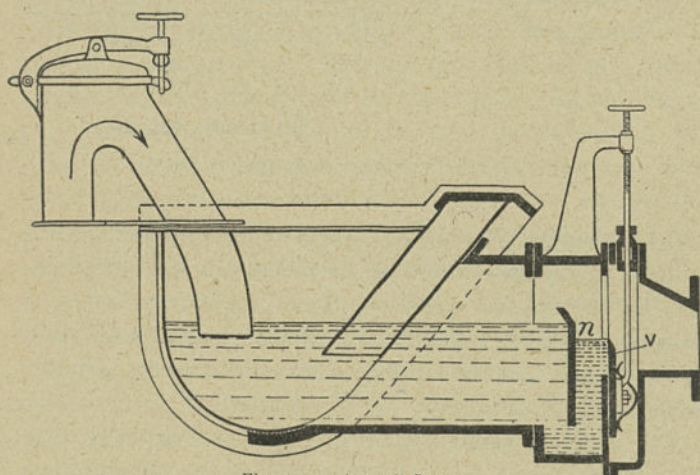


Fig. 5. — Appareil Drory.

eaux ammoniacales par débordement dans un siphon, tandis que le goudron est évacué périodiquement par l'ouverture d'une vanne de purge placée à la partie inférieure du barillet (fig. 4).

Pour éviter que le goudron ne s'épaississe en séjournant dans le fond du barillet, Drory a imaginé l'appareil d'évacuation montré par la figure 5. Les produits de la condensation y sont évacués par le bas dans un compartiment *n* d'où ils débordent au-dessus du plateau réglable de la vanne V pour s'écouler dans une tuyauterie de vidange.

6. Dispositifs permettant le nettoyage des barillets.

— Malgré l'écoulement continu du goudron, il se forme

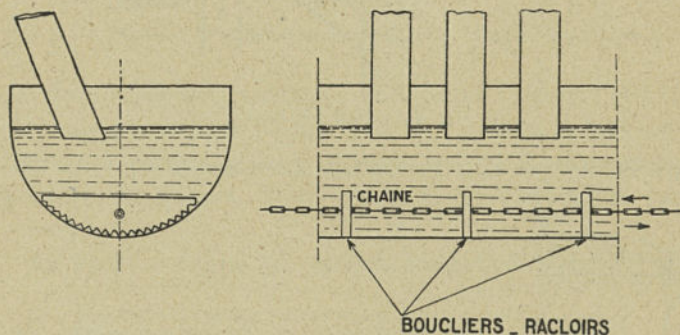


Fig. 6. — Bouclier denté pour le nettoyage des barillets.

dans les barillets des dépôts visqueux qui ont tendance à adhérer aux parois. Pour les détacher, on peut employer une sorte de racloir qui consiste en un certain nombre de boucliers dentés épousant la forme transversale du barillet et réunis par de longues chaînes actionnées par des treuils (fig. 6).

Ces mêmes dépôts goudronneux peuvent aussi être grattés et extraits à l'aide d'écumoirs qu'on introduit

dans le barillet par un canal, appelé tabatière, qui plonge dans l'eau ammoniacale et qui est fermé extérieurement par un couvercle à charnières (fig. 7). Dans ce cas, les barillets sont divisés par des cloisons transversales en autant de sections qu'il y a de tabatières.

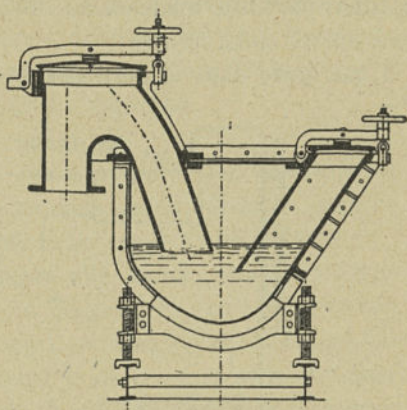


Fig. 7. — Barillet à tabatière.

7. Concentration des eaux ammoniacales des barillets.

— Le fonctionnement des barillets

nécessite qu'ils soient remplis de liquide jusqu'à la hauteur déterminée par la vanne niveleuse. Dans certains cas, la condensation même des produits contenus dans le gaz permet d'entretenir le volume de liquide nécessaire.

Lorsque cela n'est pas possible et que la température du barillet se maintient trop élevée, il faut avoir recours à une alimentation supplémentaire en eau fraîche. Ce procédé a pour inconvénient de diluer les eaux ammoniacales au point de rendre quelquefois leur traitement ultérieur sans intérêt. On peut y remédier en les concentrant au moyen d'un dispositif continu très simple, comme celui qui est employé à l'usine à gaz de Gennevilliers (fig. 8).

Le mélange d'eau et de goudron venant du barillet s'écoule dans le compartiment médian d'un bac de décantation R_1 . Le goudron décanté est évacué d'une manière continue par l'intermédiaire du compartiment 1, séparé de 2 par une cloison n'allant pas jusqu'au fond. L'eau ammoniacale se déverse dans 3, puis elle est refoulée à

l'aide d'une pompe P dans le bac régulateur R₂. L'eau contenue dans ce dernier bac est dirigée à nouveau vers les barillets par l'intermédiaire du collecteur de distribution C. Le cycle est ainsi fermé.

L'eau entre dans le barillet à une température de 60° et

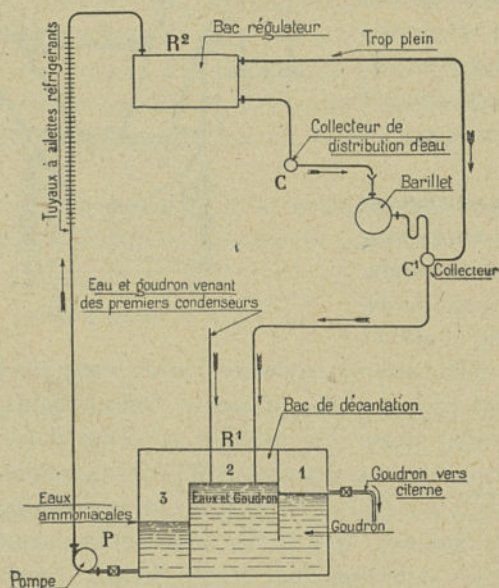


Fig. 8. — Schéma d'un dispositif de concentration des eaux ammoniacales.

sort à 80° environ, alors que les températures respectives d'entrée et de sortie du gaz sont en moyenne de 250 à 100°.

Les eaux ammoniacales sont envoyées aux citernes lorsqu'elles titrent environ 15 grammes d'ammoniaque totale par litre.

8. Produits de condensation recueillis dans le barillet. — En moyenne, dans les barillets de fours à cornues horizontales, maintenus à la température de 60°, on

recueille environ 50 à 55 pour 100 du goudron total produit par la distillation du charbon.

Dans les mêmes conditions les eaux ammoniacales contiennent, selon les charbons distillés, de 5 à 13 grammes d'ammoniaque totale par litre, dont une faible partie à l'état libre (souvent 20 pour 100 environ).

9. Collecteurs. — Le gaz provenant des barillets des différents fours est rassemblé dans une canalisation, appelée collecteur, qui le conduit vers les appareils de traitement.

Le collecteur, construit en tôle mince, permet la continuation de la condensation du goudron (10 à 20 pour 100 du goudron total) et des eaux ammoniacales. Il est constitué par une série d'éléments dont les axes sont verticaux ou légèrement inclinés sur l'horizontale, afin de permettre l'écoulement facile des liquides qu'il contient vers les siphons d'évacuation.

Pour éviter l'effet nuisible des efforts de dilatation auxquels ils sont soumis par suite des variations de température, on réunit les différents tronçons des collecteurs soit par des joints élastiques, soit par des joints glissants.

10. Condenseurs réfrigérants. — Les condenseurs réfrigérants, destinés à refroidir le gaz aussi énergiquement que possible, peuvent être divisés en deux catégories :

- 1° Les condenseurs à air,
- 2° Les condenseurs à eau.

11. Condenseurs à air. Généralités. — Perrisini a fait le calcul des surfaces de refroidissement des condenseurs à air¹.

L'application de sa formule donne, dans les conditions ordinaires de température, 30 mètres carrés de surface de

1. Voir *Le Gaz*, par René MASSE, t. III, p. 34.

Ils sont constitués par une série de tuyaux verticaux reliés deux par deux à la partie supérieure et fixés sur une caisse contenant de l'eau. Cette caisse présente des cloisons de séparation intérieures disposées de façon à permettre le cheminement du gaz successivement dans tous les tubes (fig. 9).

13. Condenseurs à air à tubes horizontaux. — Dans ces appareils (fig. 10), le gaz circule en zig-zag dans une

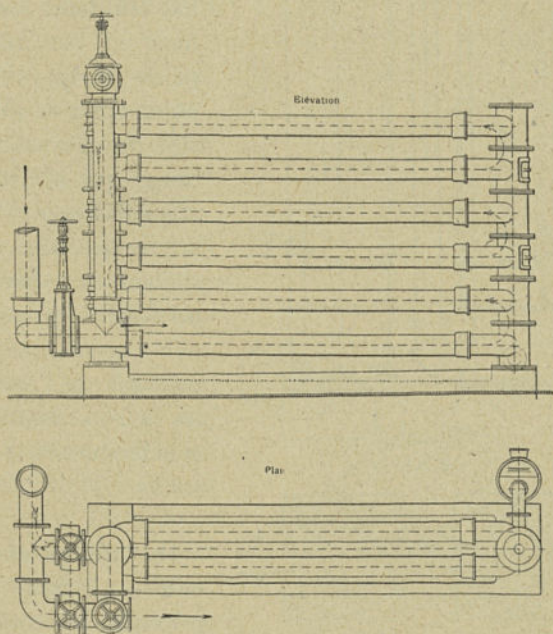


Fig. 10. — Condenseur à air à tubes horizontaux.

série de tubes fixés sur deux collecteurs verticaux. En réalité, ces tubes ne sont pas horizontaux, ils sont légèrement inclinés pour faciliter l'écoulement des produits de condensation.

14. Condenseurs à air annulaires (Kirkham Wright).

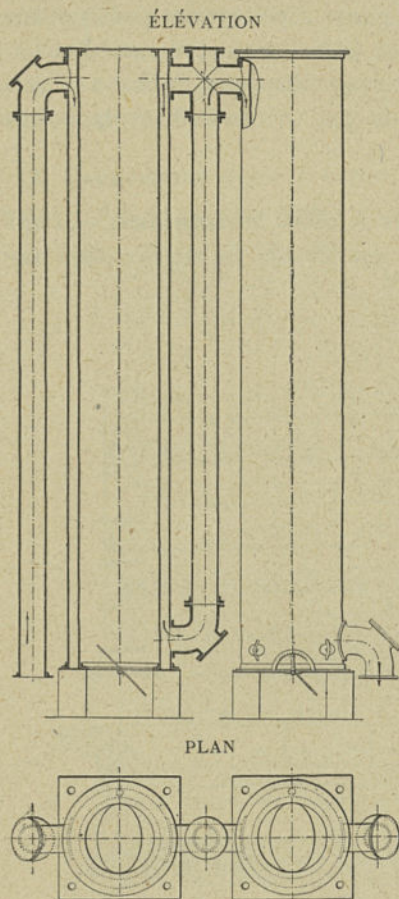


Fig. 11. — Condenseur à air annulaire.

— Ils sont constitués par deux cylindres concentriques en tôle, fermés aux deux extrémités par des plaques en forme de couronne (fig. 11).

Le gaz circule de bas en haut ou de haut en bas dans la partie annulaire. La partie centrale joue le rôle de cheminée de tirage qui favorise le refroidissement. Pour activer la réfrigération suivant les besoins, un dispositif convenable permet de faire ruisseler de l'eau sur les parois intérieure et extérieure de la couronne.

15. Condenseurs à eau. — D'après l'expérience, les condenseurs à eau doivent

avoir une surface refroidissante de 10 à 15 mètres carrés par 1 000 mètres cubes de production journalière.

La consommation d'eau, qui varie avec les conditions atmosphériques, oscille entre 2 et 4 litres par mètre cube de gaz refroidi.

Les condenseurs à eau sont constitués par des faisceaux tubulaires traversés par le gaz et plongés sur toute leur longueur dans un récipient plein d'eau.

Dans certains appareils, les tubes sont verticaux (fig. 12), dans d'autres ils sont horizontaux (condenseurs Reutter).

Dans les deux cas, le refroidissement méthodique est obtenu en faisant circuler en sens inverse le gaz et l'eau.

Un autre type permet de réaliser une combinaison des condenseurs à air et à eau.

Dans ces appareils, ce sont les tubes qui sont traversés par l'eau. Le gaz circule autour d'eux dans l'enveloppe dont la paroi extérieure est refroidie par l'air. Citons enfin le condenseur de Mohr dans lequel la surface lisse des parois de contact est remplacée

par une paroi ondulée, ce qui permet, pour une même surface réfrigérante, de diminuer la hauteur de l'appareil.

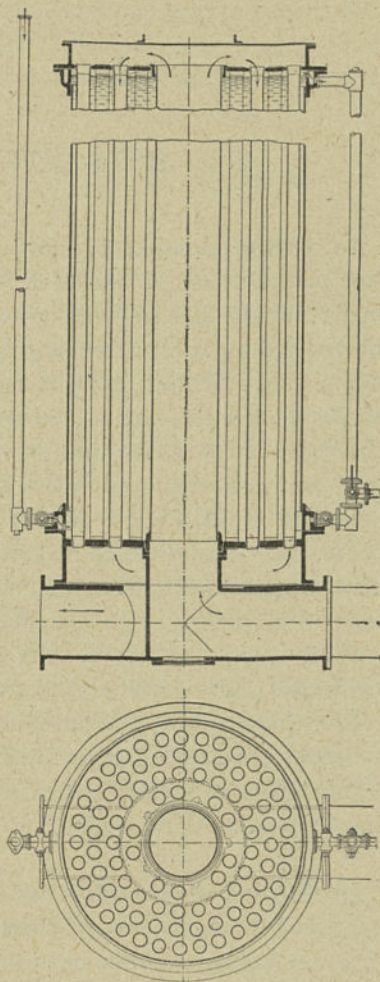


Fig. 12. — Condenseur à eau à tubes verticaux.

II. — EXTRACTION DU GAZ

16. Utilité et emplacement des extracteurs. — Dans son parcours depuis l'atelier de distillation jusqu'au gazomètre, le gaz doit traverser toute une série d'appareils de traitement qui constituent de grosses résistances à sa circulation. Pour faciliter son passage, il est utile de l'aspirer au fur et à mesure de sa formation dans les cornues ou chambres et de le refouler vers le gazomètre. C'est là le rôle de l'extracteur, qui n'est en somme qu'une pompe aspirante et foulante. Il permet d'éviter que la distillation ne se fasse sous pression exagérée, ce qui, nous l'avons déjà vu, présente le très grand inconvénient de diminuer les qualités du gaz et d'augmenter les fuites dues à la porosité des cornues ou aux défauts d'étanchéité des portes de fermeture et des joints de tuyauteries.

Les extracteurs se placent habituellement entre les condenseurs réfrigérants et les séparateurs de goudron, leur fonctionnement n'étant pas gêné par l'action du goudron, encore contenu dans le gaz.

17. Puissance absorbée par les extracteurs. — La puissance théoriquement nécessaire pour refouler Q mètres cubes de gaz par seconde de la pression h' à la pression h (exprimées toutes deux en millimètres d'eau) se calcule, en chevaux-vapeur, de la manière suivante :

$$P = Q \left(\frac{h - h'}{75} \right).$$

Il est prudent de ne compter en moyenne que sur un rendement de 50 pour 100, de sorte que, pratiquement, pour 1000 mètres cubes à l'heure et pour 1 centimètre d'élévation de pression, la puissance absorbée sur l'arbre de l'extracteur est :

$$P = 2Q \left(\frac{h - h'}{75} \right) = 2 \times \frac{1\ 000}{60 \times 60} \times \frac{10}{75} = 0,074 \text{ ch. vap.}$$

18. Extracteurs à piston. — Les extracteurs à piston sont des pompes à gaz à double effet, à grand débit et à faible pression, caractérisées, comme les machines soufflantes, par les grandes dimensions des orifices de leurs cylindres.

Les clapets habituels sont remplacés par des tiroirs analogues à ceux des machines à vapeur.

Dans les appareils Pintsch utilisés dans les usines berlinoises, l'organe de distribution est constitué par un registre cylindrique logé dans le piston et tournant autour de son axe qui est parallèle à l'arbre. Le mouvement de rotation du registre est obtenu par des bielles de manœuvre. Des orifices, découverts par le piston dans ses positions extrêmes et destinés à l'évacuation du goudron condensé, sont disposés aux extrémités des cylindres. Ces appareils ont l'inconvénient de provoquer d'importantes oscillations de pression.

19. Extracteurs rotatifs. — **Appareil Beale.** — Parmi les extracteurs rotatifs, le plus répandu est celui de Beale (fig. 13).

Il se compose essentiellement d'une enveloppe cylindrique A dans laquelle tourne un tambour B excentré de manière à être tangent à la partie inférieure de A.

Dans un plan diamétral du tambour B peuvent coulisser

deux palettes C qui divisent en deux la capacité de l'extracteur.

Chacune de ces palettes est fixée par des tenons sur deux cercles D qui peuvent tourner, concentriquement au cylindre A, dans des logements annulaires pratiqués dans les plaques de fermeture latérales,

L'étanchéité entre les palettes et la paroi cylindrique intérieure est obtenue au moyen de 2 rails *b* constamment poussés par des ressorts. Le tambour B lié rigidement à l'arbre d'attaque, entraîne les palettes qui s'écartent l'une de l'autre puisque leurs extrémités sont maintenues en contact avec la paroi de l'enveloppe A par leur fixation sur

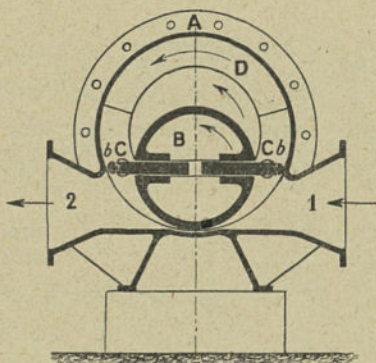


Fig. 13. — Extracteur Beale.

les cercles D également entraînés dans le mouvement de rotation. Quand le tambour tourne dans le sens de la flèche, il provoque l'aspiration du gaz dans la conduite 1 et le refoulement dans la conduite 2. Les volumes développés par les palettes passent alternativement par un maximum et par un minimum, il en résulte de petites variations de pression.

Les extracteurs Beale peuvent être construits avec deux, trois ou quatre palettes.

L'arbre du tambour mobile est percé suivant sa longueur et sert à l'introduction d'huile lourde de goudron qui graisse les parois et solubilise le goudron qui peut être abandonné par le gaz. Les extracteurs Beale peuvent être commandés par des moteurs à vapeur, à gaz ou électriques. Ils sont

quelquefois directement accouplés avec des machines à vapeur, munies spécialement d'un dispositif proportionnant la vitesse du moteur à la production du gaz.

20. Extracteurs rotatifs centrifuges. — Les ventilateurs centrifuges peuvent être employés comme extracteurs à condition d'être munis de régulateurs de vitesse.

Rappelons que le régime de fonctionnement d'un ventilateur est toujours précisé par ses courbes caractéristiques qui représentent, pour chaque vitesse, les différentes valeurs prises par la pression totale engendrée et par le rendement en fonction du débit. De ces 2 courbes, on peut déduire celle qui exprime les puissances absorbées grâce à la relation

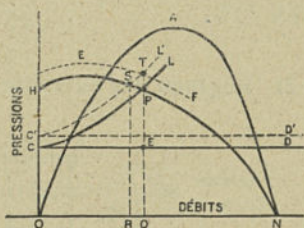


Fig. 14.

Caractéristiques d'un extracteur centrifuge.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Débit} \times \text{Pression}}{\text{Puissance}}$$

Ainsi, à chaque vitesse d'un même appareil correspond une série de 3 courbes caractéristiques. Sur la figure 14, HN est la caractéristique « débit-pression » et OAN est la caractéristique « débit-rendement » pour une certaine vitesse constante de l'appareil.

Si OC est la pression à vaincre à débit nul, c'est-à-dire la pression du gazomètre et si CL est la courbe des pressions dues au passage du gaz dans tous les appareils depuis la cornue jusqu'au gazomètre (pressions sensiblement proportionnelles au carré des débits), pour le débit OQ la pression de fonctionnement sera QP.

Imaginons que le gazomètre soit à plusieurs levées et voyons ce qui va se passer au moment du soulèvement

de l'une d'elles. La résistance OC va devenir OC' et la courbe CL va être transportée en C'L'. Le point de fonctionnement va alors tendre vers S et le débit vers OR, inférieur à OQ ce qui est inadmissible. C'est alors que le régulateur de vitesse doit intervenir pour accélérer l'allure jusqu'à l'obtention du fonctionnement représenté par la caractéristique EF, qui passe par le point T définissant le débit utile OQ et la nouvelle pression indispensable QT.

21. Réglage des extracteurs. - - Ainsi que nous venons

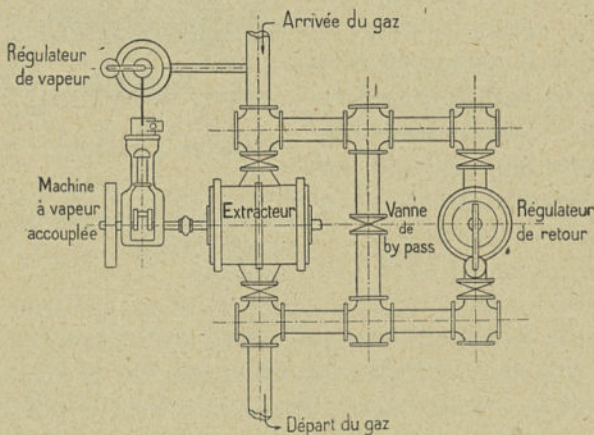


Fig. 15. — Installation générale d'un extracteur.

de le voir au sujet des appareils centrifuges, tout bon extracteur doit permettre de maintenir constante la dépression dans la cornue, quels que soient le débit et la pression de refoulement.

Ce résultat est atteint soit en modifiant la vitesse de rotation des extracteurs, soit en mettant, grâce à des appareils spéciaux appelés régulateurs de retour, l'aspiration en com-

munication avec le refoulement, soit enfin en employant les 2 moyens à la fois.

22. Régulateurs de retour. — Les régulateurs de retour

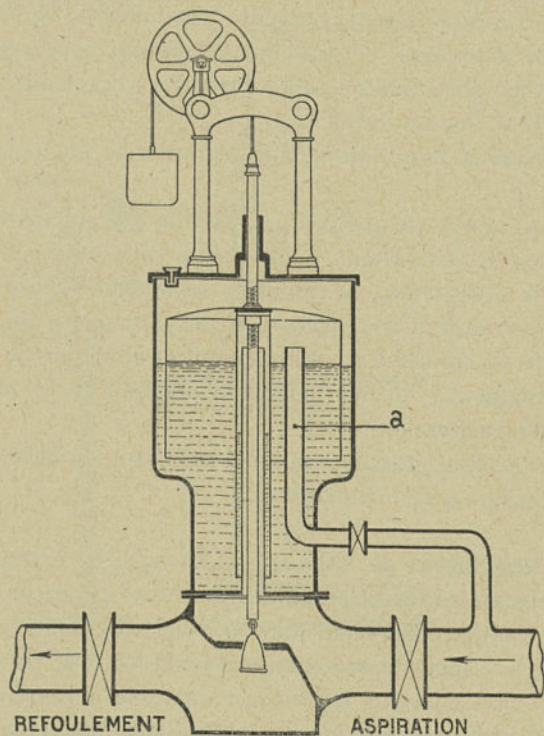


Fig. 16. — Régulateur de retour à simple effet.

sont montés en dérivation sur la canalisation de gaz comme le montre le croquis ci-joint (fig. 15).

Comme tous les appareils de traitement du gaz, ils sont munis d'un by-pass, c'est-à-dire d'une canalisation supplémentaire fermée en temps normal par une vanne ordinaire

ou un clapet automatique et destinée, en cas de réparation ou d'accident, à mettre l'appareil hors circuit.

La figure 16 représente un régulateur de retour à simple effet construit par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usine à Gaz.

Il se compose essentiellement d'une cloche équilibrée qui peut se mouvoir verticalement dans une cuve remplie d'eau et qui porte une soupape suspendue à l'extrémité inférieure de sa tige centrale.

La pression d'aspiration est transmise sous la cloche par le tube *a*.

Lorsqu'une cause quelconque, comme une augmentation de vitesse de l'extracteur, provoque un vide exagéré dans la conduite d'aspiration, la cloche du régulateur s'abaisse. La soupape s'ouvre et livre passage à du gaz de retour qui provient de la conduite de refoulement et alimente de nouveau l'extracteur en maintenant la pression fixée dans la conduite d'aspiration.

On règle cette pression à volonté en faisant varier le poids de la cloche ou son contrepoids.

23. Régulateur de vapeur. — Lorsque les extracteurs sont directement accouplés à des machines à vapeur, on a intérêt à utiliser des régulateurs qui agissent sur l'admission de la vapeur. Leur emploi permet surtout de diminuer la vitesse quand la pression s'abaisse à l'aspiration, au lieu de laisser revenir par le régulateur de retour une partie du gaz refoulé dans l'aspiration. On réalise ainsi d'importantes économies de vapeur.

Un régulateur de vapeur est essentiellement constitué par une cloche pouvant se mouvoir dans un récipient plein d'eau (fig. 17).

Cette cloche, équilibrée au moyen d'un contrepoids réglable, agit au moyen d'un intermédiaire quelconque,

chaîne, tige, câble, etc... sur un papillon, dit « à lanterne », percé de trous à travers lesquels passe la vapeur d'admission.

La vitesse de la machine à vapeur est ainsi automati-

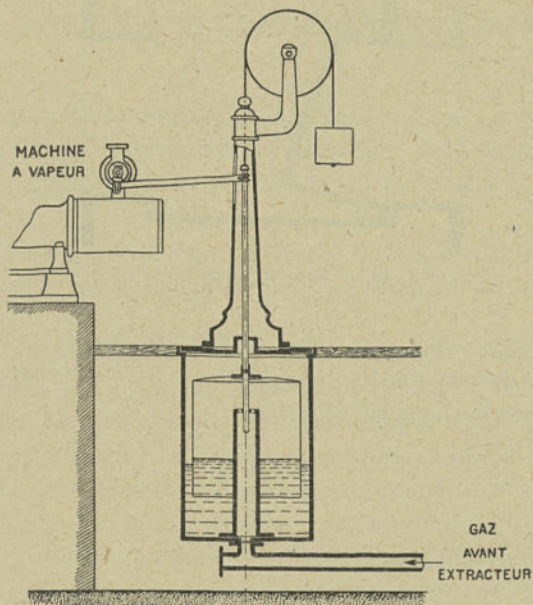


Fig. 17. — Régulateur de vapeur.

quement commandée par la pression d'admission du gaz.

Le régulateur de vitesse ne dispense forcément pas de l'emploi du régulateur de retour.

24. Vanne à clapet automatique. — Les tuyauteries de by-pass peuvent être munies d'un dispositif de sécurité appelé vanne à clapet automatique.

La figure 18 montre la constitution de cet organe qui fonctionne à la manière des soupapes de sûreté.

Un contrepoids déplaçable le long d'un levier permet de régler la pression sous laquelle le passage direct s'effectue.

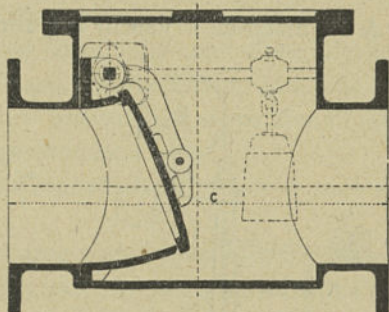


Fig. 18. — Vanne à clapet automatique.

Il est prudent par des manœuvres assez fréquentes d'éviter que les dépôts de goudron ne fassent adhérer trop fortement le clapet sur son siège.

III. — DEUXIÈME CONDENSATION DU GAZ

25. But de la deuxième condensation. — Le gaz contient encore, en sortant des extracteurs, une petite quantité de goudron à l'état vésiculaire qui a résisté à la réfrigération.

Le but de la deuxième condensation est d'effectuer, par un procédé mécanique, l'élimination de ce goudron.

26. Condensateurs à choc. Appareils Pelouze et Audouin. — Le procédé utilisé dans l'appareil Pelouze et Audouin consiste à arrêter les vésicules par choc.

L'organe essentiel de l'appareil est une cloche mobile, à section polygonale ou circulaire, plongeant dans un bain de goudron formant fermeture hydraulique.

La cloche est composée de deux éléments concentriques séparés par un intervalle de quelques centimètres. Chacun de ces éléments est lui-même constitué par deux parois concentriques en tôle mince, distantes de quelques millimètres.

Celle des deux parois qui est traversée la première par le gaz comporte une série de zones horizontales alternativement pleines et percées d'un grand nombre de petits orifices de $1^{\text{mm}},5$ de diamètre. La seconde paroi est constituée également par une série de zones de même hauteur successivement pleines ou munies de fentes rectangulaires. En face de chaque zone perforée de la première paroi se trouve une zone pleine de la deuxième et inversement.

Le gaz venant de l'extracteur prend une assez grande vitesse en traversant les orifices étroits qu'il rencontre sur son passage. Cette vitesse s'annule devant la paroi pleine

située immédiatement en face des trous. Les globules de goudron projetés violemment s'écrasent sur la tôle et se soudent entre eux en constituant un liquide qui ruisselle jusque dans le bain où plonge la cloche.

La figure 19 indique la disposition générale de cet appareil. Le gaz suit le parcours indiqué par les flèches et le goudron est évacué par les orifices D munis de siphons.

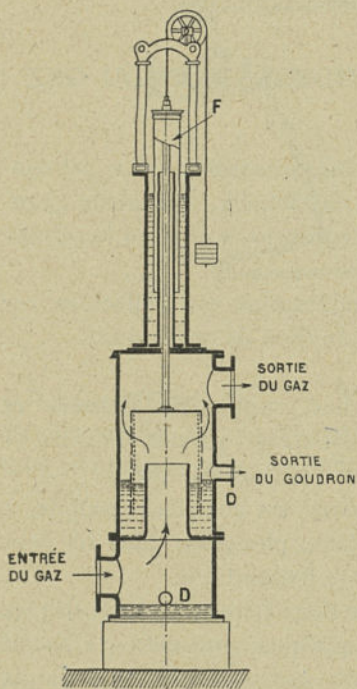


Fig. 19. — Condensateur Pelouze et Audouin.

La différence entre la résultante des efforts du gaz sur les cloches et le poids de celles-ci est compensée par un contrepoids réglable. L'étanchéité de l'appareil est obtenue au moyen d'un joint hydraulique monté sur la tige et constitué par une seconde petite cloche F plongeant dans une garde d'eau.

27. Condensateurs à cloches multiples. — Les appareils destinés à de grosses productions possèdent plusieurs cloches (4 à 6). Ces cloches sont suspendues aux bras d'un croisillon fixé à la tige centrale et occupent la périphérie intérieure de l'appareil. Cette disposition permet de réduire

les dimensions des appareils et de faciliter le démontage et le nettoyage de leurs éléments. La garde hydraulique qui occupait la partie supérieure des appareils à cloche simple est supprimée et remplacée par un système de tubes concentriques disposés dans l'espace libre entre les cloches et plongeant dans le liquide même de condensation.

28. Réglage du condensateur Pelouze et Audouin. —

La perte de charge entre l'entrée et la sortie du gaz est réglée par le contrepoids : elle est donc constante (60 à 70 millimètres d'eau en moyenne).

La vitesse du gaz est alors également constante et à chaque variation du débit doit correspondre automatiquement une variation de la section totale de passage. Ce résultat est atteint puisque, si par exemple le débit augmente, la résistance offerte par l'appareil s'accroît, la pression d'entrée augmente et l'équipage mobile se soulève jusqu'à ce que, de nouveaux trous s'étant découverts et ayant accru la section de passage, la perte de charge due à la traversée de l'appareil ait repris sa valeur initiale. L'inverse se produit quand le débit diminue.

Quand, le débit restant invariable, la perte de charge tend à augmenter par suite de l'obturation des trous par le goudron ou la naphthaline, la cloche se soulève automatiquement en augmentant la section de passage.

Pour remédier aux obstructions partielles dues au goudron et à la naphthaline, il suffit d'envoyer un jet de vapeur dans l'appareil. Le nettoyage des cloches est nécessaire 2 à 3 fois par mois.

29. Condensateurs à cloche rotative, système Mallet.

— Lorsque la quantité de naphthaline contenue dans le gaz est considérable, elle peut en se condensant boucher les perforations des cloches. Pour remédier à cet inconvénient

qui d'ailleurs n'est pas très fréquent, M. Mallet a imaginé de disposer la cloche perforée sur un arbre horizontal animé d'un mouvement lent de rotation. Cette cloche baigne dans le goudron par sa partie inférieure. A chaque rotation elle abandonne la naphthaline déposée sur ses éléments.

Le même principe a été appliqué dans le condensateur rotatif autoréglable à cloche coulissante, où la cloche perforée est disposée sur un arbre incliné qui lui permet, tout en baignant dans le goudron à sa partie inférieure, de se déplacer sur son guide en maintenant constante la perte de charge dans l'appareil.

30. Condensation électrostatique. Procédé Cottrell.

— La condensation du goudron peut être réalisée par une action électrostatique.

L'appareil établi dans ce but par Cottrell (fig. 20) com-

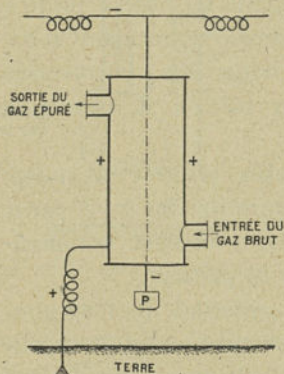


Fig. 20. — Schéma du condensateur électrostatique Cottrell.

porte essentiellement un tube vertical en verre traversé suivant son grand axe par un fil tendu au moyen d'un poids. Ce fil est raccordé au pôle négatif d'une source de courant continu à faible intensité mais à voltage élevé.

Le tube, mis en communication avec la terre de manière à être chargé d'électricité positive, est traversé par le gaz de bas en haut. Les vésicules goudroneuses s'ionisent et sont attirées sur la paroi du tube où elles ruissellent.

Foxwell a remplacé le tube de verre par un cadre garni de laine de verre ce qui lui a permis d'obtenir un dégoudronnage presque absolu. La dépense en énergie électrique

semble assez faible et la température est sans influence sur l'efficacité de l'appareil.

Il semble que ce procédé, peu utilisé jusqu'à présent, n'ait d'intérêt que dans le but d'obtenir une condensation fractionnée du goudron contenu dans le gaz au sortir des récipients de distillation. Des essais faits dans cette voie n'ont pas encore donné de résultats.

31. Contrôle de l'efficacité des condensateurs à goudron. — L'efficacité d'un condensateur à goudron est re-

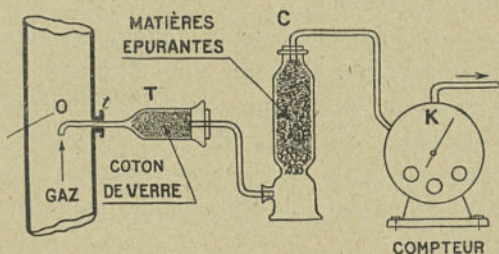


Fig. 21. — Dispositif de dosage du goudron.

présentée par le rapport entre le poids de goudron retenu par mètre cube dans l'appareil et le poids que contenait le même volume avant son traitement.

Le dispositif de dosage employé est représenté par le schéma de la figure 21.

T est un tube de verre de gros diamètre rempli de coton de verre ayant subi un tassement convenable: il est prolongé par un tube de prise de gaz *t* recourbé à 90° en O, face au courant gazeux. C est une colonne remplie de matière épurante destinée à protéger le compteur K contre l'action de l'hydrogène sulfuré et des composés cyanurés.

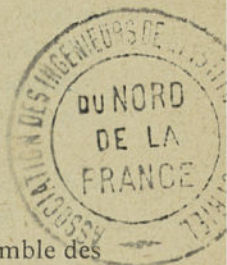
Le tube T étant préalablement taré, on fait passer à travers l'appareil un volume déterminé de gaz. On pèse ensuite le tube après dessiccation à 100° jusqu'à poids constant.

La différence des deux pesées indique le poids du goudron contenu dans le volume de gaz enregistré au compteur.

Certaines petites usines utilisent encore un procédé expérimental, peu exact mais rapide, qui consiste à placer devant une prise de gaz un morceau de papier blanc. La tache plus ou moins noire qui se forme après une exposition d'un temps déterminé permet d'apprécier, grosso modo, les variations de teneur du gaz en goudron. On utilise, pour ces essais, un appareil très simple appelé « robinet d'épreuve de Drory ».

Les condensateurs Pelouze et Audouin fonctionnant normalement permettent d'obtenir une élimination presque totale du goudron. A l'usine à gaz de Gennevilliers en 1921, les moyennes des teneurs du gaz en goudron avant et après traitement ont été par 100 mètres cubes : 585 et 46 grammes, ce qui donne une efficacité des appareils d'environ 92 pour 100.

IV. — LAVAGE DU GAZ



32. Généralités. — Le lavage du gaz est l'ensemble des opérations qui consistent à le débarrasser d'une partie de ses impuretés en le mettant successivement en contact avec différents liquides appropriés dont les uns agissent par dissolution, les autres par combinaison.

Les résultats obtenus sont d'autant plus satisfaisants que la division du gaz et du liquide laveur est plus complète et que la durée du contact est plus grande ; naturellement, il faut aussi prendre soin d'opérer aux températures que l'expérience a fixées comme étant les meilleures. L'opération a lieu à la pression atmosphérique ; les impuretés occupant toujours un volume peu important par rapport au volume total, il ne paraît pas industriellement indiqué, dans l'état actuel de la technique, de comprimer le gaz d'éclairage pour en extraire plus facilement même la plus encombrante des impuretés.

Les principales impuretés du gaz de houille éliminées par lavage sont : la naphthaline, le cyanogène et l'ammoniaque ; accessoirement un peu d'acide carbonique est absorbé en même temps que l'ammoniaque ; enfin l'hydrogène sulfuré est quelquefois éliminé par lavage.

L'ordre dans lequel s'effectuent les lavages successifs n'est pas quelconque : en effet, le gaz sort des condensateurs à choc à une température d'environ 25° qui, pratiquement, convient à l'enlèvement de la naphthaline, tandis que le lavage de l'ammoniaque doit être effectué au maximum à 20°. D'autre part, le traitement pour l'élimination des

produits cyanurés utilise l'ammoniaque encore contenu dans le gaz.

Les opérations de lavage sont donc effectuées dans l'ordre suivant :

- 1° Elimination de la naphthaline ;
- 2° — des produits cyanurés ;
- 3° — de l'ammoniaque après réfrigération préalable.

33. Élimination de la naphthaline. Sa nécessité. — La naphthaline fond à 80° et bout à 218°. Elle peut se sublimer, c'est-à-dire passer directement de l'état solide à l'état gazeux et réciproquement.

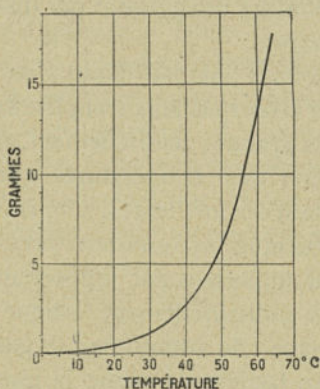


Fig. 22. — Graphique des teneurs saturantes du gaz en naphthaline.

(Teneur saturante de la naphthaline dans une masse gazeuse de 1^m à 0° et 760 mm. de Hg portée à différentes températures.)

Un gaz riche en naphthaline risque donc, en se refroidissant dans les canalisations, de donner naissance à des dépôts solides, causant d'intolérables désordres et quelquefois même l'arrêt de la distribution.

La naphthaline provient de la pyrogénéation du gaz dans les récipients de distillation ; on peut, sinon éviter totalement d'en produire, tout au moins en diminuer la production, en réduisant la pression dans les cornues, en les chargeant complètement, en limitant autant que possible la température de la région parcourue par le gaz avant d'entrer dans les colonnes montantes, etc.... Rappelons, à cet égard, que le gaz des cornues verticales et des chambres inclinées ne renferme pratiquement pas de naphthaline. Toutefois, le gaz peut encore contenir, après les Pelouze, de 0^{gr},1 à 0^{gr},15 de naphthaline

par mètre cube. La courbe ci-jointe des teneurs saturantes de la naphthaline dans le gaz montre que ces chiffres sont encore trop élevés pour donner toute sécurité d'exploitation (fig. 22).

34. Lavage par l'huile d'anthracène. — Le lavage pour l'élimination de la naphthaline se fait au moyen de l'huile d'anthracène (procédé Bueb).

Cette huile est la fraction du goudron distillant de 270° à 320° C, qui a subi une décantation à froid suffisante pour rester fluide aux plus basses températures ambiantes; sa teneur en naphthaline doit être nulle; en pratique, elle doit pouvoir en absorber 20 à 25 pour 100 de son poids à 25° C. Il y a quelques années, on lui ajoutait 4 à 5 pour 100 de benzol pour éviter que le gaz, en lui cédant le sien, perde la plus grande partie de son pouvoir éclairant.

35. Laveurs Standard. — Le laveur Standard, très souvent employé, se compose d'un cylindre horizontal en fonte, divisé en plusieurs compartiments par des cloisons normales à l'axe (voir fig. 23 représentant un laveur standard à ammoniac).

Dans chaque compartiment, et fixée à l'arbre central, se meut une sorte de roue constituée par deux disques en tôle entre lesquels sont placés des éléments formés de lamelles de bois appelés « paniers ».

Le gaz, entrant suivant l'axe dans chaque compartiment, passe à l'intérieur de la roue, en sort par la périphérie et ainsi de suite. A chaque rotation de l'arbre, les paniers trempent dans le liquide laveur qui remplit la partie inférieure du cylindre et restent imprégnés de fines gouttelettes sur toute la surface de leurs éléments. La division du gaz est elle-même obtenue par la disposition particulière des lamelles de bois constituant les paniers.

Des tuyauteries spéciales permettent la vidange et le remplissage séparés des compartiments.

Le lavage se fait méthodiquement c'est-à-dire que l'huile la plus chargée en naphthaline se trouve dans le compartiment d'entrée du gaz.

Cette huile est périodiquement évacuée et remplacée par celle du compartiment précédent, et ainsi de suite jusqu'au compartiment de sortie du gaz qui est de nouveau rempli avec de l'huile vierge.

36. Contrôle de la marche des laveurs à naphthaline.

— De temps en temps, il est indispensable de contrôler la teneur en naphthaline de l'huile de lavage, afin d'éviter son évacuation prématurée ou tardive ; pour cela, le procédé suivant peut être employé.

On distille successivement, dans les mêmes conditions, un échantillon de l'huile d'anthracène employée et un échantillon de la même huile après usage ; on recueille à part la fraction du distillat qui passe entre 190 et 240°. La différence de poids entre les 2 fractions donne, avec une approximation très suffisante, le poids de naphthaline dont s'est chargée l'huile.

L'efficacité de l'appareil est définie par la mesure de la teneur du gaz en naphthaline avant et après son passage dans le laveur¹.

A l'usine à gaz de Gennevilliers, par exemple, la teneur du gaz en naphthaline qui était en moyenne de 10 à 15 grammes à l'entrée du laveur, pour 100 mètres cubes, a pu être abaissée jusqu'à 3 à 1 grammes ; l'efficacité était alors de 80 à 90 pour 100.

Pour obtenir ce résultat, l'huile qui se trouvait dans le dernier compartiment traversé par le gaz était transvasée

1. Voir chapitre IX « Composition et qualité du gaz ».

dans le précédent quand sa teneur en naphthaline atteignait 4 à 5 pour 100; au même moment l'huile contenue dans le premier compartiment, et qui était évacuée, renfermait alors 11 à 12 pour 100 de naphthaline. En admettant que la quantité absorbée dans le gaz soit en moyenne de 10 grammes par 100 mètres cubes et que l'enrichissement de l'huile usée soit de 11,5 pour 100 en naphthaline; le poids d'huile vierge usée par 100 mètres cubes était de 0^{kg},087.

Le lavage du gaz dans l'huile de goudron, surtout s'il est pratiqué à température relativement basse, peut occasionner une diminution de sa richesse en carbures benzéniques; ce fait avait beaucoup d'importance lorsque les contrats de concession exigeaient un gaz de pouvoir éclairant défini; c'est la raison pour laquelle certains auteurs recommandaient de maintenir à 35° environ la température dans le laveur à naphthaline. Aujourd'hui, on lave à 20/25° environ; l'abaissement de la température de fonctionnement est limité par la nécessité de conserver à l'huile une grande fluidité, sans laquelle sa division et son contact intime avec le gaz sont difficiles à obtenir.

L'huile usée est généralement régénérée par distillation, en fournissant un peu de benzol et de la naphthaline.

37. Élimination du cyanogène. — Le cyanogène, qui se trouve dans le gaz à l'état d'acide cyanhydrique, de cyanure et de sulfocyanure d'ammonium est un élément nuisible; en particulier, il attaque les tôles des compteurs et des gazomètres et il détériore aussi les canalisations.

Le cyanure et le sulfocyanure d'ammonium sont solubles dans l'eau. Ils se dissolvent en grande partie dans le barillet et dans les différents appareils de lavage.

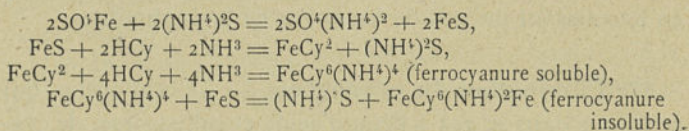
Leur élimination et celle de l'acide cyanhydrique peuvent être complétées dans les épurateurs à oxyde de fer dont nous parlerons plus tard. Mais de nombreux chimistes, et princi-

palement Bueb et Guillet, préconisent l'enlèvement de ces substances par lavage avant la captation de l'ammoniaque.

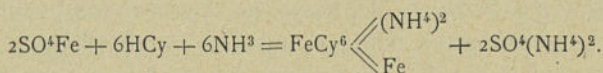
A leur avis, les avantages saillants qui résulteraient de cette manière d'opérer seraient les suivants :

- 1° Absence complète du cyanogène dans le gaz épuré,
- 2° Augmentation de la durée d'utilisation des masses épurantes,
- 3° Obtention de matières épurantes exemptes de cyanogène,
- 4° Possibilité de transformer aisément les dérivés cyanurés obtenus en ferrocyanures alcalins de valeur très appréciable.

38. Procédé Bueb-Guillet. Principe. — Le gaz est mis en contact avec une solution concentrée de sulfate de fer. Il contient non seulement de l'acide cyanhydrique et du cyanure d'ammonium, mais aussi de l'hydrogène sulfuré et de l'ammoniaque ; il se forme du sulfure de fer qui intervient dans tout un cycle de réactions pour donner finalement du ferrocyanure double de fer et d'ammonium insoluble. On peut se représenter le processus des réactions par les formules suivantes :



La somme de ces formules donne la réaction globale :



En pratique, on retire périodiquement une boue noirâtre contenant principalement du ferrocyanure double insoluble en suspension et du sulfate d'ammonium avec du ferrocyanure d'ammonium soluble, du sulfure de fer et du sulfure d'ammonium.

39. Réalisation du lavage pour élimination du cyanogène. — Cette opération s'effectue méthodiquement dans

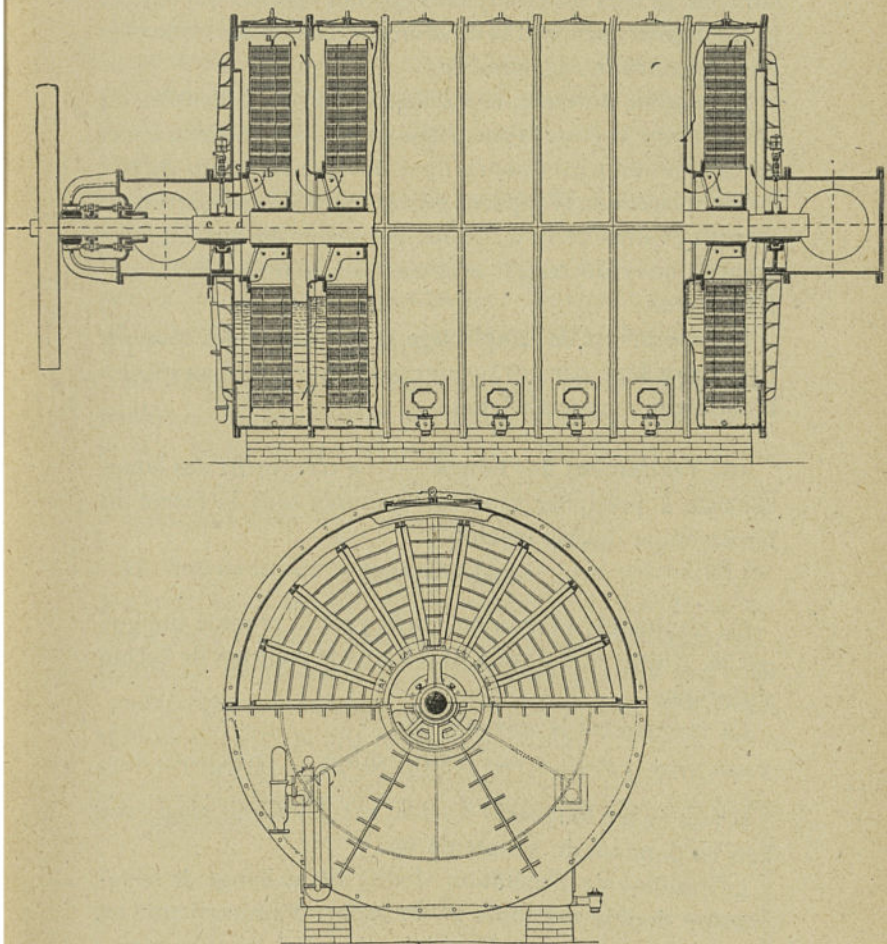


Fig. 23. — Laveur rotatif Standard à ammoniaque.

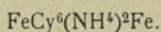
un appareil rotatif du type Standard (fig. 23) à cinq compartiments à demi remplis avec une solution de sulfate de

fer (à 40 pour 100 généralement). Dans le dernier compartiment, c'est-à-dire celui de sortie du gaz, les paniers à lamelles de bois sont remplacés par des chaînes qui agitent la solution et facilitent la mise en suspension du sulfure de fer qui pourrait s'agglomérer.

En marche normale, le compartiment n° 1 d'entrée du gaz contient la boue la plus riche en cyanogène. Cette boue, après saturation, est évacuée dans une citerne tandis qu'elle est remplacée dans l'appareil par les boues du compartiment suivant et ainsi de suite, le compartiment de sortie du gaz étant de nouveau rempli avec une solution fraîche de sulfate ferreux.

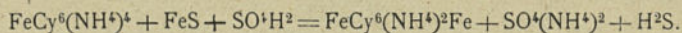
Les opérations de remplissage et de vidange des compartiments se font par des tuyauteries convenables au moyen d'une petite pompe à ailettes.

40. Traitement des boues. — Le traitement des boues consiste à précipiter tous les cyanures sous la forme du ferrocyanure double insoluble :



Ce résultat est obtenu en employant le procédé indiqué par M. Guillet et qui consiste à traiter la boue par de l'acide sulfurique.

La réaction est la suivante :



Il faut éviter tout excès d'acide, car il pourrait réagir sur FeS en donnant du sulfate de fer.

Le résultat de l'opération donne un mélange de ferrocyanure double insoluble et de sulfate d'ammoniaque en solution, l'hydrogène sulfuré étant évacué à l'état gazeux.

Les deux produits sont séparés au moyen d'un filtre-pressé. Le cyanure peut être vendu après lavage et séchage, tandis que la solution claire sortant du filtre, convenable-

ment évaporée, donne du sulfate d'ammoniaque de bonne qualité.

41. Contrôle de la marche du laveur à cyanogène. — Ce contrôle s'effectue par dosage du cyanogène dans le gaz à l'entrée et à la sortie de l'appareil, ainsi que dans la boue de la chambre de lavage dans laquelle le gaz pénètre en premier lieu.

Des essais effectués sur une période de 3 mois à l'usine à gaz de Gennevilliers ont montré que la teneur moyenne en cyanogène du gaz arrivant au laveur était 72 grammes par 100 mètres cubes; après lavage, elle n'était plus que de 4^{es},4; l'efficacité de l'appareil-laveur était donc de 94 pour 100.

42. Élimination de l'ammoniaque et de l'acide carbonique. — L'élimination de l'ammoniaque du gaz s'opère, le plus souvent, par lavage à l'eau qui dissout en même temps l'acide carbonique, les sels ammoniacaux et un peu d'hydrogène sulfuré.

43. Influence de la température. — Les solubilités du gaz ammoniac, de l'hydrogène sulfuré et de l'acide carbonique dans l'eau croissent avec la diminution de la température. Le fait est particulièrement sensible en ce qui concerne le gaz ammoniac, ainsi que le montre le tableau suivant établi pour une pression normale :

VOLUMES DES GAZ ABSORBÉS DANS UN LITRE D'EAU

TEMPÉRATURE EN DEGRÉS CENTIGRADES	NH ₃ EN LITRES	H ² S EN LITRES	CO ₂ EN LITRES
0	1 049,6	4,3706	1,7987
5	917,9	3,9652	1,4497
10	812,8	3,5858	1,1847
15	727,2	3,2326	1,0020
20	654,0	2,9053	0,9014

Il y a donc intérêt à opérer le lavage du gaz avec de l'eau à basse température. Toutefois la réfrigération ne doit pas être excessive, afin d'éviter la condensation des hydrocarbures du gaz.

Pratiquement, la température doit être maintenue aux environs de 10 à 15° et, dans ce but, le gaz traverse des réfrigérants tubulaires immédiatement avant son entrée dans les laveurs.

44. Colonnes de lavage ou scrubbers. — Les colonnes de lavage, ou scrubbers, sont essentiellement constituées

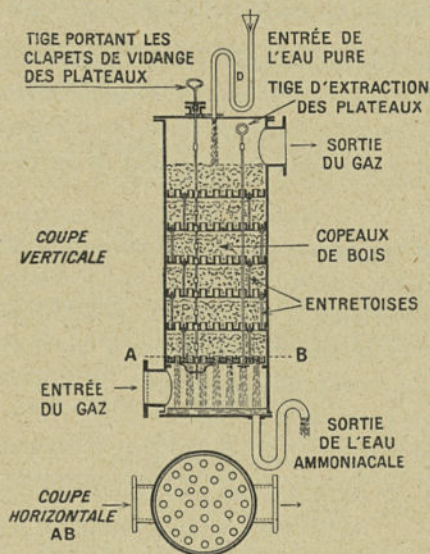


Fig. 24. — Scrubber type Chevalet.

par des tours cylindriques garnies intérieurement de matériaux inertes. Le gaz les traverse de bas en haut pendant que l'eau ruisselle de haut en bas, avec alimentation continue ou périodique.

Le scrubber Mann est garni intérieurement de coke reposant sur des claies.

Le scrubber genre Livesey est formé de plusieurs

tronçons cylindriques s'emboîtant les uns dans les autres. La garniture intérieure est constituée par des lits de planchettes en forme de secteurs, supportées par des grilles en fonte.

Le scrubber Chevalet est un cylindre vertical divisé en sections de 20 centimètres de hauteur par des plateaux horizontaux percés d'un grand nombre de petits trous, chaque trou étant surmonté d'une cheminée. Les sections sont remplies de copeaux de bois arrosés d'une manière continue (voir fig. 24). Avec cet appareil simple, on peut arriver à produire des eaux ammoniacales contenant 50 à 60 grammes par litre.

45. Laveurs à barbotage. — Les laveurs à barbotage

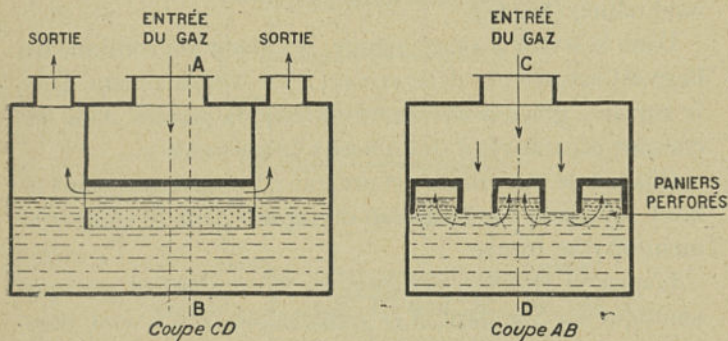


Fig. 25. — Laveur Livesey.

forcent le gaz à traverser une couche de liquide d'une certaine épaisseur.

Ils ont l'inconvénient d'absorber une pression souvent importante, mais ils permettent de traiter plus efficacement que les scrubbers du gaz contenant encore du goudron.

L'appareil Livesey (fig. 25), assez répandu en Angleterre, a la forme d'une caisse rectangulaire en fonte contenant de l'eau et divisée, dans le sens de la longueur, en trois compartiments par deux cloisons longitudinales n'atteignant pas le fond de la caisse.

Le compartiment central sert pour l'arrivée du gaz. Il trempe dans l'eau par une série de cloisons perforées que

le gaz est obligé de traverser après avoir barboté dans le liquide.

Les deux compartiments extrêmes assurent l'évacuation du gaz après son lavage.

En Allemagne, on utilise des colonnes de lavage à plateaux (type Klönne) qui reposent sur le même principe.

46. Laveurs rotatifs à surfaces de contact mouillées.

— L'appareil de ce type le plus répandu est le laveur Standard que nous avons décrit au § 35 (élimination de la naphthaline) (fig. 23).

Dans le laveur à ammoniacque, la circulation continue de l'eau est assurée par déversement d'un compartiment dans le suivant, grâce à des communications percées dans les cloisons séparatives à des niveaux décroissants.

Chacun de ces orifices est précédé d'un déversoir dont le bord supérieur fixe le niveau du liquide dans le compartiment où il se trouve.

L'appareil Holmès, employé en Allemagne, est presque identique au Standard. Les lamelles de bois y sont remplacées par des brosses en piazzava.

Citons enfin un autre type de laveur rotatif constitué par un cylindre tournant, partagé longitudinalement en cinq compartiments concentriques remplis de copeaux de fer mouillés. Un système de distribution force le gaz à traverser successivement les cinq compartiments pendant que l'eau suit un trajet inverse. Cet appareil permet d'employer utilement toute la capacité du cylindre, ce qui conduit à diminuer l'encombrement total du laveur.

47. Laveurs centrifuges. — Un des appareils les plus connus parmi les laveurs centrifuges est celui de Feld (fig. 26). Il comprend une série de compartiments cylindriques verticaux traversés par un arbre vertical A, qui tourne

à une vitesse de 100 à 150 tours par minute et supporte des tambours ou paniers dont la paroi cylindrique est perforée.

L'eau de lavage est admise en C et descend de plateau

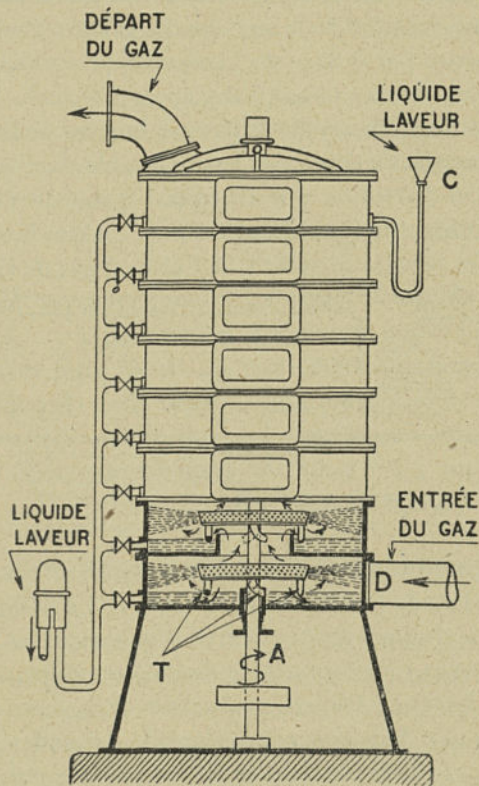


Fig. 26. — Laveur centrifuge Feld.

en plateau. Des tubes recourbés T plongent dans le liquide et lui permettent de monter dans les paniers d'où, par suite de la force centrifuge, il est projeté vers les parois.

Le gaz admis en D, à la partie inférieure, monte au contraire en suivant le chemin indiqué par les flèches ; il se

trouve donc obligé, dans chaque compartiment, de traverser la nappe de liquide pulvérisé.

48. Contrôle de la marche des laveurs à ammoniacque. — Le contrôle de la marche des laveurs à ammoniacque s'effectue par dosage de l'ammoniacque contenue dans le gaz à l'entrée et à la sortie des appareils¹.

Un contrôle plus rapide se fait par la prise de densité de l'eau ammoniacale sortant du laveur à l'aide d'un aréomètre Baumé. On détermine une fois pour toutes le titre de la solution ammoniacale correspondant à un bon lavage.

Avec des laveurs Standard, à l'usine à gaz de Gennevilliers, on abaisse la teneur en ammoniacque, par 100 mètres cubes, de 250-300 grammes à 20 grammes.

L'eau ammoniacale sortant du laveur titre en moyenne 25 à 30 grammes d'ammoniacque par litre, correspondant à 5°-6° Baumé. En ce qui concerne l'acide carbonique, on constate que 5 à 6 pour 100 seulement de ce gaz sont éliminés par lavage dans les « Standard ».

49. Élimination des produits ammoniacaux par lavage à l'acide (sulfatation directe). — Le lavage du gaz à l'acide sulfurique permet de fixer directement les produits ammoniacaux sous forme de sulfate d'ammoniacque.

La difficulté de réalisation de cette méthode consiste en ce que le gaz doit être préalablement débarrassé de son goudron, tout en conservant la totalité de ses vapeurs ammoniacales.

Or l'élimination du goudron, pratiquée par les procédés ordinaires de réfrigération, provoque en même temps la condensation de la vapeur d'eau qui dissout et entraîne une grande partie des composés ammoniacaux.

1. Voir chapitre IX « Composition et qualité du gaz ».

Le procédé de sulfatation « directe » Otto permet de surmonter cette difficulté en dégoudonnant le gaz à chaud, c'est-à-dire à une température très légèrement supérieure à celle de condensation de l'eau. L'opération se fait au moyen d'une injection de goudron capable d'entraîner les particules solides en suspension.

Le gaz chaud, mais dégoudonné, traverse dans un saturateur où il barbote dans de l'acide sulfurique. L'ammoniac est ainsi transformée en sulfate d'ammoniaque qu'on recueille par précipitation.

Dans le procédé « semi-direct » Koppers, ainsi désigné

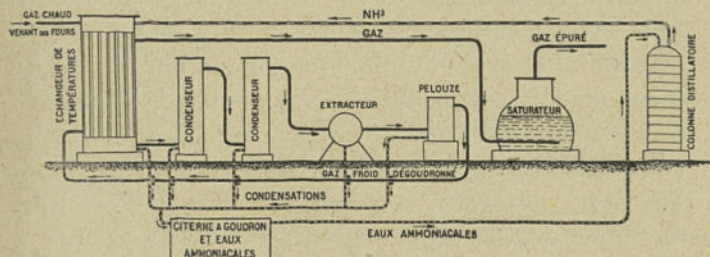


Fig. 27. — Schéma du procédé de sulfatation semi-directe Koppers.

parce qu'on y pratique à la fois la sulfatation directe et le traitement des eaux ammoniacales (fig. 27), le gaz est condensé par réfrigération et le goudron complètement enlevé par l'action d'un condensateur Pelouze et Audouin.

L'eau ammoniacale recueillie dans les appareils condenseurs est traitée dans une colonne distillatoire. Le gaz ammoniac qui se dégage est mélangé au gaz brut. Un échangeur de température permet au gaz dégoudonné de se réchauffer aux dépens du gaz chaud sortant des fours. Le mélange de gaz dégoudonné et de gaz ammoniac est conduit dans un saturateur à acide sulfurique où se forme le sulfate d'ammoniaque qui précipite.

Les installations Solvay et Simon Carvès fonctionnent d'après des principes analogues.

La sulfatation directe, établie spécialement pour les cokeries, est encore très peu appliquée dans les usines à gaz. Le passage du gaz dans les saturateurs provoque en effet une perte de charge importante. Il faut donc refouler le gaz sous des pressions pour lesquelles les gardes hydrauliques, couramment adoptées dans les appareils de traitement qui précèdent les saturateurs, ne sont pas suffisantes.

De plus, le fait d'élever la pression de tout le gaz fabriqué nécessite une dépense qui compense, dans une certaine mesure, l'économie de vapeur résultant de la suppression de la distillation totale des eaux ammoniacales.

Enfin, le chlorure d'ammonium, qu'il soit ou non décomposé par l'acide sulfurique, peut nuire au bon fonctionnement du système ; dans le premier cas, il y a production d'acide chlorhydrique qui, entraîné avec des traces d'acide sulfurique, attaque les canalisations ; dans le second, il y a diminution de la valeur marchande du sulfate produit.

V. — EPURATION CHIMIQUE

50. Généralités. — Dans la technique gazière, le nom d'épuration chimique s'applique à l'ensemble des traitements destinés à éliminer du gaz, par action chimique, les corps nuisibles ou inutiles qu'il contient encore après les opérations de condensation et de lavage.

Cette définition est imparfaite, car le lavage constitue également une épuration utilisant, dans certains cas, des procédés chimiques.

La distinction entre le lavage et l'épuration a sa source beaucoup plus dans la différence entre les appareils utilisés que dans le but poursuivi.

Les principaux corps nuisibles ou inutiles existant encore dans le gaz à la sortie des laveurs sont :

1° Composés sulfurés nuisibles :

Hydrogène sulfuré,
Sulfure de carbone.

2° Composés azotés nuisibles :

Ammoniaque } subsistant en faibles quantités.
Cyanures }

3° Corps inerte inutile :

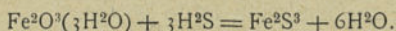
Anhydride carbonique.

51. Nécessité de l'élimination de l'hydrogène sulfuré. — L'hydrogène sulfuré constitue l'impureté la plus nuisible du gaz. Ce corps en effet donne par combustion complète de l'anhydride sulfureux, gaz d'odeur piquante, irritant for-

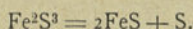
tement les muqueuses et s'oxydant à l'air humide en produisant de l'acide sulfurique.

Ces propriétés lui donnent donc une action nuisible sur l'organisme, en particulier sur les organes respiratoires, et une action destructive sur les étoffes et les objets métalliques.

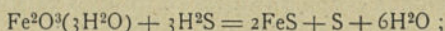
52. Principe de l'élimination à sec de l'hydrogène sulfuré. — On enlève l'hydrogène sulfuré en faisant passer le gaz sur de l'oxyde de fer ; la réaction qui semble principalement se produire est la suivante :



Sous certaines actions, dues peut-être à la présence d'ammoniaque, le sesquisulfure se décompose :

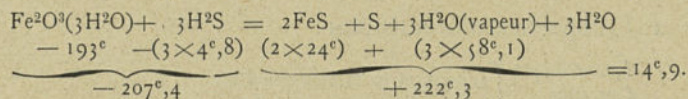


La réaction se produit donc au total de la manière suivante :



elle est exothermique.

D'après Bunte, une partie de l'eau reste à l'état de vapeur et la réaction précédente peut s'écrire :



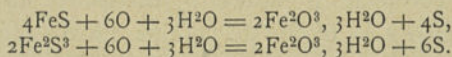
La décomposition de $3\text{H}^2\text{S}$ soit $102^{\text{gr}}, 2$ dégage donc $14,9$ calories et, par conséquent, 1 mètre cube d'hydrogène sulfuré, soit $1\ 520$ grammes, dégagera :

$$\frac{14,9 \times 1\ 520}{102,2} = 222 \text{ calories.}$$

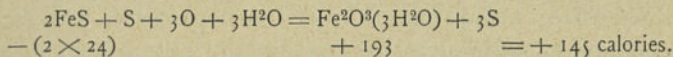
En admettant que le gaz contienne 1 pour 100 d'hydrogène sulfuré en volume, on voit que ces 222 calories seront

absorbées par 100 mètres cubes de gaz, par la matière épurante et par les caisses d'épuration dont la surface rayonnante est considérable ; pratiquement, l'élévation de température qui en résultera sera insignifiante.

53. Théorie de la revivification. — La transformation du sulfure de fer en oxyde au contact de l'air s'appelle revivification. Elle donne lieu principalement aux réactions exothermiques suivantes :



Bunte est d'avis que la réaction prédominante est celle-ci :

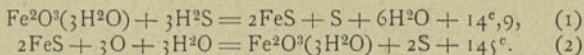


D'après cela, la revivification du sulfure de fer formé avec 1 mètre cube (1 520 grammes) d'hydrogène sulfuré dégage :

$$\frac{145 \times 1\,520}{102,2} = 2\,160 \text{ calories.}$$

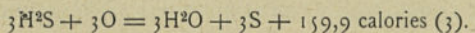
La revivification dégage donc 10 fois plus de chaleur que l'absorption de l'hydrogène sulfuré et elle provoque une élévation de la température de la matière épurante ; la partie organique employée pour diluer cette dernière (sciure de bois, le plus souvent) pourrait même s'enflammer si on ne prenait la précaution de l'arroser.

54. Revivification continue. — En observant les deux réactions fondamentales de l'épuration et de la revivification :



on voit que le fer sert tour à tour de véhicule à l'oxygène et

au soufre ; en résumé, l'ensemble des réactions (1) et (2) peut s'écrire :



On a cherché à réaliser cette manière de faire en introduisant de l'oxygène pur ou de l'air dans le gaz avant son épuration et on a donné à cette opération le nom de revivification continue.

La formule (3) montre que pour obtenir une réaction théorique complète il faudrait introduire un volume d'oxygène égal à la moitié du volume d'hydrogène sulfuré ou un volume d'air égal à 2 fois et demie le volume d'hydrogène sulfuré. La chaleur produite par la réaction serait assez élevée, puisqu'elle est la somme des calories dégagées pendant la sulfuration et l'oxydation, c'est-à-dire, pour 1 mètre cube d'hydrogène sulfuré, de :

$$222^\circ + 2160^\circ = 2382 \text{ calories.}$$

Pour du gaz contenant en volume 1 pour 100 d'hydrogène sulfuré l'élévation de température théorique serait de :

$$\frac{2382}{0,362 \times 100} = 66^\circ \text{ environ,}$$

la chaleur spécifique du gaz étant d'environ 0,362.

En réalité, une grande partie de chaleur se dissipe dans la matière épurante, dans les caisses, et se perd par conductibilité et rayonnement.

Toutefois la température du gaz peut s'élever de 15 à 20°. En même temps, la chaleur dégagée provoque la vaporisation de l'eau contenue dans la matière qui devient ainsi plus sèche, plus dure et plus difficile à régénérer. Pour éviter ces inconvénients, on a proposé d'injecter en même temps de la vapeur mais ce procédé ne s'est pas généralisé.

L'introduction d'oxygène dans le gaz doit se faire avec la plus grande prudence. L'addition des corps inertes de l'air

diminue les pouvoirs éclairant et calorifique du gaz. De plus un excès d'oxygène en présence d'acide cyanhydrique donne au gaz une action corrosive sur les tôles des gazomètres et des compteurs, ainsi que sur les canalisations.

En pratique, on se borne à ajouter environ 1,5 pour 100 d'air avant les épurateurs, afin de faciliter le travail de la matière qui devient ainsi capable de traiter entre deux revivifications hors cuve un volume de gaz triple ou quadruple du volume habituel.

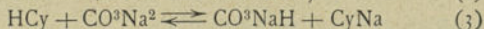
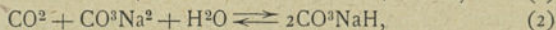
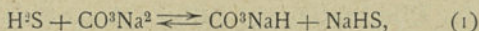
55. Élimination de l'hydrogène sulfuré par lavage.

— La compagnie Koppers a poursuivi des recherches sur l'élimination de l'hydrogène sulfuré par traitement liquide du gaz.

Elle a mis un procédé de ce genre en exploitation à l'usine de la Seaboard By-Product Coke Cy pendant plus d'un an et semble en avoir obtenu des résultats satisfaisants¹. Son principe est le suivant : on lave le gaz au moyen d'une solution de carbonate de soude qui absorbe pratiquement la totalité de l'hydrogène sulfuré et de l'acide cyanhydrique, avec un peu d'anhydrique carbonique.

La solution peut être régénérée par l'action mécanique d'un violent courant d'air provoqué par un ventilateur. Les gaz absorbés se dégagent et sont évacués dans l'atmosphère. Le liquide est de nouveau utilisé pour le lavage du gaz et peut donc être l'objet d'une circulation continue.

Les réactions qui se produisent sont les suivantes :



Elles sont réversibles. Leur lecture de gauche à droite

1. Voir communication de M. F.-W. SPERR, chimiste en chef de la C^{ie} Koppers à Pittsburg, à l'American Gas Association. *Journal des Usines à gaz*, 20 août 1922, p. 250.

correspond à la période d'absorption, leur lecture de droite à gauche correspond à la période de régénération.

L'appareillage employé est représenté schématiquement sur la figure 28.

Le gaz brut, après élimination du goudron et de l'ammoniaque, passe dans un laveur A, appelé absorbeur, où

il se purifie au contact de la solution active. Le liquide est repris après traitement et déversé au haut d'une colonne B, appelée activeur, où il est régénéré par l'action de l'air soufflé par un ventilateur au bas de l'appareil.

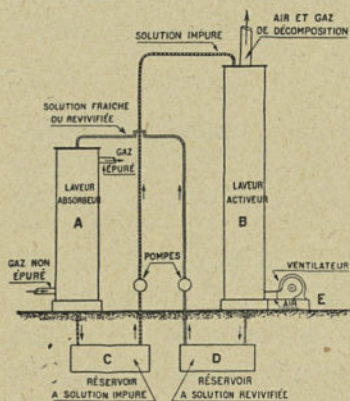


Fig. 28. — Schéma du procédé d'épuration par lavage Koppers.

deux colonnes de traitement A et B.

L'installation de la Seaboard a été combinée avec des épurateurs ordinaires à oxydes. D'après M. Sperr, elle a permis d'éliminer au moins 80 pour 100 de l'hydrogène sulfuré.

56. Élimination du sulfure de carbone. — La teneur maximum du gaz en sulfure de carbone est d'environ 30 grammes par 100 mètres cubes.

La présence de ce corps en aussi petite quantité n'a généralement aucun inconvénient : aussi procède-t-on rarement à son élimination particulière.

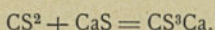
Cependant les usines anglaises, qui emploient des char-

bons très riches en soufre et qui sont obligées de limiter à 0,45 gramme par mètre cube la teneur totale du gaz en ce corps, sont quelquefois forcées de procéder à une élimination particulière du sulfure de carbone.

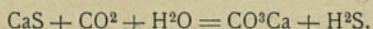
Nous résumons ci-dessous les différents procédés utilisés dans ce but :

1° Élimination par le monosulfure de calcium.

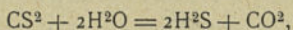
Le sulfure de calcium absorbe le sulfure de carbone en donnant un sulfocarbonate de calcium :



Mais il faut que le gaz soit exempt d'anhydride carbonique qui déplacerait de nouveau l'hydrogène sulfuré du sulfure de calcium :

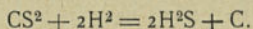


2° Le procédé Guillet consiste à utiliser la réaction :



en faisant passer le gaz chauffé à 130° saturé de vapeur d'eau sur de l'oxyde de fer également chauffé ; ce dernier a pour rôle d'absorber l'H²S au fur et à mesure de sa formation.

3° Le procédé catalytique, étudié à la South Metropolitan Gas Company, consiste à chauffer le gaz à 410° en présence d'un catalyseur constitué par des boules réfractaires imprégnées de nickel obtenu par réduction de son chlorure. Dans ces conditions, le sulfure de carbone est décomposé par l'hydrogène du gaz en donnant H²S et du carbone libre :



Le carbone se déposant sur le catalyseur est enlevé par combustion.

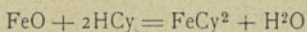
57. Élimination de l'ammoniaque. — On a essayé autrefois de fixer l'ammoniaque dans des épurateurs secs ordinaires en utilisant des sels neutres tels que les sulfates et chlorures de fer, de calcium, de manganèse, de zinc.

Ces procédés ne sont plus employés et l'on se sert uniquement aujourd'hui du lavage à l'eau dont nous avons parlé antérieurement.

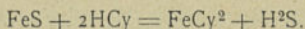
Le passage du gaz dans les cuves d'épuration complète le traitement. Les produits ammoniacaux y sont retenus par l'eau en excès qui les dissout. L'ammoniaque du gaz décompose en même temps le bleu de Prusse en déplaçant le fer et donne naissance à du ferrocyanure d'ammonium soluble. De plus, la présence de soufre et d'hydrogène sulfuré donne naissance à des sulfocyanures d'ammonium également solubles.

Ces réactions provoquent la précipitation d'oxyde de fer, ce qui explique que la présence de l'ammoniaque dans le gaz est favorable à l'activité de la matière épurante, qui peut être accrue de cette manière de 30 à 40 pour 100. Un pareil procédé n'est toutefois pas recommandable, car il conduit à des pertes sensibles en ammoniaque et en cyanogène, les composés cyanurés solubles n'étant pas susceptibles d'être récupérés.

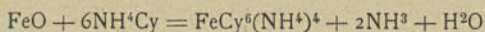
58. Élimination du cyanogène. — Beaucoup d'usines ne procèdent pas au lavage du gaz pour la séparation des composés du cyanogène. L'élimination de ces produits nuisibles est réalisée en même temps que celle de l'hydrogène sulfuré par l'épuration à l'oxyde de fer. Le sesquioxyde de fer $\text{Fe}^2(\text{OH})^6$ n'agit pas directement sur l'acide cyanhydrique, ce qui explique que la matière épurante neuve n'absorbe pas les produits cyanurés. Les réactions ne se produisent que lorsque l'hydrogène sulfuré a provoqué la formation d'oxyde ferreux FeO et de sulfure de fer FeS . Elles sont alors les suivantes :



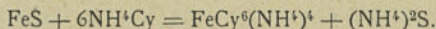
et



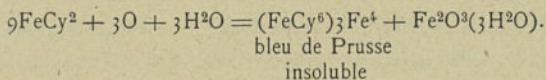
Avec le cyanure d'ammonium, on a :



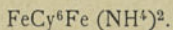
et



Pendant la période de revivification, il se forme du bleu de Prusse suivant la formule :



On obtient en même temps du ferrocyanure double de fer et d'ammonium insoluble :



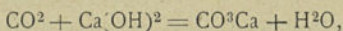
La matière s'enrichit donc progressivement en ferrocyanures insolubles.

59. Élimination de l'anhydride carbonique. — L'anhydride carbonique ne constitue pas un élément nuisible du gaz ; c'est un corps inerte qui en dilue les éléments éclairants et calorifiques.

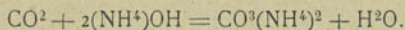
Son élimination n'est donc pas nécessaire et on ne l'effectue plus jamais.

Rappelons seulement, pour mémoire, les procédés de séparation qui ont été quelquefois employés à son égard.

Le traitement à la chaux :



et le traitement à l'ammoniaque :



60. Épuration double, liquide et solide. Procédé de la Société du Gaz de Paris. — La Société du gaz de Paris a fait breveter un procédé qui permet d'éliminer séparément et isolément les impuretés cyanurées et sulfurées, ce qui a

pour effet de faciliter la récupération des produits marchands contenus dans les résidus de l'épuration.

La première phase de l'opération consiste à laver le gaz au moyen de la matière de Laming délayée dans l'eau ; on obtient cette matière en mélangeant le sulfate de fer et la chaux à raison d'une molécule de sel de fer pour trois molécules de chaux au minimum.

Le gaz ainsi traité par voie liquide abandonne ses produits cyanurés qui sont transformés en prussiate de chaux soluble.

Une partie de l'hydrogène sulfuré est fixée en même temps sur l'hydrate de fer en excès et se précipite sous forme de sulfure de fer.

Les résidus du traitement de lavage sont séparés au filtre-pressé ; dans le liquide recueilli se trouve la totalité des composés cyanurés solubles. Le résidu solide, oxydé par séchage à l'air, forme la base d'une masse épurante constituée principalement par de l'hydrate ferrique mélangé de soufre, du sulfate et du carbonate de chaux.

Cette matière est alors rendue poreuse par addition de sciure et employée à sec dans les caisses d'épuration ordinaire pour la seconde phase du traitement. Le gaz, dépouillé de ses composés cyanurés, abandonne alors facilement ses impuretés sulfurées car la matière ainsi préparée est, paraît-il, plus active que celle obtenue par les procédés ordinaires.

61. Réalisation de l'épuration chimique. Généralités.

— La réalisation de l'épuration chimique consiste à faire passer lentement le gaz à travers les cuves contenant les matières épurantes à base d'oxyde de fer.

Afin d'éviter des pertes de charge exagérées, la matière épurante est disposée sous de faibles épaisseurs et sur de larges surfaces dans plusieurs cuves placées en série.

A cet égard, signalons que la matière épurante se com-

porte comme un faisceau de tubes capillaires et que, par conséquent, suivant la loi de Poiseuille la charge qu'elle oppose au passage du gaz est directement proportionnelle au débit.

L'ordre de passage du gaz à travers les différentes cuves est périodiquement modifié chaque fois que l'on opère la vidange et le remplissage de l'une d'elles, en sorte que le gaz rencontre toujours en premier lieu la matière la moins propre et ne traverse qu'en fin de traitement la matière fraîche ou revivifiée.

62. Matières d'épuration. — La matière épurante est obtenue en mélangeant un produit à base d'oxyde de fer avec une quantité convenable de sciure de bois destinée à composer une masse suffisamment poreuse pour n'offrir qu'une faible résistance au passage du gaz.

Les oxydes de fer utilisés sont des minerais pulvéreux, tels que la limonite dont la formule générale est $2\text{Fe}^2\text{O}^3(3\text{H}^2\text{O})$, ou des oxydes préparés industriellement avec des tournures ou limailles de fer ou de fonte. On emploie aussi des oxydes résiduels provenant de différentes industries : résidu de fabrication de l'aniline ; résidu du traitement de la bauxite, poudre rouge extrêmement fine, particulièrement connue sous le nom de matière Lux ; résidu du grillage des matières usées ayant servi à la fabrication de l'acide sulfurique.

Toutes les matières d'épuration naturelles ou artificielles contiennent des quantités d'eau importantes.

La quantité d'oxyde nécessaire pour épurer un certain volume de gaz est naturellement fonction de la teneur moyenne de ce gaz en hydrogène sulfuré. Cette teneur dépend elle-même de la nature des charbons distillés et varie dans de larges proportions : alors qu'elle n'est que de 3 grammes par mètre cube de gaz provenant de charbons

du Pas-de-Calais, elle peut atteindre 18 grammes par mètre cube avec certains charbons anglais très sulfureux.

La réaction chimique que nous avons admise indique que, pour un gaz contenant 7 grammes d' H^2S par mètre cube, il faut $14^{gr},7$ d'oxyde de fer hydraté $Fe^2O^3(3H^2O)$, c'est-à-dire que 100 kilogrammes d'oxyde permettraient d'absorber près de 50 kilogrammes d' H^2S et d'épurer environ 7 000 mètres cubes de gaz.

Ces résultats sont très loin d'être approchés dans la pratique, par suite des imperfections du procédé qui rendent les réactions dans les cuves irrégulières et incomplètes.

On évalue pratiquement le pouvoir épurant d'une matière par le nombre de mètres cubes d'un gaz déterminé qu'un mètre cube de cette matière est capable de traiter entre deux revivifications. Il est évident que cette estimation ne peut donner de résultats comparatifs que si l'on spécifie nettement, dans chaque cas, la teneur du gaz en hydrogène sulfuré.

Les matières les plus couramment employées permettent d'épurer entre deux revivifications, et par mètre cube de matière, de 1 500 à 2 000 mètres cubes de gaz à teneur moyenne d' H^2S (environ 7 grammes par mètre cube).

63. Cuves d'épuration. — Les cuves d'épuration sont des récipients en fonte, de forme parallépipédique, garnies intérieurement d'un faux-fond perforé sur lequel repose la matière épurante. Les parois sont généralement formées de panneaux en fonte assemblés par des boulons (fig. 29).

Quelquefois plusieurs épurateurs sont groupés et assemblés par leurs côtés transversaux communs. On leur donne alors le nom d'épurateurs monoblocs.

La partie supérieure des caisses est fermée par un couvercle mobile dont l'étanchéité est assurée, soit par une garde hydraulique, soit par un joint sec en caoutchouc maintenu serré par un dispositif à vis.

Le gaz entre dans les épurateurs soit à la partie supérieure, soit à la partie inférieure. Il ressort de l'autre côté, après avoir traversé la matière répartie également sur toute la surface disponible.

Dans les épurateurs « Compound », le gaz arrive au

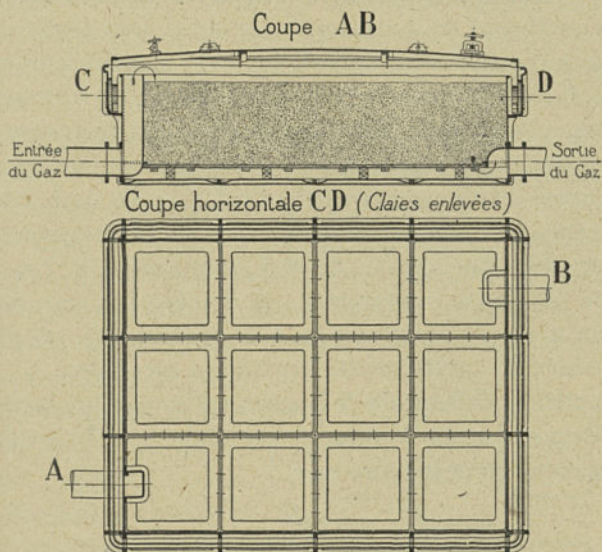


Fig. 29. — Cuve d'épuration.

centre de la cuve entre deux couches de matière épurante; une moitié du volume gazeux sort par le haut, une autre moitié par le bas.

Les faux-fonds placés dans les épurateurs peuvent être constitués soit par des lattes de bois légèrement écartées les unes des autres, formant une sorte de grille, soit par des planches en bois percées d'un grand nombre de petits trous tronconiques. Les éléments de claires standard se composent de montants verticaux en bois entretoisés par une série de barreaux horizontaux. Ces éléments sont juxtaposés les uns

aux autres sur toute l'étendue de la cuve, de manière à constituer des rangées de claies horizontales. La matière est ainsi très également répartie dans tout le volume de la caisse.

64. Nombre et dimensions des cuves d'épuration. —

Le nombre et les dimensions des cuves sont déterminés par la durée de contact entre le gaz et la matière épurante. Cette durée doit varier avec la teneur du gaz en hydrogène sulfuré et l'activité de la matière. Pour du gaz provenant de la distillation de charbons ordinaires et contenant de 7 à 8 grammes d'H²S par mètre cube ainsi que pour les matières épurantes couramment employées, la durée moyenne de contact doit être voisine de 6 à 7 minutes. Si l'on se donne l'épaisseur moyenne de la matière épurante dans chaque cuve (généralement 60 à 80 centimètres), on peut en déduire la surface totale d'épuration nécessaire.

En effet, si l'on appelle S la surface d'épuration totale en mètres carrés et Q le volume de gaz débité en mètres cubes par minute, on peut écrire :

$$S = \frac{Q}{v},$$

v étant la vitesse du gaz en mètres par minute déterminée de la façon suivante :

$$v = \frac{e}{\theta},$$

e est l'épaisseur en mètres de matière dans chaque cuve et θ est la durée de contact en minutes
d'où :

$$S = \frac{Q\theta}{e}. \quad (1)$$

Avec les chiffres moyens suivants :

$$\begin{aligned} \theta &= 6 \text{ minutes } 1/2 \\ e &= 0^{\text{m}},70, \end{aligned}$$

et pour un débit de 1 000 mètres cubes de gaz par 24 heures on a

$$S = \frac{1\,000 \times 6,5}{24 \times 60 \times 0,70} = 6\text{m}^2,44.$$

On en déduit le nombre et les dimensions des cuves nécessaires d'après le type d'installation adopté. Les plus petits appareils sont de 2 mètres sur 3 mètres, les plus grands atteignent 20 à 30 mètres sur 10 mètres et même plus.

Une usine à gaz ne peut fonctionner avec moins de deux épurateurs, afin que périodiquement l'un d'eux puisse être arrêté pour le changement de la matière.

Presque toujours les ateliers d'épuration comportent 4 cuves ou plusieurs séries de 4 cuves. La dernière de chaque série, dite de sûreté, garnie de matière fraîchement revivifiée doit normalement recevoir du gaz complètement débarrassé de son hydrogène sulfuré et n'intervenir qu'en cas d'accident.

Pendant la vidange et le rechargement d'une des cuves, les 3 autres assurent seules le service. Le gaz peut traverser les 4 cuves d'un même jeu de plusieurs manières différentes, en série ou en parallèle, représentées sur le schéma de la figure 30.

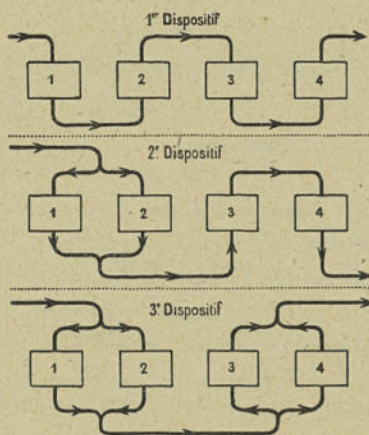


Fig. 30.
Trajet du gaz à travers les cuves d'épuration.

La vitesse de passage varie suivant les cas, mais la durée de contact entre le gaz et la matière reste constante.

En effet, si l'on se reporte à la formule (1) qui peut être mise sous la forme

$$Se = Q\theta \quad (2)$$

on peut remarquer que, quel que soit le dispositif de passage dans un même jeu de cuves, le produit Se reste constant.

Dans le cas de la disposition n° 1, où les 4 cuves sont traversées en série, la section offerte au passage du gaz est :

$$S' = \frac{S}{4}$$

Par contre, l'épaisseur totale de matière traversée est :

$$e' = 4e$$

et l'on a :

$$S'e' = Se.$$

Il en est de même pour les dispositifs 2 et 3.

Dans le cas du dispositif n° 1, la vitesse de passage est de

$$\frac{700 \times 4}{6,5 \times 60} = 7^{\text{mm}}, 2 \text{ par seconde ;}$$

dans le cas du dispositif n° 3, elle est moitié moindre, soit $3^{\text{mm}}, 6$ par seconde.

65. Manœuvre des couvercles et manutention de la matière. — Les couvercles des cuves d'épuration sont manœuvrés à l'aide de simples palans dans les petites usines et de ponts roulants à commande manuelle ou électrique dans les moyennes et grandes usines ; quelques exploitations utilisent, exceptionnellement, l'eau sous pression pour ce travail.

Au point de vue de la manutention de la matière épurante, les épurateurs peuvent se diviser en deux catégories : ceux dans lesquels la manutention se fait par la partie supérieure de la cuve et ceux dans lesquels la manutention se fait par la partie inférieure.

Dans les deux cas, l'épandage de la matière peut être pratiqué soit au même niveau que les cuves d'épuration, soit à un niveau différent, suivant les sujétions spéciales de l'usine.

La figure 31 représente une installation du 1^{er} type où un pont roulant assure la manutention de la matière au moyen

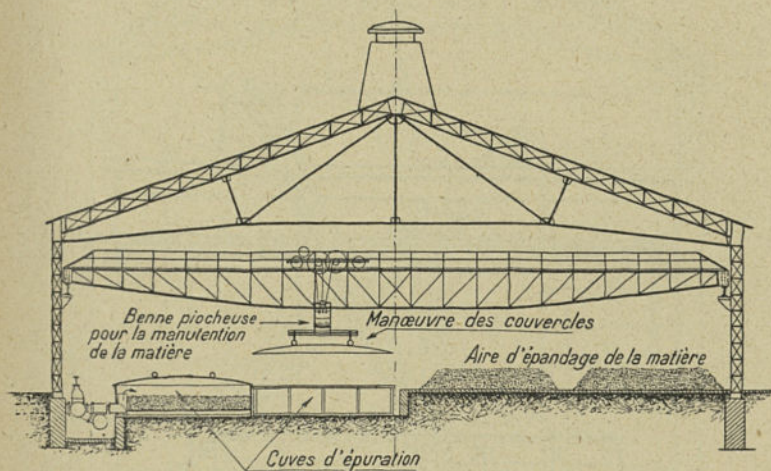


Fig. 31. — Salle d'épuration à un seul étage.

de bennes piocheuses, l'aire d'épandage étant située à côté des cuves (le même pont est utilisé pour la manœuvre des couvercles).

La figure 32 représente une installation du 2^e type. Les cuves sont au 1^{er} étage, lors de leur vidange la matière est recueillie au rez-de-chaussée et la revivification de cette dernière a lieu au 2^e étage.

66. Distribution méthodique du gaz dans les épurateurs. — Nous avons déjà indiqué que, dans le but d'obtenir une épuration méthodique, l'ordre de passage du gaz dans les différents appareils est modifié périodiquement

suivant l'état d'ancienneté de la matière contenue. Ce résultat est atteint par la manœuvre d'une série de vannes

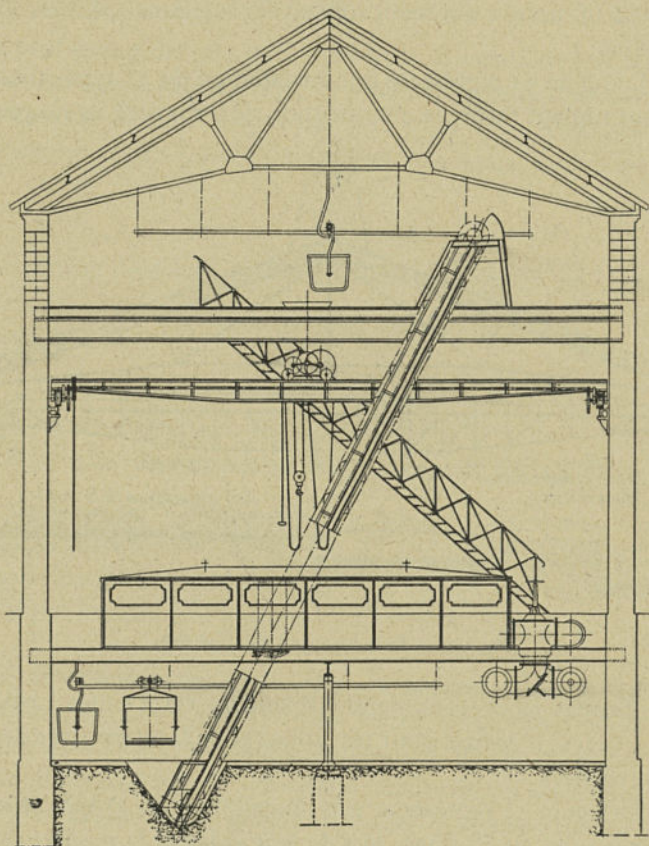


Fig. 32. — Salle d'épuration à plusieurs étages.

commandant un réseau de tuyauteries spécialement étudié pour desservir les cuves. Les vannes en question sont à deux, trois ou quatre directions.

Le distributeur à 4 voies construit par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz,

souvent substitué à ces robinets, permet une grande simplification de la tuyauterie.

La figure 33 représente une installation de 4 épurateurs

APPLICATION DES VALVES A TAMPONS A 3 VOIES.

Règle de la manœuvre :

lever le clapet de la valve d'entrée du gaz dans le 1^{er} épurateur ;
lever le clapet de la valve de sortie du gaz dans le dernier épurateur ;
baissier tous les autres.

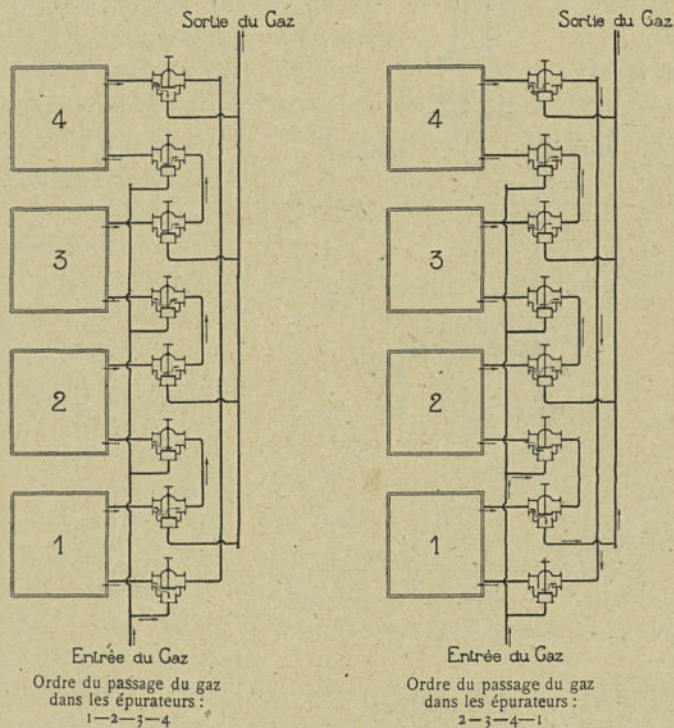
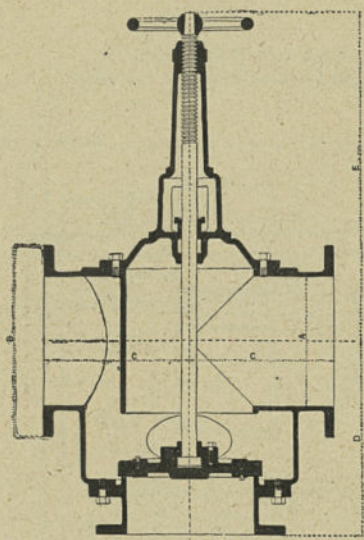


Fig. 33. — Distribution du gaz dans un jeu de 4 épurateurs.

commandés par des robinets à tampon d'équerre à 3 voies (fig. 34). Elles montrent la simplicité de la manœuvre à

effectuer pour isoler n'importe quel appareil et faire traverser les trois autres par le gaz dans n'importe quel ordre.

67. Appareils revivificateurs. — Beaucoup d'usines



Disposition A



Disposition B



Disposition C



Fig. 34. — Robinet à tampon d'équerre à 3 voies.

soulagent, comme on l'a vu, le travail de leurs épurateurs à l'aide de l'oxygène de l'air qu'on introduit au moyen d'un appareil appelé « revivificateur ». L'air peut être mélangé au gaz soit avant l'entrée des extracteurs, c'est-à-dire dans un milieu où la pression est inférieure à la pression atmosphérique, soit immédiatement avant l'entrée des épurateurs, sous une pression pouvant atteindre 500 millimètres d'eau. Les appareils employés dans les deux cas ne diffèrent que par leurs

dispositifs de sécurité qui exigent des gardes hydrauliques plus ou moins importantes. Dans les petites usines, on utilise des revivificateurs dont la construction est très semblable à celle des compteurs de consommation.

Le tambour mesureur fait fonction de ventilateur en aspirant l'air extérieur et en le refoulant dans la conduite de gaz.

Le volume d'air ainsi débité est rendu proportionnel au volume de gaz fabriqué par un artifice très simple. On fait commander le tambour du revivificateur par le compteur de fabrication. La proportion recherchée est déterminée par le niveau de l'eau dans l'appareil revivificateur, que l'on peut faire varier à volonté.

Dans les grandes usines, où l'on est amené à débiter des volumes d'air importants, les revivificateurs à volants sont remplacés par des ventilateurs volumétriques actionnés par une transmission indépendante.

Dans ce cas, l'air introduit dans le gaz est mesuré en passant dans un compteur spécial. Les ventilateurs tournant à vitesse constante, le volume d'air utilisé est réglé au moyen d'une vanne située sur la conduite de refoulement et permettant d'évacuer dans l'atmosphère les volumes débités en excès.

La figure 35 représente l'ensemble d'une telle installation ;

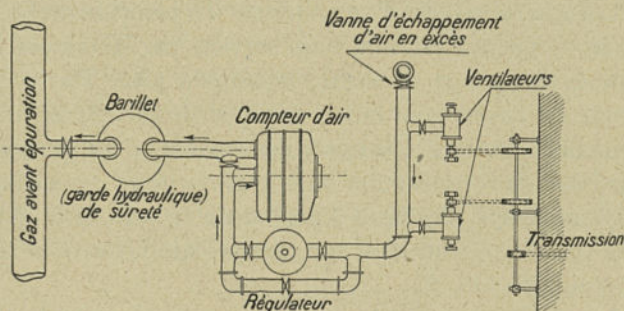


Fig. 35. — Installation de revivification.

un régulateur maintient constante la pression de sortie des ventilateurs, quelles que soient les variations de pression de la conduite de refoulement.

68. Conduite de l'épuration et de la revivification.

— Le remplissage des cuves doit se faire avec soin, de ma-

nière à obtenir une répartition très égale de la matière dans tout le volume utile. Il faut éviter que le gaz ne trouve des cheminements de moindre résistance. Sa circulation irrégulière obligerait à remplacer la masse épurante sans qu'elle ait été entièrement utilisée, ce qui occasionnerait une perte de temps et une dépense inutile.

La matière employée doit être suffisamment humide pour que, pressée à la main, elle conserve à peu près la forme qu'on lui a donnée.

L'humidité de la masse active la réaction de l'oxyde et évite le tassement de la matière ; un excès d'eau devient toutefois nuisible.

L'élévation de température paraît favorable à la marche de l'épuration qui est plus active en été qu'en hiver.

Avec les épurateurs à garde hydraulique, il faut prendre certaines précautions contre la gelée. Souvent l'eau est réchauffée au moyen d'un thermo-siphon.

Lorsque la matière d'un épurateur est complètement sulfurée, l'appareil est mis hors service par fermeture des vannes d'entrée et de sortie ; le tampon placé sur le couvercle est ouvert pour laisser échapper le gaz. Après soulèvement du couvercle, la caisse est vidée et la matière portée sur l'aire de revivification où elle séjourne en tas pendant quelque temps, de façon à provoquer au sein de la masse une certaine élévation de température qui favorise la réaction étudiée au § 53.

La matière est ensuite étendue en couches de 20 à 30 centimètres d'épaisseur, dans lesquelles on creuse des sillons destinés à faciliter l'action de l'air.

Pour activer la réaction, la masse est remuée chaque jour. Son inflammation est évitée par un arrosage à l'eau. Le travail de pelletage est fait souvent à la main ; les usines importantes utilisent des appareils mécaniques (ponts roulants à bennes piocheuses, pelleteurs, broyeurs mécaniques).

Enfin, quelquefois la revivification est pratiquée « in situ », c'est-à-dire sans sortir la matière après arrosage. L'oxydation se fait sur place au moyen d'air introduit directement dans les cuves par des manches mobiles.

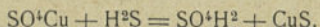
Ce procédé a pour inconvénient de rendre la matière très dure et compacte, ce qui nécessite un travail de broyage important.

69. Contrôle de l'épuration. — Le contrôle de l'épuration doit avoir deux objectifs :

- 1° vérifier l'état de pureté du gaz,
- 2° renseigner sur la valeur épurante des matières en service.

70. Contrôle de la purification du gaz. — Le dosage de l'hydrogène sulfuré, à l'entrée comme à la sortie des cuves d'épuration, se fait en mesurant l'augmentation de poids d'un tube contenant de la ponce imprégnée de sulfate de cuivre anhydre après passage d'un volume de gaz connu, parfaitement desséché.

La réaction est la suivante :



On peut opérer également par titrage volumétrique à l'iode suivant la formule :



Un contrôle plus rapide, et constamment effectué à la sortie des cuves d'épuration, se fait par l'essai du gaz au papier à l'acétate de plomb.

Ce papier, imprégné à l'avance d'une solution d'acétate de plomb à 10 pour 100 et mis au contact du gaz, ne doit pas noircir si ce dernier est convenablement épuré.

Il existe des appareils permettant d'effectuer cette sur-

veillance d'une façon continue. Un rouleau de papier est présenté régulièrement devant le gaz fabriqué, pendant qu'une graduation horaire est imprimée sur sa surface (appareil d'Elster utilisé en Allemagne).

A l'usine à gaz de Gennevilliers, pendant l'année 1921, la teneur moyenne du gaz en H^2S a été de :

1^{kg},033 pour 100 mètres cubes avant l'épuration,
9^{gr},4 pour 100 mètres cubes après épuration.

L'efficacité du traitement a donc été de près de 98 pour 100.

Dans ce cas, la matière (oxyde de fer préparé artificiellement) a pu traiter par tonne, jusqu'à épuisement, 52 148 mètres cubes de gaz.

Nous indiquerons ultérieurement¹ la manière dont on peut opérer le dosage du cyanogène.

Ce composé, d'ailleurs en faibles proportions dans le gaz, est toujours très facilement absorbé par les matières. Un gaz épuré ne contient plus que des traces de cyanogène (1 à 2 grammes par 100 mètres cubes).

La teneur du gaz en sulfure de carbone est, le plus souvent, évaluée par différence entre le soufre total et le soufre contenu dans l'hydrogène sulfuré, préalablement déterminé.

Le gaz épuré ne contient normalement que des traces de sulfure de carbone.

71. Contrôle de la valeur des matières épurantes. —

L'activité des matières d'épuration diminue à mesure que s'accroît le nombre de revivifications, car l'enrichissement continu de la matière en soufre a pour conséquence une dilution de l'oxyde de fer dans la masse.

Il est donc indispensable d'effectuer, à intervalles régu-

1. Voir chapitre « Composition et qualité du gaz ».

liers, le dosage du soufre dans les matières épurantes pour apprécier leur degré d'usure.

Cette détermination se fait par extraction du soufre libre au moyen du sulfure de carbone.

On peut d'ailleurs apprécier à l'œil les progrès de la revivification d'après l'aspect extérieur de la matière. Au début de son service, la matière vire de couleur, du noir au brun. Lorsqu'elle a été revivifiée un certain nombre de fois, elle passe du noir au bleu verdâtre.

Le nombre de revivifications que l'on peut faire subir aux différentes matières est très variable suivant leur composition et la qualité du gaz traité. Il varie en général de 25 à 40. Une matière qui contient plus de 50 pour 100 de soufre est, en général, considérée comme épuisée et mise hors service.

72. Vieilles matières. — Les vieilles matières peuvent être vendues comme engrais pour l'azote ammoniacal qu'elles contiennent.

De nombreux procédés ont été imaginés, d'autre part, pour en extraire d'autres produits utilisables (sels ammoniacaux, soufre, composés cyanurés et en particulier le bleu de Prusse).

Il semble qu'une des plus intéressantes méthodes de traitement consiste à utiliser le soufre par grillage des matières, pour la fabrication de l'acide sulfurique dans les chambres de plomb. Ce procédé permet de régénérer l'oxyde de fer qui peut être de nouveau utilisé pour l'épuration.

73. Élimination combinée des produits ammoniacaux et sulfurés. — De nombreux inventeurs ont tenté de combiner l'élimination de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré, de manière à produire directement du sulfate d'ammoniaque ; les plus connus sont Burkheiser et Feld.

74. Procédé Burkheiser. — Le procédé Burkheiser comprend une série d'opérations qui se succèdent dans l'ordre indiqué par la figure 36. Le gaz brut est condensé et dégoudronné, puis conduit aux épurateurs chimiques.

Les eaux ammoniacales provenant des condensations

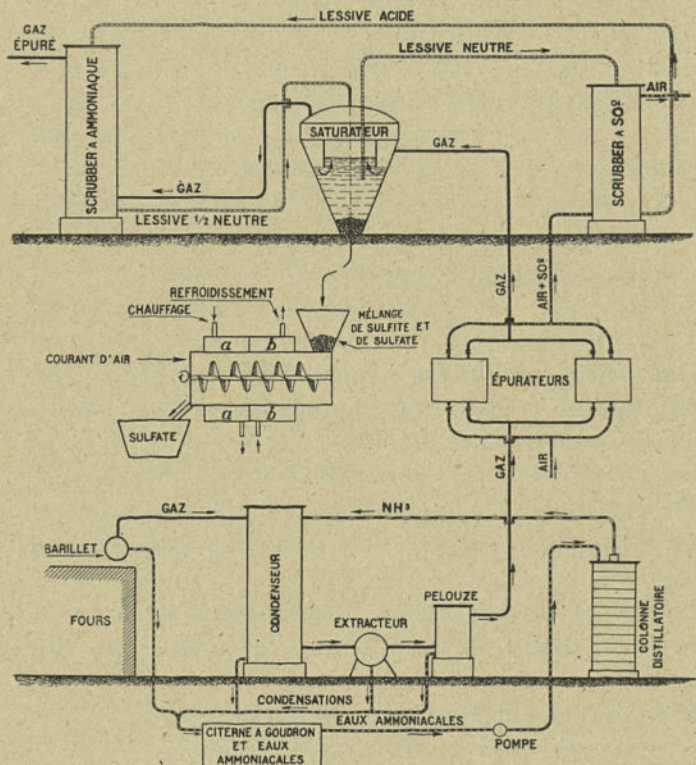


Fig. 36. — Schéma du procédé Burkheiser.

sont distillées et le gaz ammoniac est ajouté au gaz sortant des barilletts.

Les épurateurs à oxyde sont chargés soit de limonite, soit de masse artificielle à l'état pulvérulent.

Cette matière subit une première préparation. Elle est chauffée au-dessus de 100°, de manière à abandonner une partie de son eau d'hydratation et ses substances organiques. Elle devient ainsi particulièrement active et est, paraît-il, capable de traiter entre deux revivifications une quantité de gaz égale à 20 000 fois son volume.

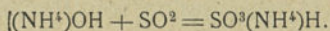
La régénération de la matière se fait dans les cuves mêmes au moyen d'une introduction d'air. Elle est poussée assez loin pour transformer le sulfure de fer non plus seulement en soufre mais en anhydride sulfureux SO². Cet air chargé de gaz sulfureux est ensuite dirigé dans un scrubber où il est lavé au moyen d'une lessive neutre qui devient ainsi acide.

D'autre part, le gaz sortant après traitement des épura-teurs passe d'abord dans un saturateur, puis dans un scrubber où il est lavé par une lessive acide qui devient neutre.

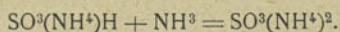
La même lessive circule [d'une manière continue à travers les 3 appareils : scrubber à SO², scrubber à NH³ et saturateur. C'est elle qui met en contact les produits azotés et sulfureux contenus dans le gaz, en passant alternativement par des états acide et neutre.

La suite des réactions qui se produisent est la suivante :

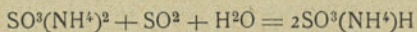
L'eau ammoniacale dans le laveur à SO² donne :



Ce liquide est envoyé dans le laveur à ammoniacque



Ce sulfite d'ammoniacque neutre retourne dans le laveur à SO² où l'on a :



La suite des réactions est donc continue. La solution se

concentre de plus en plus, jusqu'à ce que le sel dépose par cristallisation.

On recueille dans le saturateur un sel précipité qui ne se compose pas exclusivement de sulfite, mais qui contient également, par suite d'oxydation, près de 60 pour 100 de sulfate d'ammoniaque.

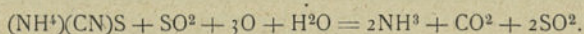
La transformation complète du sulfite en sulfate se fait au moyen de l'appareil représenté sur le schéma 36. Son principe est basé sur le fait, observé par Burkheiser, que l'oxydation du sulfite s'arrête lorsque la proportion du sulfate produit atteint les $\frac{2}{3}$ du mélange.

Le mélange de sulfite et de sulfate chemine dans un cylindre sous l'action d'une vis sans fin. Un courant d'air traverse l'appareil en sens inverse et oxyde le sulfite jusqu'à la proportion maxima indiquée précédemment.

La partie *a* du cylindre est chauffée, pendant que la partie *b* est refroidie. Le sulfite subsistant dans le mélange est ainsi vaporisé et entraîné par le courant d'air en *b* où il se sublime, de sorte que l'appareil n'évacue que du sulfate d'ammoniaque.

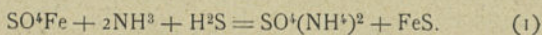
Il est intéressant de remarquer que l'acide cyanhydrique est également récupéré dans le procédé Burkheiser.

L'épuration retient en effet le cyanogène sous forme de sulfocyanure d'ammonium, qui se transforme en ammoniaque pendant la régénération sous l'influence de l'acide sulfureux, suivant la formule :

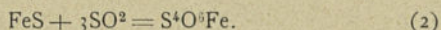


75. Procédé Feld. — Le procédé Feld consiste à éliminer simultanément l'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré, en faisant passer le gaz dégoudronné dans un laveur alimenté au moyen d'une solution à 15 pour 100 de sulfate ferreux.

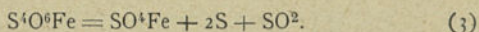
Il se produit la réaction suivante :



Le sulfure de fer est régénéré en soumettant la solution extraite du laveur à l'action d'un courant d'air chargé d'anhydride sulfureux :



On obtient un tétrathionate ferreux soluble qui, chauffé vers 80°, se décompose en donnant du sulfate de fer et du soufre :



On sépare au filtre-pressé le soufre solide de la solution de sulfate ferreux mélangé d'ailleurs de sulfate d'ammoniaque. Le soufre est grillé dans un four, afin de produire l'anhydride sulfureux nécessaire à la réaction (2).

La solution de sulfate ferreux et de sulfate d'ammoniaque est renvoyée dans le laveur, pour traiter le gaz non épuré suivant la réaction (1). Le liquide s'enrichit ainsi progressivement en sulfate d'ammoniaque, qui est recueilli périodiquement par évaporation sous le vide et essorage.

Les procédés Feld et Burkheiser sont théoriquement très séduisants, mais à l'heure actuelle (1923), ils n'ont pas encore reçu, à notre connaissance, d'application pratique dans l'industrie gazière française.

DEUXIÈME PARTIE

SERVICES ACCESSOIRES DE LA FABRICATION

VI. — MESURAGE DU GAZ

76. Rôle du compteur de fabrication. — Le compteur de fabrication sert à mesurer le gaz fabriqué dès sa sortie de l'épuration, c'est-à-dire avant son entrée au gazomètre. Les indications qu'il fournit sont généralement relevées heure par heure ; elles permettent, en les rapprochant de la consommation de houille pendant un temps donné, de savoir si le volume du gaz produit est normal ou non.

D'autre part, les gazomètres portent des graduations volumétriques grâce auxquelles on connaît à tout moment la quantité de gaz qu'ils contiennent. En combinant les renseignements fournis pendant les mêmes périodes par les compteurs et les gazomètres d'une usine, il est possible de savoir si la quantité de gaz consommée par le réseau est inférieure, égale ou supérieure à la production de l'usine ; autrement dit, le compteur de fabrication permet le contrôle des quantités de gaz fabriquées et émises.

Les volumes de gaz payés par la clientèle étant mesurés à domicile, puis totalisés par mois et par année, il devient facile, grâce aux indications du compteur de fabrication, d'être renseigné sur les quantités de gaz impayées.

77. Principe du fonctionnement d'un compteur de fabrication. — Le principe du fonctionnement du compteur dit « humide » est le suivant: enfermer le gaz dans des compartiments de volume bien déterminé, à fermeture hydraulique, et mis successivement en communication avec l'entrée et la sortie de l'appareil. Le nombre de compartiments traversés fixe le volume total cherché.

Pratiquement, les compartiments en question sont disposés autour d'un même axe. Un compteur de tours, lié à cet axe par un mécanisme à engrenages, indique, au lieu du nombre de révolutions de l'appareil nommé volant, le produit du volume des compartiments du volant par le nombre de révolutions. Généralement cette indication est fournie en mètres cubes.

78. Description d'un compteur ordinaire. — Le volant

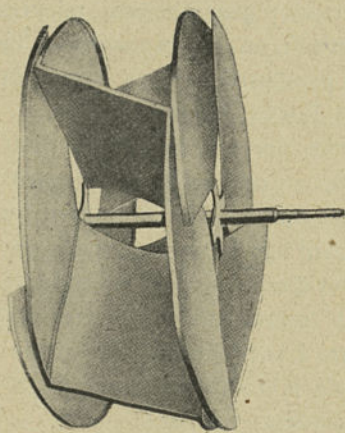


Fig. 37. — Volant d'un compteur.

se compose en réalité d'un cylindre partagé en quatre compartiments égaux par quatre aubes inclinées sur son axe de rotation; la figure 37 représente le volant, dont on a enlevé l'enveloppe extérieure pour permettre d'apercevoir la disposition des aubes ou cloisons intérieures. Chaque compartiment est limité radialement et latéralement par deux des aubes successives, extérieurement

par la paroi cylindrique du volant et intérieurement lorsqu'il émerge, par l'eau. La figure 38 représente

schématiquement les développements de coupes cylindriques faites dans le volant parallèlement à l'axe.

Les fentes d'entrée et de sortie de chaque compartiment sont disposées de telle façon qu'il n'y ait jamais qu'une d'entre elles à la fois qui émerge de l'eau. Ainsi il y a toujours un seul compartiment en remplissage et un seul autre en vidange. Dans la position de la figure 38 a, le compartiment II est en communication avec l'entrée, le compartiment I avec la sortie. La résultante des efforts exercés par le gaz en I et II se réduit à la différence des pressions exercées de chaque côté du contour *a, b, c, d*. Si donc la pression du gaz à l'entrée est supérieure à celle de la sortie, le volant tend à tourner dans le sens de la flèche.

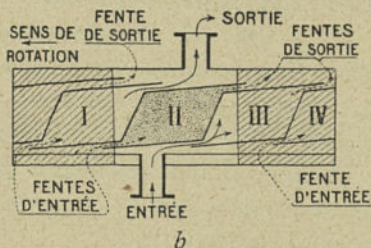
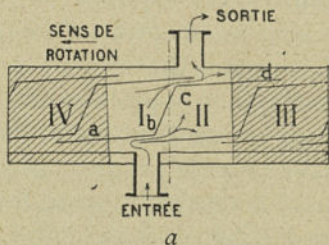


Fig. 38. — Développement du volant d'un compteur.

Le compartiment II se remplit alors, tandis que I se vide. Lorsque la fente d'entrée de II arrive au contact de l'eau (fig. 38 b), une masse de gaz bien déterminée est enfermée dans ce compartiment. Le mouvement continuant, le compartiment II se vide, tandis que III se remplit et ainsi de suite. A chaque tour de volant, un volume de gaz toujours égal à la somme des volumes des divers compartiments a traversé l'appareil.

En somme, le compteur est un moteur qui absorbe pour sa marche à vide toute l'énergie qui lui est fournie ; il doit vaincre les frottements de son axe sur ses paliers, ceux de

sa minuterie, et surtout la résistance offerte par l'eau au mouvement de ses aubes, résistance qui en croissant très vite avec le débit contribue à régulariser la vitesse de rotation de l'appareil.

79. Dispositifs particuliers aux compteurs de fabrication. — Les appareils de ce genre conviennent aussi bien pour les compteurs d'abonnés que pour les compteurs de fabrication. Ces derniers comportent seulement quelques dispositifs supplémentaires :

1° un by-pass permettant, en cas d'arrêt du compteur, de faire passer le gaz directement des épurateurs aux gazomètres ; normalement cette tuyauterie est fermée par une valve à clapet pourvue d'une garde hydraulique qui lui assure une étanchéité parfaite ;

2° un siphon de nivellement permettant de faire arriver d'une façon continue l'eau dans le compteur et de maintenir par suite un niveau absolument constant, condition indispensable pour l'exactitude des indications fournies ;

3° enfin, un indicateur de niveau d'eau, simple tube relié par le bas avec la cuve du compteur et par le haut avec le tuyau d'arrivée du gaz.

80. Enregistrement du débit. — Normalement dans une usine bien conduite, les quantités de gaz fabriquées sont les mêmes à tous les instants de la journée ; la courbe des débits cumulés rapportés au temps est donc une droite formant avec l'axe des temps un angle d'autant plus grand que les débits sont plus importants.

On obtient l'inscription de cette courbe, sur une feuille attachée à un cylindre vertical, au moyen d'une plume déplacée verticalement par une came dont le profil est constitué par deux spirales d'Archimède symétriques (fig. 39). L'axe du volant du compteur actionne la came par l'inter-

médiaire d'un harnais d'engrenages. Les rayons vecteurs de la spirale d'Archimède étant proportionnels aux angles décrits, la plume s'élèvera, puis ensuite s'abaissera proportionnellement au débit. Le cylindre portant la feuille de papier tournant d'un mouvement uniforme, le graphique obtenu devra avoir normalement l'aspect régulier des dents

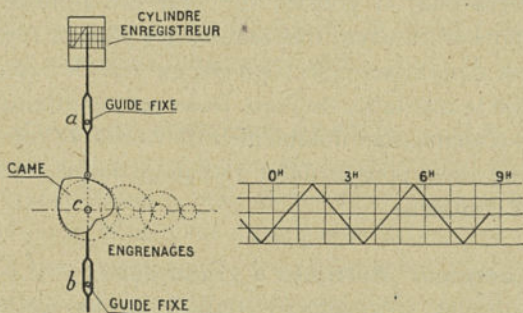


Fig. 39. — Dispositif d'enregistrement des débits.

d'une scie ; tout incident provoquera une déformation du graphique qu'il sera possible de déceler d'un simple coup d'œil.

81. Vitesse de rotation des compteurs. — La vitesse de rotation du volant d'un compteur de fabrication ordinaire ne dépasse pas 100 tours à l'heure. Pour les appareils dont le débit atteint 50 000 mètres cubes par 24 heures, cette vitesse maximum est 75 à 80 tours ; elle est seulement 60 tours pour ceux de 100 000 mètres cubes. La perte de charge due à leur présence est en moyenne 15 à 18 millimètres d'eau pour les compteurs de débit inférieur à 30 000 mètres cubes par 24 heures, et 20 à 25 pour ceux dont le débit est plus élevé.

82. Compteur Duplex à grande vitesse. — L'usure de l'arbre provient en grande partie de l'obliquité des efforts

exercés par le gaz sur le volant. Le compteur Duplex, de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usine à Gaz, étudié par MM. Chamon, Foiret et Millet, comprend deux séries symétriques de 3 aubes ou coquilles laissant entre elles un espace libre servant de chambre de distribution centrale par laquelle arrive le gaz. Grâce à cette disposition, la poussée sur l'axe est annulée et les frottements se trouvent très réduits. De plus, la forme des aubes est déterminée spécialement en vue de réduire au minimum la résistance de l'eau. Dans ces conditions, il est possible d'augmenter notablement la vitesse de rotation et de réduire ainsi, pour un débit maximum donné, les dimensions du compteur.

83. Compteur Multiplex à grand débit. — Le compteur Multiplex spécialement étudié pour les très grands débits comprend un volant

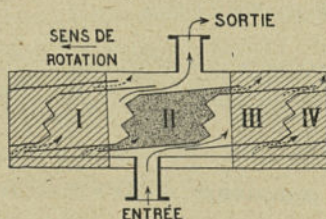


Fig. 40. — Développement du volant d'un compteur Multiplex.

dont les compartiments sont séparés, non plus par des surfaces planes, mais par des éléments alternativement inclinés sur l'axe (voir figure 40). Avec une telle disposition, la résistance opposée par l'eau au mouvement des

aubes étant moins considérable que dans le cas des volants ordinaires, il est possible d'accroître la vitesse de rotation : pour un même débit horaire, il est possible de diminuer le volume des compteurs, ce qui rend leur construction plus facile et plus économique¹.

84. Compteur Rotary. — Le compteur sec Rotary com-

1. Pour plus de détails, voir *Le Gaz* par René MASSE, t. III, p. 256 et 257.

prend principalement une roue à ailettes inclinées que le courant gazeux fait tourner. On admet que le nombre de tours de la roue est proportionnel au volume de gaz ayant traversé l'appareil. Les compteurs de ce genre, bien que relativement peu précis, présentent néanmoins des avantages dont les principaux sont : le faible encombrement, la robustesse et la sécurité de marche ; ils permettent, de plus, de ne pas craindre la gelée et de pouvoir compter le débit du gaz même à haute pression.

85. Compteur électrique Thomas. — Le compteur électrique Thomas est basé sur l'enregistrement de l'énergie électrique nécessaire pour élever de 1° C la température entre l'entrée et la sortie du gaz dans le compteur.

Pour que les indications recueillies soient exactes, il faudrait que le gaz soumis au mesurage ait une chaleur spécifique constante ; il n'en est pas toujours ainsi.

86. Indicateurs de débit. — Tous les appareils étudiés jusqu'ici totalisent les volumes des masses gazeuses qui les traversent.

Les indicateurs de débit permettent de mesurer la vitesse du fluide, d'où l'on déduit le débit instantané d'après la section de la conduite. Si l'on veut connaître le volume total du gaz, entre deux instants déterminés, il est par suite nécessaire d'effectuer une sommation ou intégration, soit graphiquement, soit mécaniquement.

Le plus simple de ces indicateurs est le tube de Pitot

Traitement des produits.

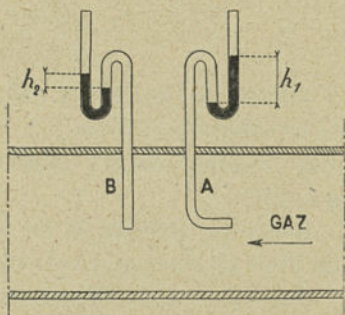


Fig. 41. — Tube de Pitot.

(fig. 41); il est composé de deux tubulures placées dans l'intérieur de la conduite de gaz de manière que l'extrémité de l'une d'elles A soit normale à la direction du courant, tandis que l'autre B est dans un plan parallèle à cette

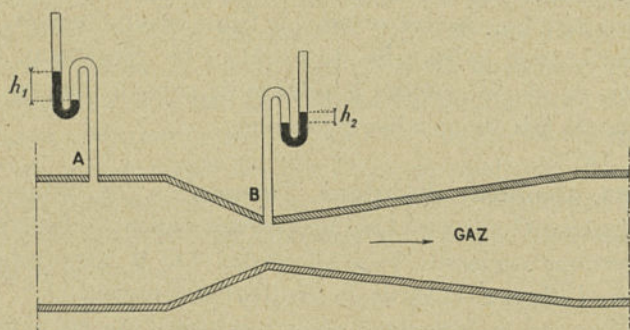


Fig. 42. — Tube de Venturi.

direction. La différence $H = h_1 - h_2$ des pressions exercées en A et B donne la vitesse cherchée, par la formule :

$$H = 1,29 \delta \frac{V^2}{2g}$$

V est exprimé en mètres par seconde,

H en millimètres d'eau,

δ est la densité du gaz rapportée à l'eau,

$g = 9,81$.

En valeur absolue, H est toujours très faible. L'appareil de Pitot est donc peu sensible.

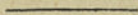
On obtient de meilleures indications en intercalant dans la conduite un tube de Venturi (fig. 42), qui n'est autre chose qu'un tube convergent-divergent. Dans cet appareil, la différence entre les pressions h_1 et h_2 est :

$$H = 1,29 \delta \frac{V^2}{2g} (m^2 - 1),$$

m étant le rapport des sections du tube à son col et à son entrée.

Ce rapport m détermine la sensibilité de l'appareil.

Il est à remarquer d'ailleurs que la dénivellation produite dans chacun de ces appareils dépend de la densité δ . Pour un fluide comme le gaz, dont la densité peut varier de 20 pour 100, les résultats ne peuvent être qu'approximatifs.



VII. — EMMAGASINAGE DU GAZ

87. Généralités. — Le débit instantané de l'ensemble d'une concession, au cours d'une même journée, varie en général dans de très grandes proportions (du simple au décuple) suivant les mois et suivant les saisons. La production doit au contraire, pour une bonne marche, posséder une certaine stabilité. On ne peut agir sur elle que progressivement et, s'il est possible au moyen de données statistiques de prévoir les variations systématiques de la consommation, les variations accidentelles ne peuvent être que constatées et, par suite, la production ne peut s'y adapter qu'avec un certain retard.

Pour toutes ces raisons, il est nécessaire de posséder, soit à l'usine, soit à l'extérieur, un magasin où le gaz puisse s'accumuler pendant tout le temps où la production excède la consommation, et d'où il puisse s'écouler quand l'inverse se produit. C'est le rôle des gazomètres.

88. Capacité gazométrique. — La capacité à donner au magasin peut être déterminée en calculant celle qui serait strictement nécessaire pour parfaire les variations journalières de la consommation et en y ajoutant une réserve destinée à parer aux variations accidentelles, réserve qu'on fixera par exemple à 25 pour 100 de la première. Pratiquement, il est prudent de disposer d'au moins 2 gazomètres dont le volume total sera au minimum 70 pour 100 de la production journalière maxima.

89. Types de gazomètres. — Il existe différentes espèces de gazomètres, mais la presque totalité de ceux actuellement utilisés sont des gazomètres à cuve, dont la disposition schématique est indiquée sur la figure 43.

Le gaz s'accumule sous une cloche B (fig. 43-a) flottant sur l'eau contenue dans une cuve A. La pression à l'intérieur est :

$$H = \frac{P}{S},$$

P représentant le poids de la cloche et S sa section horizontale. Cette pression est constante. Il faut donc, pour faire pé-

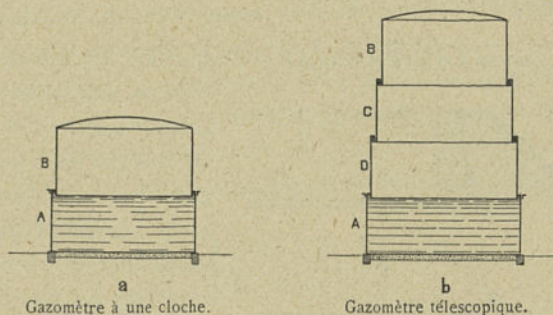


Fig. 43. — Schéma de gazomètres.

nétrer le gaz, le comprimer préalablement à cette pression H.

La capacité utile est: $Q = S \times L,$

L étant la course maximum de la cloche.

Le gazomètre représenté sur la figure 43-b est dit télescopique ; sa cloche est composée de 3 parties ou levées B, C, D, s'emboîtant les unes dans les autres. Pendant le remplissage, la cloche B se soulève la première, puis, arrivée à fin de course, elle accroche la levée C qui entraîne elle-même la cloche D. La pression d'entrée comme de sortie peut avoir, dans le cas de la figure 43-b trois valeurs distinctes, suivant le nombre des levées utilisées.

Les gazomètres à cloches télescopiques, pour des dimensions de cuves sensiblement les mêmes que celles des gazomètres ordinaires à une seule levée, ont des volumes utilisables beaucoup plus considérables que ces derniers. Leur construction est donc relativement peu coûteuse.

En fait, on emploie des gazomètres télescopiques dès que la capacité dépasse 500 mètres cubes ; le nombre des levées atteint le chiffre de six pour les très grandes unités.

Un gazomètre comprend 3 parties principales : la cuve, la cloche et l'appareil de guidage, ainsi qu'un certain nombre de dispositifs accessoires. Nous allons les examiner successivement.

90. Cuves en maçonnerie. — Les cuves des gazomètres

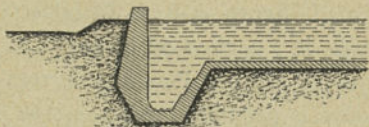
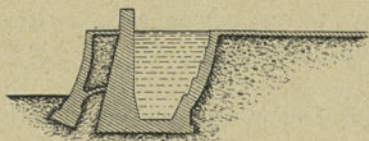


Fig. 44. — Cuves de gazomètres en maçonnerie.

sont en maçonnerie, en ciment armé ou en métal. Les cuves en maçonnerie peuvent être établies au-dessus du niveau du sol, ou bien enterrées en totalité ou en partie (fig. 44).

Les efforts qui s'exercent sur les parois des cuves sont nuls à la partie supérieure et maxima au fond, où la pression p de l'eau, exprimée en kilogrammes par mètre carré, est égale à :

$$p = 1000 H$$

H étant, en mètres, la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du fond de la cuve.

Cette pression tend à ouvrir la cuve, c'est-à-dire à la faire travailler à la traction. La maçonnerie résistant assez mal à ce genre d'efforts, on cherche de préférence à la faire travailler à la compression en pilonnant autour d'elle une épaisseur de remblai telle que la pression due à celui-ci soit plus forte que la pression due à l'eau ; malheureusement cette manière de procéder constitue un artifice coûteux qu'une simple fuite peut détruire rapidement en délayant le remblai. Il semble donc plus rationnel d'admettre que la cuve doit travailler à la traction et de la construire en conséquence.

91. Calcul de l'épaisseur d'une cuve en supposant que la maçonnerie travaille à la traction. — Les formules les plus employées pour déterminer l'épaisseur de la paroi d'une cuve travaillant à la traction sont celles de Lamé. La plus connue, celle qui convient également pour le calcul des cylindres métalliques soumis à de très hautes pressions, est :

$$E = \rho \left[\sqrt{\frac{R+p}{R-p}} - 1 \right] \quad (1)$$

dans laquelle :

E est l'épaisseur en mètres de la cuve au niveau où la pression intérieure est p ,

R la résistance pratique à la traction, en kilogrammes par mètre carré,

ρ le rayon intérieur en mètres.

Le même auteur a donné une autre formule :

$$E = \rho_0 \left[\left(\frac{A + P_0}{A + 2P_1 - P_0} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (2)$$

dans laquelle on désigne par :

E l'épaisseur de la paroi, en mètres,

ρ_0 le rayon intérieur de la cuve, en mètres,

A la résistance pratique à la traction en kilogrammes par mètre carré,

P_0 et P_1 les pressions intérieure et extérieure en kilogrammes par mètre carré.

Remarquons tout de suite qu'il est prudent d'attribuer à P_1 une faible valeur en raison des considérations développées plus haut. Si on le néglige, on a :

$$E = r_0 \left[\left(\frac{A + P_0}{A - P_0} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (3)$$

c'est-à-dire qu'on retombe sur la formule précédente (1).

La formule de Lamé donne une épaisseur nulle à la partie supérieure. Pratiquement, il ne faut pas descendre au-dessous de la limite indispensable pour assurer l'étanchéité, soit environ 0^m,60.

On prend pour R de la formule (1) ou A des formules (2) et (3) :

21 250 kilogrammes par mètre carré, si la cuve est en béton avec mortier constitué par 350 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable,

ou 40 000 kilogrammes par mètre carré, si la cuve est en brique ou béton avec mortier à base de ciment de Portland.

92. Cuves en ciment armé. — L'ossature métallique des cuves en ciment armé se compose généralement d'anneaux horizontaux en fer plat, solidement fixés à des montants verticaux. Ces cuves présentent des épaisseurs moyennes plus faibles que les cuves en maçonnerie. De ce fait, elles sont relativement légères et elles peuvent, en conséquence, être édifiées sur des terrains qui ne pourraient pas supporter des cuves en maçonnerie.

93. Cuves métalliques. — Les cuves métalliques, de

de rivets au droit d'un couvre-joint. A cet égard, la forme montrée par la figure 46 se recommande particulièrement

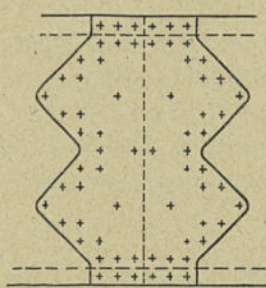


Fig. 46.
Couvre-joint de tôle de gazomètre.

pour les grands gazomètres. Rappelons que la formule qui donne, en mètres, l'épaisseur e des tôles en un point quelconque de la paroi de la cuve est :

$$e = \frac{pD}{2R}$$

dans laquelle :

p est la pression au point considéré, en kilogrammes par mètre carré,

D le diamètre de la cuve, en mètres,

R le taux de travail de la tôle, en kilogrammes par mètre carré.

Pratiquement, l'épaisseur de chaque virole est fournie par la formule :

$$e = \frac{\frac{D}{2} \times H \times h \times 1000}{h_1 \times R}$$

dans laquelle :

e est l'épaisseur en millimètres,

D le diamètre de la cuve en mètres,

H la hauteur d'eau, en mètres, au-dessus du milieu de la virole,

h la hauteur de la virole, en mètres, d'axe en axe des lignes de rivets,

h_1 la hauteur nette (trous déduits) en millimètres de chaque virole,

R le taux de travail limite (généralement 12 kilogrammes par millimètre carré).

Dans un gazomètre de 100000 mètres cubes dont les couvre-joints sont étudiés d'après le principe illustré par la

figure 46, les tôles du rang inférieur de la cuve ont 32 millimètres d'épaisseur, le diamètre de la cuve étant 63 mètres et sa hauteur 12^m,15.

95. Cuves à parois courbes. — Dans les cuves à parois extérieures cylindriques, le métal est soumis principalement à des tensions circulaires tangentielles. Ce sont elles qui conduisent à ces fortes épaisseurs.

Cet inconvénient est évité dans les cuves à parois courbes de la Maschinen Fabrik Augsburg Nürnberg, représentées sur la figure 47 et basées sur le principe suivant : si l'on suppose un sac imperméable rempli d'eau, suspendu à une corde et reposant partielle-

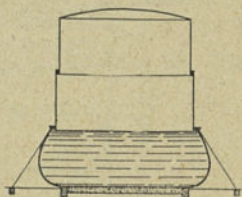


Fig. 47. — Cuve de gazomètre à parois courbes M. A. N.

ment sur le sol, il prendra une forme d'équilibre telle que sur toute la hauteur les efforts soient égaux. Cette forme peut être déterminée par le calcul. On démontre que les efforts circulaires tangentiels sont négligeables par rapport aux tensions suivant un méridien. Ces dernières étant constantes tout le long d'un même méridien, l'épaisseur des tôles est constante. On réalise ainsi une meilleure répartition des efforts, et le poids de métal employé est sensiblement réduit.

96. Gazomètres sans cuve. — Le schéma (fig. 48) représente le gazomètre sans cuve de la Maschinen Fabrik Augsburg Nürnberg.

Dans cet appareil, la cloche est remplacée par une sorte de piston ou disque en tôle A, glissant le long des parois du réservoir à section polygonale B. Une garde de goudron, contenue dans une sorte de gouttière en toile C fixée au piston assure l'étanchéité. Le bord extérieur de cette gout-

tière, patins en tôles d'acier qui frottent sur les parois du gazomètre, est en contact permanent avec celles-ci grâce à la pression exercée par des contrepoids (fig. 49).

Malgré ce dispositif spécial qui réduit au minimum les

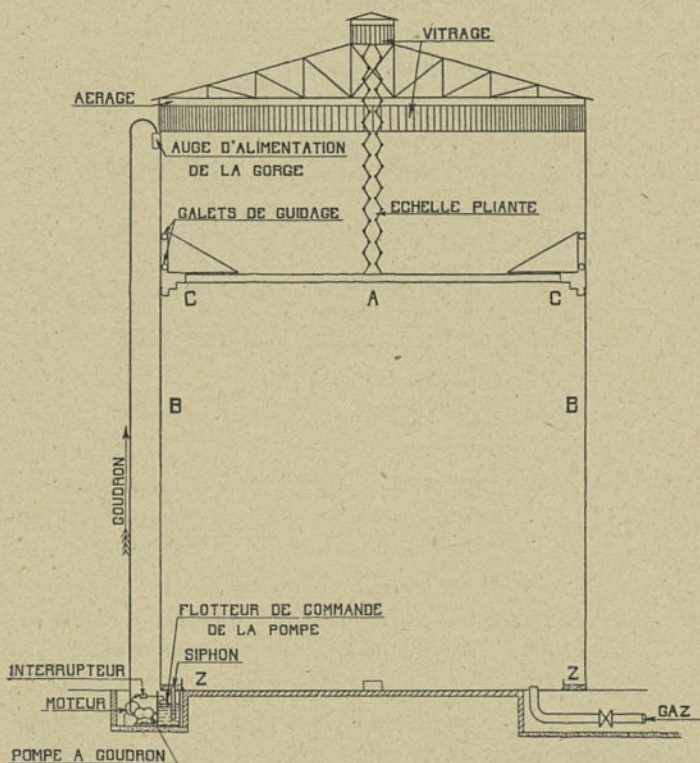


Fig. 48. — Gazomètre sans cuve M. A. N.

vides qui existent entre le disque et le manteau, il passe pourtant une certaine quantité de goudron qui coule le long des parois. Ce goudron, qui se rassemble à la partie inférieure, en Z, est repris périodiquement par des pompes et renvoyé dans la gorge.

97. Cloches de gazomètres. — Une cloche simple de gazomètre se compose d'une paroi cylindrique et d'une calotte bombée, réunies entre elles par une couronne annulaire très résistante.

L'ensemble de la cloche est soumis : d'une part à son propre poids, d'autre part aux pressions du gaz sur les

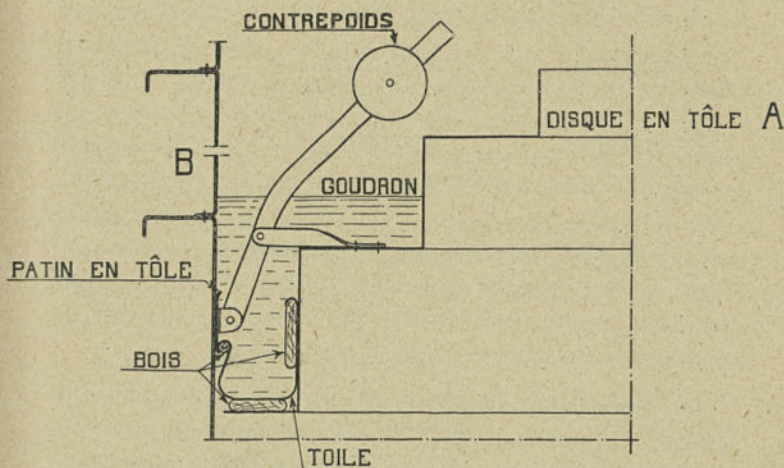


Fig. 49. — Joint du gazomètre sans cuve M. A. N.

parois et sur la calotte. Pour qu'il y ait équilibre, il faut d'abord que le centre de gravité et le centre de poussée soient sur une même verticale et par suite que les poids de la paroi cylindrique et de la calotte soient répartis d'une façon parfaitement symétrique ; il faut de plus que la poussée contrebalance exactement le poids total, ce qui conduit à la relation déjà indiquée :

$$H = \frac{P}{S}$$

Le centre de gravité se trouve près de la calotte. Pour connaître la résultante des pressions exercées par le gaz, il suffit de remarquer qu'elle est égale et opposée à la pres-

sion exercée sur l'eau. Son point d'application se trouve donc au centre O de la section AB de la paroi cylindrique par le plan de l'eau (fig. 50).

Il en résulte donc :

1° que le centre de gravité étant au-dessus du centre de poussée, l'équilibre est instable ;

2° que dans le cas où par suite d'un manque de symé-

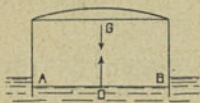
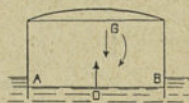


Fig. 50. — Équilibre des cloches de gazomètres.



trie, le centre de gravité n'est pas exactement sur l'axe, il se produit un couple tendant à renverser la clo-

che. Il en résulte des efforts sur l'appareil de guidage que l'on ne peut réduire qu'en diminuant la distance entre les deux points d'application des forces, c'est-à-dire en employant des cloches larges et peu hautes.

98. Paroi cylindrique de la cloche. — La paroi cylindrique ou manteau de la cloche est constituée par une armature ou carcasse comprenant deux cercles métalliques rigides constituant le pourtour des deux bases du cylindre. Ces deux cercles sont réunis par des poutres verticales ; le tout est recouvert de tôles minces (3 millimètres environ), rivées avec soin pour former un ensemble étanche au gaz et indéformable, même sous l'effort des vents les plus violents dont la pression peut atteindre 180 à 200 kilogrammes par mètre carré de surface normale à leur direction.

99. Calotte et charpente de soutien. — En service, c'est-à-dire lorsque le gazomètre est plein de gaz, sa calotte est soumise sur toute sa surface à la pression du gaz de bas en haut, et à son propre poids de haut en bas. D'autre part, elle supporte, par son pourtour, toute la paroi cylindrique extérieure.

Pour ces différentes raisons, la calotte est généralement constituée par une armature légère comprenant des poutres radiales qui sont rigidement fixées aux poutres verticales du manteau. Le tout est recouvert de tôles minces dans la partie centrale (2 à 3 millimètres) et de tôles plus fortes à la périphérie (8 à 10 millimètres).

Pour éviter que la calotte ne se déforme sous son propre poids lorsqu'elle n'est plus soumise à la pression du gaz, on la fait reposer sur une charpente spéciale généralement en bois, construite à l'intérieur de la cuve.

Dans les grands gazomètres modernes, cette charpente est métallique et fait corps avec les poutres de la calotte et du manteau. L'armature de la cloche est alors constituée par un ensemble de fermes qui la font ressembler à un vaste hangar circulaire. Cette disposition donne beaucoup de rigidité au système.

Naturellement les dimensions de cette charpente sont sous la dépendance de la pression de fonctionnement du gazomètre, pression qui, lorsque le diamètre est fixé, détermine le poids total de la cloche.

Généralement le rayon de courbure de la calotte est environ deux fois le diamètre de la cloche.

100. Couronne annulaire. — La couronne annulaire qui réunit le manteau et la calotte doit être très sérieusement calculée. Elle porte tout le poids du manteau et, d'autre part, elle charge la calotte qui travaille alors comme une portion de sphère soumise à une pression extérieure. De ce dernier chef, le bord de la calotte travaille à la compression.

Pratiquement, la jonction entre la calotte et le manteau est toujours assurée par une cornière de forte section, et les deux rangées de tôles placées à la périphérie de la calotte sont toujours plus épaisses que les autres.

101. Cloches télescopiques. — Les différentes levées des gazomètres télescopiques sont pourvues (voir § 89) de

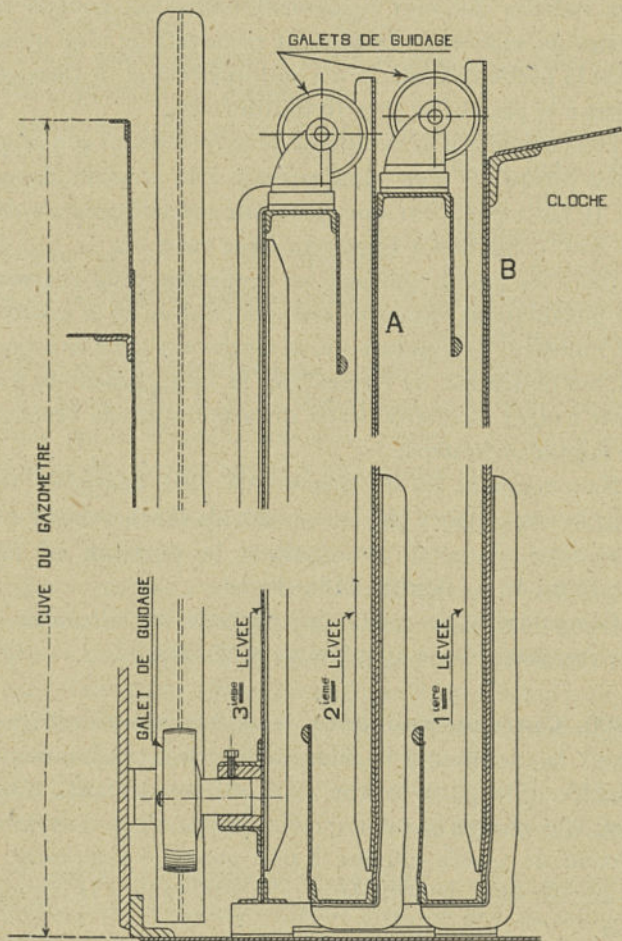


Fig. 51. — Dispositif d'accrochage des cloches.

gorges hydrauliques. Ces gorges servent non seulement à l'accrochage successif des parties mobiles de la cloche au

fur et à mesure du remplissage du gazomètre, mais elles ont encore pour rôle de contenir l'eau qui doit réaliser des joints absolument étanches entre les différentes levées. Le mécanisme de l'accrochage est montré par la figure 51.

La première et la deuxième levées reposant sur le fond de la cuve, la cloche B monte jusqu'à ce que le bord de sa gorge atteigne le fond du crochet de la levée A. B continuant à monter, A est soulevée. A ce moment, la pression du gaz à l'intérieur du gazomètre augmente brusquement. La cloche continuant à monter encore, la gorge de B sort de la cuve en entraînant une certaine quantité d'eau qui forme joint hydraulique et assure une étanchéité parfaite.

La hauteur de la gorge, y compris son rebord, a généralement pour valeur le double de la hauteur d'eau correspondant à la pression maxima, plus 20 à 25 centimètres.

102. Guidage des gazomètres. — Nous avons vu que la cloche est en équilibre instable. Elle a de plus à supporter les efforts résultant du manque de symétrie de ses diverses parties, qu'il est difficile d'empêcher, même dans les gazomètres les mieux construits. Enfin elle est soumise à l'action du vent et souvent à celle de la neige qui est quelquefois mal répartie sur la calotte.

Il est donc nécessaire de guider la cloche dans son mouvement d'ascension ou de descente. On y parvient en disposant sur le pourtour une armature métallique composée d'un certain nombre de montants verticaux sur lesquels roulent des galets fixés à la cloche. Ces montants sont généralement constitués par des poutres en treillis et ils sont reliés entre eux par des barres horizontales et diagonales de façon à former un ensemble rigide. Ils sont disposés suivant les sommets d'un polygone régulier, le nombre des sommets étant d'autant plus grand que le dia-

mètre de la cuve est plus considérable. Ils peuvent être fixés à la cuve ou indépendants.

103. Efforts exercés sur la cloche. — Nous avons dit que la cloche doit pouvoir subir sans se déformer les efforts dus à un vent dont la pression est 180 à 200 kilogrammes par mètre carré de surface normale à sa direction. En raison de sa forme cylindrique, il est admis que le manteau de la cloche reçoit une poussée égale à 57 pour 100 de celle subie par une surface plane ayant même hauteur qu'elle et une largeur égale à son diamètre.

L'action d'un vent horizontal sur la calotte donne naissance à deux composantes, l'une verticale V, l'autre horizontale H, dont les valeurs se déterminent pratiquement par les formules suivantes :

$$V = pR^2 \frac{\pi}{8} \sin^4 \alpha,$$

$$H = pR^2 \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\sin 2\alpha}{4} - \frac{\sin 2\alpha \sin^2 \alpha}{6} \right).$$

α étant le demi-angle au centre de la calotte.

Le bras du levier de la composante V est :

$$x = \frac{32}{15} \times \frac{R}{\pi} \sin \alpha,$$

et celui de la composante H :

$$y = R (\cos \theta - \cos \alpha).$$

θ étant l'angle que forment l'axe du gazomètre et le rayon de la calotte qui passe par le point d'application des composantes V et H.

104. Guidages radial et tangentiel. — Le guidage est radial ou tangentiel selon que les plans des galets sont parallèles à des plans diamétraux de la cloche ou parallèles à des plans qui lui seraient tangents.

Dans l'un et l'autre cas, la position de la cloche ou de la

levée qui porte les galets est assurée d'une façon bien

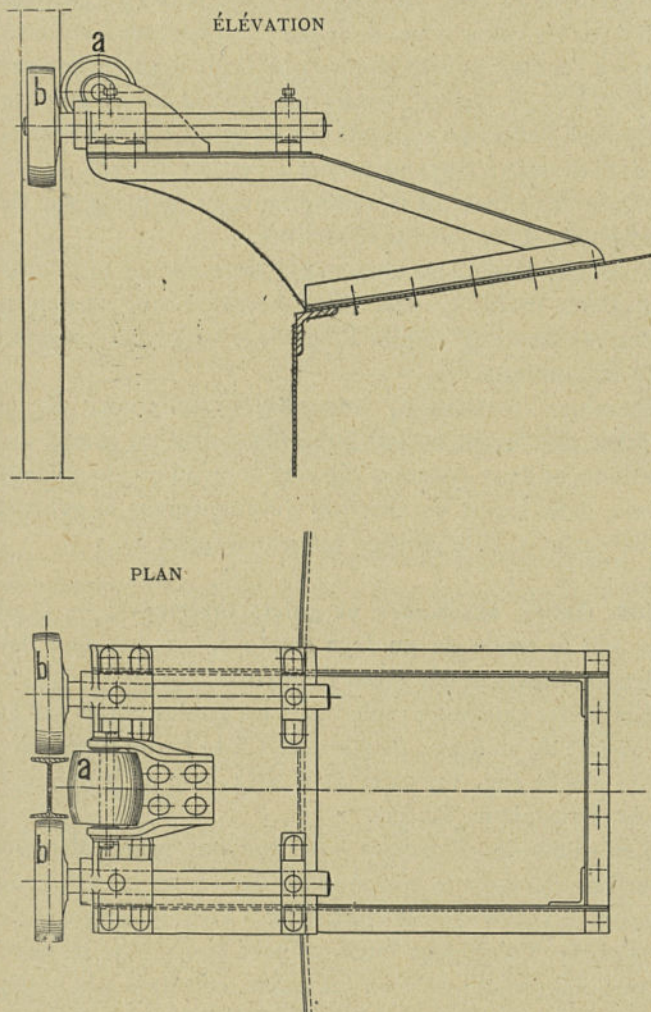


Fig. 52. — Guidage mixte des grands gazomètres.

fixe, au moins à la hauteur du plan qui les contient.

Pourtant il est facile de voir qu'un effort horizontal, dû par exemple au vent, est supporté dans le cas du guidage radial par les galets situés dans la région opposée à celle où s'exerce l'action du vent, donc d'une façon asymétrique par rapport à l'axe vertical, tandis que dans le cas du guidage tangentiel, l'effort est supporté par les galets situés à l'extrémité du diamètre perpendiculaire à l'action du vent. Or, la symétrie des efforts est très importante au point de vue de la stabilité, et par suite de la sécurité.

En outre, le guidage tangentiel exerce sur les montants des efforts moins grands, donc nécessite une armature moins résistante. L'emploi du guidage tangentiel est donc plus économique.

Dans les installations importantes modernes, où le nombre des levées et par suite des galets est grand, on combine les deux systèmes (fig. 52) et on adopte le guidage mixte, dans lequel on emploie simultanément le guidage radial (galet *a*) et le guidage tangentiel (galet *b*).

105. Galets extérieurs et galets intérieurs. — Quel que soit le mode de guidage employé, on distingue des galets extérieurs et des galets intérieurs.

Les galets extérieurs roulent sur les guides portés par la charpente de guidage ; ils sont fixés à la partie supérieure de la cloche (fig. 52, galet *a*) et à la base de la dernière levée télescopique (fig. 51).

Les galets de roulement intérieur ont principalement pour but d'assurer le bon guidage des levées les unes par rapport aux autres et de contribuer à assurer la rigidité de l'ensemble. Ce guidage intérieur peut être réalisé de deux façons différentes : ou bien les galets sont fixés à la partie inférieure et extérieure de la gorge hydraulique de la levée qui se trouve au centre et ils roulent sur des rails fixés contre la paroi intérieure de la levée concentrique sui-

vante ; ou bien les galets sont fixés au crochet de la levée extérieure et les guides sont portés par la levée intérieure.

106. Guidage hélicoïdal. — Ce système fort ingénieux, qui présente l'avantage de supprimer l'armature des guidages, est de construction délicate et ne paraît avoir été employé que pour des gazomètres de faible capacité.

Les guides appliqués contre la paroi interne de la cuve ont une forme hélicoïdale. Les galets fixés à la cloche et

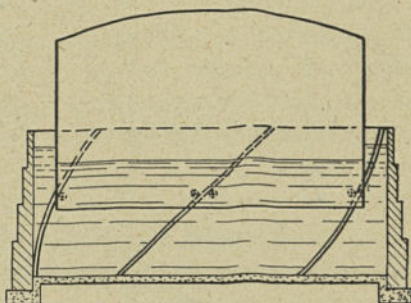


Fig. 53. — Guidage hélicoïdal.

disposés par paires (fig. 53) empêchent le déversement. Le mouvement d'ascension de la cloche est accompagné d'un mouvement de rotation.

107. Guidage par câbles. — On a cherché à supprimer les colonnes de guidage et à éviter les inconvénients des galets inférieurs, dont la visite est impossible, en employant des guidages par câbles.

Dans ces guidages, un système de câbles oblige la cloche à rester dans tous ses déplacements parallèle à elle-même. Il ne reste plus qu'à empêcher tout déplacement latéral au moyen de guidages fixés sur la cuve même.

Le système Sauney est basé sur le principe suivant : si deux câbles AEFB et CFED (fig. 54) ayant leurs extrémités AB et CD fixées sur un panneau mobile, passent par des poulies E et F établies sur un bâti fixe indépendant, ce panneau ne pourra se déplacer qu'en restant parallèle à lui-

même, car son inclinaison ne pourrait se produire que par suite de l'allongement de l'un des câbles.

Si donc les extrémités A, D, C, B sont fixées à la cloche du gazomètre et les poulies E, F, à la cuve, la cloche

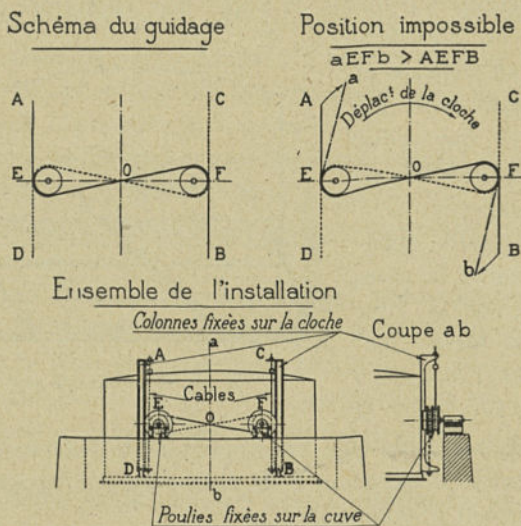


Fig. 54. — Guidage par câble : système Sauney.

demeure parallèle à elle-même et il ne reste plus qu'à empêcher tout déplacement latéral, ce qu'on obtient en faisant rouler les poulies E et F sur des rails fixés à la cloche.

108. Emploi des gazomètres. — Mise en gaz. — La cuve étant remplie d'eau, on introduit par le trou d'homme situé au centre de la calotte un tuyau de diamètre assez grand venant jusque près du niveau de l'eau. Puis on fait arriver lentement le gaz qui par suite de sa faible densité s'accumule sous la calotte de la cloche en refoulant l'air qui s'échappe par le tuyau. Lorsque le gaz sortant ne contient

plus d'air, on enlève le tuyau et on ferme le trou ; le gazomètre est prêt à fonctionner.

109. Entretien. — Il faut veiller tout particulièrement à la suppression des fuites éventuelles, à la protection des parties métalliques contre la rouille, au bon fonctionnement des galets de guidage, etc. On vérifie la bonne marche du gazomètre en enregistrant la pression à la sortie. Les courbes obtenues doivent présenter des paliers bien nets correspondant au soulèvement des levées successives et être exemptes de sinuosités qui indiqueraient des résistances anormales.

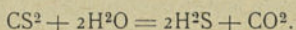
D'autre part, il est nécessaire de prévoir un dispositif de réchauffage de l'eau de la cuve et des gorges, de façon à empêcher la gelée pendant l'hiver. Les tuyaux d'amenée sont nettoyés de temps à autre pour enlever les dépôts de naphthaline qui pourraient obstruer les conduites. Des siphons sont ménagés pour éviter qu'en cas de communication accidentelle entre l'eau de la cuve et l'un des tuyaux d'entrée ou de sortie les canalisations de l'usine ou de l'extérieur ne soient noyées.

Enfin un système de vannes permet, dans le cas où il y a plusieurs gazomètres, de distribuer à volonté le gaz dans l'un ou l'autre des appareils.

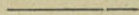
110. Contamination du gaz dans les gazomètres. — Il arrive quelquefois que du gaz ne donnant aucune réaction au papier à acétate de plomb, à son entrée au gazomètre, noircisse ce papier réactif quelque temps après son emmagasinage. M. Guillet a étudié ce curieux phénomène¹ et montré qu'il consiste dans la décomposition du sulfure de carbone dissous dans l'eau du gazomètre au contact du

1. Voir Compte rendu de la Société Technique de l'Industrie du Gaz en France (1912).

fer, sous une action électrolytique ; l'acide carbonique intervient pour donner à l'eau la conductibilité et le courant est dû au couple fer-carbone dans lequel le fer est négatif. On a ainsi :



Pour éviter ce phénomène, il suffit de souder quelques plaques de zinc à la cuve et aux différentes levées de la cloche : dans les couples ainsi formés le fer a une polarité positive et la sulfuration ne se produit plus.



VIII. — ÉMISSION DU GAZ

III. Généralités. — Les appareils de chauffage ou d'éclairage par le gaz sont en général construits pour fonctionner avec du gaz fourni à une pression sensiblement constante et supérieure à la pression atmosphérique de 25 à 35 millimètres d'eau. Le rôle des appareils d'émission

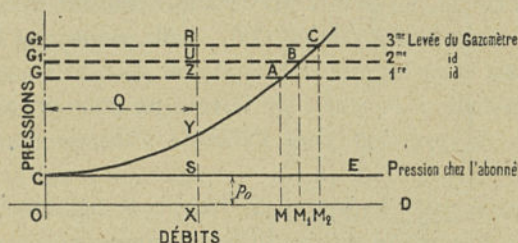


Fig. 55. — Graphique des pressions d'émission.

de l'usine, sauf dans des cas spéciaux, est de faire en sorte que les consommateurs disposent de cette pression quels que soient le débit total du réseau et la pression dans les gazomètres.

Ce rôle est mis en lumière par le graphique de la figure 55 figurant les débits en abscisses et les pressions en ordonnées.

Soit OC la pression à fournir à l'abonné, et OG, OG₁, OG₂ les pressions correspondant aux trois levées du gazomètre télescopique pris pour exemple, le rôle du régulateur d'émission est d'absorber pour un débit quelconque, OX,

les pressions RY, UY ou ZY, de manière qu'à la sortie la pression soit :

$$YX = p_0 + KQ^2$$

expression dans laquelle :

$p_0 = XS$ est la pression chez l'abonné,
et $KQ^2 = YS$ est la perte de charge entre l'usine et le lieu de consommation pour le débit Q.

Naturellement cette courbe toute théorique suppose que la consommation est concentrée d'une manière homogène autour de la conduite principale de distribution dont les branchements sont de dimensions appropriées aux consommations.

Dans ce cas, les débits maxima qui peuvent être correctement assurés sont OM, OM₁, OM₂, selon que le gazomètre est plus ou moins rempli ; au delà de ces maxima les pressions à la sortie de l'usine ne pouvant plus être accrues, la pression chez l'abonné s'abaisse au-dessous de CE.

De cet exposé, il résulte que le rôle de régulateur automatique d'émission est très difficile à remplir.

112. Régulateurs d'émission. — Les premiers régulateurs d'émission avaient seulement pour but de détendre le gaz venant du gazomètre et de le livrer à une pression constante quel que soit le débit.

Plus tard, on a cherché à rendre la pression constante non à la sortie de l'usine, mais au centre de consommation.

Dans les premiers appareils, les variations de la surcharge que comportait le mécanisme étaient assurées à la main, ce qui nécessitait une surveillance continue. Puis on a construit des régulateurs (Foiret) donnant automatiquement cette surcharge, mais à condition que la pression

d'entrée soit constante. Enfin, les plus récents sont à surcharge automatique et fonctionnent même avec une pression d'entrée variable.

113. Régulateurs à pression constante. — Ces régulateurs sont tous basés sur le même principe et ne diffèrent que par des détails. Une cloche flottant sur l'eau commande au moyen d'une tige un dispositif (soupape, papillon) ouvrant plus ou moins l'arrivée du gaz. Elle est soumise sur sa face supérieure à la pression atmosphérique et sur sa face inférieure à la pression du gaz détendu.

L'équilibre a lieu lorsque la pression du gaz sous la cloche compense exactement le poids de l'ensemble mobile.

Dans un des appareils construits par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz par exem-

ple (fig. 56), la cloche divisée en deux compartiments A et B commande au moyen de la tige T l'ouverture de la soupape S. La poussée exercée de haut en bas sur cette dernière par le gaz non détendu est compensée par l'action de ce gaz dans le compartiment B de la cloche.

La section de B est par construction égale à celle du

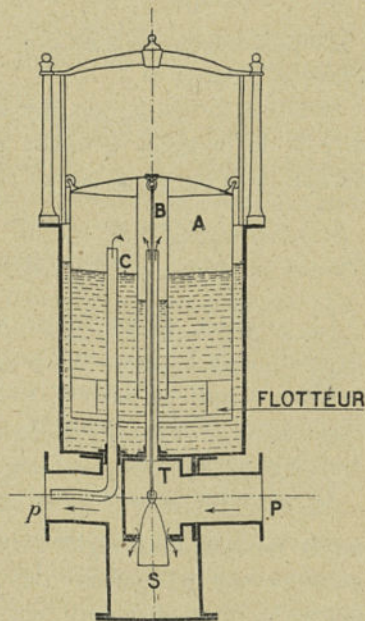


Fig. 56. — Régulateur à pression constante.

siège de la soupape. Dans ces conditions, si S représente la section de A, s la section de B, P la pression d'entrée, p celle de sortie et π le poids de l'équipage mobile, l'équation d'équilibre est :

$$pS + Ps = \pi + Ps$$

ou

$$p = \frac{\pi}{S}$$

La pression de sortie est donc constante, quelle que soit la pression d'entrée P.

Si la cloche n'était pas divisée en deux parties, c'est-à-dire si la pression de sortie agissait sur la totalité de la section de la cloche on aurait comme équation d'équilibre :

$$pS + ps = \pi + Ps$$

ou

$$p = \frac{\pi}{S+s} + P \frac{s}{S+s}$$

La pression de sortie ne serait pas constante, mais dépendrait de la pression d'entrée P.

C'est ce qui se passait pour les premiers modèles de régulateurs (Clegg, Pauwels, Servier, Mutrel, etc.) à pression non compensée.

La pression de sortie $p = \frac{\pi}{S}$ dépend du poids π de la partie mobile. Pour régler cette pression, il suffit de faire varier π soit en plaçant des poids convenables sur la cloche, soit en disposant sur le sommet de celle-ci un réservoir que l'on charge plus ou moins d'eau.

114. Réglage de la pression au centre de consommation. — Pour assurer au centre de consommation une pression constante et cependant réglable, divers moyens ont été mis en œuvre :

1° On a recouru à l'emploi d'un tuyau dit de retour qui fait communiquer le dessous de la cloche du régulateur avec la pression qui règne au centre de consommation. Le régula-

teur Giroud, assez compliqué, est basé sur ce principe. Si, dans la figure 56, on suppose que le tuyau C constitue l'extrémité de la conduite de retour, on obtient le modèle de régulateur à commande automatique de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs.

Le tuyau de retour, souvent très long, est fort coûteux. De plus, à cause de sa faible section, il risque d'être facilement obstrué par l'eau et la naphthaline; il est donc une source de dépenses d'entretien et de surveillance qui risque de rendre son emploi prohibitif.

2° Les avertisseurs (Giroud, Coindet) indiquent à l'usine, au moyen d'une ligne commandée par des manomètres à contacts électriques, le moment précis où la pression cesse d'être comprise entre deux limites bien déterminées, ou même ils commandent la manœuvre de dispositifs modifiant la charge du régulateur dans le sens convenable. La pression oscille alors constamment entre les deux valeurs limites que l'on peut rendre aussi rapprochées que l'on veut.

3° Les statistiques permettent de fixer à l'avance sur des graphiques les pressions à maintenir à tout moment sur chaque conduite au départ de l'usine. Les variations de pression peuvent être obtenues à l'aide de cames ou de mouvements d'horlogerie agissant indirectement sur la cloche du régulateur; dans beaucoup de cas, ce réglage est fait à la main.

4° Enfin on peut créer la surcharge automatiquement au moyen de régulateurs spéciaux, c'est-à-dire obtenir à la sortie la pression $p_0 + KQ^2$.

Il y a toujours deux réglages: celui de p_0 et celui de K qui doivent pouvoir se faire indépendamment l'un de l'autre.

Dans l'appareil Foiret (premier modèle) qui ne supprime pas le tuyau de retour, mais donne une surcharge

au centre de consommation, et dans le dispositif de surcharge hydraulique de M. Frère, il est nécessaire d'avoir à l'entrée du régulateur une pression constante. Il faut alors avoir recours à un appareil supplémentaire appelé unifificateur de pression qui n'est autre qu'un régulateur ordinaire à pression constante. C'est une complication qu'on peut éviter en condensant les deux appareils en un seul. Il y aura alors nécessairement deux cloches superposées, au moins.

Le régulateur Foiret perfectionné et celui de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs remplissent ces conditions tout en évitant le tuyau de retour. Mais ces appareils sont toujours délicats et les réglages des quantités que nous avons appelées p_0 et K ne sont pas toujours aisés.

115. Régulateurs de sûreté. — Les régulateurs de sûreté sont destinés à établir automatiquement une communication

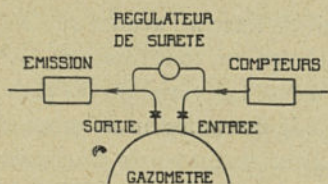


Fig. 57.

Emplacement des régulateurs de sûreté.

entre la sortie des compteurs et l'entrée de l'émission en cas de fermeture inopportune de l'entrée ou de la sortie du gazomètre (fig. 57).

Dans le premier cas, la pression augmente à l'amont du régulateur et le gaz traverse l'appareil en suivant le chemin montré par les flèches (fig. 58) ; dans le second, la pression s'abaissant à l'aval, la cloche cesse d'être suffisamment soutenue ; le clapet qu'elle porte s'ouvre pour laisser passer le gaz qui s'écoule directement des compteurs à l'émission.

116. Manomètres ordinaires. — Un manomètre ordi-

naire à eau se compose en général de 2 cylindres verticaux

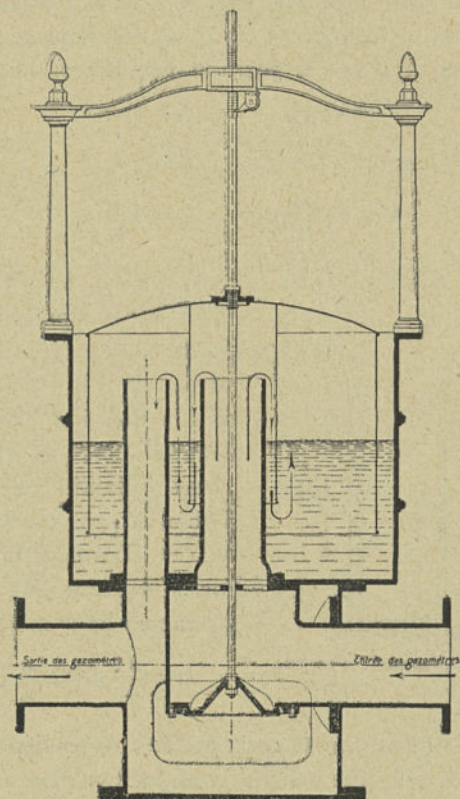


Fig. 58. — Régulateur de sûreté à simple effet.

mis en communication hydraulique et soumis, l'un à la

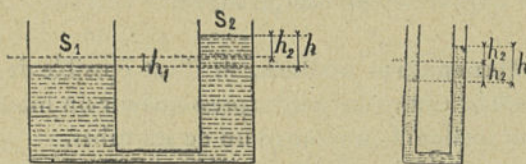


Fig. 59. — Manomètre ordinaire.

pression à mesurer, l'autre à la pression atmosphérique.

En général les sections des 2 tubes sont égales, mais elles peuvent ne pas l'être (fig. 59); si s_1 et s_2 représentent les sections des cylindres, et h_1 et h_2 les déplacements des niveaux par rapport à la position d'équilibre, on a :

$$s_1 h_1 = s_2 h_2 \quad h_1 + h_2 = h$$

h étant la pression à mesurer. D'où

$$h_1 = h \frac{s_2}{s_1 + s_2} \quad h_2 = h \frac{s_1}{s_1 + s_2}$$

Si s_1 est très grand par rapport à s_2 , $h_1 = 0$ et $h_2 = h$.

C'est le cas représenté par la figure 60. Le déplacement du niveau dans le petit tube indique la pression vraie. Pour réduire dans le rapport n l'amplitude du déplacement à observer, par exemple, dans le cas d'enregistrement de fortes pressions, il suffit de s'arranger pour que :

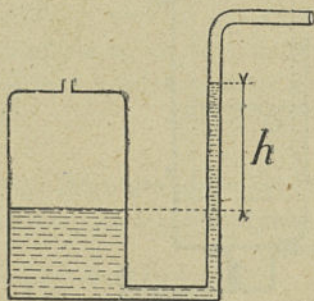


Fig. 60. — Manomètre à un tube.

$$h_1 = \frac{h}{n} \text{ d'où } \frac{s_1}{s_2} = n - 1$$

Le plus souvent on se contente de lire les déplacements des niveaux sur une échelle graduée. On peut également observer directement les déplacements verticaux d'un flotteur ou faire agir ce flotteur sur une poulie actionnant une aiguille mobile sur un cadran divisé.

117. Manomètres inclinés. — Il est possible de rendre plus aisée la lecture des faibles pressions sur un manomètre à eau en inclinant au moins l'un de ses tubes.

Si l'un des tubes est à très grande section et l'autre incliné de l'angle α sur l'horizontale (fig. 61), le déplace-

ment du niveau mesuré suivant le tube est $\frac{h}{\sin \alpha}$, h étant la pression vraie.

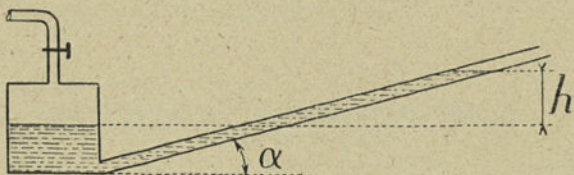


Fig. 61. — Manomètre incliné.

La pression se lit sur une graduation disposée le long du tube et établie selon la formule précédente.

Les mesures opérées avec un tel appareil n'ont de valeur qu'à la condition de le placer au préalable dans une position telle que la branche inclinée fasse réellement l'angle α avec l'horizontale.

118. Manomètres enregistreurs. — Tout manomètre à flotteur peut facilement être rendu enregistreur. Dans le manomètre de la figure 62 par exemple, les deux cylindres concentriques forment deux compartiments A et B, d'égale section.

La pression agit en A. En B se trouve un flotteur C, dont les mouvements sont transmis par la tige F à la plume E qui trace une courbe sur le cylindre D mû par un mouvement d'horlogerie.

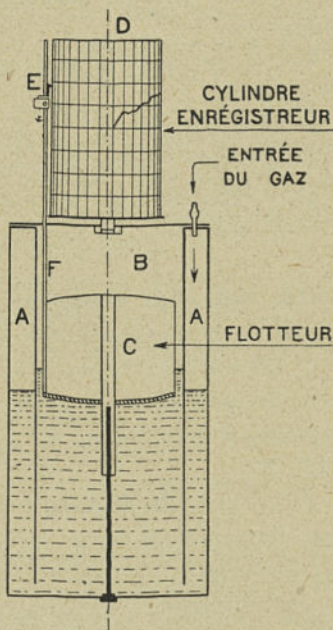


Fig. 62. — Manomètre enregistreur.

IX. — COMPOSITION ET QUALITÉ DU GAZ

119. Généralités. — Le contrôle de la qualité et de la composition du gaz s'effectue à différents stades de la fabrication, et plus particulièrement après purification complète.

Les divers essais généralement effectués à cet effet comprennent :

- 1° l'analyse du gaz,
- 2° la détermination du pouvoir éclairant,
- 3° la détermination du pouvoir calorifique,
- 4° la détermination de la densité.

120. Méthodes d'analyse du gaz. — Les méthodes d'analyse du gaz peuvent se subdiviser en deux groupes :

1° Les analyses volumétriques qui permettent d'évaluer, avec une précision suffisante, la proportion en volume des principaux constituants du gaz : CO^2 , O^2 , C^mH^m , CO , H^2 , CH^4 , N^2 .

2° Les procédés de dosage spéciaux qui relèvent de l'analyse pondérale ou de la titrimétrie et qui sont utilisés de préférence pour la détermination des impuretés telles que : le gaz ammoniac, l'hydrogène sulfuré, le soufre total, les carbures benzéniques, le sulfure de carbone, le cyanogène, la naphthaline, le goudron.

121. Principe de la méthode volumétrique. — Etant donné un volume connu de gaz à essayer, on absorbe successivement un certain nombre de constituants du gaz par

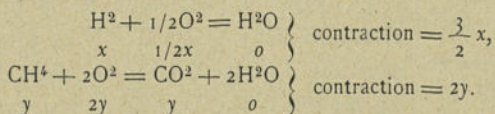
des réactifs liquides appropriés, en mesurant chaque fois la diminution de volume obtenue.

C'est ainsi qu'on dose séparément et dans l'ordre suivant :

l'acide carbonique, CO_2 , par la potasse,
 les hydrocarbures éthyléniques et benzéniques, C^nH^m , par l'eau bromée,
 l'oxygène, O_2 , par le pyrogallate de potasse,
 l'oxyde de carbone, CO , par le chlorure cuivreux en solution chlorhydrique.

Ensuite les composés restants, constitués par de l'hydrogène, du méthane et de l'azote, sont mélangés à un volume suffisant d'air et brûlés, soit à l'aide d'une spirale de platine chauffée au rouge, soit en provoquant l'explosion du mélange par une étincelle électrique. Après combustion, la mesure de la contraction du volume total d'une part et, d'autre part, la détermination du volume de gaz carbonique formé permettent aisément de calculer les proportions relatives des constituants cherchés.

En effet, écrivons les équations de réaction de l'hydrogène et du méthane en désignant, dans chacune d'elles, par x et y les volumes respectifs de chacun de ces gaz en présence :



Après combustion, en supposant la vapeur d'eau entièrement condensée, le volume total du mélange aura diminué d'une quantité C mesurable, appelée contraction totale et reliée à x et y par l'équation :

$$C = \frac{3}{2}x + 2y.$$

En remarquant, d'autre part, qu'un volume de méthane donne par combustion un volume égal de gaz carbonique

qui peut être immédiatement évalué par absorption à la potasse, on connaît par suite y .

Le volume d'hydrogène cherché sera alors exprimé par la relation :

$$x = \frac{2(C - 2y)}{3}$$

L'azote se détermine ensuite par différence.

122. Burette de Bunte. — Toutes les manipulations précédentes se font généralement à la burette de Bunte représentée figure 63.

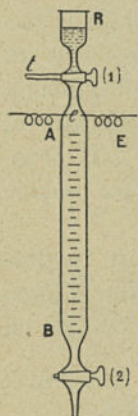


Fig. 63. — Burette de Bunte.

Cet appareil est constitué essentiellement par un gros tube AB gradué au 1/5 de centimètre cube et fermé à ses extrémités par deux robinets (1 et 2). La partie supérieure de la burette est surmontée d'un petit réservoir en verre R, sur lequel est marqué un repère. Le robinet 1 est à trois voies et peut mettre la burette en communication soit avec le réservoir R, soit avec la tubulure t .

De plus, à l'intérieur de la burette se trouvent deux électrodes E en platine permettant de faire éclater des étincelles en e au moyen d'une bobine de Ruhmkorff.

Nous ne décrivons pas la manipulation complète de cet appareil, mais nous ferons cependant les remarques importantes suivantes :

1° Les mesures des volumes gazeux, avant et après absorption, sont faites de telle manière que la pression du gaz contenu dans la burette soit toujours la même; pour cela, avant chaque lecture, on fait communiquer la burette avec le réservoir supérieur préalablement rempli d'eau jusqu'au repère. La pression sous laquelle sont mesurés les

différents volumes gazeux est donc égale à la pression atmosphérique augmentée de celle d'une colonne d'eau constante.

2° Pour éviter des variations brusques de température, pendant l'analyse, la burette est généralement placée à l'intérieur d'un manchon en verre rempli d'eau. On voit par là, en admettant que les conditions atmosphériques (pression et température) ne changent pas sensiblement pendant l'expérience, qu'aucune correction des résultats n'est nécessaire.

Avec cet appareil, un manipulateur exercé peut exécuter une analyse complète de gaz en moins d'une heure.

123. Méthode générale d'analyse des mélanges gazeux. Procédé Lebeau et Damiens. — Dans l'analyse industrielle courante que nous avons décrite plus haut, on assimile au méthane les petites quantités, présentes avec lui, de ses homologues supérieurs (C^nH^{2n+2}). La méthode de MM. Lebeau et Damiens permet de déterminer exactement la proportion de chacun de ces hydrocarbures et elle a en même temps établi rigoureusement pour la première fois l'existence, dans le gaz d'éclairage, des carbures saturés supérieurs (éthane, propane, butane), ainsi que des composés éthyléniques (éthylène, propylène et homologues). Cette détermination ne peut être faite directement par la méthode eudiométrique qui ne permet d'interpréter les résultats de la combustion que dans le cas d'un mélange de deux carbures, et encore à condition qu'on en connaisse la composition qualitative. Le procédé imaginé pour résoudre cette difficulté consiste à liquéfier par le froid tous ces hydrocarbures et à soumettre ensuite le liquide à une extraction fractionnée à températures croissantes ; on sépare ainsi les produits en plusieurs portions dont la composition qualitative est connue à priori, d'après la valeur des

tensions de vapeur des différents corps aux températures successives de l'opération, et dont le dosage quantitatif peut être fait ensuite par la méthode eudiométrique¹.

124. Dosage du goudron. — Voir § 31, page 27 : « Procédé de dosage du goudron: »

125. Dosage de l'ammoniaque. — Voir § 48, page 42 : « Procédé de dosage de l'ammoniaque. »

126. Dosage de l'hydrogène sulfuré. — Voir § 70, page 67 : « Procédé de dosage de l'hydrogène sulfuré. »

127. Dosage du soufre total (Procédé de Dreh-

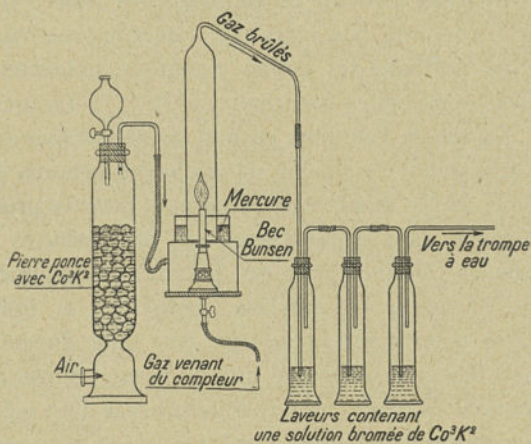


Fig. 64. — Appareil de Drehschmidt.

schmidt). — Ce dosage s'effectue généralement dans le gaz épuré qui contient le soufre principalement à l'état de sul-

1. Pour plus de détails relativement au mode opératoire, v. *Ann. de Chimie*, 9^e série, t. VIII (nov.-déc. 1917).

fure de carbone et de traces d'hydrogène sulfuré. Le principe du procédé utilisé est le suivant :

On brûle un volume connu de gaz de façon que les produits de la combustion barbotent dans une solution bromée de carbonate de potasse. Le soufre du gaz qui passe ainsi à l'état d'acide sulfureux, puis sulfurique, est absorbé par la solution sous forme de sulfate de potasse. Ce dernier est alors précipité par le chlorure de baryum à l'état de sulfate de baryte qu'on pèse.

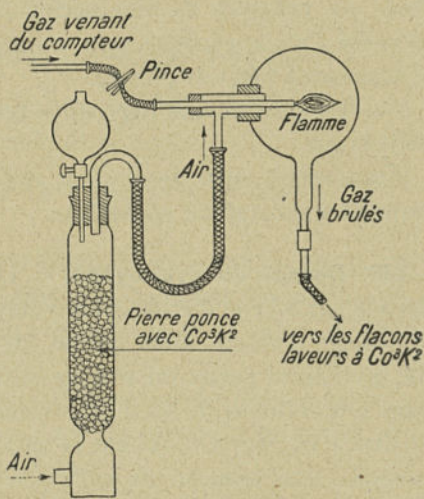
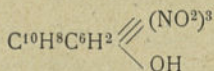


Fig. 65. — Appareil de Hempel.

1 gramme de SO^4Ba correspond à $0^{\text{gr}},1374$ de soufre.

Les figures 64 et 65 représentent les appareils Drehschmidt et Hempel ; l'air servant à la combustion est débarrassé des composés sulfureux qu'il pourrait contenir par passage sur de la pierre ponce imprégnée d'une solution de carbonate de potasse.

128. Dosage de la naphthaline. — Ce dosage repose sur la propriété qu'a la naphthaline de former avec l'acide picrique un composé cristallin, insoluble dans une solution saturée d'acide picrique : c'est le picrate de naphthaline, de formule :



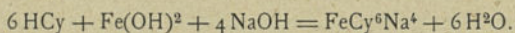
Le gaz barbote dans une série de flacons contenant une solution titrée d'acide picrique. Après l'essai, on détermine titrimétriquement, à l'aide d'une solution alcaline décimormale en présence de fluorescéine comme indicateur, la quantité d'acide picrique non combinée et par suite celle se trouvant à l'état de picrate.

On en déduit alors la naphthaline primitivement contenue dans le gaz :

1 centimètre cube de solution alcaline décimormale correspond à 0^{gr},0128 de naphthaline.

129. Dosage du cyanogène. — Le cyanogène se trouve dans le gaz à l'état d'acide cyanhydrique. Pour l'évaluer, on le capte d'abord sous forme de ferrocyanure alcalin, en faisant passer un volume connu de gaz à examiner dans une solution de soude contenant en suspension de l'hydrate de fer. (On obtient ce mélange en ajoutant, par exemple, une solution de sulfate ferreux à de la lessive alcaline).

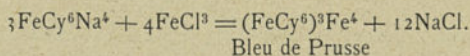
Le ferrocyanure se forme suivant la réaction :



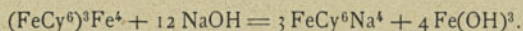
Le cyanogène est alors titré par la méthode de Knublauch ou celle de Feld.

130. Principe de la méthode de Knublauch. — La boue provenant du barbotage du gaz contient tout le cyanogène à l'état alcalin et une certaine quantité d'hydrogène sulfuré.

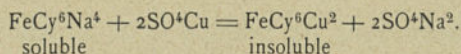
On opère alors la purification du ferrocyanure en le précipitant à l'état de bleu de Prusse par une solution chlorhydrique de perchlorure de fer, l'hydrogène sulfuré étant chassé par ébullition :



Le ferrocyanure alcalin est ensuite régénéré par digestion du bleu de Prusse avec une solution de soude ou de potasse, l'oxyde de fer précipité étant séparé de la solution par filtration :



On titre alors le ferrocyanure soluble à l'aide d'une solution de sulfate de cuivre de titre connu :

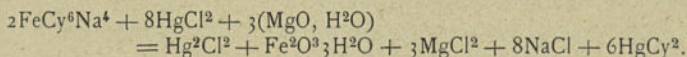


La fin de la réaction est indiquée par ce fait qu'une goutte de liqueur claire surnageante ne doit plus donner la coloration du bleu de Prusse avec une goutte de solution faible de perchlorure de fer.

Ce procédé de dosage, utilisé encore fréquemment pour le dosage du cyanogène dans les masses d'épuration, est long et d'une exactitude relative.

La méthode suivante est à la fois plus rapide et plus précise.

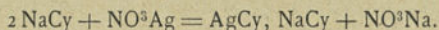
131. Principe de la méthode de Feld. — Le cyanogène, à l'état de ferrocyanure dans le liquide de barbotage du gaz, est d'abord transformé en cyanure de mercure par traitement convenable à l'hydrate de magnésium et au bichlorure de mercure :



Pratiquement, on ajoute à la boue alcaline du chlorure de magnésium pour avoir un excès d'hydrate de magnésie. On chasse l'hydrogène sulfuré par ébullition et on traite ensuite par le bichlorure de mercure bouillant.

Le cyanogène est ensuite libéré, par addition d'acide sulfurique, sous forme d'acide cyanhydrique qui est recueilli

à l'état de cyanure dans une solution alcaline. Le cyanure alcalin est alors dosé au moyen d'une solution titrée de nitrate d'argent en utilisant la réaction :



L'indicateur employé est l'iodure de potassium qui donne avec un excès de nitrate d'argent un précipité jaune, lorsque la réaction ci-dessus est terminée.

1 centimètre cube de solution $\frac{\text{N}}{10}$ de nitrate d'argent ($17^{\text{gr}}\text{NO}^3\text{Ag}$ par litre) correspond à $0^{\text{gr}},0052$ Cy.

132. Définition du pouvoir éclairant. — Depuis l'apparition des manchons à incandescence, le pouvoir éclairant du gaz a considérablement perdu de son intérêt; aussi nous bornerons-nous à indiquer seulement, en même temps que ses diverses définitions, le principe de sa détermination en France.

On peut caractériser le pouvoir éclairant d'un gaz de deux façons différentes :

1° En brûlant un volume fixe de gaz à l'heure, dans un bec déterminé, et en évaluant l'intensité de la source lumineuse produite par rapport à un étalon de lumière.

2° En brûlant le gaz avec un bec parfaitement défini, mais en réglant le débit gazeux de façon à obtenir une intensité lumineuse toujours la même.

Dans ce cas, le « pouvoir éclairant » est exprimé par le nombre de litres de gaz qu'il faut brûler dans les conditions indiquées; on le désigne encore sous le nom de « titre du gaz ».

La première façon d'envisager le pouvoir éclairant était en usage en Allemagne et en Angleterre, tandis que la deuxième l'était surtout en France.

On voit immédiatement par ces deux définitions qu'il est

pratiquement impossible de comparer exactement les résultats obtenus dans divers pays. La comparaison seule des différents étalons d'intensité lumineuse utilisés, que nous donnons ci-après, peut être effectuée.

133. Unités d'intensité lumineuse. — L'unité internationale d'intensité lumineuse est l'étalon Violle; c'est la quantité de lumière émise normalement par 1 centimètre carré de surface de platine fondu, à la température de solidification.

La bougie internationale ou bougie décimale est le 1/20 de l'unité Violle.

Les étalons usuels sont :

En France, la lampe Carcel brûlant par heure 42 grammes d'huile de colza doublement épurée, la carcel vaut 9,61 bougies décimales.

En Angleterre, la lampe Vernon-Harcourt au pentane, de 10 bougies anglaises valant 1,03 carcel ou 9,9 bougies décimales.

En Allemagne, la lampe Hefner à l'acétate d'amyle, dont l'intensité horizontale dite bougie Hefner est de 0,093 carcel ou 0,89 bougie décimale.

134. Détermination du « pouvoir éclairant » français.

— En France, le pouvoir éclairant du gaz ou « titre » est exprimé par le nombre de litres mesurés à 15° C. et sous 760 millimètres de mercure qu'il faut brûler à l'heure, avec un bec Bengel type, pour obtenir une flamme d'intensité égale à 1 carcel.

La détermination se fait généralement avec le photomètre Dumas et Regnault (fig. 66).

Cet appareil est constitué par un châssis en fonte portant à la fois un bec Bengel, une lampe Carcel placée sur une balance spéciale et un compteur d'expérience. Au-dessus

du compteur se trouve une boîte photométrique de Foucault qui reçoit le rayonnement des deux lumières.

L'écran E (fig. 67) sur lequel s'observent les effets des

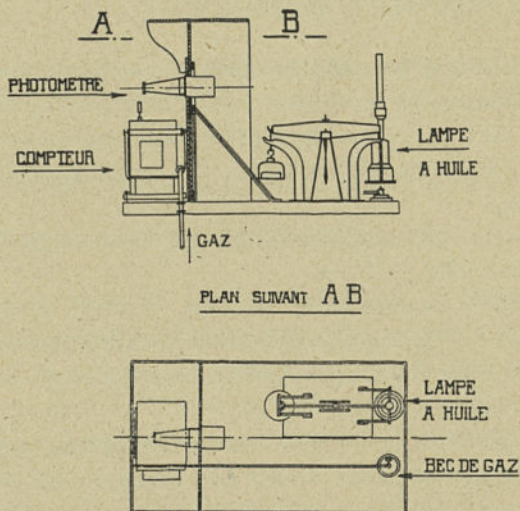


Fig. 66. — Photomètre de Dumas et Regnault.

intensités lumineuses est constitué par un verre dépoli circulaire placé au fond de la boîte. Cette dernière est elle-même divisée en deux compartiments par une cloison longitudinale C. L'observation de l'écran

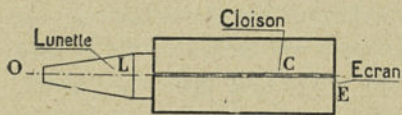


Fig. 67. — Photomètre de Dumas et Regnault.

se fait par un orifice o, situé à l'extrémité d'une lunette L.

Afin de permettre toutes mesures photométriques, le bec Bengel peut se déplacer le long d'une règle divisée.

Pour effectuer un essai de pouvoir éclairant, le bec et la lampe étant situés à la même hauteur et à la même dis-

tance de l'écran, on règle la dépense du bec à l'aide d'un robinet à vis très sensible, de façon à obtenir l'égalité d'éclairage des deux portions de l'écran. Pendant la durée de l'expérience, la consommation de la lampe, qui doit être de 42 grammes à l'heure, est vérifiée à l'aide de la balance.

135. Définition du pouvoir calorifique. — Le pouvoir calorifique d'un gaz est la quantité de chaleur exprimée en calories que 1 mètre cube de ce gaz, mesuré sec à 0° C. et 760 millimètres de Hg, est susceptible de dégager par combustion complète à pression constante, la température finale des produits brûlés étant supposée ramenée à celle du mélange de gaz et d'air avant combustion.

Suivant l'état final sous lequel on considère l'eau formée pendant la combustion, on obtient :

1° *Le pouvoir calorifique supérieur*, si la vapeur d'eau est entièrement condensée ;

2° *Le pouvoir calorifique inférieur*, si l'eau est restée à l'état de vapeur dans les produits, après combustion.

136. Détermination du pouvoir calorifique par le calcul. — L'évaluation du pouvoir calorifique du gaz peut se faire par le calcul ; il suffit pour cela de connaître la composition du gaz, et les chaleurs de combustion respectives des divers constituants.

Ce procédé assez précis est trop long pour être utilisé couramment, puisqu'il nécessite au préalable l'exécution d'une analyse complète du gaz.

137. Détermination du pouvoir calorifique par la méthode calorimétrique. — La détermination du pouvoir calorifique par la méthode calorimétrique comporte, en principe, l'élévation de température d'un volume connu d'eau, échauffé par les produits de combustion du gaz.

Les calorimètres employés à cet effet peuvent être : à volume d'eau immobile ou à circulation d'eau.

Dans ces derniers, généralement utilisés, le gaz mesuré au compteur brûle de façon continue et les produits de la combustion échauffent l'eau qui circule en sens inverse dans l'appareil.

Soit G le volume de gaz, mesuré à 0° et 760 millimètres de pression, brûlé pendant un temps déterminé, une fois le régime établi, V la quantité d'eau ayant traversé l'appareil pendant le même temps, $(T - T')$ la différence moyenne des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie : le pouvoir calorifique supérieur serait représenté par :

$$P_s = \frac{V(T - T')}{G}, \quad (1)$$

En réalité, toute la vapeur d'eau contenue dans les produits de la combustion ne se condense pas ; si on mesure le poids e d'eau condensée pendant l'essai, λ étant la chaleur latente de vaporisation de l'eau, on a alors le pouvoir calorifique inférieur en appliquant la formule :

$$P_{inf} = \frac{V(T - T') - \lambda e}{G}. \quad (2)$$

Cette expérience est plus facile que la précédente.

138. Calorimètre Junkers. — Pour effectuer ces mesures, on utilise le plus souvent en France le calorimètre Junkers (fig. 68).

Cet appareil comprend une chambre à combustion A, contenant un bec Bunsen. Les produits de la combustion descendent par des tubes verticaux, formant une sorte de nappe cylindrique placée au milieu de l'espace où circule l'eau, et sortent par une tubulure latérale C qui porte un papillon servant à régler le tirage.

L'eau, dont le débit est réglé par le robinet D, arrive sous

pression constante par un tuyau à surverse et chemine à contre-courant des gaz brûlés.

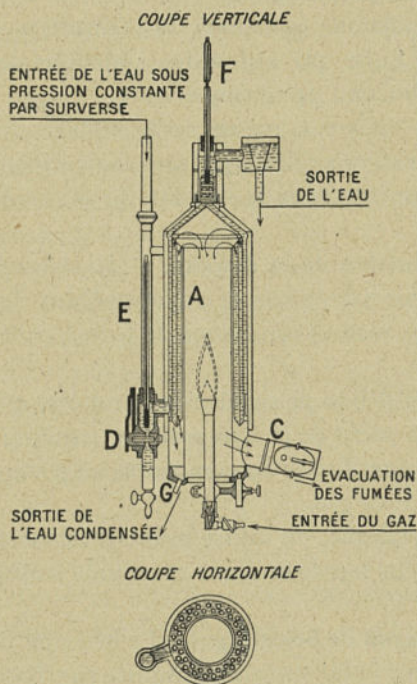


Fig. 68. — Calorimètre Junkers.

Les températures d'entrée et de sortie sont mesurées par des thermomètres E et F donnant le $\frac{1}{10}$ de degré.

L'eau condensée est recueillie en G.

139. Calorimètres enregistreurs. — L'appareil précédent a été rendu enregistreur. A cet effet, un dispositif convenable régulateur d'eau et de gaz permet de maintenir constant le rapport $\frac{V}{G}$ des débits d'eau et de gaz.

La différence de température ($T - T'$) enregistrée à l'aide d'un couple électrique indique alors le pouvoir calorifique P_s , qui lui est proportionnel.

Nous signalerons également le calorimètre enregistreur « Sarco » à huile qui utilise les variations de densité de l'huile en fonction de la température.

Tous ces appareils, même après réglage, donnent bien entendu le pouvoir calorifique sans tenir compte des variations de température et de pression du gaz étudié.

140. Définition de la densité. — La densité du gaz est égale au rapport des poids de volumes égaux de gaz et d'air pris dans les mêmes conditions de température et de pression.

La détermination de cet élément peut être effectuée, soit par calcul, à partir de la composition centésimale du gaz, soit par mesure directe en comparant les poids de volumes égaux d'air et de gaz.

Dans la pratique, on utilise avantageusement le procédé Schilling, plus rapide et d'une exactitude suffisante.

141. Appareil de Schilling. — Le principe de cet appareil repose sur la loi suivante formulée par Barré de Saint-Venant: « Sous une même pression, les vitesses d'écoulement des gaz à travers une petite ouverture faite en mince paroi sont en raison inverse des racines carrées des densités. »

L'appareil se compose essentiellement (fig. 69) d'un tube de verre A, présentant deux repères sur étranglement a et b , et fermé par un bouchon à une de ses extrémités. Ce bouchon est lui-même traversé par un premier tube, muni d'un robinet R, et par un deuxième tube t , fermé à son extrémité supérieure à l'aide d'une mince feuille de platine percée d'un très petit orifice o .

Si l'on plonge le tube A rempli d'air ou de gaz dans une grande éprouvette E pleine d'eau, cette dernière entre dans le tube pendant que le gaz emprisonné en sort par l'ouverture *o*, avec une vitesse qui dépend à chaque instant de la hauteur *h*. D'après la loi précitée, on peut voir que le temps mis par l'eau pour aller de *b* en *a* doit être proportionnel à la racine carrée de la densité du gaz. En faisant un premier essai avec le tube plein de gaz, on obtient une durée t_1 pour la montée de l'eau entre les deux repères. Un deuxième essai avec l'air donne une durée t_2 .

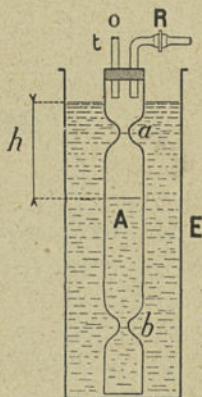


Fig. 69. — Appareil de Schilling.

La densité du gaz par rapport à l'air est alors exprimée par le rapport des carrés des temps,

$$D = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

en admettant que les conditions atmosphériques n'aient pas changé pendant l'expérience.

X. — CITERNES A GOUDRON ET A EAU AMMONIACALE

142. Généralités. — Le goudron et l'eau ammoniacale qui se rassemblent dans les tuyauteries ou dans les appareils spéciaux (condenseurs, condensateurs, laveurs) étaient autrefois recueillis dans une seule fosse ou citerne.

Par décantation on devait obtenir, en 2 couches superposées, le goudron au fond et l'eau ammoniacale à la partie supérieure. Étant donné que l'arrivée du mélange est continue, il existait toujours, au moins dans la région de la fosse voisine de son orifice de remplissage, une portion des deux liquides qui était continuellement agitée ; de ce fait, il devenait difficile de reprendre l'un d'eux sans entraîner une partie de l'autre ; de plus, lorsqu'en hiver il fallait réchauffer le goudron pour l'extraire, on élevait en même temps la température des eaux ammoniacales ce qui occasionnait des pertes de gaz ammoniac volatil.

Actuellement, pour éviter ces inconvénients, presque toutes les usines ont deux citernes d'emmagasinage précédées d'une troisième de plus petites dimensions et dite de décantation.

143. Citernes de décantation. — Les citernes de décantation, dans lesquelles les liquides se séparent suivant leurs densités, sont construites en béton ou en maçonnerie.

On réalise facilement l'écoulement régulier du goudron et de l'eau ammoniacale au moyen de la disposition représentée sur la figure 70. Si l'on verse dans la fosse un mé-

lange de goudron et d'eau ammoniacale, cette dernière sort par le tube A, et le goudron par le tube B qui plonge plus profondément dans la masse. La surface de séparation des deux liquides est à une profondeur bien déterminée,

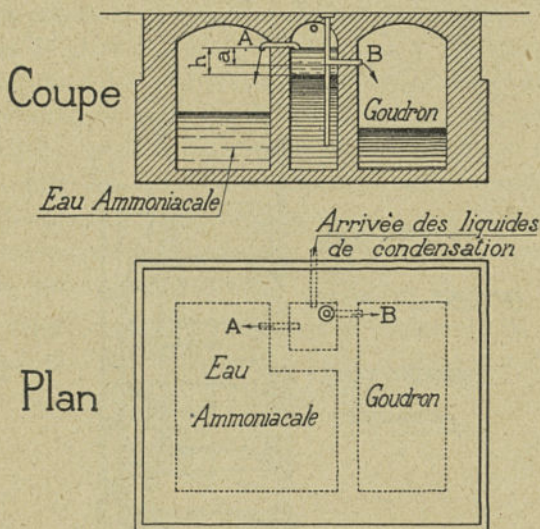


Fig. 70. — Citerne de décantation.

car si a est la différence de niveau des tuyaux A et B on voit facilement que l'équilibre a lieu si

$$\frac{h}{a} = \frac{D}{D-d}$$

D étant la densité du goudron et d celle de l'eau ammoniacale.

144. Capacité des citernes. — Il est difficile de donner des chiffres précis sur la capacité des citernes : elle varie suivant les conditions d'exploitation et notamment suivant que l'usine traite ou non elle-même ses sous-produits.

Toutefois on peut admettre que cette capacité doit être suffisante pour permettre d'emmagasiner toute la production de 4 à 6 semaines.

Pour éviter toute surprise, il sera prudent de supposer

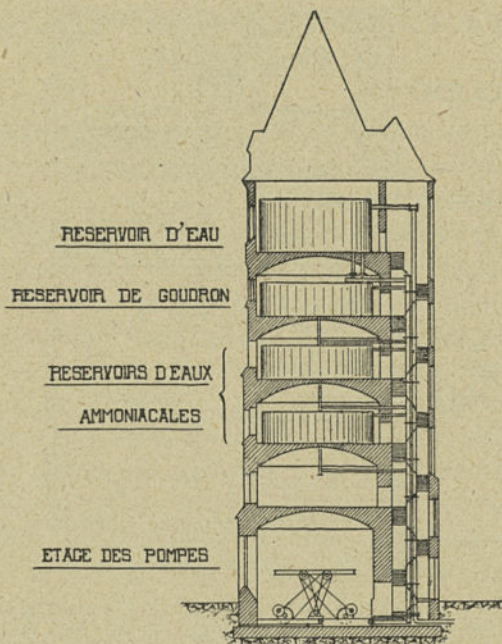


Fig. 71. — Réservoirs surélevés à goudron et à eaux ammoniacales.

qu'à un moment donné, on pourra distiller des charbons donnant, par tonne, 50 à 60 kilogrammes de goudron et 2^{kg},5 d'ammoniaque.

Si la densité du goudron est 1,2 et si la concentration des eaux ammoniacales est 10 grammes par litre, la capacité des citernes, par tonne de charbon distillé, devra être 40 à 50 litres pour le goudron et environ 250 litres pour les eaux ammoniacales.

145. Reprise des goudrons et des eaux ammoniacales.

— Le goudron et l'eau ammoniacale sont repris dans les fosses soit pour être travaillés dans l'usine, soit pour être expédiés à des acheteurs.

Cette reprise peut être effectuée par des pompes à piston munies de clapets à boulets qui refoulent directement les liquides dans les réservoirs des ateliers de traitement des sous-produits ou dans des récipients destinés au transport. Quelquefois, pour faciliter les transvasements, on installe à proximité des fosses des réservoirs surélevés (fig. 71) dans lesquels, à l'aide de pompes de petites dimensions, on élève les eaux ammoniacales et le goudron qui pourront ensuite être évacués par simple gravité.

Les réservoirs en question sont généralement en tôle et de capacité au moins égale à celle d'un wagon-citerne, c'est-à-dire environ 15 à 18 mètres cubes.

TROISIÈME PARTIE

XI. — DISTRIBUTION DU GAZ

146. Généralités. — Les canalisations qui relient l'usine à gaz à ses abonnés doivent permettre à ces derniers de recevoir, à tout moment, le gaz à la pression prévue par le contrat de concession. Le plus souvent la circulation dans les tuyauteries est due seulement à la différence entre cette pression et celle qui règne dans le gazomètre.

Par ailleurs, les canalisations doivent laisser la possibilité d'accroître le volume total du gaz vendu, au moins pendant le temps nécessaire à l'amortissement de leurs frais d'installation.

L'étude d'un réseau de canalisations comporte donc, pour chaque artère de la ville à desservir, le calcul du débit horaire maximum probable, non seulement au moment de sa mise en service, mais aussi après 10, 15 ou 20 ans d'exploitation. Il faut ensuite opérer un groupement rationnel des différentes canalisations secondaires pour constituer le système de canalisations principales. Naturellement, ce dernier travail exige le calcul des pertes de charges subies par le gaz dans les différentes canalisations pour les débits considérés.

147. Estimation du débit d'une canalisation de gaz. — L'expérience prouve que la consommation horaire maxima de l'ensemble des abonnés est comprise entre

$\frac{1}{2\ 000}$ et $\frac{1}{3\ 300}$ de la consommation annuelle ; par habitant, cette dernière varie avec les circonstances locales, le prix de vente du mètre cube, etc..., comme le montre le tableau suivant :

CONSUMMATION ANNUELLE PAR TÊTE D'HABITANT EN MÈTRES CUBES

	ANNEES				
	1900	1906	1910	1913	1921
Paris	117		149	158	160
Banlieue de Paris.. . . .	»	42	77	80	110
Bruxelles.				225	
Londres.. . . .				180	
Manchester. ;				250	
Birmingham.				250	

Il suffira donc de déterminer le nombre maximum probable des habitants d'une rue pour connaître au moins approximativement, d'après les renseignements ci-dessus, le débit cherché. D'une façon générale, il vaut mieux faire de larges estimations.

148. Calcul du diamètre des canalisations. — Les différentes formules qui fixent les dimensions des canalisations de gaz (Girard, d'Aubuisson, Monnier, Clegg, Pole, Barlow, Schilling) peuvent se ramener à l'expression type suivante :

$$Q = K \sqrt{\frac{HD^5}{\delta L}}$$

dans laquelle :

- Q représente le débit horaire en mètres cubes,
 D le diamètre de la conduite en centimètres,
 H la perte de charge en millimètres d'eau (pour la longueur L),
 L la longueur de la conduite en mètres,
 δ la densité du gaz rapportée à l'air,
 K un coefficient donné par l'expérience.

Monnier, dans son aide-mémoire publié en 1876, l'a simplifiée en l'écrivant :

$$Q = \sqrt{\frac{D^3 H}{0,84 L}}$$

ce qui suppose que $K = 0,69$ si $\delta = 0,4$.

Pole, en Angleterre, prend $K = 0,6659$, Schilling et Redtenbacher ont adopté $K = 0,7106$.

Enfin, Niemann, de Dessau, a calculé K d'après les diagrammes de F. S. Cripps et trouvé les valeurs suivantes :

	VALEURS DE K
Pour $D = 152^{\text{mm}}$	0,701
— 127^{mm}	0,63
— 102^{mm}	0,59
— 76^{mm}	0,59
— 51^{mm}	0,52
— 38^{mm}	0,49

149. Calcul de la perte de charge en tenant compte des branchements. — Les formules précédentes supposent que tout le débit gazeux donné traverse la conduite d'un bout à l'autre ; si, comme cela se passe en pratique, la conduite étudiée voit une partie de son débit absorbée par des branchements successifs, la perte de charge entre ses deux extrémités doit s'abaisser.

S'il y a sur une conduite n branchements équidistants débitant chacun le même volume $\frac{q}{n}$, en sorte que le débit de la conduite varie de Q à $Q - q$ entre ses 2 extrémités, la perte de charge totale de la conduite est définie par la formule suivante de Monnier :

$$H = \frac{1}{K^2} \frac{\delta L}{D^5} Q^2 M$$

dans laquelle :

$$M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{q}{Q}\right)^2 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6n}\right)$$

150. Influence des changements de direction. — Les pertes de charges dues aux changements de direction des conduites sont proportionnelles aux pressions cinétiques des gaz qui les parcourent. Dans les coudes à angle obtus, elles sont déterminées par la formule :

$$H_1 = \frac{\Delta v^2}{2g} \sin^2 i$$

dans laquelle :

Δ est le poids du mètre cube de gaz en kilogrammes,
 v la vitesse du gaz en mètres par seconde,
 g l'accélération de la pesanteur,
 i l'angle au centre de l'arc de cercle de raccordement (valeur variant de 0 jusqu'à 90°).

151. Influence des changements de section. — Quand le changement de section d'une conduite horizontale est progressif, la perte de charge est donnée par le théorème de Bernouilli, et on a :

$$\frac{\Delta v^2}{2g} + P = \frac{\Delta V^2}{2g} + p$$

d'où on tire :

$$h = P - p = \frac{\Delta V^2}{2g} - \frac{\Delta v^2}{2g} = \frac{\Delta}{2g} (V^2 - v^2)$$

formules dans lesquelles :

h est la perte de charge en millimètres d'eau,
 P et p sont les pressions statiques avant et après le changement de section en millimètres d'eau,
 v et V les vitesses correspondantes en mètres par seconde,
 Δ le poids du mètre cube de gaz en kilogrammes.

A noter que, dans le cas d'une réduction de section, la perte de charge est positive, c'est-à-dire que la pression statique diminue. Dans le cas inverse la pression statique augmente, la perte de charge est négative : il y a transformation de l'énergie cinétique en énergie statique. Cette transformation est incomplète lorsque, le changement de section étant brusque, les filets fluides se décolent de la

paroi et la rejoignent ensuite en créant des remous qui absorbent une partie de son énergie.

152. Influence du changement d'altitude. — Il est d'usage de dire que grâce à la poussée du gaz, due à sa faible densité, sa pression augmente dans les parties hautes du réseau. En réalité, il n'en est rien; tout comme la pression atmosphérique, la pression absolue du gaz dans une canalisation verticale ou inclinée va en diminuant quand l'altitude augmente; mais la première décroissant plus vite que la seconde et les manomètres ordinaires n'indiquant que la différence entre ces pressions, cette différence croît et en fait, pratiquement, c'est elle seule qui importe.

Les variations de cette différence, c'est-à-dire de la pression relative, sont données avec une approximation suffisante par la formule :

$$J = Ph(1 - \delta)$$

dans laquelle :

J = pression en kilogrammes par mètre carré ou millimètre de hauteur d'eau,

P = poids en kilogrammes du mètre cube d'air,

h = hauteur en mètres,

δ = densité du gaz.

153. Groupement des conduites principales. — Les conduites principales d'un réseau peuvent être groupées en étoile (fig. 72) ou branchées sur un feeder en anneau (fig. 73).

Chaque fois que la forme du réseau et la position de l'usine le permettent, cette dernière disposition doit être adoptée

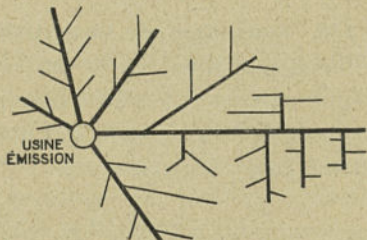


Fig. 72. — Distribution par réseau étoilé.

parce qu'elle donne de la sécurité ainsi que des facilités d'entretien et d'extension.

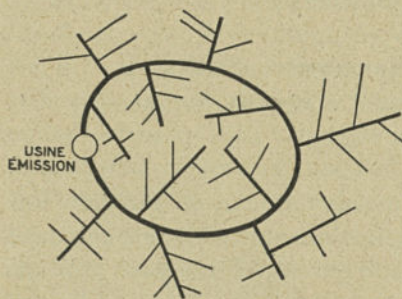


Fig. 73. — Distribution par feeder bouclé.

154. Distribution du gaz par surpression. — Lorsque la charge des cloches des gazomètres, soit 250 à 300 millimètres d'eau au maximum, ne suffit plus pour

vaincre les résistances de la canalisation, il faut relever la pression à l'aide de ventilateurs ou de compresseurs auxquels on a donné le nom général de surpresseurs.

Les pressions de refoulement de ces appareils ne pouvant pas être supportées par les compteurs des abonnés habitant près de l'usine ou du centre de distribution, il devient indispensable de diviser le réseau en deux parties : l'une comprenant les conduites destinées à recevoir du gaz à haute pression, l'autre livrant passage au gaz à basse pression. La jonction entre ces deux parties s'opère au moyen d'appareils analogues aux régulateurs automatiques d'émission, appelés détendeurs ou détendeurs-régulateurs.

155. Avantages de la distribution à haute pression. — Pour se rendre compte des avantages de la distribution à haute pression, il suffit d'examiner la formule ci-dessous, tirée de celle du § 148, qui fixe la valeur de la perte de charge dans les canalisations :

$$H = \frac{1}{K^2} \frac{Q^{3,2} L}{D^5}$$

On voit qu'en augmentant la pression de fonctionne-

ment, on peut accroître isolément ou simultanément le débit, la densité du gaz et la longueur de la canalisation, tout en laissant le diamètre constant.

Ainsi donc la surpression permet la distribution à longue distance. Dans ce domaine, les Américains ont atteint des pressions de plusieurs kilogrammes par centimètre carré pour la distribution du gaz d'huile et du gaz naturel.

C'est aussi grâce à la surpression, c'est-à-dire au transport du gaz à longue distance, que de nombreuses villes peuvent être alimentées avec du gaz de cokeries, ou plus simplement se grouper pour se faire desservir par une seule et grande usine à gaz dont les puissants moyens de travail permettent une réduction de prix de revient.

La surpression permet enfin aux très grandes villes de remplacer leurs nombreuses petites usines intra-muros par quelques très grosses unités extra-muros dont les conditions de travail et d'installation sont, toutes proportions gardées, avantageuses au double point de vue installation et exploitation.

Naturellement le choix de la pression de refoulement des surpresseurs doit faire l'objet d'une étude: il faut mettre en parallèle les frais de premier établissement qui diminuent pendant que les dépenses d'exploitation croissent quand, pour un même débit, on réduit le diamètre des canalisations à haute pression.

156. Surpresseurs. — En général les surpresseurs, tout comme les extracteurs, doivent pouvoir débiter de très grands volumes sous des pressions relativement modérées. Les machines qui conviennent le mieux sous ce rapport sont les ventilateurs rotatifs et centrifuges, les machines à piston (compresseurs) étant réservées aux cas où il faut pratiquer de hautes pressions. A noter que, dans ce domaine, les hautes pressions sont celles qui dépassent 3 à 4 mètres d'eau.

157. Ventilateurs rotatifs. — Les ventilateurs rotatifs ou volumétriques sont ceux dans lesquels le débit est théoriquement proportionnel au nombre de tours et la pression de refoulement indépendante de la vitesse. Les plus connus sont ceux de Beale (voir § 19) et ceux de Roots employés pour les pressions de refoulement comprises entre 300 et 1 500 millimètres d'eau. Les ventilateurs Roots (fig. 74)

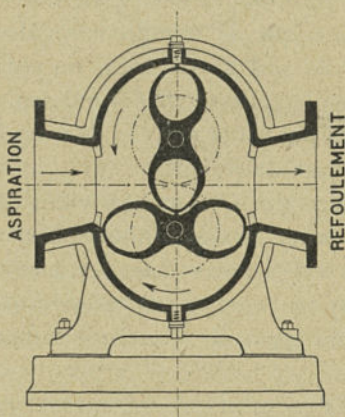


Fig. 74. — Ventilateur Roots.

comprennent essentiellement deux pignons à deux dents, de forme spéciale, engrenant ensemble et tournant dans une enveloppe alésée. Les parties extérieures des dents portent des palettes destinées à assurer le joint entre elles et le corps ou enveloppe de l'appareil ; ces palettes sont en fonte ou en bois paraffiné.

Grâce à un train d'engrenages comprenant 2 roues d'égal diamètre, les 2 pistons tournent en sens inverse. L'appareil est généralement commandé par courroie agissant sur un cône d'attaque à 3 diamètres. La vitesse des ventilateurs Roots est variable avec leur puissance. Les grands appareils tournent à 140 tours par minute, tandis que les petits peuvent atteindre 500 tours par minute.

Le rendement volumétrique est le rapport entre le volume réel refoulé à chaque tour et le volume théoriquement escompté d'après la forme et les dimensions de l'appareil. La différence entre ces deux volumes est due aux fuites inévitables qui se produisent entre la partie fixe et le corps du ventilateur. Ces fuites s'accroissent avec la pres-

sion de refoulement ; le rendement volumétrique diminue donc avec cette dernière ; il est avec des machines de moyenne dimension 0,80 à 0,90, alors que le rendement dynamique est environ 0,75 à 0,80.

La conduite de refoulement d'un ventilateur rotatif tout comme celle d'un compresseur à piston doit être pourvue d'une soupape de sûreté.

158. Ventilateurs centrifuges. — Nous avons donné, § 20, quelques indications sur le fonctionnement des ventilateurs centrifuges et sur leurs courbes caractéristiques. Rappelons de plus que, si l'on fait travailler un ventilateur sur un orifice équivalent constant, le débit est proportionnel à la vitesse (c'est-à-dire au nombre de tours), la pression à son carré et le travail absorbé à son cube. Pour un régime de fonctionnement quelconque, l'orifice équivalent est la section S en mince paroi qui, sous la pression obtenue H , écoulerait le volume refoulé Q , la vitesse du gaz étant :

$$v = \sqrt{2g \frac{H}{\delta}}$$

On a :

$$Q = 0,65 S \sqrt{2g \frac{H}{\delta}}$$

0,65 étant le coefficient relatif à un écoulement en mince paroi, δ la densité du gaz et g l'accélération de la pesanteur.

Finalement, l'orifice équivalent est donc :

$$S = \frac{1}{0,65 \sqrt{2g \frac{\delta}{H}}} \times \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

Si la vitesse est constante et que l'orifice équivalent change, le débit varie et la pression change dans des conditions définies par les caractéristiques « débit-pression » du ventilateur.

L'application des ventilateurs à la surpression du gaz présente l'avantage suivant :

Pour des variations de débit comprises entre un débit nul et le débit normal de l'installation, ces appareils, fonctionnant à une vitesse déterminée, ne provoquent que des différences de pression très faibles.

Leur emploi ne nécessite donc, sur la canalisation, ni clapet de sûreté, ni régulateur de retour.

Lorsque le ventilateur est mû par un moteur électrique, il est indispensable de munir le circuit qui alimente ce dernier d'un interrupteur automatique pour éviter les surcharges excessives qui pourraient résulter d'un accroissement anormal du débit (en cas de rupture de la conduite par exemple).

Le moteur électrique employé doit être à vitesse variable ; il n'est pas nécessaire que la variation de vitesse soit automatique.

En général, les ventilateurs sont construits pour des débits horaires compris entre 2 000 et 60 000 mètres cubes, l'importance de l'élévation de pression qu'ils permettent étant variable entre 300 millimètres et 5 mètres d'eau. Leur rendement dynamique varie entre 0,65 et 0,68. Pour réduire les dépenses de force motrice, il vaut mieux employer des appareils fonctionnant normalement à pression relativement basse et se réserver la possibilité d'en accoupler 2 en séries aux heures où de hautes pressions sont nécessaires.

159. Accouplement des ventilateurs centrifuges. —

Les ventilateurs peuvent être accouplés en série lorsqu'on veut élever la pression sans changer le débit, et en parallèle quand l'inverse est nécessaire.

L'accouplement de plusieurs ventilateurs en série ne présente aucune difficulté. Automatiquement le débit de l'ensemble couplé devient égal au débit de celui des appareils qui débite le moins.

La pression totale engendrée est, à peu de chose près, la somme des pressions engendrées dans chaque appareil.

L'accouplement en parallèle de plusieurs ventilateurs n'est possible que dans le cas où chacun d'eux, travaillant à une vitesse constante, fonctionne au régime correspondant à la partie descendante de la caractéristique « débit-pression », c'est-à-dire dans des conditions telles que tout accroissement du débit provoque une diminution de la pression engendrée.

Si cette condition n'est pas réalisée, la charge passe continuellement d'une machine sur l'autre, ce qui provoque des perturbations dans la marche des moteurs.

160. Détendeurs, régulateurs. — Les détendeurs sont des appareils destinés à réduire la pression du gaz afin de permettre à ce dernier de circuler sans inconvénient dans les conduites d'alimentation des abonnés.

Comme ils sont tous basés sur le même principe et ne diffèrent que par les détails d'exécution, nous nous bornerons à décrire le détendeur Peebles, représenté schématiquement sur la figure 75. Le gaz, détendu par les soupapes *s*, vient agir sous la cloche en passant par le trou *o*. L'équilibre a lieu lorsque la résultante des efforts exercés par le gaz sur la cloche et les soupapes compense exactement le poids de l'ensemble mobile. Or les soupapes sont équilibrées, c'est-à-dire que chacune des pressions *P* et *p* agit à la fois sur la face supérieure de l'une des soupapes et sur la face inférieure de l'autre. L'action résultante est donc nulle et il reste seulement à considérer les

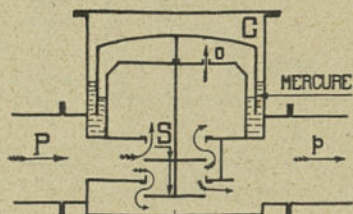


Fig. 75. — Détendeur Peebles.

forces agissant sur la cloche. Si S est la section de la cloche et π le poids de la partie mobile, on doit avoir :

$$\pi = pS \quad \text{ou} \quad p = \frac{\pi}{S}.$$

La pression de sortie p est donc parfaitement déterminée. Elle ne dépend que de π et de S . Le réglage se fait très facilement en faisant varier π , au moyen de poids convenables disposés sur le sommet de la cloche.

Si le gaz détendu agissait directement sous la cloche, il pourrait se produire des oscillations dans le mouvement de l'ensemble mobile. On les évite très simplement en freinant le gaz au moyen de l'orifice étroit o : on sait, en effet, qu'un mouvement oscillatoire peut être rendu apériodique en intercalant une résistance mécanique convenable.

161. Régulateurs à surcharge automatique. — Quand,

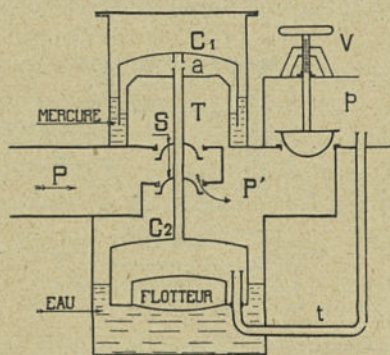


Fig. 76. — Détendeur-régulateur à surcharge automatique (Compagnie pour la Fabrication des Compteurs).

à l'aide d'un régulateur placé en tête d'une conduite, on veut obtenir à l'autre extrémité une pression constante, nous savons (§ III) qu'il faut donner au gaz, à la sortie du régulateur, un excédent de pression, ou surcharge, proportionnel au carré du débit.

Parmi les appareils créés pour atteindre ce but, nous signalons celui de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs (fig. 76). Sa cloche C_1 plonge dans une garde de

mercure ; à la tige creuse T qui la supporte sont fixées les soupapes S et la cloche C_2 qui, elle, plonge dans l'eau. Le gaz arrivant à la pression P est détendu par les soupapes S à la pression P' puis, par la vanne V, à la pression de distribution p . Un tube t fait communiquer la conduite de sortie avec le dessous de la cloche C_2 . Cet espace est en relation avec le dessous de la cloche C_1 par l'intermédiaire de la tige creuse T percée en α . Si π représente le poids de l'équipage mobile, diminué de la poussée de bas en haut due au flotteur qui soulage la cloche C_2 , σ_1 et σ_2 les sections des cloches, l'équation d'équilibre est :

$$\pi + P'\sigma_2 = p(\sigma_1 + \sigma_2)$$

ou :

$$p\sigma_1 = \pi + (P' - p)\sigma_2.$$

La perte de charge subie par le gaz à son passage autour de V est proportionnelle au carré du débit Q. On a donc :

$$(P' - p) = K'Q^2$$

et

$$p = \frac{\pi}{\sigma_1} + KQ^2.$$

Soit p_0 la pression correspondant à un débit nul. C'est aussi la pression qui régnerait si, le débit étant quelconque, la vanne V était complètement levée. On a :

$$p_0 = \frac{\pi}{\sigma_1} \quad \text{d'où} \quad p = p_0 + KQ^2.$$

On obtient donc bien une pression constante p_0 , plus une surcharge KQ^2 proportionnelle au carré du débit. On peut d'ailleurs faire varier cette surcharge, c'est-à-dire modifier la valeur du coefficient K, en baissant plus ou moins la vanne V à laquelle on a donné une section parabolique pour rendre son action plus progressive.

Cette vanne parabolique produit une perte de charge :

$$P' - p = (p - p_0) \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

qui oblige à augmenter d'autant la pression d'entrée P et entraîne une consommation supplémentaire de force motrice. Il serait peut-être plus rationnel de chercher à utiliser un tube de Venturi¹, donnant également une dénivellation proportionnelle au carré du débit, mais avec une perte de charge égale au quart environ de la dénivellation produite.

162. Gazomètres, relais. — Dans les distributions à

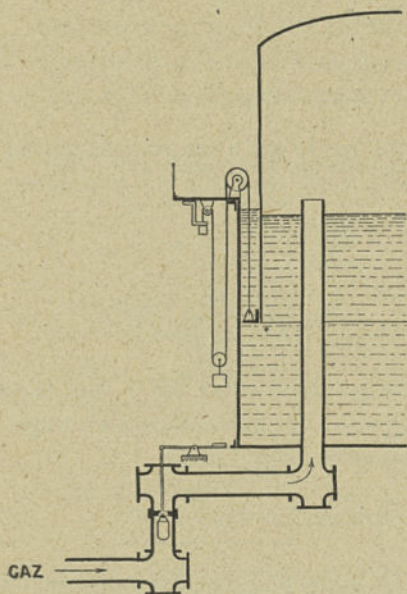


Fig. 77. — Fermeture automatique de la conduite d'entrée d'un gazomètre-relais.

grande distance, il est souvent utile de disposer, à l'extrémité de la conduite de gaz surpressé, d'un gazomètre permettant de parer à un arrêt accidentel des appareils de surpression, ou simplement de fournir aux heures de forte consommation un débit supérieur à celui de la conduite de jonction. Ces gazomètres ne diffèrent des gazomètres ordinaires que par l'adjonction d'un système permettant de

fermer automatiquement l'arrivée de gaz quand le gazo-

1. Voir § 86.

mètre est plein. Citons, à titre d'exemple, le dispositif de la figure 77 dans lequel le mouvement ascensionnel de la cloche provoque la descente d'une charge mobile, qui vient reposer sur l'extrémité d'un bras de levier actionnant la soupape.

163. Distribution du gaz dans la banlieue de Paris.

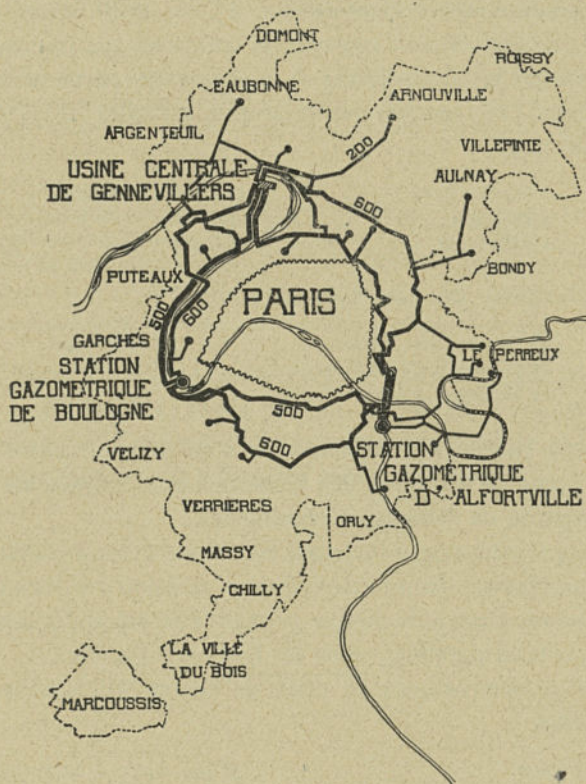


Fig. 78. — Plan d'ensemble du réseau de la Société E. C. F. M.

— Cent onze communes de la banlieue de Paris sont actuellement desservies par la Société d'Éclairage, Chauffage et

Force Motrice dont le réseau, en forme d'anneau, a un périmètre de 240 kilomètres. Tout le gaz distribué est fabriqué dans une seule usine située à Gennevilliers et reliée à 2 gazomètres, placés l'un à Alfortville et l'autre à Boulogne, par une double canalisation représentée sur la figure 78. Sur chacun des trajets, l'une des canalisations a un diamètre uniforme de 600 millimètres et l'autre est composée de sections dont les diamètres varient de 500 à 1 000 millimètres. Les deux gazomètres sont eux-mêmes connectés par une canalisation qui est doublée sur la plus grande partie de son parcours. Les capacités gazométriques actuelles (1923) sont les suivantes :

à Gennevilliers.	320 000 mètres cubes
à Boulogne.	60 000 —
à Alfortville.	60 000 —

La longueur des canalisations est :

de Gennevilliers à Boulogne.	18 ^{km} ,700
de Gennevilliers à Alfortville.	28 ^{km} ,100
de Boulogne à Alfortville.	21 ^{km} ,400

Sur le parcours des canalisations de jonction entre ces trois points se trouvent des branchements pourvus de détendeurs ou de détendeurs-régulateurs.

Chaque station gazométrique est munie d'une installation de surpression comprenant quatre ventilateurs Rateau à commande électrique directe pouvant être accouplés soit en série, soit en parallèle, selon les besoins du service.

Les caractéristiques de ceux de Gennevilliers sont les suivantes :

Débit horaire.	38 400 à 46 500 mètres cubes.
Surpression.	325 à 475 millimètres d'eau.
Nombre de tours.	2 000 à 2 450.
Puissance absorbée sur l'arbre.	67 à 120 HP.
Diamètre des conduites (aspiration et refoulement).	1 mètre.

Le plus souvent, ils fonctionnent par groupes de deux en série, la pression à l'aspiration étant 200 millimètres et celle de refoulement environ 1 mètre d'eau.

Les appareils d'Alfortville et de Boulogne ont été établis pour les régimes suivants :

	RÉGIME NORMAL	RÉGIME ACCIDENTEL
A ALFORTVILLE.		
Débit horaire en mètres cubes. .	8 470 à 9 600	13 750 à 16 250
Surpression en millimètres d'eau. .	480 à 600	480 à 680
Vitesse en tours par minute. . .	2 400 à 2 700	2 450 à 2 900
Puissance sur l'arbre en HP. . .	25 à 36	36 à 60
A BOULOGNE.		
Débit horaire en mètres cubes. .	5 260 à 7 800	10 500 à 12 200
Surpression en millimètres d'eau. .	138 à 305	480 à 650
Vitesse en tours par minute. . .	1 300 à 2 000	2 400 à 2 800
Puissance sur l'arbre en HP. . .	5,5 à 16	29 à 46

Au total, pendant l'année 1922, le volume de gaz distribué a atteint 174 122 000 mètres cubes et la puissance absorbée par l'ensemble des surpresseurs a été de 438 497 kilowatts-heure, soit par mètre cube: 0^{kwh},0025.

QUATRIÈME PARTIE

XII. — RÉCUPÉRATION DU BENZOL ET DE L'ÉTHYLÈNE DANS LE GAZ D'ÉCLAIRAGE

164. Généralités. — Le benzol est un mélange de carbures de la série aromatique contenant principalement du benzène.

On le trouve dans certains pétroles comme ceux de Bornéo, mais il provient surtout du gaz et du goudron de houille.

A la sortie du barillet, au cours de son passage dans les condenseurs, le gaz brut, en se refroidissant, donne principalement du goudron dans lequel le benzol est d'autant plus soluble que la température à laquelle on opère est plus basse.

Cela explique la nécessité d'évacuer le goudron dès sa condensation si l'on veut conserver tout le benzol dans le gaz. En fait, c'est ce qui se passe pratiquement puisque le goudron absorbe seulement de 1 à 7 pour 100 du benzol produit, le reste, 99 à 93 pour 100, restant dans le gaz.

165. Historique. — Le traitement qu'on fait subir au gaz de houille pour extraire le benzol s'appelle le débenzologage.

Avant la guerre, l'obligation pour les Sociétés gazières françaises de fournir, malgré la généralisation de l'emploi

de l'éclairage à incandescence, un produit très éclairant ne leur permettait pas de pratiquer le débenzolage comme cela se faisait dans les fabriques de coke métallurgique.

Dès le début de 1915, les énormes besoins de munitions pour nos armées obligèrent le Service des Poudres à faire intensifier, ou à faire créer, toutes les fabrications de nature à lui fournir les matières premières nécessaires à la fabrication des explosifs, et particulièrement du trinitrophénol ou acide picrique.

C'est alors qu'on envisagea l'extraction du benzol du gaz d'éclairage, opération que le Ministre de la Guerre put rendre obligatoire dans un certain nombre de grandes usines, grâce au vote de la loi du 29 novembre 1915.

Après la signature de l'armistice, les besoins ayant disparu, les fabriques de benzol des usines à gaz furent arrêtées.

Pendant ces trois longues années (1915 à 1918) le public put se convaincre, par l'expérience, que le gaz débenzolé, à la condition d'être distribué sous une pression normale (ce qui ne fut pas toujours le cas, même dans les grandes villes en raison des difficultés de ravitaillement en charbon) donne, pour l'éclairage à incandescence, les mêmes résultats que le gaz non débenzolé.

C'est sur cette constatation, faite également par les représentants des pouvoirs publics, que s'est appuyé le Ministre de l'Intérieur dans son arrêté du 12 avril 1921 pour décider que, dans les traités relatifs aux concessions de distributions de gaz d'éclairage, le pouvoir calorifique supérieur imposé aux concessionnaires ne pourra dépasser 4 500 calories¹.

166. Teneur en benzol du gaz d'éclairage. — La

1. Voir au chapitre xx le modèle de Cahier des charges pour concessions de distributions de l'éclairage par le gaz.

teneur en benzol du gaz d'éclairage varie avec la nature des charbons employés et le mode de distillation.

La pratique a montré que les proportions dans lesquelles on rencontre le benzène, le toluène, les xylènes dans les produits obtenus au cours du débenzolage sont très approximativement :

Benzène.	75 pour 100
Toluène.	14 pour 100
Xylènes.. . . .	11 pour 100

Les poids moléculaires de ces différents corps étant respectivement 78, 92 et 106, on en déduit que le volume occupé, à la température ordinaire, par 1 kilogramme de ce mélange dans le gaz d'éclairage est environ :

$$22,32 \left(\frac{0,75}{78} + \frac{0,14}{92} + \frac{0,11}{106} \right) = 0^{\text{m}^3},272 ;$$

c'est-à-dire que le poids d'un litre de benzol à l'état de vapeur dans le gaz est 3^{gr},676.

Les quantités de benzol fournies par les 5 qualités de houille de la classification de M. Sainte-Claire Deville¹ sont les suivantes :

HOUILLES	BENZOL PAR M ³		GAZ PRODUIT PAR TONNE DE HOUILLE	BENZOL PAR TONNE DE HOUILLE
	EN VOLUME	EN POIDS		
	l	gr.	m ³ .	kg.
1 ^{er} type.	7,9	29,07	301,3	8,8
2 ^e type.	9,9	36,43	310,1	11,3
3 ^e type.	9,6	35,32	306,4	10,8
4 ^e type.	10,4	38,27	297,2	11,4
5 ^e type.	8,8	32,38	274,4	8,9

D'autre part, quand on distille deux échantillons de la

1. Voir *Les procédés modernes de l'Industrie du gaz. La Distillation de la houille*, par R. MASSE et A. BARIL, page 20.

même houille à la température du rouge sombre et à celle du rouge vif, les poids de benzol obtenus par tonne de houille sont respectivement $6^{\text{kg}},9$ et $11^{\text{kg}},2$ et les volumes de gaz $197^{\text{m}^3},1$ et $287^{\text{m}^3},9$; la teneur en benzol varie donc par mètre cube de 35 à $38^{\text{gr}},9$.

Enfin ajoutons que, conformément à ce que nous avons montré précédemment, au cours d'une opération de distillation la teneur en benzol du gaz obtenu va généralement en décroissant. Ainsi, en distillant en 4 heures, on trouve les résultats suivants :

	D'APRÈS EUCHÈNE SUR HOUILLE TYPE N° 1 EN POIDS PAR TONNE DE HOUILLE	D'APRÈS M. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE SUR LONDONDERRY EN GRAMMES PAR MÈTRE CUBE
1 ^{re} heure.	3,093	54,080
2 ^e heure.	3,215	45,378
3 ^e heure.	2,208	29,166
4 ^e heure.	0,394	14,860
Total.	8,910	»

De tout ce qui précède, on voit, en résumé, que la teneur du gaz en benzol varie de 25 à 40 grammes par mètre cube et qu'il n'est possible de fixer cette teneur que par l'expérience.

167. Dosage du benzol dans le gaz. Méthode de M. E. Sainte-Claire Deville. — L'opération consiste à refroidir le gaz jusqu'à -22° au moyen d'un mélange de glace et de sel. Au poids de benzol recueilli de cette façon par mètre cube de gaz, on ajoute le poids de vapeur de benzol saturant à -22° un mètre cube de gaz, soit $23^{\text{gr}},5$.

Le benzol condensé est recueilli dans un petit ballon

surmonté d'un serpentin en verre (fig. 79), placé dans un mélange réfrigérant.

Avant de pénétrer dans l'appareil, le gaz traverse des éprouvettes remplies de chlorure de calcium bien sec qui absorbe toute l'humidité.

A sa sortie, le gaz se rend à un compteur; à la fin de l'expérience on pèse le ballon, taré avant l'essai.

Si P représente alors l'augmentation de son poids en grammes, V le volume du gaz ramené à 0° et 760 millimètres¹, le poids de benzol condensable à -22° par mètre cube de gaz (mesuré à 0° et 760 millimètres) sera $\frac{P}{V}$ et la teneur en

benzol par mètre cube de gaz sera donnée par l'expression $\left(\frac{P}{V} + 23,5\right)^{gr}$.

La méthode précédente ne pourrait s'appliquer aux gaz très pauvres en benzol qui en contiendraient moins de 23^{gr},5 par mètre cube.

Des recherches effectuées sur la question ont permis de constater que la tension de vapeur du benzol est pratiquement nulle dans un gaz refroidi à la température de -70°. Or, on peut réaliser facilement une température de -72°.

La méthode décrite ci-dessus a donc été modifiée par son auteur de la façon suivante :

Le petit ballon (fig. 79) est remplacé, pour les opérations

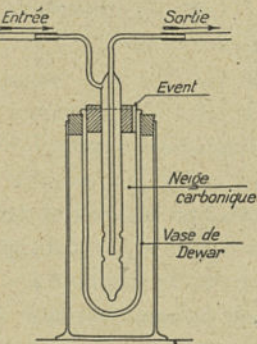


Fig. 80. — Autre appareil de dosage du benzol dans le gaz.



Fig. 79. — Appareil de dosage du benzol dans le gaz.

1. Comprenant le volume à l'état gazeux du benzol recueilli,

de pesée, par le tube de condensation lui-même (fig. 80). Après avoir effectué la tare de ce tube purgé d'air et rempli de gaz sec, on l'enfonce dans un vase de Dewar rempli aux 9/10^e d'une boue réfrigérante obtenue par mélange convenable de neige carbonique et d'acétone.

On fait alors passer le courant gazeux préalablement desséché comme dans les expériences précédentes ; le benzol se condense dans la partie inférieure du tube E.

On note comme précédemment la température t et la pression barométrique H , de façon à ramener, aux conditions normales, le volume mesuré dans le compteur.

La détermination de la quantité de vapeur de benzol condensé permet alors de calculer immédiatement la teneur en benzol du gaz employé.

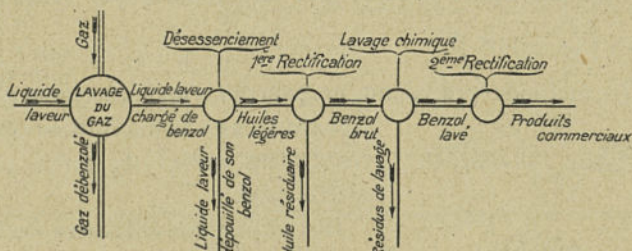


Fig. 81. — Schéma d'une installation de fabrication de benzol.

168. Schéma de la fabrication du benzol. — Les opérations effectuées en vue d'obtenir le benzol à partir du gaz d'éclairage comprennent généralement la captation ou lavage du gaz, le désessencier, le lavage chimique et la ou les rectifications (fig. 81).

Le désessencier donne un produit appelé huiles légères du gaz contenant avec le benzol un certain nombre d'impuretés telles que des phénols, des bases pyridiques, de la naphthaline et des carbures lourds ayant échappé à la condensation. La première rectification a surtout pour but d'éli-

miner les carbures lourds et la naphthaline, le lavage chimique supprime les phénols et les bases, enfin les rectifications permettent un fractionnement du benzol en produits commerciaux ou purs.

169. Méthodes de captation du benzol dans le gaz.

— Les différents procédés employés pour capter le benzol peuvent se classer en trois grandes catégories correspondant à trois méthodes différentes :

- 1° la captation du benzol par lavage du gaz dans un solvant liquide,
- 2° l'absorption du benzol par le charbon activé,
- 3° la liquéfaction du benzol par refroidissement du gaz à très basse température.

170. Captation du benzol par lavage du gaz. — La récupération du benzol par lavage du gaz dans un solvant comprend deux phases : 1° le lavage proprement dit ; 2° le désessencement.

La première consiste à mettre en contact aussi parfaitement que possible le gaz et le solvant qui absorbe les huiles légères comprenant principalement le benzol.

La deuxième a pour but de dépouiller par distillation le solvant des huiles légères ou essences dont il est chargé et de rendre ce solvant de nouveau apte à la récupération.

171. Propriétés des liquides employés pour le débencolage du gaz par lavage. — Tout liquide employé pour laver le gaz en vue de l'extraction du benzol doit pouvoir dissoudre ce dernier en proportion importante. La tension de vapeur du benzol dans la solution « benzol-liquide de lavage » doit être aussi basse que possible à la température ambiante, c'est-à-dire celle à laquelle le gaz circule dans

les canalisations de l'usine après épuration chimique. Cette tension de vapeur fixe la limite à l'absorption cherchée.

Le liquide absorbant doit avoir un point d'ébullition d'environ 165° à 170°, c'est-à-dire nettement supérieur à celui des produits qu'on cherche à extraire.

Bien que l'on emploie le plus souvent des échangeurs de température qui permettent de récupérer une partie des calories dépensées, il est intéressant d'abaisser par tous les moyens possibles la quantité de chaleur mise en jeu.

Aussi la chaleur spécifique du liquide laveur doit être aussi faible que possible. La quantité de chaleur nécessaire à l'opération du désessenciement comporte, en effet, en plus de la chaleur totale de vaporisation du benzol, la chaleur d'échauffement du solvant porté à la température d'ébullition du benzol.

La fluidité des solvants doit être très grande, faute de quoi le contact intime entre toutes leurs particules et celles du gaz est difficile à obtenir ; cette propriété doit subsister même par les temps les plus froids puisque les laveurs sont presque toujours installés en plein air.

De plus, les absorbants ne doivent contenir aucune impureté susceptible de souiller le gaz, ni aucun corps comme la naphtaline susceptible d'être entraîné et de se condenser en passant dans les parties froides du réseau de distribution.

Enfin, il est indispensable qu'ils soient d'un prix très faible, surtout si leur pouvoir absorbant est peu élevé.

172. Principaux liquides laveurs : huile, goudron, crésols, pétrole. — Le liquide de lavage le plus couramment employé est l'huile lourde de goudron de houille.

Les essais faits à l'usine à gaz de Gennevilliers ont montré que les meilleurs résultats étaient obtenus avec une

huile intermédiaire décantée et redistillée ayant les caractéristiques suivantes :

Densité à 15°..	1 040
Distillation sur 100 centimètres cubes :	
230°..	départ
240°..	15 pour 100
250°..	45 —
260°..	67 —
270°..	79 —
280°..	87 —
290°..	92 —
296°..	96 —

La figure 82 donne la courbe de distillation correspondant à ces données (courbe 1); elle comporte également

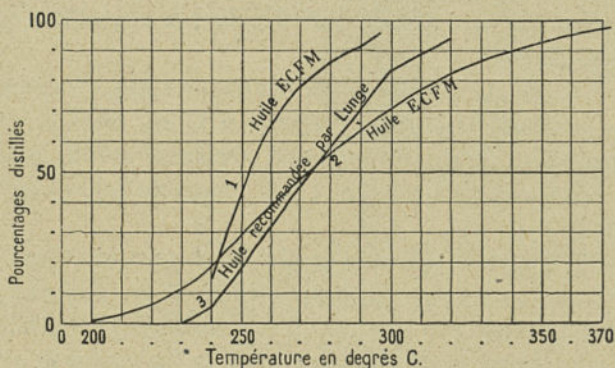


Fig. 82. — Caractéristiques des huiles de lavage pour benzol.

les renseignements relatifs (courbe 2) à une autre huile également préparée à Gennevilliers et celle (courbe 3) que recommande G. Lunge¹.

Remarquons que les spécifications en question cadrent bien avec celles indiquées par le D^r Colman et approuvées

1. Voir *Coal Tar and Ammonia*, par LUNGE, 1916, vol. I, p. 75.

par le Ministère britannique des Munitions, qui sont les suivantes :

« Densité : 1 010 à 1 030 ;

« Point d'ébullition supérieur à 200° C. ;

« Distillation à 300° C. : plus de 70 pour 100 et moins de 90 ;

« Naphtaline : il ne doit pas se former de cristaux de naphtaline par refroidissement de l'huile à 13° C. ;

« L'huile en question doit, dans tous les cas, être décantée à froid pour éliminer toutes traces de naphtaline ou d'antracène ; elle peut sans inconvénient renfermer des phénols. »

Le pouvoir absorbant de ces huiles à la température de 15 à 20° est voisin de 5 pour 100 ; pratiquement, on prend environ un litre d'huile pour récupérer le benzol de 1 mètre cube de gaz.

En Angleterre, dans les petites usines à gaz, on a employé le goudron déshydraté (procédé « C »). Dans ce cas, le rendement obtenu est médiocre. On retire avec le goudron 7 fois moins de benzol et 4 fois moins de toluols qu'avec l'huile.

M. Brégeat a breveté l'emploi de corps à fonctions phénoliques provenant de la distillation du goudron. La base en est formée par les trois crésols isomères $C^6H^4(OH)CH^3$ (ortho, méta, para) ; il peut renfermer également de petites quantités de phénol $C^6H^5(OH)$. Ce mélange a un pouvoir absorbant supérieur à celui des huiles de goudron.

Les huiles lourdes de pétrole distillant de 250° à 350° C. ont été employées aux États-Unis et en Suisse pendant la guerre.

173. Réalisation du lavage du gaz. — Le contact intime, à contre-courant, du gaz à laver et du solvant est obtenu dans des appareils appelés « laveurs ». Ils sont

généralement constitués par des colonnes analogues à

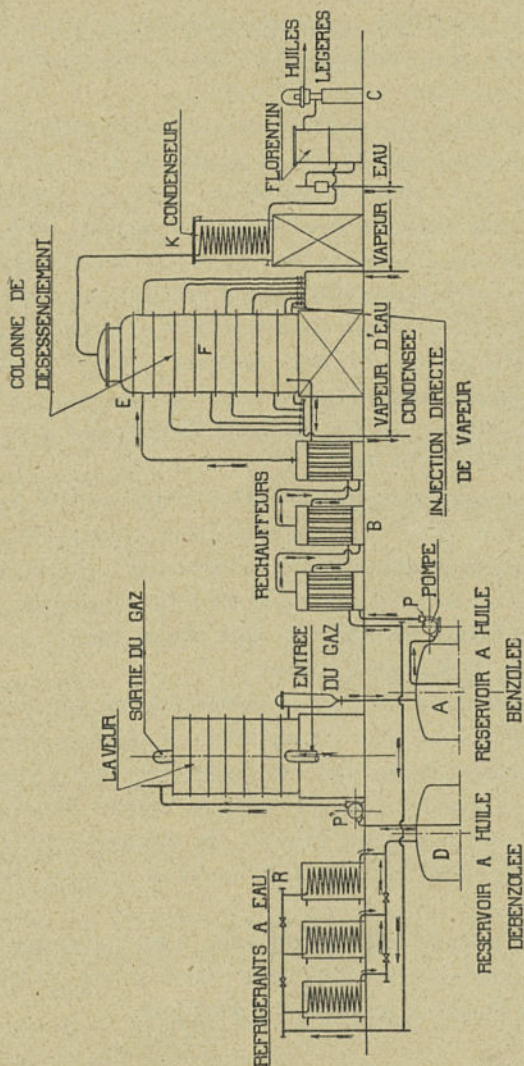


Fig. 83. — Débenzologie du gaz et déseschement de l'huile de lavage.

celles utilisées pour l'élimination de l'ammoniaque du gaz.

L'absorbant est puisé par une pompe dans un réservoir spécial et remonté à la partie supérieure du laveur (fig. 83). A sa sortie, il est dirigé dans un bac réservoir spécialement affecté au solvant saturé de benzol.

Le coefficient de solubilité des carbures benzéniques du gaz dans le liquide absorbant augmentant par refroidissement, il y a intérêt à maintenir, dans les appareils de lavage, une basse température. En général, l'opération s'effectue toujours au-dessous de 25° C. Il est important à cet égard de faire en sorte que le gaz soit toujours amené aux laveurs à une température inférieure à celle du liquide laveur. Le gaz est, en effet, toujours saturé d'humidité et son refroidissement dans le laveur provoquerait une condensation d'eau qui contrarierait l'absorption du benzol.

174. Considérations générales relatives aux laveurs.

— On peut classer les laveurs en trois grandes catégories :

1° Ceux qui travaillent par barbotage, dont le principe consiste à obliger le gaz à traverser une couche de liquide d'une certaine hauteur. A cette classe appartiennent les appareils P. Mallet et Livesey ;

2° Ceux dans lesquels le lavage s'opère par contact du gaz avec des surfaces constamment mouillées. On utilise généralement à cet effet des dispositifs appelés « remplissages » placés dans des colonnes, de façon à diviser le plus possible les fluides qui doivent les traverser (remplissages Zschocke, anneaux Raschig, anneaux Prymm, éléments Brégeat) ;

3° Ceux dans lesquels on agite mécaniquement l'huile pour la pulvériser ; dans cette classe on trouve les appareils standards et les laveurs centrifuges.

175. Colonne de lavage P. Mallet. — La colonne de lavage P. Mallet, tout comme une colonne d'appareil dis-

tillatoire, se compose essentiellement (fig. 84) de plateaux étagés traversés par des tubulures *t*, recouvertes de calottes C.

Le gaz, pénétrant par la partie inférieure de la colonne, monte de plateau en plateau en traversant les tubulures ; les calottes l'obligent à barboter dans l'huile de lavage.

Celle-ci suit un chemin inverse ; introduite par le haut de la colonne, elle descend de plateau en plateau par des tubulures T. L'efficacité du lavage ainsi obtenu se trouve encore accrue par la dentelure des calottes qui provoque une grande division du gaz et un mélange très intime avec le solvant.

Un autre avantage de cet appareil consiste dans la variation aisée du nombre des plateaux de lavage lorsqu'on veut changer le degré de perfection du travail.

Par contre, il absorbe, par rapport aux autres laveurs, une perte de charge importante.

176. Laveur Livesey. — (Voir page 39 description du laveur à ammoniacque du même type).

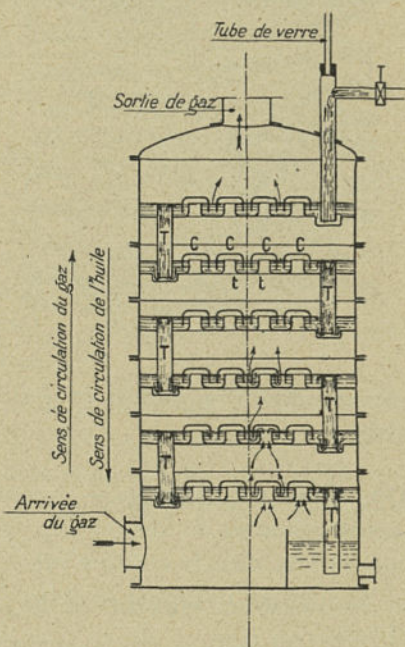


Fig. 84. — Colonne à plateaux P. Mallet.

177. **Laveurs à claies. Système Zschocke.** — Les claies superposées Zschocke sont constituées par des lames de

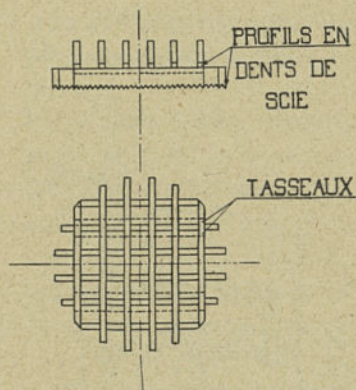


Fig. 85. — Claie système Zschocke.

bois dentelées (fig. 85) clouées parallèlement sur des barres, de manière à se tenir verticalement et à laisser entre elles de larges passages.

Dans l'enveloppe métallique de l'appareil, chaque couche de claies est posée sur la précédente de manière que les lames de deux couches immédiatement superposées se croisent à angle

droit. Les courants gazeux et liquides sont ainsi bien divisés.

178. **Anneaux Raschig.** — Les anneaux Raschig sont de petits cylindres de tôle ouverts suivant une génératrice et mis en vrac dans le cylindre vertical en tôle qui constitue le corps du laveur.

179. **Anneaux Prymm.** — Les anneaux Prymm sont formés également de petits cylindres dans lesquels les surfaces de contact sont augmentées, soit par un retour suivant un plan diamétral, [soit par une disposition spiriforme avec cylindre extérieur et intérieur, ce dernier faisant encore un retour suivant un plan diamétral (fig. 86).

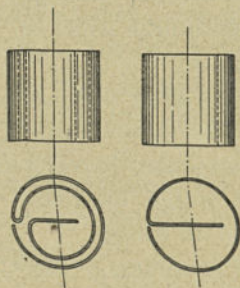


Fig. 86. — Anneaux Prymm.

180. Éléments Brégeat. — Les éléments Brégeat (fig. 87) sont constitués par un ensemble de bobines concentriques de diamètres différents ou de ressorts à boudin ayant le

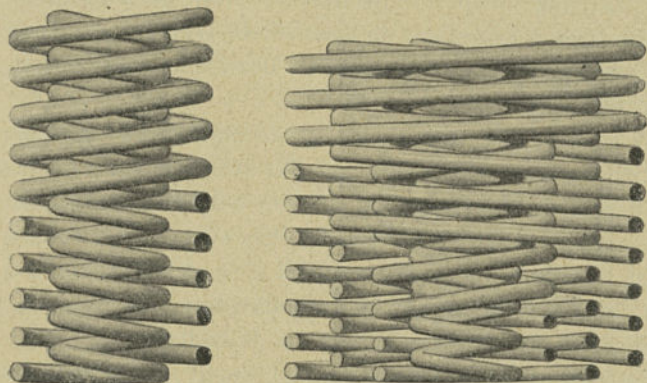


Fig. 87. — *Éléments Brégeat.*

même axe, obtenus à l'aide d'un même fil métallique. Comparés aux dispositifs précédents, ils ont l'avantage, à volume égal, d'être de poids moins élevé, de présenter une surface de contact plus grande et de provoquer une perte de charge moins importante.

181. Laveurs Standard et laveurs centrifuges. — (Voir pages 31 et 40, description des laveurs de ces deux types).

182. Désessenciment de l'huile. — Le désessenciment s'opère par chauffage de l'huile dans une colonne distillatoire à plateaux munis de cloches et de tubes de trop-plein.

Ces plateaux sont chauffés par de la vapeur circulant dans des tuyaux à ailettes. De plus, l'entraînement des carbures lourds du gaz dissous dans l'huile est facilité par

une petite admission directe de vapeur vive dans le plateau inférieur de la colonne ; on enlève ainsi commodément la naphthaline qui peut se trouver dans l'huile. C'est la raison pour laquelle, lorsqu'on introduit de l'huile de lavage dans le circuit pour remplacer de l'huile usée, il est recommandé de l'admettre dans la colonne de désessencier et non dans les laveurs.

Le schéma (fig. 83) montre une installation complète de débenzologie ; on y voit que les huiles légères du gaz s'échappent au sommet de la colonne à désessencier et sont refroidies dans un condenseur ; elles s'écoulent ensuite à l'état liquide dans un florentin où elles abandonnent leur eau, puis se rendent de là dans les réservoirs-magasins, après avoir traversé une éprouvette de coulage.

La colonne de désessencier F reçoit l'huile benzolée dans le deuxième plateau supérieur et la restitue débenzolée par son plateau inférieur. Les deux variétés d'huiles circulent à contre-courant dans des échangeurs de température B à faisceau tubulaire, où celle qui sort de la colonne chauffe celle qui va y entrer.

Ces échangeurs sont indispensables pour diminuer la consommation de chaleur, c'est-à-dire la dépense de vapeur.

Avec de l'huile saturée à 3 pour 100, on consomme environ, par kilogramme d'huile légère recueillie, de 3 à 4 kilogrammes de vapeur sous pression de 6 à 7 kilogrammes (30 à 40 pour 100 de cette quantité de vapeur sont utilisés sous forme d'injection directe dans l'huile).

183. Désessencier et fractionnement combinés.

— Dans certains appareils, et notamment dans ceux imaginés par M. P. Mallet, au lieu de condenser brusquement, en un seul lot, la totalité des huiles légères, on les fractionne par refroidissement progressif en 3 lots.

Pour cela on installe, en série avec la colonne de déses-

senciement, à la place du réfrigérant ordinaire, 3 colonnes dont les deux premières sont pourvues, à leur partie supérieure, de plateaux à circulation d'eau froide.

Chacune de ces colonnes reçoit, à sa base, les vapeurs qui viennent du sommet de la précédente et évacue, également par sa base, les parties les plus lourdes, mais liquéfiées, des vapeurs qu'elle a reçues ; la dernière colonne est reliée à un condenseur.

Il importe naturellement, pour obtenir des produits homogènes, de maintenir invariables les températures d'entrée et de sortie dans les colonnes en question.

184. Composition des huiles légères obtenues. — Les huiles légères brutes du gaz, obtenues par le lavage à l'huile lourde, donnent au fractionnement les résultats suivants rapportés à 1 litre :

	AU LABORATOIRE DE L'USINE A GAZ DE GENNEVILLIERS (1915)	D'APRÈS SAY ¹ (1909)
	départ	départ
Au-dessus de 72°..		
75°..		
80°..	20 ^{cc}	
— 85°..	201 ^{cc}	
— 90°..	422 ^{cc}	
— 95°..	490 ^{cc}	
— 100°..	532 ^{cc}	570 ^{cc}
— 110°..	589 ^{cc}	
— 120°..	632 ^{cc}	679 ^{cc}
— 130°..	658 ^{cc}	
— 140°..	686 ^{cc}	724 ^{cc}
— 150°..	713 ^{cc}	
— 160°..	750 ^{cc}	761 ^{cc}
Densité.	0,905	»

1. Voir *Bulletin de l'Industrie Minérale*, mai 1909.

Ces chiffres sont donnés à titre d'indication ; ils varient naturellement avec la composition chimique du gaz et la température à laquelle il est lavé.

185. Absorption du benzol au moyen du charbon de bois activé. — Certains corps solides absorbent facilement plusieurs fois leur volume de gaz ; ce phénomène fut étudié dès 1814 par de Saussure. Depuis quelques années, on a cherché à l'appliquer à la récupération du benzol en se servant de charbon de bois dont on augmente le pouvoir absorbant en le préparant d'une manière spéciale (activation).

Le charbon activé peut s'obtenir¹ en distillant de la sciure de bois ordinaire imprégnée d'une solution chaude de chlorure de zinc dans l'eau. La masse est chauffée jusqu'à commencement de distillation du chlorure de zinc, c'est-à-dire jusqu'à environ 600°. On lessive le produit obtenu à l'eau chaude chargée d'acide chlorhydrique jusqu'à complète élimination du zinc ; puis on dessèche complètement. Le charbon obtenu, réduit en grains passant entre les tamis de 2 millimètres et 1 millimètre, a une densité de 0,20 alors que le charbon de bois préparé à partir de la sciure seule, dans les mêmes conditions de température, a une densité de 0,14.

Au cours d'essais de laboratoire, nous avons pu ainsi faire absorber environ 34 grammes de benzol par mètre cube de gaz à 36^{gr},3 de charbon activé en grains de 2 à 4 millimètres.

Bayer, à Leverkusen, a opéré la récupération dans une petite usine à gaz produisant 1 600 à 2 000 mètres cubes par 24 heures.

Son installation comprend (fig. 88) deux filtres placés en

1. Voir brevet 290656 du 9 mars 1916, pris par l'Osterreichischer Verein für chemische und metallurgische Produktion.

parallèle entre les épurateurs et le gazomètre. Chacun de ces filtres contient, sur 1 mètre de hauteur, 780 litres, c'est-à-dire 195 kilogrammes de charbon activé, préparé à partir de la cellulose.

Le gaz traverse le filtre F_1 de haut en bas et y abandonne ses hydrocarbures ; pendant ce temps l'appareil F_2 est hors circuit.

Dès qu'on constate que le charbon du filtre en service est saturé, on dérive le courant gazeux sur le deuxième ; le premier, mis hors du circuit de gaz, est

connecté au condenseur C puis soumis à un jet de vapeur surchauffée à 250° C. et détendue à environ 400 grammes. Les produits condensés sont recueillis dans le séparateur S .

Il faut environ 20 minutes pour extraire 90 pour 100 du benzol absorbé par le charbon ; pour l'extraction du reste, il faut que la température de chauffage atteigne 120° .

D'après l'inventeur, il n'est pas nécessaire de refroidir le charbon pour recommencer l'absorption.

Le benzol obtenu par Bayer serait suffisamment propre pour être employé directement à l'alimentation des moteurs d'automobile ; évaporé à 110° , il laisserait seulement un résidu goudronneux pesant 0,02 pour 100 de la quantité essayée.

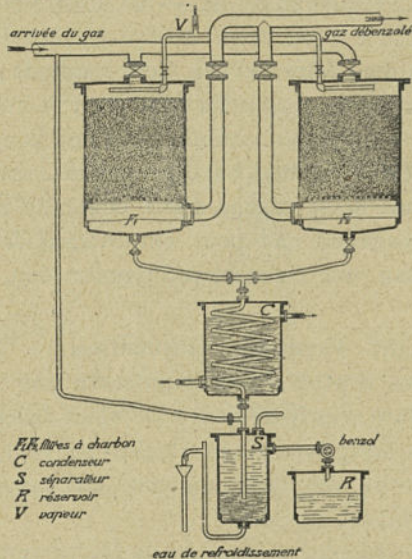


Fig. 88. — Procédé Bayer pour l'absorption du benzol au moyen du charbon de bois activé.

186. Liquéfaction du benzol par réfrigération du gaz.

— On peut aussi récupérer le benzol en soumettant le gaz à la température de -70° , c'est-à-dire en étendant à l'industrie le procédé de dosage de laboratoire indiqué par M. E. Sainte-Claire Deville. Cette méthode paraît de prime abord séduisante, mais les frigories à -70° coûtent cher. L'opération devrait naturellement être conduite par étapes, afin d'éviter le bouchage des canalisations par la [glace provenant de la vapeur d'eau contenue dans le gaz. Un bon lavage du gaz pour élimination de la naphthaline serait aussi une indispensable précaution.

187. Première rectification. — Les huiles légères du gaz sont d'abord soumises à une première distillation, ayant principalement pour objet de les débarrasser de l'huile de lavage entraînée. Le plus souvent, on effectue en même temps un fractionnement qui conduit à l'obtention des produits suivants :

- | | | |
|---|---|--|
| 1° Benzol brut. | } | contenant principalement le benzène, le toluène, quelquefois les xylènes ; |
| 2° Solvent lourd. | | |
| 3° Huile constituant le résidu laissé en chaudière. | | |

Le résidu soumis à la décantation laisse déposer la naphthaline, que l'on sépare de l'huile après cristallisation. Le solvant lourd, après purification par lavage, est vendu tel quel.

La distillation s'effectue à l'aide de l'appareil représenté schématiquement par la figure 89.

Il comprend :

1° Une chaudière cylindrique, horizontale, dans laquelle on introduit le produit à distiller et dont le chauffage est

obtenu à l'aide d'un faisceau tubulaire de vapeur, pouvant être facilement démonté ;

2° Une colonne à plateaux munis de cloches et trop-pleins, dont la partie supérieure est surmontée d'un coho-

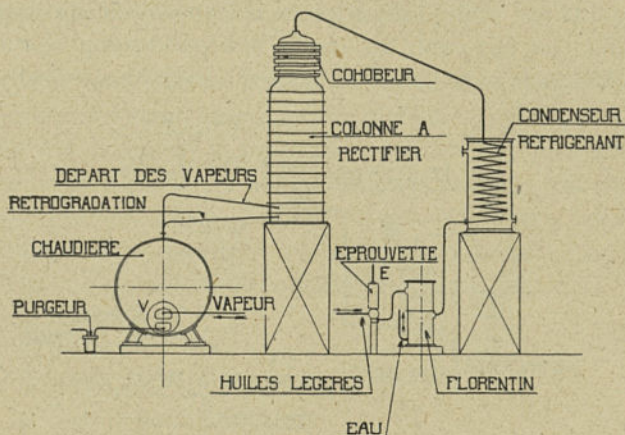


Fig. 89. — Schéma d'une installation de première rectification.

beur ou analyseur, permettant de régler la condensation des vapeurs à faire rétrograder dans la colonne ;

3° Un réfrigérant pour la condensation des vapeurs s'échappant de la colonne ;

4° Un florentin dans lequel sont envoyés les produits condensés ;

5° Une éprouvette de coulage E d'où les produits obtenus sont dirigés dans des bacs réservoirs.

On compte en général qu'il faut 1 kilogramme de vapeur à 6 ou 7 kilogrammes de pression par kilogramme d'huile légère traitée.

188. Lavage chimique. — Le benzol brut obtenu à la suite de la première rectification comprend, en dehors du benzène et de plusieurs de ses homologues supérieurs, un

certain nombre d'impuretés constituées par des carbures non saturés (butadiène, cyclopentadiène, indène), des coumarones, des composés sulfurés (sulfure de carbone, thiophène), quelques composés phénoliques et un peu de naphthaline. Afin d'éliminer la majeure partie de ces produits, on fait subir au benzol une purification chimique à la soude et à l'acide sulfurique. Ce dernier transforme

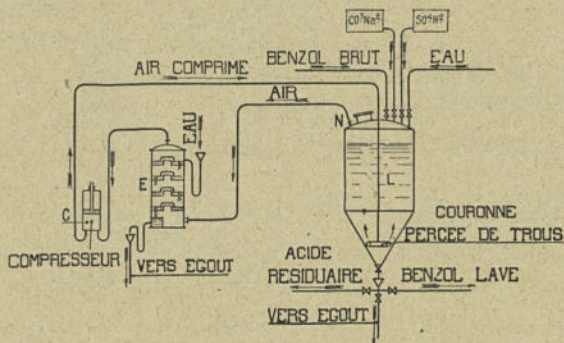


Fig. 90. — Schéma d'une installation de lavage chimique.

les composés non saturés, soit en éthers sulfuriques, soit en combinaisons complexes, qui sont tous éliminés sous forme de résidus acides. Les corps non saturés donnent aussi, par polymérisation, des résines qui demeurent en dissolution dans les benzols lavés et apparaissent ensuite dans les résidus de la distillation (résines de coumarone).

Pratiquement, on effectue deux lavages successifs à l'acide sulfurique à 66° B. (avec chaque fois 5 à 10 pour 100, en poids, du benzol traité) qui sont suivis d'un lavage à l'eau, puis d'un lavage au carbonate de soude (ou à la soude) pour neutraliser l'acide sulfurique restant; on termine par un lavage à l'eau.

Pendant le lavage acide, il se dégage du gaz sulfureux provenant de la réduction de l'acide sulfurique par certains composés organiques.

fractions successives pour obtenir les produits purs ; il s'ensuit des pertes par manipulation et des dépenses supplémentaires de main-d'œuvre et de vapeur. Le tableau ci-dessus montre la succession des opérations qu'il faut effectuer dans une usine où l'on prépare le benzène et le toluène purs par rectification discontinue.

190. Appareil à rectification continue. — Des appareils à marche continue ont permis de produire cette sépa-

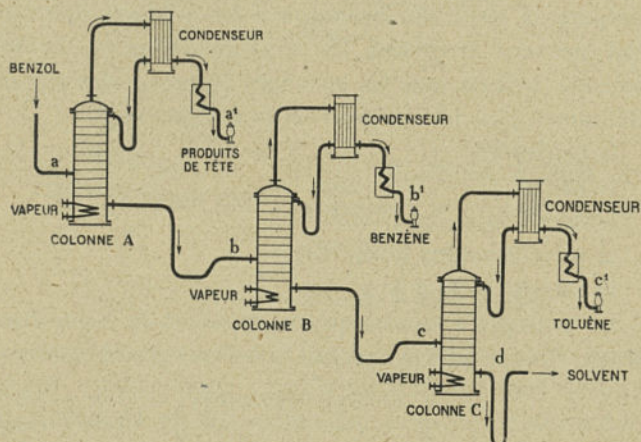


Fig. 91. — Schéma de l'appareil à rectification continue Egrot et Grangé.

ration avec une simplicité remarquable et une grande régularité d'allure.

L'appareil à rectification continue représenté figure 91 est celui que construit la Société des Anciens Établissements Egrot et Grangé. Il se compose d'un système de trois colonnes travaillant en série et munies chacune de ses organes de chauffage et de condensation. Le classement méthodique des produits sur les divers plateaux de ces colonnes permet d'obtenir d'une façon continue, d'une part, les produits de tête au maximum pratique de concen-

tration, d'autre part le benzène pur et le toluène pur, le résidu ou solvant s'écoulant de façon continue à la partie inférieure de la dernière colonne.

L'appareil fonctionne de la manière suivante : le benzol, provenant d'un bac en charge sur les colonnes, entre en *a* dans la colonne A ; sous l'action d'un système de chauffage établi à la base de la colonne, les produits de tête passent dans le condenseur de cette colonne et de là à une éprouvette *a*₁, où se règle la quantité à extraire. Par *b*, le benzol, débarrassé des produits de tête, entre dans la colonne B ; un système de chauffage permet de séparer le benzène par le procédé utilisé pour les têtes ; le benzène pur s'écoule par *b*₁. Le liquide arrivant par *c* dans la colonne C ne contient plus que du toluène et du solvant. Le toluène enlevé sous l'action d'un chauffage effectué à la base de C passe au condenseur de cette colonne et s'écoule par *c*₁. Le solvant restant sort de l'appareil par *d*, d'une façon continue.

Pour une alimentation constante en benzol lavé homogène, les quantités de vapeur et d'eau nécessaires sont à peu près invariables, de même que les quantités de produits finis obtenus ; on conçoit donc que la surveillance d'une telle fabrication soit très aisée.

Un appareil de cette construction a été installé à l'usine à gaz de Gennevilliers pour traiter 35 tonnes par jour d'un produit donnant à l'analyse :

Têtes riches en CS ₂	1,5 à 0,5 pour 100.
Benzène.	70 à 84 —
Toluène.	23,5 à 13 —
Solvant.	5 à 2,5 —

En exploitation, l'appareil a pu distiller, en 24 heures, jusqu'à 42 tonnes de benzol brut lavé, contenant plus de 30 pour 100 de toluène.

Les produits obtenus, non seulement répondent aux

conditions strictes de réception du Service des Poudres, mais ils ont été reconnus de grande pureté.

A l'épreuve de distillation, la différence entre la température initiale et la température au point sec (voir paragraphe 191) est généralement de $0^{\circ},5$ à $0^{\circ},7$: elle se tient toujours au-dessous de 1° C., aussi bien pour le benzène que pour le toluène.

191. Caractéristiques et contrôle des produits commerciaux. — Les différents produits commerciaux obtenus

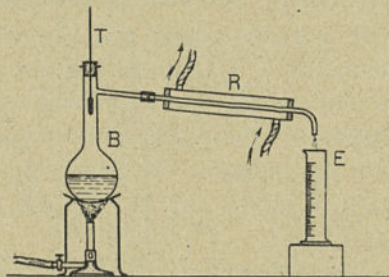


Fig. 92. — Appareil de contrôle des produits commerciaux.

par les procédés que nous venons d'examiner sont généralement caractérisés par leur courbe de distillation. Cette dernière s'obtient de la façon suivante (fig. 92) :

; 100 centimètres cubes du produit sont distillés dans un appareil constitué essentiellement par un ballon de 150 centimètres cubes de capacité, à tubulure latérale en verre prolongée par un tube d'étain. Celui-ci se trouve constamment refroidi extérieurement par circulation d'eau, dans le réfrigérant R.

Un thermomètre T, dont le réservoir se trouve un peu au-dessous de la tubulure latérale, indique à chaque instant la température des vapeurs s'échappant du ballon.

Les produits de la distillation sont recueillis dans une éprouvette E, graduée en centimètres cubes.

Le chauffage étant réglé de façon à distiller environ 10 centimètres cubes en 3 minutes, on note la température des vapeurs après avoir recueilli 5, 10, 15 centimètres cubes, etc. (ainsi de suite de 5 en 5 centimètres cubes) de produit dans l'éprouvette.

La température correspondant à la première goutte de liquide distillé constitue le *point de départ*. La température finale, indiquée par le thermomètre au moment où un petit dégagement de vapeurs blanches se produit autour d'un grain de faïence poreuse introduit dans le ballon au début de la distillation, constitue le *point sec*.

En portant en abscisses les volumes de distillat et en ordonnées les températures correspondantes, on obtient la courbe cherchée ; pour des corps parfaitement purs cette courbe est naturellement une horizontale ayant pour ordonnée la température d'ébullition du produit.

En ce qui concerne plus particulièrement le benzène et le toluène purs, des essais effectués au laboratoire de l'usine à gaz de Gennevilliers, ont montré que des traces de l'un de ces corps dans l'autre suffisaient à augmenter très nettement la différence de température entre le commencement et la fin de la distillation. Par exemple, l'addition de 1 pour 1000 de toluène à du benzène pur augmente cette différence de 0°,7.

Les mélanges commerciaux donnent des courbes de distillation qui sont spécifiques de chacun d'eux (voir fig. 93).

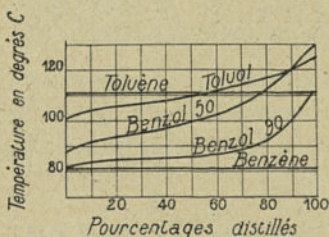


Fig. 93. — Courbes caractéristiques des produits commerciaux.

Nous indiquons dans le tableau suivant les caractères que doivent présenter les principaux de ces produits :

DÉSIGNATION DES QUALITÉS	DENSITÉ A 15°	ESSAI PAR DISTILLATION SUR 100 CENTIMÈTRES CUBES
Benzol 90. . . .	0,880-0,883	90 pour 100 avant 100° — point sec avant 120°.
Benzol 50. . . .	0,875-0,877	50 pour 100 à 100° — 90 pour 100 à 120°.
Toluol.	0,873-0,875	90 pour 100 entre 100° et 120°.
Solvent Naphta I..	0,874-0,880	au moins 90 pour 100 entre 120° et 160°.
Solvent Naphta II.	0,890-0,910	au moins 90 pour 100 entre 120° et 180°.
Benzine pure.. .	0,883-0,885 ¹	} 90 pour 100 doivent passer dans un intervalle de 0°,6. 95 pour 100 doivent passer dans un intervalle de 0°,8.
Toluène pur.. .	0,869-0,873 ¹	
Xylènes.	0,867-0,869	} 90 pour 100 doivent passer dans un intervalle de 3°,6. 95 pour 100 doivent passer dans un intervalle de 4°,5.
-		

1. Les conditions de réception sont les suivantes :

Benzine pure — Absence de sulfure de carbone et de thiophène.
On tolère 3/10000 de thiophène, 85^{cm3} de benzine étant agités pendant 5 minutes avec 15^{cm3} d'acide sulfurique à 66°, l'acide ne doit prendre immédiatement aucune coloration sensible. Au bout de 2 heures, la teinte doit être jaune paille.

Toluène pur. — Doit distiller dans l'intervalle de 1° compris entre 108°,5 et 111° à la pression de 760^{mm}. Tolérance d'écart 1°,5, mais à la condition que 90 pour 100 passent dans 0°,3.

Agité avec son volume d'acide sulfurique à 66°, doit rester presque incolore. En agitant 90^{cm3} de toluène avec 10 pour 100 d'acide nitrique de densité 1,44 à + 15°, l'acide doit seulement devenir rouge ; il ne doit ni verdir, ni épaissir. Le toluène ne doit pas colorer en bleu l'acide sulfurique en présence de l'isatine.

192. Influence du débenzolage sur le pouvoir calorifique du gaz. — La chaleur de combustion à pression

constante de chaque molécule-gramme des composants du benzol est :

Pour le benzène.	776,9	calories.
Pour le toluène.. . . .	933,8	—
Pour les xylènes.	1084,5	—

(Les produits de la combustion étant CO^2 à l'état gazeux et H^2O à l'état liquide).

Si nous admettons que ces corps se trouvent dans le benzol dans les proportions respectives de 75, 14 et 11 pour 100, comme nous l'avons supposé au § 166, le pouvoir calorifique supérieur du litre de benzol à l'état de vapeur est 37,3 calories et celui du gramme, 10,15 calories, le volume occupé par un gramme de benzol dans le gaz étant 0,272.

Si nous appelons :

P , le pouvoir calorifique supérieur du mètre cube de gaz,

p , le pouvoir calorifique du gramme de benzol,

v , le volume en mètre cube occupé par le gramme de benzol dans le gaz,

le pouvoir calorifique P' du gaz, après élimination d'un gramme de benzol, sera :

$$P' = \frac{P - p}{1 - v}$$

On aura :

$$P - P' = \frac{P(1 - v) - P + p}{1 - v} = \frac{p - Pv}{1 - v}$$

Ou, en remplaçant p et v par leurs valeurs :

$$P - P' = \frac{10,15 - P \times 0,000272}{1 - 0,000272} = 10,152 - P \times 0,00027207$$

Pour $P = 5000$, on a :

$$P - P' = 10,152 - 5000 \times 0,00027207 = 8,792 \text{ calories.}$$

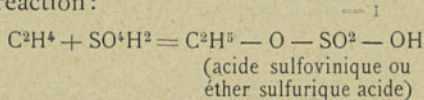
Ainsi l'enlèvement de 1 gramme de benzol dans un gaz moyen abaisse le pouvoir calorifique supérieur d'environ 8,8 calories; si on en extrait 30, l'abaissement sera de

264 calories, soit 5,3 pour 100 environ, c'est-à-dire une quantité presque négligeable.

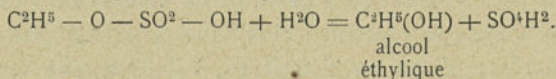
193. Influence du débenzolage sur le pouvoir éclairant du gaz. — Dans un gaz d'éclairage normal le pouvoir éclairant, d'après M. E. Sainte-Claire Deville, est dû pour 65 pour 100 aux carbures de la série benzénique. D'autre part l'enlèvement, par les procédés actuellement en usage, de la totalité de ces carbures par le débenzolage est une opération industriellement impossible : on peut estimer que les meilleurs procédés obligent toujours à laisser dans le gaz 10 à 20 pour 100 du benzol qu'il contient ; la réduction que le débenzolage fait subir au pouvoir éclairant est donc de l'ordre de 52 à 60 pour 100. Mais la généralisation de l'emploi des appareils à incandescence pour l'éclairage étant depuis longtemps un fait accompli, cette réduction est sans importance pratique et c'est la raison pour laquelle le débenzolage passa inaperçu pendant les hostilités là où le gaz put être distribué avec une pression convenable.

194. Récupération de l'éthylène dans le gaz d'éclairage. — Dans une note présentée à l'Académie des Sciences, en décembre 1919, M. E. de Loisy indique un procédé industriel de fabrication de l'alcool synthétique à partir du gaz de houille.

La méthode employée est basée sur la fixation de l'éthylène contenu dans le gaz par l'acide sulfurique concentré, d'après la réaction :



suivie d'une saponification par l'eau :



On sait que la première réaction, indiquée par Berthelot, est extrêmement lente et nécessite une agitation prolongée, mais MM. Lebeau et Damiens ont montré que la présence de certaines substances catalysantes (anhydrides vanadique, uranique, tungstique, molybdique, oxyde et chlorure cuivreux) rendaient immédiate la combinaison de l'éthylène et de l'acide¹.

M. de Loisy, en utilisant ces catalyseurs, a songé à extraire l'éthylène du gaz d'éclairage.

Au préalable, le gaz est desséché par l'acide sulfurique, puis on élimine le propylène et le butylène à l'aide d'acide sulfurique à 63° B.; l'absorption de l'éthylène se fait ensuite par l'acide à 66° B. chargé de 4 pour 100² de Cu²O ou Cu²Cl².

Après saponification de l'acide sulfovinique, l'acide sulfurique dilué obtenu peut être utilisé pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque; mais comme la quantité d'ammoniaque du gaz est insuffisante pour employer tout l'acide dilué, il devient nécessaire de concentrer l'excès de ce dernier pour obtenir une régénération de l'acide sulfurique concentré employé: l'auteur préconise l'utilisation des chaleurs perdues des fumées. La teneur en éthylène du gaz d'éclairage varie entre 1,5 et 2 pour 100 en volume.

Cet exposé permet de remarquer qu'une tonne de houille distillée devrait donner environ 4^m³,5 d'éthylène, correspondant théoriquement à 11 litres d'alcool absolu.

1. *Annales de Chimie*, 9^e série, t. VIII, p. 245, 1917.

2. *Compte rendu général du Congrès International des Combustibles liquides, Chimie et Industrie.* — Mai 1923.

CINQUIÈME PARTIE

XIII. — TRAITEMENT DU COKE

195. Emplois du coke. — Dans l'industrie du gaz, le coke est le principal sous-produit de la distillation de la houille. Ses qualités et le perfectionnement continu de ses modes d'emploi en font un combustible de plus en plus recherché, à la fois pour l'industrie et les besoins domestiques.

Les usines à gaz utilisent une certaine partie du coke produit dans les fours pour leurs propres besoins dont les principaux sont :

- l'alimentation des gazogènes des fours ;
- la fabrication du gaz à l'eau ;
- l'alimentation des chaudières à vapeur.

La quantité de coke restante est mise à la vente. Elle est variable avec les moyens de travail et l'importance des usines ; dans les installations moyennes elle est comprise entre 40 et 50 pour 100 du charbon distillé.

D'après les statistiques établies avant la guerre, 74 pour 100 du coke disponible pour la vente étaient consommés par l'industrie contre 26 pour 100 consacrés aux besoins domestiques.

196. Qualités du coke de gaz. — La qualité du coke est essentiellement liée à la nature du charbon dont il est issu.

Le coke contient principalement du carbone fixe avec

une quantité variable de cendres, environ 1 pour 100 d'hydrogène et très peu d'azote et d'oxygène.

On retrouve évidemment dans le coke la presque totalité des cendres contenues dans le charbon. Elles se composent surtout de silice et d'alumine en proportions variables avec de faibles quantités de chaux, de magnésie, d'oxyde de fer, de manganèse, de phosphore et de soufre.

En ce qui concerne ce dernier corps, il est intéressant de remarquer que la distillation en vase clos a éliminé, sous forme de sulfure de carbone, d'hydrogène sulfuré et de produits organiques complexes, sa partie la plus volatile, c'est-à-dire la plus immédiatement active.

D'une manière générale, le coke contient le même pourcentage de soufre que la houille dont il est extrait. Ce soufre semble même posséder une forme plus stable, ce qui est avantageux pour la conservation des appareils d'utilisation.

Au point de vue physique, le coke se présente sous un aspect gris argenté, avec une structure poreuse. Il constitue un combustible léger dont la densité varie avec la nature des charbons distillés, le mode et la température de la distillation. L'hectolitre de coke peut en effet peser de 40 à 60 kilogrammes. Les cokes provenant des cornues verticales à distillation discontinue ainsi que des fours à chambres sont plus lourds que les cokes produits dans les cornues horizontales. Par contre, les fours à distillation continue semblent produire un coke sensiblement plus léger.

Le pouvoir calorifique du coke dépend également de la qualité du charbon qui l'a produit.

La formule expérimentale suivante permet de déterminer le pouvoir calorifique brut d'un coke en connaissant sa teneur en carbone fixe N :

$$P_c = 79,6 N,$$

P_c étant le pouvoir calorique absolu du combustible brut humide.

La tenue au feu du coke est particulièrement bonne. Porté à haute température, ce combustible ne se ramollit pas et il subit une déformation régulière. Il brûle en effet presque uniquement par surface, la combustion l'usant de l'extérieur à l'intérieur.

197. Criblage et conditionnement du coke. — Le coke, au sortir des récipients de distillation et des appareils d'extinction, se présente sous la forme de morceaux de grosseurs différentes mélangés de poussier. Ce coke appelé tout venant ne répond pas bien aux besoins des consommateurs, en raison de son état de division très inégal.

Nous avons déjà indiqué¹ l'intérêt que présente, au point de vue de sa bonne utilisation, l'usage de coke en morceaux réguliers d'égale grosseur.

C'est dans le but de satisfaire à ces conditions de calibrage, d'ailleurs variables suivant les modes d'emploi, que les usines à gaz procèdent au criblage et au conditionnement des cokes qu'elles produisent.

La classification et la terminologie fixées par le Comité Central des Cokes de France et adoptées par un grand nombre d'usines françaises sont les suivantes :

Poussier.	Passant à la maille carrée de 13 millimètres.
Grésillon.	Compris entre les mailles carrées de 13 et 20 millimètres.
N° 0.	— — — 20 et 35 —
N° 1.	— — — 35 et 45 —
N° 2.	Refus de la maille carrée de 45 millimètres ou gros coke.

198. Meilleures conditions de criblage et de manutention du coke. — La bonne réalisation du criblage demande que le coke soit séparé en catégories de différentes

1. Voir *Les Procédés modernes de l'Industrie du gaz, La Distillation de la houille*, par R. MASSE et A. BARIL, § 69 et 212.

grosseurs avec le minimum de manutention, afin d'éviter les chutes et les frottements qui provoquent le bris des morceaux et augmentent la proportion de poussier dont la valeur commerciale est inférieure.

199. Trommels. — L'appareil de criblage le plus communément employé est le trommel qui est constitué par un

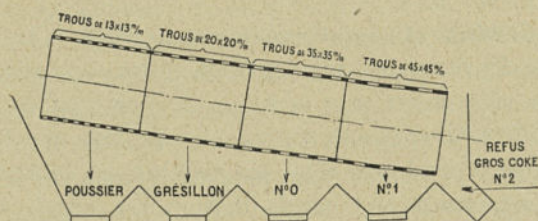


Fig. 94. — Schéma d'un trommel.

grand cylindre tournant autour de son axe légèrement incliné sur l'horizontale (fig. 94).

Les parois du cylindre sont des tôles percées de trous dont les dimensions sont croissantes et correspondent aux différentes catégories recherchées.

Le coke, entraîné par le mouvement de rotation du

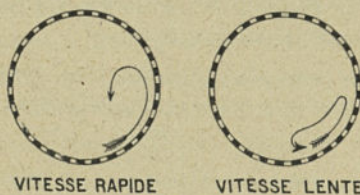


Fig. 95. — Mouvement du coke dans un trommel.

cylindre, remonte avec la paroi jusqu'au moment où son poids le fait retomber.

Afin d'éviter des chutes trop importantes de la matière, les trommels sont animés de vitesses lentes qui permettent au coke de revenir en arrière en frottant sur lui-même (fig. 95).

La vitesse à imprimer aux trommels dépend de l'importance de leur diamètre. On cherche à donner aux tôles une

vitesse linéaire d'environ 70 à 80 centimètres par seconde. Un trommel de 2 mètres de diamètre donne donc de bons résultats en tournant à la vitesse de 7 tours par minute et il peut débiter, dans ces conditions, de 45 à 50 tonnes à l'heure.

La longueur des trommels varie également avec le débit et peut atteindre jusqu'à 20 mètres.

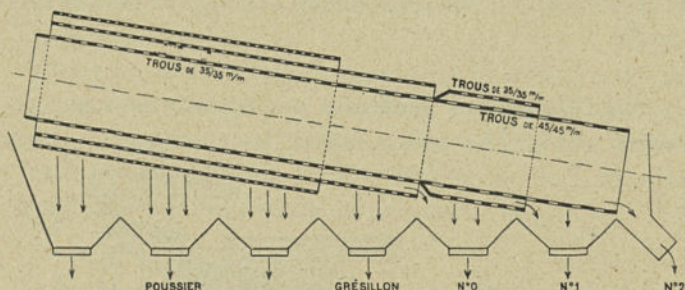


Fig. 96. — Trommel à plusieurs enveloppes.

Afin de diminuer l'encombrement en longueur de ces appareils, certains constructeurs ont établi des trommels à double ou à triple enveloppe (fig. 96).

200. Tables à secousses. — Pour supprimer la chute du coke qui se produit dans le trommel, un certain nombre d'usines utilisent des tables à secousses.

Ces tables sont constituées par des tôles perforées comme les parois des trommels. Les secousses font avancer lentement la matière sur la table. Leur amplitude est assez faible pour que le coke quitte à peine la surface de la tôle. Pour réduire la longueur des appareils, il est possible d'utiliser un certain nombre de tables superposées. L'inconvénient des tables à secousses réside dans leur mode de fonctionnement qui cause des vibrations et rend leur entretien relativement coûteux.

201. Autres appareils classeurs. — D'autres appareils classeurs sont beaucoup moins utilisés. Le crible Coxe fonctionne suivant un mouvement giratoire en évacuant d'abord les morceaux les plus gros.

Les séparateurs à rouleaux procèdent par passage du coke à travers des cannelures disposées en hélice et dont les sections croissantes correspondent aux dimensions de la classification. Ils ont l'avantage d'éviter les chutes et les chocs.

202. Dispositions générales des installations du criblage. — Dans les petites usines, les entraîneurs extinc-

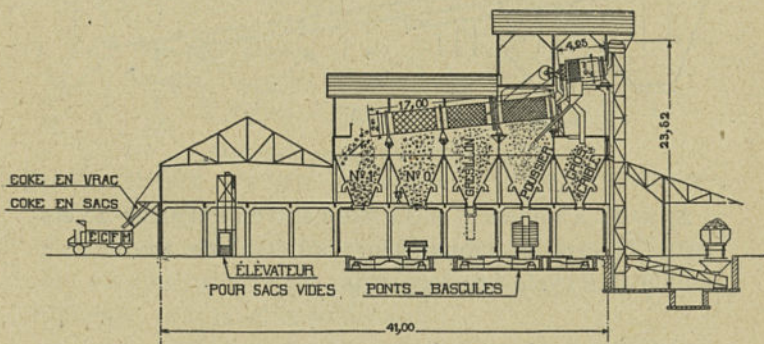


Fig. 97. — Installation de criblage du coke de l'Usine à gaz de Gennevilliers.

teurs conduisent directement le coke aux appareils de classement qui fonctionnent ainsi périodiquement à chaque défournement. L'installation de criblage est alors disposée immédiatement à côté de la halle des fours.

Dans les exploitations importantes qui possèdent plusieurs ateliers de distillation, le coke est d'abord emmagasiné dans des silos voisins des fours. Il peut être éventuellement disposé dans des parcs munis de manutention mécanique. Une installation centrale de criblage travaille continuellement pour toute l'usine et est alimentée par

voie ferrée ou par transporteurs mécaniques, les reprises nécessaires étant faites suivant les besoins dans les différents silos ou parcs à coke. La figure 97 représente le schéma de l'installation de criblage de l'usine à gaz de Gennevilliers.

Après classement, le coke est réparti dans une série de trémies qui permettent, soit de le charger directement en wagons ou en camions, soit de procéder sur place à l'ensachage nécessaire.

Pour toutes ces manutentions, il est utile de prendre des précautions spéciales et d'utiliser notamment des goulottes longues et peu inclinées, afin d'éviter tout froissement ou chute du coke capable de diminuer par morcellement la valeur marchande du produit.

SIXIÈME PARTIE

XIV. — TRAITEMENT DES EAUX AMMONIACALES

203. Eaux ammoniacales. — Les eaux ammoniacales obtenues dans les citernes après séparation du goudron par décantation constituent un liquide de densité supérieure à 1, de couleur légèrement jaune et répandant une forte odeur d'ammoniaque et de sulfure de carbone.

Au point de vue chimique, ces eaux constituent une solution aqueuse très diluée de gaz ammoniac et de différents sels ammoniacaux dont quelques-uns seulement appelés « sels volatils » sont décomposés par la chaleur ; les autres appelés « sels fixes » se décomposent seulement sous une action chimique.

Les principaux composés que peuvent contenir les eaux ammoniacales sont les suivants :

	FORMULE	POIDS MOLÉCULAIRE
1 ^o Sels peu stables dits « volatils » :		
Carbonate d'ammonium.	$\text{CO}_3(\text{NH}_4)^2$	96
Sulfure d'ammonium.	$\text{S}(\text{NH}_4)^2$	68
Sulfhydrate d'ammonium.	$\text{HS}(\text{NH}_4)$	51
2 ^o Sels stables dits « fixes » :		
Chlorure d'ammonium.	NH_4Cl	53,5
Sulfocyanure d'ammonium.	SNH_4Cy	76
Sulfite d'ammonium.	$\text{SO}_3(\text{NH}_4)^2$	116
Hyposulfite d'ammonium.	$\text{S}^2\text{O}_3(\text{NH}_4)^2$	148
Sulfate d'ammonium.	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)^2$	132
Cyanure d'ammonium.	NH_4Cy	44

Les sels volatils comme l'ammoniac (voir paragr. 43) sont d'autant moins solubles dans l'eau que la température de cette dernière est plus élevée.

La valeur d'une eau ammoniacale dépend de sa teneur totale en ammoniacque.

Cette teneur varie en général de 1 à 3 pour 100; elle a une certaine influence sur la densité du liquide et l'on peut, pour des déterminations approximatives, se servir des indications d'un aréomètre Baumé.

Les résultats suivants montrent les limites entre lesquelles se tient l'imprécision de ces mesures :

EAUX AMMONIACALES BRUTES.

DENSITÉ EN DEGRÉS BAUMÉ	TENEUR EN AMMONIAQUE POUR 100
2°	de 1,16 à 1,77
2°,5	— 1,30 — 2,65
3°	— 1,63 — 2,45
3°,5	— 1,87 — 2,72
4°	— 2,55 — 3,40
4°,5	— 2,79 — 3,55

Pour des déterminations exactes, il est indispensable d'établir, par une analyse chimique, la teneur des eaux en ammoniacque volatile et en ammoniacque totale.

La différence de ces 2 valeurs donne la teneur en ammoniacque fixe, chiffre utile à connaître pour calculer les quantités de bases fortes à mettre en jeu pour dégager l'ammoniacque de ses sels stables.

Nous donnons ci-après quelques résultats d'analyses faites, à l'usine à gaz de Gennevilliers, sur des eaux ammoniacales utilisées pour la fabrication du sulfate et provenant de charbons de différentes origines (1922).

EAUX AMMONIACALES TRAITÉES.

NATURE DU CHARBON DISTILLÉ	PROPORTION DE L'AMMONIAQUE VOLATILE (NH ₃ LIBRE OU A L'ÉTAT DE COMPOSÉS PEU STABLES) PAR RAPPORT A L'AMMONIAQUE TOTALE POUR 100
Boldon.	70,2
Towneley.	79,6
Londonderry.	79,4
Thornley	63,7
Finès de Marles.	93,2

Généralement les eaux ammoniacales contiennent, par litre, 10 à 12 grammes de gaz ammoniac dissous ou combiné; elles constituent donc un produit dont la valeur, rapportée au poids, est si faible que sa transformation sur place s'impose. La plupart des usines à gaz sont, pour cette raison, aménagées de manière à fabriquer l'un ou l'autre des produits suivants :

- 1° sulfate d'ammoniaque,
- 2° eaux ammoniacales concentrées,
- 3° gaz ammoniac pur, liquéfié ou en dissolution dans l'eau distillée.

204. Production et consommation de sulfate d'ammoniaque. — Dans tous les pays du monde, la production et la consommation des engrais azotés, particulièrement du sulfate d'ammoniaque, sont en croissance très rapide ainsi que le montrent les tableaux de la page 196.

Cette progression continue à se manifester. D'après M. Matignon, l'Allemagne devait produire pendant l'année agricole 1922-1923 (du 1^{er} mai au 30 avril) environ 350 000 tonnes d'azote (ce qui pourrait donner 1 750 000 tonnes de sulfate d'ammoniaque). La production de la France pour 1922, d'après le Comptoir Français du Sulfate d'Ammoniaque, a été d'environ 60 000 tonnes, dont 25 000 provenant

des usines à gaz. La consommation a été de 137 000 tonnes nécessitant une importation de 77 000 tonnes, soit plus de 100 pour 100 de la production nationale.

ANNÉES	PRODUCTION DE SULFATE D'AMMONIAQUE EN TONNES ¹		
	FRANÇAISE	ALLEMANDE	MONDIALE
1900	40 000	130 000	450 000
1910	57 000	368 000	1 070 000
1913	75 000	550 000	1 440 000
1920	57 000 ²	950 000	2 090 000
1921	62 000 ²	1 000 000	2 110 000

1. D'après les statistiques du Comptoir Français du Sulfate d'Ammoniaque.
2. Y compris la production de l'Alsace, de la Lorraine et de la Sarre.

ANNÉES	CONSOMMATION DE SULFATE D'AMMONIAQUE EN TONNES ¹		
	FRANÇAISE	ALLEMANDE	MONDIALE
1900	52 000	126 000	410 000
1910	83 000	350 000	1 010 000
1913	104 300	460 000	1 286 000
1920	78 200	470 000	1 396 000

1. D'après les statistiques de l'Annuaire Lambert (1922).

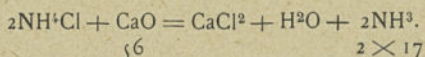
On peut donc actuellement trouver facilement dans notre pays des débouchés pour le sulfate d'ammoniaque. Sa production peut être avantageusement développée dans les usines à gaz françaises, tant au point de vue de leur propre intérêt qu'au point de vue plus élevé de l'économie générale du pays.

205. Théorie de la fabrication du sulfate d'ammo-

niaque. — On extrait sous forme de vapeur toute l'ammoniaque contenue dans les eaux.

Les sels peu stables sont décomposés par la chaleur. Les sels fixes sont traités par la chaux.

La réaction qui se produit pour le chlorure d'ammonium, par exemple, est la suivante :



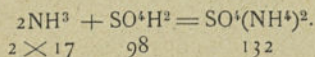
Si donc nous appelons f la teneur de l'eau en ammoniaque sous forme de sels fixes, évaluée en grammes par litre, il faudra ajouter à 1 mètre cube d'eau :

$$1\ 000 \text{ grammes} \times \frac{f \times 56}{2 \times 17} = \frac{f \times 28}{17} \text{ kg. de chaux vive CaO.}$$

Si la chaux utilisée ne contient que C pour 100 de chaux vive, il faudra utiliser par mètre cube d'eau ammoniacale :

$$\frac{f \times 28 \times 100}{17 \times C} \text{ kg. de chaux à } C \text{ pour 100 de CaO.}$$

Le gaz ammoniac ainsi libéré, joint à celui qui est dégagé par le chauffage, est mis en contact avec de l'acide sulfurique qui se combine avec lui pour former du sulfate d'ammoniaque :



Il est donc nécessaire d'utiliser 98 parties en poids d'acide sulfurique pur pour traiter 34 parties d'ammoniaque et former 132 parties de sulfate.

Le tableau suivant indique les teneurs en acide sulfurique pur monohydraté de densité 1,842 (correspondant à 66° Baumé) des différents acides commerciaux utilisés dans la pratique.

DENSITÉ DES SOLUTIONS D'ACIDE SULFURIQUE
(D'APRÈS LUNGE ET ISLER).

POIDS SPÉCIFIQUE A 15 DEGRÉS	DEGRÉS BAUMÉ	TENEUR EN SO ⁴ H ² EN POIDS POUR 100	POIDS DE SO ⁴ H ² DANS UN LITRE D'ACIDE EN KILOGRAMMES
1,530	50,0	62,53	0,957
1,545	50,9	63,85	0,987
1,565	52,1	65,49	1,025
1,580	53,0	66,71	1,054
1,600	54,1	68,51	1,096
1,615	55,0	69,89	1,128
1,635	56,0	71,57	1,170
1,650	56,9	72,82	1,202
1,670	57,9	74,51	1,244
1,690	58,9	76,30	1,289
1,710	60,0	78,04	1,334
1,735	61,1	80,24	1,392
1,755	62,1	82,00	1,439
1,775	63,0	83,90	1,489
1,795	64,0	86,30	1,549
1,820	65,0	90,05	1,639
1,831	65,5	92,30	1,690
1,840	65,9	95,60	1,759

A titre d'exemple, si l'on utilise de l'acide à 53° Baumé qui contient en poids 66,71 pour 100 de SO⁴H², on devra compter, pour fabriquer une tonne de sulfate d'ammoniaque, sur une quantité d'acide égale à :

$$\frac{98 \times 100}{66,71 \times 132} = 117,113.$$

Le sulfate d'ammoniaque est un sel incolore qui cristallise dans le système orthorhombique. Sa densité est 1,77. Il fond à 140° et commence à se décomposer en ses éléments à 280°. Il est très soluble dans l'eau, ainsi que le montre le tableau suivant.

SOLUBILITÉ DU SULFATE D'AMMONIAQUE DANS L'EAU.

TEMPÉRATURE	NOMBRE DE PARTIES DISSOUTES DANS 100 PARTIES D'EAU
0°	71
10°	73,6
20°	76
30°	79
40°	82
50°	84
60°	87
70°	89
80°	92
90°	95
100°	98

La valeur du sulfate d'ammoniaque, au point de vue de son utilisation comme engrais, dépend de sa teneur en azote qui est théoriquement $\frac{28 \times 100}{132} = 21,2$ pour 100 correspondant à une teneur en ammoniaque égale à 25,8 pour 100.

Pratiquement, la teneur en ammoniaque s'obtient en distillant une solution de 1 gramme de sulfate dans 50 centimètres cubes d'eau dans laquelle on ajoute 2 à 3 centimètres cubes de lessive de soude diluée avec 150 centimètres cubes d'eau. Le gaz ammoniac dégagé est recueilli dans une solution d'acide sulfurique normal à 5 pour 100 dont on titre l'excès par la soude normale (40 grammes de NaOH par litre). Chaque centimètre cube d'acide correspond à 0^{gr},0173 de NH³.

206. Disposition générale d'un atelier de sulfate d'ammoniaque. — Un atelier de fabrication de sulfate

d'ammoniaque, représenté schématiquement sur la figure 98, fonctionne de la manière suivante :

Après s'être réchauffées dans un échangeur de température aux dépens des eaux épuisées dont le traitement vient de s'achever, les eaux ammoniacales brutes entrent dans une colonne distillatoire ; en les chauffant par injection de vapeur, l'ammoniac et les sels ammoniacaux volatils se dégagent. Peu à peu ces derniers se décomposent sous

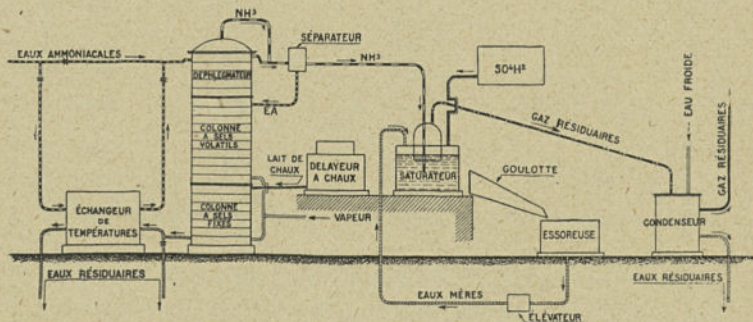


Fig. 98. — Schéma d'une installation pour la fabrication de sulfate d'ammoniaque.

l'action de la chaleur ; puis, sous l'action de la chaux introduite sur le parcours des eaux, les sels fixes abandonnent également leur gaz ammoniac.

Ce dernier est alors conduit dans un appareil appelé saturateur où il barbote dans l'acide sulfurique et donne naissance au sulfate qui cristallise, qu'on essore et qu'on sèche quelquefois par chauffage.

Les vapeurs d'acide rongent rapidement le fer, la charpente du bâtiment est construite en bois : toutes les maçonneries pouvant recevoir des égouttures, ou susceptibles d'être atteintes par des fuites, sont préservées par des revêtements en plomb. Le sol est revêtu d'une matière inattaquable aux acides, souvent constituée par du grès enrobé dans de l'asphalte.

Enfin, toutes les tuyauteries servant au transport de l'acide ou des eaux-mères sont en plomb et les robinets de manœuvre en grès, en plomb ou en bronze phosphoreux.

207. Échangeurs de température. — Les échangeurs de température, destinés à récupérer la chaleur emportée par les eaux résiduares en élevant la température des eaux neuves avant leur entrée dans les appareils de distillation,

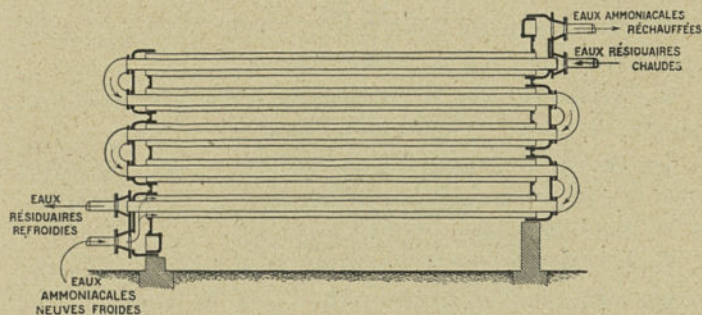


Fig. 99. — Échangeurs de température.

permettent d'importantes économies sur la quantité de vapeur consommée par les colonnes. Ils sont souvent constitués, comme les condenseurs réfrigérants, par des faisceaux tubulaires maintenus dans des cylindres verticaux, l'un des liquides circulant de bas en haut et l'autre de haut en bas.

D'autres appareils comprennent seulement plusieurs séries de deux tubes en fonte, concentriques et horizontaux, parcourus en sens inverse par les deux liquides (fig. 99).

Dans un appareil de ce genre comportant 8 éléments de 2,50 mètres de long qui reçoit à l'heure 5 tonnes 200 d'eau brute et qui évacue 6 tonnes 700 d'eau résiduaire, on constate un abaissement de 14° (100 à 86°) du liquide sortant pour un échauffement de 18° (15 à 33°) du liquide entrant.

On peut évidemment faire mieux en accroissant le nombre des éléments.

208. Appareils distillatoires. — Pour dégager le gaz ammoniac de la grande quantité d'eau où il se trouve dissous à l'état libre ou combiné, il est nécessaire de procéder à la distillation des eaux ammoniacales.

Elle a lieu dans des appareils qui peuvent être chauffés soit :

- 1° directement par foyer,
- 2° indirectement à la vapeur (serpents);
- 3° directement par la vapeur (surchauffée ou non) mélangée aux eaux.

Les essais industriels ont montré que ce dernier mode était le plus avantageux au point de vue du rendement. C'est donc celui qui est le plus employé.

La distillation s'opère le plus souvent dans des colonnes à plateaux, dont la généralisation pour la fabrication du sulfate est due à M. Paul Mallet.

L'appareillage se compose théoriquement de 3 éléments : le déphlegmateur, la colonne à sels volatils et la colonne à chaux ou à sels fixes qui sont disposés verticalement en série, dans l'ordre où nous les avons énoncés ; les vapeurs produites suivent un parcours vertical de bas en haut, les eaux s'écoulent en sens inverse.

209. Déphlegmateur. — Le déphlegmateur est un appareil dans lequel un refroidissement extérieur provoque la déphlegmation, c'est-à-dire la condensation des produits les moins volatils contenus dans les vapeurs distillées, grâce à quoi ces dernières s'enrichissent progressivement en NH_3 .

Il sert en même temps de récupérateur de chaleur en réchauffant les eaux ammoniacales neuves avant leur entrée dans la colonne à sels volatils.

□ L'appareil en forme de cylindre (fig. 100) est constitué par deux parties concentriques nettement distinctes.

La partie centrale fait suite à la colonne à sels volatils. Elle comporte quatre ou cinq éléments superposés dont chacun est constitué, à la partie supérieure, par une cuvette

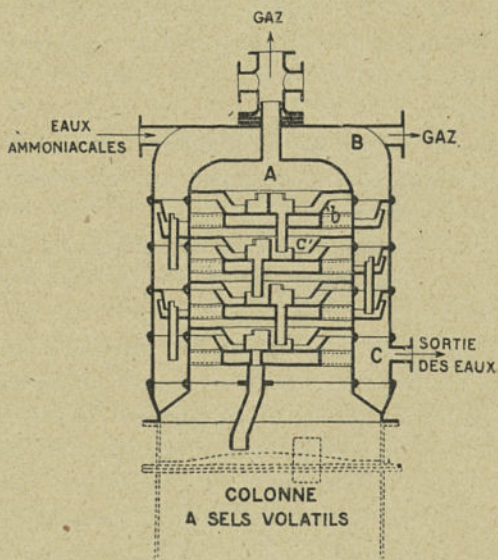


Fig. 100. — Déphlegmateur.

b à bords évasés et, à la partie inférieure, par une cloison horizontale *c* dont le centre ouvert est prolongé par une paroi en forme de tronc de cône renversé qui pénètre dans la cuvette de l'élément suivant.

Chaque cuvette communique avec celle qui est située au-dessous d'elle par un tuyau de débordement facilitant l'écoulement du liquide qui ruisselle de plateau en plateau jusqu'au bas de l'appareil d'où il passe dans la colonne à sels volatils.

Les vapeurs ammoniacales cheminent en sens inverse.

Les parois inclinées de la cloison *c* les forcent à barboter dans le liquide de chaque cuvette avant d'être évacuées par la tubulure *A*.

La partie annulaire de l'appareil est formée par une série d'éléments à cuvettes analogues à ceux que nous venons de décrire. Les eaux ammoniacales neuves, introduites par le haut, les parcourent successivement et s'écoulent jusqu'à la tubulure *C* d'où elles sont dirigées dans la colonne à sels volatils.

Pendant ce trajet, elles s'échauffent aux dépens de la partie centrale où elles provoquent, par refroidissement, la déphlegmation recherchée.

Les vapeurs d'ammoniaque qui commencent à se dégager pendant le réchauffement des eaux neuves sont évacuées par la tubulure *B*.

A la sortie du déphlegmateur, les vapeurs passent souvent dans un appareil appelé séparateur et constitué par un petit cylindre en fonte divisé par une cloison médiane que le gaz vient frapper en abandonnant les fines particules d'eau qu'il peut encore tenir en suspension. L'eau est renvoyée dans la colonne par l'intermédiaire d'un siphon. Quelquefois le séparateur consiste seulement en un cylindre en tôle garni de remplissages en faïence ou plus simplement de briques.

210. Colonne à sels volatils. — Les sels volatils sont décomposés sous l'action de la chaleur fournie par une injection de vapeur sous pression. L'opération se fait dans une colonne à plateaux identique à celles employées pour le débenzolage (voir paragraphe 175). Les eaux sortant du déphlegmateur entrent à la partie supérieure de la colonne; la vapeur est introduite à la base au même niveau que les vapeurs et l'ammoniaque provenant de la décomposition des sels fixes.

Les eaux tombent en ruisselant de plateau en plateau, pendant que les gaz dégagés par la chaleur montent en barbotant dans le liquide et s'enrichissent progressivement en produits volatils.

211. Colonne à sels fixes. — La colonne à sels fixes est un appareil dans lequel le dégagement de l'ammoniaque des sels stables qui le retiennent est obtenu au moyen du déplacement chimique de l'ammonium par une base forte joint à l'action calorifique d'une injection de vapeur sous pression.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le réactif choisi est la chaux qui est utilisée pratiquement sous la forme liquide de lait de chaux.

L'opération peut être effectuée dans une colonne à plateaux ordinaire, analogue à celle que nous avons décrite au paragraphe précédent et dans laquelle le lait de chaux est introduit à la partie supérieure en même temps que les eaux ammoniacales. Les matières inertes et insolubles contenues dans la chaux, de même qu'une partie des sels insolubles formés pendant le dégagement de l'ammoniaque, se déposent sur les plateaux et rendent nécessaires de fréquents nettoyages.

Les plateaux sont pour cela munis d'orifices spéciaux ; néanmoins les démontages complets et coûteux des colonnes de ce genre doivent être fréquents (toutes les 5 ou 6 semaines environ).

La colonne dite « agitée » imaginée par M. P. Mallet remédie à ces inconvénients (fig. 101).

Cette colonne est essentiellement constituée par une série de plateaux à cuvettes alternativement fixes et mobiles.

Les parties mobiles sont montées sur un arbre vertical traversant toute la colonne suivant son diamètre et animé par un moyen mécanique d'un mouvement lent de rotation.

Chaque plateau mobile est muni de racloirs B, C et D

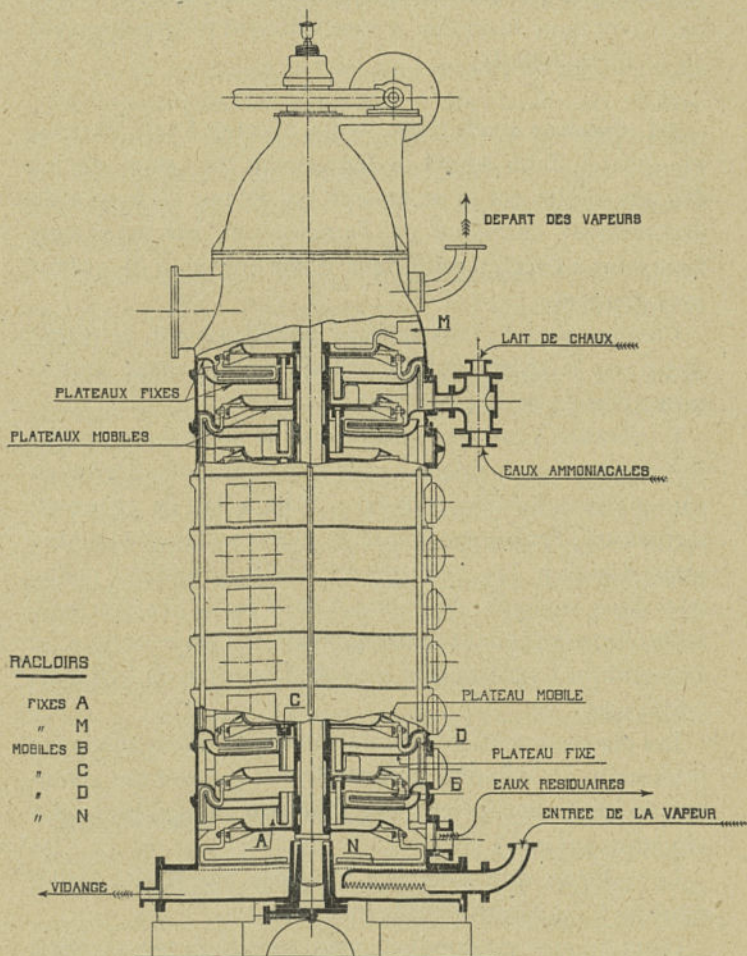


Fig. 101. — Colonne distillatoire agitée à sels fixes (type Mallet).

qui épousent les formes des cuvettes fixes et qui évitent toute accumulation de matière.

Les plateaux fixes sont pourvus de racloirs A agissant dans le même but sur l'axe mobile.

Enfin des racloirs M et N situés aux parties supérieure et inférieure de l'appareil brassent le mélange à l'entrée et à la sortie de la colonne.

L'eau ammoniacale provenant de la colonne à sels volatils est introduite en haut de l'appareil en même temps que le lait de chaux et déborde de cuvette en cuvette. La vapeur est injectée sous le dernier plateau inférieur et provoque le dégagement des gaz qui montent en barbotant dans le liquide pour s'enrichir en produits volatils.

Des tubulures ménagées à la partie inférieure de la colonne permettent d'évacuer les produits résiduels épuisés et de procéder à la vidange de l'appareil.

212. Appareil à colonne unique. — Dans les installations peu importantes, les 3 appareils précédents peuvent être confondus, et la distillation complète peut être opérée dans une seule colonne à plateaux analogue à celle que nous avons décrite pour le traitement des sels volatils.

Dans ce cas, le liquide est admis au-dessous des derniers plateaux supérieurs servant de déphlegmateur. La partie intermédiaire de la colonne sert pour le traitement des sels volatils, et la décomposition des sels fixes est effectuée en introduisant un lait de chaux au-dessus des derniers plateaux inférieurs.

Les colonnes uniques présentent l'inconvénient de rendre obligatoire le démontage de la partie supérieure lorsqu'on doit nettoyer la colonne à sels fixes. Pour éviter cet inconvénient, on installe souvent cette dernière à côté du reste de l'appareil qui est alors supporté par un massif spécial en maçonnerie.

213. Délayeur à chaux. — Le lait de chaux est préparé

dans un appareil à commande mécanique où le brassage de la matière dans l'eau est obtenu par la rotation d'une série de palettes.

La chaux vive est introduite dans un compartiment séparé muni de tôles perforées, afin d'éviter que les gros morceaux de carbonate de chaux incuits qui ne se dissolvent pas ne soient entraînés dans le liquide.

La quantité d'eau utilisée doit être définie avec soin.

Cette eau doit être en effet ultérieurement portée à l'ébullition en même temps que la solution ammoniacale.

Tout excès provoque donc des dépenses superflues de calories sous forme de vapeur utilisée. Il ne faut pas toutefois que le liquide soit trop épais pour ne pas gêner la marche des pompes qui en assurent la circulation, ni accroître exagérément la résistance au passage des gaz et vapeurs dans la colonne à sels fixes.

Le tableau ci-après indique la concentration du lait de chaux en fonction de sa densité.

DENSITÉ DES LAITS DE CHAUX
A LA TEMPÉRATURE DE 15 DEGRÉS CENTIGRADES.

GRAMMES DE CaO PAR 100 CENTIMÈTRES CUBES	DEGRÉS BAUMÉ	DENSITÉ
0,75	1	1,007
4,6	5	1,037
9,4	10	1,075
14,8	15	1,116
20,6	20	1,162
26,8	25	1,210
33,9	30	1,263

L'expérience a montré qu'il fallait se tenir entre 10 et 15° B., ce qui correspond à une teneur de 94 à 148 grammes par litre d'eau.

Reprenons les chiffres de la réaction théorique indiquée au § 205, c'est-à-dire 28 parties de chaux caustique nécessaires pour déplacer 17 parties d'ammoniaque ; si nous admettons que le lait de chaux a une teneur moyenne de 120 grammes de CaO par litre et que l'eau traitée contient par litre f grammes en ammoniaque fixe, le volume en litres de lait de chaux à ajouter au volume d'eau ammoniacale sera de :

$$\frac{28f}{120 \times 17} = 0,0137f.$$

214. Saturateurs. — Les saturateurs sont essentiellement

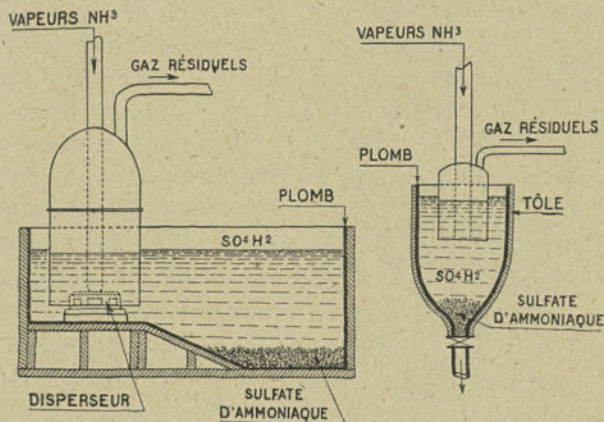


Fig. 102. — Appareils saturateurs.

constitués par une cuve à parois recouvertes de plomb remplie d'acide sulfurique (fig. 102).

Le gaz ammoniac arrive des colonnes par un tuyau en plomb terminé à sa partie inférieure par une extrémité conique entrant dans un disperseur qui repose sur le fond du saturateur surélevé à cet endroit. Ce dispositif a pour objet de faciliter l'opération en divisant le courant gazeux.

Le tuyau d'arrivée des vapeurs ammoniacales dans les saturateurs est toujours surmonté d'une cloche destinée à recueillir les gaz produits dans la réaction (hydrogène sulfuré, sulfure d'ammonium, combinaisons cyaniques), gaz qui, en raison de leurs qualités nocives, ne peuvent être évacués directement dans l'atmosphère.

Afin d'assurer l'épuisement complet de ces gaz en ammoniacque et éviter qu'ils n'entraînent des particules liquides d'acide sulfurique, on les fait passer dans un appareil à chicanes qui les force même quelquefois à barboter dans une garde d'acide sulfurique vierge. On réalise de cette manière une sorte de lavage méthodique à contre-courant.

Les saturateurs à double cloche sont basés sur ce principe.

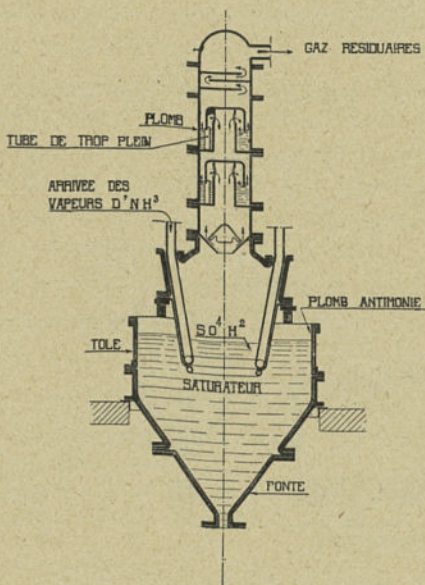


Fig. 103. — Saturateur à colonnette type E. C. F. M.

La figure 103 représente la « colonnette » brevetée par la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice utilisée dans le même but et dont le fonctionnement est clairement indiqué par les flèches du schéma.

La chaleur sensible des gaz résiduels est quelquefois récupérée et utilisée pour le réchauffement des eaux ammoniacales neuves (installations Pintsch). Il faut, dans ce cas,

prendre certaines précautions pour évacuer les produits liquides provenant des vapeurs condensables contenues dans les gaz.

Dans les installations ordinaires, les gaz inertes traversent seulement un serpentin réfrigérant avant d'être évacués dans une cheminée où ils sont brûlés.

215. Séchage du sulfate d'ammoniaque. — Le sulfate retiré du saturateur est soumis à un égouttage préalable dans une caisse inclinée, doublée en plomb où le sel au repos se refroidit lentement en prenant un aspect cristallin plus prononcé. Il contient encore 3 à 4 pour 100 d'humidité. Le plus souvent, on se contente ensuite de traiter le sulfate dans une essoreuse où il abandonne les derniers produits liquides qu'il peut encore contenir.

L'emploi des fours-sécheurs permet d'obtenir un sel extra-sec. Le four de M. Laedlein est constitué par un cylindre en fonte à l'intérieur duquel une vis d'Archimède fait avancer lentement la matière.

Les produits de la combustion d'un petit foyer à coke circulent en sens inverse à l'extérieur du cylindre, sauf une dérivation réglable qui passe à l'intérieur.

Le sel ne contient pas à sa sortie plus de 0,1 à 0,2 pour 100 d'humidité et il est incapable de se prendre en masse.

Le sulfate séché est emmagasiné dans des bâtiments complètement clos, cloisonnés et plafonnés en bois où se fait en général l'ensachage avant l'expédition.

216. Marche et contrôle de la fabrication du sulfate. — La fabrication du sulfate se fait d'une manière continue.

Le saturateur est chargé en acide sulfurique dilué d'une certaine quantité d'eaux mères provenant des traitements antérieurs, des égouttoirs et des essoreuses. On emploie

généralement de l'acide à 52 ou 53° Bé que les eaux mères abaissent vers 35 à 40° Bé.

Les vapeurs ammoniacales produites par une même colonne arrivent à une température voisine de 100°. Elles peuvent être réparties dans plusieurs saturateurs.

Le contrôle de l'opération consiste à observer le degré d'acidité du liquide contenu dans le saturateur.

Il faut éviter de dépasser la saturation, car on perdrait de l'ammoniaque et le bain devenu alcalin pourrait agir sur les impuretés de l'acide sulfurique en colorant fâcheusement le sel.

Dans les saturateurs coniques à vidange par le fond, on facilite l'évacuation du sulfate en le poussant à bras d'homme à l'aide de longues barres de bois.

Lorsque le sulfate est évacué, on recharge le saturateur en utilisant de l'acide frais et les eaux mères provenant de l'égouttage ou de l'essorage du sel.

Pour contrôler la marche de l'atelier, on mesure le volume d'eau ammoniacale traitée, sa teneur en ammoniaque totale par litre, les quantités d'acide consommé et de sulfate produit.

On peut compter en moyenne sur 1120 kilogrammes d'acide à 53° Bé (ce qui est très voisin de la quantité théorique) et sur environ 0^{kg},05° de chaux par tonne de sulfate fabriqué. Il y a lieu également de surveiller très attentivement la consommation de vapeur qui constitue une des dépenses les plus importantes de la fabrication et qui varie avec le degré de concentration des eaux ammoniacales utilisées. Elle est en général voisine de 5 tonnes de vapeur par tonne de sulfate produit. La force motrice utilisée sous forme d'électricité est en moyenne de 16 kilowatts-heure par tonne de sulfate.

Le rendement de l'opération peut être exprimé de la façon suivante :

Supposons que la teneur en ammoniacque totale des eaux à traiter soit de n grammes par litre.

Etant donné que 34 parties en poids de NH_3 donnent 132 parties de sulfate d'ammoniacque, une opération parfaite aurait conduit, par mètre cube traité, à une production de sulfate de :

$$\frac{132 \times n}{34} \text{ kgs} = 3,88 n \text{ kgs.}$$

Si la production réelle est de :

S kilogrammes de sulfate par mètre cube d'eau traitée le rendement sera de :

$$R^1 = \frac{S}{3,88 n} = 0,257 \frac{S}{n} \text{ pour } 100.$$

Dans la pratique, on obtient des rendements de 95 à

NATURE DU CHARBON	AMMONIAQUE	SULFATE D'AMMONIAQUE
	PAR TONNE DE CHARBON SEC	PRODUIT PAR TONNE DE CHARBON SEC
	kg.	kg.
Boldon.	2,86	11,1
Towneley.	2,00	7,8
Londonderry.	4,00	15,5
Thornley.	2,60	10,1
Hugo.	2,38	9,2
Unser Fritz.	2,19	8,55
Consolidation.	2,56	10
Mont Cenis.	2,35	9,1
Ewald.	2,95	11,1
Fines de Marles.	2,1	8,2
—	2,32	9,02

97 pour 100 parce que, d'une part, les eaux résiduelles évacuées ne contiennent plus que les $\frac{6}{1000}$ de la teneur en ammoniacque des eaux brutes (soit une teneur des eaux

résiduelles de 0^{gr},078 par litre pour des eaux brutes titrant 13 grammes par litre) et, d'autre part, les gaz sortant du saturateur sont pratiquement libres de tout ammoniac.

Il est de pratique courante de tenir compte de la valeur d'une houille à gaz en exprimant en kilogrammes le poids de sulfate qu'elle peut fournir par tonne.

Les chiffres de la page 213, obtenus à l'usine expérimentale de la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice, donnent quelques renseignements à ce sujet.

217. Coloration du sulfate d'ammoniaque. — La coloration accidentelle du sulfate résulte le plus souvent de la présence, en très faible quantité, de corps étrangers sans action sur sa valeur fertilisante; cependant les agriculteurs accordant une préférence marquée à un produit blanc ou « bon gris », il est utile de connaître, pour les éviter, les causes les plus fréquentes de la coloration.

Une teinte grise provient d'un excès de matières goudroneuses entraînées dans le saturateur.

Une teinte bleue provient de la formation de ferrocyanure de fer (bleu de Prusse) provoquée par l'action des cyanures de l'eau ammoniacale sur les sels de fer se trouvant dans l'acide sulfurique.

Une teinte rouge provient de la présence de sulfocyanure de fer formé par l'action des sulfocyanures contenus dans les particules d'eaux ammoniacales qui peuvent être entraînées dans le saturateur.

Enfin une teinte jaune est due au sulfure d'arsenic formé par l'action de l'hydrogène sulfuré, provenant du sulfhydrate d'ammoniaque existant dans les eaux, sur de l'acide sulfurique fabriqué avec des pyrites arsenicales.

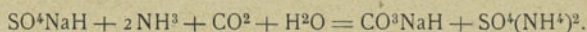
Ces inconvénients peuvent être supprimés en évitant de pousser à fond la saturation du bain et en empêchant les entraînements mécaniques par l'interposition d'un sépara-

teur entre la colonne et le saturateur. Le sulfure jaune d'arsenic peut être éliminé ultérieurement en ajoutant au bain acide une certaine quantité de goudron. Ce dernier corps remonte à la surface en entraînant le sulfure d'arsenic et le tout est enlevé périodiquement au moyen d'un instrument en forme de louche.

218. Procédé de sulfatation par le bisulfate de sodium. — Pendant la période de guerre, les usines à gaz furent quelquefois privées d'acide sulfurique dont la production était réservée principalement aux industries travaillant pour la Défense Nationale.

Certaines usines purent utiliser à sa place du bisulfate de sodium (résidu de la fabrication de l'acide azotique à partir du nitrate de sodium) existant alors en abondance.

Un des procédés d'utilisation imaginés à cette époque consiste à traiter l'ammoniaque par du bisulfate de sodium et de l'acide carbonique. La réaction qui se produit est la suivante :



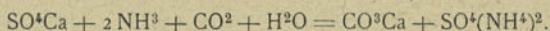
Le bicarbonate précipite. Il est séparé par un essorage et peut être transformé en carbonate de soude (soude Solvay) ou en soude caustique. Il reste dans les eaux mères un mélange de sulfate d'ammoniaque, de bicarbonate et de carbonate de sodium.

On les soumet à une cristallisation méthodique qui permet de séparer le sulfate de sodium sous la forme ($\text{SO}^4\text{Na}^2 + 10\text{H}^2\text{O}$) et le sulfate d'ammoniaque sous forme de sel anhydre commercial¹.

219. Procédé de sulfatation par le sulfate de chaux. — A la fin de la guerre, la Badische Anilin und Soda

1. Voir brevet n° 493 530 de la Société Industrielle de Produits chimiques.

Fabrik¹, dans son usine d'Oppau-Ludwigshafen, a paré au manque d'acide sulfurique pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque en utilisant le gypse naturel ou sulfate de chaux. Ce corps réduit en poudre extrêmement fine et mis en suspension dans l'eau donne en présence de l'ammoniaque et de l'acide carbonique la réaction suivante :



Le carbonate de calcium est séparé du sulfate d'ammoniaque en solution par filtration sur toile dans le vide.

La solution aqueuse de sulfate d'ammoniaque est concentrée à basse pression. Le sulfate recueilli est essoré et séché dans des fours rotatifs à air chaud.

220. Fabrication d'eaux ammoniacales concentrées.

— Certaines usines à gaz préfèrent céder leur ammoniaque directement à l'industrie extérieure qui l'utilise le plus souvent soit à faire du sulfate d'ammoniaque, soit à fabriquer de la soude par le procédé Solvay.

Il est alors nécessaire, pour diminuer les frais de transport, de livrer cette ammoniaque sous le volume et le poids les plus réduits, c'est-à-dire de concentrer les eaux ammoniacales.

Le carbonate d'ammoniaque cristallisant facilement au sein des eaux ammoniacales concentrées, il est indispensable au cours de la concentration de décomposer ce sel et d'absorber par la chaux l'acide carbonique mis en liberté.

La figure 104 représente le schéma d'une installation pour la fabrication d'eaux ammoniacales concentrées. Après leur réchauffage dans l'échangeur de température, les eaux passent dans une colonne qui reçoit du lait de chaux à la partie inférieure, pour la décomposition des sels fixes.

1. Ce procédé a été inventé et breveté en France en mai 1910 par la Société Industrielle de Produits Chimiques.

Les vapeurs d'ammoniaque sortant du déphlegmateur passent dans un laveur à chaux où elles abandonnent les traces d'acide carbonique qu'elles ont pu entraîner puis elles sont ensuite condens es dans le réfrigérant en cédant leur chaleur aux eaux ammoniacales brutes.

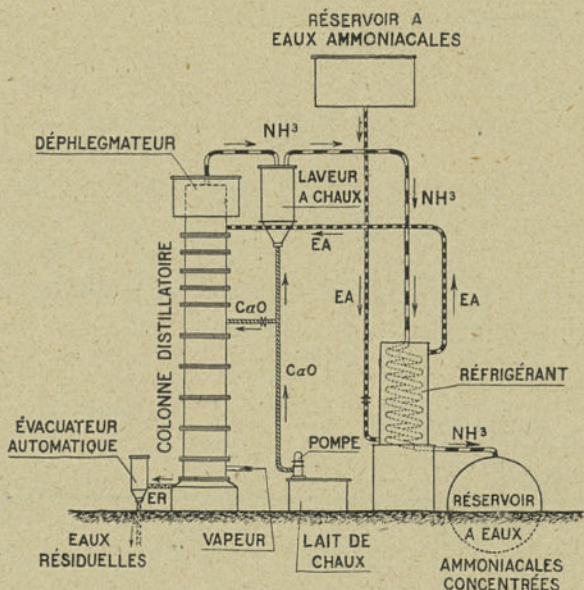


Fig. 104. — Schéma d'une installation pour la fabrication d'eaux ammoniacales concentrées.

Ce dispositif permet d'obtenir des eaux ammoniacales contenant environ 25 pour 100 d'ammoniaque sans qu'elles cristallisent.

221. Fabrication de gaz ammoniac pur. — Le gaz ammoniac pur, fort utilisé dans les industries textiles et frigorifiques, peut être livré sous deux formes : soit liquéfié, soit plus souvent en dissolution dans de l'eau distill e (ammoniaque des pharmaciens ou alcali volatil).

partie leurs produits empyreumatiques et elles traversent alors un laveur à huile de paraffine qui enlève les dernières traces de matières goudronneuses.

Elles sont ensuite amenées dans une autre série de filtres à charbon de bois pour éliminer le reste des substances empyreumatiques et dans un laveur à soude caustique pour arrêter les produits sulfurés.

Finalement, le gaz purifié se rend soit dans un saturateur à eau distillée, soit dans un appareil réfrigérant où il est liquéfié sous pression.

Le gaz ammoniac liquéfié est un liquide incolore très réfringent. Sa densité à 0° est 0,6362. Il bout à - 33°,7 et se solidifie à - 75°.

D'après Regnault, sa tension de vapeur a pour valeurs :

A - 33°,7 (point d'ébullition).	1 ^{kg}	par centimètre carré
- 5°	4 ^{kg} ,16	—
0°	6 ^{kg} ,0	—
+ 10°	6 ^{kg} ,0	—
+ 20°	8 ^{kg} ,5	—

L'ammoniaque en solution est emmagasinée dans des tambours ou des bouteilles en verre entourées de paille, incomplètement remplies et tenues au froid à cause de la forte pression que peuvent atteindre les vapeurs.

Le gaz ammoniac liquéfié est recueilli et expédié dans des récipients en acier qui peuvent résister à une pression intérieure de 100 kilogrammes par centimètre carré.

SEPTIÈME PARTIE

LE GOUDRON DE HOUILLE

XV. — FORMATION DU GOUDRON

222. Généralités. — Le goudron provenant de la distillation de la houille à la température d'environ 1000 à 1100° est un fluide de couleur brune ou noirâtre, d'odeur particulière, plus ou moins visqueux à température ordinaire selon les conditions de sa formation. Son poids spécifique est compris entre 1050 et 1300. Certains goudrons, obtenus lors de la distillation de la houille à basse température (500° environ), présentent une densité plus faible qui peut n'être guère supérieure à celle de l'eau. Le pouvoir calorifique du goudron ordinaire varie, d'après sa composition, entre 8500 et 10800 calories, mais la valeur moyenne est environ 8800 calories.

223. Composition chimique. — Le nombre des composés définis que l'on a pu identifier dans le goudron est considérable (près de 200) et il en renferme, sans aucun doute, bien davantage. Les proportions relatives de ces composés varient dans des limites assez étendues ; cependant ceux qui prédominent sont les suivants :

		ÉTAT À LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE OU POINT DE FUSION	POINT D'ÉBULLITION
I. — Hydrocarbures.			
Méthane et homologues (paraffines) depuis CH ₄ jusqu'à C ²⁷ H ⁵⁶	C ⁿ H ²ⁿ⁺²	gazeux liquides solides	
Éthylène et homologues (oléfines) depuis C ² H ₄ jusqu'à C ⁷ H ¹⁴	C ⁿ H ²ⁿ	—	
Acétylène et homologues depuis C ² H ₂ jusqu'à C ¹⁶ H ³⁰	C ⁿ H ²ⁿ⁻²	—	
Benzène	C ⁶ H ⁶	5°,5	80°,5
Toluène (méthylbenzène).	C ⁷ H ⁸	liquide	111° 142°
Xylènes { ortho } dimé- { méta } thyl- { para } benzè- nes)	C ⁸ H ¹⁰	—	{ 139° 138°,5
Hémelli- thène	C ⁹ H ¹²	—	175°
Pseudo- cumène	C ⁹ H ¹²	—	170°
Mésity- lène	C ⁹ H ¹²	—	165°
Cumène (isopropylben- zène)	C ⁹ H ¹²	—	153°
Cymène (para-isopropyl- toluène)	C ¹⁰ H ¹⁴	—	180°
Éthylbenzène	C ⁸ H ¹⁰	—	137°
Dihydrobenzène	C ⁶ H ⁸	—	81°,5
Tetrahydrobenzène	C ⁶ H ¹⁰	—	82°
Hexahydrobenzène	C ⁶ H ¹²	—	97°
Indène	C ⁹ H ⁸	liquide	182°
Naphtaline	C ¹⁰ H ⁸	80° ₁	218°
Hydrures de { di	C ¹⁰ H ¹⁰	liquide	212°
{ tétra	C ¹⁰ H ¹²	liquide	205°
Méthylnaphta- lines	{ α C ¹¹ H ¹⁰ { β C ¹¹ H ¹⁰	liquide	241° 241°
Diméthylnaphtalines	C ¹² H ¹²		262°
Acénaphène	C ¹² H ¹⁰	95°	278°
Fluorène	C ¹³ H ¹⁰	116°	295°
Anthracène	C ¹⁴ H ¹⁰	216°	342°

		ÉTAT ALA TEMPÉRATURE ORDINAIRE OU POINT DE FUSION		POINT D'ÉBULLITION
Hydrures d'an- thracène..	di..	$C^{14}H^{12}$	106°	305°
	hexa..	$C^{14}H^{16}$	63°	290°
	per..	$C^{14}H^{24}$	88°	270°
Méthylanthracène..		$C^{15}H^{12}$	209°	360°
Phénanthrène..		$C^{14}H^{10}$	100°	340°
Fluoranthène..		$C^{15}H^{10}$	109°	360°
Chrysène..		$C^{18}H^{12}$	250°	436°
Rétène..		$C^{18}H^{18}$	99°	350°

II. — Dérivés oxygénés.

Acide acétique..		$C^2H^4O^2$	16°	119°
Acide benzoïque..		$C^7H^6O^2$	121°	249°
Phénol..		C^6H^6O	40°,85	182°
Crésols..	ortho..	C^7H^8O	30°,8	191°,5
	méta..		12° ¹	201°,8
	para..		34°,7	201°,2
Xylénols..	1.2.3.	$C^8H^{10}O$	75°	218°
	1.2.5.		64°	219°,5
Naphthols..	α..	$C^{10}H^8O$	95°	279°
	β..		122°	294°
Coumarone..		C^8H^6O	liquide	172°
Méthylcoumarones..		C^9H^8O	—	
Diphénylénoxyde..		$C^{12}H^8O$	80°	287°

III. — Dérivés sulfurés.

Thiophène..		C^4H^4S	liquide	84°
Thiitoluène..		C^5H^6S	—	113°
Thioxylène..		C^8H^8S	—	136°
Thionaphène..		C^8H^6S	30°	220°

IV. — Dérivés azotés.

Aniline..		C^6H^7N	liquide	182°
Pyridine..		C^5H^5N	—	115°
Picolines..	α..	C^6H^7N	—	133°,5
	β..			143°,5
	γ..			142°,5

1. Le point de fusion indiqué généralement est 3°. En passant par l'intermédiaire du benzoate de méta-crésol, obtenu à partir d'un méta-crésol déjà très enrichi, on recueille un méta-crésol dont le P. F. est 12°. (Travail exécuté au laboratoire de la Société E. C. F. M., à l'usine à gaz de Gennevilliers).

		ÉTAT À LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE OU POINT DE FUSION	POINT D'ÉBULLITION
Quinoléine.	C^9H^7N	—	240°
Acridine.	$C^{13}H^9N$	107°	360°
Pyrrol.	C^4H^3N		133°
Indol.	C^8H^7N	52°	253°
Carbazol.	$C^{12}H^9N$	246°	355°
Acétonitrile.	C^2H^3N	liquide	77°
Benzonitrile.	C^7H^5N	—	191°

224. Facteurs influant sur la quantité et la composition du goudron. — Nous avons résumé, au début de l'étude théorique de la distillation de la houille¹, les grandes hypothèses admises en ce qui concerne la formation des principaux carbures d'hydrogène qui entrent dans la composition du gaz et du goudron.

Différents facteurs modifient et la quantité et la composition des goudrons ; les principaux sont : la nature du charbon mis en œuvre, la température et la pression à laquelle sa distillation a lieu, et enfin la forme des cornues.

225. Influence de la nature du charbon. — Nous savons que toutes les houilles n'ont pas la même composition élémentaire et aussi qu'elles ne donnent pas toutes des quantités identiques d'un même gaz ; nous pouvons donc supposer, à priori, qu'elles ne fournissent pas les mêmes goudrons.

En fait, les expériences de M. Sainte-Claire Deville montrent que, lorsque la teneur en oxygène du charbon augmente, les quantités de goudron recueillies pendant la distillation vont également en croissant (voir tableau ci-contre) :

1. Voir *Les Procédés modernes de l'Industrie du gaz. La Distillation de la houille*, par R. MASSE et A. BARIL, chap. XIII, § 128 à 132.

	TYPES DE HOUILLE				
	1	2	3	4	5
Teneur en oxygène pour 100.	5,56	6,66	7,71	10,10	11,70
Goudron par 100 kilogrammes.	3 kg. 90	4 kg. 65	5 kg. 08	5 kg. 48	5 kg. 59

En outre, les charbons les plus fossilisés fournissent plus de carbures aromatiques ; les plus jeunes (le boghead, par exemple) donnent naissance surtout à des paraffines et à des phénols.

L'antracite, qui constitue le charbon d'origine la plus ancienne, ne donne naissance qu'à une quantité infime de goudron.

226. Influence de la température de distillation du charbon. — Pour un même charbon, lorsque la distillation est conduite à basse température (400 à 500°), le rendement en goudron est élevé ; ce goudron renferme en quantités notables des hydrocarbures de la série grasse (paraffines, oléfines) et des phénols supérieurs (crésols, xylénols, etc.). Lorsque la distillation a lieu à des températures plus élevées (900-1000°), les paraffines tendent à disparaître, tandis que les carbures aromatiques apparaissent en plus forte quantité ; le phénol proprement dit est en progression et, corrélativement, ses dérivés méthylés diminuent. La naphthaline et l'antracène augmentent. Les dérivés azotés aromatiques (pyridine et homologues), présents lors de la distillation à basse température, se retrouvent en quantités plus faibles tandis qu'apparaissent les dérivés azotés de la série du benzène (aniline et homologues). Enfin, la teneur en carbone fixe tend à augmenter.

227. Influence de la forme des cornues. — La forme horizontale des cornues oblige le gaz à passer au voisinage du ciel de la cornue avant de s'échapper par la colonne montante. Il y subit une pyrogénéation. Ce phénomène ne se produit pas dans les cornues verticales ; aussi le goudron provenant de ces dernières contient-il moins de naphthaline et de carbone fixe que celui donné par le charbon distillé dans les cornues horizontales.

228. Influence de la pression à l'intérieur de la cornue. — On conçoit qu'une diminution de la pression conduise au même résultat qu'un abaissement de la température de distillation. Les travaux de MM. Amé Pictet et Maurice Bouvier, relatifs à la distillation du charbon sous pression réduite, ont montré que le « goudron du vide » ainsi obtenu diffère du goudron ordinaire en ce qu'il contient la plupart des constituants de ce dernier à l'état hydrogéné. Au contraire lorsque la distillation du charbon s'effectue sous pression le dégagement du gaz est retardé, la pyrogénéation des carbures est facilitée et, comme conséquence, le goudron obtenu est riche en produits à points d'ébullition élevés ainsi qu'en carbone libre.

229. Quantité de goudron recueillie par tonne de charbon. — Nous avons vu que les différents facteurs envisagés ci-dessus agissent non seulement sur la qualité, mais aussi sur la quantité du goudron. Le rendement varie donc dans des limites assez larges.

Pour 46 charbons différents, distillés dans les mêmes conditions, on a recueilli des quantités de goudron variant de 37 kilogrammes à 80 kilogrammes à la tonne.

Il est prudent de ne compter, pour les charbons à gaz utilisés habituellement en France, que sur 38 à 40 kilogrammes à la tonne.

230. Emplois du goudron brut. — Le goudron brut est utilisé principalement pour la fabrication du carton ou du feutre bitumé, des combustibles agglomérés, pour la protection du bois, des métaux, des pierres, pour la carburation du gaz à l'eau, le chauffage des fours, l'alimentation de certains moteurs, etc. Il est également employé pour le goudronnage des routes, la fabrication de certains coques spéciaux, du noir de fumée, etc.



XVI. — TRAITEMENT DU GOUDRON

231. Utilité du traitement du goudron. — Les différents composants du goudron de houille constituent les matières premières indispensables à de nombreuses industries chimiques, telles que celles des matières colorantes, des explosifs, des produits pharmaceutiques, des solvants, etc., etc.

Parmi ces composants, ceux qui ont trouvé un débouché important sont : le benzène, le toluène, les xylènes, la naphthaline, l'anthracène, le phénol, les crésols, la pyridine et la coumarone; d'autres, parmi lesquels il faut citer l'acé-naphtène, le phénanthrène, les xylénols, le carbazol et l'indène, sont également d'utilisation courante.

Le premier traitement subi par le goudron consiste en une simple distillation dont le but est de séparer les huiles qu'il contient du résidu solide à la température ordinaire, appelé brai.

Les huiles sont condensées en plusieurs fractions, de façon à isoler autant que possible dans chacune d'elles un ou plusieurs des composés que l'on se propose d'extraire ultérieurement.

Toutes les distilleries de goudron ne séparent pas les huiles de la même manière; cependant le fractionnement le plus généralement adopté est le suivant:

Eaux ammoniacales,

Huile légère,

Huile à naphthaline, ou huile moyenne,

Huile intermédiaire, ou huile lourde,
Huile à anthracène, ou huile verte.

232. Déshydratation. — Les goudrons les mieux décan-
tés contiennent toujours, à cause de leur viscosité, 3 à 4
pour 100 d'eau. Distillés tels quels, ils mousseraient,
déborderaient et risqueraient d'occasionner de graves
incendies.

La déshydratation, c'est-à-dire l'enlèvement de cette
eau, peut être réalisée par des procédés mécaniques ou
thermiques.

**233. Déshydratation mécanique ou essorage du gou-
dron.** — L'arbre de l'esso-

reuse employée pour la déshy-
dratation mécanique du gou-
dron (fig. 106) porte un disque
E qui tourne avec lui. Le gou-
dron, amené par le conduit V,
est immédiatement appliqué
sur la paroi du panier, passe
dans le faible espace qui reste
à la périphérie du disque E,
et est cueilli par le tube A, pendant que l'eau est reprise
par le tube B.

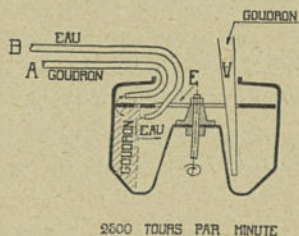


Fig. 106. — Appareil centrifuge
pour la déshydratation du goudron.

234. Déshydratation thermique. — La déshydratation
thermique est une distillation ; elle peut être opérée d'une
manière continue ou discontinue. Le chauffage peut être
effectué à feu nu (Wilton, fig. 107 et 108, et Hird), à la
vapeur d'eau (P. Mallet), à l'aide des vapeurs d'huile de
goudron sortant de l'appareil à distiller (Hartmann et
Lücke, fig. 109) ou enfin avec les fumées du foyer de la
chaudière à goudron (Weickel).

Lorsque l'opération est discontinuée, la capacité de la chaudière peut atteindre jusqu'à 50 tonnes ; il faut alors, pour éviter sûrement toute chance d'accident en cas de for-

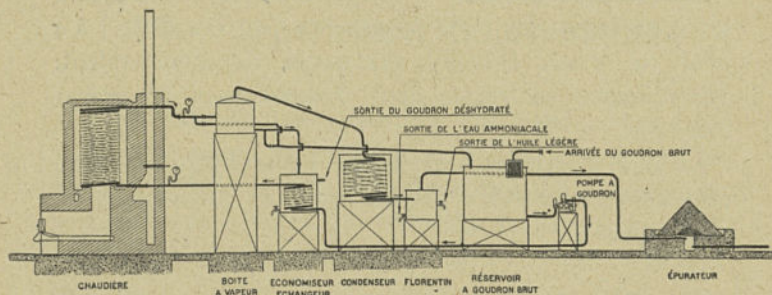


Fig. 107. — Appareil de déshydratation du goudron Wilton.

mation de mousse, par exemple, chauffer à la vapeur d'eau. Le rendement de ce procédé est excellent.

Le chauffage à feu nu avec combustible solide convient surtout dans le cas où le travail s'opère en continu, parce

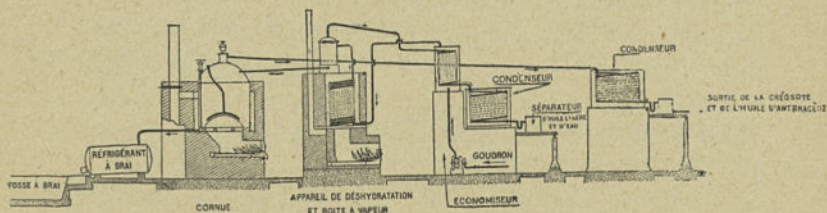


Fig. 108. — Appareil de déshydratation et de distillation du goudron Wilton.

que la quantité de goudron contenue dans l'appareil de chauffage est relativement très réduite.

Les appareils de déshydratation dans lesquels la chaudière est constituée par le condenseur d'un appareil de distillation sont d'une conduite délicate : ils ne peuvent être utilisés que si les goudrons employés sont de qualité très soignée

et particulièrement bien décantés. On conçoit aisément que dans le cas où ceux-ci viendraient à mousser, il serait

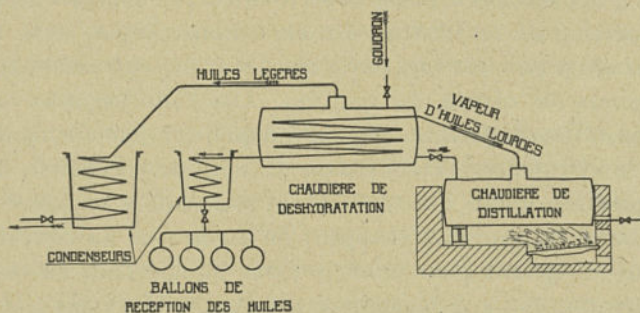


Fig. 109. — Appareil de traitement du goudron Hartmann et Lücke.

difficile d'arrêter l'opération, à moins de disposer d'un condenseur de rechange toujours prêt à être mis en service, ce qui diminuerait beaucoup l'intérêt du système.

235. Déshydratation système P. Mallet. — L'appareil

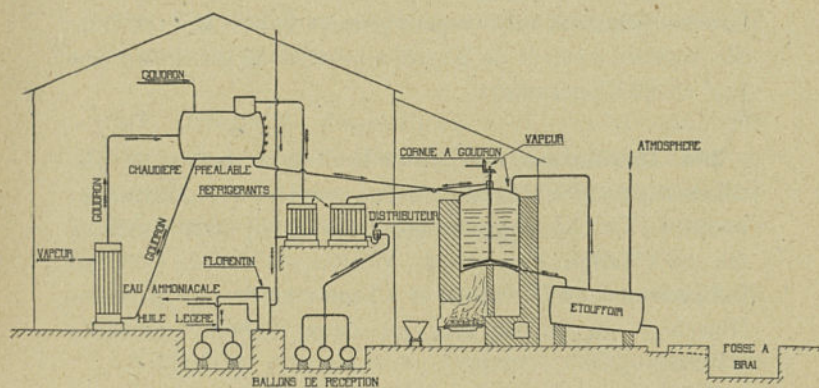


Fig. 110. — Schéma d'une installation de distillation de goudron P. Mallet.

préconisé par M. P. Mallet (fig. 110) comprend une chaudière horizontale dont le remplissage se fait par le haut. Sa

partie inférieure est reliée à la base d'un faisceau tubulaire de chauffage, dans lequel la vapeur d'eau circule à l'extérieur des tubes et le goudron à l'intérieur. Le compartiment supérieur de ce faisceau est en communication avec la chaudière par une tuyauterie qui débouche légèrement au-dessous du niveau du goudron. Dès l'admission de la vapeur dans le faisceau, le goudron qu'il contient s'échauffe et la circulation s'établit dans le sens des flèches de la figure 110. L'eau ammoniacale et le benzol se dégagent à l'état de vapeur et s'échappent du dôme vers un condenseur réfrigérant pour entrer à l'état liquide dans un vase florentin, où ils se séparent avant d'entrer dans des réservoirs distincts.

Dans un appareil permettant de traiter 40 tonnes par 24 heures, dont la chaudière a 5 mètres de long et 3^m,70 de diamètre, on dépense par tonne de goudron, pour extraire 5 pour 100 d'eau et 1 pour 100 d'huile légère, environ 110 kilogrammes de vapeur à la pression de 4 kilogrammes. Les températures de goudron à l'entrée et à la sortie du faisceau tubulaire sont respectivement de 108° et 117°, celle des vapeurs d'eau et de benzol au-dessus du goudron étant 105° en fin d'opération.

236. Distillation. — Comme la déshydratation, la distillation peut être effectuée d'une manière discontinue ou continue. Le chauffage des appareils se fait directement, à feu nu (Mallet, Ray, Hird, Wilton, Weickel, etc.) ou indirectement, à la vapeur et à l'eau chaude sous pression (Raschig), ou encore avec les deux moyens combinés (Hirzel).

Enfin, signalons les procédés dans lesquels la chaleur est apportée à la fois extérieurement par un foyer et intérieurement par une injection de vapeur surchauffée (Ab der Hallden), ainsi que ceux dans lesquels l'oxydation des car-

bures du goudron par insufflation d'air permet d'opérer avec une très légère dépense de combustible et de produire beaucoup de brai et peu d'huile (Cava, Hennebutte).

D'autre part, la distillation peut être pratiquée dans des appareils travaillant à la pression atmosphérique ou sous pression très réduite.

Réalisée il y a quarante ans environ par Burt Boulton, la distillation sous pression réduite permettait d'abaisser de 80° la température d'ébullition des huiles. A l'heure actuelle, grâce aux perfectionnements des pompes à vide, il est possible de distiller le goudron à la pression absolue de 50 à 60 millimètres de mercure et d'accentuer jusqu'à 100° la réduction des températures d'ébullition. La température de dissociation du chlorhydrate d'ammoniaque (environ 300°) n'est alors pas atteinte et par suite l'attaque des chaudières par l'acide chlorhydrique ne se produit plus. La distillation sous pression réduite permet d'accroître la production d'huile et d'anthracène aux dépens du brai. Par contre, ce procédé a l'inconvénient de nécessiter des dépenses d'exploitation supplémentaires pour maintenir le vide dans l'appareillage.

237. Distillation discontinue. — Le procédé de distillation discontinue consiste à chauffer progressivement dans une chaudière une masse déterminée de goudron et à condenser les produits volatils dégagés, au fur et à mesure de leur production.

La figure 110 représente l'ensemble d'une installation du type P. Mallet.

Le goudron provenant de l'appareil déshydrateur est conduit dans une chaudière soumise à l'action d'un foyer.

Les vapeurs produites sont recueillies dans des appareils réfrigérants où elles sont condensées. Les huiles obtenues sont emmagasinées dans une série de citernes-réservoirs.

Le résidu de la distillation constituant le brai est évacué dans un appareil appelé étouffoir. Le brai est ensuite coulé dans des fosses où il se solidifie.

238. Chaudières. — Les chaudières dans lesquelles s'opère la distillation discontinue, souvent désignées sous le nom de cornues, sont le plus souvent chauffées à feu nu.

La surface de chauffe doit en être établie d'après le tonnage de matière à traiter en tenant compte de ce que le liquide restant à la fin de l'opération, liquide qui doit couvrir toute la surface directement chauffée, n'a plus que la moitié environ du volume du goudron primitivement introduit.

L'appareil P. Mallet est constitué par une chaudière verticale cylindrique en tôle d'acier, dont les fonds sont emboutis.

Le fond inférieur présente une forme très bombée vers l'intérieur de manière à augmenter sa résistance et à faciliter la vidange de l'appareil.

Le goudron est agité pendant la distillation au moyen d'un mécanisme fixé à un arbre central vertical, lequel est supporté par une sorte de crapaudine qui surmonte le fond supérieur de la chaudière. Le mécanisme d'agitation comprend 4 bras cintrés qui épousent le profil du fond inférieur au-dessus duquel ils évoluent à peu de distance; ces bras entraînent de lourds ra cloirs et des chaînes qui empêchent complètement la formation de tout dépôt adhérent.

L'arbre vertical qui commande le mouvement des agitateurs est percé dans toute sa longueur, afin de laisser un passage à la vapeur qui est injectée dans la masse à la fin de la distillation.

Une canalisation partant du dôme de la chaudière permet

l'évacuation des produits volatils dégagés. Un orifice de vidange, ménagé à la partie inférieure, permet d'assurer la coulée du brai dans l'étouffoir.

Les chaudières ont des dimensions variables, correspondant à des capacités de 6 à 45 tonnes.

239. Condenseurs. — Les condenseurs sont le plus souvent de simples bâches à eau contenant un serpentin ou un faisceau tubulaire en liaison avec la chaudière d'une part, et avec une éprouvette de coulage d'autre part.

L'eau de réfrigération peut être réchauffée par une admission spéciale de vapeur, de manière à éviter que la réfrigération des huiles riches en naphthaline ne vienne provoquer des bouchages.

L'alimentation en eau de réfrigération est continue, le condenseur porte un orifice de trop-plein.

Pour remédier à toute obstruction pouvant provenir notamment des cristallisations de naphthaline une injection de vapeur est prévue à la partie supérieure de la tuyauterie d'entrée des vapeurs d'huile dans le condenseur.

240. Éprouvettes. — A la sortie des condenseurs, les huiles se déversent dans l'éprouvette de coulage qui consiste en un vase cylindrique, ouvert à sa partie supérieure, dans lequel on peut prélever périodiquement et commodément des échantillons. L'examen de ceux-ci permet de juger du moment où il convient d'effectuer les coupages, c'est-à-dire de changer de ballons de réception.

241. Étouffoirs. — Le brai qui constitue le résidu de la distillation est évacué de la chaudière en fin d'opération et vidé dans de grands récipients étanches, appelés étouffoirs.

Ils sont constitués par des cylindres en tôle verticaux ou

légèrement inclinés sur l'horizontale. Ils sont réunis à la chaudière par une tuyauterie munie d'un joint élastique et possèdent une tubulure inférieure de départ, ainsi que des trous d'hommes pour le nettoyage.

Une conduite spéciale permet de faire retourner à la chaudière, ou d'envoyer à l'atmosphère, les gaz dégagés pendant le refroidissement.

Une conduite de vapeur sert à purger l'air de l'appareil avant l'introduction du brai et à réchauffer le robinet d'évacuation muni spécialement d'une double paroi.

La capacité des étouffoirs peut atteindre 30 mètres cubes.

Le brai séjourne dans l'étouffoir jusqu'à ce que sa température se soit suffisamment abaissée pour diminuer de beaucoup les chances d'inflammation au contact de l'air. Pendant ce temps, les vapeurs qu'il peut émettre sont en partie condensées.

242. Fosses à brai. — Le brai est emmagasiné le plus souvent dans de grandes fosses en maçonnerie où il se solidifie. Pour en effectuer la reprise, il faut le casser en morceaux. Ce travail est effectué soit à la pioche, soit avec des marteaux-piqueurs à commande pneumatique.

Certaines usines coulent directement le brai dans des moules, afin de fabriquer des pains de grosseur déterminée. Ce procédé ne peut être appliqué au moment des saisons chaudes durant lesquelles le brai est susceptible de se ramollir.

243. Marche et contrôle de la distillation discontinue. — Le goudron déshydraté est chargé à une température voisine de 100° dans la cornue dont on élève la température en activant le foyer.

La distillation s'effectue aussitôt : les produits obtenus

sont le plus souvent classés d'après leur densité, de la manière indiquée par le tableau ci-dessous :

	DEGRÉS ARÉOMÈTRE SCHULTZE	DENSITÉS
Huiles légères.	< 39°	< 0,986
Huiles à naphthaline.	39 à 49°	0,986 à 1,033
Huiles intermédiaires.	49 à 53°	1,033 à 1,052
Huiles à anthracène.	53 à 62°	1,052 à 1,094

Lorsqu'on arrive aux huiles [d']anthracène, on injecte de la vapeur vive pour faciliter la fin de la distillation.

244. Procédé de distillation continue Ettore-Ray. —

Dans le procédé Ray, le goudron circule régulièrement dans une série de cornues où il est porté à des températures croissantes.

Les vapeurs qui s'échappent de chacune des cornues sont condensées séparément, ce qui donne autant de fractions qu'il y a de chaudières dans l'appareil.

Pratiquement, l'installation comporte un four chauffé au gaz de gazogène avec réchauffement de l'air secondaire par récupération de la chaleur des fumées. Dans l'alvéole du four sont disposées, les unes à côté des autres, cinq ou six cornues en fer, réunies entre elles par des siphons et légèrement inclinées sur l'horizontale alternativement dans un sens et dans l'autre (fig. 111).

Les gaz de la combustion circulent successivement autour de chacune de ces cornues, tandis que le goudron suit un parcours inverse.

Cette disposition réalise donc un chauffage méthodique susceptible de donner un bon rendement. On règle la vitesse du gaz, et par conséquent la température de chaque

compartiment du four, en agissant sur des registres appropriés.

L'écoulement du goudron est en même temps commandé par une série de soupapes s.

Les vapeurs qui se dégagent de chaque cornue sont con-

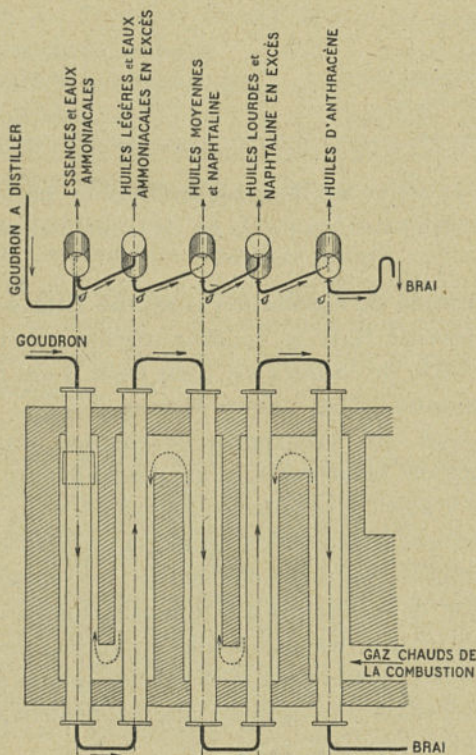


Fig. 111. — Schéma du procédé de distillation continue Ettore Ray.

densées et donnent d'une manière continue les fractionnements recherchés. Une injection de vapeur facilite la distillation dans les dernières cornues.

Le brai sort à une température moyenne de 265°. La

consommation de combustible ne dépasserait pas 7 pour 100 du goudron : un groupe de 5 cornues de 250 millimètres de diamètre et de 5 mètres de long permettrait de traiter 25 tonnes de goudron par 24 heures.

En 1918, deux installations de ce système fonctionnaient, l'une en Italie et l'autre en Bohême.

245. Procédé de distillation continue Raschig. — Dans le procédé Raschig (fig. 112), le goudron traverse successivement et d'une manière continue 3 chaudières fonctionnant à des températures sensiblement égales (145 à 160°) et sous des pressions variables.

Ces chaudières sont des caisses plates à section rectangulaire, partagées par des chicanes entre lesquelles est logé le serpentín de chauffage. Elles sont inclinées de telle façon que leur contenu s'écoule dans le sens opposé à la circulation du fluide de chauffage. Ce dernier est de la vapeur pour les deux premières chaudières et de l'eau surchauffée (sous une pression de 200 kilogrammes) pour la troisième. Les chaudières 1 et 2 sont en tôle, la chaudière 3 est en fonte.

Le goudron, pompé dans les citernes, traverse une série de condenseurs B en refroidissant les huiles légères dégagées dans le premier groupe distillatoire. Il passe ensuite dans l'échangeur C, où il est échauffé par le brai venant du dernier groupe. Il arrive alors dans la chaudière n° 1 travaillant à la pression atmosphérique.

Dans ce premier groupe, le goudron abandonne, à l'état de vapeur, ses eaux ammoniacales et ses huiles légères qui sont condensées par le goudron froid dans les réfrigérants B, puis séparées par florentin. Il descend alors, par gravité, dans le tube barométrique K.

Il est aspiré sous l'influence du vide dans la chaudière n° 2, maintenue sous pression réduite (70 millimètres de

mercure) par une pompe à simple effet. Les vapeurs qui s'échappent de cette chaudière arrivent à la partie inférieure d'une colonne F constituée par un cylindre en tôle d'une grande hauteur, rempli par un empilage d'anneaux Raschig (voir § 178).

Du sommet de cette colonne s'échappent des vapeurs légères dont la condensation donne les huiles à phénol,

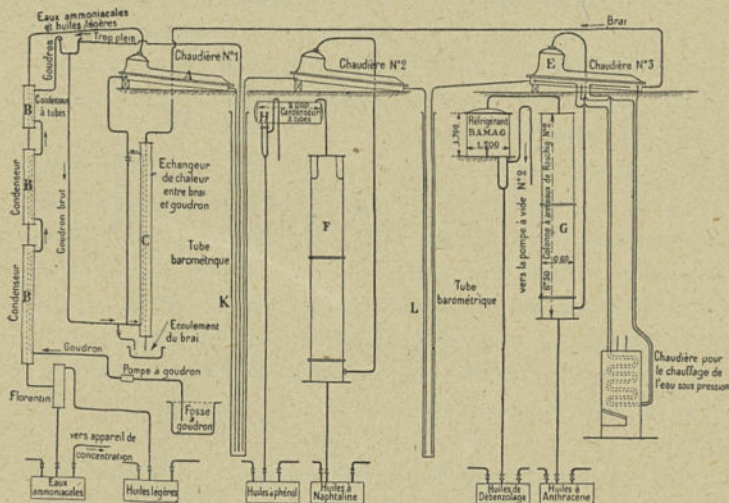


Fig. 112. — Schéma du procédé de distillation continue Raschig.

tandis que, de la base, s'écoulent des vapeurs lourdes qui, par réfrigération, donnent les huiles à naphtaline.

À la sortie de la chaudière n° 2 le goudron s'écoule dans le tube barométrique L, puis il est aspiré dans la chaudière n° 3, où règne une pression absolue de 33 millimètres de mercure maintenue par une pompe à double effet. Les vapeurs provenant de cette chaudière sont fractionnées par une colonne Raschig G, analogue à la première, à la base

de laquelle on recueille les huiles à anthracène tandis qu'au sommet s'échappent les vapeurs d'huile pour débenzolage qui se condensent dans le réfrigérant I.

Le brai s'écoule de la chaudière n° 3, se refroidit dans l'échangeur C en échauffant le goudron à distiller, puis est dirigé vers des moules spéciaux où il se solidifie.

Ce procédé, qui permet d'obtenir 5 variétés d'huiles, est en marche depuis de nombreuses années à l'usine Raschig de Ludwigshafen, où il fonctionne d'une manière régulière et satisfaisante.

246. Procédé de distillation continue Lenhard. —

Dans le procédé Lenhard (fig. 113) le goudron est distillé dans une chaudière unique et la séparation des différentes fractions vaporisées est obtenue au moyen d'une condensation fractionnée continue et méthodique.

Le dispositif de vaporisation est constitué par un serpent en fer d'une grande longueur: 800 mètres pour un appareil distillant de 60 à 80 tonnes par 24 heures; son diamètre augmente depuis 60 millimètres à l'entrée jusqu'à 100 millimètres à la sortie.

Le goudron réchauffé et déshydraté est refoulé dans le serpent sous une pression voisine de 1^{kg},5. Le serpent, légèrement incliné, est chauffé dans un four par radiation. La température à la sortie atteint 350° environ.

Le brai et les vapeurs se rendent dans un séparateur S constitué par une colonne remplie de poteries. Le brai s'écoule au bas de cet appareil et est conduit aux étouffoirs.

La totalité des vapeurs qui s'échappent au sommet du séparateur S passe successivement dans les réfrigérants A, B, C. Les produits condensés sont: 1° l'huile à anthracène; 2° l'huile à naphthaline; 3° l'huile légère.

Le réfrigérant C est refroidi par de l'eau.

Dans les réfrigérants A et B, le fluide froid est constitué par le goudron à distiller qui s'échauffe jusqu'à 100°. Ce goudron arrive alors dans un séparateur surmonté d'une colonne. L'eau et les huiles légères se dégagent et sont condensées. Le goudron achève sa déshydratation dans une chaudière D, chauffée à la vapeur. L'eau et les huiles légères condensées, jointes à la fraction précédente, se séparent par ordre de densité dans le florentin F.

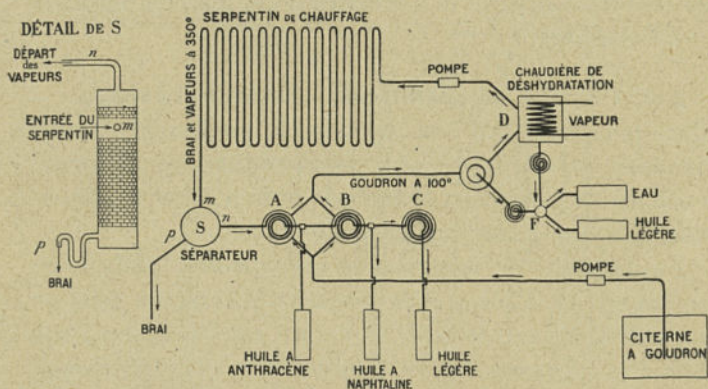


Fig. 113. — Schéma du procédé de distillation continue Lenhard.

Le système Lenhard est employé à Londres, aux usines de la South Metropolitan Gas Co.

Il ne peut convenir qu'aux usines traitant de forts tonnages d'un goudron de qualité sensiblement constante.

247. Résultats de la distillation du goudron. — Le tableau ci-contre donne les pourcentages moyens des différents produits obtenus au cours de la distillation discontinue du goudron dans une usine à gaz. Ils sont relatifs au traitement annuel de 20000 tonnes de goudron pendant 6 années consécutives.

PRODUITS OBTENUS PAR RAPPORT AU TONNAGE TRAITÉ DE GOUDRON BRUT (HYDRATÉ)	POURCENTAGE
Eaux ammoniacales.	4,76
Huile légère.	1,50
Huile à naphthaline brute.	19,40
Huile intermédiaire brute.	6,41
Huile anthracénique brute.	10,22
Brai.	56,71
Pertes.	1,00
Total.	100,00

Le procédé de distillation discontinue donne de bons résultats, mais il occasionne des frais de main-d'œuvre et des dépenses de combustible assez importantes. A ce dernier point de vue, les procédés de distillation continue doivent être plus avantageux, mais ils sont d'un maniement délicat et demandent une mise au point préalable très soignée.

XVII. — HUILES ET BRAI DE GOUDRON

248. Huile légère. — La densité de l'huile légère varie entre 0,910 et 0,960. Elle distille entre 80° et 218° (point d'ébullition de la naphthaline). Les constituants principaux en sont :

les benzols du goudron.. . . .	50 à 70 pour 100	(Benzène, Toluène, Xylènes),
des carbures éthyléniques.	5 à 10	—
des phénols.. . . .	5 à 10	—
des bases pyridiques.	1 à 3	—

On y rencontre en faibles quantités: du thiophène, de l'indène, des cétones, des coumarones, des nitriles.

Les huiles légères peuvent être travaillées dans le but d'extraire les benzols et accessoirement les phénols bruts, les bases pyridiques et les résines de coumarone.

249. Huile moyenne ou à naphthaline. — L'huile à naphthaline, dont la densité est environ 1,010, peut fournir par refroidissement à l'air ambiant de 2 à 30 pour 100 de naphthaline brute suivant la température de cristallisation et le goudron dont elle est issue. Après décantation, sa densité s'abaisse de 2 à 3 centièmes, et elle distille entre 180° et 260°.

Elle est constituée alors principalement par : 25 à 30 pour 100 de phénols du goudron (phénol, crésols, xylénols et homologues supérieurs), des bases pyridiques, des homologues du benzène, de la naphthaline et de ses homologues, des carbures éthyléniques, des coumarones et de l'indène.

L'huile à naphthaline décantée est quelquefois fractionnée pour donner des huiles à phénols plus riches en phénols commerciaux. Les fractions de queue, enrichies en naphthaline, sont alors de nouveau mises en cristallisation.

En résumé, les huiles à naphthaline peuvent donc être traitées pour fournir de la naphthaline, des phénols commerciaux et accessoirement des bases pyridiques.

250. Huile lourde ou intermédiaire. — L'huile lourde ou intermédiaire, dont la densité est environ 1,040, distille entre 218 et 300°. Par cristallisation, elle donne 10 à 20 pour 100 de naphthaline intermédiaire, mélange de naphthaline, d'acénaphthène, de fluorène, de phénanthrène et d'anthracène.

L'huile décantée contient 10 à 15 pour 100 de phénols supérieurs, 2 à 3 pour 100 de bases (quinoléine et homologues), des homologues de la naphthaline et de petites quantités de diphényle, thionaphthène, indol, oxyde de diphénylène, etc....

On se contente généralement de débarrasser le plus possible l'huile intermédiaire de ses constituants cristallisables pour l'utiliser ensuite comme huile pour moteur ou huile de chauffage, en mélange avec l'huile à naphthaline ou l'huile d'anthracène.

251. Huile d'anthracène. — Le poids spécifique de l'huile d'anthracène est voisin de 1,075. Elle passe à la distillation entre 270° et 360°. C'est une huile épaisse de couleur verdâtre qui, par refroidissement, laisse séparer à la cristallisation de 4 à 10 pour 100 d'anthracène brut.

La partie liquide renferme en grande majorité des hydrocarbures solides analogues au phénanthrène, des composés phénoliques (6 à 8 pour 100), des produits basiques homo-

logues de la quinoléine (2 à 3 pour 100) dont le mélange reste liquide à la température ordinaire.

L'huile décantée est employée telle quelle comme huile à moteur, huile de chauffage, seule ou mélangée à d'autres fractions des huiles de goudron.

252. Brai. — Le brai est, comme nous l'avons vu, le résidu de la distillation du goudron. On peut aisément faire varier son point de fusion (ou plus exactement son point de ramollissement) de 65° à 90° environ, en augmentant ou en diminuant les quantités d'huiles extraites, et produire ainsi des brais « durs » ou des brais « gras » ou « mous ». Sa qualité varie également avec celle du goudron mis en œuvre. Le brai est surtout employé pour la fabrication des agglomérés et des vernis ; on l'utilise parfois comme combustible.

253. Usages directs des huiles. — Certaines fractions des huiles de goudron peuvent être employées directement, soit pour le chauffage, soit dans les moteurs Diesel, soit pour l'imprégnation des bois, soit encore pour le débenzolation.

Pour être employées au chauffage, les huiles ne doivent pas contenir une proportion trop élevée de dépôts solides à froid ; il est nécessaire en tout cas que ces dépôts soient susceptibles de se liquéfier par un léger chauffage préalable de l'huile.

Les huiles pour moteurs Diesel doivent être suffisamment fluides ; elles ne doivent pas contenir plus de 1,5 pour 100 d'eau ; leur teneur en produits phénoliques doit être faible.

Pour l'imprégnation des bois, les Compagnies de chemins de fer exigent des huiles de goudron de densité comprise entre 1,015 et 1,100 à 15°, entièrement liquides à 40°

et ne déposant pas moins de 10 ni plus de 30 pour 100, de naphthaline à 15°. Leur teneur en eau doit être inférieure à 1 pour 100 et celle en produits solubles dans la soude (phénols) doit être d'au moins 6 pour 100.

Nous avons étudié d'autre part au sujet du débenzolage (voir 4^e partie : Principaux liquides laveurs) les caractéristiques des huiles de débenzolage.

On s'est enfin préoccupé, depuis quelque temps, de transformer certaines huiles lourdes de goudron en huiles de graissage, par traitement préalable sous pression au-dessus de 300°.

XVIII. — EXTRACTION DES PRINCIPAUX COMPOSANTS DU GOUDRON

254. Traitement des huiles. — Les huiles de goudron de houille peuvent être traitées pour la fabrication des produits suivants : benzols, naphthaline, phénols, anthracène ; et accessoirement : bases pyridiques, résines de coumarone, carbazol, acénaphène, phénanthrène, indol.

255. Extraction des benzols. — L'extraction des benzols des huiles légères de goudron consiste en une simple distillation qui permet d'obtenir du benzol brut tout à fait analogue à ce que nous avons appelé « huile légère du gaz » au chapitre XII (Récupération du benzol) dont le traitement, déjà indiqué, fournit le benzol, le toluol, etc.

256. Extraction et purification de la naphthaline. — La naphthaline brute est obtenue par cristallisation, dans de grands bacs rectangulaires, de l'huile à naphthaline brute, ou encore de l'huile à naphthaline débarrassée des phénols (huile déphénolée).

La naphthaline brute obtenue par essorage (point de fusion : 68 à 74°), contenant de 20 à 30 pour 100 d'huile est amenée, après broyage, dans un malaxeur chauffé par une double enveloppe de vapeur ; elle en sort sous forme d'une pâte à consistance épaisse.

Cette pâte est soumise à un pressage à chaud, vers 50°, sous l'action de presses hydrauliques à plateaux ou mieux de presses revolver. La naphthaline ainsi pressée possède

un point de fusion de 78° à 78°,5. Le rendement au pressage oscille entre 70 et 80 pour 100.

La naphthaline pressée, fondue et maintenue à 90°, est traitée à deux reprises successives par l'acide sulfurique à 66° Bé. (5 pour 100 de son poids), dans un laveur tronconique en tôle plombée.

On lave d'abord à l'eau chaude, puis à la soude à 20° Bé. (10 pour 100 du poids de naphthaline), une nouvelle fois à l'eau, et enfin à l'eau chargée de sulfate de soude, pour favoriser la décantation. Le rendement au lavage est voisin de 90 pour 100.

La naphthaline lavée est distillée dans une cornue en fer, analogue aux cornues de distillation du goudron, chauffée à feu nu et surmontée d'une colonne de rectification. Les premières fractions entraînent la totalité de l'eau (4 à 6 pour 100). On recueille ensuite la naphthaline (P. F. 79° à 80°). Le résidu (6 à 8 pour 100 de la charge) est coulé à chaud dans des bacs en tôle. La naphthaline liquide, condensée par un réfrigérant¹ maintenu à température supérieure à 80°, se solidifie sur un tambour refroidi intérieurement par un courant d'eau. Un racloir détache la pellicule ainsi formée. La naphthaline se présente alors sous forme de paillettes cristallines très blanches. Elle est mise en vente dans cet état (naphthaline « paillette ») ou encore sous forme de boules, obtenues soit par compression du produit pulvérisé, soit par fusion et refroidissement dans des moules de forme spéciale.

257. Usages de la naphthaline. — Les emplois de la naphthaline pure sont très divers.

C'est la matière première des fabrications industrielles des naphthols α et β , de l'acide phtalique et de l'indigo.

1. Brevet pris par la Société d'Eclairage, Chauffage et Force Motrice le 7 janvier 1916. N° 483621.

Elle est utilisée comme désinfectant, ainsi que pour la protection des étoffes et des fourrures contre les insectes.

On l'emploie encore dans les industries des explosifs, des vernis, du tannage, du celluloïd, pour la fabrication de pierres poreuses, de savons détergents, etc.

Enfin, depuis peu, elle a trouvé un débouché important sous forme d'hydrures utilisés comme combustibles liquides et comme solvants.

Ces hydrures de naphthaline, tétrahydrure¹ et décahydrure² principalement, vendus sous le nom commercial de tétraline et décaline, bien qu'ils aient été étudiés pour la première fois en France depuis près de vingt ans, n'ont été fabriqués industriellement jusqu'ici qu'en Allemagne et surtout pendant la guerre. La fabrication de ces produits, obtenus par hydrogénation catalytique de la naphthaline, exige une naphthaline particulièrement pure.

258. Fabrication du phénol brut. — On extrait les phénols de l'huile à naphthaline décantée à laquelle on peut joindre les huiles légères après extraction des benzols, ou encore des huiles à phénols provenant de la rectification de l'huile à naphthaline. Cette dernière contient environ 20 pour 100 de produits phénoliques et l'huile spéciale à phénols de 35 à 40 pour 100. On lave ces huiles dans des appareils discontinus ou continus avec une solution de soude caustique à 10 pour 100. On obtient, après décantation, d'une part une huile déphénolée qui, par refroidissement, abandonne encore une quantité importante de naphthaline qui était maintenue en dissolution par les phénols, et d'autre part une solution de phénates de soude.

Cette dernière est débarrassée de quelques impuretés

1. SABATIER et SENDERENS, *Comptes rendus Académie des Sciences*, t. 132, p. 1257, 1901.

2. H. LEROUX, *Comptes rendus Académie des Sciences*, t. 139, p. 672, 1904.

qu'elle renferme (huile, naphtaline, bases pyridiques) par concentration ou entraînement à la vapeur.

Les phénols sont libérés par l'acide sulfurique, ou mieux par le gaz carbonique car on peut, dans ce cas, récupérer la soude à l'état de carbonate. La soude caustique est alors régénérée par traitement à la chaux vive (caustification). Un four à chaux traitant le calcaire (CO_3Ca) fournit la chaux vive (CaO) et le gaz carbonique (CO_2) à une teneur de 25 à 30 pour 100.

Le phénol brut se sépare des solutions de sulfate ou de carbonate de soude par décantation.

259. Fabrication du phénol purifié. — Le phénol brut est constitué par un mélange en proportions variables de phénols, crésols, xylénols et homologues supérieurs. La plupart de ces corps possèdent des points d'ébullition très voisins. On conçoit donc qu'il soit nécessaire de recourir à plusieurs distillations fractionnées successives pour obtenir des produits sensiblement purs.

La distillation du phénol brut est effectuée : soit à la pression ordinaire dans des chaudières à feu nu, soit sous pression réduite dans des chaudières chauffées par serpent de vapeur. Les colonnes de rectification du type à plateaux, ou encore du type Raschig, doivent être puissantes, de façon à permettre la rétrogradation en chaudière d'une grande partie du produit distillé. Un réfrigérant, maintenu à température convenable pour éviter la cristallisation des fractions solides à température peu élevée, condense les vapeurs dégagées.

C'est ainsi que, pour l'extraction du phénol, une série de rectifications permet d'obtenir des mélanges de richesse en phénol d'environ 50 pour 100, puis 75 pour 100, enfin 85 pour 100.

Par hydratation, puis par refroidissement énergétique,

l'hydrate de phénol (C^6H^5OH , $1/2 H^2O$) cristallise. Il est essoré, puis distillé, et donne ainsi un phénol sensiblement pur, dont le point de fusion est compris entre 40° et $40^\circ,5$ (phénol cristallisé). Le « phénol neige » est une autre forme commerciale du phénol pur, cristallisé en aiguilles blanches qui ne s'agglomèrent que très faiblement, ce qui facilite sa manutention.

260. Fabrication des crésols purifiés. — Les fractions enrichies en ortho-crésol, rectifiées de la même façon, conduisent à un produit commercial dont le point de fusion est compris entre 27 et 29° .

Enfin, comme il est impossible de séparer par rectification le méta et le para-crésol, on obtient un mélange de ces deux corps, renfermant 60 pour 100 du composé méta et 40 pour 100 du composé para.

La séparation de ces deux crésols offre pourtant un intérêt particulier pour la fabrication de la crésylite (trinitro-métacrésol), qui est employée comme explosif. En effet, le méta-crésol seul donne naissance à un composé trinitré. Lorsqu'on nitre par les méthodes ordinaires, en vue d'obtenir les composés trinitrés, le para-crésol est détruit. La nitration d'un mélange de crésols donne donc lieu à une grosse perte d'acide azotique, puisque le mélange technique le plus riche en dérivé méta contient encore 40 pour 100 de dérivé para.

Plusieurs procédés ont été imaginés. Celui qui semble présenter le plus d'intérêt a été mis en œuvre par Raschig. Le mélange des crésols est sulfoné à chaud par l'acide sulfurique à 20 pour 100 d'anhydride. Les sulfonés dilués sont ensuite hydrolysés par la vapeur d'eau. Le sulfoné du méta-crésol se décompose vers 125° tandis que, pour celui du para, la décomposition n'a lieu que vers 140° . La richesse du méta-crésol peut être ainsi portée à 80 pour 100;

les mêmes opérations répétées donnent un méta-crésol 95 pour 100. Le para-crésol peut être isolé dès la première hydrolyse. Par refroidissement et essorage des cristaux, la distillation fournit le dérivé para sensiblement pur.

261. Usage des phénols et crésols. — Le phénol est utilisé comme désinfectant ; il a trouvé un gros emploi dans la fabrication de l'acide picrique (mélinite). C'est également le point de départ de la fabrication de l'acide salicylique.

L'ortho-crésol est utilisé pour la préparation des dérivés salicyliques. Son dérivé dinitré est une matière colorante. Il est employé, de même que le méta-crésol, pour la fabrication de colorants au soufre.

Le méta-crésol conduit à un musc synthétique (dérivé nitré-musc ambrettol).

Les dérivés du para-crésol sont utilisés en parfumerie (aldéhyde anisique).

Enfin, les crésols et le phénol ont trouvé un débouché intéressant dans la fabrication des bakélites, produits de condensation avec le formol, succédanés du celluloïd, de l'ambre et de la gomme-laque.

262. Extraction de l'anthracène. — L'anthracène brut constitue la fraction solide que l'on recueille en abandonnant à la cristallisation l'huile d'anthracène brute.

La teneur en anthracène de ce produit varie entre 15 et 20 pour 100. L'anthracène s'y trouve associé à d'autres carbures : phénanthrène, fluorène, fluoranthène, etc. On y rencontre également, en quantité notable, le carbazol et en plus faibles proportions d'autres composés tels que l'acridine.

263. Purification de l'anthracène. — L'anthracène ne

peut être extrait directement d'un tel mélange où il se trouve en faible teneur. Les solubilités voisines des constituants s'opposent de plus à l'emploi de solvants coûteux dès le début du traitement.

On se trouve donc conduit à enrichir progressivement la matière première par traitements avec des produits de valeur croissante.

Un exemple de traitement est le suivant¹ :

L'antracène brut est dissous à chaud dans une huile de goudron, décantée. La solution refroidie partiellement et filtrée laisse recueillir les carbures les moins solubles, dont l'antracène, ainsi que le carbazol. La teneur en antracène du produit obtenu est voisine de 40 pour 100.

La seconde étape consiste en un lavage à chaud aux crésols : il permet d'atteindre une richesse de 70 pour 100.

L'impureté est alors constituée en grande partie par le carbazol.

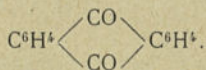
Il est possible enfin d'obtenir un antracène à 92-93 pour 100 de pureté, soit par un traitement à la pyridine qui est un bon solvant pour le carbazol, soit par fusion alcaline avec une lessive de potasse concentrée (80 kilogrammes de KOH et 50 litres d'eau), le carbazol formant avec le potassium une combinaison qui, à l'état de fusion vers 230-250°, se sépare par gravité de l'antracène en fusion.

Un traitement de la combinaison carbazol-potassium par l'eau bouillante permet de dissoudre la potasse et d'obtenir le carbazol solide par décantation, puis filtration. Après concentration la potasse est utilisable pour l'opération suivante.

Enfin, la sublimation donne de l'antracène à 95-96 pour 100.

1. Brevet pris par la Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice, le 28 septembre 1917, n° 493 020.

264. Usages de l'anthracène. — L'anthracène est la matière première qui conduit aux colorants du groupe de l'alizarine, en passant par l'intermédiaire de l'antraquinone :



- Les principaux colorants de ce groupe sont :
- la dioxyantraquinone 1-2 (alizarine),
 - la β -nitroalizarine (orangé d'alizarine),
 - la β -amidoalizarine (marron d'alizarine),
 - les trioxyantraquinones (purpurine, etc.),
 - les polyoxyantraquinones et leurs dérivés,
 - les amidoantraquinones, dont les dérivés benzoylés forment le groupe des colorants algols, etc.,
 - enfin les colorants du groupe de l'indanthrène.
-

HUITIÈME PARTIE

XIX. — EMBLACEMENT DE L'USINE A GAZ. GROUPEMENT DE SES DIFFÉRENTS SERVICES.

265. Emplacement de l'usine à gaz. — Autrefois l'emplacement de l'usine à gaz dans le territoire de la concession à desservir était déterminé presque exclusivement par la nécessité d'assurer une bonne distribution du gaz sous la seule pression des gazomètres; pour cette raison l'usine devait être à peu près au centre de la concession. Depuis que, grâce à l'emploi des ventilateurs centrifuges, le transport et la distribution du gaz sont devenus relativement faciles et peu coûteux, d'autres facteurs régissent cette question d'emplacement: ce sont principalement la proximité des moyens de communication, le prix, la nature et l'altitude du terrain. Enfin, il y a lieu de tenir compte de ce qu'une usine à gaz est soumise à la loi et aux règlements relatifs aux établissements dangereux, insalubres et incommodes (loi du 19 décembre 1917, décrets du 17 décembre 1918 et du 24 décembre 1919).

266. Proximité des moyens de communication. — Pour 1000 mètres cubes de gaz qui pèsent 650 à 750 kilogrammes, une petite usine à gaz a un trafic minimum de marchandises qui se décompose de la manière suivante:

A l'entrée: charbon.. . . .	4 000 kilos
A la sortie: coke.. . . .	2 000 —
goudron.. . . .	144 —
	<hr/>
	6 144 —

Traitement des produits.

17

c'est-à-dire que le poids des marchandises solides ou liquides manutentionnées à l'entrée ou à la sortie de l'usine est environ 10 fois le poids du gaz produit. Il est donc avantageux, même pour les petites usines, d'être reliées au chemin de fer : sinon leur exploitation est grevée de frais de transbordements et transport relativement importants.

Les grandes usines, par mesure d'économie et de sécurité, doivent de plus être desservies par voie d'eau ; dans ce cas, il y a toujours intérêt à choisir de préférence un emplacement en aval de l'agglomération à desservir.

Le tableau ci-contre indique les voies ferrées et fluviales qui desservent quelques grandes usines européennes.

267. Prix, nature et altitude du terrain. — Le prix du terrain et sa nature sont deux questions qui n'en font en somme qu'une, puisqu'à la condition de consentir les dépenses nécessaires il est peu de terrains sur lesquels on ne puisse édifier une usine. Il est rare cependant qu'il soit avantageux de s'établir dans un terrain dont le sous-sol est mauvais et qui, de ce fait, nécessite de coûteuses fondations.

En ce qui concerne l'altitude, il y a intérêt à placer l'usine au point le plus bas du réseau, afin de profiter de la force ascensionnelle du gaz pour faciliter éventuellement la distribution ; il ne faut cependant pas aller trop loin dans cette voie sous peine de courir le risque d'inondations.

Enfin, à côté de ces questions principales, il peut y avoir des circonstances locales dont l'examen attentif conduira quelquefois à sortir des quelques règles générales exposées ci-dessus.

268. Superficie de l'emplacement à acquérir. — Pour fixer la superficie de l'emplacement à acquérir, il convient de déterminer la puissance maxima journalière

que devra atteindre l'usine lors de son plein développement. Notons, en passant, que l'expérience montre bien souvent qu'en cette matière on voit trop petit. Naturellement la surface cherchée ne dépend pas seulement de la quantité de gaz ainsi évaluée, mais aussi du développement qui sera donné au traitement des sous-produits.

USINES	COMPAGNIES	VOIE D'EAU	VOIE DE FER
La Villette	Société du Gaz de Paris	Canal Saint-Denis	Chemin de Fer de l'Est
Cornillon	do	do	Chemin de Fer du Nord
Gennevilliers	Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice	Seine	Chemin de Fer du Nord
Beckton	Gas Light and Coke Co	Tamise	Great Eastern Railway
East-Greenwich	South Metropolitan Gas Co	Tamise	South Eastern and Chatham Railway
Rome	Société Anglo-Romaine	Tibre	Chemin de Fer de l'État Italien
Tegel	Ville de Berlin	Lac de Tegel ¹	Chemin de Fer de l'État Allemand
Hambourg (Grasbrook)	Ville de Hambourg	Elbe	Chemin de Fer de l'État Allemand

1. Lac relié à la rivière Havel, affluent de l'Elbe.

A titre d'indication, une grande usine fabriquant du sulfate d'ammoniaque, distillant ses goudrons et produisant

du benzol, du toluol, de la naphthaline et de l'anthracène a une superficie d'environ un hectare par 12 000 mètres cubes (gaz de houille) de puissance journalière prévue. Les appareils de fabrication de gaz à l'eau étant en général moins encombrants que ceux qui servent à la production du gaz de houille, leur emploi entraîne des réductions de surface.

D'autre part, dans les usines de moyennes puissances (au-dessous de 80 000 mètres cubes par 24 heures), une bonne utilisation du terrain étant moins facile à réaliser, il convient de tabler sur un hectare pour environ 6 à 8 000 mètres cubes de gaz de houille.

269. Les services principaux. — Les différents services d'une usine à gaz peuvent être groupés de la manière suivante :

1° Approvisionnements (réception de houilles et stocks de charbon),

2° Fabrication (ateliers de distillation, ateliers de fabrication de gaz à l'eau),

3° Traitement du gaz (condensation, extraction, lavage, épuration, mesurage),

4° Emission (gazomètres, régulateurs, surpression),

5° Criblage et emmagasinage du coke,

6° Station centrale (production de la vapeur et de la force motrice),

7° Ateliers de traitement des sous-produits (goudrons et eaux ammoniacales),

8° Services accessoires (bureaux, magasins, ateliers de réparation, dépôt de locomotives, lavabos-douches, remise à voitures et camions automobiles, etc...).

Cette classification convient dans tous les cas, sauf pour les très petites usines qui n'ont ni station centrale, ni atelier de traitement des sous-produits.

270. Emplacements à réserver aux différents services. — La distribution du terrain entre les divers services est régie principalement par la position des voies d'accès. Il va de soi que la réception des houilles s'opèrera au bord de la voie d'eau ou à proximité de l'entrée du raccordement au chemin de fer. Lorsque l'usine aura l'avantage d'être desservie par ces deux moyens, les deux entrées seront reliées par une voie ferrée et le parc de stockage sera placé auprès du point de réception le plus fréquemment utilisé. Autant que possible, le parc à charbon devra être suffisamment grand pour permettre de stocker séparément les charbons de différentes qualités et provenances; la reprise et le mélange des houilles devront pouvoir être effectués très commodément par la suite.

Les ateliers de distillation doivent être placés de manière à recevoir facilement les wagons qui apportent le charbon ou de l'extérieur ou du parc : c'est-à-dire que, dans le cas où l'usine sera desservie par fer et par eau, ils seront situés au voisinage immédiat de la voie qui unit la gare et le port. C'est la solution qui a été adoptée à l'usine à gaz de Genevilliers.

Rappelons que les manutentions dans les ateliers de distillation, comme au parc de stockage, seront grandement facilitées si les voies ferrées qui les réunissent sont situées à 4 ou 5 mètres au-dessus du sol de l'usine.

L'atelier spécial à la fabrication du gaz à l'eau doit être situé dans la même région que les ateliers de distillation, pour éviter de longues canalisations de jonction et aussi pour permettre une facile surveillance de l'ensemble. Son alimentation en coke influencera également le choix de son emplacement : dans les grandes usines, il devra être desservi par une voie ferrée ; dans les petites, il faudra le placer non loin de l'atelier de criblage, pour réduire au minimum les dépenses de premier établissement, si un

transporteur mécanique est indispensable, ou, pour diminuer les frais d'exploitation, si le transport doit être effectué par voitures.

L'emplacement de l'atelier de criblage du coke exige une recherche attentive en raison de l'importance du tonnage manutentionné dans cette partie de l'usine. Il est avantageux de le placer assez près des ateliers de distillation, en facilitant en même temps son accès par voie de terre en raison des livraisons à faire en voitures à la clientèle locale. Par ailleurs, il faut envisager ses rapports avec le parc de stockage, la gare, le port (si l'usine est desservie par la voie d'eau) et les différents services de l'usine (gaz à l'eau, station centrale, ateliers de produits chimiques, etc.) où l'emploi du coke pour le chauffage est de rigueur.

Les ateliers de traitement du gaz sont relativement faciles à placer parce qu'en règle générale, sauf pour les ateliers d'épuration, ils ne donnent pas lieu à des manutentions de solides. Les compteurs et les gazomètres sont dans le même cas. En ce qui concerne l'émission, il faut tenir compte de la direction à donner aux grosses conduites de distribution à la sortie de l'usine, de manière à limiter leur longueur au strict minimum et à éviter tout croisement.

La station centrale comprend généralement la production de la vapeur et celle de l'électricité. Dans une grande usine elle sera reliée au réseau de voie ferrée. Bien que le transport de la vapeur dans les conduites calorifugées soit économiquement réalisable, il y aura intérêt à la produire au voisinage des ateliers qui sont les plus forts consommateurs de vapeur, par exemple les ateliers de traitement des sous-produits. Sauf circonstances locales tout à fait exceptionnelles, toute la production de vapeur sera concentrée en un seul point.

Le choix de l'emplacement des ateliers de produits chi-

miques est généralement aisé, le facteur le plus important est dans ce cas l'évacuation du brâi.

En ce qui concerne les ateliers de réparation, il y a grand intérêt à éviter la dissémination dans les différents services des équipes d'ouvriers spécialistes qu'on ne pourrait alors ni outiller, ni contrôler convenablement. Il faut que les ateliers de réparation soient groupés avec le magasin à pièces de rechange et à marchandises diverses. Dans les grandes usines, ces deux organismes doivent être desservis par la voie ferrée et pourvus de ponts roulants, de façon que les manutentions soient toujours rapides et économiques.

Les bureaux et en général les services dans lesquels le public (fournisseurs ou clients) a accès doivent être placés aussi près que possible de la porte d'entrée.

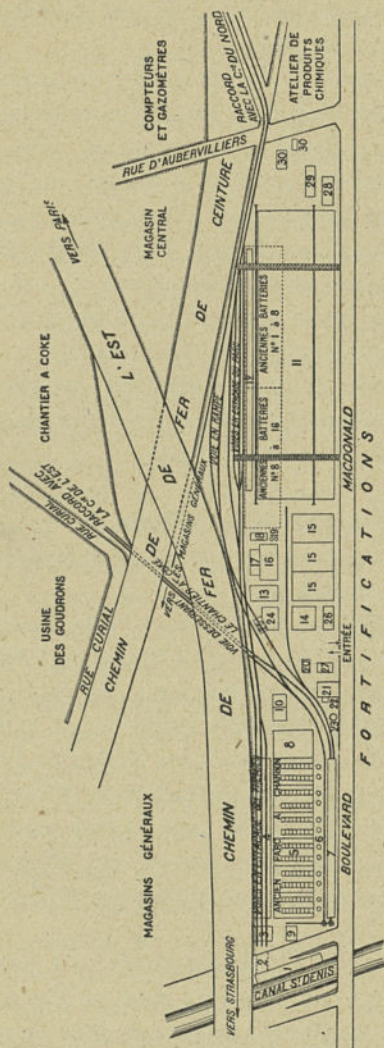
271. Plan de l'usine à gaz de la Villette. — A titre d'application de ces principes, nous donnons deux plans d'ensemble de grandes usines à gaz¹.

L'usine de la Villette (fig. 114) située dans Paris, fournit un bel exemple de bonne utilisation d'un terrain de forme rectangulaire très allongée, desservi par eau et par fer. Elle est équipée avec des fours à chambres inclinées; sa puissance totale est de 450000 mètres cubes par 24 heures. Elle est séparée, par des rues ou des voies ferrées d'intérêt général, de son atelier de criblage de coke, de son service de mesurage et d'emmagasinage du gaz, de son magasin central et de ses ateliers de traitement des sous-produits.

272. Plan de l'usine à gaz de Gennevilliers. — L'usine de Gennevilliers (fig. 115) est située en aval de Paris, à l'intersection de la ligne de Paris à Ermont et de la Seine.

Tous ses services, sauf le déchargement du charbon par

1. Pour plus de détails, voir *Le Gaz*, par René MASSE, t. III, p. 582 et suivantes.

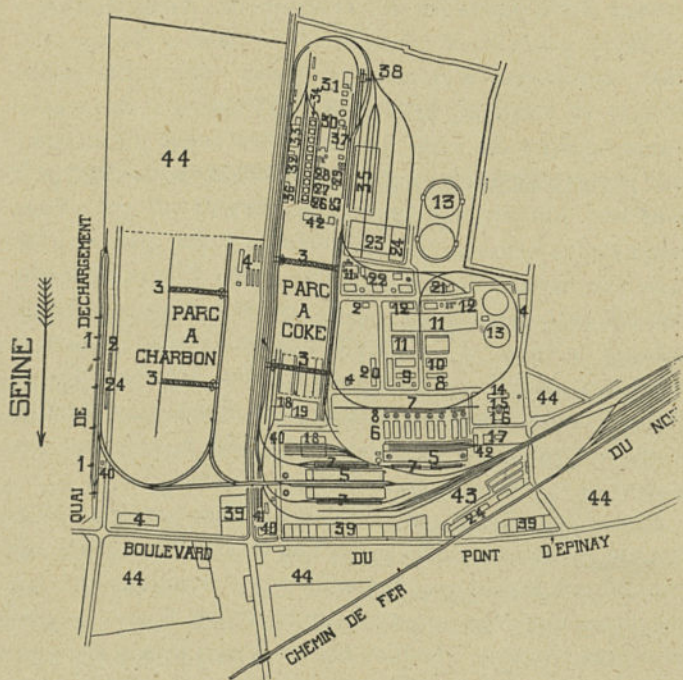


1. Estacade de déchargement des charbons.
2. Tapis souterrain.
3. Tours réserves.
4. Trémies à charbon.
5. Ateliers de distillation.
6. Condenseurs.
7. Sîlos à coke.
8. Remise des chariots extincteurs. Ateliers de réparations.
9. Lavoirs à mâchefer.
10. Lavabos, vestiaires.
11. Parc à charbon.
12. Fosse de reprise.
13. Extracteurs.
14. Laveurs.
15. Épurateurs monobloc.
16. Chaufferies.
17. Salle des machines.
18. Réfrigérant.
19. Épurateur et réservoir d'eau de la chauffe.
20. Station électrique de secours.
21. Pompes, cièrnes, réservoirs.
22. Puits.
23. Réservoir d'eau.
24. Atelier de réparations.
25. Remise des locomotives.
26. Magasin.
27. Bureau.
28. Usine expérimentale.
29. Épuration de l'usine expérimentale.
30. Habitations.

Fig. 114. — Plan général de l'usine de la Villette (Société du Gaz de Paris).

voie d'eau et le parc de stockage, sont groupés sur un même terrain.

Sa puissance actuelle est d'environ 735 000 mètres cubes par jour, dont 90 000 en gaz à l'eau. Elle comporte 3 ateliers



- | | | |
|--|-----------------------------------|--|
| 1. Grues. | laboratoire de contrôle. | 31. Traitement des benzols. |
| 2. Dépôt de matériel. | 18. Classe coke. | 32. Fabrication de l'acide sulfurique. |
| 3. Ponts roulants. | 19. Remise à camions. | 33. Fabrication du sulfate d'ammoniaque. |
| 4. Hangars. | 20. Citernes. | 34. Réservoirs à huiles. |
| 5. Ateliers de fours à cornues horizontales. | 21. Débenzolage. | 35. Fosses à brai. |
| 6. Ateliers de fours à chambres inclinées. | 22. Station centrale. | 36. Laboratoire de recherches. |
| 7. Silos à coke. | 23. Atelier de réparation. | 37. Atelier de gaz à l'eau. |
| 8. Condenseurs. | 24. Magasins. | 38. Atelier de lavage des mâchefers. |
| 9. Extracteurs. | 25. Distillation du goudron. | 39. Maisons d'habitation. |
| 10. Laveurs. | 26. Traitement de la naphthaline. | 40. Bureaux. |
| 11. Épurateurs. | 27. Traitement des huiles. | 41. Infirmerie. |
| 12. Compteurs. | 28. Traitement du phénol brut. | 42. Lavabos et vestiaires. |
| 13. Gazomètres. | 29. Traitement du phénol purifié. | 43. Parc à fonte. |
| 14. Surpression. | 30. Traitement de l'anthracène. | 44. Terrains appartenant à l'usine. |
| 15. Benzolage. | | |
| 16. Émission. | | |
| 17. Usine expérimentale et | | |

Fig. 115. — Plan général de l'usine de Gennevilliers (Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice).

de fours à chambres de Munich d'une puissance de 100 000 mètres cubes chacun et 3 ateliers de fours à cornues horizontales d'une puissance de 115 000 mètres cubes chacun.

Elle est pourvue de condenseurs à claies et de condenseurs annulaires, d'extracteurs Beale, de condenseurs Pelouze et Audouin, de laveurs à naphthaline et de laveurs à ammoniacque du type Standard. Ses salles d'épuration sont partie du type à joint hydraulique et partie du type à joint sec. Elle dispose de 7 compteurs de 90 000 mètres cubes par 24 heures, d'un compteur de 50 000 mètres cubes et de 2 compteurs de 30 000 mètres cubes. Elle possède une capacité gazométrique de 440 000 mètres cubes répartie de la façon suivante : à Gennevilliers 2 unités de 60 000 mètres cubes et 2 unités de 100 000 mètres cubes, à Alfortville une unité de 60 000 mètres cubes et à Boulogne une unité de 60 000 mètres cubes. La distribution est assurée par une station de surpression à ventilateurs Rateau.

La station centrale comporte 10 chaudières Babcock et Wilcox, de 300 mètres carrés de surface de chauffe, à grille mécanique et équipées pour brûler du poussier de coke seul. Les machines motrices comprennent 2 turbines Rateau de 1 000 kilowatts chacune, 1 turbine Brown Boveri de 400 kilowatts et 1 machine compound à piston Dujardin de 500 kilowatts.

Le réseau ferré de l'usine a environ 40 kilomètres de longueur; le matériel roulant se compose de 11 locomotives, 50 wagons trémies, 18 wagons-citernes et 150 wagons divers.

Le service des sous-produits comprend la distillation des goudrons, la décantation des huiles, l'extraction et le raffinage de la naphthaline et de l'anthracène, la récupération du benzol, la fabrication du benzène, du toluène, du solvant naphta, de l'acide phénique cristallisé et neige, de l'ortho-crésol, du méta-paracrésol, de l'acide sulfurique 53° B^e et du sulfate d'ammoniacque.

NEUVIÈME PARTIE

XX. — CONTRATS DE CONCESSION CONTRAT-TYPE

273. Origines des interventions administratives. — Tant que la fabrication du gaz fut pratiquée par de petites installations isolées, n'alimentant qu'un bâtiment déterminé, les autorités administratives n'intervinrent qu'au point de vue de la sécurité publique (Ordonnances royales des 20 août 1824, 25 mars 1838, remplacées par celle du 27 janvier 1846). Mais la création de centres de production plus importants obligea, par la suite, les entrepreneurs à obtenir les permissions de voirie nécessitées par le transport du gaz au moyen de canalisations placées dans le sous-sol des voies publiques.

Le premier traité accordant en réalité aux compagnies gazières de Paris des concessions régulières date seulement du 12 décembre 1846. Il pose deux grands principes qui devaient servir longtemps de base aux traités futurs :

1° Obligation pour le concessionnaire de canaliser les rues en vue d'assurer l'éclairage public ; par contre, autorisation d'utiliser ces conduites pour alimenter les particuliers.

2° Droit exclusif pour le concessionnaire de canaliser les voies publiques, mais, comme contre-partie de ce monopole, limitation en faveur des consommateurs du prix de vente du gaz.

Ce traité fut complété par les Ordonnances royales des 13 et 26 décembre 1846 et, le 12 décembre 1862, par l'Instruction de Dumas et Regnault fixant le degré d'épuration et le pouvoir éclairant du gaz, en même temps qu'elle précise les moyens de déterminer ces deux caractéristiques.

274. Systèmes de concessions actuellement en vigueur.

— Les relations avec les Pouvoirs Publics sont actuellement régies par l'un ou l'autre des trois systèmes suivants :

1° L'usine et le réseau appartiennent à un industriel indépendant auquel la Ville donne la concession de la distribution du gaz suivant certaines conditions fixées dans un cahier des charges.

Avant la guerre, les clauses de ces cahiers des charges étaient généralement très rigides : fixation « ne varietur » des tarifs de vente, gratuité de l'éclairage public et des établissements municipaux, redevance en espèces, retour en fin de concession de l'usine et du réseau à la commune, etc....

Un petit nombre de contractants avaient stipulé que le prix du gaz varierait avec celui du charbon ; certains d'eux avaient, à cet égard, fixé le taux d'accroissement des tarifs de vente sans envisager de limite supérieure, d'autres s'étaient contentés de rédiger un barème indiquant les prix que pourrait atteindre la houille et ceux qui en résulteraient pour le gaz. Ces tarifs ne prévoyaient naturellement pas qu'un jour le charbon atteindrait les prix extraordinaires constatés en 1919 et 1920.

2° L'usine et le réseau appartiennent à la Ville, mais l'exploitation est faite par un fermier ou régisseur intéressé suivant contrat (Régie intéressée, appliquée notamment au Gaz de Paris).

3° L'usine et le réseau de distribution appartiennent à la Ville qui en assure directement l'exploitation.

275. Contrat-type. Circulaire ministérielle du 12 avril 1921. — Les bouleversements économiques provoqués par la guerre (augmentation du prix de toutes choses, charbon, main-d'œuvre, frais de premier établissement, etc....) rendirent le plus souvent quasi impossible la stricte exécution des conditions fixées dans les contrats de concession et causèrent par suite de nombreux procès. En général, ils se terminèrent par l'application de la jurisprudence établie par l'arrêt du Conseil d'État du 30 mars 1916, dans le conflit né entre la Ville de Bordeaux et la Compagnie concessionnaire du gaz.

Cet arrêt énonce le principe de la permanence du contrat avec les risques que les parties contractantes pouvaient normalement entrevoir au moment de sa signature, mais il admet de plus que les circonstances extraordinaires dues à l'état de guerre ont pu créer une situation qui est en quelque sorte le cas de force majeure. Dans cet esprit, le Conseil d'État déclare que le concessionnaire doit « supporter seulement, au cours de la période transitoire, la part des conséquences onéreuses de la situation de force majeure que l'interprétation raisonnable du contrat permettait de laisser à sa charge. »

Le Ministère de l'Intérieur, ému des nombreux conflits survenus entre communes et concessionnaires, a fait rédiger un cahier des charges type qui préconise, pour la tarification du prix de vente du gaz, les deux méthodes suivantes :

1° Le prix de vente du gaz est déterminé d'après son prix de revient réel d'exploitation, en utilisant une formule dans laquelle entrent : le prix du charbon, les salaires, les frais généraux, le prix de vente des sous-produits, etc....

2° Le prix de vente du gaz est déterminé d'après un prix de revient fictif, obtenu en ajoutant algébriquement à un tarif de base, établi d'après la situation économique au moment de la passation du contrat, une somme qui est

fonction de la valeur réelle des divers facteurs de l'exploitation, variant suivant des coefficients forfaitaires.

C'est le principe des tarifs dits « à échelle ».

Signalons que, dans le but d'arriver sûrement à un système susceptible de satisfaire le public, le pouvoir concédant et le concessionnaire, certains contrats prévoient une véritable association entre les Communes et les Compagnies gazières. Le prix du gaz est alors fixé chaque année d'après son prix de revient dans le cours de l'année précédente, compte tenu des charges financières. Comme contre-partie de ces dispositions, le pouvoir concédant se réserve la faculté d'exercer un contrôle sur l'exploitation.

Nous donnons ci-après le texte complet du Modèle de cahier des charges préconisé par le Ministre de l'Intérieur (circulaire aux Préfets du 12 avril 1921).

CONCESSIONS DE DISTRIBUTIONS D'ÉCLAIRAGE PAR LE GAZ

Modèle de cahier des charges.

CHAPITRE I. — *Objet de la concession.*

ARTICLE PREMIER.

Service concédé. — La présente concession a pour objet la distribution publique du gaz pour tous les usages dans la Commune de

ART. 2.

Droit d'utiliser les voies publiques. — La concession confère au concessionnaire le droit d'utiliser les voies publiques et leurs dépendances pour établir, conserver et entretenir dans le périmètre de sa concession, toutes canalisations et installations accessoires nécessaires à la distribution du gaz en se conformant aux conditions du présent cahier des charges.

La Commune de
donne en conséquence d'ores et déjà au concessionnaire sous les conditions prévues à l'article 6 toutes les autorisations de voirie nécessaires sur le domaine de la Commune.

En ce qui concerne les autorisations pour les canalisations et installations accessoires à poser sur ou sous les voies qui ne dépendent pas d'elles, la Commune s'engage à prêter son concours pour faciliter au concessionnaire leur obtention.

Le concessionnaire ne pourra réclamer aucune indemnité pour le déplacement des canalisations et installations accessoires établies par lui ou sous les voies publiques, lorsque ces déplacements seront requis par l'autorité compétente, pour un motif de sécurité publique ou dans l'intérêt de la voirie.

La présente concession n'est pas exclusive, mais la Commune de s'engage à imposer à tout concessionnaire éventuel les mêmes obligations qu'au présent concessionnaire, notamment en ce qui concerne les règlements de police et de voirie, la qualité du gaz, les tarifs, la durée de la

concession, les extensions de la canalisation et les parcours à desservir qui devront être les mêmes ou équivalents pour tous les autres concessionnaires.

Au cas où la Ville accorderait à d'autres des conditions d'exploitation plus favorables, le concessionnaire serait, de plein droit, admis à en bénéficier¹.

ART. 3.

Utilisation accessoire des canalisations. — Le concessionnaire est autorisé à faire usage des canalisations et installations établies en vertu de la présente concession, pour desservir tout consommateur situé hors de la commune, à la condition expresse qu'il n'en résulte aucune entrave au bon fonctionnement de la distribution et que toutes les obligations du cahier des charges soient remplies.

CHAPITRE II. — Travaux.

ART. 4.

Ouvrages à établir. — Le concessionnaire sera tenu d'établir les canalisations de distribution et leurs installations accessoires situées sur ou sous les voies publiques ainsi que sous les voies privées en état de viabilité sous réserve de l'autorisation des propriétaires intéressés. Ces canalisations et installations feront partie intégrante de la concession.

Les ouvrages, appareils et installations destinés à la production du gaz et à son transport jusqu'à l'origine des canalisations de distribution ne font pas partie de la présente concession et ne sont pas soumis aux dispositions du présent cahier des charges².

La Commune donne en location au concessionnaire qui accepte, l'ensemble des canalisations et accessoires qui sont sa propriété, suivant inventaire annexé au présent cahier des charges.

La présente location est consentie pour la durée de la concession, mais elle cesserait de plein droit en cas de rachat ou de déchéance.

Le concessionnaire paiera, pour l'usage des canalisations et accessoires qui lui seront ainsi donnés à bail par la Commune un loyer annuel de

1. Les deux derniers alinéas peuvent être remplacés par le texte suivant : « Pendant la durée de la concession ou pendant les *n* premières années de la concession, le concessionnaire aura seul le droit d'utiliser, dans les limites de la concession, les voies publiques dépendant de la Commune en vue de pourvoir à la distribution du gaz. »

2. *Variante* : Les ouvrages, appareils et installations destinés à la production du gaz et à son transport jusqu'à l'origine des canalisations de distribution font partie intégrante de la concession et sont soumis aux dispositions du présent cahier des charges.

Le concessionnaire aura sur ces canalisations les mêmes droits que sur celles visées au paragraphe premier.

ART. 5.

Voies à canaliser. Délais d'exécution. — Le concessionnaire sera tenu d'établir, dès le début, au moins mètres de canalisations. Les travaux devront être commencés et poursuivis de manière à être achevés dans le délai de 1.

Le réseau des canalisations de distribution sera étendu au fur et à mesure dans les conditions prévues à l'article 12.

ART. 6.

Propriété des installations. — Le concessionnaire sera tenu de se procurer les installations nécessaires à la distribution du gaz ; il pourra toutefois à son choix, soit acquérir les terrains et établir à ses frais les constructions affectées au service de la distribution, soit les prendre en location.

Les baux ou contrats relatifs à toutes locations d'immeubles intéressant le réseau de distribution du gaz dans les Communes devront comporter une clause réservant expressément à la Commune la faculté de se substituer au concessionnaire en cas de rachat ou de déchéance. Il en sera de même pour les contrats de fourniture de gaz si le concessionnaire achète le gaz.

CHAPITRE III. — *Nature et qualité du gaz.*

ART. 7.

Le gaz proviendra, soit de la houille, soit de ses dérivés, soit de toute autre substance combustible.

Il devra satisfaire aux conditions suivantes :

Il devra être parfaitement épuré, conformément aux prescriptions de l'article 8 ci-après.

La teneur en oxyde de carbone ne devra pas dépasser 15 pour 100 (quinze pour cent) en volume.

La puissance calorifique du gaz exprimée par son pouvoir calorifique à pression constante, eau condensée (pouvoir calorifique dit « supérieur ») devra être de calories (kilogramme-degré) par mètre cube mesuré sec, à la température de 0° centigrade et sous la pression de 760 millimètres de mercure².

1. Il pourra être prévu des délais échelonnés.

2. Pour éviter dans l'intérêt général toute perte de calorie, sans avantage pour le consommateur, le pouvoir calorifique du gaz à inscrire à l'article 7 ne pourra dépasser 4 500 calories.

En cas de distribution de gaz mixte par l'emploi du gaz à l'eau, ce dernier devra être carburé avec les produits de la dissociation des huiles de pétrole ou schistes bitumineux¹ de manière que le gaz mixte distribué possède toujours l'odeur caractéristique du gaz de houille².

ART. 8.

La vérification de la bonne épuration du gaz sera constatée au moyen de bandes de papier blanc non collé préalablement préparées en les plongeant dans une dissolution d'acétate neutre de plomb dans l'eau distillée contenant une partie de sel pour 100 parties d'eau. Ces bandes de papier resteront dans le courant de gaz pendant 1/4 d'heure au cours des essais relatifs au pouvoir calorifique.

Si elles ne brunissent pas, l'épuration est réputée bonne ; cet essai sera fait, d'ailleurs, conformément à l'Instruction Pratique adoptée par la Ville de Paris, pour la détermination du pouvoir calorifique du gaz.

La vérification du pouvoir calorifique du gaz sera effectuée au moyen du calorimètre Junkers, non enregistreur, conformément à l'Instruction Pratique susvisée, ou au moyen de toute autre méthode qui serait adoptée par la Ville de Paris.

Les essais auront lieu en présence d'un représentant du concessionnaire ou lui dûment appelé six heures d'avance.

Les appareils nécessaires aux vérifications ci-dessus seront fournis et installés à frais communs dans un local approprié sur le parcours des conduites maîtresses.

Les essais pourront être effectués à une heure quelconque de la journée au gré de la Commune.

En ce qui concerne le pouvoir calorifique, conformément aux prescriptions de l'Instruction Pratique, chaque essai comportera trois expériences. Il est admis, sur la moyenne de ces trois expériences, une tolérance de 10 pour 100 ; toutefois, la moyenne générale arithmétique des différents essais d'un trimestre devra être supérieure ou au moins égale à calories visées à l'article 7 ci-dessus.

La vérification de la teneur en oxyde de carbone sera faite au moyen de la Burette de Bunte, ou par tout autre procédé approuvé par le Conseil Supérieur d'Hygiène de France.

Chaque essai devra comporter trois expériences à une demi-heure d'intervalle, et la moyenne de ces trois expériences constituera le résultat de l'essai.

Une tolérance de 10 pour 100 sera admise sur les résultats de chaque

1. S'il était distribué d'autres gaz que ceux provenant de la houille ou de ses dérivés, ces gaz subiront, s'il y a lieu, une épuration telle qu'au point de vue de l'hygiène, ils présentent des qualités (ou des propriétés) analogues à celles du gaz de houille renfermant 15 pour 100 d'oxyde de carbone.

2. La carburation pourra être opérée avec les dérivés de la houille.

essai, à la condition que la moyenne arithmétique trimestrielle donne comme teneur moyenne en oxyde de carbone un chiffre inférieur ou égal à 15 pour 100 en volume.

Les abonnés ne pourront se prévaloir d'autres vérifications que celles qui auront été faites par la Commune.

CHAPITRE IV. — *Tarifs et conditions de service.*

ART. 9.

Les parties contractantes auront le choix pour la fixation du tarif maximum de vente du gaz entre les deux solutions indiquées ci-après :

Variante A.

Le prix de vente du gaz sera déterminé contradictoirement dans le courant du premier semestre de chaque année d'après son prix de revient d'exploitation (défalcation faite des sous-produits et des recettes accessoires) tel qu'il ressortira des éléments justifiés du compte d'exploitation de l'année précédente¹.

Ce prix de vente sera publié avant fin juin et s'appliquera à une période d'un an comptée à partir du 1^{er} juillet suivant².

Le prix de revient exploitation (compte tenu des recettes dues à la vente des sous-produits, ainsi que des recettes accessoires) sera donné par la formule ci-après étant spécifié qu'en recettes comme en dépenses, il ne sera pas tenu compte des opérations étrangères à l'objet de la concession :

$$P = C + S + F - H$$

dans laquelle :

C représente, ramenées au mètre cube de gaz vendu, les dépenses afférentes à la houille distillée et aux matières premières d'entretien nécessaires pour la fabrication, la distribution et la vente du gaz. On obtiendra donc C en divisant le montant de ces dépenses constatées au cours de l'année précédente par le nombre de mètres cubes de gaz vendus pendant ladite année.

S représente, ramenées au mètre cube de gaz vendu, les dépenses afférentes aux salaires, traitements et émoluments, en y comprenant tous

1. S'il s'agit d'une concession comportant l'établissement de toutes pièces d'une exploitation nouvelle, le prix de vente initial sera fixé contradictoirement par voie de comparaison avec d'autres concessions similaires.

2. Les relevés de compteurs qui porteront sur des consommations effectuées pendant une période chevauchant sur juin et juillet seront dédoublés. On admettra conventionnellement que la consommation afférente à chacun des tarifs est proportionnelle au nombre de jours pour lesquels juin et juillet entrent dans la période considérée.

avantages accordés au personnel (indemnités de vie chère, de résidence, charges de retraite, coke, etc.). On obtiendra donc S en divisant le montant de ces dépenses constatées au cours de l'année précédente par le nombre de mètres cubes de gaz vendus pendant ladite année.

F représente, ramenées au mètre cube de gaz vendu, les dépenses afférentes aux charges d'exploitation industrielles autres que charbons, matières premières, salaires, traitements et émoluments. Ce terme comprend notamment les frais généraux, défalcation faite des recettes accessoires tarifées au contrat (location et entretien des branchements, compteurs, etc.). On obtiendra donc F en divisant le montant de ces dépenses constatées au cours de l'année précédente par le nombre de mètres cubes de gaz vendus pendant ladite année.

H représente, ramenée au mètre cube de gaz vendu, la déduction à effectuer du fait de la vente des sous-produits : coke (y compris celui alloué au personnel), etc. On obtiendra donc H en divisant le montant de ces recettes constatées au cours de l'année précédente par le nombre de mètres cubes de gaz vendus pendant ladite année ^{1 2}.

A l'aide de ce prix de revient d'exploitation P, on déterminera tout d'abord le « prix de revient proprement dit » en lui ajoutant, ramenées au mètre cube de gaz par la méthode indiquée plus haut dans le calcul de P, les charges financières énumérées à l'article 19, 1 du 3°.

1. Il serait plus rationnel d'envisager ici non pas les sous-produits effectivement « vendus » mais les sous-produits « mis à la vente » comme conséquence de la distillation du tonnage de houille entrant dans le calcul de H.

Si l'évaluation portait sur un trimestre par exemple, l'erreur qu'on risquerait ainsi de commettre pourrait être considérable car, selon la période de l'année, il peut y avoir sur un intervalle de trois mois un écart très sensible entre les deux quantités considérées.

Mais comme l'évaluation porte sur une année complète on peut considérer cet écart comme négligeable ; en tous cas il se trouve compensé en quelque sorte automatiquement dans le ou les exercices suivants. Dans ces conditions, au lieu d'envisager pour le calcul de K les quantités de sous-produits « mises à la vente » on envisagera celles « effectivement vendues » car ces dernières sont plus facilement contrôlables que les premières.

2. La formule ci-dessus : $P = C + S + F - H$ s'applique à un mélange de gaz de houille et de gaz à l'eau, ce dernier pouvant être considéré comme un produit secondaire de la distillation de la houille. Si le gaz distribué est un mélange de gaz de houille et de gaz à l'eau, il suffira donc, qu'il s'agisse d'évaluer le volume total constituant le diviseur commun des quatre coefficients C, S, F et H, ou d'évaluer les dépenses constituant les dividendes respectifs de ces mêmes coefficients, de bloquer les données relatives au gaz de houille avec celles relatives au gaz à l'eau.

Pour une même dépense de charbon on aura un volume de gaz qui sera augmenté du volume de gaz à l'eau fabriqué, mais, par contre, la vente des sous-produits se trouvera réduite de la valeur du coke qui aura été employé à la fabrication du gaz à l'eau et, éventuellement, de la valeur du carburant qui aura été employé à enrichir ce même gaz à l'eau.

On fixera ensuite le prix de vente, pour la période d'un an considérée en majorant ce prix de revient proprement dit de N centimes¹. Ce chiffre N sera fixé dans le contrat pour toute la durée de la concession. Le gaz utilisé pour la force motrice bénéficiera d'un rabais de pour 100 sur le prix déterminé ci-dessus.

Variante B.

Le prix de vente du gaz sera donné par la formule :

$$P = p + K(C - c) - K'(H - h) + K''(S - s)^2$$

dans laquelle :

P = prix du gaz cherché, en centimes.

p = prix de base du gaz, en centimes, établi en tenant compte de la situation économique au moment de la passation du contrat, caractérisé par les valeurs de c, h et s.

C = prix du charbon, en francs, par tonne, rendu à pied d'œuvre.

c = prix de référence du charbon, en francs, par tonne, rendu à pied d'œuvre.

H = prix net moyen des sous-produits, en francs, par tonne, départ usine.

h = prix net de référence des sous-produits, en francs, par tonne, départ usine.

S = salaire horaire moyen, en francs.

s = salaire horaire moyen de référence, en francs³.

1. De l'importance de ce chiffre N dépendra le jeu plus ou moins large des clauses du III^e de l'article 19 (constitution du fonds de réserve, partage éventuel de bénéfice entre la Société et la Commune). Ce chiffre N pourra être différent suivant l'utilisation du gaz (éclairage, chauffage, force motrice ou autres emplois).

2. Les parties contractantes pourront fixer la valeur de p pour tous usages ou, au contraire, indiquer des valeurs différentes suivant l'utilisation (éclairage, chauffage, force motrice ou autres).

3. S et s s'entendent comme représentant le coût de l'heure de travail effectif de tout le personnel ouvrier et employé, à l'exception du Directeur, comprenant toutes charges accessoires de main-d'œuvre : secours, maladies, allocations en nature, gratifications, assurances, retraites, etc...

En ce qui concerne les valeurs de H et h pour les petites usines, on peut les limiter au prix moyen pour le coke seul ; dans les moyennes et grandes usines, on doit, au contraire, tenir compte de la variation de vente des produits ammoniacaux et du goudron. Pour calculer H, on considère H comme le prix moyen de vente de la tonne des sous-produits réunis. A cet effet, on prendra les recettes de coke, de produits ammoniacaux et du goudron et on divisera la somme ainsi obtenue par la somme des tonnages correspondants de coke + produits ammoniacaux + goudron.

Dans le cas du sulfate d'ammoniaque, le coût de l'acide sulfurique par tonne

K = l'influence, sur le prix de vente d'un mètre cube de gaz, d'une variation de 1 franc par tonne de houille distillée¹.

K' = l'influence, sur le prix de vente d'un mètre cube de gaz, d'une variation de 1 franc dans le prix de vente de la tonne des sous-produits réunis¹.

K'' = l'influence, sur le prix de vente d'un mètre cube de gaz, d'une variation de 1 franc du salaire horaire moyen¹.

A moins de variations exceptionnelles dans les valeurs de C et H dépassant 20 pour 100, le prix à percevoir par le concessionnaire s'établira tous les ans et sera fixé, avant le 1^{er} décembre, pour être mis en application le 1^{er} janvier suivant.

Les valeurs de C , H et S seront obtenues par la moyenne des résultats constatés dans les 12 mois précédant le 1^{er} octobre de chaque année.

(La partie qui suit s'applique indifféremment à la variante A et la variante B.)

ART. 9 bis.

Si le concessionnaire abaisse pour certains abonnés les prix de vente du gaz, avec ou sans conditions, au-dessous des limites fixées par le tarif maximum prévu ci-dessus, il sera tenu de faire bénéficier des mêmes réductions tous les abonnés placés dans les mêmes conditions de débit, d'horaire d'utilisation, de consommation, de nature d'emploi et de durée d'abonnement.

A cet effet, il devra établir et tenir constamment à jour un relevé de tous les tarifs réduits ou abaissements consentis, avec mention des conditions auxquelles ils sont subordonnés.

Un exemplaire de ce relevé sera déposé dans chacun des bureaux où peuvent être contractés des abonnements, et tenu constamment à la disposition du public et des agents du contrôle².

de produit vendu devra être déduit à raison de 115 kilogrammes d'acide sulfurique par 100 kilogrammes de sulfate, aussi bien pour la valeur de H que pour la valeur de h .

1. Pour la détermination des valeurs de K , K' et K'' , on devra s'efforcer de tenir compte à forfait des différents facteurs économiques variant plus ou moins parallèlement avec le prix du charbon et de la main-d'œuvre, en particulier pour les matériaux d'entretien de toute nature. Il y aura lieu, du reste, de tenir compte de l'importance de l'usine considérée et des conditions particulières d'exploitation. Le coefficient K variera entre 0,36 pour les plus grandes usines et 0,60 pour les petites usines. Le coefficient K' variera entre 0,19 pour les très grandes usines et zéro pour les toutes petites. Le coefficient K'' variera entre 8,0 pour les très grandes usines et 25,0 pour les très petites.

2. Les deux derniers alinéas qui précèdent doivent figurer dans les cahiers des charges de toutes les concessions comportant un privilège. Pour celles qui ne comportent qu'un privilège d'une durée limitée, il peut être stipulé que ces deux alinéas cesseront d'être appliqués quand le privilège prendra fin. Ils sont facultatifs pour les concessions ne comportant pas de privilège.

Les fournitures comportant des sujétions spéciales pour le concessionnaire ne sont pas soumises aux maxima fixés par le présent article.

ART. 10.

Pour les besoins de la Commune les prix de vente du gaz sont déterminés comme suit¹ :

ART. 11.

Obligation de consentir des abonnements sur tout le parcours de la distribution. — Dans les voies canalisées, et pour les usages domestiques, le concessionnaire sera tenu de fournir le gaz dans les conditions du présent cahier des charges et ce, dans le délai de mois de la demande qui lui en aura été faite, à toute propriété dont la clôture sera située au droit des canalisations de rues existantes.

Le concessionnaire pourra exiger que le demandeur contracte un abonnement d'une durée d'au moins une année.

ART. 12.

Obligation d'étendre le réseau. — Le concessionnaire sera tenu d'installer toute canalisation pour laquelle un ou plusieurs des propriétaires des immeubles à desservir lui garantiront, pendant cinq ans, une recette brute annuelle de francs par mètre courant de canalisation à installer, la longueur à établir étant comptée à partir du réseau déjà existant, sans y comprendre la longueur des branchements qui desserviront chaque immeuble.

ART. 13.

Branchements. — Les branchements ayant pour objet l'amenée du gaz depuis la canalisation de distribution jusqu'au robinet d'entrée du compteur seront établis et entretenus par le concessionnaire et feront partie intégrante du réseau de distribution.

Le concessionnaire ne sera pas tenu d'accepter l'installation du compteur à plus de cinq mètres à l'intérieur de la propriété.

Les frais d'installation des branchements seront remboursés au concessionnaire par les propriétaires ou abonnés conformément au tarif ci-après² :

Les propriétaires ou abonnés qui garantiront une consommation d'au

1. Inscrire à cet endroit les modalités de la fourniture et, en particulier, les conditions de fonctionnement du Service de l'Éclairage Public (prix à l'heure, entretien des manchons, entretien du matériel, etc...). Ces conditions pourront faire, au besoin, l'objet d'un cahier des charges annexe spécial.

2. Ce tarif sera fonction de la longueur du branchement et de la puissance du compteur. Il comportera une échelle variable tenant compte du cours des métaux et de la main-d'œuvre.

moins mètres cubes par an pendant années seront dispensés du remboursement des frais d'installation des branchements à condition d'y substituer le paiement d'un loyer mensuel, conformément au tarif ci-après¹ :

Le concessionnaire aura le droit de percevoir sur chaque abonné une taxe mensuelle pour l'entretien du branchement, conforme au tarif ci-après² :

ART. 14.

Compteurs. — Les compteurs servant à mesurer le gaz livré aux abonnés par le concessionnaire seront d'un des types adoptés par la Ville de Paris ou³

Le concessionnaire aura l'obligation de fournir en location des compteurs aux abonnés qui les lui demanderont. Il aura le droit de percevoir une taxe mensuelle pour la location et l'entretien au tarif ci-après⁴ :

L'abonné aura la faculté de fournir lui-même son compteur⁵.

Les compteurs seront poinçonnés par le Service compétent.

Ils seront posés et plombés par le concessionnaire qui aura droit au remboursement des frais de pose au tarif ci-après :

Que les compteurs soient en propriété ou en location, les abonnés sont responsables des avaries ou dégâts pouvant provenir de causes extérieures à l'usage normal du compteur (incendie, gelée, choc, etc.).

ART. 15.

Vérification des compteurs. — Le concessionnaire pourra procéder à la vérification des compteurs aussi souvent qu'il le jugera utile.

L'abonné aura toujours le droit de demander la vérification du comp-

1. Ce tarif sera fonction de la longueur du branchement et de la puissance du compteur. Il comportera une échelle variable tenant compte du cours des métaux et de la main-d'œuvre.

2. Cette taxe sera fonction de la longueur du branchement et de la puissance du compteur. Elle comportera une échelle variable tenant compte du cours des métaux et de la main-d'œuvre.

3. On pourra, si on le préfère, adopter la formule suivante : agréés par un organe technique choisi d'un commun accord entre la Commune et le concessionnaire.

4. Ce tarif sera fonction de la puissance du compteur. Il comportera une échelle variable tenant compte du cours des métaux et de la main-d'œuvre.

5. Le cahier des charges pourra stipuler la fourniture exclusive des compteurs en propriété par le concessionnaire.

(Dans ce cas, l'alinéa sera remplacé par le suivant : « Les compteurs en propriété seront exclusivement fournis par le concessionnaire dans les conditions du tarif ci-après »).

teur. Les frais de vérification seront à la charge de l'abonné, si le compteur est reconnu exact ou si le défaut d'exactitude est à son profit.

Les valeurs des écarts dans la limite desquels les compteurs seront considérés comme exacts, seront celles adoptées, pour chaque type de compteur, par la Ville de Paris ou par l'organe technique visé à l'article 14, au moment où il aura agréé le type de compteur.

ART. 16.

Avances sur consommations. — *Le gaz est payable d'avance, en conséquence l'abonné sera tenu, sur la demande du concessionnaire, de lui verser, à titre d'avance sur consommation une somme de¹ montant évalué de la consommation d'un mois.*

Cette avance ne sera pas productive d'intérêt et sera remboursable à l'expiration de l'abonnement s'il y a lieu.

ART. 17.

Paiement des fournitures. — Le paiement aura lieu sur présentation de la facture, après relevé de consommation. A défaut de paiement dans les 5 jours qui suivront la présentation de la facture, le concessionnaire pourra refuser de continuer la fourniture du gaz, sous toutes réserves de poursuivre par les voies de droit, l'exécution des présentes conventions.

L'abonné ne pourra opposer à la demande de paiement aucune réclamation sur la quotité des consommations constatées; en conséquence, le montant des factures sera toujours acquitté à présentation, sauf au concessionnaire à tenir compte à l'abonné sur les paiements ultérieurs de toute différence qui aurait eu lieu au préjudice de celui-ci, si mieux n'aime l'abonné recevoir en espèces le montant des réclamations qui seraient reconnues fondées.

ART. 18.

Conditions particulières de service. — L'abonné aura, après le compteur, la libre et permanente disposition du gaz, sous sa responsabilité et sous la réserve qu'il n'en résulte aucune fluctuation de pression dans les canalisations des rues, ni aucun trouble dans la distribution.

CHAPITRE V. — *Participation de la Commune dans les bénéfices du concessionnaire.*

ART. 19.

Le concessionnaire établira pour chaque exercice un compte d'exploitation dans les conditions suivantes :

1. Cette somme sera proportionnelle à la puissance du compteur.

I. — Au débit seront portés :

1° Toutes les dépenses et tous frais généraux relatifs à l'exploitation de la concession proprement dite, à l'entretien du matériel de fabrication et de distribution.

2° Les frais généraux d'administration fixés forfaitairement à pour 100 des dépenses mentionnées au paragraphe précédent.

3° Les charges financières comprenant : les intérêts ¹ du capital actions, des emprunts, des découverts en banque, les intérêts des fonds de réserve de l'exploitation, les intérêts des sommes provenant des réserves propres de la Société (bénéfices non distribués) et investies par elle dans l'affaire soit en dépenses de premier établissement, soit en marchandises, soit en fonds de roulement, l'amortissement des charges de constitution de Société et d'émissions, l'amortissement des emprunts, l'amortissement du capital initial, ainsi que de la part des réserves affectées au premier établissement.

Les réserves propres de la Société ne seront considérées comme investies dans l'exploitation et ne porteront intérêt au débit du compte d'exploitation, qu'autant qu'elles ne porteront pas le fonds de roulement au delà de ce qui est nécessaire pour assurer le fonctionnement normal de l'exploitation pendant un délai.....

II. — Au crédit, les recettes de toute nature à provenir de l'exploitation de la concession et les intérêts produits en Banque par les portions disponibles des fonds investis.

III. — Si le compte d'exploitation ainsi établi présente un solde créditeur, ce solde sera diminué d'un prélèvement destiné à constituer un fonds de réserve et de renouvellement pour l'exploitation. Ce prélèvement ne pourra, en aucun cas, être supérieur à $1/n^{\circ}$ du montant du solde créditeur. Les intérêts à provenir du fonds constituant cette réserve d'exploitation s'ajouteront, pour chaque exercice, aux prélèvements antérieurs. Ils seront compris par contre dans les charges financières comme il est dit au I 3°.

Éventuellement, lorsqu'au cours d'exercices antérieurs, les charges financières indiquées ci-dessus n'auront pu être couvertes, il sera fait, sur le solde créditeur du compte d'exploitation, les prélèvements nécessaires pour couvrir en totalité cette insuffisance.

Le solde ainsi obtenu constituera le bénéfice net de l'exploitation qui sera réparti comme suit :

1. Les intérêts sont fixés : pour le capital des emprunts, au taux réel de l'émission ; pour le capital nouvellement investi ainsi que pour les réserves au taux moyen des avances de la Banque de France au cours de l'exercice avec un minimum de , ce taux moyen étant lui-même majoré de deux points ; pour le capital anciennement investi, au taux moyen de la rémunération effective pendant les n années antérieures au 1^{er} janvier 1914, si mieux n'aime le concessionnaire accepter le taux moyen des avances de la Banque de France, majorées comme ci-dessus pendant la même période.

- 1° pour 100 pour rémunération complémentaire de l'exploitant¹ ;
- 2° Le surplus réparti à raison de pour 100 pour la Commune et
pour 100 pour le concessionnaire.

CHAPITRE VI. — *Durée de la concession, rachat et déchéance.*

ART. 20.

Durée de la concession. — La durée de la concession est fixée à années ; elle commencera à courir à la date de son approbation définitive.

ART. 21.

Reprise des installations en fin de concession. — Dans le cas où la présente concession ne serait pas prorogée, à l'époque fixée pour l'expiration de la concession, la Commune sera subrogée aux droits du concessionnaire et prendra possession de tous les immeubles et ouvrages faisant partie de la concession, qui lui seront remis gratuitement et il ne sera attribué d'indemnité au concessionnaire que pour la portion du coût de ces ouvrages et installations qui sera considérée comme n'étant pas amortie. Elle sera égale aux dépenses, dûment justifiées, supportées par le concessionnaire pour l'établissement de ceux des ouvrages ci-dessus énumérés subsistant en fin de concession qui auront été exécutés pendant les n dernières années de la concession, sauf déduction pour chaque ouvrage de $1/n$ de sa valeur², pour chaque année écoulée depuis son achèvement. L'indemnité sera payée au concessionnaire dans les six mois qui suivront l'expiration de la concession.

En ce qui concerne le mobilier et les approvisionnements affectés à la distribution concédée, la Commune se réserve le droit de les reprendre en totalité ou pour telle partie qu'elle jugera convenable, mais sans pouvoir y être contrainte. La valeur des objets repris sera fixée à l'amiable ou à dire d'experts, et payée au concessionnaire au moment de la prise de possession.

Le solde créditeur du « Fonds de réserve et de Renouvellement d'exploitation » constitué en vertu du 1^{er} alinéa du III de l'article 19 ci-dessus, sera réparti entre la Commune et le concessionnaire dans les conditions fixées au même article 19 (3^e alinéa du III).

Dans tous les cas, la Commune aura la faculté, sans qu'il en résulte un droit à une indemnité pour le concessionnaire, de prendre pendant les six derniers mois de la concession toutes mesures utiles pour assurer la continuité de la distribution du gaz en fin de concession, en réduisant au

1. Ce pourcentage ne pourra pas dépasser un maximum de pour 100.
2. Le chiffre n peut être différent suivant la catégorie des ouvrages.

minimum la gêne qui en résultera pour le concessionnaire. Elle pourra prendre toutes les mesures nécessaires pour effectuer le passage progressif de la concession ancienne à une concession ou à une entreprise nouvelle.

ART. 22.

Rachat de la concession. — A l'expiration des quinze premières années de la concession et ensuite à la fin de chaque période quinquennale, la Commune aura le droit de racheter la concession entière moyennant un préavis de deux ans¹.

En cas de rachat, le concessionnaire recevra pour toute indemnité :

1° Pendant chacune des années restant à courir jusqu'à l'expiration de la concession, une annuité égale au produit net moyen des sept années d'exploitation précédant celle où le rachat sera effectué, déduction faite des deux plus mauvaises.

Le produit net de chaque année sera calculé en retranchant des recettes toutes les dépenses dûment justifiées, faites pour l'exploitation de la distribution, y compris l'entretien et le renouvellement des ouvrages et du matériel, mais non compris les charges du capital ni l'amortissement des dépenses de premier établissement.

Dans le cas où, au moment du rachat, le solde du Fonds de réserve et de Renouvellement d'exploitation, constitué en vertu du 1^{er} alinéa du III de l'article 19, serait débiteur, ce solde débiteur devrait être remboursé par la Commune au concessionnaire sous réserve de la justification des dépenses imputées à ce compte pour les « p » exercices antérieurs.

Dans aucun cas, le montant de l'annuité ne sera inférieur au produit net de la dernière des sept années prises pour termes de comparaison.

2° Une somme égale aux dépenses dûment justifiées supportées par le concessionnaire pour l'établissement de ceux des ouvrages de la concession subsistant au moment du rachat qui auront été régulièrement exécutés pendant les « n »² années précédant le rachat, sauf déduction pour chaque ouvrage de $1/n$ de sa valeur pour chaque année écoulée depuis son achèvement.

Le montant des sommes dues par la Commune au concessionnaire devra être acquitté par elle préalablement à la prise de possession.

La Commune sera en outre tenue de se substituer au concessionnaire pour l'exécution des engagements pris par lui en vue d'assurer la marche normale de l'exploitation et de reprendre les approvisionnements en magasin ou en cours de transport ainsi que le mobilier affectés à la distri-

1. Le point de départ de la période de 15 ans pourra être reporté à une époque postérieure à la date du contrat, par exemple à une époque où la consommation atteindra un chiffre X, pour les concessions présentant des conditions particulières et pour celles qui ont directement souffert de la guerre.

2. La valeur de n n'est pas nécessairement la même que celle qui résulte de l'article 21.

bution concédée ; la valeur des objets repris sera fixée à l'amiable ou à dire d'experts et sera payée au concessionnaire au moment de la prise de possession.

ART. 22 bis.

Le concessionnaire pourra demander que l'indemnité, au lieu d'être calculée comme il est dit à l'article précédent, soit égale aux dépenses réelles de premier établissement, y compris les frais de constitution de la Société dans la limite de pour 100 des capitaux immobilisés et le montant des insuffisances qui se seraient produites depuis l'origine de sa concession, sans que ce montant puisse dépasser le total des insuffisances constatées pour les dix premières années de la concession. Ces insuffisances seront calculées pour chaque année, en prenant la différence entre les recettes brutes et les charges énumérées ci-après : 1° frais d'exploitation ; 2° intérêts et amortissement des emprunts contractés pour l'établissement de la distribution ; 3° intérêt à 6 pour 100 des sommes fournies par le concessionnaire au moyen de ses propres ressources ou de son capital-actions.

ART. 23.

Remise des ouvrages. — En cas de rachat, ou en cas de reprise à l'expiration de la concession, le concessionnaire sera tenu de remettre à la Commune tous les ouvrages et le matériel de la distribution en état normal de service.

ART. 24.

Déchéance et mise en régie provisoire. — La déchéance peut être prononcée si, par sa faute, le concessionnaire n'a pas achevé la mise en service du réseau de distribution dans les délais et conditions fixés par le cahier des charges. Elle pourra également être prononcée si, après mise en demeure, le concessionnaire ne reconstitue pas le cautionnement prévu à l'article 28 ci-après dans le cas où des prélèvements auraient été effectués sur ce cautionnement en conformité des dispositions du cahier des charges.

Si, par la faute du concessionnaire, l'exploitation vient à être interrompue en partie ou en totalité, il y sera pourvu, en Régie, aux frais et risques du concessionnaire.

La déchéance ou la mise en Régie est prononcée, après mise en demeure, par le Maire après délibération conforme du Conseil Municipal approuvée par le Préfet. Cette délibération devra obligatoirement indiquer les conditions dans lesquelles il sera pourvu à la marche du service.

1. Indiquer à cette place s'il y a lieu, les autres causes de déchéance que les parties croiraient devoir envisager.

CHAPITRE VII. — *Clauses diverses.*

ART. 25.

Impôts et droits d'octroi. — Tous les impôts actuellement établis par l'Etat, le Département ou la Commune, y compris les impôts relatifs aux immeubles de la distribution concédée, seront à la charge du concessionnaire.

1

Les nouveaux impôts ou augmentations d'impôts existants, y compris les frais de perception et frais accessoires qui frapperaient directement ou indirectement le concessionnaire ou l'industrie du gaz, donneront lieu à une indemnité équivalente recouvrée par le concessionnaire sur le consommateur par voie de majoration des tarifs. Il en serait de même dans le cas de majorations des droits d'octroi actuels ou de mise en vigueur de nouveaux droits qui seraient appliqués par une Commune voisine sur le territoire de laquelle serait établie une partie des ouvrages ou installations du concessionnaire.

Dans le cas où, sur le territoire de la Commune concédante, les droits d'octroi sur les matières employées à la fabrication du gaz ou pour le fonctionnement du service concédé viendraient à être augmentés ou de nouveaux droits établis, le concessionnaire aurait le droit de réclamer à la Commune le versement d'une somme équivalente à la charge supplémentaire qui en résulterait pour lui.

ART. 26.

Pénalités. — Faute par le concessionnaire de remplir les obligations qui lui sont imposées par le présent Cahier des Charges, des amendes pourront lui être infligées. Les amendes seront prononcées au profit de la Commune par le Maire.

Les amendes seront appliquées dans les conditions suivantes :

En cas d'interruption générale non justifiée de la distribution du gaz, amende de par heure d'interruption.

En cas de manquement aux obligations imposées par les articles 5, 11, 12 du présent Cahier des Charges et pour chaque infraction, amende de par jour, jusqu'à ce que l'infraction ait cessé ².

En ce qui concerne le pouvoir calorifique prévu à l'article 7, quand la

1. Des précisions pourraient être ici insérées d'un commun accord sur la perception des taxes d'octroi ou de taxes équivalentes et sur les exemptions qui pourraient être envisagées.

2. Les amendes prévues peuvent n'être pas les mêmes pour les infractions aux divers articles mentionnés dans ce paragraphe.

moyenne des essais du trimestre sera inférieure à calories par mètre cube, le concessionnaire paiera à la commune une pénalité de

Dans le cas où la moyenne de deux trimestres consécutifs sera inférieure au minimum imposé les amendes seront doublées.

Toutefois, il ne pourra être appliqué de pénalité qu'autant qu'il aura été fait au moins un essai par chaque semaine du trimestre.

ART. 27¹.

*Cautionnement*¹. — Avant la signature de l'acte de concession, le concessionnaire déposera, soit à la Caisse des Dépôts et Consignations, soit à la Trésorerie générale du département, une somme de en numéraire ou en rentes sur l'Etat, en obligations garanties par l'Etat ou en Bons du Trésor, dans les conditions prévues par les lois et règlements pour les cautionnements en matière de travaux publics.

La somme ainsi versée formera le cautionnement de l'entreprise.

Sur le cautionnement seront prélevés le montant des amendes stipulées à l'article 26 ainsi que les dépenses faites en raison des mesures prises aux frais du concessionnaire du présent Cahier des Charges.

Toutes les fois qu'une somme quelconque aura été prélevée sur le cautionnement, le concessionnaire devra le compléter à nouveau dans un délai de quinze jours à dater de la mise en demeure qui lui sera adressée à cet effet.

La moitié du cautionnement sera restituée au concessionnaire après achèvement du réseau principal de distribution prévu à l'article 5 ci-dessus; l'autre moitié lui sera restituée en fin de concession. Toutefois, en cas de déchéance, la partie non restituée du cautionnement restera définitivement acquise à la Commune.

ART. 28.

Agents du concessionnaire. — Les agents et gardes que le concessionnaire aura fait assermenter pour la surveillance et la police de la distribution et de ses dépendances seront porteurs d'un signe distinctif et seront munis d'un titre constatant leurs fonctions.

ART. 29.

Cession ou modification de la concession. — Toute cession partielle ou totale de la concession, tout changement de concessionnaire, ne pourront avoir lieu à peine de déchéance qu'en vertu d'une autorisation résultant d'une délibération du Conseil Municipal approuvée par le Préfet. La délibération devra être prise dans un délai ne dépassant pas quatre mois à

1. Le présent article est facultatif pour les Communes de moins de 1 000 habitants.

partir de la date de la remise de la demande adressée au Maire. Passé ce délai cette autorisation sera acquise de plein droit.

Cette autorisation ne pourra donner lieu à aucune exigence nouvelle de la part du pouvoir concédant. Elle ne pourra être refusée si le nouveau concessionnaire présente des garanties suffisantes et, en cas de refus, celui-ci devra être motivé.

ART. 30.

Election de domicile. — Le concessionnaire devra faire élection de domicile à

TABLE DES FIGURES

	Pages.
1. Schéma de l'ensemble du traitement du gaz.	1
2. Graphique des températures du gaz dans un barillet de four à cornues.	4
3. Graphique des températures du gaz dans un barillet de four à chambres.	4
4. Siphon de barillet.	5
5. Appareil Drory.	5
6. Bouclier denté pour le nettoyage des barillets.	6
7. Barillet à tabatière.	7
8. Schéma d'un dispositif de concentration des eaux ammoniacales.	8
9. Jeux d'orgues.	10
10. Condenseur à air à tubes horizontaux.	11
11. Condenseur à air annulaire.	12
12. Condenseur à eau à tubes verticaux.	13
13. Extracteur Beale.	16
14. Caractéristiques d'un extracteur centrifuge.	17
15. Installation générale d'un extracteur.	18
16. Régulateur de retour à simple effet.	19
17. Régulateur de vapeur.	21
18. Vanne à clapet automatique.	22
19. Condensateur Pelouze et Audouin.	24
20. Schéma du condensateur électrostatique Cottrell.	26
21. Dispositif de dosage du goudron.	27
22. Graphique des teneurs saturantes du gaz en naphthaline.	30
23. Laveur rotatif Standard à ammoniac.	35
24. Scrubber type Chevalet.	38
25. Laveur Livesey.	39
26. Laveur centrifuge Feld.	41
27. Schéma du procédé de sulfatation semi-directe Koppers.	43
28. Schéma du procédé d'épuration par lavage Koppers.	50
29. Cuve d'épuration.	57

	Pages.
30. Trajet du gaz à travers les cuves d'épuration.	59
31. Salle d'épuration à un seul étage.	61
32. Salle d'épuration à plusieurs étages.	62
33. Distribution du gaz dans un jeu de 4 épurateurs.	63
34. Robinet à tampon d'équerre à 3 voies.	64
35. Installation de revivification.	65
36. Schéma du procédé Burkheiser.	70
37. Volant d'un compteur.	76
38. Développement du volant d'un compteur.	77
39. Dispositif d'enregistrement des débits.	79
40. Développement du volant d'un compteur Multiplex.	80
41. Tube de Pitot.	81
42. Tube de Venturi.	82
43. Schéma de gazomètres.	85
44. Cuves de gazomètres en maçonnerie.	86
45. Cuves de gazomètres métalliques.	89
46. Couvre-joint de tôle de gazomètre.	90
47. Cuve de gazomètre à parois courbes M. A. N.	91
48. Gazomètre sans cuve M. A. N.	92
49. Joint du gazomètre sans cuve M. A. N.	93
50. Equilibre des cloches de gazomètre.	94
51. Dispositif d'accrochage des cloches.	96
52. Guidage mixte des grands gazomètres.	99
53. Guidage hélicoïdal.	101
54. Guidage par câble: système Sauney.	102
55. Graphique des pressions d'émission.	105
56. Régulateur à pression constante.	107
57. Emplacement des régulateurs de sûreté.	110
58. Régulateur de sûreté à simple effet.	111
59. Manomètre ordinaire.	111
60. Manomètre à un tube.	112
61. Manomètre incliné.	113
62. Manomètre enregistreur.	113
63. Burette de Bunte.	116
64. Appareil de Drehschmidt.	118
65. Appareil de Hempel.	119
66 et 67. Photomètre de Dumas et Regnault.	124
68. Calorimètre Junkers.	127
69. Appareil de Schilling.	129
70. Citerne de décantation.	131
71. Réservoirs surélevés à goudron et à eaux ammoniacales.	132
72. Distribution par réseau étoilé.	139
73. Distribution par feeder bouclé.	140
74. Ventilateur Roots.	142

TABLE DES FIGURES

291

	Pages.
75. Détendeur Peebles.	145
76. Détendeur-régulateur à surcharge automatique (Compagnie pour la fabrication des Compteurs)..	146
77. Fermeture automatique de la conduite d'entrée d'un gazomètre-relais.. . . .	148
78. Plan d'ensemble du réseau de la Société E. C. F. M.	149
79. Appareil de dosage du benzol dans le gaz.	157
80. Autre appareil de dosage du benzol dans le gaz.. . . .	157
81. Schéma d'une installation de fabrication de benzol.	158
82. Caractéristiques des huiles de lavage pour benzol.. . . .	161
83. Débenzologie du gaz et désessencement de l'huile de lavage.	163
84. Colonne à plateaux P. Mallet..	165
85. Claie système Zschocke.	166
86. Anneaux Prymm.	166
87. Éléments Brégeat.	167
88. Procédé Bayer pour l'absorption du benzol au moyen du charbon de bois activé.	171
89. Schéma d'une installation de première rectification.	173
90. Schéma d'une installation de lavage chimique.. . . .	174
91. Schéma de l'appareil à rectification continue Egrot et Grangé.	176
92. Appareil de contrôle des produits commerciaux.	178
93. Courbes caractéristiques des produits commerciaux.	179
94. Schéma d'un trommel.	188
95. Mouvement du coke dans un trommel.	188
96. Trommel à plusieurs enveloppes.	189
97. Installation de criblage du coke de l'Usine à gaz de Gennevilliers.	190
98. Schéma d'une installation pour la fabrication de sulfate d'ammoniaque.	200
99. Échangeurs de température..	201
100. Déphlegmateur.	203
101. Colonne distillatoire agitée à sels fixes (type Mallet).	206
102. Appareils saturateurs.	209
103. Saturateur à colonnette type E. C. F. M.	210
104. Schéma d'une installation pour la fabrication d'eaux ammoniacales concentrées.	217
105. Schéma d'une installation pour la fabrication de gaz ammoniac pur.	218
106. Appareil centrifuge pour la déshydratation du goudron.	229
107. Appareil de déshydratation du goudron Wilton.	230
108. Appareil de déshydratation et de distillation du goudron Wilton.	230
109. Appareil de traitement du goudron Hartmann et Lücke.	231
110. Schéma d'une installation de distillation de goudron P. Mallet.	231

	Pages.
111. Schéma du procédé de distillation continue Ettore Ray. . .	238
112. Schéma du procédé de distillation continue Raschig. . . .	239
113. Schéma du procédé de distillation continue Lenhard. . . .	241
114. Plan général de l'usine de la Villette (Société du Gaz de Paris).	264
115. Plan général de l'usine de Gennevilliers (Société d'Éclairage, Chauffage et Force Motrice).	265

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A	
Acide carbonique.	
— (Élimination de l' —).	37, 53
Altitude.	
— (Influence du changement d' — sur la pression du gaz).	138
Ammoniac.	
— (Fabrication du gaz — pur).	217
Ammoniaque (Voiiraussi sulfate d'ammoniaque).	
— (Élimination de l' —).	37 et suiv., 51
— (Élimination des produits ammoniacaux par lavage à l'acide : sulfatation directe).	42
— (Élimination combinée des produits ammoniacaux et sulfurés).	69 et suiv.
— (Dosage de l' —).	118
Analyse.	
— (Méthodes d' — du gaz).	114
— (Principe de la méthode volumétrique).	114
— (Burette de Bunte).	116
— (Méthode générale d' des mélanges gazeux. Procédé Lebeau et Damiens).	117
Anneaux (Voir Laveurs).	
Anthracène.	
— (Lavage par l'huile d' —).	31
— (Huile d' —).	245
— (Extraction de l' —).	253
— (Purification de l' —).	253
— (Usages de l' —).	254
B	
Barillet.	3
— (Dispositifs permettant le nettoyage des —).	6
— (Concentration des eaux ammoniacales des —).	7
— (Produits de condensation recueillis dans le —).	8
Beale.	
— (Appareil —).	15
Benzol.	
— (Récupération du — dans le gaz d'éclairage).	153
— (Teneur en — du gaz d'éclairage).	154
— (Dosage du — dans le gaz).	156
— (Schéma de la fabrication du —).	158

— (Méthodes de captation du — dans le gaz).	159	sur le pouvoir calorifique du gaz).	180
— (Captation du — par lavage du gaz).	159	— (Influence du débenzolage sur le pouvoir éclairant du gaz).	182
— (Propriétés des liquides employés pour le débenzolage du gaz par lavage).	159	— (Extraction des — des huiles légères de goudron).	248
— (Principaux liquides laveurs : huile, goudron, crésols, pétrole).	160	Brai.	
— (Réalisation du lavage du gaz).	162	— (Fosses à —).	236
— (Considérations générales relatives aux laveurs).	164	— (—).	246
— (Colonne de lavage P. Mallet).	164	C	
— (Laveurs à claies. Système Zschocke).	166	Cahier des charges.	
— (Anneaux Raschig).	166	— (Modèle de —).	271
— (Anneaux Prymm).	166	Calorimètre.	
— (Éléments Brégeat).	167	— Junkers.	126
— (Désessencement de l'huile benzolée).	167	— enregistreurs.	127
— (Désessencement et fractionnement combinés).	168	Canalisation.	
— (Composition des huiles légères obtenues).	169	— (Estimation du débit d'une — de gaz).	135
— (Absorption du — au moyen du charbon de bois activé).	170	— (Calcul du diamètre des —).	136
— (Liquéfaction du — par réfrigération du gaz).	172	— (Influence des changements de direction).	138
— (Première rectification des huiles légères).	172	— (Influence des changements de section).	138
— (Lavage chimique).	173	— (Influence du changement d'altitude).	139
— (Rectification finale).	175	— (Groupement des conduites principales).	139
— (Appareil à rectification continue).	176	Chaudières.	
— (Caractéristiques et contrôle des produits commerciaux obtenus).	178	— de distillation discontinue du goudron.	234
— (Influence du débenzolage		Cloches.	
		— de gazomètres.	93
		— (Paroi cylindrique de la — d'un gazomètre).	94
		— (Calotte et charpente de soutien de la — d'un gazomètre).	94
		— (Couronne annulaire d'une — de gazomètre).	95

— (— télescopiques de gazomètres).	97	— (Vitesse de rotation des —).	79
— (Efforts exercés sur la — d'un gazomètre).	98	— Duplex à grande vitesse.	79
— (Guidages radial et tangentiel de la — d'un gazomètre).	98	— Multiplex à grand débit.	80
Coke.		— Rotary.	80
— (Traitement du —).	185	— électrique Thomas.	81
— (Emplois du —).	185	Concentration.	
— (Qualité du — de gaz).	185	— des eaux ammoniacales des barillets.	7
— (Criblage et conditionnement du —).	187	Concession.	
— (Meilleures conditions de criblage et de manutention du —).	187	— (Contrats de —).	267
— (Trommels utilisés pour le criblage du —).	188	— (Origines des interventions administratives).	267
— (Tables à secousses).	189	— (Système de — actuellement en vigueur).	268
— (Autres appareils classés).	190	— (Contrat type. Circulaire ministérielle du 12 avril 1921).	269
— (Dispositions générales des installations du criblage).	190	— (Modèle de cahier des charges).	271
Collecteurs.	9	Condensateurs.	
Colonne.		— à choc Pelouze et Audouin.	23
— de lavage.	38	— à choc à cloches multiples.	24
— à sels volatils, utilisée pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque.	204	— à cloche rotative, système Mallet.	25
— à sels fixes, utilisée pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque.	205	— (Contrôle de l'efficacité des — à goudron).	27
— (Appareil à — unique).	207	— (Réglage du — Pelouze et Audouin).	28
Compteur.		Condensation.	
— (Rôle du — de fabrication).	75	— (Première — du gaz).	2
— (Principe du fonctionnement d'un — de fabrication).	76	— (Théorie de la — du gaz).	2
— (Description d'un — ordinaire).	76	— (Produits de — recueillis dans le barillet).	8
— (Dispositifs particuliers aux — de fabrication).	78	— (Deuxième — du gaz).	23
		— électrostatique.	26
		Condenseurs.	
		— réfrigérants.	9
		— à air.	9
		— à air à tubes verticaux.	10
		— à air à tubes horizontaux.	11

— à air annulaires.	12	maçonnerie travaillée à la traction).	87
— à eau.	12	— de gazomètres en ciment armé.	88
Conditionnement (Voir Criblage).		— de gazomètres métalliques.	88
Conduites.		— à parois cylindriques.	89
— (Groupement des — principales).	139	— à parois courbes.	91
Contrat.		Cyanogène.	
— de concession.	267	— (Élimination du —).	33, 51
— (Origines des interventions administratives).	267	— (Dosage du —).	120
— (Systèmes de concessions actuellement en vigueur).	268		
— (Contrat type. Circulaire ministérielle du 12 avril 1921).	269	D	
— (Modèle de cahier des charges).	271	Débit (Enregistrement du —).	78
Cottrell.		— (Indicateurs de —).	81
— (Condensation électrostatique. Procédé —).	26	— (Estimation du — d'une canalisation de gaz.	135
Crésol.		Débenzolage (Voir Benzol).	153 et suiv.
— (Fabrication des — purifiés).	252	Densité du gaz.	128
— (Usage des —).	253	Déphlegmateur utilisé dans le traitement des eaux ammoniacales.	202
Criblage.		Désessencierment.	
— du coke.	187	— de l'huile benzolée.	167
— (Meilleures conditions de — et de maintenance du coke).	187	— et fractionnement combinés.	168
— (Trommels).	188	Déshydratation.	
— (Tables à secousses).	189	— du goudron.	229
— (Autres appareils classeurs).	190	— mécanique ou essorage du goudron.	229
— (Dispositions générales des installations du —).	190	— thermique.	229
Cuve.		— (Système P. Mallet).	231
— de gazomètres en maçonnerie.	86	Détendeurs.	145
— (Calcul de l'épaisseur d'une — de gazomètre en supposant que la		Diamètre.	
		— (Calcul du — des canalisations).	136
		Direction.	
		— (Influence des changements de — sur la pression du gaz).	138

Distillation.		— (Détendeurs, régulateurs).	145
— du goudron.	232	— du gaz dans la Banlieue de Paris.	149
— discontinuée du goudron.	233		
— (Chaudières de — discontinuée du goudron).	234		
— (Marche et contrôle de la — discontinuée du goudron).	236		
— (Procédé de — continue du goudron Ettore-Ray).	237		
— (Procédé de — continue du goudron Raschig).	239		
— (Procédé de — continue du goudron Lenhard).	241		
— (Résultats de la — du goudron).	242		
Distribution.			
— du gaz.	135		
— (Estimation du débit d'une canalisation de gaz).	135		
— (Calcul du diamètre des canalisations).	136		
— (Calcul de la perte de charge en tenant compte des branchements).	137		
— (Influence des changements de direction).	138		
— (Influence des changements de section).	138		
— (Influence du changement d'altitude).	139		
— (Groupement des conduites principales).	139		
— du gaz par surpression.	140		
— (Avantages de la — à haute pression).	140		
— (Surpresseurs).	141		
— (Ventilateurs rotatifs).	142		
— (Ventilateurs centrifuges).	143		
— (Accouplement des ventilateurs centrifuges).	144		
		E	
		Eaux ammoniacales.	
		— (Concentration des — des barillets).	7
		— (Citernes à goudron et à —).	130
		— (Reprise des goudrons et des —).	133
		— (Traitement des —) (Voir aussi Sulfate d'ammoniac).	193
		— (Fabrication d' — concentrées).	216
		Échangeurs.	
		— de température (utilisés dans le traitement des eaux ammoniacales).	201
		Émission.	
		— (Régulateurs d' —).	106
		— (Régulateurs d' —, à pression constante).	107
		— (Régulateurs de sûreté).	110
		Emplacement.	
		— de l'Usine à Gaz.	257
		— (Proximité des moyens de communication).	257
		— (Prix, nature et altitude du terrain).	258
		— (Superficie de l'emplacement à acquérir).	258
		— à réserver aux différents services.	261
		— (Plan de l'Usine à Gaz de la Villette).	263
		— (Plan de l'Usine à Gaz de Gennevilliers).	263

Épuration.

— chimique du gaz. 45 et suiv.

— (Théorie de la revivification de la matière d'—). 47

— double, liquide et solide (Procédé de la Société du Gaz de Paris). 53

— (Réalisation de l'— chimique). 54

— (Matières d'—). 55

— (Cuves d'—). 56 et suiv.

— (Manœuvres des couvercles et manutention de la matière). 60

— (Distribution méthodique du gaz dans les épurateurs). 61

— (Conduite de l'— et de la revivification). 65

Essorage.

— du goudron. 229

Éthylène.

— (Récupération de l'— dans le gaz d'éclairage). 182

Extracteurs.

— (Utilité et emplacement des —). 14

— (Puissance absorbée par les —). 14

— à piston. 15

— rotatifs. 15

— rotatifs centrifuges. 17

— (Réglage des —). 18

Extraction.

— du gaz. 14

F

Fosses à brai. 236

Fractionnement.

— (Désessencement de l'huile benzolée et — combinés). 168

G

Galets.

— extérieurs et intérieurs de guidage d'une cuve de gazomètre. 100

Gaz (Première condensation du —). 1

— (Extraction du —). 14

— (Deuxième condensation du —). 23

— (Lavage du —). 29

— (Épuration chimique du —). 45

— (Contrôle de la purification du —). 67

— (Mesurage du —). 75

— (Emmagasinage du —). 84

— (Émission du —). 105

— (Composition et qualité du —). 114

— (Méthodes d'analyse du —). 114

— (Densité du —). 128

— (Distribution du —). 135

Gazomètres.

— (Capacité gazométrique). 84

— Types de —. 85

— (Cuves de — en maçonnerie). 86

— (Calcul de l'épaisseur d'une cuve de — en supposant que la maçonnerie travaille à la

traction). 87

— (Cuves en ciment armé). 88

— (Cuves métalliques). 88

— (Cuves à parois cylindriques). 89

— (Cuves à parois courbes). 91

— sans cuve. 91

— (Cloches de —). 93

— (Paroi cylindrique de la cloche d'un —) . . .	94	— (Influence de la température de distillation du charbon).	225
— (Calotte et charpente de soutien de la cloche d'un —).	94	— (Influence de la forme des cornues).	226
— (Couronne annulaire d'une cloche de —).	95	— (Influence de la pression à l'intérieur de la cornue).	226
— à cloches télescopiques.	96	— (Quantité de — recueillie par tonne de charbon).	226
— (Guidage des —).	97	— (Emploi du — brut).	227
— (Efforts exercés sur la cloche d'un —).	98	— (Traitement du —).	228
— (Guidage radial et tangentiel de la cuve d'un —).	98	— (Utilité du traitement du —).	228
— (Galets extérieurs et galets intérieurs de guidage d'une cuve de —).	100	— (Désydratation).	229
— (Guidage hélicoïdal d'une cuve de —).	101	— (Désydratation mécanique ou essorage du —).	229
— (Guidage par câbles d'une cuve de —).	101	— (Désydratation thermique).	229
— (Emploi des —. Mise en gaz).	102	— (Désydratation système P. Mallet).	231
— (Entretien des —).	103	— (Distillation).	232
— (Contamination du gaz dans les —).	103	— (Distillation discontinue).	233
— relais.	148	— (Chaudières de distillation discontinue).	234
Goudron.		— (Condenseurs).	235
— (Contrôle de l'efficacité des condensateurs à —).	27	— (Éprouvettes de coulage).	235
— (Dosage du —).	118	— (Étouffoirs).	235
— (Citernes à — et à eaux ammoniacales).	130	— (Marche et contrôle de la distillation discontinue).	236
— (Reprise des — et des eaux ammoniacales).	133	— (Procédé de distillation continue Ettore Ray).	237
— (Formation du —).	221	— (Procédé de distillation continue Raschig).	239
— (Composition chimique du —).	221	— (Procédé de distillation continue Lenhard).	241
— (Facteurs influant sur la quantité et la composition du —).	224	— (Résultats de la distillation du —).	242
— (Influence de la nature du charbon).	224	— (Huile légère de —).	244
		— (Huile moyenne ou à naphthaline).	244
		— (Huile lourde ou intermédiaire).	245

Pression.

- (Réglage de la — au centre de consommation.) 108
- (Distribution du gaz par surpression). 140
- (Avantages de la distribution à haute —). 140
- (Surpresseurs). 141

Puissance.

- absorbée par les extracteurs. 14

R

Rectification.

- (Première — des huiles légères du gaz). 172
- finale. 175
- (Appareil à — continue). 176

Réglage.

- des extracteurs. 18
- du condensateur Pelouze et Audouin. 25
- de la pression au centre de consommation. 108

Régulateurs.

- de retour. 19
- de vapeur. 20
- d'émission du gaz. 106
- d'émission du gaz à pression constante. 107
- de sûreté. 110
- à surcharge automatique. 146

Relais.

- (Gazomètres —). 148

Revivification.

- (Théorie de la — de la matière d'épuration) 47
- (Appareils revivificateurs). 64
- Conduite de l'épuration et de la —). 65

S

- Saturateurs utilisés pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque. 209

- Scrubber. 38

Section.

- (Influence des changements de — sur la pression du gaz). 138

Services.

- principaux d'une Usine à gaz. 260
- (Emplacements à réserver aux différents —). 261

Soufre.

- (Élimination de l'hydrogène sulfuré par lavage). 49
- (Élimination du sulfure de carbone). 50
- (Élimination combinée des produits ammoniacaux et sulfurés). 69 et suiv.
- (Dosage du — total). 118

Standard.

- (Laveurs —). 31

Sulfate d'ammoniaque.

- (Production et consommation de —). 195
- (Théorie de la fabrication du —). 196
- (Disposition générale d'un atelier de —). 199
- (Échangeurs de température). 201
- (Appareils distillatoires). 202
- (Déphlegmateur). 202
- (Colonne à sels volatils). 204
- (Colonne à sels fixes). 205

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

Ab der Halden, 232.
 D'Aubuisson, 136.
 Audouin, 23, 25, 28, 43, 266.

B

Barlow, 136.
 Barré de Saint-Venant, 128.
 Bayer, 170.
 Beale, 15, 142, 266.
 Bengel, 123.
 Bernouilli, 138.
 Bouvier M., 226.
 Brégeat, 162, 164, 167.
 Bueb, 31, 34.
 Bunte, 46, 47, 116, 274.
 Burckheiser, 70.
 Burt Boulton, 233.

C

Carcel, 123.
 Carvès, 44.
 Cava, 233.
 Chamon, 80.
 Chevalet, 39.
 Clegg, 108, 136.
 Coindet, 109.

Colman, 161.
 Cottrell, 26.
 Coxe, 190.
 Cripps F. S., 137.

D

Damiens, 117, 183.
 Diesel, 246.
 Drehschmidt, 118.
 Drory, 6, 28.
 Dujardin, 266.
 Dumas, 123 et suiv., 268.

E

Egrot, 176.
 Elster, 68.

F

Feld, 40, 72, 121.
 Foiret, 80, 106, 109, 110.
 Foxwell, 26.
 Frère G., 110.

G

Girard, 136.
 Giroud, 109.
 Grangé, 176.
 Guillet, 34, 36, 51, 103.

- H
- Hartmann, 229.
Hefner, 123.
Hempel, 119.
Hennebutte, 233.
Hird, 229, 232.
Hirzel, 232.
Holmes, 40.
- I
- Isler, 198.
- J
- Junkers, 126, 274.
- K
- Klönne, 40.
Knublauch, 120.
Koppers, 43, 49.
- L
- Laedlein, 211.
Lambert, 196.
Lamé, 87, 88.
Laming, 54.
Lebeau, 117, 183.
Lenhard, 241.
Leroux H., 250.
Livesey, 38, 39, 164, 165.
De Loisy, 182.
Lucke, 229.
Lunge, 161, 198.
- M
- Mallet P., 25, 26, 164, 168, 202,
205, 229, 231 et suiv.
Maun, 38.
Matignon, 195.
- Millet, 80.
Mohr, 13.
Monnier, 136, 137.
Mutrel, 108.
- N
- Nieman, 137.
- P
- Pauwels, 108.
Peebles, 145.
Pelouze, 23, 25, 28, 43, 266
Perrisini, 9.
Pictet Amé, 226.
Pintsch, 15, 210.
Pitot, 81.
Poiseuille, 55.
Pole, 136, 137.
Prymm, 164, 166.
- R
- Raschig, 164, 166, 232, 239, 251,
252.
Rateau, 150, 266.
Ray Ettore, 232, 237.
Redtenbacher, 137.
Regnault, 123 et suiv., 268.
Reutter, 13.
Roots, 142.
- S
- Sabatier, 250.
Sainte-Claire Deville, 2, 155, 156,
172, 182, 224.
Sauney, 101.
Saussure, 170.
Schilling, 128, 136, 137.
Senderens, 250.
Servier, 108.
Solvay, 44, 216.
Speer F.-W., 49, 50.

T

Thomas, 81.

V

Venturi, 82.

Vernon-Harcourt, 123.

Violle, 123.

W

Weickel, 229, 232.

Wilton, 229, 232.

Wright-Kirkham, 12.

Z

Zschocke, 164, 166.

GAUTHIER-VILLARS et C^{ie}

Imprimeurs-Éditeurs

55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6^e)

Extrait du Catalogue Général

Tous les prix marqués sont nets. Envoi contre chèque
ou valeur sur Paris. — Chèques postaux 293.23.

DIVISIONS DU CATALOGUE

- I. Mathématiques. Physique. Chimie. — II. Technique de l'ingénieur. — III. Histoire.
Géographie. — IV. Collections scientifiques. Annuelles. Périodiques.
-

MATHÉMATIQUES, PHYSIQUE, CHIMIE

APPELL (Paul), Membre de l'Institut. — **Traité de Mécanique
rationnelle** (Cours de Mécanique de la Faculté des Sciences).
4 volumes in-8° (25-16), se vendant séparément :

TOME I : *Statique. Dynamique du point*. Quatrième édition, entiè-
rement refondue. Un volume in-8° de VIII-620 pages, avec 180
figures dans le texte ; 1919 ; broché. 54 fr. »

TOME II : *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*. Quatrième
édition. (Sous presse)

TOME III : *Équilibre et mouvement des milieux continus*. Troisième
édition entièrement refondue. Un volume in-8° de VIII-646
pages, avec 70 figures dans le texte ; 1920 ; broché. . 60 fr. »

TOME IV : *Figures d'équilibre d'une masse liquide homogène en rota-
tion*. Première édition. Un volume in-8° de 297 pages, avec
53 figures dans le texte ; 1921 ; broché 30 fr. »

BOREL (E.) — **Leçons sur les fonctions entières**. Un vol. in-8°
(25-16) de IX-161 pages. 20 fr. »

Pr. 154

CHAPPUIS (J.), Agrégé, Docteur ès Sciences, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **BERGET (A.)**, Docteur ès Sciences, attaché au Laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale.** Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme du Certificat de Physique générale. Quatre volumes in-8° (25-16), se vendant séparément:

TOME I : *Instrument de mesure. Pesanteur. Élasticité. Statique des liquides et des gaz. Chaleur.* Deuxième édition entièrement refondue. Volume de XII-669 pages, avec 303 figures; 1907. 36 fr. »

TOME II : *Électricité et Magnétisme.* Volume de 624 pages, avec 405 figures; troisième édition entièrement refondue; 1920. 45 fr. »

TOME III : *Acoustique. Optique.* Deuxième édition entièrement refondue. Volume de VII-502 pages, avec 208 figures; 1909. 28 fr. »

TOME IV : *Ondes électriques. Radio-activité. Electro-optique,* publié par JAMES CHAPPUIS et MARCEL LAMOTTE, Agrégé, Docteur ès Sciences, Chargé de Cours à l'Université de Toulouse. Volume de IV-214 pages, avec 72 figures; 1911. 14 fr. »

COPAUX (H.) — **Introduction à la Chimie générale.** Lois fondamentales de l'atomisme et de l'affinité, exposées à des chimistes étudiants. In-12 (19-12), de IV-212 pages, avec 21 figures; 1919; broché. 10 fr. »

DELACRE (Maurice), Professeur à l'Université de Gand. — **Histoire de la Chimie.** — Un volume in-8° carré (225-140), de XVI-632 pages, avec 14 figures dans le texte; 1920. 36 fr. »

EINSTEIN (Albert). — **La théorie de la Relativité** restreinte et généralisée, traduit d'après la dixième édition par M^{lle} ROUVIÈRE, licenciée ès Sciences mathématiques, avec une *Préface* de M. ÉMILE BOREL. Un volume in-16, double couronne, de XXII-120 pages, 5 figures; 1921; broché. 7 fr. »

EINSTEIN (Albert). — **L'Éther et la théorie de la Relativité.** Traduction française par MAURICE SOLOVINE. Un volume in-8° carré, de 10 pages; 1921. 2 fr. 50

EINSTEIN (Albert). — **La Géométrie et l'expérience.** Traduction française par MAURICE SOLOVINE. Un volume in-8° carré, de 20 pages, avec 2 figures; 1921. 3 fr. »

GAUTIER (Henri) et CHARPY (Georges), Docteur ès Sciences, Anciens élèves de l'École Polytechnique. — **Leçons de Chimie, à l'usage des élèves de Mathématiques spéciales.** Sixième édition, revue et corrigée, par GEORGES CHARPY. In-8° (25-16), de VIII-544 pages, avec 95 figures; 1919; broché. 25 fr. 50

HALPHEN (G.-H.). — **Œuvres d'Halphen** publiées par les soins de C. JORDAN, H. POINCARÉ, E. PICARD, avec la collaboration de E. VESSIOT, 4 volumes in-8° (25-16), se vendant séparément.

TOME I : Volume de XLIII-570 pages ; 1916. 20 fr. »

TOME II : Volume de VIII-560 pages, avec un portrait ; 1918.
40 fr. »

TOME III : Volume de XII-518 pages, 1921. 90 fr. »

TOME IV : (En préparation.)

JORDAN (Camillo), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique. — **Cours d'Analyse de l'École Polytechnique.** Trois volumes in-8° (23-14), avec figures, se vendant séparément :

TOME I : *Calcul différentiel* ; troisième édition ; 1909. 34 fr. »

TOME II : *Calcul intégral (Intégrales définies et indéfinies)* ; troisième édition ; 1913. 40 fr. »

TOME III : *Calcul intégral (Equations différentielles)* ; troisième édition ; 1915. 30 fr. »

LANGEVIN (P.) et de BROGLIE (M.). — **La Théorie du Rayonnement et les Quanta.** *Rapports et discussions de la réunion tenue à Bruxelles du 30 octobre au 3 novembre 1911*, sous les auspices de E. SOLVAY. In-8° (25-16), de VI-461 pages, avec 21 figures ; 1912.
30 fr. »

LEMERAY (E.-M.). — **Le Principe de la Relativité.** Cours libre professé à la Faculté des Sciences de Marseille, pendant le 1^{er} trimestre 1915 (*Bibliothèque des Actualités scientifiques*). In-16 (19-12), de IV-156 pages, avec 13 figures ; 1906. 7 fr. 50

— **Leçons élémentaires sur la gravitation.** Un volume in-8° carré (12-18) de 97 pages ; broché. 7 fr. »

MOUREU (Ch.), Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine, Professeur au Collège de France. — **Notions fondamentales de Chimie organique.** Septième édition revue et considérablement augmentée. In-8° (23-14), de VIII-552 pages ; 1921. 25 fr. »

POINCARÉ (H.), Membre de l'Institut. — **Leçons de Mécanique céleste.** 3 volumes in-8° (25-16), se vendant séparément.

TOME I : *Théorie générale des perturbations planétaires.* Volume de VI-367 pages, avec 3 figures ; 1905. 24 fr. »

TOME II (1^{re} PARTIE) : *Développement de la fonction perturbatrice.* Volume de IV-167 pages ; 1907. 12 fr. »

— (2^e PARTIE) : *Théorie de la Lune.* Volume de IV-137 pages ; 1909. 10 fr. »

- TOME III : *Théorie des marées*. Rédigé par E. FICHOT, Ingénieur hydrographe de la Marine. Volume de IV-472 pages, avec 66 figures et 2 planches; 1910. 32 fr. »
- ZORETTI (L.), Professeur à la Faculté des Sciences de Caen. — **Leçons de Mathématiques générales**, avec une *Préface* de PAUL APPELL, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris. In-8° (23-14), de XVI-753 pages, avec 206 figures; 1914. 40 fr. »
- **Exercices numériques et graphiques de Mathématiques** sur les *Leçons de Mathématiques générales*. In-8° (23-14), de XVI-128 pages, avec 39 figures; 1914. 14 fr. »

TECHNIQUE DE L'INGÉNIEUR

- ADHEMAR (Robert d'), Ingénieur des Arts et Manufactures, docteur ès Sciences. — **Éléments de Mécanique à l'usage des ingénieurs. Résistance des Matériaux**. In-8° (23-14), de X-186 pages, avec 122 figures; 1921. 20 fr. »
- CHARBONNIER (P.), Ingénieur général, Inspecteur général de l'Artillerie navale. — **Traité de Balistique extérieure**. Un volume in-8° (25-16), de IX-637 pages, avec 265 figures dans le texte; 1921; broché. 75 fr. »
- DUPRÉNOIS, Chef d'escadron de l'Artillerie métropolitaine; RISSER, Répétiteur auxiliaire d'Analyse à l'École Polytechnique; ROUSIER, Agrégé de Sciences mathématiques. — **Les méthodes actuelles de la Balistique extérieure**. Un volume in-8° raisin (25-16), de X-244 pages, avec 38 figures dans le texte; 1921; broché. 40 fr. »
- JANET, Membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité. — **Problèmes et exercices d'électricité générale**. Un volume in-8° (14-23), de 255 pages, avec 91 figures; 1921. 19 fr. 50
- JANET, Membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité. — **Leçons d'électrotechnique générale**. Trois volumes, in-8° raisin (250-162), se vendant séparément :
- TOME I : *Généralités. Courants continus*. Cinquième édition revue et augmentée.
Un volume de VIII-452 pages, avec 183 figures, 1921. 45 fr. »
- TOME II : *Courants alternatifs sinusoidaux et non sinusoidaux. Alternateurs. Transformateurs*. Cinquième édition revue et augmentée.
Un volume de 452 pages, avec 200 figures, 1922. 40 fr. »

TOME III : *Moteurs à courants alternatifs. Couplage et compoundage des alternateurs. Transformateurs polymorphiques.* Quatrième édition, revue et augmentée. Un volume de iv-388 pages, avec 129 figures ; 1920. 36 fr. »

JANET (Paul). — **Premiers principes d'Électricité industrielle.** *Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.* Septième édition, revue et corrigée. In-8° (23-14), avec 163 figures ; 1919. (*Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences*). 15 fr. »

KLING (André), Directeur du Laboratoire municipal de Paris. — **Les progrès de la Chimie en 1919.** Traduction française autorisée des *Annual Reports on the progress of Chemistry for 1919*. Un volume in-8° carré (225-410), de viii-29 pages 1921 ; broché. . . 40 fr. »

LANCHESTER (F.-W.). — **Le vol aérien. Aérodynamique.** Traduit de l'anglais, sur la deuxième édition, par le Commandant C. BENOIT. In-8° (23-14), de xvi-512 pages, avec 162 figures et 1 planche ; 1914. 28 fr. »

— **Aérodynamique.** Un volume in-8° (24-13) de xvii-478 pages, avec 208 figures et 1 planche, 1916. 28 fr. »

MALGORN, Lieutenant de Vaisseau. — **Lexique technique anglais-français,** avec la collaboration de M. DESMARETS, licencié ès Sciences. Machines-outils, moteurs à combustion interne. Électricité, constructions navales, métallurgie, etc. Un volume in-8° écu (200-130), de xxii-216 pages ; 1920 ; cartonné. 10 fr. »

MAREC (E.), Ancien élève de l'École nationale des Arts et Métiers, ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité. — **Les enroulements industriels des machines à courant continu et à courants alternatifs.** Théorie et pratique. Avec une Préface de Paul JANET, Directeur du Laboratoire central de l'École supérieure d'Électricité. Deuxième édition, revue, corrigée et considérablement augmentée. In-8° de ix-240 pages, avec 212 figures ; 1921. 36 fr. »

OCAGNE (Lieutenant-Colonel **Maurice d'**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Ponts et Chaussées. — **Principes usuels de Nomographie,** avec application à divers problèmes concernant l'Aviation et l'Artillerie. Un volume in-8° raisin (250-162) de iv-70 pages, avec 19 figures dans le texte ; 1921 ; broché. 9 fr. »

PIGEAUD (Gaston), Ingénieur des Ponts et Chaussées. — **Résistance des Matériaux et élasticité.** Un volume in-8° raisin (250-162) ; de xvi-772 pages avec 201 figures dans le texte ; 1921 ; broché. 64 fr. »

ROY (Louis), Professeur à la Faculté des Sciences. — **Cours de**

PUBLICATIONS TECHNIQUES

L'Aéronautique.

Bulletin mensuel du Bureau central météorologique de France.

Bulletin de la Société Française de Photographie.

Mémorial des Poudres.

MMI (Manutention Mécanique Industrielle).

Revue BBG (Applications de l'énergie électrique).

Revue de Chimie Industrielle.

Revue de l'Aéronautique Militaire.

L'Aéronautique et la Revue de l'Aéronautique militaire réunies.

Revue de l'Industrie Automobile et Aéronautique.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

COMPTES RENDUS HEBDOMADAIRES DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

Annales des services techniques d'Hygiène de la Ville de Paris.

Annales scientifiques de l'Ecole Normale supérieure.

Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse.

Bibliographie scientifique française } Sciences mathématiques et physiques.

Bibliographie scientifique française } Sciences naturelles et biologiques.

Bulletin de la Société astronomique de France.

Bulletin des Sciences mathématiques.

Bulletin de la Société mathématique de France.

Enseignement mathématique.

Intermédiaire des Mathématiciens.

Journal de Chimie physique.

Journal des Mathématiques Pures et Appliquées.

Mémoires et Variétés astronomiques.

Nouvelles Annales de Mathématiques.

Revue générale des Travaux astronomiques.

Revue semestrielle des publications mathématiques.

	FORMAT	PÉRIODICITÉ	PARIS		FRANCE ET ALGÉRIE		UNION POSTALE	
			fr.	c.	fr.	c.	fr.	c.
	In-4	Mensuel	40	»	40	»	50	»
	In-4	Mensuel	10	»	12	»	12	»
	G ^d in-8	Mensuel	20	»	20	»	24	»
	In-8	4 fascicules	30	»	35	»	35	»
	In-4	Mensuel	20	»	20	»	20	»
	In-4	Mensuel	24	»	24	»	24	»
	In-4	Mensuel	30	»	30	»	35	»
	In-4	6 numéros	20	»	20	»	25	»
	In-4	18 numéros	56	»	56	»	70	»
	In-4	Mensuel	36	»	36	»	42	»
	In-4	Hebdomadaire	120	»	130	»	140	»
	In-8	Trimestriel	40	»	42	»	45	»
	In-4	Mensuel	80	»	90	»	90	»
	In-4	Trimestriel	30	»	33	»	33	»
	G ^d in-8	6 numéros	10	»	11	»	11	»
	G ^d in-8	6 numéros	10	»	11	»	11	»
	In-8	Mensuel	22	»	24	»	25	»
	G ^d in-8	Mensuel	40	»	42	»	45	»
	G ^d in-8	Trimestriel	36	»	36	»	40	»
	G ^d in-8	6 numéros	40	»	40	»	40	»
	In-8	Mensuel	42	»	43	»	50	»
	G ^d in-8	4 à 5 n ^{os}	35 francs suisses					
	In-4	Trimestriel	80	»	80	»	80	»
	G ^d in-8	Mensuel	32	»	35	»	35	»
	In-8	Mensuel	30	»	30	»	35	»
	G ^d in-8	Mensuel	32	»	35	»	35	»
	In-8	Semestriel	25	»	25	»	25	»

MASSON ET C^{IE}, ÉDITEURS

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

DERNIÈRES PUBLICATIONS
SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

C.-R. FRESSENTUS

Traité
d'Analyse Chimique

qualitative

12^e ÉDITION FRANÇAISE

Rédigée et adaptée par M. FRENKEL

1 volume de 834 pages avec tableaux et figures dans le texte et 1 planche hors texte. 60 fr. net

CET ouvrage a prouvé, par sa diffusion même dans le monde entier, qu'il était le manuel le plus complet et le plus clair de Chimie Analytique; il est devenu en France un livre classique d'enseignement et de laboratoire.

Ce livre a été refondu pour tenir compte du changement complet qui s'est produit dans les conceptions théoriques de la chimie contemporaine, en particulier la partie préparatoire a été complètement transformée. L'exposé du système analytique a été logiquement fondu dans le texte; au point de vue du fond, cette édition diffère des précédentes en ce qu'elle est entièrement basée sur la théorie de la dissociation électrolytique des solutions.

M. Frenkel a adapté ce volume à nos goûts et à nos méthodes; sa compétence industrielle et sa connaissance des laboratoires Fresenius, où il a jadis travaillé, le désignaient pour mener à bien une tâche aussi délicate. Il a rapproché le plus possible la terminologie de l'ouvrage de celle employée par les chimistes français; il a rétabli constamment les sources bibliographiques originales pour les travaux français, anglais et italiens.

Toute commande doit être accompagnée de son
IRIS LILLAD Université Lille 1 sur Paris, augmenté de
10 % pour frais de port et d'emballage.

Vient de paraître :

WILLIAM C. MAC LEWIS

Professeur de Chimie physique
à l'Université de Liverpool.

Traité de Chimie Physique

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION ANGLAISE

par H. VIGNERON .

- TOME I. *Théorie cinétique*. 1 vol. de 416 pages avec 52 fig. 40 fr. net
TOME II. *Thermodynamique*. 1 vol. de 411 pages avec 56 fig. 40 fr. net
TOME III. *Théories modernes. Théorie des quanta*. 20 fr. net

TANDIS que, depuis longtemps, à l'étranger, des écoles professeurs, des laboratoires importants consacraient leur activité à l'étude de la chimie physique, en France les mémoires classiques et fondamentaux sont restés des travaux isolés.

Afin que cet état de choses regrettable ne puisse plus persister en France, M. Vigneron a traduit l'excellent ouvrage du professeur Mac Lewis. Les chimistes, les techniciens posséderont ainsi un *Traité complet de Chimie Physique* dans lequel les travaux les plus récents sont analysés.

Ce traité est divisé en trois parties dont chacune forme un volume. Dans le premier volume, il n'est fait usage que de la théorie cinétique pour rendre compte des phénomènes et pour établir les relations fondamentales de la chimie physique.

Dans le second volume, l'étude des phénomènes traités dans le premier volume est reprise dans un ordre parallèle, en s'appuyant alors sur les principes et les formules de la thermo-dynamique.

Dans le troisième volume, enfin, est examinée l'application à la chimie physique de la théorie des quanta. Le rôle que joue cette théorie à l'heure actuelle en physique et en chimie rend indispensable la connaissance des conséquences de cette remarquable conception de la transformation de l'énergie qui a permis de résoudre des problèmes insolubles par la thermo-dynamique ou la théorie cinétique seules.

Professeur Vittorio VILLAVECCHIA

Traité de Chimie analytique appliquée

Méthodes et règles pour l'examen chimique
des principaux produits industriels et alimentaires

TRADUIT ET ANNOTÉ EN FRANÇAIS

par PAUL NICOLARDOT

Docteur ès sciences,

Membre de la Commission Internationale d'analyse.

Deux volumes grand in-8 formant ensemble 1166 pages avec 163 figures et
120 tableaux dans le texte. 80 fr. net

Le TOME I ne se vend pas séparément.

Le TOME II (640 pages, 105 figures et 69 tableaux). 56 fr. net

IL n'existait pas en langue française de traité de chimie analytique général auquel un chimiste non spécialisé puisse recourir lorsqu'il a besoin d'effectuer un essai de réception, un contrôle de fabrication, une recherche analytique particulière.

Dans cet ouvrage, les différentes matières produites par les industries les plus diverses sont classées par chapitres bien définis, et, pour l'analyse de ces matières, il n'est indiqué en général qu'une méthode, celle que la pratique a montré être la meilleure.

Ce traité est donc un véritable dictionnaire d'analyse chimique.

Le deuxième volume qui vient de paraître complète cet ouvrage qui constitue un véritable dictionnaire d'analyse chimique.

Le Chimiste français trouvera là la méthode la plus sûre et la plus exacte qui lui évitera des études préalables et des pertes de temps.

Ce livre, abondamment pourvu de notes, de compléments et de modifications dans le choix des exemples, est vraiment un ouvrage original.

(L'Industrie Chimique.)

Il faut être reconnaissant à M. Nicolardot d'avoir fait cette excellente traduction française qui possède naturellement toutes les qualités de l'ouvrage italien, mais qui, par surcroît, est adaptée aux habitudes françaises et consciencieusement annotée. Ces notes sont d'autant plus précieuses que la situation de M. Nicolardot lui a permis de suivre et de s'intéresser à un grand nombre de méthodes analytiques.

(Revue de Chimie Industrielle.)

Vient de paraître :

Paul BAUD

Chimie

Industrielle

1 volume de 704 pages avec 273 figures. 40 fr.

DEPUIS une trentaine d'années, la Science chimique appliquée aux Arts étend son domaine avec une telle rapidité que, seuls, le dépouillement des brevets et la lecture des revues spéciales peuvent apporter l'écho de ses récentes conquêtes aux Chimistes et aux Ingénieurs.

Il paraissait tentant de réaliser pour le public spécial préoccupé des progrès faits depuis 1914 et pour le grand Enseignement (Élèves de première année des Grandes Ecoles, Polytechnique, Centrale, Mines, Ponts et Chaussées, Arts et Métiers, Etudiants des facultés des Sciences et des Instituts techniques) un ouvrage complet et cependant limité qui fût pour eux une Introduction et un Manuel complet, concis de "Chimie Industrielle".

C'est cet ouvrage que M. Paul Baud présente aujourd'hui. L'auteur, dont la compétence s'est souvent affirmée, s'est basé sur les documents et les travaux les plus récents français et

étrangers ; il a insisté sur les modes de préparation les plus employés, en évitant de donner à cet ouvrage l'aspect d'une liste de recettes adoptées par l'Industrie. Pour chaque sujet important, il a dressé une monographie chimique et technique rapide, complétée également de documents économiques, ceux-ci fixeront pour le lecteur certains ordres de grandeur. C'est ainsi qu'il s'est préoccupé de faire connaître pour toutes les méthodes d'emploi courant et touchant à des produits de grande consommation les rendements généralement admis par les industriels. Enfin, il indique les quelques brevets essentiels et dont les usines d'exploitation sont de fonctionnement récent.

S'il a jugé nécessaire de consacrer la première partie de ce livre à cet ensemble de fabrications qui constitue la grande industrie chimique, il a suivi, pour l'étude des métalloïdes et de leurs composés, l'ordre des valences croissantes et dans la classification admise pour les métaux, le lecteur retrouvera, à très peu près, celle de J.-B. Dumas. Il voudra bien reconnaître aussi que pour les industries organiques, le premier chapitre du livre IV énumère les procédés de préparation des Carbures et de leurs dérivés dans la suite logique des principales fonctions.

Cette Chimie Industrielle est abondamment illustrée de figures variées (photos, schémas, plans, dispositifs d'outillages, etc...).

DIVISIONS DE L'OUVRAGE :

LIVRE PREMIER. — LA GRANDE INDUSTRIE CHIMIQUE.

LIVRE II. — LES MÉTALLOIDES ET LEURS COMPOSÉS.

LIVRE III. — LES MÉTAUX ET LEURS SELS.

LIVRE IV. — INDUSTRIES ORGANIQUES.

HOSPITALIER et ROUX

Formulaire
de l'Electricien
et du Mécanicien

30^e ÉDITION (1921)

par GASTON ROUX

Vice-Président de la Chambre des Ingénieurs conseils
et Ingénieurs experts de France.

1 volume de 1520 pages. 45 fr. net

A signaler parmi les nouvelles questions traitées dans cette édition :

Les données numériques sur les combustibles en général, et principalement sur les combustibles liquides ; — les chiffres sur la qualité que doit présenter l'aluminium employé comme câble ; — une note très condensée sur l'équilibrage des réseaux à plusieurs fils ; — des documents arrêtant les conditions techniques pour la fourniture de l'huile des transformateurs ; — le résumé d'un travail très important sur la consommation d'énergie électrique nécessaire à la fabrication des produits électro-chimiques et électro-métallurgiques ; — les règles françaises d'unification du matériel électrique ; — les nouvelles dispositions du Code du Travail et de la Prévoyance sociale, en ce qui concerne l'hygiène et la sécurité du travailleur.

Divisions de l'Ouvrage :

I. Généralités. Tables usuelles. — II. Mathématiques. — III. Grandeurs et Unités physiques. Grandeurs et unités fondamentales, et dérivées. Grandeurs géométriques. — IV. Mécanique. — V. Acoustique. Chaleur. Optique. — VI. Matériaux industriels. — VII. Moteurs. — VIII. Grandeurs et unités électriques. Définitions. Lois générales. Constantes électriques. Lois expérimentales. — IX. Etude du courant électrique. Conducteurs et résistances. Production et transformation de l'énergie électrique. — X. Canalisation et distribution de l'énergie électrique. — XI. Utilisation de l'énergie électrique. Moteurs. Transmission. Traction. Electrothermie. Eclairage. Thermo-électricité. — Electrochimie. — XII. Documents officiels.

MASSON ET C^e, ÉDITEURS

É. PÉCHARD

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Chimie Élémentaire

1 vol. in-16 de 468 pages avec 256 figures, cartonné. . . 12 fr. 50 net

L. TROOST

Ed. PÉCHARD

Professeurs à la Faculté des Sciences de Paris.

Traité élémentaire de Chimie

19^e ÉDITION, REFONDUE ET CORRIGÉE

1 volume in-8^e de 906 pages, avec 548 figures. Broché. . . 20 fr. net

Cartonné. . . 24 fr. net

CH. MOUREU

Professeur au Collège de France,

La Chimie et la Guerre Science et Avenir

1 volume de 384 pages. 10 fr. net

Léon GUILLET

Jean DURAND

L'Industrie Française

1 volume de 284 pages, avec 38 figures. 9 fr. net

Franck DUROQUIER

La T. S. F. des amateurs

5^e ÉDITION

1 vol. petit in-8^e de 344 pages, avec 346 dessins, plans et croquis originaux de l'auteur. 10 fr. net

LA NATURE

REVUE DES SCIENCES
ET DE LEURS APPLICATIONS
A L'ART ET A L'INDUSTRIE

JOURNAL HEBDOMADAIRE ILLUSTRÉ

Chaque numéro comprend :

Seize pages in-4^o abondamment illustrées de figures originales, contenant de nombreux articles de vulgarisation scientifique, clairs, intéressants, variés, signés des noms les plus connus.

Un Supplément illustré contenant, sous la rubrique *Science appliquée*, la description des petites inventions nouvelles ; des *Informations*, des *Conseils d'hygiène*, des *Recettes et Procédés utiles*, une *Bibliographie scientifique*, la *Boîte aux lettres* réservée aux abonnés.

VOUS trouverez dans **LA NATURE**, dans des articles de vulgarisation clairs et variés, l'exposé au jour le jour du mouvement scientifique contemporain : *Mécanique, Industrie, Outillage, Photographie, Electricité, Travaux publics, Art de l'Ingénieur, Transports, Aviation et Aéronautique, Marine, etc.*

Vous trouverez dans **LA NATURE** des articles se rapportant à l'évolution de toutes les *Sciences : Géographie, Ethnographie, Questions Economiques, etc.*

BAISSE DE PRIX D'ABONNEMENT 1922 :

FRANCE.... Un An : 40 fr. — Six mois : 20 fr.

ÉTRANGER. — : 50 fr. — — : 25 fr.

120, Boulevard Saint-Germain — PARIS

Envoi d'un numéro gratuit sur demande.

La Librairie MASSON et C^{ie} adresse gratuitement et sur simple demande son Catalogue d'ouvrages de médecine et de sciences, et ses *Bulletins de Nouveautés*.

Prix: 20 fr