

BORIAS

TRAITÉ PRATIQUE

DE LA

FABRICATION DU GAZ

PARIS

BAUDRY & C^{IE} EDITEURS

RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TRAITÉ
DE LA
FABRICATION DU GAZ

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DU GAZ
ET DE SES DIVERS EMPLOIS

A L'USAGE DES
INGÉNIEURS. DIRECTEURS ET CONSTRUCTEURS D'USINES A GAZ

PAR
EDMOND BORIAS
Ingénieur des Arts et Manufactures,
Directeur d'usines à gaz.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET C^{ie} ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1890
Tous droits réservés.

A

MONSIEUR TH. LETREUST

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ TECHNIQUE
DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE

1889-1890

PRÉFACE

L'ouvrage que je présente à mes collègues ne vient pas faire double emploi avec ceux publiés déjà sur le même sujet. Traitant de préférence la partie technique de la fabrication du gaz et de son emploi, abordant les questions théoriques, il s'adresse surtout à ceux qui d'une façon quelconque s'occupent par métier de l'industrie du gaz.

Ceux qui savent, le liront d'abord et le consulteront ensuite avec quelque intérêt ; quant à ceux qui apprennent, j'ai la certitude qu'ils l'accueilleront avec satisfaction parce qu'il facilitera leur tâche et leur évitera tout le travail qu'il m'a coûté.

Un formulaire consciencieusement établi fait partie de l'ouvrage et renferme tous les renseignements dont un gazier peut avoir besoin. Enfin, par les soins apportés dans l'édition, on s'est efforcé de faire un livre maniable et d'une lecture facile ; nous pensons avoir réussi.

Quoi qu'il en soit, s'il m'arrive d'avoir rendu service à un certain nombre de mes collègues, je me trouverai largement satisfait et je serai heureux d'avoir publié ce modeste travail que je dédie à Monsieur TH. LETREUST, mon excellent maître, comme témoignage de sincère et profonde reconnaissance.

E. B.

TRAITÉ

DE LA

FABRICATION DU GAZ

PREMIÈRE PARTIE

AIDE-MÉMOIRE ET FORMULAIRE

TABLES, FORMULES ET FACTEURS USUELS

MATHÉMATIQUES

TABLE DES INVERSES DES CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES
ET CUBIQUES ET VALEURS DES LOGARITHMES DES NOMBRES
DE 1 A 100

| N° | $\frac{1}{n}$ | n ² | n ³ | $\sqrt[n]{n}$ | $\sqrt[3]{n}$ | LOGA- RITHMES. |
|----|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 1,00000 | 1 | 1 | 1,0000 | 1,0000 | 0,0000 |
| 2 | 0,50000 | 4 | 8 | 1,4142 | 1,2599 | 0,3010 |
| 3 | 0,33333 | 9 | 27 | 1,7321 | 1,4422 | 0,4771 |
| 4 | 0,25000 | 16 | 64 | 2,0000 | 1,5874 | 0,6021 |
| 5 | 0,20000 | 25 | 125 | 2,2361 | 1,7100 | 0,6989 |
| 6 | 0,16667 | 36 | 216 | 2,4495 | 1,8171 | 0,7781 |
| 7 | 0,14286 | 49 | 343 | 2,6458 | 1,9129 | 0,8451 |
| 8 | 0,12500 | 64 | 512 | 2,8284 | 2,0000 | 0,9031 |
| 9 | 0,11111 | 81 | 729 | 3,0000 | 2,0801 | 0,9542 |
| 10 | 0,10000 | 100 | 1.000 | 3,1623 | 2,1544 | 1,0000 |
| 11 | 0,09091 | 121 | 1.331 | 3,3166 | 2,2240 | 1,0414 |
| 12 | 0,08333 | 144 | 1.728 | 3,4641 | 2,2894 | 1,0792 |
| 13 | 0,07692 | 169 | 2.197 | 3,6056 | 2,3513 | 1,1139 |
| 14 | 0,07143 | 196 | 2.744 | 3,7417 | 2,4101 | 1,1461 |
| 15 | 0,06667 | 225 | 3.375 | 3,8730 | 2,4662 | 1,1761 |

| N ^o | $\frac{1}{n}$ | n ² | n ³ | \sqrt{n} | $\sqrt[3]{n}$ | LOGA- RITHMES |
|----------------|---------------|----------------|----------------|------------|---------------|------------------|
| 16 | 0,06250 | 256 | 4.096 | 4,0000 | 2,5198 | 1,2041 |
| 17 | 0,05882 | 289 | 4.913 | 4,1231 | 2,5713 | 1,2304 |
| 18 | 0,05556 | 324 | 5.832 | 4,2426 | 2,6207 | 1,2553 |
| 19 | 0,05263 | 361 | 6.859 | 4,3589 | 2,66 4 | 1,2788 |
| 20 | 0,05000 | 400 | 8.000 | 4,4721 | 2,7144 | 1,3010 |
| 21 | 0,04762 | 441 | 9.261 | 4,5826 | 2,7589 | 1,3222 |
| 22 | 0,04545 | 484 | 10.648 | 4,6904 | 2,8020 | 1,3424 |
| 23 | 0,04348 | 529 | 12.167 | 4,7958 | 2,8439 | 1,3617 |
| 24 | 0,04167 | 576 | 13.824 | 4,8990 | 2,8845 | 1,3802 |
| 25 | 0,04000 | 625 | 15.625 | 5,0000 | 2,9240 | 1,3979 |
| 26 | 0,03846 | 676 | 17.576 | 5,0990 | 2,9625 | 1,4149 |
| 27 | 0,03704 | 729 | 19.683 | 5,1962 | 3,0000 | 1,4314 |
| 28 | 0,03571 | 784 | 21.952 | 5,2915 | 3,0366 | 1,4472 |
| 29 | 0,03448 | 841 | 24.389 | 5,3852 | 3,0723 | 1,4624 |
| 30 | 0,03333 | 900 | 27.000 | 5,4772 | 3,1072 | 1,4771 |
| 31 | 0,03226 | 961 | 29.791 | 5,5678 | 3,1414 | 1,4914 |
| 32 | 0,03125 | 1.024 | 32.768 | 5,6569 | 3,1748 | 1,5051 |
| 33 | 0,03030 | 1.089 | 35.937 | 5,7446 | 3,2075 | 1,5185 |
| 34 | 0,02941 | 1.156 | 39.304 | 5,8310 | 3,2396 | 1,5385 |
| 35 | 0,02857 | 1.225 | 42.875 | 5,9161 | 3,2711 | 1,5441 |
| 36 | 0,02778 | 1.296 | 46.656 | 6,0000 | 3,3019 | 1,5563 |
| 37 | 0,02703 | 1.369 | 50.653 | 6,0828 | 3,3322 | 1,5682 |
| 38 | 0,02632 | 1.444 | 54.872 | 6,1644 | 3,3620 | 1,5798 |
| 39 | 0,02564 | 1.521 | 59.319 | 6,2450 | 3,3912 | 1,5911 |
| 40 | 0,02500 | 1.600 | 64.000 | 6,3246 | 3,4200 | 1,6021 |
| 41 | 0,02439 | 1.681 | 68.921 | 6,4031 | 3,4482 | 1,6128 |
| 42 | 0,02381 | 1.764 | 74.088 | 6,4807 | 3,4760 | 1,6232 |
| 43 | 0,02326 | 1.849 | 79.507 | 6,5574 | 3,5034 | 1,6335 |
| 44 | 0,02273 | 1.936 | 85.184 | 6,6322 | 3,5303 | 1,6434 |
| 45 | 0,02222 | 2.025 | 91.125 | 6,7082 | 3,5569 | 1,6532 |
| 46 | 0,02174 | 2.116 | 97.336 | 6,7823 | 3,5830 | 1,6628 |
| 47 | 0,02128 | 2.209 | 103.823 | 6,8557 | 3,6088 | 1,6721 |
| 48 | 0,02083 | 2.304 | 110.592 | 6,9282 | 3,6342 | 1,6812 |
| 49 | 0,02041 | 2.401 | 117.649 | 7,0000 | 3,6593 | 1,6902 |
| 50 | 0,02000 | 2.500 | 125.000 | 7,0711 | 3,6840 | 1,6990 |
| 51 | 0,01961 | 2.601 | 132.651 | 7,1414 | 3,7084 | 1,7076 |
| 52 | 0,01923 | 2.704 | 140.608 | 7,2115 | 3,7325 | 1,7160 |
| 53 | 0,01887 | 2.809 | 148.877 | 7,2801 | 3,7563 | 1,7243 |
| 54 | 0,01852 | 2.916 | 157.464 | 7,3485 | 3,7798 | 1,7324 |
| 55 | 0,01818 | 3.025 | 166.375 | 7,4162 | 3,8030 | 1,7404 |
| 56 | 0,01786 | 3.136 | 175.616 | 7,4833 | 3,8259 | 1,7482 |
| 57 | 0,01754 | 3.249 | 185.198 | 7,5498 | 3,8485 | 1,7559 |
| 58 | 0,01724 | 3.364 | 195.112 | 7,6158 | 3,8709 | 1,7634 |
| 59 | 0,01695 | 3.481 | 205.379 | 7,6811 | 3,8930 | 1,7708 |
| 60 | 0,01667 | 3.600 | 216.000 | 7,7460 | 3,9149 | 1,7781 |
| 61 | 0,01639 | 3.721 | 226.981 | 7,8102 | 3,9365 | 1,7853 |

| N° | $\frac{1}{n}$ | n^2 | n^3 | $\sqrt[n]{n}$ | $\sqrt[n]{n}$ | LOGA- RITHMES |
|-----|---------------|--------|-----------|---------------|---------------|------------------|
| 62 | 0,01613 | 3.844 | 238.328 | 7,8740 | 3,9579 | 1,7924 |
| 63 | 0,01587 | 3.969 | 250.047 | 7,9373 | 3,9791 | 1,7993 |
| 64 | 0,01563 | 4.096 | 262.144 | 8,0000 | 4,0000 | 1,8062 |
| 65 | 0,01538 | 4.225 | 274.625 | 8,0623 | 4,0207 | 1,8129 |
| 66 | 0,01515 | 4.356 | 287.496 | 8,1240 | 4,0412 | 1,8195 |
| 67 | 0,01493 | 4.489 | 300.768 | 8,1854 | 4,0615 | 1,8261 |
| 68 | 0,01471 | 4.624 | 314.432 | 8,2462 | 4,0817 | 1,8325 |
| 69 | 0,01449 | 4.761 | 328.509 | 8,3066 | 4,1016 | 1,8388 |
| 70 | 0,01429 | 4.900 | 343.000 | 8,3666 | 4,1213 | 1,8451 |
| 71 | 0,01408 | 5.041 | 357.914 | 8,4261 | 4,1408 | 1,8512 |
| 72 | 0,01389 | 5.184 | 373.248 | 8,4853 | 4,1602 | 1,8573 |
| 73 | 0,01370 | 5.329 | 389.017 | 8,5440 | 4,1793 | 1,8633 |
| 74 | 0,01351 | 5.476 | 405.224 | 8,6023 | 4,1983 | 1,8692 |
| 75 | 0,01333 | 5.625 | 421.875 | 8,6603 | 4,2172 | 1,8751 |
| 76 | 0,01316 | 5.776 | 438.976 | 8,7178 | 4,2358 | 1,8808 |
| 77 | 0,01299 | 5.929 | 456.533 | 8,7750 | 4,2543 | 1,8865 |
| 78 | 0,01282 | 6.084 | 474.552 | 8,8318 | 4,2727 | 1,8921 |
| 79 | 0,01266 | 6.241 | 493.039 | 8,8882 | 4,2908 | 1,8976 |
| 80 | 0,01250 | 6.400 | 512.000 | 8,9443 | 4,3089 | 1,9031 |
| 81 | 0,01235 | 6.561 | 531.441 | 9,0000 | 4,3267 | 1,9085 |
| 82 | 0,01220 | 6.724 | 551.368 | 9,0554 | 4,3445 | 1,9138 |
| 83 | 0,01205 | 6.889 | 571.787 | 9,1104 | 4,3621 | 1,9191 |
| 84 | 0,01190 | 7.056 | 592.704 | 9,1652 | 4,3795 | 1,9243 |
| 85 | 0,01176 | 7.225 | 614.125 | 9,2195 | 4,3968 | 1,9294 |
| 86 | 0,01163 | 7.396 | 636.056 | 9,2736 | 4,4140 | 1,9345 |
| 87 | 0,01149 | 7.569 | 658.503 | 9,3274 | 4,4310 | 1,9395 |
| 88 | 0,01136 | 7.744 | 681.472 | 9,3808 | 4,4480 | 1,9445 |
| 89 | 0,01124 | 7.921 | 704.969 | 9,4340 | 4,4647 | 1,9494 |
| 90 | 0,01111 | 8.100 | 729.000 | 9,4868 | 4,4814 | 1,9542 |
| 91 | 0,01099 | 8.281 | 753.571 | 9,5394 | 4,4979 | 1,9590 |
| 92 | 0,01087 | 8.464 | 778.688 | 9,5917 | 4,5144 | 1,9638 |
| 93 | 0,01075 | 8.649 | 804.357 | 9,6437 | 4,5307 | 1,9685 |
| 94 | 0,01064 | 8.836 | 830.584 | 9,6954 | 4,5468 | 1,9731 |
| 95 | 0,01053 | 9.025 | 857.375 | 9,7468 | 4,5629 | 1,9777 |
| 96 | 0,01042 | 9.216 | 884.736 | 9,7980 | 4,5789 | 1,9823 |
| 97 | 0,01031 | 9.409 | 912.673 | 9,8489 | 4,5947 | 1,9868 |
| 98 | 0,01020 | 9.604 | 941.192 | 9,8995 | 4,6104 | 1,9912 |
| 99 | 0,01010 | 9.801 | 970.229 | 9,9449 | 4,6261 | 1,9956 |
| 100 | 0,01000 | 10.000 | 1.000.000 | 10,0000 | 4,6416 | 2,0000 |

S'il s'agit d'opérer sur un nombre ayant plus de chiffres que ceux donnés par la table précédente, on se sert

de la formule d'interpolation de Newton :

$$y = y_1 + (y_2 - y_1) \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

dans laquelle y désigne l'inconnue,

x le nombre sur lequel on opère,

y_1 et x_1 différant très peu *en moins* de y et de x

y_2 et x_2 — *en plus* de y et de x .

1° Ex. Trouver le carré d'un nombre de trois chiffres, par exemple 83,6.

$$\begin{aligned} x &= 83,6 \\ y &= (83,6)^2 \\ x_1 &= 83 \\ y_1 &= (83)^2 = 6889 \\ x_2 &= 84 \\ y_2 &= (84)^2 = 7056 \end{aligned}$$

La formule donne :

$$(83,6)^2 = 6889 + 167 \frac{0,6}{1} = 6889 + 100,2 = 6989,2$$

2° Ex. Trouver la racine cubique d'un nombre de 3 chiffres $\sqrt[3]{0,664}$

$$\begin{aligned} \text{La formule donne } \sqrt[3]{0,664} &= \sqrt[3]{0,66} + \left(\sqrt[3]{0,67} - \sqrt[3]{0,66} \right) \frac{0,664 - 0,66}{0,67 - 0,66} \\ &= 0,40412 + 0,00203 \times \frac{0,004}{0,01} \\ &= 0,40412 + 0,000312 \\ &= 0,404432 \end{aligned}$$

RACINES CARRÉES ET CUBIQUES DE QUELQUES FRACTIONS

| n | $\sqrt{\frac{2}{n}}$ | $\sqrt[3]{\frac{3}{n}}$ | n | $\sqrt{\frac{2}{n}}$ | $\sqrt[3]{\frac{3}{n}}$ | n | $\sqrt{\frac{2}{n}}$ | $\sqrt[3]{\frac{3}{n}}$ |
|---------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| $\frac{1}{3}$ | 0,577 | 0,693 | $\frac{3}{4}$ | 0,866 | 0,909 | $\frac{1}{7}$ | 0,378 | 0,523 |
| $\frac{2}{3}$ | 0,816 | 0,874 | $\frac{1}{6}$ | 0,408 | 0,550 | $\frac{1}{8}$ | 0,354 | 0,500 |
| $\frac{1}{4}$ | 0,500 | 0,630 | $\frac{5}{6}$ | 0,913 | 0,941 | $\frac{1}{9}$ | 0,333 | 0,481 |

TABLE DES CIRCONFÉRENCES ET CERCLES DONT LES DIAMÈTRES
APPARTIENNENT A LA SÉRIE DES NOMBRES DE 0,01 A 1

| D | πD | $\frac{\pi D^2}{4}$ | D | πD | $\frac{\pi D^2}{4}$ |
|------|---------|---------------------|------|---------|---------------------|
| 0,01 | 0,03142 | 0,000079 | 0,44 | 1,3823 | 0,152053 |
| 0,02 | 0,06283 | 0,000314 | 0,45 | 1,4137 | 0,159043 |
| 0,03 | 0,09425 | 0,000707 | 0,46 | 1,4451 | 0,161190 |
| 0,04 | 0,1257 | 0,001257 | 0,47 | 1,4765 | 0,173494 |
| 0,05 | 0,1571 | 0,001963 | 0,48 | 1,5080 | 0,180956 |
| 0,06 | 0,1885 | 0,002827 | 0,49 | 1,5394 | 0,188574 |
| 0,07 | 0,2199 | 0,003848 | 0,50 | 1,5708 | 0,196349 |
| 0,08 | 0,2513 | 0,005027 | 0,51 | 1,6022 | 0,204282 |
| 0,09 | 0,2827 | 0,006362 | 0,52 | 1,6336 | 0,212372 |
| 0,10 | 0,3142 | 0,007854 | 0,53 | 1,6650 | 0,220618 |
| 0,11 | 0,3456 | 0,009503 | 0,54 | 1,6965 | 0,229021 |
| 0,12 | 0,3770 | 0,011310 | 0,55 | 1,7279 | 0,237583 |
| 0,13 | 0,4084 | 0,013273 | 0,56 | 1,7593 | 0,246301 |
| 0,14 | 0,4398 | 0,015394 | 0,57 | 1,7907 | 0,255176 |
| 0,15 | 0,4712 | 0,017671 | 0,58 | 1,8221 | 0,264208 |
| 0,16 | 0,5027 | 0,020106 | 0,59 | 1,8535 | 0,273397 |
| 0,17 | 0,5341 | 0,022698 | 0,60 | 1,8850 | 0,282743 |
| 0,18 | 0,5655 | 0,025447 | 0,61 | 1,9164 | 0,292247 |
| 0,19 | 0,5969 | 0,028353 | 0,62 | 1,9478 | 0,301907 |
| 0,20 | 0,6283 | 0,031416 | 0,63 | 1,9792 | 0,311724 |
| 0,21 | 0,6597 | 0,034636 | 0,64 | 2,0106 | 0,321699 |
| 0,22 | 0,6912 | 0,038013 | 0,65 | 2,0420 | 0,331831 |
| 0,23 | 0,7226 | 0,041548 | 0,66 | 2,0734 | 0,342119 |
| 0,24 | 0,7540 | 0,045239 | 0,67 | 2,1049 | 0,352565 |
| 0,25 | 0,7854 | 0,049087 | 0,68 | 2,1363 | 0,363168 |
| 0,26 | 0,8168 | 0,053093 | 0,69 | 2,1677 | 0,373928 |
| 0,27 | 0,8482 | 0,057256 | 0,70 | 2,1991 | 0,384845 |
| 0,28 | 0,8796 | 0,061575 | 0,71 | 2,2305 | 0,395919 |
| 0,29 | 0,9111 | 0,066052 | 0,72 | 2,2619 | 0,407150 |
| 0,30 | 0,9425 | 0,070686 | 0,73 | 2,2934 | 0,418539 |
| 0,31 | 0,9739 | 0,075477 | 0,74 | 2,3248 | 0,430084 |
| 0,32 | 1,0053 | 0,080425 | 0,75 | 2,3562 | 0,441786 |
| 0,33 | 1,0367 | 0,085530 | 0,76 | 2,3876 | 0,453646 |
| 0,34 | 1,0681 | 0,090792 | 0,77 | 2,4190 | 0,465662 |
| 0,35 | 1,0996 | 0,096211 | 0,78 | 2,4504 | 0,477836 |
| 0,36 | 1,1310 | 0,101788 | 0,79 | 2,4819 | 0,490167 |
| 0,37 | 1,1624 | 0,107521 | 0,80 | 2,5133 | 0,502655 |
| 0,38 | 1,1938 | 0,113411 | 0,81 | 2,5447 | 0,515300 |
| 0,39 | 1,2252 | 0,119459 | 0,82 | 2,5761 | 0,528102 |
| 0,40 | 1,2566 | 0,125664 | 0,83 | 2,6075 | 0,541061 |
| 0,41 | 1,2880 | 0,132025 | 0,84 | 2,6389 | 0,554177 |
| 0,42 | 1,3195 | 0,138544 | 0,85 | 2,6703 | 0,567450 |
| 0,43 | 1,3509 | 0,145220 | 0,86 | 2,7018 | 0,580880 |

| D | πD | $\frac{\pi D^2}{4}$ | D | πD | $\frac{\pi D^2}{4}$ |
|------|---------|---------------------|------|---------|---------------------|
| 0,87 | 2,7332 | 0,594468 | 0,94 | 2,9531 | 0,693978 |
| 0,88 | 2,7646 | 0,608212 | 0,95 | 2,9845 | 0,708822 |
| 0,89 | 2,7960 | 0,622114 | 0,96 | 3,0159 | 0,723823 |
| 0,90 | 2,8274 | 0,636172 | 0,97 | 3,0473 | 0,738981 |
| 0,91 | 2,8588 | 0,650388 | 0,98 | 3,0788 | 0,754296 |
| 0,92 | 2,8903 | 0,664761 | 0,99 | 3,1102 | 0,769769 |
| 0,93 | 2,9217 | 0,679291 | 1,00 | 3,1420 | 0,785400 |

TABLE
DES SINUS, COSINUS ET TANGENTES NATURELS
DE 0 A 45 DEGRÉS

| DEGRÉS | SINUS | COSINUS | TAN- GENTES | DEGRÉS | SINUS | COSINUS | TAN- GENTES |
|--------|-------|---------|----------------|--------|-------|---------|----------------|
| 0 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 23 | 0,391 | 0,921 | 0,424 |
| 1 | 0,017 | 1,000 | 0,017 | 24 | 0,407 | 0,914 | 0,445 |
| 2 | 0,035 | 0,999 | 0,035 | 25 | 0,423 | 0,906 | 0,466 |
| 3 | 0,052 | 0,999 | 0,052 | 26 | 0,438 | 0,899 | 0,488 |
| 4 | 0,070 | 0,998 | 0,070 | 27 | 0,454 | 0,891 | 0,510 |
| 5 | 0,087 | 0,996 | 0,087 | 28 | 0,469 | 0,883 | 0,532 |
| 6 | 0,105 | 0,995 | 0,105 | 29 | 0,485 | 0,875 | 0,554 |
| 7 | 0,122 | 0,993 | 0,123 | 30 | 0,500 | 0,866 | 0,577 |
| 8 | 0,139 | 0,990 | 0,141 | 31 | 0,515 | 0,857 | 0,601 |
| 9 | 0,156 | 0,988 | 0,158 | 32 | 0,530 | 0,848 | 0,625 |
| 10 | 0,174 | 0,985 | 0,176 | 33 | 0,545 | 0,839 | 0,649 |
| 11 | 0,191 | 0,982 | 0,194 | 34 | 0,559 | 0,829 | 0,675 |
| 12 | 0,208 | 0,978 | 0,213 | 35 | 0,574 | 0,819 | 0,700 |
| 13 | 0,225 | 0,974 | 0,231 | 36 | 0,588 | 0,809 | 0,727 |
| 14 | 0,242 | 0,970 | 0,249 | 37 | 0,602 | 0,799 | 0,754 |
| 15 | 0,259 | 0,966 | 0,268 | 38 | 0,616 | 0,788 | 0,781 |
| 16 | 0,276 | 0,961 | 0,287 | 39 | 0,629 | 0,777 | 0,810 |
| 17 | 0,292 | 0,956 | 0,306 | 40 | 0,643 | 0,766 | 0,839 |
| 18 | 0,309 | 0,951 | 0,325 | 41 | 0,656 | 0,755 | 0,869 |
| 19 | 0,326 | 0,946 | 0,344 | 42 | 0,669 | 0,743 | 0,900 |
| 20 | 0,342 | 0,940 | 0,364 | 43 | 0,682 | 0,731 | 0,933 |
| 21 | 0,358 | 0,934 | 0,384 | 44 | 0,695 | 0,719 | 0,966 |
| 22 | 0,375 | 0,927 | 0,404 | 45 | 0,707 | 0,707 | 1,000 |

TABLE DES FACTEURS LES PLUS USUELS ET DE LEURS LOGARITHMES

| NOMBRES | VAL. DÉCIM. | LOGARITHME | NOMBRES | VAL. DÉCIM. | LOGARITHME |
|---------------------------|-------------|-----------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| $\frac{1}{2}$ | 0,50000 | $\bar{1},69897$ | $\frac{1}{\pi} =$ | 0,31831 | $\bar{1},50285$ |
| $\frac{1}{3}$ | 0,33333 | $\bar{1},52288$ | $\frac{1}{2\pi} =$ | 0,15915 | $\bar{1},20182$ |
| $\frac{1}{4}$ | 0,25000 | $\bar{1},39794$ | $\frac{\pi}{4} =$ | 0,78540 | $\bar{1},89509$ |
| $\frac{1}{6}$ | 0,16667 | $\bar{1},22185$ | $\frac{4}{\pi} =$ | 1,27324 | 0,10491 |
| $\frac{1}{8}$ | 0,12500 | $\bar{1},09691$ | $\frac{4}{3}\pi =$ | 4,18879 | 0,62209 |
| $\frac{1}{9}$ | 0,11111 | $\bar{1},04576$ | $\frac{3}{4}\pi =$ | 0,23873 | $\bar{1},37791$ |
| $\frac{2}{3}$ | 0,66667 | $\bar{1},82391$ | $\frac{\pi}{360} =$ | 0,00873 | $\bar{3},94085$ |
| $\frac{3}{2}$ | 1,50000 | 0,17609 | $\frac{360}{\pi} =$ | 114,59156 | 2,05915 |
| $\frac{3}{4}$ | 0,75000 | $\bar{1},87506$ | $\pi^2 =$ | 9,86960 | 0,99430 |
| $\frac{4}{3}$ | 1,33333 | 0,12494 | $\frac{1}{\pi^2} =$ | 0,10132 | $\bar{1},00570$ |
| $\frac{1}{24}$ | 0,04167 | $\bar{2},61979$ | $\sqrt{\pi} =$ | 1,77245 | 0,24857 |
| $\frac{1}{12}$ | 0,08333 | $\bar{2},92082$ | $\sqrt{\frac{1}{\pi}} =$ | 0,56419 | $\bar{1},75143$ |
| $\sqrt{\frac{1}{2}} =$ | 0,70711 | $\bar{1},84949$ | $g =$ | 9,81000 | 0,99167 |
| $\sqrt{\frac{1}{6}} =$ | 0,40825 | $\bar{1},61092$ | $g^2 =$ | 96,23610 | 1,98334 |
| $\sqrt{\frac{1}{5}} =$ | 0,44721 | $\bar{1},65051$ | $\sqrt{g} =$ | 3,13209 | 0,49582 |
| $\sqrt[3]{\frac{1}{2}} =$ | 0,79370 | $\bar{1},89966$ | $\sqrt{2g} =$ | 4,42940 | 0,64635 |
| $\sqrt[3]{\frac{1}{3}} =$ | 0,69336 | $\bar{1},84096$ | $\frac{1}{g} =$ | 0,10194 | $\bar{1},00834$ |
| $\sqrt[3]{\frac{1}{6}} =$ | 0,55032 | $\bar{1},74062$ | $\frac{1}{g^2} =$ | 0,01039 | $\bar{2},01662$ |
| $\pi =$ | 3,14159265 | 0,49715 | $\sqrt{\frac{1}{g}} =$ | 0,31928 | $\bar{1},50417$ |
| $2\pi =$ | 6,28319 | 0,79818 | $\pi\frac{1}{\sqrt{g}} =$ | 1,00303 | 0,00131 |
| $\pi\sqrt{g} =$ | 9,83974 | 0,99299 | | | |

ARITHMÉTIQUE

TABLEAU DU SYSTÈME MÉTRIQUE

| RAPPORT DES UNITÉS SECONDAIRES A L'UNITÉ PRINCIPALE | LONGUEURS | SURFACES | SUPERFICIES | VOLUMES | POIDS | MONNAIES |
|---|------------|----------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0,000000001 | ..... | ..... | ..... | millimètre cube | milligramme | |
| 0,00000001 | ..... | ..... | ..... | ..... | centigramme | |
| 0,0000001 | ..... | millim. carré | ..... | centimètre cube ou millilitre | gramme | |
| 0,00001 | ..... | ..... | ..... | centilitre | décagramme | |
| 0,0001 | ..... | centim. carré | ..... | déclitre | hectogramme | |
| 0,001 | millimètre | ..... | ..... | décim. cube ou litre | kilogramme | |
| 0,01 | centimètre | décim. carré | ..... | décalitre | myriagramme | centime |
| 0,1 | décimètre | ..... | ..... | hectolitre ou dé- cistère | quintal | décime |
| 1,0 | mètre | mètre carré | centiare | mètre cube ou kilo- litre ou stère | tonne - mètre ou tonneau | franc |
| 10,0 | décamètre | ..... | ..... | décastère | ..... | 40 francs |
| 100,0 | hectomètre | décamét. carré | are | ..... | ..... | 100 francs |
| 1000,0 | kilomètre | ..... | ..... | décamètre cube | ..... |  |
| 10000,0 | myriamètre | ..... | hectare | ..... | ..... |  |
| 100000,0 | ..... | ..... | ..... | hectomètre carré | ..... |  |

NOTA. — Le gramme correspond au poids de 1 centimètre cube d'eau distillée prise à son maximum de densité (+4°) et pesée dans le vide. Le franc pèse 5 grammes (833 millièmes d'argent et 165 de cuivre); à poids égal l'argent vaut 15 fois et demie moins que l'or et 20 fois plus que le cuivre.

TABLEAU DE COMPARAISON DES MESURES FRANÇAISES
ANCIENNES ET NOUVELLES

| LONGUEURS | SURFACES | VOLUMES | POIDS |
|-------------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 1 toise vaut 1 ^m ,949040 | 1 toise carrée v. 3 ^{ms} ,7987 | 1 toise cube v. 7 ^{ms} ,40390 | 1 livre vaut 0 ^{kg} ,48951 |
| 1 pied — 0 ^m ,324840 | 1 pied carré v. 0 ^{ms} ,1055 | 1 pied — 0 ^{ms} ,03428 | 1 marc — 0 ^{kg} ,24475 |
| 1 pouce — 0 ^m ,027070 | 1 pouce carré v. 7 ^{ms} ,7328 | 1 pouce — 19 ^{ms} ,8365 | 1 once — 30 ^{gr} ,590 |
| 1 ligne — 0 ^m ,002256 | | 1 setier vaut 4 ^{hl} ,560 | 1 gros — 3 ^{gr} ,820 |
| | | | 1 grain — 0 ^{sr} ,053 |

TABLEAU DE COMPARAISON DES MESURES FRANÇAISES ET
ANGLAISES

| LONGUEURS | SURFACES | VOLUMES | POIDS |
|----------------------------------|--|--|---|
| 1 yard vaut 0 ^m ,9144 | 1 yard carré vaut 0 ^m ,836097 | 1 gallon vaut 4 ^{lit} ,54346 | 1 livre (avoir poids) v. 0 ^{kg} ,45359 |
| 1 pied — 0 ^m ,3048 | 1 rood — 25 ^m ,29139 | 1 pint — 0 ^{lit} ,56793 | 1 troy — v. 0 ^{kg} ,37324 |
| 1 pouce — 0 ^m ,0254 | 1 rood = 1210 yards carrés | 1 fluid ounce 28 ^{ms} ,3966 | 1 once — v. 31 ^{gr} ,4035 |
| 1 fathom = 2 yards | 1 Acre = 4840 — — | 1 Cubic inches 16 ^{ms} ,38618 | 1 grain — v. 0 ^{sr} ,0648 |
| 1 foot = 12 pouces | | | |

COMPARAISON DES UNITÉS MONÉTAIRES FRANÇAISES
ET ANGLAISES

| UNITÉS ANGLAISES | VALEURS EN FRANCS |
|-------------------|-------------------|
| 1 couronne | vaut 5 fr 75 |
| 1/2 couronne..... | — 2 87 |
| 1 florin. | — 2 30 |
| 1 schilling.. .. | — 1 15 |
| 1 penny..... | — 0 09 |

FORMULES POUR CALCULER L'INTÉRÊT SIMPLE ET L'ESCOMPTE

$$\text{Intérêt simple : } i = \frac{t \times c \times n}{100} \quad \left\{ \begin{array}{l} c = \text{capital mis à l'intérêt.} \\ t = \text{taux de l'intérêt p. 100 fr.} \\ n = \text{temps exprimé en années} \end{array} \right.$$

$$\text{Escompte d'un billet } \left\{ \begin{array}{l} e = \frac{c \times n \times t}{36000} \\ c = \text{montant du billet.} \\ n = \text{nombre de jours.} \\ t = \text{taux de l'escompte p. 100.} \end{array} \right.$$

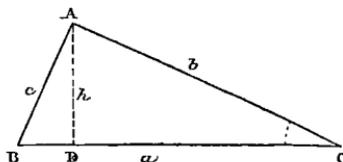
GÉOMÉTRIE

RELATIONS ENTRE LES CÔTÉS D'UN TRIANGLE

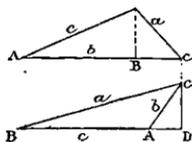
1° TRIANGLE RECTANGLE

Relations entre les côtés d'un triangle

- 1 $a^2 = b^2 + c^2$
- 2 $\left\{ \begin{array}{l} c^2 = a \times \text{BD} \\ b^2 = b \times \text{CD} \end{array} \right.$
- 3 $h^2 = \text{BD} \times \text{DC}$



2° TRIANGLES QUELCONQUES



Angle aigu : $a^2 = b^2 + c^2 - 2 \text{ AC} \times \text{AD}$

Angle obtus : $a^2 = b^2 + c^2 + 2 \text{ AB} \times \text{AD}$

POLYGOUES RÉGULIERS

TABEAU DONNANT EN FRACTION DU CÔTÉ LES RAYONS DES CERCLES CIRCONSCRITS
 ET INSCRITS R ET r' AUX POLYGOUES RÉGULIERS LES PLUS IMPORTANTS ET LES SURFACES DE CES POLYGOUES S

| POLYGOUES | R | r' | Côté = b | S |
|-----------------|------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Triangle..... | $0,577 \times b$ | $0,289 \times b$ | $1,73 \times R$ ou $3,46 \times r$ | $0,43 b^2$ ou $1,29 R^2$ |
| Carré..... | $0,707 \times b$ | $0,500 \times b$ | $1,41 \times R$ | $2,00 b^2$ |
| Pentagone..... | $0,851 \times b$ | $0,695 \times b$ | $1,18 \times R$ | $1,72 b^2$ |
| Hexagone..... | $1,000 \times b$ | $0,866 \times b$ | $1,00 \times R$ | $2,59 b^2$ |
| Octogone..... | $1,307 \times b$ | $1,208 \times b$ | $0,77 \times R$ | $4,82 b^2$ |
| Décagone..... | $1,618 \times b$ | $1,540 \times b$ | $0,62 \times R$ | $7,69 b^2$ |
| Dodécagone..... | $1,930 \times b$ | $1,866 \times b$ | $0,52 \times R$ | $11,19 b^2$ |

CIRCONFÉRENCE

Longueur d'une circonférence de rayon R :

$$2 \pi R = \pi D = 3,1416 D$$

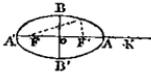
Longueur d'un arc de circonférence R :

$$l \frac{2 \pi R n}{360} = \frac{\pi R n}{180} \quad n = \text{nombre de degrés de l'arc}$$

COURBES USUELLES

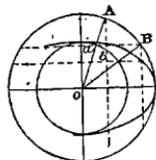
CONSTRUCTION DE L'ELLIPSE, DE LA PARABOLE ET DE L'HÉLICE

Ellipse. — CONSTRUCTION PRATIQUE. — On donne les foyers F et F' et la somme des rayons vecteurs FK; on fixe aux deux points F et F' les extrémités d'un fil de longueur FK, on tend ce fil au moyen d'une pointe ou d'un crayon et on déplace la main dans le plan, le fil étant toujours tendu. On tracera ainsi une demi-ellipse d'un mouvement continu; on trace de même l'autre moitié de l'ellipse de l'autre côté de la ligne FF'.

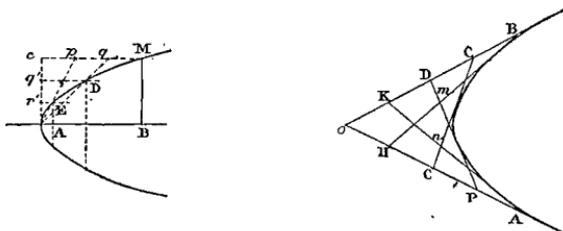


Construire une ellipse connaissant le grand axe et le petit axe. — D'un point o comme centre, on décrit deux cercles concentriques ayant pour diamètres respectifs, l'un le plus grand axe, l'autre le petit, puis du point o on mène un certain nombre de rayons oA, oB, oC, etc. Aux points où ces droites rencontrent le petit

cercle; on mène des horizontales et de ceux où elles coupent le grand cercle, on abaisse des verticales; l'intersection de ces deux dernières lignes sont des points de l'ellipse. Il suffit de déterminer des points dans un quadrant; quand on a obtenu le $1/4$ de l'ellipse, on peut prendre ensuite les symétriques par rapport aux diamètres. Cette méthode est rigoureuse.



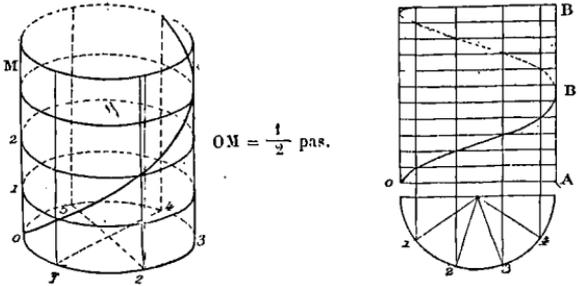
Parabole. — On donne le sommet A, la direction de l'axe AB et un point M; par M on abaisse la perpendiculaire MB sur la direction de l'axe et on mène MC parallèle à cette direction; on joint CA. On divise la droite CM en un certain nombre de parties égales, 3 par exemple, et on détermine un même nombre de divisions sur la droite CA, on joint au sommet A les points p et q , puis on mène par p' et q' des parallèles à l'axe, les points D, E sont de la parabole. Les points D'E' symétriques de D, E par rapport à AB sont de la parabole.



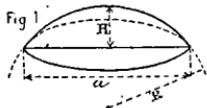
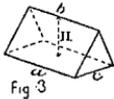
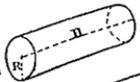
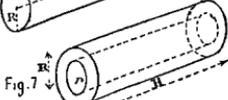
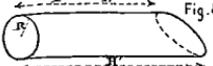
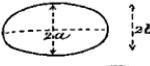
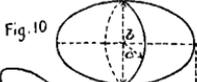
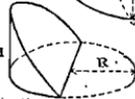
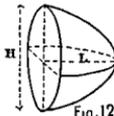
2° On donne deux tangentes à la courbe et les points de contact; on divise les côtés OA, OB en un même nombre de parties égales et on joint ces points entre eux. La parabole cherchée est tangente à tous les côtés du

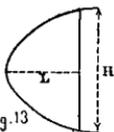
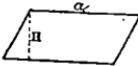
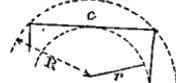
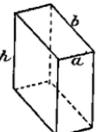
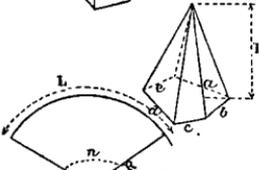
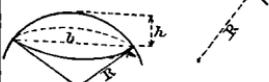
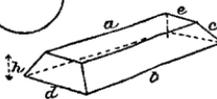
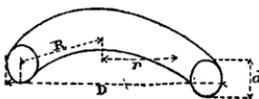
polygone B, m, n, p, A , ainsi formé. Celui-ci s'appelle enveloppe de la parabole.

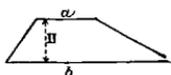
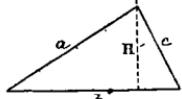
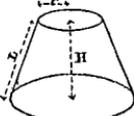
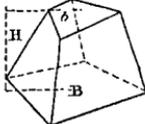
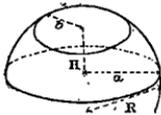
Hélice. — On divise le cercle de la base en un certain nombre de parties égales et on mène par les points de division les génératrices du cylindre, on divise le pas de l'hélice $= 2OM$ en les mêmes nombres de parties égales, et on trace sur le pourtour du cylindre les circonférences horizontales passant par ces points. Les points d'intersection formés par la rencontre des lignes verticales et horizontales qui se correspondent appartiennent à l'hélice. Il est plus simple, quand on veut construire une hélice sur le papier, d'opérer la construction comme l'indique la deuxième figure.



TABEAU DES SURFACES ET VOLUMES USUELS

| OBJETS | SURFACES | VOLUMES |
|--|--|--|
|  <p>Fig. 1</p> | <p>Calotte sphérique</p> $S = 2 \pi R H = \frac{\pi}{4} (a^2 + 4 H^2)$ | $V = \pi H^2 \left(R + \frac{1}{3} H \right)$ |
|  <p>Fig. 2</p> | <p>Carré</p> $S = a^2$ | $= \pi \Pi \left(\frac{h^2}{8} + \frac{H^2}{6} \right)$ |
|  <p>Fig. 3</p> | <p>Cercle</p> $S = \pi R^2$ | $V = (2 a + b) \frac{c H}{6}$ |
|  <p>Fig. 4</p> | <p>Coin</p> $S = (a + b + c) H$ | $V = \frac{H}{3} \pi R^2$ |
|  <p>Fig. 5</p> | <p>Cône</p> $S = 2 \pi R \frac{L}{2}$ | $V = a^3$ |
|  <p>Fig. 6</p> | <p>Cube</p> $S = 6 a^2$ | $V = \pi R^2 \Pi$ |
|  <p>Fig. 7</p> | <p>Cylindre circulaire droit</p> $S = 2 \pi R H$ | $V = \pi H (R^2 - r^2)$ |
|  <p>Fig. 8</p> | <p>Cylindre circulaire creux</p> $S = 2 \pi H (R + r)$ | $V = \pi R^2 \frac{H + H'}{2}$ |
|  <p>Fig. 9</p> | <p>Cylindre circulaire à section oblique ..</p> $S = \pi R (\Pi + \Pi')$ | $S = \pi a b = \frac{b}{a} \pi a^2$ |
|  <p>Fig. 10</p> | <p>Ellipsoïde à trois axes inégaux ..</p> $S = 2 R \Pi$ | $V = \pi a b c \times \frac{4}{3}$ |
|  <p>Fig. 11</p> | <p>Onglet sphérique</p> $S = 2 R \Pi$ | $V = \frac{2}{3} R^3 \Pi$ |
|  <p>Fig. 12</p> | <p>Paraboloïde de révolution</p> $V = \frac{\pi}{2} H^2 L$ | |

| OBJETS | SURFACES | VOLUMES |
|--|--|---|
|  <p>Fig. 13</p> | <p>Parabole (arc de)..</p> $S = \frac{2}{3} LH$ | |
|  | <p>Parallélogrammes.</p> $S = ah$ | |
|  | <p>Polygones réguliers.</p> $S = \frac{ncR}{2}$ | |
|  | <p>Prisme droit ou parallépipède rectangle.</p> $S = 2(ab + ah + hb)$ <p>S = somme parallélogrammes latéraux</p> | $V = abh$ <p>V = section droite $\times H$</p> |
|  | <p>Prisme oblique...</p> $S = (a + b + c + d + e) \frac{h}{2}$ | $V = \frac{1}{3} H \times \text{Base}$ |
|  | <p>Pyramide..</p> $S = L \times \frac{R}{2} = 0,0087 R^2 n$ | |
|  | <p>Secteur de cercle....</p> $S = \frac{LR - b(R - h)}{2}$ | |
|  | <p>Segment de cercle.</p> $S = \frac{\pi R}{2} (4H + b)$ | $V = \frac{2}{3} \pi R^2 H$ |
|  | <p>Secteur sphérique</p> $S = 2\pi RH = \frac{\pi}{4} \times (b^2 + 4H^2)$ | $V = \pi H^2 (R - \frac{1}{3} H)$ |
|  | <p>Segment sphérique</p> $S = 4\pi R^2 = \pi D^2$ | $V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$ |
|  | <p>Sphère....</p> $S = \text{aires des faces}$ | $V = \frac{h}{6} [(2a + b)d + (2b + a)c]$ |
|  | <p>Solide quadrangulaire à deux bases parallèles.....</p> $S = 4\pi^2 Rr = \pi^2 Dd$ | $V = 2\pi^2 Rr^2$ |
| | <p>Tore.....</p> | |

| OBJETS | SURFACES | VOLUMES |
|---|--|--|
|  | Trapèze... $S = \frac{a + b}{2} H$ | |
|  | Triangle... $S = \frac{b H}{2} =$ $= \frac{\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}}{2}$ | |
|  | Tronc de cône.... $S = \pi L (R + r)$ | $V = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$ |
|  | Tronc de pyramide $S =$ somme faces latérales | $V = (B + b + \sqrt{Bb}) \times \frac{H}{3}$ |
|  | Zone sphérique.... $S = 2 \pi R H$ | $V = \frac{1}{6} \pi H \times (3a^2 + 3b^2 + h^2)$ |

ALGÈBRE

Equation du 1^{er} degré à 1 inconnue $\left\{ \begin{array}{l} ax + b = 0 \text{ d'où } x = \frac{-b}{a} \end{array} \right.$

Equation du 1^{er} degré à 2 inconnues $\left\{ \begin{array}{l} ax + by = c \text{ d'où } x = \frac{cb - bc'}{ab' - ba'} \\ ax + b'y = c' \quad y = \frac{ac' - ca'}{ab' - ba'} \end{array} \right.$

Equation du 2^e degré à 1 inconnue $\left\{ \begin{array}{l} x^2 + px + q = 0 \quad x = \frac{-p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \\ ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \end{array} \right.$

Equation du degré 2 n (forme bi-carrée) $\left\{ \begin{array}{l} x^{2n} + px^n + q = 0 \quad x = \sqrt[n]{\frac{-p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}} \end{array} \right.$

PROGRESSIONS ARITHMÉTIQUES

a = 1^{er} terme.

d = raison (1 terme moins le précédent).

n = nombre de termes.

l = terme de rang n .

S = somme des termes depuis le premier jusqu'à l .

$$l = a + (n - 1) d.$$

$$s = (a + l) \frac{n}{2}$$

PROGRESSIONS GÉOMÉTRIQUES

q = raison (1 terme divisé par le précédent).

$$l = aq^n - 1$$

$$S = \frac{ql - a}{q - 1} = \frac{a(q^n - 1)}{q - 1}$$

Limite de la valeur S lorsque $q < 1$: $\frac{a}{1 - q}$

BINOME DE NEWTON

$$(a + b)^n = a^n + n a^{n-1} b + n \frac{n-1}{1 \cdot 2} a^{n-2} b^2 + \frac{(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} a^{n-3} b^3 \dots$$

ARRANGEMENTS, PERMUTATIONS, COMBINAISONS

Nombre d'arrangements de m objets n à n :

$$A_n = m(m-1)(m-2)\dots(m-n) + 1$$

Nombre de permutations de m objets n à n :

$$P_m = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots m$$

Nombre de combinaisons de m objets n à n :

$$C_n^m = \frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-n) + 1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n}$$

FORMULES D'INTÉRÊT COMPOSÉ

$$A = a(1+r)^n(1+pr) \left\{ \begin{array}{l} A = \text{valeur du capital au bout d'un temps} \\ \text{donné.} \\ a = \text{valeur du capital au début du place-} \\ \text{ment.} \\ v = \text{taux de l'intérêt pour 1 franc.} \\ n = \text{nombre entier d'années pendant lequel} \\ \text{l'argent a été placé.} \\ p = \text{fraction complémentaire de l'année, etc.} \end{array} \right.$$

FORMULE POUR LES CALCULS D'ANNUITÉS

$$A = \frac{a[(1+r)^n - 1]}{r(1+r)^n} \left\{ \begin{array}{l} A = \text{capital à retirer à la fin de la dernière} \\ \text{année de versement.} \\ a = \text{annuité versée.} \\ n = \text{nombre d'années pendant lequel on a} \\ \text{versé.} \\ r = \text{taux de l'intérêt pour 1 franc.} \end{array} \right.$$

TRIGONOMÉTRIE

VALEURS DES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES DE QUELQUES ARCS

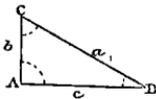
| DEGRÉS | 0° | 30° | 45° | 60° | 90° | 180° | 270° | 360° |
|------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sinus | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | 1 | 0 | -1 | 0 |
| Cosinus | +1 | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | -1 | 0 | +1 |
| Tangente | 0 | $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ | 1 | $\sqrt{3}$ | $+\infty$ | 0 | $-\infty$ | 0 |
| Cotangente | $+\infty$ | $\sqrt{3}$ | 1 | $\frac{1}{2}\sqrt{3}$ | 0 | $-\infty$ | 0 | $-\infty$ |

TABLEAU DES FORMULES FONDAMENTALES

- 1 $\sin^2 a + \cos^2 a = 1$
- 2 et 2' $\operatorname{tg} a = \frac{1}{\operatorname{cotg} a} = \frac{\sin a}{\cos a}$
- 3 $\operatorname{séc} a = \frac{1}{\cos a}$
- 4 $\operatorname{coséc} a = \frac{1}{\sin a}$
- 5 $\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$
- 6 $\cos(a \pm b) = \cos a \cos b \pm \sin a \sin b$
- 7 $\operatorname{tg}(a \pm b) = \frac{\operatorname{tg} a \pm \operatorname{tg} b}{1 \pm \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$

$$\begin{aligned}
 8 \quad & \text{ctg } (a \pm b) = \frac{1 \pm \text{ctg } a \text{ ctg } b}{\text{ctg } a \pm \text{ctg } b} \\
 9 \quad & \sin a + \sin b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2} \\
 10 \quad & \cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2} \\
 11 \quad & \sin a - \sin b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2} \\
 12 \quad & \cos a - \cos b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2} \\
 13 \quad & \text{tg } a \pm \text{tg } b = \frac{\sin (a \pm b)}{\cos a \cos b} \\
 14 \quad & \text{ctg } a \pm \text{ctg } b = \frac{\sin (a \pm b)}{\sin a \sin b} \\
 15 \quad & 2 \sin \frac{1}{2} a \cos \frac{1}{2} a = \sin a \\
 16 \quad & \cos^2 \frac{a}{2} - \sin^2 \frac{a}{2} = \cos a \\
 17 \quad & \text{tg } a = \frac{2 \text{tg } \frac{a}{2}}{1 - \text{tg}^2 \frac{a}{2}} \\
 18 \quad & \text{ctg } a = \frac{\text{ctg}^2 \frac{a}{2} - 1}{2 \text{ctg } \frac{a}{2}}
 \end{aligned}$$

RÉSOLUTION DES TRIANGLES



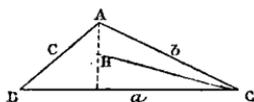
TRIANGLES RECTANGLES

$$\begin{aligned}
 1 \quad & B + C = 90^\circ \\
 2 \quad & \begin{cases} c = a \sin C = a \cos B \\ b = a \cos C = a \sin B \end{cases} \\
 3 \quad & \begin{cases} S = bc \end{cases}
 \end{aligned}$$

FORMULE SUPPLÉMENTAIRE

$$4 \quad \begin{cases} a^2 = b^2 + c^2 \end{cases}$$

TRIANGLES QUELCONQUES



$$1^{\circ} A = 180 - (B + C)$$

$$2^{\circ} \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$3^{\circ} \begin{cases} a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \\ b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B \\ c^2 = b^2 + a^2 - 2ba \cos C \end{cases}$$

$$4^{\circ} \begin{cases} a = c \cos B + b \cos C \\ b = a \cos C + c \cos B \\ c = b \cos A + a \cos B \end{cases}$$

$$5^{\circ} S = \frac{ah}{2} = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

$$2p = a + b + c$$

GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

Point dans le plan $\begin{cases} x = a & y = b \\ x = a & y = b & z = c \end{cases}$

— origine $x = y = z = 0$

Droite quelconque $y = ax + b$

— par l'origine $y = ax$

Plan quelconque $ax + by + cz + d = 0$

— — — $ax + by + cz = 0$

Cercle quelconque $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$

— rapporté à l'origine $x^2 + y^2 = r^2$

Ellipse rapportée au centre $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Hyperbole — $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$

Parabole — $y^2 = 2px$

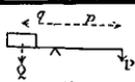
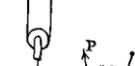
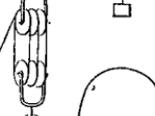
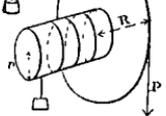
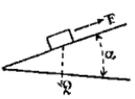
MÉCANIQUE

MACHINES SIMPLES

NOTA. — Il ne faut pas oublier que les machines simples ne réduisent pas le travail à effectuer. Car si la force nécessaire à ce

travail a besoin d'être moins grande, il faut en revanche qu'elle s'exerce plus longtemps pour produire le même effet. Ainsi, dans la poulie mobile à cordes parallèles, l'effort n'est que la moitié du poids que l'on doit soulever; en d'autres termes, il est la moitié de celui qu'on devrait exercer pour soulever ce même poids directement: en revanche, le chemin parcouru par le fardeau n'est que la moitié de celui que parcourt dans le même temps la main qui tire. Il faut donc se rappeler toujours que ce qu'on gagne en force, on le perd en vitesse ou inversement.

MACHINES SIMPLES

| MACHINES | ÉQUATION D'ÉQUILIBRE |
|--|--|
|  <p><i>Lever</i></p> | $Pp = Qq$ |
|  <p><i>Poulie fixe</i> Brins parallèles</p> | 1 ^{er} cas $P = \frac{Q}{2}$ |
|  <p>Brins non paral. <i>Poulie fixe</i></p> | 2 ^e cas $P = \frac{Q}{2 \cos \alpha}$ $\alpha = \text{angle des 2 brins}$ |
|  <p>Brins parallèles <i>Poulie mobile</i></p> | 1 ^{er} cas $P = \frac{Q}{2}$ |
|  <p>Brins non paral. <i>Poulie mobile</i></p> | 2 ^e cas $P = \frac{Q}{2 \cos \alpha}$ $\alpha = \text{angle des 2 brins}$ |
|  <p><i>Mouffle</i></p> | $P = \frac{Q}{2n}$ (n étant le nombre de poulies dans une chape ou suppose que ce nombre est le même dans les deux chapes.) |
|  <p><i>Treuil</i></p> | $P = \frac{Qr}{R}$ |
|  <p><i>Plan incliné</i> . . .</p> | $F = Q \sin \alpha$ α angle avec le plan horizontal. $P = Q \cos \alpha$ |

FORMULE DU TRAVAIL

Unité de travail : kilogrammètre. C'est le travail né-

cessaire pour élever un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur.

Cheval-vapeur : force nécessaire pour élever d'un mouvement continu 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur = 75 kilogrammètres.

$$\begin{array}{l}
 \text{Travail exprimé en kilogrammètres} \\
 T = P \times E = \frac{m}{2}(V^2 - V_0^2) \\
 \text{Travail exprimé en chevaux-vapeur} \\
 T = \frac{P + E}{75} \\
 \text{Travail moteur dans une machine} \\
 T_m = T_u + T_f \\
 \text{Rendement d'une machine} \\
 \frac{T_u}{T_m} = 1 - \frac{T_f}{T_m}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 V_0 = \text{vitesse initiale du corps} \\
 V = \text{— finale —} \\
 E = \text{chemin parcouru dans la} \\
 \text{direction de la force; on} \\
 \text{l'exprime en mètres.} \\
 P = \text{poids soulevé en kilog.} \\
 T_u = \text{Travail utile.} \\
 T_f = \text{Travail de frottement ou} \\
 \text{de résistance.} \\
 \frac{T_u}{T_m} = 1 - \frac{T_f}{T_m}
 \end{array}
 \right.$$

RELATIONS ENTRE LES FORCES LES MASSES ET LES ACCÉLÉRATIONS

F = force. M = masse. V = vitesse. Y = accélération à la force.

Ft = impulsion d'une force

MV = quantité de mouvements

$\frac{1}{2} MV^2$ = puissance vive

F = MY

P = Mg dans le cas où la force F est la pesanteur.

$\frac{F}{Y} = \frac{F'}{Y'} = \frac{F''}{Y''} = \dots = m$

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Force centripète et} \\
 \text{force centrifuge}
 \end{array} \right\} F = \frac{MV^2}{r}$$

r = rayon de circ. décrite par le centre de gravité de la masse ou rayon de courbure quand la trajectoire n'est pas circulaire

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Mouvement uniforme rectiligne} \\
 E = Vt
 \end{array} \right\}
 \begin{array}{l}
 V = \text{vitesse} \\
 E = \text{espace parcouru} \\
 t = \text{temps}
 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Mouvement uniforme} \\
 \text{circulaire}
 \end{array} \right\}
 \begin{array}{l}
 V = \omega R \\
 V = \frac{2\pi Rn}{60}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 V = \text{vitesse à la circonférence.} \\
 \omega = \text{— angulaire.} \\
 R = \text{distance du point considéré} \\
 \text{au centre de rotation.} \\
 n = \text{Nombre de tours par minute.}
 \end{array}
 \right.$$

Mouvement rectiligne uniformément varié $\left\{ \begin{array}{l} V = V_0 + \gamma t \\ E = V_0 + 1/2 \gamma t^2 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} V_0 = \text{vitesse initiale.} \\ t = \text{temps.} \\ \gamma = \text{accélération due à la force.} \end{array} \right.$

Pendule simple $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ $\left\{ \begin{array}{l} t = \text{durée d'une oscillation.} \\ l = \text{longueur du pendule.} \\ g = \text{accélération due à la pesanteur.} \end{array} \right.$

Pendule composé $T = \pi \sqrt{\frac{I}{Mdg}}$ $\left\{ \begin{array}{l} I = \text{moment d'inertie du corps oscillant par rapport à l'axe de rotation.} \\ d = \text{distance du centre de gravité du pendule à l'axe.} \end{array} \right.$

Quand on peut mesurer T la formule permet de calculer $I = \frac{T^2}{\pi^2} Mdg$.

Formule du battage des pieux $T = 2 \frac{H}{P + p}$ $\left\{ \begin{array}{l} P = \text{poids du mouton,} \\ H = \text{hauteur de chute du mouton.} \\ p = \text{poids du pieux.} \end{array} \right.$

Frein de Prony Tr. effectif $\frac{2\pi lnP}{60 \times 75}$ exprimé en chevaux-vapeur. $\left\{ \begin{array}{l} P = \text{poids agissant au bout du levier.} \\ l = \text{longueur du bras du levier.} \\ n = \text{nombre de tours par minute.} \end{array} \right.$

MOMENTS D'INERTIE

I = moment d'inertie.

m = masse élémentaire.

r = distance de cette masse à un axe fixe.

$$I = \Sigma mr^2$$

Le moment d'inertie entre dans l'expression de la force vive des corps animés d'un mouvement de rotation. En effet ωr étant la vitesse d'un élément matériel m, la force vive du système a pour expression

$$\Sigma m\omega^2 r^2 = \omega^2 \Sigma mr^2 = \omega^2 I$$

Moment d'inertie par rapport à un axe donné. = $I + Mr^2$

I = moment d'inertie par rapport à un axe passant par le centre de gravité, parallèlement à l'axe donné.

M = masse du corps.

r = distance du centre de gravité à l'axe donné.

Rayon de gyration ou bras de l'inertie

$$I = \Sigma mr^2 = Mr\rho^2$$

RÉSISTANCE

TABLEAU DONNANT LES COEFFICIENTS DE RÉSISTANCES
DE QUELQUES MATÉRIAUX

| MATIÈRES | CHARGE PRATIQUE P. MM. Q EXPRIMÉE EN KILOG. | | |
|--------------------|---|--------------------|--------------------|
| | Traction | Compression | Cisaillement |
| Acier cimenté ... | 13 ^k 00 | 13 ^k 00 | 10 ^k 00 |
| Bois ordinaire ... | 0,70 | 0,45 | 0,07 |
| — dur..... | 1,40 | 0,36 | 0,06 |
| Briques ordinaires | » | 0,06 | » |
| — choisies . | » | 0,40 | » |
| Bronze..... | 2,00 | 1,50 | 1,50 |
| Calcaire..... | » | 0,30 | » |
| Cuivre écroui.... | 6,00 | 6,00 | 5,00 |
| Fonte..... | 2,50 | 7,00 | 2,00 |
| Granit..... | » | 0,60 | » |
| Grès..... | » | 0,20 | » |
| Fer..... | 7,00 | 7,00 | 6,00 |
| Laiton..... | 2,50 | 2,00 | 2,00 |
| Mortier de chaux. | » | 0,04 | » |
| — ciment | 0,02 | 0,15 | » |
| Tôle..... | 7,00 | 7,00 | 6,00 |

POIDS ET RÉSISTANCE DES CABLES EN CHANVRE
ET CHÂÎNES EN FER

| CABLES ROUNDS EN CHANVRE NON GOUDRONNÉS | | | CHÂÎNES EN FER | | |
|--|------------------------------|--|---------------------|------------------------------|--|
| Diamètres | Poids du mètre courant | Charge pratique en kilog. p. mm. q. | Diamètres | Poids du mètre courant | Charges pratiques en kilog. p. mm. q. |
| 16 ^m /m | 0 ^k 21 | 200 ^k | 6,5 ^m /m | 0 ^k 96 | 450 ^k |
| 20 | 0,32 | 300 | 8,0 | 1,60 | 620 |
| 23 | 0,37 | 400 | 10,0 | 2,05 | 1000 |
| 26 | 0,53 | 500 | 11,5 | 2,55 | 1200 |
| 29 | 0,64 | 750 | 13,0 | 3,80 | 1700 |
| 33 | 0,80 | 900 | 15,0 | 4,95 | 2200 |
| 36 | 0,96 | 1000 | 16,0 | 6,37 | 2600 |
| 39 | 1,06 | 1200 | 18,0 | 7,16 | 3200 |
| 46 | 1,55 | 1500 | 20,0 | 8,45 | 3850 |

Les cordes en chanvre s'allongent de $1/6$ à $1/10$ de leur longueur avant de se rompre. Elles peuvent absorber environ 25 p. 100 de leurs poids d'eau et subissent de ce fait un raccourcissement qui varie entre 1 et 1,5 p. 100 de leur longueur. Les cordes humides perdent 30 à 35 p. 100 de leur force, enfin le goudronnage diminue la résistance des $2/3$ et quelquefois des $3/4$.

M. Duboul a trouvé les résultats suivants :

| | | Résist. à la traction. | } par m.m.q. de section (vides et pleins) |
|----|---------------------------------------|--|---|
| 1. | Cordage et cable ronds, chanvre blanc | 7 ^k 15 à 8 ^k | |
| 2. | — — — goudr.. | 5,50 à 6 | |
| 3. | — — — manille blanc..... | 7,00 à 7,5 | |
| 4. | — — — en aloès blanc..... | 4,00 à 5,0 | |
| 5. | — — — plat, en manille goudronnée. | 5,60 à 6,0 | |

En pratique, prendre le $1/6$ ou le $1/8$ de ces chiffres.

RÉSISTANCE DES SOLIDES A LA COMPRESSION

Formule générale : $N = R \omega$

N = Effort maximum pratique que peut supporter le solide.

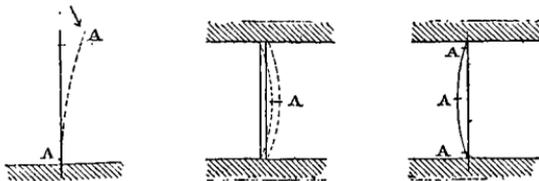
ω = Section du solide.

R = Coefficient de résistance à la compression.

Cette formule n'est vrai que lorsque la longueur du solide, par rapport à la plus petite de ses autres dimensions, est suffisamment faible ; en un mot on suppose que le solide ne peut fléchir trop rapidement.

DISPOSITIONS PRINCIPALES DES SOLIDES CHARGÉS DEBOUT,

avec l'indication de la section dangereuse A.



RÉSISTANCE A LA TRACTION

Formule générale : $N = R'\omega - P$

N = Effort maximum pratique que peut subir le solide.

R' = Coefficient de résistance à la traction.

ω = Section du solide.

P = Poids du solide (il est quelquefois négligeable).

RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT

Formule générale : $N = R''\omega$, R'' = coefficient de résistance au cisaillement.

FLEXION TRANSVERSALE

Formules générales : $R = \frac{V\mu}{I} - \frac{N}{\omega}$

V = distance à la fibre neutre de la fibre la plus éprouvée.

R = charge pratique.

μ = moment fléchissant.

N = effort maximum pratique que peut supporter le solide.

ω = section du solide.

I = moment d'inertie du profil par rapport à un axe mené par le centre de gravité perpendiculairement au plan de flexion.

CHAUDIÈRES ET MACHINES A VAPEUR

Suivant la qualité du combustible on peut admettre les résultats suivants :

| COMBUSTIBLE | VAPEUR produite par kilog. de combustible | SURFACE de grille en cent. q. pour brûler 1 kilogr. par heure | TEMPÉRATURE de combustion |
|--------------------|--|--|---------------------------------|
| Coke..... | 6 ^k à 8 ^k | 75 à 100 | 4200 à 4300 |
| Houille. | 5 ^k à 9 ^k | 90 à 180 | 1250 à 1350 |
| Bois | 2,5 à 3 ^k 6 | 70 à 100 | 4200 à 4300 |
| Tourbe.... | 1 ^k à 2,50 | 60 à 90 | 1000 à 1200 |

DÉPENSE DE VAPEUR PAR CHEVAL ET PAR HEURE

| | |
|--|----------------------|
| Machines sans détente ni condensation..... | 20 à 40 ^k |
| — à détente, sans — | 16 à 25 |
| — — et — | 12 à 16 |
| — ordinaire Wolf..... | 9 à 12 |
| — à deux cylindres..... | 8 à 10 |

ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES DES PAROIS D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

$$e = 1,8 D (n - 1) + 3^{\text{mm}} \text{ (ordonnance de 1843).}$$

n représente le timbre en atmosphères.

CHAUFFAGE DES CHAUDIÈRES A VAPEUR AVEC DE LA HOUILLE

PRODUCTION DE VAPEUR PAR K DE HOUILLE

| | | |
|---|-------------------------|----------------|
| Chaudière à bouilleur, faible surface | } sans ré- chauffeur | 5 ^k |
| — surface moyenne. | | 6 à 6,5 |
| — avec réchauffeur..... | | 7 à 8 |
| Chaudière système Cornouailles..... | | 7,50 à 8,50 |
| Chaudière de locomotive (tirage forcé)..... | | 7,50 à 8,5 |
| — tubulaire..... | | 7,5 à 9,0 |

CARNAUX DE FUMÉE

La section s'obtient en multipliant par 0,004 le poids en kilogrammes de combustible brûlé par heure (= 3/4 de la grille environ).

SOUPAPES DE SURETÉ

$$\text{Diamètre } d = 2,6 \sqrt{\frac{S}{n - 0,412}}$$

Diamètre des conduits de vapeur

$$p = \pi \frac{D^2}{4} \times V \times d \times 1000$$

p = poids de la vapeur en kilog. passant par seconde

d = densité.

V = vitesse de la vapeur (entre 10 et 20^m).

FOYERS ET ACCESSOIRES

Porte. — A 2 battants: Hauteur = 30 à 37^m, largeur 45 à 55^m
 — A 1 battant: — 26 à 37 — 30 à 37

Barreaux de la grille.

Houille. Agglomérés { longueur: 0,60 à 0,90, épaisseur: 8 à 15^{mm}
 espaceement en haut: 6 à 15^{mm}
 Coke..... { longueur: 0,60 à 0,90, épaisseur: 8 à 15
 espaceement en haut: 10 à 20

Vitesse de l'air sous la grille: 1,50 environ.

Distance de la grille à la chaudière: avec coke..... 0,50 à 0,65
 — — — Houille. — Agglomér. 0,40 à 0,60

RENDEMENT DES MACHINES A VAPEUR D'APRÈS THOMAS

$$\text{Formule } p = \frac{\text{Chevaux effectifs}}{\text{Chevaux indiqués}}$$

| FORCE de la machine en chevaux effectifs | MACHINES | | |
|---|----------------------|--------------------------------|---|
| | SANS CONDENSATION | A CONDENSATION A 1 CYLINDRE | A CONDENSATION et à 2 cylindres (Wolf ou Compound) |
| 3 à 5 | 0,60 à 0,66 | | |
| 6 à 12 | 0,67 à 0,72 | 0,60 à 0,65 | 0,50 à 0,55 |
| 15 à 25 | 0,73 à 0,77 | 0,66 à 0,70 | 0,56 à 0,60 |
| 30 à 50 | 0,78 à 0,82 | 0,71 à 0,75 | 0,61 à 0,65 |
| 60 à 100 | 0,83 à 0,85 | 0,76 à 0,78 | 0,66 à 0,68 |

Pour des machines bien construites, on peut admettre des chiffres un peu plus forts. Ici ce sont des moyennes.

CLASSEMENT DES MACHINES ET CHAUDIÈRES A VAPEUR

On se base sur la pression effective de la vapeur, et

↓

on entend par pression effective l'excès de la pression intérieure dans le générateur sur celle de l'atmosphère.

Les générateurs et les machines sont dits :

- 1° A basse pression quand la vapeur est entre 1 et 2,5 atmosphères
 2° Moyenne — — — 3 et 6 —
 3° Haute — — — est supérie^{re} à 6 —

POMPES

Diamètre D d'une pompe pour élever Q mètres cubes d'eau par minute avec une vitesse moyenne du piston égale à V par minute. ρ étant le rendement de la pompe, on a pour :

$$1^{\circ} \text{ Pompe à simple effet : } D = \sqrt{\frac{8Q}{\pi V \rho}}$$

D et V sont exprimés en mètres.

$$2^{\circ} \text{ — à double effet : } D' = \frac{D}{2}$$

Rapport du diamètre D du corps de pompe à sa longueur L .

$$\text{Pompes aspirantes, simple effet : } \frac{D}{L} = \frac{1}{1,5} \text{ à } \frac{1}{2}$$

$$\text{— foulantes, — } \frac{D}{L} = \frac{1}{2} \text{ à } \frac{1}{4}$$

$$\text{— — double effet : } \frac{D}{L} = \frac{1}{1,5} \text{ à } \frac{1}{2,5}$$

Valeurs de ρ de 0,80 à 0,90

— de V de 10 mètres à 20 mètres (on est allé jusqu'à 40 mètr.).

La vitesse de l'eau dans les conduites doit varier entre 0^m, 65 et 1^m, 50 par seconde. Le diamètre D' des conduites d'aspiration et de refoulement sera pris en fonction du diamètre du piston D .

$$D' = \frac{1}{3} \text{ à } \frac{1}{2} D \text{ pour les conduits d'une longueur supérieure à 20 m.}$$

$$D' = \frac{1}{5} \text{ à } \frac{1}{4} D \text{ — — — inférieure à 20 m.}$$

PULSOMÈTRES

Hauteur d'aspiration < 5 mètres : elle sera d'autant plus

faible que la pression sera plus petite. La hauteur de refoulement varie suivant la pression de la vapeur.

Dépense : 1^k,5 par cheval-vapeur effectif.

Pour éviter les coups de bélier on emploie des réservoirs d'air ; ils sont toujours utiles pour une conduite lorsque la longueur de celle-ci dépasse 5 mètres et qu'elle est verticale. Le réservoir d'air s'établit de manière à pouvoir emmagasiner la valeur de 3 à 5 cylindrées.

Pour les pompes mues par la vapeur le nombre de chevaux nécessaires se détermine par la formule :

$$\frac{QH}{1000} \times K$$

K étant un coefficient de rendement qui varie de 1,60 à 1,30, il se rapproche d'autant plus du dernier chiffre que la pompe est meilleure. H est la hauteur à laquelle il faut élever l'eau et Q représente le nombre de mètres cubes à élever par seconde.

TRANSMISSION DE MOUVEMENT

Je laisse de côté les transmissions par engrenage qui exigent toujours des études préliminaires assez longues et que je ne pourrais suffisamment rappeler sans dépasser les bornes de ce recueil.

COURROIES ET CORDES SANS FIN

Les courroies doivent être larges, souples et solides, elles doivent être bien ajustées et travailler sur les côtés du cuir. La largeur *l* d'une courroie est donnée par la formule :

$$L = \frac{N \times 75}{e R V} = \frac{P}{e R} \quad (1)$$

- N = nombre de chevaux à transmettre.
 e = épaisseur de la courroie.
 R = $0^k,10$ à $0,125$ par mm. q. de section.
 V = vitesse de la courroie en mètres.
 P = force transmise en kilog. suivant la direction de la courroie.
 r = rayon de la poulie.
 n = Nombre de tours par seconde.

La vitesse usuelle V varie de 7 à 15 mètres ; on ne doit pas dépasser 25 mètres par seconde. La formule (1) permet de calculer l'épaisseur e si la largeur l est donnée. Pour les cordes sans fin on détermine le diamètre par la formule :

$$p = 4 \sqrt{\frac{75n}{V}}$$

COURROIES

TABLEAU DES RÉSISTANCES DES COURROIES

| LARGEUR l en m/m | ÉPAISSEUR e en m/m | R = 0, 10 Force que peut transmettre la courroie par mm. q. | VALEUR de $\frac{N}{V}$ | R = 0,125 Force que peut transmettre la courroie P | $\frac{N}{V}$ |
|--------------------------|----------------------------|---|-------------------------------|--|---------------|
| 50 | 4 | 0,4 | 27,9 | 0,5 | 34,9 |
| 60 | 4 | 0,4 | 33,5 | 0,5 | 41,9 |
| 70 | 5 | 0,5 | 48,9 | 0,625 | 61,1 |
| 80 | 5 | 0,5 | 55,8 | 0,625 | 69,8 |
| 90 | 6 | 0,6 | 75,4 | 0,750 | 94,2 |
| 100 | 6 | 0,6 | 83,7 | 0,750 | 104,7 |
| 110 | 6 | 0,6 | 92,2 | 0,750 | 115,2 |
| 120 | 7 | 0,7 | 117,3 | 0,875 | 146,6 |
| 130 | 7 | 0,7 | 127,1 | 0,875 | 158,8 |
| 140 | 7 | 0,7 | 136,8 | 0,875 | 171,3 |
| 150 | 7 | 0,7 | 146,6 | 0,875 | 183,3 |
| 160 | 7 | 0,7 | 156,4 | 0,875 | 195,5 |
| 180 | 7 | 0,7 | 175,9 | 0,875 | 219,9 |
| 200 | 7 | 0,7 | 195,5 | 0,875 | 244,4 |
| 250 | 8 | 0,8 | 279,3 | 0,1000 | 349,1 |
| 300 | 8 | 0,8 | 335,1 | 0,1000 | 418,9 |

APPAREILS DE LEVAGE

Treuil.

Soit Q le poids à soulever, R le rayon du tambour, r celui de la manivelle. En appelant P la force qui agit sur la manivelle, on aura :

$$Pr = QR \times \frac{r_1}{r_2} \times \dots \times \rho$$

ρ est un coefficient = 8 à 10 qu'on fait intervenir dans la formule pour tenir compte du frottement; r_1 , r_2 , r_3 , rayons primitifs des engrenages du treuil; R, rayon de la manivelle. Pour un homme la force P varie entre 8 et 15^k.

On compte ordinairement sur 12. Par heure un homme peut développer 6 kilogrammètres sans trop grande fatigue. Il peut tripler cet effort à un moment donné.

Chèvre.

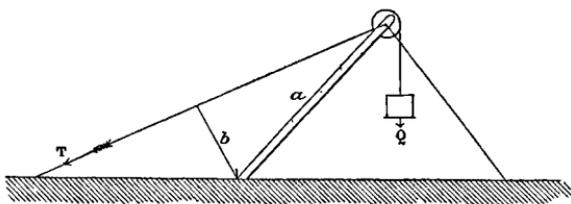
Valeur de l'effort T qui s'exerce contre le hauban pendant la montée de la charge. — Figure au verso.

$$T = \frac{a}{b} Q$$

Grue.

On emploie la formule du treuil. — Si la grue est construite, on connaît tous les éléments de la formule à l'exception de Q. On déduit donc en fonction des données la charge qu'on peut élever. Si au contraire

on se donne *à priori* la charge à soulever, on détermine les valeurs des rapports $\frac{R}{r}$ et $\frac{r_1}{r_2}$. Or, l'expérience indique que le rayon le plus convenable pour la manivelle à main doit être compris entre 30 et 45 centimètres.



D'un autre côté, on a pour les rayons des engrenages, les relations suivantes :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

dans lesquelles N_1 et N_2 désignent le nombre de dents et n_2 et n_1 désignent le nombre de tours.

Or, le nombre minimum de dents que doit posséder une roue de treuil est de 10 à 15. La valeur $\frac{r_1}{r_2}$ est donc de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$. En d'autres termes, dans un engrenage accélérateur, la raison de cet engrenage est

$$a = \frac{R}{r}$$

et varie entre 3 et 5

TRAVAIL DES MOTEURS ANIMÉS (HOMMES)

Hommes appliqués à un transport horizontal.

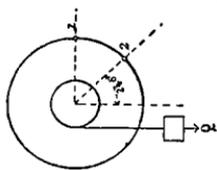
| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Transport à dos à grande distance | | | | | |
| — — — petite | | | | | |
| — — — sur une civière (retour à vide). | | | | | |
| — — — à la brouette (retour à vide) à petite distance sur une route ordinaire. | | | | | |
| — — — à la charrette sur une route à l'état ordinaire. | | | | | |

Hommes appliqués à l'élevation des fardeaux.

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| Élévation d'un poids avec cordes et poulie (descente à vide). | | | | | |
| — — — à la main. | | | | | |
| Transport d'un poids à dos d'homme sur une rampe ou escalier (ret. à vide) | | | | | |
| — — — à la brouette sur une rampe (retour à vide). | | | | | |

Hommes actionnant des machines.

| | | | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Roue à chevilles position 1 | | | | | |
| — — — 2 | | | | | |
| Manœuvre du cabestan | | | | | |
| Action sur une manivelle | | | | | |



| | Charge portée. | Vitesse p. 1 m. | Durée du travail |
|------|----------------|-----------------|------------------|
| 40 k | 0,75 | 7 h. | |
| 65 | 0,50 | 6 | |
| 50 | 0,33 | 6 | |
| 60 | 0,50 | 10 | |
| 100 | 0,50 | 10 | |
| | Poids soulevé | Vitesse par m. | Durée du travail |
| 18 k | 0,20 | 6 h. | |
| 20 | 0,17 | 6 | |
| 65 | 0,04 | 6 | |
| 60 | 0,02 | 10 | |
| 60 k | 0,15 | 8 h. | |
| 42 | 0,70 | 8 | |
| 42 | 0,60 | 8 | |
| 8 | 0,75 | 8 | |
| 70 k | 0,90 | 8 h. | |
| 60 | 0,85 | 10 | |
| 45 | 0,90 | 8 | |
| 30 | 2,00 | 4,5 | |
| 30 | 1,40 | 6,5 | |
| 65 | 0,60 | 8 h. | |
| 30 | 0,90 | 8 | |
| 14 | 0,80 | 8 | |
| 75 | 1,00 | 24 | |

TRAVAIL DES ANIMAUX

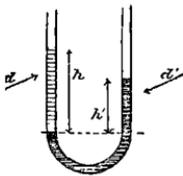
| | | | |
|---|--|--|--|
| Fort cheval attelé à une voiture et marchant au pas, haltes non comprises | | | |
| Cheval de force moyenne — — — — — | | | |
| — — — au manège marchant au pas | | | |
| — — — petit trot. | | | |
| — — — pas allongé | | | |
| Bœuf au manège au pas | | | |
| Mulet — — — — — | | | |
| Âne — — — — — | | | |
| Cheval-vapeur | | | |

PHYSIQUE

PESANTEUR

Formule du pendule simple $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

t = durée d'une oscillation
 l = longueur du pendule
 $g = 9,81$



Principe de Pascal sur la transmission des pressions dans les fluides; application à la presse hydraulique $pS = Ps$.

Equilibre de deux liquides de densité différente, dans un vase communiquant

$$h d' = h' d$$

Densité d'un corps : $D = \frac{P}{V}$

Poids d'un litre d'air à 0° et à 0,76 p. = 1 g. 293.

Pression atmosphérique. — Elle est égale à 1^k, 0336 pour chaque centimètre carré, et elle est représentée par une colonne d'eau de 10^m,33 en une colonne de mercure de 0^m,76.

Réduction à 0° d'une hauteur barométrique.

$$h = H \frac{5550}{5550 + t} (1 + k t) \left\{ \begin{array}{l} H = \text{hauteur lue} \\ h = \text{— cherchée.} \\ t = \text{température durant l'expérience.} \\ K = \text{Coefficient de la dilatation linéaire de l'échelle.} \end{array} \right.$$

Mesure d'une hauteur par le baromètre.

$$x = h \times 10464 \left\{ \begin{array}{l} x \text{ hauteur à mesurer.} \\ n \text{ variation de la colonne barométrique.} \end{array} \right.$$

LOI DE MARIOTTE $V'H = V' H$

| | | |
|-------------------------------|------------------------------------|-------|
| Vitesse de la lumière | 300.000 kilom. environ p. seconde. | |
| — du son dans l'air . . . | 337 mètres — | à 10° |
| — — dans l'eau . . . | 1.435 — — | 8° |
| — — dans la fonte | 35.385 — — | |

CHALEUR

La **calorie** ou unité de chaleur représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0° centigr. à 1° centigr. la température de 1 kilogr. d'eau distillé. L'expérience a prouvé qu'il fallait 1 calorie pour élever de 1° la température de 1 kilogr. d'eau entre les limites de 0° à 100°.

On entend par *chaleur spécifique* d'un corps le nombre de calories qu'il faut fournir à 1 kilogr. de ce corps pour élever sa température de 1°.

Le *pouvoir calorifique* d'un corps est le nombre de calories que dégage la combustion complète de 1 kilogr. de ce corps.

On entend par *dilatation linéaire* d'un corps la variation de distance de deux points quelconques pris dans sa masse. Le *coefficient de dilatation linéaire* est le nombre qui exprime l'allongement de l'unité de longueur pour une augmentation de température de 0° à 1°; on définit le *coefficient de dilatation cubique* K la fraction, dont se dilate l'unité de volume quand la température monte de 0° à 1°. Ce dernier est le triple du précédent en raison de l'équation

$$1 + K = (1 + \lambda)^3 = 1 + 3\lambda + 3\lambda^2 + \lambda^3$$

Chaleur latente de fusion, volatilisation, etc.

Durant le phénomène de fusion d'un corps ou de l'évaporation d'un liquide en ébullition la température reste constante bien que le foyer continue à fournir de la chaleur. Celle-ci est appelée chaleur latente ou chaleur dynamique, elle est absorbée par le changement d'état du corps et dégagée par la transformation inverse.

TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL

$$Q = AT.$$

Q = nombre de calories dé
pensées.

Equivalent mécanique de la chaleur

$$\frac{1}{A} = 424.$$

T = travail fourni en kilo-
grammètres.

— Calorifique du travail. $A = \frac{1}{424}$

Transmission de la chaleur par rayonnement.

Formule de Newton

$$M = Q \cdot S (T-t).$$

{ S = surface rayonnante.
T-t = excès de température.
M = chaleur transmise.
Q = coefficient variable avec
les surfaces.

Cette formule cesse d'être exacte lorsque la différence T-t devient plus grande que 25°.

APPLICATION DE LA FORMULE DE NEWTON

Transmission de la chaleur des appartements à l'air extérieur.

Pertes par m. q. de surface et par degré de la différence (T-t).

| | | |
|--|-----|------|
| A travers un mur en pierre de 0 ^m ,50 d'épaisseur.. | Q = | 1,80 |
| — — en briques avec enduit, 0 ^m 24 | — | 2,50 |
| — un plancher avec hourdis en plâtre. | — | 2,00 |
| — un vitrage. | — | 3,70 |
| — le sol, sur voûtes (caves). | — | 4,00 |

Perte de chaleur par les tuyaux de vapeur quand la différence (T-t) est supérieure à 100°.

$$M = Q' S (T-t)^{1.233}$$

Valeurs de Q' pour le fer et le cuivre.

| | | |
|--|------|--------|
| 1° Les surfaces sont refroidies par l'air non agité. . . | Q' = | 5,69 |
| — — — en léger mou- vement. | — | 14,15 |
| — — — frais. | — | 24,00 |
| 2° — — — par de l'eau non re- nouvelée. | — | 371,00 |
| — — — par de l'eau renouv. | — | 465,00 |

L'intensité calorifique varie en raison inverse du carré de la distance.

LUMIÈRE

Angle d'incidence = angle de réflexion.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = m = \text{indice de réfraction.}$$

$$\text{arc sin } \frac{1}{m} = \lambda = \text{angle limite.}$$

Loi des distances : $I = \frac{Q}{d^2}$

Q = quantité totale de lumière émise par le foyer lumineux.

Loi du cosinus : $I = \frac{Q}{S} \cdot \cos \alpha$

Vitesse de la lumière, 300.000 kilomètres par seconde.

ÉLECTRICITÉ. — Formules principales.

MAGNÉTISME

| | |
|---|-------------------------|
| Moment magnétique d'un aimant..... | $\varphi = ml$ |
| Champ magnétique..... | $f = mH$ |
| Loi de Coulomb..... | $F = \frac{mm'}{d^2}$ |
| Intensité d'aimantation..... | $i = \frac{\varphi}{V}$ |
| Puissance d'un feuillet magnétique..... | $\Phi = d \varepsilon$ |
| Potentiel — — — — — | $V = \Phi \omega$ |

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

| | |
|---|---|
| Loi de Coulomb..... | $F = K \frac{mm'}{d^2}$ |
| Expression du potentiel en fonction des masses..... | $V = \frac{\sum \mu}{r}$ |
| Expression de la capacité d'un conducteur en fonction de la charge M et du potentiel V. | $C = \frac{M}{V}$ |
| Energie potentielle d'un conducteur | $W = \frac{1}{2} M V = \frac{1}{2} C V^2$ |

ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

| | |
|---|-------------------------------|
| Résistance d'un conducteur..... | $R = \rho \frac{l}{s}$ |
| Variation de la résistance spécifique ρ avec la température..... | $\rho' = \rho(1 + at + bt^2)$ |
| Intensité d'un courant... .. | $Q = I t$ |

| | |
|---|---|
| Capacité d'un conducteur..... | $C = \frac{Q}{E}$ |
| Loi de Ohm..... | $I = \frac{E}{R}$ |
| Loi de Kirchhoff..... | $\left\{ \begin{array}{l} \Sigma i = 0 \\ \Sigma ri = \Sigma E \end{array} \right.$ |
| Loi de Joule..... | $Q = R I^2 t = E I t$ |
| Travail électrique..... | $T = E I$ wats. |
| | $T = \frac{E I}{9.8}$ kilogrammètres. |
| | $T = \frac{E I}{7.36}$ chevaux électriques. |
| Rendement électrique { d'une dynamo..... | $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{T}{T_m} = \frac{t_u + t_r}{T_m} = \frac{\text{Travail élect. total.}}{\text{Trav. mécan. mot.}} \end{array} \right.$ |
| Rendement industriel d'une dynamo..... | $\rho \frac{t_u}{T_m} = \frac{\text{Travail électrique utilisable.}}{\text{Travail mécanique moteur.}}$ |
| Travail utile..... | $t_u = ei$ |
| | (e = différence de potentiel aux bornes de la machine.) |
| | (i = intensité du courant dans le circuit extérieur.) |
| Travail résistant..... | $t_r = \Sigma ri^2 + \Sigma f$ |
| | (Σri^2 = travail absorbé par les résistances électriques dans l'inducteur, l'induit, etc.) |
| | (Σf = travail absorbé par les résistances mécaniques, telles, frottement, chocs, etc.) |

UNITÉS ÉLECTRIQUES PRATIQUES

Multiple méga valant 1,000,000 ou 10^6 unités.Sous-multiple micro — $\frac{1}{1,000,000}$ ou 10^{-6} —

TABLEAU DES UNITÉS PRATIQUES

| UNITÉ PRATIQUE | GRANDEURS A MESURER | VALEURS de l'unité en unités absolues | DIMENSIONS électro-magnétiques |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Coulomb... | Quantité .. | 10^{-1} | $M^{1/2} L^{1/2}$ |
| Ampère.... | Intensité | 10^{-1} | $M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$ |
| Volt..... | Potentiel, force électromotrice | 10^8 | $M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$ |
| Ohm..... | Résistance | 10^9 | $L T^{-1}$ |
| Farad..... | Capacité | 10^{-9} | $L^{-1} T^2$ |
| Wat..... | Energie | 10^7 | $M L^2 T^{-2}$ |
| Gauss..... | Champ magnétique | 10^8 | $M^{1/2} L^{-1/2} T^{-1}$ |

TABLEAUX RELATIFS A LA PHYSIQUE
ET A LA CHIMIE

POIDS SPÉCIFIQUE DE QUELQUES CORPS

| CORPS | POIDS SPÉCIFIQUE | CORPS | POIDS SPÉCIFIQUE |
|---|---------------------|---|---------------------|
| 1° Solides. | | | |
| Acier fondu. | 7,80 | Laiton | 8,55 |
| — forgé | 7,60 | Litharge | 1,20 |
| Ardoise. | 2,67 | Maçonnerie briq ^{ms} | 1,50 à 1,80 |
| Argile grasse. | 2,00 à 2,87 | — moellons | 1,70 2,50 |
| — maigre | 1,25 1,55 | — pierre de | |
| Bitume. | 0,80 | taille. | 2,40 2,70 |
| Bois de chêne | | Marbre. | 2,50 3,00 |
| — frêne. | 0,85 | Mortier chaux et | |
| — hêtre | 0,85 | sable. | 1,80 2,15 |
| — sapin | 0,65 0,75 | — ciment et | |
| Brique | 1,40 2,20 | sable. | 1,60 1,70 |
| Bronze. | 8,30 8,60 | — chaux et | |
| Calcaire | 1,90 2,00 | mâchefer. | 1,10 1,25 |
| Caoutchouc vulcanisé. | 1,25 | Oxyde de fer (oligiste) | 5,24 5,28 |
| Chaux vive | 3,20 | Pierre à bâtir (tendre). | 1,15 1,70 |
| — éteinte (en | | — franche demi-roche | 1,70 2,00 |
| pâte ferme). | 1,30 1,45 | — Liais doux. | 2,15 2,30 |
| Coke (compris les vides) | 0,45 0,55 | — — dur, roche | 2,25 2,40 |
| Craie blanche. | 2,70 | — roche tr. dure | 2,50 2,70 |
| Cuivre fondu. | 8,85 | Plâtre gâché, puis | |
| — laminé | 8,95 | séch. | 0,97 |
| Etain | 7,29 | Plomb. | 11,40 |
| Fer forgé. | 7,79 | Pouzolanne | 1,15 1,25 |
| — fondu | 7,60 | Pyrite de fer. | 4,80 5,20 |
| Fonte | 7,20 7,50 | Quartz. | 2,60 |
| Granit. | 2,80 | Sable fin sec. | 1,40 1,45 |
| Graphite | 2,20 | — — argileux. | 1,70 1,80 |
| Gypse | 2,33 | — de rivière. | 1,75 1,85 |
| Grès des Vosges | 2,25 | Scories, mâchefer. | 0,78 1,00 |
| Houille en petits morceaux (vide compris) | 0,85 | Soufre | 2,00 |
| Houille en gros morceaux | 0,90 | Sulfate de fer | 1,97 |
| | | Terre grasse | 1,50 2,10 |
| | | — sèche | 1,30 1,90 |

| CORPS | POIDS SPÉCIFIQUE | CORPS | POIDS SPÉCIFIQUE |
|---|----------------------------|---|---------------------|
| Terreau..... | 0,85 | Vase..... | 1,65 |
| Tourbe sèche..... | 0,90 | Zinc laminé..... | 7,19 |
| — humide.. | 0,50 0,78 | | |
| 2° Liquides. | | | |
| Acide chlorhydriq. concentré..... | 1,2080 | — à 28°..... | 0,9679 |
| Acide sulfurique concentré..... | 1,8450 | Eau..... | 1,0000 |
| Alcool absolu à 100° alcoométriques.. | 0,7947 | — de mer..... | 1,0270 |
| Alcool à 90°..... | 0,8346 | Huile de lin..... | 0,9500 |
| — à 60°..... | 0,9141 | — de navette.. | 0,9150 |
| | | Mercure..... | 13,5960 |
| | | Sulfure de car- bone..... | 1,2600 |
| 3° Gaz et Vapeurs. | | | |
| Acétylène..... | 0,9200 | Hydrogène..... | 0,0693 |
| Acide carbonique. | 1,5290 | Hydrogène arsénié | 2,6950 |
| Acide chlorhydriq. — cyanhydriq. — sulphydrique | 1,2780 0,9480 1,1710 | — bicarboné — protocar- boné (gaz marais) | 0,9784 0,5576 |
| Air..... | 1,0000 | Oxyde de carbone. | 0,9680 |
| Ammoniaque..... | 0,5960 | Oxygène..... | 1,1056 |
| Azote..... | 0,9714 | Vapeur d'eau..... | 0,6250 |
| Butylène..... | 1,9900 | — à 100°.... | 0,4700 |
| Gaz d'éclairage ... | 0,4200 | | |

DES THERMOMÈTRES CENTIGRADES RÉAUMUR ET FAHRENHEIT

Formules.

$F = 32^{\circ} + \frac{9}{5} C$: 1° Fahrenheit vaut 0° 55556 centigr.

$R = \frac{4}{3} C$ 1° Réaumur — 1° 25 —

$R = \frac{4}{9} (F - 32)$

PYROMÈTRE DE WEDGWOOD

Le 0 du pyromètre répond à 580° c. Chaque degré vaut environ 72° c.

COMPARAISON DES THERMOMÈTRES

RÉDUCTION EN CENTIGRADES DES DEGRÉS FAHRENHEIT

| Fahrenheit | Centigrades | Fahrenheit | Centigrades | Fahrenheit | Centigrades |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| — 40 | — 40,00 | 0 | — 17,78 | 40 | 4,44 |
| — 39 | — 39,44 | 1 | — 17,22 | 41 | 5,00 |
| — 38 | — 38,89 | 2 | — 16,67 | 42 | 5,56 |
| — 37 | — 38,33 | 3 | — 16,11 | 43 | 6,11 |
| — 36 | — 37,78 | 4 | — 15,56 | 44 | 6,67 |
| — 35 | — 37,22 | 5 | — 15,00 | 45 | 7,22 |
| — 34 | — 36,67 | 6 | — 14,44 | 46 | 7,78 |
| — 33 | — 36,11 | 7 | — 13,89 | 47 | 8,33 |
| — 32 | — 35,56 | 8 | — 13,33 | 48 | 8,89 |
| — 31 | — 35,00 | 9 | — 12,78 | 49 | 9,44 |
| — 30 | — 34,44 | 10 | — 12,22 | 50 | 10,00 |
| — 29 | — 33,89 | 11 | — 11,67 | 51 | 10,56 |
| — 28 | — 33,33 | 12 | — 11,11 | 52 | 11,11 |
| — 27 | — 32,78 | 13 | — 10,56 | 53 | 11,67 |
| — 26 | — 32,22 | 14 | — 10,00 | 54 | 12,22 |
| — 25 | — 31,67 | 15 | — 9,44 | 55 | 12,78 |
| — 24 | — 31,11 | 16 | — 8,89 | 56 | 13,33 |
| — 23 | — 30,56 | 17 | — 8,33 | 57 | 13,89 |
| — 22 | — 30,00 | 18 | — 7,78 | 58 | 14,44 |
| — 21 | — 29,44 | 19 | — 7,22 | 59 | 15,00 |
| — 20 | — 28,89 | 20 | — 6,67 | 60 | 15,56 |
| — 19 | — 28,33 | 21 | — 6,11 | 61 | 16,11 |
| — 18 | — 27,78 | 22 | — 5,56 | 62 | 16,67 |
| — 17 | — 27,22 | 23 | — 5,00 | 63 | 17,22 |
| — 16 | — 26,67 | 24 | — 4,44 | 64 | 17,78 |
| — 15 | — 26,11 | 25 | — 3,89 | 65 | 18,33 |
| — 14 | — 25,56 | 26 | — 3,33 | 66 | 18,89 |
| — 13 | — 25,00 | 27 | — 2,78 | 67 | 19,44 |
| — 12 | — 24,44 | 28 | — 2,22 | 68 | 20,00 |
| — 11 | — 23,89 | 29 | — 1,67 | 69 | 20,56 |
| — 10 | — 23,33 | 30 | — 1,11 | 70 | 21,11 |
| — 9 | — 22,78 | 31 | — 0,56 | 71 | 21,67 |
| — 8 | — 22,22 | 32 | — 0,00 | 72 | 22,22 |
| — 7 | — 21,67 | 33 | 0,56 | 73 | 22,78 |
| — 6 | — 21,11 | 34 | 1,11 | 74 | 23,33 |
| — 5 | — 20,56 | 35 | 1,67 | 75 | 23,89 |
| — 4 | — 20,00 | 36 | 2,22 | 76 | 24,44 |
| — 3 | — 19,44 | 37 | 2,78 | 77 | 25,00 |
| — 2 | — 18,89 | 38 | 3,33 | 78 | 25,56 |
| — 1 | — 18,33 | 39 | 3,89 | 79 | 26,11 |

TRAITÉ DE LA FABRICATION DU GAZ

| Fahrenheit | Centigrades | Fahrenheit | Centigrades | Fahrenheit | Centigrades |
|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 80 | 26,67 | 87 | 30,56 | 94 | 34,44 |
| 81 | 27,22 | 88 | 31,11 | 95 | 35,00 |
| 82 | 27,78 | 89 | 31,67 | 96 | 35,56 |
| 83 | 28,33 | 90 | 32,22 | 97 | 36,11 |
| 84 | 28,89 | 91 | 32,78 | 98 | 36,67 |
| 85 | 29,44 | 92 | 33,33 | 99 | 37,22 |
| 86 | 30,00 | 93 | 33,89 | 100 | 37,78 |

RÉDUCTION EN CENTIGRADES DES DEGRÉS RÉAUMUR

| Réaumur | Centigrades | Réaumur | Centigrades | Réaumur | Centigrades |
|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| — 5 | 6,25 | 24 | 30,00 | 53 | 66,25 |
| — 4 | 5,00 | 25 | 31,25 | 54 | 67,50 |
| — 3 | 3,75 | 26 | 32,50 | 55 | 68,75 |
| — 2 | 2,50 | 27 | 33,75 | 56 | 70,00 |
| — 1 | 1,25 | 28 | 35,00 | 57 | 71,25 |
| 0 | 0 | 29 | 36,25 | 58 | 72,50 |
| 1 | 1,25 | 30 | 37,50 | 59 | 73,75 |
| 2 | 2,50 | 31 | 38,75 | 60 | 75,00 |
| 3 | 3,75 | 32 | 40,00 | 61 | 76,25 |
| 4 | 5,00 | 33 | 41,25 | 62 | 77,50 |
| 5 | 6,25 | 34 | 42,50 | 63 | 78,75 |
| 6 | 7,50 | 35 | 43,75 | 64 | 80,00 |
| 7 | 8,75 | 36 | 45,00 | 65 | 81,25 |
| 8 | 10,00 | 37 | 46,25 | 66 | 82,50 |
| 9 | 11,25 | 38 | 47,50 | 67 | 83,75 |
| 10 | 12,50 | 39 | 48,75 | 68 | 85,00 |
| 11 | 13,75 | 40 | 50,00 | 69 | 86,25 |
| 12 | 15,00 | 41 | 51,25 | 70 | 87,50 |
| 13 | 16,25 | 42 | 52,50 | 71 | 88,75 |
| 14 | 17,50 | 43 | 53,75 | 72 | 90,00 |
| 15 | 18,75 | 44 | 55,00 | 73 | 91,25 |
| 16 | 20,00 | 45 | 56,25 | 74 | 92,50 |
| 17 | 21,25 | 46 | 57,50 | 75 | 93,75 |
| 18 | 22,50 | 47 | 58,75 | 76 | 95,00 |
| 19 | 23,75 | 48 | 60,00 | 77 | 96,25 |
| 20 | 25,00 | 49 | 61,25 | 78 | 97,50 |
| 21 | 26,25 | 50 | 62,50 | 79 | 98,75 |
| 22 | 27,50 | 51 | 63,75 | 80 | 100,00 |
| 23 | 28,75 | 52 | 65,00 | | |

POUVOIRS RÉFLECTEURS ABSOLUS DE QUELQUES SOLIDES

(Melloni.)

On entend par pouvoir réflecteur absolu le rapport qui existe entre la quantité de chaleur réfléchie et la quantité reçue :

| | |
|---------------------------|------|
| Plaque d'argent..... | 0,97 |
| — or..... | 0,93 |
| Laiton et cuivre rouge... | 0,93 |
| Platine..... | 0,83 |
| Acier..... | 0,82 |
| Zinc..... | 0,81 |
| Fer..... | 0,77 |
| Fonte..... | 07,4 |

POUVOIRS ABSORBANTS RELATIFS DE QUELQUES CORPS

| | |
|----------------------|-----|
| Noir de fumée..... | 100 |
| Blanc de céruse..... | 100 |
| Métaux..... | 13 |

POUVOIRS CONDUCTEURS DE QUELQUES SOLIDES

(Wiedman et Franz.)

Le pouvoir conducteur de l'argent sert de terme de comparaison

| | |
|----------------------|------|
| Argent..... | 100 |
| Cuivre..... | 77,6 |
| Or..... | 53,2 |
| Étain..... | 14,5 |
| Fer..... | 11,9 |
| Acier..... | 11,6 |
| Plomb..... | 8,5 |
| Platine..... | 8,4 |
| Marbre..... | 1,3 |
| Porcelaine..... | 0,6 |
| Terre de brique..... | 0,5 |

Observation. — Les chiffres de ce tableau ne représentent qu'é des pouvoirs conducteurs relatifs, c'est-à-dire par comparaison à celui de l'argent.

POUVOIRS CALORIFIQUES DE QUELQUES COMBUSTIBLES

| COMBUSTIBLES | Puissance calorifique. | COMBUSTIBLES | Puissance calorifique. |
|----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| Carbone..... | 8.080 | Anthracite..... | 7.350 |
| Hydrogène..... | 34 462 | Coke..... | 6.000 |
| Oxyde de carbone. | 2.403 | Goudron de gaz... | 10.758 |
| Bois or. à 20% d'eau | 2.800 | Tourbe sèche 1 ^{re} | |
| — sec..... | 3 600 | qualité..... | 4.000 |
| Charbon de bois.. | 7.000 | Charbon de tourbe | 5.800 |
| Houille moyenne.. | 7.500 | Alcool..... | 6.855 |

POUVOIRS ÉMISSIFS RELATIFS DE QUELQUES CORPS

| | | | |
|--------------------|-----|----------------------------|----|
| Noir de fumée..... | 100 | Plomb terne..... | 45 |
| Céruse..... | 100 | — décapé..... | 19 |
| Papier..... | 98 | Fer poli..... | 15 |
| Verre blanc..... | 90 | Etain, or, argent, cuivre. | 12 |

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE DILATATION DES SOLIDES
LES PLUS USUELS

| CORPS | Allong. par mètre et par degré. | CORPS | Allong. par mètre et par degré. |
|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Acier ordinaire.... | 0,0011500 | Granit..... | 0,0008625 |
| Aluminium..... | 0,0022239 | Gypse..... | 0,0014010 |
| Bois..... | 0,0003520 | Laiton..... | 0,0018782 |
| Brique..... | 0,0005502 | Marbre blanc... . | 0,0010720 |
| Bronze..... | 0,0018492 | Platine..... | 0,0008842 |
| Cuivre rouge..... | 0,0017182 | Plomb..... | 0,0028484 |
| Etain..... | 0,0002283 | Soud. des plombiers | 0,0025200 |
| Fer..... | 0,0011820 | Verre..... | 0,00089.9 |
| Fonte..... | 0,0011000 | Zinc..... | 0,0029680 |

Tableau indiquant la dilatation absolue de quelques liquides pour une variation de température de 1°.

REMARQUE. — Les chiffres ci-dessous ne sont qu'approchés.

En effet, le coefficient de la dilatation des liquides n'est pas rigoureusement constant quand la température varie, de sorte que, pour ne pas compliquer le tableau suivant, j'ai dû prendre des moyennes.

Par dilatation absolue d'un liquide, il faut savoir qu'on entend la dilatation qu'il subirait, s'il était dans un vase incapable de changer lui-même de volume, sous l'action de la chaleur :

| LIQUIDES | Dilatation p.1° de l'unité de volume. | LIQUIDES | Dilatation p.1° de l'unité de volume. |
|--|---|---------------------------------------|---|
| Acide chlorhydrique densité 1,24..... | 0,000600 | Ether..... | 0,001500 |
| Acide sulfurique densité 1,85..... | 0,000600 | Huile d'olive..... | 0,000800 |
| Alcool méthylique. | 0,001135 | — de lin..... | 0,000820 |
| — amylique.... | 0,000100 | Naphtaline..... | 0,000750 |
| Benzine..... | 0,001180 | Pétrole..... | 0,000900 |
| Eau..... | 0,000433 | Solution saturée du sel marin..... | 0,000500 |
| Essence de téréb.. | 0,000700 | Sulfure de carbone. | 0,001140 |

DILATATION DES GAZ

On peut considérer tous les gaz permanents ou plutôt assez éloignés de leur point de liquéfaction comme ayant le même coefficient de dilatation.

Ce coefficient est 0,00367.

TABLEAU DONNANT LES POINTS DE FUSION ET D'ÉBULLITION, AINSI QUE LES CHALEURS SPÉCIFIQUES DES PRINCIPAUX CORPS

REMARQUE.— Les chaleurs spécifiques des gaz indiqués dans le tableau suivant s'appliquent au cas où le gaz est chauffé à pression constante.

La chaleur spécifique de l'eau est prise pour unité.

GAZ.

4

| CORPS | | | POINTS DE | | CHALEUR SPÉCIFIQUE | OBSERVATIONS |
|----------------------------------|------------------|---|---|--|---|---|
| SOLIDES | LIQUIDES | GAZEUX | FUSION | ÉBULLITION | | |
| Acier..... | Acide sulfurique | Acétylène..... Acide carbonique. — sulfureux..... Chlorhydrique..... | — 75°..... 1300 à 1400 | — 78°..... — 8°..... — 80..... 338 | 0,4040 0,2164 0,15531 0,1852 0,3350 0,1185 0,2025 0,2375 | Pur à 10°5. |
| Alliage des plombs ⁸⁵ | Alcool..... | Acide carbonique..... Air..... | 180° — 100° — 80° | 78° — 35 | 0,6050 0,5080 0,2440 0,3754 0,6500 0,4290 0,2000 | Chaleur latente = 60. |
| Bois..... | Benzine..... | Azote..... | 7 | 80°8 | 0,6500 0,4290 0,2000 | |
| Bronze..... | ..... | ..... | 900° 800 à 1600 | 63° | 0,6555 | d. vapeur = 5,94. |
| Brique..... | ..... | Brome..... | 22 | ..... | 0,2150 | |
| Calcaire (craie) | ..... | ..... | infusible | ..... | 0,2170 | |
| Charbon de bois | ..... | ..... | id. | ..... | 0,4600 | |
| Chaux vive..... | ..... | ..... | id. | ..... | 0,1210 | |
| Carbone..... | ..... | Chlore..... | — 75 | ..... | 0,2010 | A 600° d = 2,44. |
| Coke..... | ..... | ..... | infusible | ..... | 0,0952 | Chaleur latente de va- porisation = 536. Vapeur totale contenue dans l'eau à T°. Q = 606,5 + 0,305 T. |
| Cuivre..... | ..... | ..... | 1050° | ..... |  |  |
| Eau ordinaire..... | ..... | ..... | 0 | 100 | 1,0000 | |

| | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Fer doux..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0560 |
| Fonte blanche..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4138 |
| — grise..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4290 |
| Goudron..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,1250 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4650 |
| Gaz d'éclairage..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4600 à 0,510 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,3200 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,3100 |
| Huile d'olive..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 315 |
| — de lin..... | ..... | ..... | ..... | ..... | 316 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,5930 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 3,4050 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,5930 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4040 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,9390 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2100 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0325 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2479 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2182 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0324 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0214 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0420 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2026 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2340 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,2000 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,4750 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,15696 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,0950 |
|  | ..... | ..... | ..... | ..... | 0,5061 |

Chaleur latente = 60.

Sous pression constante.

CHALEUR SPÉCIFIQUE DE L'EAU A LA TEMPÉRATURE t

Formule $C = 1 + 0,000,04t + 0,000,000,9 t^2$
 soit pour 0° C = 1 150° C = 1,0262
 50 1,0042 200 1,0440
 100 1,0132 230 1,0568.

TENSION DE LA VAPEUR DANS LES CHAUDIÈRES À VAPEUR (d'après Zeuner).

| TEMPÉRATURE Centigrades | Tension en atmosphères | Tension en kil. par cm. q. | Poids du m. c. de vapeur | TEMPÉRATURE Centigrades | Tension en atmosphères | Tension en kil. par cm. q. | Poids du m. c. de vapeur |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 46,2 | 0,1 | 0,4033k | 0,0687 | 144,0 | 4,0 | 4,1336k | 2,2303 |
| 60,5 | 0,2 | 0,2067 | 0,1326 | 145,8 | 4,2 | 4,3403 | 2,3349 |
| 69,5 | 0,3 | 0,3100 | 0,1945 | 148,3 | 4,5 | 4,6503 | 2,4911 |
| 76,3 | 0,4 | 0,4133 | 0,2553 | 150,0 | 4,7 | 4,8570 | 2,5949 |
| 81,7 | 0,5 | 0,5167 | 0,3153 | 152,2 | 5,0 | 5,1670 | 2,7500 |
| 86,3 | 0,6 | 0,6200 | 0,3744 | 153,7 | 5,2 | 5,3537 | 2,8531 |
| 90,3 | 0,7 | 0,7234 | 0,4330 | 155,8 | 5,5 | 5,6837 | 3,0073 |
| 93,9 | 0,8 | 0,8267 | 0,4910 | 157,2 | 5,7 | 5,8904 | 3,1098 |
| 97,1 | 0,9 | 0,9300 | 0,5487 | 159,2 | 6,0 | 6,2004 | 3,2632 |
| 100,0 | 1,0 | 1,0334 | 0,6059 | 160,5 | 6,2 | 6,4071 | 3,3652 |
| 102,7 | 1,1 | 1,1367 | 0,6628 | 162,4 | 6,5 | 6,7171 | 3,5178 |
| 105,2 | 1,2 | 1,2400 | 0,7194 | 163,6 | 6,7 | 6,9238 | 3,6192 |
| 107,5 | 1,3 | 1,3434 | 0,7757 | 165,3 | 7,0 | 7,2338 | 3,7711 |
| 109,7 | 1,4 | 1,4467 | 0,8317 | 168,1 | 7,5 | 7,7505 | 4,0234 |
| 111,7 | 1,5 | 1,5501 | 0,8874 | 170,8 | 8,0 | 8,2672 | 4,2745 |
| 113,7 | 1,6 | 1,6534 | 0,9430 | 173,4 | 8,5 | 8,7839 | 4,5248 |
| 115,5 | 1,7 | 1,7568 | 0,9983 | 175,8 | 9,0 | 9,3006 | 4,7741 |
| 117,3 | 1,8 | 1,8601 | 1,0534 | 178,1 | 9,5 | 9,8173 | 5,0226 |
| 119,0 | 1,9 | 1,9635 | 1,1084 | 180,3 | 10,0 | 10,3340 | 5,2704 |
| 120,6 | 2,0 | 2,0668 | 1,1631 | 182,4 | 10,5 | 10,8507 | 5,5174 |
| 123,6 | 2,2 | 2,2734 | 1,2721 | 184,5 | 11,0 | 11,3674 | 5,7636 |
| 127,8 | 2,5 | 2,5835 | 1,4345 | 186,5 | 11,5 | 11,8841 | 6,0092 |
| 130,4 | 2,7 | 2,7901 | 1,5420 | 188,4 | 12,0 | 12,4008 | 6,2543 |
| 133,9 | 3,0 | 3,002 | 1,7024 | 190,3 | 12,5 | 12,9175 | 6,4986 |
| 136,1 | 3,2 | 3,3068 | 1,8088 | 192,1 | 13,0 | 13,4342 | 6,7424 |
| 139,2 | 3,5 | 3,6169 | 1,9676 | 193,8 | 13,5 | 13,9509 | 6,9854 |
| 141,2 | 3,7 | 3,8236 | 2,0729 | 195,5 | 14,0 | 14,4766 | 7,2283 |

TABLEAU DES CORPS SIMPLES PRINCIPAUX

LEUR SYMBOLE, ÉQUIVALENT, DENSITÉ

ET LES PRINCIPALES COMBINAISONS QU'ILS FORMENT AVEC L'OXYGÈNE ET L'HYDROGÈNE

| CORPS SIMPLES | SYMBOLES | ÉQUI- VALENTS | DENSITÉ | COMPOSÉS FORMÉS AVEC L'OXYGÈNE | COMPOSÉS FORMÉS AVEC HYDROGÈNE | COMPOSÉS DIVERS |
|------------------|----------|------------------|---------|--|---|------------------------------------|
| Aluminium..... | Al | 13,75 | 2,67 | Alumine = Al ³ O ³ | | |
| Arsenic | As | 75,00 | 5,69 | Acide arsénieux = As O ³ | Hydrogène arsénié = AsH ³ | |
| Azote | Az ou N | 14,04 | 0,9714 | Protoxyde d'azote = Az O | Ammoniac = Az H ³ | |
| Calcium | Ca | .20 | 4,58 | Acide azotique = Az O ⁵ | Acétylène = C ² H ² | Cyanogène = C ² Az = Cy |
| Carbone..... | C | 6,00 | 2,20 | Chaux = Ca O | Hydrog. bicarb. = C ² H ⁴ | Acide cyanhyd. = Cy H |
| | | | | Oxide de carbone = C O | Id. protocarb. = C ² H ⁴ | Sulfure carbone = CS ² |
| | | | | Acide carbonique = C O ² | Benzine = C ¹⁶ H ⁸ | |
| | | | | | Naphtaline = C ²⁰ H ⁸ | |
| Chlore..... | Cl | 35,5 | 2,47 | Acide hypochloreux = Cl O ² | Acide chlorhyd. = H Cl | |
| | | | | Hyperchlorique = Cl O ⁷ | | |

| CORPS SIMPLES | SYMBOLES | ÉQUI- VALENTS | DENSITÉ | COMPOSÉS FORMÉS AVEC L'OXYGÈNE | COMPOSÉS FORMÉS AVEC HYDROGÈNE | COMPOSÉS DIVERS |
|------------------|----------|------------------|---------|---|---|--------------------|
| Cuivre..... | Cu | 31,75 | 8,94 | Protoxyde de cuivre = $\text{Cu}^{\circ}\text{O}$ Bioxyde id. = Cu O | | |
| Etain | Sn | 59,00 | 7,29 | Acide stanneux = Sn O id. stannique = SnO^2 | | |
| Fer | Fe | 28,00 | 7,79 | Protoxyde de fer = Fe O Sesquioxyde = Fe^2O^3 | | |
| Hydrogène | H | 1,00 | 0,06926 | Eau = H O | Eau = H O | |
| Oxygène..... | O | 8,00 | 4,1056 | S ^o -oxyde de minium = HgO^2 | | |
| Mercure..... | Hg | 100,00 | 14,39 | Bioxyde id. = Hg O | | |
| Plomb..... | Pb | 103,46 | 11,40 | S ^o -oxyde de plomb = Pb^2O Protox. id. = Pb O | | |
| Potassium..... | K | 39,14 | 0,86 | Potasse = K O | | |
| Sodium..... | Na | 23,04 | 0,97 | Soude = Na O | | |
| Silicium..... | Si | 14,00 | 2,65 | Silice = Si O^2 | | |
| Soufre..... | S | 16,00 | 2,00 | Acide sulfureux = S O^2 — sulfurique = S O^3 | Hydrog. silicié = SiH Id. sulfuré = HS | |
| Zinc..... | Zn | 32,5 | 7,19 | Oxyde de zinc = Zn O Bioxyde id. = Zn O^2 | | |

TABLEAU DES DENSITÉS RÉPONDANT AUX DEGRÉS
DES ARÉOMÈTRES BAUMÉ ET BECK

LIQUIDES PLUS LOURDS QUE L'EAU

Remarque. — Dans l'aréomètre Baumé, le 0 de la graduation est au sommet de la tige, et l'appareil affleure à ce point quand on le plonge dans l'eau pure; le n° 15 correspond à l'affleurement dans une dissolution à 15 p. 100 de sel marin dans l'eau.

| DEGRÉS Baumé ou Beck | DENSITÉS CORRESPONDANT | | DEGRÉS Baumé ou Beck | DENSITÉS CORRESPONDANT | |
|----------------------------|------------------------|--------|----------------------------|------------------------|--------|
| | Baumé | Beck | | Baumé | Beck |
| 0 | 1,0000 | 1,0000 | 28 | 1,2407 | 1,1972 |
| 1 | 1,0069 | 1,0059 | 29 | 1,2515 | 1,2057 |
| 2 | 1,0146 | 1,0119 | 30 | 1,2624 | 1,2143 |
| 3 | 1,0242 | 1,0180 | 31 | 1,2736 | 1,2230 |
| 4 | 1,0283 | 1,0241 | 32 | 1,2849 | 1,2319 |
| 5 | 1,0358 | 1,0303 | 33 | 1,2965 | 1,2409 |
| 6 | 1,0434 | 1,0366 | 34 | 1,3082 | 1,2500 |
| 7 | 1,0509 | 1,0429 | 35 | 1,3202 | 1,2593 |
| 8 | 1,0587 | 1,0491 | 36 | 1,3324 | 1,2680 |
| 9 | 1,0665 | 1,0559 | 37 | 1,3447 | 1,2752 |
| 10 | 1,0744 | 1,0623 | 38 | 1,3574 | 1,2879 |
| 11 | 1,0825 | 1,0692 | 39 | 1,3703 | 1,2977 |
| 12 | 1,0907 | 1,0759 | 40 | 1,3834 | 1,3077 |
| 13 | 1,0990 | 1,0828 | 41 | 1,3968 | 1,3178 |
| 14 | 1,1074 | 1,0897 | 42 | 1,4105 | 1,3281 |
| 15 | 1,1160 | 1,0968 | 43 | 1,4244 | 1,3386 |
| 16 | 1,1247 | 1,1039 | 44 | 1,4386 | 1,3492 |
| 17 | 1,1335 | 1,1111 | 45 | 1,4531 | 1,3600 |
| 18 | 1,1425 | 1,1184 | 46 | 1,4678 | 1,3710 |
| 19 | 1,1516 | 1,1258 | 47 | 1,4828 | 1,3821 |
| 20 | 1,1608 | 1,1333 | 48 | 1,4984 | 1,3934 |
| 21 | 1,1702 | 1,1409 | 49 | 1,5144 | 1,4050 |
| 22 | 1,1798 | 1,1486 | 50 | 1,5301 | 1,4167 |
| 23 | 1,1896 | 1,1565 | 51 | 1,5466 | 1,4286 |
| 24 | 1,1994 | 1,1644 | 52 | 1,5633 | 1,4407 |
| 25 | 1,2095 | 1,1724 | 53 | 1,5804 | 1,4530 |
| 26 | 1,2198 | 1,1805 | 54 | 1,5978 | 1,4655 |
| 27 | 1,2301 | 1,1888 | 55 | 1,6158 | 1,4783 |

| DEGRÉS Baumé ou Beck. | DENSITÉS CORRESPONDANT | | DEGRÉS Baumé ou Beck. | DENSITÉS CORRESPONDANT | |
|-----------------------------|------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|--------|
| | Baumé. | Beck. | | Baumé. | Beck. |
| 56 | 1,6342 | 1,4912 | 64 | 1,7969 | 1,6038 |
| 57 | 1,6529 | 1,5044 | 65 | 1,8195 | 1,6190 |
| 58 | 1,6720 | 1,5179 | 66 | 1,8428 | 1,6346 |
| 59 | 1,6916 | 1,5315 | 67 | 1,8390 | 1,6503 |
| 60 | 1,7116 | 1,5454 | 68 | 1,8640 | 1,6667 |
| 61 | 1,7322 | 1,5596 | 69 | 1,8850 | 1,6832 |
| 62 | 1,7532 | 1,5741 | 70 | 1,9090 | 1,7000 |
| 63 | 1,7748 | 1,5888 | | | |

TABLEAU DES DENSITÉS RÉPONDANT AUX DEGRÉS BAUMÉ ET CARTIER
POUR LES LIQUIDES MOINS LOURDS QUE L'EAU.

Remarque. — Dans l'aréomètre Baumé, le 0 est au bas de la tige et au point d'affleurement dans une dissolution de 10 parties de sel marin dans 100 d'eau; le point 10 est à l'affleurement dans l'eau pure.

Dans l'appareil Cartier, le point 10 est déterminé comme ci-dessus.

Formule pour la traduction des degrés Cartier en degré Baumé.

$$16. C. = 15. B. + 22.$$

| DEGRÉ des Aréo- mètres | DENSITÉ CORRESPONDANT | | DEGRÉ des Aréo- mètres. | DENSITÉ CORRESPONDANT | |
|------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|----------|
| | Baumé. | Cartier. | | Baumé. | Cartier. |
| 10 | 1,000 | 1,000 | 18 | 0,948 | 0,943 |
| 11 | 0,993 | 0,993 | 19 | 0,941 | 0,936 |
| 12 | 0,987 | 0,986 | 20 | 0,936 | 0,930 |
| 13 | 0,979 | 0,978 | 21 | 0,930 | 0,924 |
| 14 | 0,973 | 0,971 | 22 | 0,924 | 0,918 |
| 15 | 0,967 | 0,964 | 23 | 0,918 | 0,911 |
| 16 | 0,962 | 0,957 | 24 | 0,911 | 0,904 |
| 17 | 0,954 | 0,951 | 25 | 0,906 | 0,896 |

| DEGRÉ des Aréo- mètres. | DENSITÉ CORRESPONDANT | | DEGRÉ des Aréo- mètres. | DENSITÉ CORRESPONDANT | |
|-------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-----------------------|----------|
| | Baumé. | Cartier. | | Baumé. | Cartier. |
| 26 | 0,899 | 0,891 | 38 | 0,838 | 0,826 |
| 27 | 0,893 | 0,886 | 39 | 0,832 | 0,818 |
| 28 | 0,888 | 0,881 | 40 | 0,826 | 0,814 |
| 29 | 0,884 | 0,874 | 41 | 0,822 | 0,810 |
| 30 | 0,879 | 0,868 | 42 | 0,818 | 0,805 |
| 31 | 0,874 | 0,863 | 43 | 0,814 | 0,800 |
| 32 | 0,868 | 0,857 | 44 | 0,810 | 0,795 |
| 33 | 0,863 | 0,851 | 45 | 0,805 | » |
| 34 | 0,857 | 0,848 | 46 | 0,800 | » |
| 35 | 0,854 | 0,842 | 47 | 0,795 | » |
| 36 | 0,848 | 0,838 | 48 | 0,791 | » |
| 37 | 0,842 | 0,832 | | | |

SOLUBILITÉ DE QUELQUES CORPS

Nota. — Les quatre tableaux suivants sont extraits de l'agenda du chimiste (Würtz).

SOLUBILITÉ DE L'AIR DANS L'EAU ORDINAIRE

| TEMPÉRATURE | VOLUME D'AIR dissous par un vo- lume d'eau sous la pression normale. | TEMPÉRATURE | VOLUME D'AIR dissous par un vo- lume d'eau sous la pression normale. |
|-------------|--|-------------|--|
| 0° | 0,0247 | 12° | 0,0188 |
| 2 | 0,0234 | 14 | 0,0182 |
| 4 | 0,0237 | 16 | 0,0177 |
| 6 | 0,0212 | 18 | 0,0173 |
| 8 | 0,0203 | 20 | 0,0170 |
| 10 | 0,0195 | | |

SOLUBILITÉ DU CHLORHYDRATE D'AMMONIAQUE

| 100 PARTIES D'EAU DISSOLVENT | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| Température | Chlorhydrate | Température | Chlorhydrate |
| 0 | 28,4 | 60 | 55,0 |
| 10 | 32,8 | 70 | 59,5 |
| 20 | 37,3 | 80 | 64,0 |
| 30 | 41,7 | 90 | 68,4 |
| 40 | 46,2 | 100 | 72,9 |
| 50 | 50,6 | 110 | 77,2 |

SOLUBILITÉ DU SULFATE D'AMMONIAQUE

| 100 PARTIES D'EAU DISSOLVENT | | | |
|------------------------------|---------|-------------|---------|
| Température | Sulfate | Température | Sulfate |
| 0° | 71,0 | 60° | 87,0 |
| 10 | 73,7 | 70 | 89,6 |
| 20 | 76,3 | 80 | 92,2 |
| 30 | 79,0 | 90 | 94,9 |
| 40 | 81,7 | 100 | 97,6 |
| 50 | 84,3 | | |

SOLUBILITÉ DU SULFATE DE FER

| 1 PARTIE DE SEL SE DISSOUT DANS | | | |
|---------------------------------|---------|-------------|---------|
| Température | Sulfate | Température | Sulfate |
| 40° | 1,64 | 60° | 0,38 |
| 45 | 1,43 | 84 | 0,37 |
| 25 | 0,87 | 90 | 0,30 |
| 32,5 | 0,66 | 100 | 0,27 |
| 46 | 0,44 | | |

DENSITÉS DE QUELQUES MÉLANGES OU DISSOLUTIONS

DENSITÉS A + 15° DES SOLUTIONS DE SEL MARIN DONNANT
EN MÊME TEMPS LA RICHESSE EN SEL (Gerlach).

| DENSITÉS | SEL MARIN p. 100. | DENSITÉS | SEL MARIN p. 100. |
|----------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 1,00725 | 1 | 1,08859 | 12 |
| 1,01450 | 2 | 1,10384 | 14 |
| 1,02174 | 3 | 1,11938 | 16 |
| 1,02899 | 4 | 1,13523 | 18 |
| 1,03624 | 5 | 1,15107 | 20 |
| 1,04366 | 6 | 1,16755 | 22 |
| 1,05108 | 7 | 1,18404 | 24 |
| 1,05851 | 8 | 1,20098 | 26 |
| 1,07335 | 10 | 1,20043 saturé. | 26,395 |

DENSITÉS A + 15° DES SOLUTIONS AQUEUSES DE LA GLYCÉRINE
DONNANT LEUR RICHESSE EN GLYCÉRINE (Lenz).

| DENSITÉS | GLYCÉRINE p. 100. | DENSITÉS | GLYCÉRINE p. 100. |
|----------|----------------------|----------|----------------------|
| 1,0123 | 5 | 1,1889 | 70 |
| 1,0145 | 10 | 1,2016 | 75 |
| 1,0374 | 15 | 1,2159 | 80 |
| 1,0498 | 20 | 1,2212 | 82 |
| 1,0635 | 25 | 1,2265 | 84 |
| 1,0771 | 30 | 1,2318 | 86 |
| 1,0907 | 35 | 1,2372 | 88 |
| 1,1045 | 40 | 1,2425 | 90 |
| 1,1183 | 45 | 1,2478 | 92 |
| 1,1320 | 50 | 1,2531 | 94 |
| 1,1455 | 55 | 1,2584 | 96 |
| 1,1582 | 60 | 1,2637 | 98 |
| 1,1733 | 65 | 1,2691 | 100 |

DENSITÉ A + 9° DES MÉLANGES D'ALCOOL MÉTHYLIQUE ET D'EAU
DONNANT LA TENEUR EN ALCOOL (Deville).

| DENSITÉS | ALCOOL p. 100. | DENSITÉS | ALCOOL p. 100. |
|----------|-------------------|----------|-------------------|
| 0,9857 | 5 | 0,9072 | 60 |
| 0,9751 | 10 | 0,8873 | 70 |
| 0,9709 | 20 | 0,8619 | 80 |
| 0,9576 | 30 | 0,8371 | 90 |
| 0,9429 | 40 | 0,8070 | 100 |
| 0,9232 | 50 | | |

DENSITÉS A + 15° DES SOLUTIONS D'ACIDE CHLORHYDRIQUE DONNANT
LEUR RICHESSE EN GAZ CHLORHYDRIQUE (d'après Ure).

Nota. — Les chiffres contenus dans ce tableau ne sont qu'approchés, ce sont des moyennes calculées d'après le tableau assez long de Ure sur ce même sujet. Il est certain toutefois qu'ils suffisent amplement dans la pratique.

| DENSITÉS | DEGRÉS BEAUMÉ | ACIDES p. 100. | DENSITÉS | DEGRÉS BEAUMÉ | ACIDES p. 100. |
|----------|------------------|-------------------|----------|------------------|-------------------|
| 1,200 | 24°,5 | 40,7 % | 1,123 | 16° | 25 |
| 1,198 | 24 | 40,3 | 1,115 | 15 | 23,4 |
| 1,192 | 23,5 | 39 | 1,107 | 14 | 21,8 |
| 1,188 | 23 | 38 | 1,099 | 13 | 20 |
| 1,183 | 22,5 | 37 | 1,090 | 12 | 18,5 |
| 1,179 | 22 | 36 | 1,082 | 11 | 16,8 |
| 1,173 | 21,5 | 35 | 1,074 | 10 | 15,2 |
| 1,169 | 21 | 34 | 1,066 | 9 | 13,2 |
| 1,164 | 20,5 | 33 | 1,058 | 8 | 12 |
| 1,159 | 20 | 32,2 | 1,050 | 7 | 10,3 |
| 1,1549 | 19,5 | 31 | 1,042 | 6 | 8,6 |
| 1,150 | 19 | 30 | 1,034 | 5 | 7 |
| 1,146 | 18,5 | 29 | 1,028 | 4 | 5,9 |
| 1,142 | 18 | 28 | 1,021 | 3 | 4,2 |
| 1,136 | 17,5 | 27,6 | 1,013 | 2 | 2,6 |
| 1,131 | 17 | 26,6 | 1,007 | 1 | 1,4 |
| 1,127 | 16,5 | 25,7 | 1,002 | 0,2 | 0,4 |

DENSITÉS A $+ 15^{\circ}$ DES SOLUTIONS DE CHLORURE DE CALCIUM
DONNANT LEUR RICHESSE EN CHLORURE (Gerlach).

| DENSITÉS | CHLORURE p. 100. | DENSITÉS | CHLORURE p. 100. |
|----------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 1,01704 | 2 | 1,22336 | 24 |
| 1,03407 | 4 | 1,24450 | 26 |
| 1,05146 | 6 | 1,26619 | 28 |
| 1,06921 | 8 | 1,28789 | 30 |
| 1,08695 | 10 | 1,31045 | 32 |
| 1,10561 | 12 | 1,33302 | 34 |
| 1,12427 | 14 | 1,35610 | 36 |
| 1,14332 | 16 | 1,37970 | 38 |
| 1,16277 | 18 | 1,40330 | 40 |
| 1,18222 | 20 | 1,41104 saturé. | 40,46 |
| 1,20279 | 22 | | |

DENSITÉS A 14° DES SOLUTIONS D'AMMONIAQUE DANS L'EAU (Carius).

| DENSITÉS | AMMONIAQUE p. 100. A z H ³ | DENSITÉS | AMMONIAQUE p. 100. A z H ³ |
|----------|---|----------|---|
| 0,9959 | 1 | 0,9380 | 16 |
| 0,9915 | 2 | 0,9347 | 17 |
| 0,9873 | 3 | 0,9314 | 18 |
| 0,9831 | 4 | 0,9283 | 19 |
| 0,9790 | 5 | 0,9251 | 20 |
| 0,9749 | 6 | 0,9221 | 21 |
| 0,9709 | 7 | 0,9191 | 22 |
| 0,9670 | 8 | 0,9162 | 23 |
| 0,9631 | 9 | 0,9133 | 24 |
| 0,9593 | 10 | 0,9106 | 25 |
| 0,9556 | 11 | 0,9078 | 26 |
| 0,9520 | 12 | 0,9052 | 27 |
| 0,9484 | 13 | 0,9026 | 28 |
| 0,9449 | 14 | 0,9001 | 29 |
| 0,9414 | 15 | 0,8976 | 30 |

DENSITÉS A + 15 DES SOLUTIONS DE CHLORHYDRATE D'AMMONIAQUE, DONNANT LEUR RICHESSE EN SEL (Gerlach).

| DENSITÉS | CHLORYDRATE p. 100. | DENSITÉS | CHLORYDRATE p. 100. |
|----------|------------------------|----------|------------------------|
| 1,00316 | 1 | 1,04524 | 15 |
| 1,00632 | 2 | 1,04805 | 16 |
| 1,00948 | 3 | 1,05086 | 17 |
| 1,01264 | 4 | 1,05367 | 18 |
| 1,01580 | 5 | 1,05648 | 19 |
| 1,01880 | 6 | 1,05929 | 20 |
| 1,02180 | 7 | 1,06204 | 21 |
| 1,02481 | 8 | 1,06479 | 22 |
| 1,02781 | 9 | 1,06754 | 23 |
| 1,03081 | 10 | 1,07029 | 24 |
| 1,03370 | 11 | 1,07304 | 25 |
| 1,03658 | 12 | 1,07375 | 26 |
| 1,03947 | 13 | 1,07658 | 26,297 |
| 1,04325 | 14 | | |

DENSITÉS A + 19 DES SOLUTIONS DE SULFATE D'AMMONIAQUE, DONNANT LEUR RICHESSE EN SULFATE.

| DENSITÉS | SULFATE p. 100 | DENSITÉS | SULFATE p. 100 |
|----------|-------------------|----------|-------------------|
| 1,05587 | 10 | 1,17059 | 30 |
| 1,08453 | 15 | 1,19855 | 35 |
| 1,11318 | 20 | 1,22551 | 40 |
| 1,14214 | 25 | 1,25636 | 45 |

DENSITÉS A 15° DES SOLUTIONS DE SULFATE DE FER DONNANT LEUR RICHESSE EN SULFATE (Gerlach).
(Fe O,SO³+7H₂O.)

| DENSITÉS | SULFATE p. 100 | DENSITÉS | SULFATE p. 100 |
|----------|-------------------|----------|-------------------|
| 1,011 | 2 | 1,082 | 15 |
| 1,021 | 4 | 1,112 | 20 |
| 1,032 | 6 | 1,143 | 25 |
| 1,043 | 8 | 1,174 | 30 |
| 1,054 | 10 | 1,206 | 35 |
| 1,065 | 12 | 1,239 | 40 |

DENSITÉS A + 15 DES SOLUTIONS D'ACIDE SULFURIQUE (Kolb).

| Degrés Baumé | Densités | 100 PARTIES EN POIDS CONTIENNENT | | | |
|--------------|----------|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Acide sulfurique anhydre SO ³ p. 100 | Acide monohy- draté SO ³ , 110 p. 100 | Acide à 60° Baumé p. 100 | Acide à 53° Baumé p. 100 |
| 10 | 1,075 | 8,8 | 10,8 | 13,8 | 16,1 |
| 11 | 1,083 | 9,7 | 11,9 | 15,2 | 17,8 |
| 12 | 1,091 | 10,6 | 13,0 | 16,7 | 19,4 |
| 13 | 1,100 | 11,5 | 14,1 | 18,1 | 21,0 |
| 14 | 1,108 | 12,4 | 15,2 | 19,5 | 22,7 |
| 15 | 1,116 | 13,2 | 16,2 | 20,7 | 24,2 |
| 16 | 1,125 | 14,1 | 17,3 | 22,2 | 25,8 |
| 17 | 1,134 | 15,1 | 18,5 | 23,7 | 27,6 |
| 18 | 1,142 | 16,0 | 19,6 | 25,1 | 29,2 |
| 19 | 1,152 | 17,0 | 20,8 | 26,6 | 31,0 |
| 20 | 1,162 | 18,0 | 22,2 | 28,4 | 33,1 |
| 21 | 1,171 | 19,0 | 23,3 | 29,8 | 34,8 |
| 22 | 1,180 | 20,0 | 24,5 | 31,4 | 36,6 |
| 23 | 1,190 | 21,1 | 25,8 | 33,0 | 38,5 |
| 24 | 1,200 | 22,1 | 27,1 | 34,7 | 40,5 |
| 25 | 1,210 | 23,2 | 28,4 | 36,4 | 42,4 |
| 26 | 1,220 | 24,2 | 29,6 | 37,9 | 44,2 |
| 27 | 1,231 | 25,3 | 31,0 | 39,7 | 46,3 |
| 28 | 1,241 | 26,3 | 32,2 | 41,2 | 48,1 |
| 29 | 1,252 | 27,3 | 33,4 | 42,8 | 49,9 |
| 30 | 1,263 | 28,3 | 34,7 | 44,4 | 51,8 |
| 31 | 1,274 | 29,4 | 36,0 | 46,1 | 53,7 |
| 32 | 1,285 | 30,5 | 37,4 | 47,9 | 55,8 |
| 33 | 1,297 | 31,7 | 38,8 | 49,7 | 57,9 |
| 34 | 1,308 | 32,8 | 40,2 | 51,1 | 60,0 |
| 35 | 1,320 | 33,8 | 41,6 | 53,3 | 62,1 |
| 36 | 1,332 | 35,1 | 43,0 | 55,1 | 64,2 |
| 37 | 1,345 | 36,2 | 44,4 | 56,9 | 66,3 |
| 38 | 1,357 | 37,2 | 45,5 | 58,3 | 67,9 |
| 39 | 1,370 | 38,3 | 46,9 | 60,0 | 70,0 |
| 40 | 1,383 | 39,5 | 48,3 | 61,9 | 72,1 |
| 41 | 1,397 | 40,7 | 49,8 | 63,8 | 74,3 |
| 42 | 1,410 | 41,8 | 51,2 | 65,6 | 76,4 |
| 43 | 1,424 | 42,9 | 52,8 | 67,4 | 78,5 |
| 44 | 1,438 | 44,1 | 54,0 | 69,1 | 80,6 |
| 45 | 1,453 | 45,2 | 55,4 | 70,9 | 82,7 |
| 46 | 1,468 | 46,4 | 56,9 | 72,9 | 84,9 |
| 47 | 1,483 | 47,6 | 58,3 | 74,7 | 87,0 |
| 48 | 1,498 | 48,7 | 59,6 | 76,3 | 89,0 |
| 49 | 1,514 | 49,8 | 61,0 | 78,1 | 91,0 |

| Degrés Baumé | Densités | 100 PARTIES EN POIDS CONTIENNENT | | | |
|--------------|----------|--|---|---------------------------|---------------------------|
| | | Acide sulfurique anhydre SO ³ p. 100. | Acide monohydraté SO ³ , HO p. 100 | Acide à 60° Baumé p. 100. | Acide à 53° Baumé p. 100. |
| 50 | 1,530 | 51,0 | 62,5 | 80,0 | 93,3 |
| 51 | 1,540 | 52,2 | 64,0 | 82,0 | 95,5 |
| 52 | 1,563 | 53,5 | 65,5 | 83,9 | 97,8 |
| 53 | 1,580 | 54,9 | 67,0 | 85,8 | 100,0 |
| 54 | 1,597 | 56,0 | 68,6 | 87,8 | 102,4 |
| 55 | 1,615 | 57,1 | 70,0 | 89,6 | 104,5 |
| 56 | 1,634 | 58,4 | 71,6 | 91,7 | 106,9 |
| 57 | 1,652 | 59,7 | 73,2 | 93,7 | 109,2 |
| 58 | 1,672 | 61,0 | 74,7 | 95,7 | 111,5 |
| 59 | 1,691 | 62,4 | 76,4 | 97,8 | 114,0 |
| 60 | 1,711 | 63,8 | 78,1 | 100,0 | 116,6 |
| 61 | 1,732 | 65,2 | 79,9 | 102,3 | 119,2 |
| 62 | 1,753 | 66,7 | 81,7 | 104,6 | 121,9 |
| 63 | 1,774 | 68,7 | 84,1 | 107,7 | 125,5 |
| 64 | 1,796 | 70,6 | 86,5 | 110,8 | 129,1 |
| 65 | 1,819 | 73,2 | 89,7 | 114,8 | 138,8 |
| 66 | 1,842 | 81,6 | 100,0 | 128,8 | 149,3 |

TENSION A + 15° DE QUELQUES VAPEURS (Regnault).

Nota. — Ces tensions sont exprimées en centimètres de mercure.

| Température | Ammoniaque | Alcool | Alcool méthylique | Sulfure de carbone | Benzine | Acide carbonique | Hydrogène sulfuré |
|-------------|------------|--------|-------------------|--------------------|---------|------------------|-------------------|
| - 10° | 215 | 0,64 | 1,35 | 7,90 | 1,30 | 2035 | 608 |
| - 5 | 262 | | | | | 2345 | 707 |
| 0 | 318 | 1,27 | 2,70 | 12,80 | 2,50 | 2700 | 821 |
| + 5 | 383 | | | | | 3070 | 950 |
| 10 | 457 | 2,42 | 5,00 | 19,90 | 4,50 | 3500 | 1090 |
| 15 | 542 | | | | | 3965 | 1250 |
| 20 | 639 | 4,45 | 8,90 | 29,80 | 7,60 | 4470 | 1415 |
| 25 | 748 | | | | | 5020 | 1600 |
| 30 | 870 | 7,85 | 15,00 | 43,50 | 12,00 | 5610 | 1800 |
| 35 | 1007 | | | | | 6245 | 2020 |
| 40 | 1160 | 13,40 | 24,40 | 61,70 | 18,40 | 6920 | 2260 |
| 50 | 1516 | 22,00 | 38,20 | 87,70 | 27,10 | | 2780 |

DOCUMENTS DIVERS

TABLEAU DES POIDS DE QUELQUES FERS PLATS

Feuilles métalliques, tuyaux divers fréquemment employés dans les usines.

FERS PLATS

POIDS EN KILOS PAR MÈTRE COURANT

NOTA. — La densité du fer est prise égale à 7,79.

| LARGEUR en millim. | ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | |
| 10 | 0,3116 | 0,3895 | 0,4674 | 0,5453 | 0,6232 | 0,7011 | 0,7790 | 0,8569 | 0,9348 | 1,0127 | 1,0906 | 1,1685 | | | |
| 15 | 0,4674 | 0,58425 | 0,7011 | 0,8179 | 0,9348 | 1,0516 | 1,1685 | 1,1853 | 1,4022 | 1,5190 | 1,6359 | 1,7527 | | | |
| 20 | 0,6232 | 0,7790 | 0,9348 | 1,0905 | 1,2464 | 1,4022 | 1,5580 | 1,7138 | 1,8696 | 2,0254 | 2,1812 | 2,3370 | | | |
| 25 | 0,7790 | 0,9737 | 1,1685 | 1,3633 | 1,5580 | 1,7527 | 1,9475 | 2,1422 | 2,3370 | 2,5317 | 2,7265 | 2,9212 | | | |
| 30 | 0,9350 | 1,1685 | 1,4022 | 1,6359 | 1,8696 | 2,1033 | 2,3370 | 2,5707 | 2,8044 | 3,0381 | 3,2718 | 3,5055 | | | |
| 35 | 1,0906 | 1,3633 | 1,6359 | 1,9085 | 2,1812 | 2,4538 | 2,7265 | 2,9991 | 3,2718 | 3,5445 | 3,8170 | 4,0897 | | | |
| 40 | 1,2464 | 1,5580 | 1,8696 | 2,1812 | 2,4928 | 2,8044 | 3,1160 | 3,4276 | 3,7392 | 4,0508 | 4,3624 | 4,6740 | | | |

| LARGEUR en millim. | ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|--|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | |
| 45 | 1,4022 | 1,7533 | 2,1028 | 2,4538 | 2,8044 | 3,1550 | 3,5055 | 3,8561 | 4,2066 | 4,5571 | 4,9071 | 5,2583 | | | |
| 50 | 1,5580 | 1,9474 | 2,3370 | 2,7266 | 3,1160 | 3,5054 | 3,8950 | 4,2845 | 4,6740 | 5,0635 | 5,4530 | 5,8425 | | | |
| 55 | 1,7138 | 2,1422 | 2,5707 | 2,9991 | 3,4276 | 3,8560 | 4,2845 | 4,7129 | 5,1414 | 5,5698 | 5,9983 | 6,4267 | | | |
| 60 | 1,8700 | 2,3370 | 2,8044 | 3,2718 | 3,7392 | 4,2066 | 4,6740 | 5,1414 | 5,6088 | 6,0762 | 6,5436 | 7,0110 | | | |
| 65 | 2,0254 | 2,5317 | 3,0381 | 3,5445 | 4,0508 | 4,5571 | 5,0635 | 5,5698 | 6,0762 | 6,5825 | 7,0889 | 7,5952 | | | |
| 70 | 2,1812 | 2,7266 | 3,2718 | 3,8170 | 4,3624 | 4,9076 | 5,4530 | 5,9982 | 6,5436 | 7,0890 | 7,6344 | 8,1794 | | | |
| 75 | 2,3370 | 2,9212 | 3,5055 | 4,0897 | 4,6740 | 5,2582 | 5,8425 | 6,4267 | 7,0110 | 7,5952 | 8,1795 | 8,7637 | | | |
| 80 | 2,4928 | 3,1160 | 3,7392 | 4,3624 | 4,9856 | 5,6088 | 6,2320 | 6,8552 | 7,4784 | 8,1016 | 8,7248 | 9,3480 | | | |
| 85 | 2,6486 | 3,3107 | 3,9729 | 4,6350 | 5,2972 | 5,9585 | 6,6215 | 7,2836 | 7,9457 | 8,6079 | 9,2701 | 9,9323 | | | |
| 90 | 2,8044 | 3,5076 | 4,2066 | 4,9076 | 5,6088 | 6,3100 | 7,0110 | 7,7122 | 8,4132 | 9,1142 | 9,8142 | 10,5166 | | | |
| 95 | 2,9602 | 3,7002 | 4,4403 | 5,1803 | 5,9204 | 6,6604 | 7,4005 | 8,1405 | 8,8806 | 9,6206 | 10,3670 | 11,0907 | | | |
| 100 | 3,1160 | 3,8948 | 4,6740 | 5,4532 | 6,2320 | 7,0108 | 7,7900 | 8,5690 | 9,3480 | 10,1270 | 10,9060 | 11,6850 | | | |
| 110 | 3,4276 | 4,2844 | 5,1414 | 5,9981 | 6,8552 | 7,7120 | 8,5690 | 9,4258 | 10,2828 | 11,1396 | 11,9966 | 12,8534 | | | |
| 120 | 3,7100 | 4,6740 | 5,6088 | 6,5436 | 7,4784 | 8,4132 | 9,3480 | 10,2828 | 11,2176 | 12,1524 | 13,0872 | 14,0220 | | | |
| 130 | 4,0508 | 5,0634 | 6,0762 | 7,0890 | 8,1016 | 9,1142 | 10,1270 | 11,1396 | 12,1524 | 13,1650 | 14,1778 | 15,1904 | | | |
| 140 | 4,3624 | 5,4532 | 6,5436 | 7,6340 | 8,7248 | 9,8156 | 10,9060 | 11,9964 | 13,0872 | 14,1780 | 15,2688 | 16,3588 | | | |
| 150 | 4,6740 | 5,8424 | 7,0110 | 8,1794 | 9,3480 | 10,5164 | 11,6850 | 12,8534 | 14,0220 | 15,1904 | 16,3590 | 17,5274 | | | |
| 160 | 4,9856 | 6,2320 | 7,4784 | 8,7248 | 9,9712 | 11,2176 | 12,4640 | 13,7104 | 14,9568 | 16,2032 | 17,4496 | 18,6960 | | | |
| 170 | 5,2972 | 6,6214 | 7,9468 | 9,2700 | 10,5944 | 11,9170 | 13,2430 | 14,5672 | 15,8914 | 17,2158 | 18,5402 | 19,8646 | | | |
| 180 | 5,6088 | 7,0152 | 8,4132 | 9,8152 | 11,2176 | 12,6200 | 14,0220 | 15,4244 | 16,8261 | 18,2284 | 19,6284 | 21,0300 | | | |
| 190 | 5,9204 | 7,4074 | 8,8806 | 10,3606 | 11,8408 | 13,3008 | 14,8010 | 16,2814 | 17,7612 | 19,2412 | 20,7214 | 22,1814 | | | |
| 200 | 6,2320 | 7,7896 | 9,3480 | 10,9064 | 12,4640 | 14,0216 | 15,5800 | 17,1380 | 18,6960 | 20,2792 | 21,8120 | 23,3700 | | | |

POIDS PAR M. Q. DES FEUILLES MÉTALLIQUES LES PLUS EMPLOYÉES

Les chiffres de ce tableau sont calculés pour les densités suivantes:
 Cuivre : $d = 8,95$. Tôle : $d = 78$. — Zinc : $d = 7,2$. Plomb : $d = 11,4$.
 Acier : $d = 7,8$

| Épaisseur en $\frac{m}{m}$ | ACIER | CUIVRE | PLOMB | TOLE DE FER | ZINC |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------------|--------|
| 1 | 7,80 | 8,95 | 11,40 | 7,78 | 7,20 |
| 2 | 15,60 | 17,90 | 22,80 | 15,56 | 14,40 |
| 3 | 23,40 | 26,85 | 34,20 | 23,34 | 21,60 |
| 4 | 31,20 | 35,80 | 45,60 | 31,12 | 28,80 |
| 5 | 39,00 | 44,75 | 57,00 | 38,90 | 36,00 |
| 6 | 46,80 | 53,70 | 68,40 | 46,68 | 43,20 |
| 7 | 54,60 | 62,65 | 79,80 | 54,46 | 50,40 |
| 8 | 62,40 | 71,60 | 91,20 | 62,24 | 57,60 |
| 9 | 70,20 | 80,55 | 102,60 | 70,02 | 64,80 |
| 10 | 78,00 | 89,50 | 114,00 | 77,80 | 72,00 |
| 11 | 85,80 | 98,40 | 125,40 | 85,58 | 79,20 |
| 12 | 93,60 | 107,40 | 136,80 | 93,36 | 86,40 |
| 13 | 101,40 | 116,35 | 148,20 | 101,14 | 93,60 |
| 14 | 109,20 | 125,30 | 159,60 | 108,92 | 100,80 |
| 15 | 117,00 | 134,25 | 171,00 | 116,70 | 108,00 |

POIDS PAR MÈTRE COURANT EN KIL. DES FERS RONDS ET CARRÉS

Fer : $d = 7,8$

| Diamètre ou côté du carré | FERS RONDS | FERS CARRÉS | Diamètre ou côté du carré en $\frac{m}{m}$ | FERS RONDS | FERS CARRÉS |
|---------------------------------|------------|-------------|--|------------|-------------|
| 10 m. | 0,612 | 0,780 | 30 m. | 5,507 | 7,020 |
| 12 | 0,868 | 1,123 | 31 | 5,889 | 7,496 |
| 14 | 1,035 | 1,529 | 32 | 6,271 | 7,987 |
| 16 | 1,568 | 1,997 | 33 | 6,671 | 8,501 |
| 18 | 1,981 | 2,527 | 34 | 7,080 | 9,048 |
| 20 | 2,456 | 3,120 | 35 | 7,503 | 9,594 |
| 21 | 2,699 | 3,440 | 36 | 7,935 | 10,137 |
| 22 | 2,964 | 3,775 | 37 | 8,424 | 10,686 |
| 23 | 3,237 | 4,126 | 38 | 8,816 | 11,235 |
| 24 | 3,529 | 4,493 | 39 | 9,357 | 11,864 |
| 25 | 3,830 | 4,875 | 40 | 9,828 | 12,480 |
| 26 | 4,135 | 5,273 | 45 | 12,400 | 15,833 |
| 27 | 4,469 | 5,686 | 50 | 15,288 | 19,500 |
| 28 | 4,805 | 6,115 | 55 | 18,364 | 23,630 |
| 29 | 5,148 | 6,561 | 60 | 22,075 | 28,280 |

POIDS DES TUYAUX EN FONTE FABRIQUÉS PAR LA SOCIÉTÉ « COMMENTRY-FOURCHAMBAULT »
Série des tuyaux unis et des tuyaux droits à emboîtement et cordon.

| DIAMÈTRE intérieur des tuyaux en millimètres | LONGUEUR DES TUYAUX en millimètres | | ÉPAISSEUR des parois en millim. | POIDS APPROXIMATIFS | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|-------------------------|---|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|-------|-------|
| | Unis longueur | à emboîtement et cordon | | TUYAUX UNIS | | TUYAUX à emboîtement et cordon | | | | | |
| | | longueur totale | | longueur utile | Poids d'un tuyau d'une bague | | Poids du m. courant bague comp. | Poids d'un tuyau | Poids au m. utile | | |
| 30 ^m /m | | | 6 ^m /m,5 | | | | | | | | |
| 40 | 2100 | 2000 | 7 | 45,0k | 8,0 | 12k | 6 | 16 | 8 | 12k | 6 |
| 50 | 2100 | 2050 | 8 | 22,0 | 11,4 | 16 | 8 | 28 | 11,2 | 16 | 8 |
| 60 | 2100 | 2575 | 8 | 26,0 | 14,0 | 22,0 | 11,2 | 32 | 14,0 | 28 | 11,2 |
| 70 | 2100 | 3090 | 8,5 | 33,0 | 17,5 | 32 | 14,0 | 51 | 17,5 | 32 | 14,0 |
| 80 | 3100 | 3090 | 9,5 | 60,0 | 4,0 | 51 | 17,5 | 66 | 20,7 | 51 | 17,5 |
| 90 | 3100 | 3000 | 10 | 70,0 | 4,5 | 66 | 20,7 | 73 | 24,3 | 66 | 20,7 |
| 100 | 3100 | 3110 | 10 | 79,0 | 5,2 | 73 | 24,3 | 81 | 27 | 73 | 24,3 |
| 110 | 3100 | 3110 | 10 | 85,0 | 5,5 | 81 | 27 | 93 | 29,2 | 81 | 27 |
| 120 | 3100 | 3110 | 10 | 92,0 | 6,0 | 93 | 29,2 | 105 | 31 | 93 | 29,2 |
| 135 | 3100 | 3110 | 10,5 | 112,5 | 6,5 | 105 | 31 | 112 | 35 | 105 | 31 |
| 150 | 3100 | 3110 | 10,5 | 124,0 | 7,0 | 112 | 35 | 122,5 | 37,3 | 112 | 35 |
| 165 | 3100 | 3110 | 10,5 | 130,0 | 8,0 | 122,5 | 37,3 | 140 | 40,8 | 122,5 | 37,3 |
| 200 | 3100 | 3110 | 11 | 148,0 | 9,0 | 140 | 40,8 | 160 | 46,7 | 140 | 40,8 |
| 220 | 3100 | 3140 | 11,5 | 147,5 | 10,7 | 160 | 46,7 | 169 | 53,3 | 160 | 46,7 |
| 250 | 3100 | 3110 | 12 | 187,0 | 12,0 | 169 | 53,3 | 201 | 56,3 | 169 | 53,3 |
| 300 | 4100 | 3000 | 13 | 201,5 | 13,5 | 201 | 56,3 | 226 | 61 | 201 | 56,3 |
| 350 | 4100 | 4110 | 14 | 347,0 | 17,0 | 226 | 61 | 387 | 75,3 | 226 | 61 |
| 400 | 4100 | 4110 | 15 | 437,0 | 21,5 | 387 | 75,3 | 483,5 | 96,7 | 387 | 75,3 |
| 450 | 4100 | 4000 | 16 | 537,5 | 26,0 | 483,5 | 96,7 | 600 | 120,9 | 483,5 | 96,7 |
| 500 | 4100 | 4110 | 18 | 670,0 | 30,0 | 600 | 120,9 | 800 | 150,0 | 600 | 120,9 |
| 552 | 4100 | 4110 | 20 | 716,5 | 34,5 | 695 | 143,7 | 888 | 173,7 | 695 | 143,7 |
| 600 | 4100 | 4110 | 20 | 973,0 | 39,5 | 781 | 195,2 | 1030 | 195,2 | 781 | 195,2 |
| 700 | 4100 | 4110 | 22 | 1443,5 | 48,0 | 1030 | 195,2 | 1373 | 262,5 | 1030 | 195,2 |
| 800 | 4100 | 4110 | 22 | 1975,5 | 55,5 | 1373 | 262,5 | 1808 | 343,2 | 1373 | 262,5 |
| 1000 | 4100 | 4110 | 25 | 2500,5 | 65,8 | 172,0 | 651,8 | 2117,5 | 377 | 172,0 | 651,8 |
| 1100 | 4100 | 4110 | 25 | | | | | 2648,0 | 529,4 | | |

POIDS APPROXIMATIF EN KILOGRAMMES, DES TUYAUX EN FONTE AVEC ASSEMBLAGES A BRIDES

L'épaisseur de la fonte est calculée pour une pression de 6 ou 7 atmosphères. Ce tableau est extrait des *Notes et Formules de l'Ingénieur* par Uhland.

| DIAMÈTRE intérieur en millimètres | ÉPAISSEUR de fonte en millimètres | DIAMÈTRE des brides en millimètres | DIAMÈTRE des cercles sur lesquels sont percés les trous | LONGUEUR du tuyau en millimètres | POIDS du tuyau en kilogrammes | POIDS d'une bride ou accessoires | NOMBRE de boulons | DIAMÈTRE des boulons |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|
| 40 | 8 | 150 | 115 | 2 | 21,4 | 24,0 | 4 | 13,0 |
| 50 | 8 | 160 | 125 | 2 | 23,5 | 2,2 | 4 | 15,5 |
| 60 | 8,5 | 175 | 135 | 2 | 45,0 | 2,7 | 4 | 15,5 |
| 70 | 8,5 | 185 | 145 | 2 | 51,4 | 2,9 | 4 | 15,5 |
| 80 | 9 | 200 | 160 | 3 | 61,7 | 3,5 | 4 | 15,5 |
| 90 | 9 | 215 | 170 | 3 | 68,8 | 4,0 | 4 | 15,5 |
| 100 | 9 | 230 | 180 | 3 | 76,0 | 4,4 | 4 | 19,0 |
| 110 | 9 | 245 | 190 | 3 | 85,0 | 4,8 | 4 | 19,0 |
| 120 | 10 | 250 | 200 | 3 | 93,0 | 5,2 | 4 | 19,0 |
| 125 | 10 | 260 | 210 | 3 | 98,0 | 5,6 | 6 | 19,0 |
| 130 | 10 | 270 | 220 | 3 | 106,7 | 6,0 | 6 | 19,0 |
| 135 | 10 | 280 | 230 | 3 | 113,0 | 6,4 | 6 | 19,0 |
| 150 | 10 | 290 | 240 | 3 | 122,0 | 6,9 | 6 | 19,0 |
| 165 | 10 | 310 | 255 | 3 | 134,5 | 7,4 | 6 | 19,0 |
| 175 | 10,5 | 320 | 270 | 3 | 149,0 | 8,0 | 6 | 19,0 |
| 180 | 10,5 | 330 | 280 | 3 | 164,0 | 8,7 | 6 | 19,0 |
| 200 | 11,0 | 350 | 300 | 3 | 178,0 | 9,6 | 6 | 19,0 |
| 225 | 11,5 | 370 | 320 | 3 | 206,0 | 9,9 | 6 | 19,0 |
| 250 | 12,0 | 400 | 350 | 3 | 238,0 | 11,6 | 8 | 19,0 |
| 275 | 12,0 | 425 | 375 | 3 | 273,0 | 12,9 | 10 | 19,0 |
| 300 | 13,0 | 450 | 400 | 3 | 306,0 | 13,7 | 10 | 19,0 |
| 350 | 14,0 | 520 | 465 | 3 | 376,0 | 18,9 | 10 | 22,5 |
| 400 | 14,0 | 575 | 520 | 3 | 456,0 | 22,6 | 10 | 22,5 |
| 450 | 15,0 | 630 | 570 | 3 | 539,0 | 24,5 | 12 | 22,5 |

| DIAMÈTRE intérieur en millimètres | ÉPAISSEUR de fonte en millimètres | DIAMÈTRE des brides en millimètres | DIAMÈTRE des cercles sur lesquels sont percés les trous | LONGUEUR du tuyau en millimètres | POIDS du tuyau en kilogrammes | POIDS d'une bride ou accessoires | NOMBRE de boulons | DIAMÈTRE des boulons |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|
| 500 | 16,0 | 680 | 625 | 3 | 624,0 | 30,7 | 12 | 22,5 |
| 550 | 16,5 | 740 | 675 | 3 | 723,0 | 39,0 | 14 | 26,0 |
| 600 | 17,0 | 790 | 725 | 3 | 813,0 | 42,0 | 16 | 26,0 |
| 650 | 18,0 | 840 | 775 | 3 | 916,0 | 43,0 | 18 | 26,0 |
| 700 | 19,0 | 900 | 830 | 3 | 1031,0 | 50,0 | 18 | 26,0 |
| 800 | 21,0 | 1020 | 940 | 3 | 1298 | 68,0 | 20 | 29,5 |
| 1000 | 24,0 | 1220 | 1140 | 3 | 1872 | 96,0 | 24 | 29,5 |

POIDS EN KILOGRAMMES PAR MÈTRE COURANT DES TUYAUX CHAMEROY

| DIAMÈTRE intérieur en millimètres | ÉPAISSEUR de la tôle en millimètres | POIDS EN KIL. du mètre courant | DIAMÈTRE intérieur en millimètres | ÉPAISSEUR de la tôle en millimètres | POIDS EN KIL. par mètre courant |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 35 | 0,9 | 4,0 | 997 | 1,8 | 39,0 |
| 42 | 0,9 | 5,0 | 324 | 2,1 | 45,0 |
| 54 | 0,9 | 6,0 | 350 | 2,3 | 52,0 |
| 68 | 0,9 | 7,5 | 400 | 2,5 | 70,0 |
| 81 | 1,0 | 8,5 | 450 | 2,7 | 78,0 |
| 108 | 1,1 | 11,0 | 500 | 2,9 | 90,0 |
| 135 | 1,3 | 14,0 | 550 | 3,2 | 95,0 |
| 162 | 1,3 | 17,0 | 600 | 3,4 | 100,0 |
| 189 | 1,4 | 22,0 | 700 | 4,0 | 125,0 |
| 216 | 1,5 | 25,0 | 800 | 4,4 | 155,0 |
| 244 | 1,6 | 28,0 | 1000 | 5,0 | 210,0 |
| 271 | 1,7 | 33,0 | | | |

Nota. — Ce dernier tableau est tiré du *Traité d'éclairage au gaz*, par Schilling.

POIDS EN KILOGRAMMES DES TUYAUX EN FER ÉTRÉ. — Poids de 1 mètre courant.

Nota. — Les trois tableaux suivants sont empruntés à l'aide-mémoire de Uhlund

| DIAMÈTRE intérieur en millim. | ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2,0 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | 3,7 | 4,0 | 4,5 | 4,7 | 5,0 | 5,5 |
| 6 | 0,39 | 0,53 | 0,58 | 0,66 | 0,81 | | | | | | |
| 8 | 0,50 | 0,64 | 0,71 | 0,81 | 0,90 | | | | | | |
| 10 | 0,60 | 0,76 | 0,85 | 0,95 | 1,15 | | | | | | |
| 11 | 0,69 | 0,89 | 0,98 | 1,11 | 1,33 | | | | | | |
| 13 | 0,72 | 0,95 | 1,04 | 1,18 | 1,41 | | | | | | |
| 15 | 0,83 | 1,06 | 1,18 | 1,32 | 1,58 | | | | | | |
| 18 | 0,98 | 1,26 | 1,37 | 1,54 | 1,84 | 1,97 | | | | | |
| 20 | 1,08 | 1,38 | 1,50 | 1,69 | 2,00 | 2,15 | | | | | |
| 21 | 1,12 | 1,44 | 1,58 | 1,76 | 2,10 | 2,24 | | | | | |
| 25 | | 1,68 | 1,84 | 2,06 | 2,44 | 2,60 | | | | | |
| 27 | | 1,81 | 1,97 | 2,12 | 2,51 | 2,78 | 3,03 | | | | |
| 30 | | 2,00 | 2,17 | 2,42 | 2,87 | 3,06 | 3,31 | | | | |
| 33 | | | 2,36 | 2,64 | 3,13 | 3,32 | 3,63 | 4,13 | | | |
| 35 | | | | 2,79 | 3,30 | 3,52 | 3,83 | 4,45 | 4,59 | | |
| 38 | | | | 3,00 | 3,55 | 3,77 | 4,10 | 4,68 | 4,90 | | |
| 40 | | | | 3,16 | 3,66 | 3,97 | 4,29 | 4,91 | 5,16 | 5,48 | |
| 50 | | | | | 4,59 | 5,87 | 5,26 | 6,00 | 6,53 | 6,70 | 7,55 |

POIDS EN KILOGRAMMES DES TUYAUX EN CUIVRE

POIDS DE 1^m COURANT

| DIAMÈTRES intérieur en mm. | ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,0 |
| 5 | 0,077 | 0,170 | | | | | | | | |
| 6 | 0,094 | 0,197 | 0,243 | | | | | | | |
| 7 | 0,106 | 0,223 | 0,277 | 0,358 | | | | | | |
| 8 | 0,118 | 0,253 | 0,310 | 0,411 | | | | | | |
| 9 | 0,134 | 0,281 | 0,344 | 0,443 | 0,512 | | | | | |
| 10 | 0,148 | 0,308 | 0,377 | 0,488 | 0,558 | 0,67 | | | | |
| 12 | 0,174 | 0,363 | 0,455 | 0,569 | 0,651 | 0,79 | 0,88 | | | |
| 15 | 0,206 | 0,447 | 0,546 | 0,703 | 0,810 | 0,96 | 1,06 | 1,23 | | |
| 18 | 0,259 | 0,533 | 0,641 | 0,822 | 0,850 | 1,11 | 1,12 | 1,44 | 1,57 | |
| 20 | 0,286 | 0,590 | 0,724 | 0,905 | 0,990 | 1,25 | 1,34 | 1,58 | 1,81 | 1,95 |

POIDS EN KILOGRAMMES DES TUYAUX EN PLOMB
POIDS PAR MÈTRE COURANT

| DIAMÈTRE intérieur en mm. | ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----|
| | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | 3,7 | 4,0 | 4,5 | 4,7 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |
| 10 | 0,62 | 0,86 | 1,12 | 1,22 | | | | | | | | | |
| 13 | 0,75 | 1,07 | 1,38 | 1,52 | | | | | | | | | |
| 15 | 0,87 | 1,21 | 1,56 | 1,73 | 1,93 | | | | | | | | |
| 18 | 1,05 | 1,31 | 1,72 | 2,01 | 2,25 | 2,94 | | | | | | | |
| 20 | 1,15 | 1,57 | 2,01 | 2,16 | 2,57 | 3,13 | 3,20 | | | | | | |
| 21 | 1,20 | 1,64 | 2,10 | 2,29 | 2,90 | 3,37 | 3,80 | | | | | | |
| 25 | | 1,92 | 2,46 | 2,68 | 3,01 | 3,92 | 4,08 | 4,44 | | | | | |
| 27 | | 2,07 | 2,52 | 2,88 | 3,22 | 4,43 | 4,88 | 5,30 | | | | | |
| 33 | | | 3,18 | 3,45 | 3,87 | 4,82 | 5,06 | 5,59 | 6,37 | | | | |
| 35 | | | 3,35 | 3,66 | 4,08 | 5,19 | 5,53 | 6,00 | 6,83 | | | | |
| 38 | | | | 3,93 | 4,39 | 5,34 | 5,80 | 6,30 | 7,07 | 7,55 | | | |
| 40 | | | | 4,13 | 4,61 | 6,06 | 6,46 | 7,01 | 7,98 | 8,38 | 9,84 | | |
| 45 | | | | | | | | 7,73 | 8,78 | 9,21 | 10,92 | 12,03 | |
| 51 | | | | | | | | 8,02 | 9,01 | 9,54 | 11,33 | 12,46 | |
| 52 | | | | | | | | 8,45 | 9,60 | 10,07 | 11,91 | 13,11 | |
| 55 | | | | | | | | | | | | | |

PRINCIPALES SOUDURES

Soudure des chaudronniers :

1° Zinc, 48 ; cuivre, 52. Très peu fusible.

2° Zinc, 28 ; cuivre, 57 ; étain, 14. Moyennement fusible.

3° Zinc, 73 ; cuivre, 25. Fusible.

Soudure des ferblantiers :

4° Etain, 50 ; plomb, 50. Plus fusible que la suivante.

Soudure des plombiers :

5° Etain, 33 ; plomb, 66.

COMPOSITIONS DE QUELQUES MASTICS

1° Mastics de plomb :

1° | Céruse et minium par parties égales.

2° { Huile de lin, 1 partie.
Céruse ou minium, 1 partie.

Ces mastics ne résistent pas au delà de 200°, on peut augmenter la valeur du joint en mélangeant des étoupes hachées, ou bien en interposant entre les surfaces à réunir une toile métallique.

2° Mastics de fonte :

1° { 20 parties de tournures de fonte.
1 — de sel ammoniac.
1 — de soufre.
Eau en quantité suffisante.

2° { 20 parties de plâtre.
10 — de limaille de fonte.
Eau ammoniacale.

3° { Argile réfractaire, 3 part. { 2 p.
Limaille de fonte, 2 — { 7
Briques pulvérisées 5 — ou { Néant.
Eau légèrement ammon. { Eau ordinaire

Ces mastics s'emploient à la consistance du mortier mou, ils font prise rapidement (surtout les deux premiers) et sont plus tard difficiles à défaire, ils résistent bien aux températures élevées.

3° **Mastics de fer :**

| | | | |
|----|---|--------------------------------------|-------------|
| 1° | { | Limaile de fer | 50 parties. |
| | | Sel ammoniac. | 1 — |
| | | Eau et quelquefois soufre, | 1 — |
| 2° | { | Argile en poudre. | 4 parties. |
| | | Limaile de fer | 4 — |
| | | Fleur de soufre. | 1/2 — |
| | | Sel ammoniac | 1/4 — |

Ces mastics remplacent les précédents. Ils font prise vite et ont à peu près les mêmes propriétés que ceux de fonte.

| | | | |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|---------------------|
| <i>Joint de chaudières à vapeur.</i> | { | Chlorhydrate d'ammoniaque. | 250 ^{gr} |
| | | Soufre | 150 |
| | | Limaile de fonte | 4 ^k ,800 |

PAPIERS RÉACTIFS

En trempant du papier blanc, mince et non collé dans les solutions suivantes, on produit les papiers réactifs utilisés dans l'industrie du gaz.

1° Tournesol en teinture. Ce papier rougit sous l'action des acides et bleuit sous celle des alcalis.

2° Acétate de plomb. On fait une dissolution au 1/10 d'acétate dans l'eau ; le papier imbibé de cette solution, noircit en présence de l'hydrogène sulfuré.

3° Au nitro-prussiate de sodium (solution au 1/20), se colore en violet en présence des sulfures, — n'est pas altéré par l'hydrogène sulfuré.

ESSAIS QUALITATIFS DE LA CÉRUSE ET DU MINIMUM

La céruse est un mélange de carbonate de plomb avec un peu d'oxyde. — Pure, elle doit se dissoudre entièrement dans l'acide azotique étendu ; s'il reste un résidu il sera formé de sable ou de sulfate de plomb, de baryte, etc.

Le minium doit être jaune orangé, plus ou moins rouge. Quand il est pur, il jaunit par la calcination au rouge. Si sa coloration se maintient, il faut admettre qu'il contient de la brique pulvérisée, ou du colcotar, etc. Une autre méthode d'essai consiste à faire bouillir un échantillon de minium dans de l'eau sucrée additionnée de quelques gouttes d'acide azotique, il doit se dissoudre entièrement s'il est pur.

ESSAI DES HUILES

On reconnaît la nature d'une huile en la pesant à l'*oléomètre*; en traitant les huiles diverses par une lessive de potasse dans la proportion en volume de 1 de lessive pour 5 d'huile, on obtient des colorations diverses. Il en est de même quand on les traite par de l'acide sulfurique, dans la proportion de 1 volume d'acide pour 1 volume d'huile. Le tableau ci-contre donne les colorations dues à ces réactifs.

ANALYSE QUALITATIVE D'UNE EAU

Dosage du résidu. — En évaporant un poids d'eau déterminé, il demeure un résidu fixe que l'on pèse.

Recherche de la chaux. — La présence de la chaux est décelée par l'oxalate d'ammoniaque qui donne un précipité blanc, ou par la teinture alcoolique de bois de campêche qui fournit une belle coloration violette. Elle existe dans l'eau à l'état de calcaire ou de sulfate. Les eaux riches en carbonate se troublent à l'ébullition. Les eaux riches en sulfate précipitent par les sels de baryte.

Chlorures et matières organiques. — Les chlorures donnent un précipité blanc avec le nitrate d'argent, les

TABLEAU DES COLORATIONS

| HUILES | ACTION DE LA POTASSE | | ACTION DE L'ACIDE SULFURIQUE | DENSITÉ à + 15 | DEGRÉS de l'oléo- mètre + 15 |
|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|--|
| | A FROID | A CHAUD | | | |
| Huile d'amandes | Masse blanche | | Masse verdâtre. | 915 | 16 |
| « chènevis. | id. jaunâtre. | Savon brun dur. | Vert émeraude. | 925 | 27 |
| « colza. | id. id. | | Auréole bleu-vert. | 914 | 15 |
| « œillette. | id. jaune. | | Jaune, devient brune. | 922 | 25 |
| « olive. | Masse blanc-jaune | | Vert à reflets rougeâtres. | 917 | 17 |
| « lin. | id. verdâtre. | Savon jaune brun et mou. | Id. id. | 936 | 35 |
| « navette. | id. blanchâtre. | | Beau vert foncé. | 920 | 20 |
| « poisson | | Savon rouge. | Rouges avec stries noires. | 926 | 26 |
| Pétrole lourd. | | | | 804 | |

matières organiques forment avec le chlorure d'or un précipité pulvérulent.

On se borne souvent à déterminer le *degré hydrotimétrique* d'une eau ; il indique de suite la quantité des sels calcaires qu'elle renferme. En général il doit être inférieur à 50° ; au-dessous de 30° les eaux sont excellentes pour tous usages.

De 30° à 60° les eaux sont impropres aux usages culinaires, à peine bonnes pour les générateurs.

En général, une eau est impropre à tous usages industriels lorsqu'elle renferme en poids :

| | | |
|-------------------|--------------|----------------------------|
| Plus de | 1 à 5 p. 100 | de résidus ; |
| — | 1,5 à 2 | — de chaux ; |
| — | 0,02 à 0,30 | — de chlore ; |
| — | 0,03 à 0,50 | — de matières organiques ; |
| — | 0,6 à 1,0 | — d'acide sulfurique. |

Une eau est dite *crue* quand elle contient moins de 28 à 30 centimètres cubes d'air en dissolution. — Elle est *calcaire* quand elle contient du carbonate de chaux en quantité trop grande ; elle est *séléniteuse* quand elle renferme du sulfate.

Composition de l'eau :

En volume : 1 d'oxygène et 2 d'hydrogène ;

En poids : 8 — 1 —

Poids d'un litre d'eau = 1 kilogramme.

Nota. — L'air dissous dans l'eau est composé de 33 p. 100 d'oxygène au lieu de 21 p. 100 comme l'indique la composition de l'air atmosphérique.

1 litre d'eau en vapeur à 100° sous 760^{mm} de pression occupe environ 1700 litres.

Air atmosphérique :

Poids de 1 litre = 1^{er},293.

Composition en volume.... 21 d'oxyg. et 79 d'azote.

— poids..... 23 — 77 —

L'air est un mélange et non une combinaison, il renferme toujours 3 à 6 dix millièmes d'acide carbonique, 6 à 9 dix millièmes de vapeur d'eau et des traces d'ammoniaque.

1 kilog. d'air est formé $\left\{ \begin{array}{l} 231 \text{ gr. d'oxygène} = 117 \text{ lit. } 79. \\ 769 \text{ d'azote.... } 191 \text{ } 85. \end{array} \right.$

5 mètres cubes d'air renferment environ 1 kilogramme d'oxygène.

773 litres d'air à 0° et 760^{mm} pèsent environ 1 kilogramme.

Solubilité : 1 volume d'eau dissout à 0° et à la pression de 760^{mm} un volume d'air = 0,0247.

CONSTRUCTIONS. — MAÇONNERIE

Fondations. — Avant de procéder à toute construction, il faut étudier la *résistance du sol*. — Le sol doit être suffisamment résistant pour pouvoir porter sans s'affaisser au moins 2000 kilogrammes par mètre carré; on considère comme pouvant supporter directement les fondations, les terrains formés par le rocher, le sable, les marnes et argiles. Toutefois il faut que l'épaisseur de ces couches soit au moins égale à 3 ou 4 mètres, qu'elles s'étendent suffisamment et qu'elles ne puissent s'enfoncer dans le sol qu'elles recouvrent; il faut se défier des nappes d'eau souterraines, qui peuvent délayer les terrains soutenant les fondations et détruire les ouvrages.

Les terrains rapportés ne peuvent supporter les constructions. Les terrains marécageux et tourbeux doivent être évités, et toutes les fois qu'on devra fonder sur eux il faudra se servir des pilotis, radiers en béton, etc.

Profondeur des fondations.. 0,40 à 1,00.

Épaisseur des soubassements 0,08 à 0,10 en plus que le mur supér.

Hauteur — 0,45 à 0,55 au-dessus du sol.

Déblais des fondations. — On calcule le volume comme suit : soit V le volume de la fondation :

$$\text{Volume des déblais} = V + \frac{1}{3} V + \frac{1}{3} \text{ à } \frac{1}{2} V.$$

Le deuxième facteur tient compte des talus;

Le troisième du foisonnement des terres.

Le fond de la fouille doit être à redent ou horizontal, jamais incliné pour éviter les glissements.

Épaisseur minima des murs d'habitation :

| | |
|---|------|
| Épaisseur minima des murs en pierre de taille.... | 0,20 |
| — — moellons piqués... | 0,45 |
| — — — bruts.... | 0,65 |
| — — briques..... | 0,11 |

Dans toute construction, il faut se rappeler que les maçonneries baissent de 1/200 à 1/150 de leur hauteur. c'est ce qu'on nomme *tassement*.

1 m³ de maçonnerie en moellons demande 1 m³,25 de moellons et 0 m³,25 à 0 m³,36 de mortier.

1 m³ de maçonnerie en briques exige 450 briques environ y compris les joints — les briques ont pour dimensions 25 × 12 × 6.

1 m³ de maçonnerie en 1/2 briq. d'épais. exige 50 briq. et 0 m³,035 de mortier.

| | | | | |
|---------|---|-----|-----------------------|---|
| — 1 | — | 100 | 0 m ³ ,070 | — |
| — 1 1/2 | — | 150 | 0 m ³ ,105 | — |

Le crépissage exige 1 m³,3 de mortier par 100 m².

PIERRES. CHAUX. MORTIERS ET BETONS

La qualité des pierres est ordinairement connue par l'expérience. Dans tous les cas on peut s'assurer si une pierre est *gélive* ou non en la trempant longuement dans

une dissolution saturée de sulfate de soude. Exposée ensuite à l'air, elle ne doit ni se fendre, ni s'effriter en séchant.

Les chaux se classent en *chaux grasses* et *chaux hydrauliques*. Les premières foisonnent beaucoup pendant l'extinction, elles peuvent tripler de volume tandis que les secondes doublent rarement. Pour constater l'hydraulicité d'une chaux, on fait une pâte avec elle; on la place dans un verre et on lui donne le temps de faire prise sous l'eau. Si la chaux est hydraulique, elle doit faire prise dans ces conditions et pouvoir supporter, au bout de plus ou moins de temps, par millimètre carré, une pression de 150 à 200 grammes.

D'après les études de Vicat, on sait que les mortiers de chaux exposés à l'air durcissent parce que l'hydrate se transforme en carbonate en présence de l'acide carbonique de l'air, tandis que sous l'eau le durcissement a pour cause la formation de silicates résultant de la combinaison avec la silice de l'argile et des alcalis, contenus dans la chaux. Cette formation a lieu à la suite d'une absorption d'eau. Par suite, une chaux sera d'autant plus hydraulique que sa composition chimique se rapprochera davantage d'un mélange de silicates bien déterminé. Les ciments sont des chaux très hydrauliques faisant prise en quelques heures. Ils sont ordinairement le produit d'une fabrication artificielle; les ciments d'origine naturelle existent, mais se rencontrent rarement.

CLASSIFICATION DES CHAUX ET CIMENTS

| PRINCIPES constituants | Chaux moyennement hydrauliques | Chaux hydrauliques ordinaires | Chaux très hydrauliques | Chaux superieures limites limites superieures | Ciments limites limites inférieures | Ciments ordinaires limites limites ordinaires | Ciments superieures limites limites superieures | Commencement des pouzzolanes |
|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|--|---|---|---------------------------------|
| <i>Avant cuisson</i> | | | | | | | | |
| Carbonate de chaux Argile. | 89 11 | 83 17 | 80 20 | 77 23 | 73 27 | 64 36 | 39 61 | 10,4 83,6 |
| <i>Après cuisson</i> | | | | | | | | |
| Chaux. Argile combinée | 82 18 | 74 26 | 70 30 | 66 34 | 61 39 | 50 50 | 27 73 | 10 90 |

Mortiers.

1° *Mortier de chaux grasse.* — On mélange avec 1 hectolitre de chaux en pâte, 1/2 à 2 hectolitres de sable. Le mortier est d'autant plus résistant qu'il contient plus de sable, pourvu, bien entendu, que la prise soit possible.

Il faut avoir soin d'employer toujours du sable parfaitement pur, c'est-à-dire sans partie terreuse.

2° *Mortier de chaux hydraulique.* — Pour un hectolitre de chaux en poudre, on mélange de 1 à 1 hectolitre 1/2 de sable. Les mortiers ainsi obtenus doivent être suffisamment fermes pour tenir sur la truëlle, sans cela on ajoute du sable ou on retranche de l'eau suivant les besoins. Il faut avoir soin de n'employer que de l'eau suffisamment propre.

Pendant la confection du mortier, il y a contraction

du mélange, de sorte que le volume final varie des $\frac{3}{7}$ aux $\frac{5}{6}$ du volume primitif.

Bétons.

On entend par bétons les divers mélanges de mortier avec des cailloux, pierres ou mâchefer. La qualité d'un béton dépend de la perfection qu'on apporte au mélange de ses éléments.

Ordinairement on emploie 1 mètre cube de mortier pour 500 litres ou 600 litres de cailloux. Il se produit encore une contraction de la masse et une diminution du volume.

Mortiers de ciments ou ciments.

A propos de la construction des cuves de gazomètre, seront donnés quelques renseignements sur ces mortiers. Pour le moment, les voici résumés :

Le *ciment pur* s'emploie pour quelques enduits ou pour aveugler les fuites. On fait les enduits des citernes ou réservoirs en mélangeant 1 volume de ciment avec 1 ou $\frac{1}{2}$ volume de sable.

Pour la confection des joints ou pour les maçonneries qui n'ont pas besoin d'être imperméables, on emploie 1 volume de ciment avec $1 \frac{1}{2}$ de sable suivant la qualité du ciment et la nature du travail.

Ces mortiers se font au moment de les employer, car ils font prise dans un temps quelquefois très court.

NIVELLEMENT

Pour compléter ce formulaire, je donne ci-dessous un modèle fort usité de carnet de nivellement.

CARNET DE NIVELLEMENT
NIVELLEMENT MODÈLE DE CARNET

| N ^o des STATIONS | LECTURES SUR LA MIRE | | | | DIFFÉRENCES | | COTES finales | OBSERVATIONS |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------|-----------|------------------|--------------|
| | COUPS ARRIÈRE | | COUPS AVANT | | Positives | Négatives | | |
| | Chiffres observés | Chiffres moyens | Chiffres observés | Chiffres moyens | | | | |
| | | | | | | | | |

SECONDE PARTIE

TRAITÉ DE FABRICATION PROPREMENT DITE

HISTORIQUE SUCCINCT
DE LA
DÉCOUVERTE DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

Les premiers essais connus sur le gaz éclairant tiré de la houille furent faits en 1669 par sir HALES et recommencés par WATSON en 1769, les résultats furent insignifiants, et ils demeurèrent oubliés jusqu'au jour où MURDOCH, en Angleterre (1792) et Ph. LEBON en France, vers la même époque, songèrent à appliquer l'éclairage par les gaz au service des lieux habités. A LEBON revient la gloire des premières tentatives pratiques et le mérite d'avoir posé la théorie de cette invention et déterminé dès le début son véritable domaine.

MURDOCH et WINSOR s'appliquèrent à vulgariser l'éclairage au gaz. Ce dernier lutta contre les préventions qui s'attachèrent à cette nouveauté en Angleterre et sur le Continent et parvint à fonder la première société gazière connue sous le nom de C^{ie} WINSOR, ACCUM et HARGREAVES.

Enfin apparut SAMUEL CLEEG et l'on peut dire qu'à partir de ce jour la nouvelle industrie sortit de l'enfance ; il la dota successivement d'appareils et de procédés nou-

veaux, il perfectionna ceux qui existaient déjà et simplifia la fabrication. A sa mort, un chemin immense avait été parcouru au point qu'il ne laissait à ses successeurs que le devoir de poursuivre l'œuvre si glorieusement avancée et d'en assurer l'avenir.

CHAPITRE PREMIER

DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

DÉFINITIONS. — ORIGINE

DIVISION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

On entend par combustibles minéraux tous les combustibles qui sont extraits de la terre, tels que la tourbe, la houille, l'anhracite : on leur donne généralement pour origine la décomposition d'amas végétaux enfouis dans le sol, à la suite des cataclysmes qui ont bouleversé à plusieurs reprises la surface de la terre.

Ces végétaux, entassés pêle-mêle à des profondeurs variables, ont alors subi des modifications sous l'influence de la chaleur centrale et des pressions produites par les couches supérieures.

On peut classer les combustibles minéraux en quatre groupes parfaitement distincts :

1° La *tourbe*, qui est le résultat d'une décomposition partielle sous l'influence de l'oxygène et de l'humidité ;

2° Le *lignite*, qui peut être considéré comme un reste de végétaux incomplètement décomposés sous de faibles pressions ;

3° La *houille*, le plus important de ces combustibles,

qui paraît être le produit d'une décomposition très avancée sous des pressions énormes ;

4° L'*anthracite*, enfin, que l'on regarde comme une variété de la précédente et qui n'en diffère que par la proportion moindre des matières volatiles qu'elle renferme.

Lorsqu'on soumet ces différents corps à l'analyse chimique, ils apparaissent tous formés des mêmes éléments, carbone, hydrogène, oxygène et azote.

On explique leurs différences d'aspect et de propriétés par la proportion variable qu'ils renferment de ces éléments communs.

Les deux tableaux suivants rapprochés à dessein donnent la composition élémentaire des principaux combustibles et divers autres renseignements dont on verra plus loin l'utilité.

TABLEAUX DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

| NOM DES COMBUSTIBLES | DENSITÉ | POIDS pour 400 kil. | COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE faite de l'eau hygrométrique | | | EXCÈS d'hydrogène | NATURE du résidu | PROPORTION p. 100 du résidu. | POUVOIRS CALORIFIQUES à l'état | |
|---|-------------|---------------------|--|-----------|-----------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| | | | Carbone | Hydrogène | Oxygène + azote | | | | sec et pur. | ordinaire. |
| Tourbe | 0,90 à 0,98 | 20 à 25 | 58 à 64 | 5,6 à 6,4 | 36 à 27 | 1,5 à 1,8 | Cendres fines. | 35 à 40 | 4800 à 5600 | 3000 à 3700 |
| Lignite ligneux | 1,00 à 1,2 | 15,8 à 20 | 58 à 68 | 5 à 6 | 26 à 27 | 1,2 à 1,5 | id grenues. | 35 à 40 | id. | 4000 à 4800 |
| — parfait | 1,2 à 1,4 | 20 à 18 | 70 à 74 | 5 à 5,5 | 20 à 35 | 2 à 3 | id. très gre-nues. | 40 à 50 | 6000 à 7500 | 5500 à 6600 |
| 1 ^o sèche à longue flamme | 1,2 à 1,5 | 6,7 à 7,5 | 75 à 80 | 4,5 à 5,5 | 15 à 19,5 | 2,5 à 3 | coke pulvérent. à peine fritté. | 50 à 60 | 8000 à 8500 | 7200 à 7800 |
| 2 ^o grasse à longue flamme ou à gaz | id. | 7,6 à 8,5 | 80 à 85 | 5 à 5,8 | 10 à 14 | 3,5 à 4,5 | Coke aggloméré et poreux. | 60 à 68 | 8500 à 8800 | 7500 à 8000 |
| 3 ^o Grasse marchale ou de forge | id. | 8,4 à 9,2 | 84 à 89 | 5 à 5,5 | 5,5 à 11 | 3,5 à 4 | Coke fondu et boursoufflé. | 68 à 74 | 8800 à 9300 | 7800 à 8300 |
| 4 ^o Grasse à courte flamme ou à coke | id. | 9,2 à 10 | 88 à 91 | 4 à 5,5 | 5,5 à 6,5 | 2,5 à 3,5 | Coke fondu et compact. | 74 à 82 | 9300 à 9600 | 8300 à 8600 |
| 5 ^o maigre anthraciteuse | 1,3 à 1,6 | 9 à 9,5 | 90 à 93 | 4 à 4,5 | 3 à 5,5 | 2 à 2,5 | Coke fritté et pulvérent. | 82 à 90 | 9200 à 9500 | 8200 à 8500 |
| Anthracite pt. dite | 1,4 à 1,8 | 8 à 10 | 93 à 95 | 2,5 à 4 | 2,5 à 4 | 1,5 à 2 | Coke pulvérent. | 90 à 92 | 9000 à 9400 | 7800 à 8300 |

TABLEAU DES PRINCIPAUX COMBUSTIBLES

(WÜRZT)

| COMBUSTIBLES | COMPOSITION | | | POUVOIR calorifique pratique | MÈTRES CUBES D'AIR nécessaire à la combustion de 1 kilogramme | | GAZ DE LA COMBUSTION supposés à 300° |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------------------|------------------------------|---|---------------|--------------------------------------|
| | Carbone | Hydrogène | Cendres et gaz divers | | pratiquement | théoriquement | |
| Carbone | 100 | » | » | 7170 | » | 8,81 | » |
| Hydrogène. | » | 100 | » | 34742 | » | 26,66 | » |
| Oxyde de carbone. | 0,43 | » | » | 2488 | » | 3,78 | » |
| Bois à 20 p. 100 d'eau. | 0,416 | » | » | 2800 | 5,4 | 3,60 | 12,85 |
| — sec. | 0,51 | 0,40 | 0,37 | 3600 | 6,75 | 4,50 | 15,43 |
| Charbon de bois. | 0,80 | 0,02 | 0,18 | 7000 | 16,40 | 8,20 | 34,44 |
| Houille moyenne. | 0,88 | 0,05 | 0,07 | 7500 | 18,40 | 9,05 | 38,72 |
| Anthracite. | 0,90 | 0,024 | 0,76 | 7350 | » | » | » |
| Coke. | 0,85 | » | 0,15 | 6000 | 15 | 7,50 | 31,50 |
| Goudron. | 0,58 | 0,19 | 0,23 | 40758 | 20,34 | 40,47 | » |
| Tourbe sèche (1 ^{re} qual.) | 0,58 | 0,02 | 0,40 | 4000 | 11,25 | 5,64 | 24,63 |
| Charbon de tourbe. | 0,75 | » | 0,25 | 5800 | 13,20 | 6,60 | 27,72 |
| Huile lourde de goudron | 0,82 | 0,08 | O } Az } | 8900 | » | » | » |

DE LA HOUILLE

D'une manière générale, on peut dire que la plupart des combustibles peuvent fournir le gaz d'éclairage. Mais l'expérience a démontré que la houille seule permet de l'obtenir dans de bonnes conditions pratiques, c'est-à-dire suffisamment éclairant, en quantité convenable et à un prix de revient abordable.

Nous allons donc nous occuper d'elle d'une façon spéciale.

Généralités. — La houille proprement dite se rencontre dans le terrain houiller appartenant à la grande formation carbonifère. On la trouve aussi dans les divers étages des terrains secondaires et quelquefois dans les terrains tertiaires où elle se rapproche alors des lignites.

La houille est un composé ternaire dont la coloration varie du brun noir, au noir parfait. Son aspect est terne, brillant ou terreux; sa structure est compacte, grenue ou lamelleuse; enfin, quant à sa nature, la houille est pure, schisteuse, ou pyriteuse. Elle a pour densité 1,2 à 1,5 et son poids par hectolitre varie de 70 à 90 kilogrammes.

D'après NEWMAN, le chiffre de 0,0296 répond à sa conductibilité pour la chaleur, Quand on prend l'heure et le mètre pour unités de temps et de longueur. Sa puissance calorifique est de 7,500 calories; sa chaleur rayonnante est représentée par les chiffres suivants.

| | | | | |
|----------------|-------|----|-----|------------------------|
| Houille sèche. | 50 p. | 10 | Ode | de la chaleur totale : |
| — grasse. | 50 | — | — | — |
| — maigre | 55 | — | — | — |

La superficie des terrains houillers en Europe peut s'évaluer comme suit :

TABLEAU DE LA SUPERFICIE DES TERRAINS HOULLIERS EN EUROPE

| PAYS | SUPERFICIE en kilomètres carrés | PAYS | SUPERFICIE en kilomètres carrés |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Angleterre | 3.000 | Bohème | 1.000 |
| France | 2.600 | Westphalie . . . | 900 |
| Prusse | 2.500 | Espagne | 550 |
| Belgique | 1.250 | Russie | 250 |

La France tire la houille d'un grand nombre de départements.

TABLEAU DE LA PRODUCTION HOULLIÈRE DE LA FRANCE EN 1886

| BASSINS | PRODUCTION |
|--|------------|
| Bassins du Nord et du Pas-de-Calais | 8.308.689 |
| — de Saint-Etienne | 3.542.219 |
| — d'Alais | 2.050.758 |
| — du Creuzot et de Blanzy | 4.149.675 |
| — de Commentry et de Doyet | 831.759 |
| — d'Aubin | 666.045 |
| — d'Aix-en-Provence (lignite) | 460.487 |
| — de Carmaux | 306.879 |
| — de Brassac | 250.799 |
| — de Graissessac | 227.851 |
| — de Decize | 217.851 |
| — de Romchamp | 184.546 |
| — d'Ahun | 164.790 |
| — d'Epinaç et d'Aubigny | 131.974 |
| — de Saint-Eloi | 130.000 |
| — de Le Drac (anthracite) | 405.420 |
| — (divers) : anthracite, houille, lignites | 622.694 |
| TOTAL | 49.412.112 |

D'après BURAT, il existe plus de 500,000 hectares concédés aux C^{ies} houillères ce qui répond à 340,000 hectares réservés à la houille proprement dite, le reste aux lignites, tourbes, gîtes pauvres, etc. L'extraction en France est de 19 millions de tonnes par an ; 1/6 de cette production est employé à la fabrication du gaz ; soit 800,000 tonnes pour Paris, 3,000,000 pour toute la France.

L'épaisseur moyenne des couches actuellement exploitées varie de 4 à 6 mètres ; néanmoins on connaît des exceptions frappantes à ces chiffres, puisqu'on cite dans l'Aveyron une couche dont la puissance atteint 30 mètres.

Les données précédentes permettent de se faire une idée de l'immense réserve que possède l'Europe de ce combustible ; aussi malgré la consommation croissante qui s'en fait tous les ans, estime-t-on que la terre en renferme de quoi suffire à tous nos besoins pendant encore 25,000 ans.

CLASSIFICATION DES HOUILLES

La composition des houilles varie non seulement suivant les pays, mais encore d'une couche à l'autre et quelquefois entre les morceaux d'une même veine ; on cite même pour ce de nier cas des variations qui peuvent atteindre le chiffre énorme de 3 à 5 p. 100. Les tableaux suivants donnent les chiffres extrêmes relatifs à la composition et au rendement des houilles.

VARIATION DANS LA COMPOSITION DES HOUILLES

| | | | | |
|--------------|------|---------|---------|---|
| Carbone | = C | 75 à 93 | p. 100. | <i>Nota.</i> — La houille est considérée comme privée de l'eau hygrométrique. Rarement moins de 1, quelquefois plus de 4. |
| Hydrogène. | = H | 4,5 à 6 | — | |
| Oxygène | = O | 1,7 à 4 | — | |
| Soufre | = S | 0,5 à 3 | — | |
| Azote | = Az | 1 à 2,5 | — | |
| Cendres..... | | 2 à 20 | — | |

VARIATION DANS LA COMPOSITION DES HOUILLES SPÉCIALEMENT PROPRES A LA FABRICATION DU GAZ

| | | | |
|--------------|---------------|---------|------------------------|
| Carbone..... | 81 à 92 | p. 100. | } Compagnie Parisienne |
| Hydrogène... | 5 à 6 | — | |
| Oxygène..... | 5,5 à 12 | — | |
| Soufre..... | 0,5 (belges) | à 2. | |
| Azote | 1 en moyenne. | | |
| Cendres..... | 7 à 10 | p. 100 | |

VARIATION DANS LE RENDEMENT DES HOUILLES A GAZ

| | | | | |
|-----------------------|---|----------------|--------|--|
| Coke.. | { | 1 hl 5 à 2 hl. | p. 100 | <i>Nota.</i> — Les chiffres relatifs aux matières volatiles supposent que le goudron et les eaux ammoniacales sont à l'état de vapeur. |
| | { | 35 k. à 93 k. | — | |
| Matières volatiles .. | | 26 à 40 | | |
| Goudron..... | | 3,0 à 5,6 | | |
| Eaux ammoniacales | | 4,5 à 10 | | |
| Rendement de gaz.. | | 23 à 32 | | |

Quand on se place au point de vue pratique, on peut classer les charbons de diverses manières. Ainsi, d'après leur aspect, ils seront grossiers, schisteux, brillants, ternes, etc. Si on considère leur valeur commerciale, on pourra les classer suivant la grosseur des morceaux ; ordinairement on se borne à former quatre catégories qui constituent le *gros*, la *gailleterie*, le *tout venant* et le *menu*.

Le tableau ci-dessous indique les différences de poids

et de prix de ces divers charbons ; toutefois ces chiffres étant éminemment variables suivant les houilles et les pays, les données de notre tableau ne peuvent avoir qu'une valeur relative.

TABLEAU DES POIDS ET PRIX DE DIVERSES CATÉGORIES
DE CHARBONS.

| QUALITÉ | POIDS MOYEN de l'hectolitre | IMPORTANCE des vides | PRIX DES 1,000 k. sur le carreau de la mine |
|----------------|--------------------------------|-------------------------|---|
| Gros..... | 65 k. — 75 k. | 40 — 50 p. 100 | 16 fr. — 25 fr. |
| Gaillèterie... | 70 — 80 | 40 — 45 | 14 — 24 |
| Tout venant. | 75 — 82 | 20 — 25 | 11 — 18 |
| Menu..... | 78 — 88 | 10 — 20 | 6 — 15 |

Nous donnons au verso l'analyse de cinq types de houilles représentant la composition moyenne des divers charbons employés à la fabrication du gaz. Ce tableau, extrait des rapports fournis par l'usine expérimentale de la Villette (C^{ie} Parisienne), est très intéressant à consulter ; on trouvera ci-après les résultats fournis par la distillation de ces diverses houilles :

COMMENT IL FAUT CHOISIR UNE HOUILLE A GAZ

Il suffit d'examiner attentivement le tableau général des combustibles minéraux pour faire quelques observations intéressantes sur la qualité des houilles. Dans l'ordre où celles-ci sont rangées, on observe que la proportion de carbone va toujours en croissant du n° 1 au n° 5, l'hydrogène au contraire atteint un maximum dans les houilles à gaz, tandis que l'oxygène s'y maintient en proportion moyenne. Pourquoi donc conviennent-elles plus principalement à notre industrie ?

TABLEAU DES CINQ TYPES PRINCIPAUX DE HOUILLES A GAZ (COMPOSITION, RENDEMENTS)

| | 1 ^{er} TYPE | 2 ^o TYPE | 3 ^o TYPE | 4 ^e TYPE | 5 ^e TYPE |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| COMPOSITION | | | | | |
| élémentaire | | | | | |
| { Oxygène..... | 41,70 | 10,10 | 7,71 | 6,66 | 5,56 |
| { Hydrogène..... | 5,04 | 5,53 | 5,40 | 5,37 | 5,06 |
| { Carbone..... | 81,66 | 83,37 | 85,89 | 86,97 | 88,38 |
| { Azote..... | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| { Eau hygrométrique..... | 6,17 | 4,35 | 3,31 | 2,70 | 2,17 |
| { Rendements en poids de matières | | | | | |
| { volatiles..... | 39,27 | 37,34 | 33,80 | 31,59 | 26,82 |
| { Coke..... | 60,73 | 62,66 | 66,20 | 68,41 | 73,18 |
| { Cendres p. 100 du poids de la houille. | 10,73 | 8,18 | 7,21 | 7,96 | 9,04 |
| { Volume de gaz p. 100 k. de houille. | 17,67 | 13,05 | 10,80 | 10,32 | 12,35 |
| { Coke p. 100 de houille (en hectolitres). | 27,44 | 29,72 | 30,64 | 31,01 | 30,13 |
| { Poids de goudron..... | 1,63 | 1,70 | 1,78 | 1,96 | 1,97 |
| { Poids d'eau ammoniacale. } p. 100 k. | 5 k. 59 | 5,48 | 5,08 | 4,65 | 3,90 |
| { Poids d'eau ammoniacale. } de houille. | 9,86 | 8,62 | 6,80 | 5,22 | 4,58 |

On peut en fournir deux raisons : la première, c'est que l'hydrogène en grande quantité favorise la formation des hydrocarbures qui sont dans le gaz les éléments principaux du pouvoir éclairant. — La seconde, c'est que l'oxygène en excès tend à s'emparer de l'hydrogène et par suite à réduire la quantité possible de ces hydrocarbures et que de plus, en s'unissant au carbone, il forme des composés profondément nuisibles : l'acide carbonique et l'oxyde de carbone.

Pendant un certain temps on s'est basé sur les remarques précédentes pour affirmer qu'une houille convient d'autant mieux à la fabrication du gaz qu'elle révèle à l'analyse un rapport plus grand entre l'hydrogène et l'oxygène. En d'autres termes, on recherchait les combustibles fournissant pour le rapport $\frac{H}{O}$ une valeur maximum. Le raisonnement serait juste, si tout l'oxygène était employé pendant la distillation à former de l'eau ; il resterait ainsi une grande quantité d'hydrogène libre qui croîtrait avec la grandeur du précédent rapport.

Pour mieux faire saisir cette vérité, rappelons que l' H_2O est formée en poids de 8 parties d'oxygène et de 1 partie d'hydrogène. Par conséquent, si nous prenons les houilles sèches pour lesquelles le rapport $\frac{H}{O} = \frac{4,5}{15}$, il resterait après la transformation de tout l'oxygène en eau un excès d'hydrogène de 2,6 ; avec les houilles à gaz dans lesquelles le rapport $\frac{H}{O} = \frac{5}{10}$, l'excès serait de 3,75, c'est-à-dire supérieur au précédent. La comparaison des rapports montre de plus que le plus grand excès répond à celui des deux rapports qui est le plus grand,

$$\frac{5}{10} > \frac{4,5}{15}$$

Malheureusement, les choses ne se passent point ainsi en pratique. Il se forme toujours en même temps que l'eau des proportions plus ou moins grandes d'oxyde de carbone et d'acide carbonique ; or, nous verrons plus loin que ces composés ont sur le pouvoir éclairant un effet désastreux.

La présence de l'oxygène en excès présente un dernier inconvénient : il altère, en effet, et peut supprimer le pouvoir collant des houilles et par suite nuit à la qualité du coke. L'expérience a prouvé que pour rester dans de bonnes conditions il ne faut pas que l'oxygène dépasse la proportion de 15 p. 100.

Il résulte enfin des études faites à la Compagnie Parisienne, que plus est grande la quantité d'oxygène dans la houille plus le gaz contiendra d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, et moins il renfermera d'hydrogène libre et de gaz des marais : le rendement en coke et en gaz diminuera, tandis que celui des eaux et du goudron augmentera. Le coke est alors généralement mauvais.

Les houilles riches en hydrogène donnent des résultats tout contraires.

Remarques. — A la suite des observations précédentes, on peut se demander pourquoi les houilles répondant aux nos 3 et 4 ne sont pas préférées à celles du n° 2 (tableau des combustibles minéraux). Elles renferment en effet moins d'oxygène et presque autant d'hydrogène. On explique cette contraction par ce fait que les houilles marécales donnent un coke de qualité médiocre, que les houilles à courtes flammes sont plus difficiles à distiller et que toutes les deux, enfin, produisent un gaz inférieur à celui que fournissent, dans les mêmes conditions, les charbons à longue flamme.

TABLEAU DES ÉLÉMENTS A CONSIDÉRER POUR LE CHOIX D'UNE HOUILLE

| ÉLÉMENTS | OBSERVATIONS |
|---|--|
| Prix d'achat Frais de transport | L'intérêt des directeurs est de réduire ces deux facteurs autant que possible. Leur valeur dépend surtout de la position géographique de l'usine. |
| Teneur en eau | Elle ne doit pas dépasser 7 à 8 p. 100 sur le carreau de la mine. Ordinairement on fait les marchés en stipulant un maximum de 8 à 10 p. 100. |
| Teneur en cendres | Elle doit être inférieure le plus possible à 10 p. 100. |
| Teneur en soufre | Elle doit être inférieure à 2 p. 100; au delà les frais d'épuration augmentent notablement : on tiendra compte pour le choix des houilles de ce fait, que les charbons du Nord contiennent plus de soufre que ceux du Midi. |
| Rendement en gaz | Si on essaie le combustible par une distillation ordinaire dans une cornue il devra produire en moyenne 28 à 31 m ³ de gaz par 100 kil. Si on fait au contraire un essai au laboratoire, il faudra déterminer la proportion de toutes les matières volatiles et celle-ci devra être supérieure à 30 p. 100. |
| Rendement en coke | On s'attachera à prendre des charbons donnant un coke aggloméré et le moins friable possible. S'il se vend en volume, on recherchera les houilles qui produisent de 18 à 19 hectolitres par 1,000 kil.; si la vente se fait au poids, on prendra celles qui rendent de 66 à 70 p. 100. Enfin il est bon de savoir que dans un bassin les couches supérieures donnent un coke boursoufflé sans valeur, que celui des couches inférieures est poussiéreux, de sorte que seules les couches moyennes donnent un produit convenable. |
| Qualité du gaz | Il doit être éclairant pour éviter d'avoir recours aux mélanges de charbons, facile à épurer, c'est-à-dire pauvre en acide sulfhydrique et acide carbonique. Rappelons qu'on produit d'autant moins d'acide carbonique que les charbons contiennent moins d'oxygène. En général, les charbons à flamme blanche contiennent beaucoup de ce dernier. Ceux du Nord en contiennent moins que ceux du Midi. Ceux-ci peuvent donner dans le gaz jusqu'à 4 p. 100 d'acide carbonique. |
| Valeur et écoulement de divers sous-produits. | Suivant la valeur et l'écoulement des sous-produits, on attachera à leur production et à leur qualité une importance plus ou moins grande. |

Comme conclusion, il suffit de retenir qu'on doit, autant que possible, choisir les houilles à gaz parmi celles de la classe n° 2.

Il est bon de dire que la qualité du gaz ne suffit pas pour celui qui le fabrique : il faut aussi qu'il le produise dans des conditions de prix rémunératrices. Pour cela, il est nécessaire de faire intervenir un grand nombre d'éléments tels, par exemple, que le prix d'achat, les frais d'épuration, la valeur des sous-produits, etc.

Il est intéressant de grouper ces éléments en un tableau succinct et de les faire suivre des observations qu'on leur peut appliquer.

ANALYSE DES HOUILLES

Analyse immédiate. — Jusqu'à ce jour, la chimie demeure incapable de nous donner sur la houille tous les renseignements dont nous aurions besoin. Elle se borne à nous révéler leur composition élémentaire, sans nous fixer sur la nature et la proportion des composés chimiques qu'elle renferme.

Toutefois, on semble d'accord aujourd'hui pour admettre que 100 kilos de houille, il existe de 13 à 21 kilos de carbone, et 4,6 à 5,8 kilos d'hydrogène à l'état de combinaison sous forme de carbures variés et de composés ammoniacaux. Certains auteurs ajoutent alors à ces combinaisons toute l'eau hygrométrique et considèrent la houille comme formée de :

Carbone fixe 60 à 80 p. 100

Matière bitumineuse 20 à 40 —

Cette matière renferme les composés dont il est question ci-dessus.

Il ne faudrait pas croire que cette manière d'envisager les houilles n'ait aucun fondement. Divers phénomènes lui servent d'appui. Ainsi on remarque le plus souvent que sous l'action de la chaleur, les charbons gras et demi-gras se ramollissent et s'agglomèrent.

De plus, quand on les traite par les acides et les alcalis, ils ne subissent aucune modification, tandis que sous l'action de l'éther, du chloroforme, de l'alcool et du sulfure de carbone, ils diminuent de poids d'autant plus que leur nature est plus grasse. La partie ainsi dissoute ne peut être que bitumineuse. Enfin, nous verrons plus loin que la houille portée dans une étuve à 100° subit une perte de poids plus grande que dans le vide ; dans le premier cas il se produit donc un commencement de décomposition, tandis que dans le second l'HO hygrométrique est seule enlevée. M. DE MARSILLY, à qui l'on doit cette remarque, prétend que les charbons gras sont les plus altérables sous cette action de la chaleur et que leur décomposition commence aux environs de 50°. Il faut donc mettre la perte de poids au compte d'une matière spéciale, et celle-ci sera la matière bitumineuse ; les charbons maigres et anthraciteux, qui n'en contiennent presque pas, ne commencent à se décomposer qu'aux environs de 330 à 360 degrés.

Bien que l'analyse chimique ne puisse nous renseigner que sur la composition élémentaire, il est souvent utile et toujours intéressant d'y avoir recours. Elle permet en effet de déterminer la quantité d'oxygène, d'azote, de soufre, etc., de sorte qu'en répétant les mêmes essais sur les produits de la distillation on peut connaître

ANALYSES ÉLÉMENTAIRES DE QUELQUES HOUILLES A GAZ

| PROVENANCES | HYDROGÈNE | CARBONE | OXYGÈNE AZOTE | CENDRES | COKE | NATURE DU COKE | AUTEURS des ANALYSES |
|-----------------------------|-----------|---------|------------------|---------|-------|--------------------------|----------------------------|
| Alais (Rochebelle)..... | 4,85 | 88,05 | 5,69 | 4,41 | 77,70 | légèrement boursoufflé. | Régnauld. |
| Anzin (Rozière)..... | 4,81 | 82,90 | 6,51 | 5,70 | 75,42 | formé peu id. | De Marsilly. |
| Béthune (Marles)..... | 5,56 | 79,64 | 11,00 | 3,80 | 62,70 | boursoufflé. | id. |
| Bruay (Sainte-Marie)... | 5,56 | 79,86 | 12,38 | 2,20 | 62,49 | id. | id. |
| Blanzay..... | 5,23 | 75,43 | 17,06 | 2,28 | 57,00 | faiblement agrégé. | Régnauld. |
| Campagnac..... | 5,44 | 81,38 | 11,63 | 4,55 | 59,37 | bien collé, boursoufflé. | C ^{ie} des Mines. |
| Charleroi (Saint-Martin)... | 4,62 | 86,23 | 5,81 | 3,34 | 79,48 | bien formé id. | De Marsilly. |
| Commentry..... | 5,29 | 81,59 | 12,80 | 0,24 | 63,40 | métalloïde fritté. | Régnauld. |
| Courrières..... | 4,48 | 82,68 | 4,54 | 8,60 | 87,62 | poussiéreux. | De Marsilly. |
| Epinac..... | 5,40 | 80,01 | 41,36 | 2,53 | 62,50 | collé peu boursoufflé. | Régnauld. |
| Glascow (Splint-Coal).... | 5,49 | 82,92 | 10,45 | 1,13 | 63,58 | fritté. | Richardson. |
| Mons (Haut flénu)..... | 5,42 | 82,95 | 10,93 | 0,70 | 63,58 | id. | De Marsilly. |
| Levant id..... | 5,22 | 82,91 | 10,13 | 1,74 | 66,96 | id. | id. |
| Grand-Buisson..... | 5,49 | 83,40 | 7,76 | 3,44 | 70,10 | bien formé. | id. |
| Grand-Ilorru..... | 5,63 | 83,30 | 8,54 | 2,53 | 68,31 | id. | Régnauld. |
| Lancashir (Cannel)..... | 5,66 | 82,60 | 9,19 | 2,55 | 57,90 | fritté brillant. | De Marsilly. |
| Lens..... | 5,31 | 85,68 | 6,41 | 2,60 | 76,85 | bien formé. | id. |
| Mariemont..... | 4,68 | 87,36 | 5,68 | 2,28 | 81,05 | bien formé boursoufflé. | Richardson. |
| Newcastle..... | 5,24 | 86,75 | 6,61 | 1,40 | " | boursoufflé. | Régnauld. |
| Rive-de-Gier..... | 5,59 | 81,45 | 10,24 | 2,72 | 64,60 | id. | Richardson. |
| Valenciennes (reussite)... | 5,93 | 85,90 | 6,57 | 2,50 | 75,92 | bien formé. | De Marsilly. |
| Wylan..... | 6,18 | 74,82 | 5,08 | 43,91 | " | id. | Richardson. |

comment se répartissent entre eux les impuretés. Nous verrons d'ailleurs qu'on a besoin de connaître la composition élémentaire d'un combustible si l'on veut déterminer facilement et d'une manière suffisamment exacte sa puissance calorifique.

Il est à regretter que ce genre d'analyse ne puisse se pratiquer dans les usines. Il faut malheureusement disposer d'un laboratoire complet et posséder soi-même une grande expérience des analyses chimiques. — Le tableau ci-contre donne l'analyse élémentaire de quelques houilles à gaz.

Analyse industrielle. — *L'analyse industrielle* des charbons se fait le plus souvent par la méthode employée au bureau d'essai de l'école des Mines de Paris. On se contente alors de déterminer le poids des matières volatiles, des cendres et du coke. Ce genre d'analyse est très rapide et donne des indications très utiles.

Voici dans le tableau suivant, les résultats obtenus avec quelques houilles :

TABLEAU
DONNANT L'ANALYSE INDUSTRIELLE DES HOUILLES PRINCIPALES

| PROVENANCES | MATIÈRES volatiles. | COKE | CENDRES | NATURE DU COKE | EXPÉRIMENTATEURS | ANNÉES |
|---------------------------------------|---------------------|-------|---------|------------------|----------------------------|--------|
| Alais | 27,40 | 53,40 | 19,20 | friable. | Callon. | 1855 |
| Aniche. | 35,70 | 68,40 | 5,76 | bien formé. | | |
| Anzin | 31,00 | 62,30 | 6,70 | boursoufflé. | Regnault. | 1865 |
| Azincourt (fosse St-Auguste). | 32,00 | 63,67 | 4,33 | id. | Willemin. | 1867 |
| Bessèges. | 25,20 | 62,95 | 12,80 | bien formé. | | |
| Béthune (St-Louis). | 36,70 | 59,60 | 3,70 | peu boursoufflé. | C ^{ie} des Mines. | 1874 |
| Boghead | 68,40 | 31,60 | 22,80 | cendres. | | |
| Bruay (Sainte-Marie). | 35,60 | 61,20 | 3,40 | peu boursoufflé. | id. | |
| Blanzy. | 39,80 | 54,70 | 5,50 | id. | Rousseau. | 1868 |
| Brassac gras. | 26,20 | 70,30 | 3,50 | boursoufflé. | Landy. | 1852 |
| Campagnac | 40,00 | 59,37 | 1,55 | collé id. léger. | C ^{ie} des Mines. | 1885 |
| Charleroi (Saint-Martin). | 21,52 | 79,48 | 3,34 | id. | De Marsilly. | |
| Commentry | 33,00 | 57,00 | 10,00 | peu boursoufflé. | Morineau. | 1868 |
| Courrières. | 32,00 | 59,00 | 8,60 | friable. | | |
| Coventry | 40,87 | 55,07 | 4,06 | compact. | | |
| Décazeville (Latapie). | 33,00 | 61,00 | 6,00 | id. | Le Châtelier. | 1853 |
| Decize. | 30,00 | 61,40 | 8,90 | léger. | | |
| Epinac. | 36,80 | 63,20 | 7,50 | | | |

| | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|---------------------|-----------------|------|
| Firminy | 39,20 | 54,56 | 6,24 | bien formé. | De Marsilly. | 1857 |
| Haut-flénu (Mons) | 36,42 | 63,58 | 0,70 | fritté. | | |
| Graissessac | 25,28 | 64,22 | 10 10 | bien formé. | Raimbaud. | 1857 |
| Grand-Buisson (Mons) | 31,40 | 65,60 | 3,00 | peu boursoufflé. | id. | |
| Grand Hornu | 32,60 | 64,70 | 2,70 | id. | | 1868 |
| Grand'Combe | 24,30 | 72,45 | 3,25 | compacts. | | |
| Lens (Liévin) | 34,00 | 63,00 | 3,00 | " | Forest. | |
| Leesmahago | 49,60 | 50,40 | 9,00 | id. | | |
| Loire, puits Grangette | 33,80 | 64,25 | 1,25 | dense. | | |
| Id. Plattières | 29,00 | 63,00 | 1,25 | compact. | | |
| Id. St-Félix | 29,00 | 65,00 | 1,25 | id. | | 1877 |
| Marles (Eugénie). | 39,60 | 57,40 | 3,00 | assez boursoufflé. | Duporcq. | 1846 |
| Sainte-Marie-aux-Mines | 30,00 | 47,60 | 22,00 | pas de coke. | De Saint-Amour. | |
| Montrambert (1 ^{re} couche) | 36,60 | 60,00 | 5,00 | léger. | | |
| Montrambert (couche supérieure) | 40,00 | 79,50 | 3,60 | | | |
| Newcastle | 34,21 | 64,44 | 1,65 | dense. | | |
| New-Pelton | 30,20 | 69,80 | 1,75 | compacts. | | |
| Pelaw-Main | 30,30 | 69,70 | 2,60 | id. | | |
| Pelton-Main | 31,50 | 68,50 | 9,40 | id. | | 1853 |
| Rignac (Auzits) | 36,20 | 59,50 | 4,30 | un peu boursoufflé. | Callon. | |
| Roche-Molière | 30,00 | 60,00 | 2,00 | | | |
| Valenciennes (Renard). | 33,32 | 66,68 | 4,30 | très boursoufflé. | De Marsilly. | 1871 |
| Varnes | 35,00 | 63,60 | 1,40 | non boursoufflé. | Rousseau. | |
| Vigan (Larnuéjols). | 41,00 | 50,60 | 8,40 | compact. | Grunner. | 1878 |
| Sarrequeimes (St-Avoid) | 39,70 | 57,70 | 2.6. | | | |

RENSEIGNEMENTS SUR L'ANALYSE DES HOUILLES
AU POINT DE VUE INDUSTRIEL

Les essais, dont le tableau précédent renferme des exemples, doivent, en cas de besoin, pouvoir être faits dans les usines. Il est donc important de connaître la manière d'opérer et les moyens de déterminer quelques autres éléments qui ne sont pas sans valeur.

Nous nous proposerons donc de rechercher dans une houille donnée :

- 1° Le poids de l'eau renfermée dans 100 kilos de cette houille ;
- 2° Le poids des matières volatiles qu'elle peut fournir ;
- 3° Le poids du coke et sa nature ;
- 4° La proportion des cendres et leur composition ;
- 5° La proportion du soufre ;
- 6° La proportion de l'azote.

Dans les divers essais qui vont suivre, il sera nécessaire d'opérer toujours sur une portion de houille répondant parfaitement à l'échantillon moyen. Pour cela on doit prendre en différents points du tas à analyser une certaine quantité de charbon ; on le pulvérise, et, après avoir mélangé intimement les poussières ainsi obtenues, on s'en servira pour les analyses.

1° Degré d'humidité. — On prend 100 à 200 grammes de houille que l'on place dans une capsule tarée d'avance ; puis on la porte sous une cloche où l'on fait le vide, au bout de deux ou trois heures on opère une deuxième pesée et l'on obtient par différence le poids

d'HO contenu dans la quantité soumise à cet essai, il ne reste plus qu'à déterminer le p. 100.

Cette méthode est rigoureusement exacte ; mais, en pratique, on n'y a jamais recours ; on se borne à porter la capsule dans une étuve chauffée à la température de 100° à 120° ; au bout d'un certain temps, on la retire pour effectuer la seconde pesée qui fournit par différence avec la première, le poids d'HO évaporée. On trouve de cette façon des résultats un peu plus grands que pour la méthode précédente, mais suffisamment exacts pour la pratique.

L'influence de l'humidité sur les houilles étant très grande, il est de la plus haute importance pour les usines de répéter ces essais à tous les arrivages de charbon. Car, sans tenir compte de ce fait, qu'un charbon mouillé est payé plus cher que s'il était sec, il faut aussi songer qu'on a des chances de le voir s'échauffer en magasin et quelquefois prendre feu ; de plus, si on l'emploie dès son arrivée, on refroidit les cornues, on perd sur le rendement gazeux et sur le pouvoir éclairant ; ainsi 10 p. 100 d'HO font baisser de 30 p. 100 environ le rendement en gaz.

Voici à ce sujet un essai de M. Penot à l'usine à gaz de Mulhouse :

| | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------|------------------|
| 100 kil. de houille à 10 p. 100 | { | Gaz de bonne qualité. . . | 160 ^m |
| d'eau ont donné. | | — de mauvaise qualité. . . | 92 |
| | | TOTAL. . . | 252 |
| Même houille sèche. | { | Gaz de bonne qualité. . . | 260 ^m |
| | | — de mauvaise qualité. . . | 92 |
| | | TOTAL. . . | 352 |

Enfin une houille sèche permet une condensation plus facile : on obtient moins d'eaux ammoniacales et

celles-ci sont plus concentrées. La houille ne devrait conserver que l'eau hygrométrique qu'elle absorbe à l'air ambiant lorsqu'elle est remise sous les hangars. En moyenne, on peut compter dans ces conditions sur le chiffre de 3 p. 100. Sur le carreau de la mine les houilles en gros morceaux retiennent au plus de 4 à 5 et les houilles menues 8 à 10 p. 100 d'eau.

L'eau de mer a sur les houilles une influence plus nuisible que l'eau hygrométrique ; il est bon d'en parler au point de vue des charbons anglais, sujets à être mouillés pendant leur transport. Le chlorure de sodium contenu dans l'eau de mer donne de l'acide chlorhydrique pendant la distillation et celui-ci, réagissant sur le sulfhydrate d'ammoniaque, tend à former du sel ammoniac et à libérer l'acide sulfhydrique. C'est donc une cause d'accroissement des frais d'épuration. Par conséquent, on devra être plus sévère pour la réception des houilles ainsi contaminées.

2° Proportion des matières volatiles. — On pèse un kilogramme de houille répondant à l'échantillon moyen, puis on le calcine lentement dans un creuset fermé par un couvercle qui porte un trou central ; l'opération est terminée en 10 ou 20 minutes après la fin du dégagement de flamme par cet orifice, on obtient par une nouvelle pesée la perte de poids due au départ des matières volatiles. Le rendement en gaz, qu'il ne faut pas confondre avec le rendement en matières volatiles, oscille entre 23^{m³} et 31^{m³} par 100 kil. de houille distillée.

3° Coke. — Le résidu provenant de l'opération précédente est le coke ; on a son poids directement par la

dernière pesée et on calcule le p. 100. Ordinairement, les houilles de bonne qualité donnent de 60 à 70 p. 100 de coke. Le rendement en volume de 1,6 à 2,0 hectolitres par 100 kilos, ce qui prouve qu'il y a augmentation du volume de la houille pendant la distillation. Il reste ensuite à examiner la nature de ce résidu : il doit être gris adamantin, aggloméré et peu friable. Sa teneur en cendres se détermine comme il est expliqué ci-dessous.

4° Cendres. — On produit à l'air libre le grillage du coke précédemment obtenu, ou bien on opère avec 1 kilo de houille. Le résidu peut être siliceux, argileux, calcaire ou ferrugineux ; le plus souvent on s'en rend compte approximativement par sa coloration et son aspect. En effet :

- Les cendres ferrugineuses sont brunes ou noires ;
- calcaires sont plus ou moins blanches ;
- siliceuses sont grises, etc.

Les premières sont ordinairement très fusibles à cause de la présence presque toujours certaine de la silice qui donne des silicates ferrugineux fusibles. Les cendres blanches au contraire sont presque infusibles, ce qui contrarie heureusement la formation du mâchefer dans les foyers.

Lorsqu'on désire effectuer l'analyse complète des cendres en question, on a recours à l'analyse chimique, qui renseigne aux points de vue de la qualité ; mais, si on veut se borner à la connaissance qualitative des éléments, on utilise les réactions par les perles d'azotate de cobalt faites au chalumeau.

La perle sera bleu mat, si les cendres contiennent de l'alumine ;
 gris noir — — chaux ;
 couleur chair — — magnésie ;
 bleu transparent — — des silicates.
 etc.

La proportion des cendres est de 6 à 6,5 p. 100 pour les houilles choisies,

8 à 10 pour les houilles ordinaires,
 10 à 20 — — médiocres.

La proportion des cendres est d'autant plus grande que les houilles sont plus oxygénées. Le tableau ci-dessous, emprunté à la chimie de M. Knapp, donne les divers éléments que peuvent contenir les cendres ; tous évidemment ne se rencontrent pas toujours dans l'échantillon considéré et leur présence dans le tableau suivant indique seulement qu'ils existent pour certaines qualités de houilles.

ÉLÉMENTS CONTENUS DANS LES CENDRES DE HOUILLE

| CORPS | PROPORTION | CORPS | PROPORTION |
|-------------------|------------------|----------------|-----------------|
| Oxyde de fer... | 1,30 à 14,02 0/0 | Chloré..... | 0,00 à 9,57 0/0 |
| — d'alumine. | 0,00 42,75 | Acide phosph.. | 0,00 1,18 |
| — de chaux | 1,08 49,22 | Magnésie..... | 0,25 5 03 |
| Silice... | 1,70 76,00 | Soude..... | 0,00 0,45 |
| Acide sulfur... | 0,24 10,71 | Potasse..... | 0,00 2,25 |

5° Dosage du soufre. — Le dosage du soufre est généralement négligé dans les usines en raison des difficultés qu'il présente. Il suffit donc d'étudier sommairement la marche de l'opération.

On pèse 100 grammes de l'échantillon et on y mélange 30 grammes environ de carbonate de soude ; on chauffe

le tout fortement et il se forme du sulfure de sodium (NaS) et du sulfate de soude (NaOSO^3) ; on termine la transformation de tout le soufre en sulfate en ajoutant de l'azotate de potasse (KO, AzO^3) qui fournit l'oxygène nécessaire à l'oxydation du sulfure ; on laisse refroidir, puis on lave à l'eau bouillante. En filtrant la dissolution, on retient tout le sulfate dans la liqueur, où il suffit ensuite de le précipiter par de la baryte ou de la chaux.

La teneur moyenne en soufre des houilles à gaz est de 1,5 p. 100, soit 0^{sr},5 pour les charbons belges, 2 p. 100, soit 0^{sr},65 pour les charbons anglais.

En opérant de même avec le coke on peut, par différence, se faire une idée du soufre emporté dans le gaz.

6° Dosage de l'azote dans une houille. — On prend 1 ou 2 gr. de houille que l'on mélange à de l'oxyde de cuivre ; on introduit dans un tube fermé à une de ses extrémités, du bicarbonate de soude très pur, puis une couche d'oxyde de cuivre ; on y introduit alors le mélange de charbon et d'oxyde et on le recouvre d'oxyde pur ; on termine le remplissage du tube par du cuivre réduit ; on commence par balayer régulièrement l'appareil à l'aide d'un courant d'acide carbonique, obtenu en chauffant le bicarbonate seul contenu à l'extrémité du tube, ensuite on procède à la combustion de la houille dans l'oxyde de cuivre, et on recueille, sur la cuve à mercure, l'azote qui se dégage ; on mesure le volume obtenu et on le ramène à 0° et 760^{mm} de pression. Si n est le nombre de centimètres cubes ainsi obtenus pour

un poids P de houille, la teneur x en centimètres sera :

$$x = \frac{n \times 0,1296}{P}$$

ESSAI DES HOUILLES PAR DISTILLATION AU LABORATOIRE

On doit à MM. Pelouze et Audouin un appareil permettant d'analyser rapidement les houilles, au point de vue de leur rendement en gaz et en coke.

L'appareil comprend un tube de fer qu'on peut chauffer au rouge clair et dans lequel on distille 100 grammes du charbon qu'on veut étudier. Le gaz est emmagasiné à mesure qu'il se dégage dans un gazomètre équilibré où on le mesure. On l'épure ensuite, puis on le vérifie au point de vue du pouvoir éclairant; le rendement en coke se détermine en poids (ou en volume) en même temps qu'on se rend compte de ses propriétés physiques. Quant aux cendres, on les recherche comme il est dit précédemment. On a reproché à cette méthode de donner des résultats non comparables à ceux de la pratique parce qu'on opère dans les deux cas dans des conditions différentes de temps, de quantité, etc... La chose est sans doute indiscutable, mais on peut remarquer qu'en opérant de la même manière sur divers charbons les conditions restent les mêmes pour chacun d'eux et que, par suite, les résultats obtenus, tout en n'étant que relatifs, restent comparables entre eux. Il n'en faut pas davantage pour se faire une opinion sur la valeur des houilles.

PROPRIÉTÉS COLLANTES DES HOUILLES

Pour qu'une houille soit collante, il faut que la pro-

portion de carbone soit supérieure à 80 p. 100 et celle de l'oxygène inférieure à 15 p. 100. Toutefois, d'autres causes influent sur le pouvoir collant : ainsi les houilles demi-grasses ne peuvent être collantes qu'à la condition d'être brusquement saisies par la température.

Celles qui renferment des parties terreuses en quantité notable s'y refusent absolument, à moins qu'un lavage suffisant ne les ait débarrassés de ces impuretés.

ACTION DE L'AIR ET DE L'EAU ATMOSPHÉRIQUE

On a remarqué depuis fort longtemps que les houilles perdent à l'air une partie de leur qualité. Le coke devient plus friable, la distillation plus difficile, et la puissance calorifique est diminuée. La houille enfin perd de son poids. D'après les expériences, il peut se produire une diminution moyenne sur le rendement en gaz de 2 p. 100 pendant les premières années, et la perte totale peut atteindre avec les charbons gras 15 et 20 p. 100. Cette perte est plus sensible avec les charbons impurs. Ainsi, la gailleterie, toujours moins terreuse que le menu et le tout venant, résiste bien plus longtemps dans les mêmes conditions aux pernicieux effets de l'air et de l'humidité.

A la suite de nombreuses recherches, on a pu reconnaître que la diminution de poids avait lieu par suite d'un départ d'eau, d'acide carbonique et d'hydrocarbures ; or, la perte de ces derniers explique facilement l'altération que subit le pouvoir éclairant du gaz.

On doit à M. Grandmann les essais suivants sur 3 qualités de houilles exposées à l'air. Les houilles avaient la composition suivante :

COMPOSITION DES CHARBONS

| ÉLÉMENTS | N° 1 | N° 2 | N° 3 |
|----------|-------|-------|-------|
| C | 76,51 | 78,32 | 81,21 |
| H | 3,32 | 3,04 | 5,38 |
| Az | 0,92 | 0,88 | 0,89 |
| O | 5,83 | 8,08 | 5,72 |
| S | 1,08 | 0,66 | 0,77 |
| Cendres | 10,34 | 7,02 | 6,03 |

Voici la moyenne des résultats obtenus après un an de séjour à l'air :

| PERTES | CHARBON MENU | | | Le coke était plus friable. |
|--|--------------|-------|-------|-----------------------------|
| | N° 1 | N° 2 | N° 3 | |
| En poids..... | 33,08 | 44,61 | 42,19 | |
| Comme combustible.... | 47,60 | 56,81 | 53,38 | |
| Au point de vue du rendement en gaz..... | 45,51 | 47,95 | 50,29 | |
| | CHARBON GROS | | | |
| En poids..... | 0,69 | 6,36 | 3,19 | |
| Comme combustible.... | 12,59 | 9,04 | 4,66 | |
| Au point de vue du rendement en gaz..... | 22,93 | 16,22 | 14,24 | |

Les charbons étaient en tas et exposés en plein air. On a constaté que les modifications étaient plus rapides dans les premiers temps et favorisées par l'humidité et l'action du soleil. Il se produisait une sorte de combustion lente avec dégagement de chaleur.

En poussant plus loin l'étude de ces phénomènes, certains ingénieurs ont pensé que la matière bitumi-

neuse était seule atteinte par l'action de l'air humide ; ils ont basé cette opinion sur les pertes plus grandes et plus rapides éprouvées par les charbons gras. D'autres sont allés plus loin et ont fourni une explication du phénomène : ils prétendent que la houille condense dans ses pores une quantité d'air très notable et qu'il se produit alors des combinaisons de carbone et d'hydrogène avec l'oxygène atmosphérique ; et, comme les houilles schisteuses sont les plus attaquées, ils rendent compte de cette action plus intense, en faisant observer que le fendillement des morceaux fournit au contact de l'air une surface plus grande. Cette théorie n'est pas sans apparence de raison, car si l'on fait bouillir, séparément et dans l'eau, de la houille fraîche et de la houille ancienne, cette dernière laissera dégager une plus grande quantité d'azote que la première. La houille étant de même qualité, l'azote en excès ne peut provenir que de la condensation de l'air dans les pores.

Quoi qu'il en soit, le fait existe et les directeurs d'usine doivent en tenir compte en évitant d'employer des charbons trop anciens.

ÉCHAUFFEMENT DES HOUILLES

Sous l'influence de l'humidité certains charbons mis en tas sont sujets à s'échauffer et à prendre feu. Le phénomène est dû à la présence des pyrites de fer qui, sous l'action de l'humidité, s'oxydent avec un dégagement de chaleur suffisant pour produire l'inflammation.

Un charbon qui a subi l'échauffement a perdu les $\frac{2}{3}$ et quelquefois les $\frac{3}{4}$ de sa valeur ; il importe donc de n'entasser jamais sous une certaine épaisseur les houilles pyriteuses mouillées.

CHAPITRE II

APPAREILS DE DISTILLATION

FOURS

Définition. — On désigne sous le nom de fours une enceinte renfermant un certain nombre de cornues chauffées par un même foyer.

On peut classer les fours en trois catégories suivant que le chauffage s'y fait par un combustible *solide*, *liquide* ou *gazeux*. Dans chacune d'elles on fait ensuite une subdivision naturelle basée sur le nombre de cornues renfermées dans l'enceinte et on distingue les fours à 1, 2, 3..., jusqu'à 12 cornues. Ceux qu'on emploie le plus fréquemment sont à

- 3, 5 et 7 cornues pour les petites usines;
- 5 et 7 pour les moyennes;
- 7, 9 et 12 pour les grandes.

En général, le four à six cornues est réservé en France au chauffage au goudron, tandis qu'en Allemagne on l'emploie pour le chauffage ordinaire aussi fréquemment que le four à 7 cornues. On peut admettre que, toutes proportions gardées, les fours renfermant un grand nombre de cornues sont les plus économiques à chauffer pour la réalisation d'un même travail.

Matériaux. — Les maçonneries doivent être en briques réfractaires pour toutes les parties qui subissent le contact des flammes : on peut évaluer très approximativement la température qu'elles supportent à 1300° ou 1400°; ces chiffres fixeront l'ingénieur sur le choix des matériaux. La construction doit être établie de façon à permettre un renouvellement partiel, suivant l'état de destruction des diverses parties.

Durée. — Généralement la voûte dure de quinze à vingt-cinq ans; les carreaux de départ et la maçonnerie qui les entourent servent deux ou trois ans; quant au foyer, il a besoin d'être remonté plus souvent et ne peut durer plus de dix-huit mois. Ces chiffres sont des moyennes variant avec l'intensité et le système de chauffage.

Construction. — Les résultats ci-dessus ne peuvent s'obtenir qu'avec un choix scrupuleux des matériaux et des soins intelligents dans leur emploi; les briques doivent être employées propres et débarrassées de toute poussière; le croisement des joints est indispensable, et l'épaisseur de ceux-ci doit être réduite au minimum. Le mortier doit être aussi réfractaire que les briques, ne pas se contracter ou se dilater au feu et bien adhérer aux maçonneries.

Composition du mortier. — Le mortier se compose ordinairement comme il suit:

| | |
|--|-----|
| Terre réfractaire non cuite.. | 2/3 |
| — cuite (dite ciment)... | 1/3 |
| Eau suffisante pour obtenir une pâte fluide. | |

La terre cuite est utile pour diminuer le retrait de la

terre crue; mais il ne faut pas en exagérer la proportion, si l'on veut obtenir un corps suffisamment liant; on l'emploie à l'état sablonneux plus ou moins grossier, mais dans tous les cas elle doit être exempte de graphite.

Distance des cornues à la voûte. — Certains directeurs rapprochent souvent les cornues de la voûte et de ses piédroits, ou bien réduisent l'espace libre entre deux cornues; ils espèrent de cette façon réduire la dépense de combustible, ou, mieux, utiliser l'espace dont ils disposent.

C'est une erreur, puisqu'on n'arrive, de cette façon, qu'à forcer la vitesse des gaz, et par suite, à réduire la durée du contact entre les flammes et les cornues. Le calcul de la vitesse des flammes, qu'on trouvera plus loin, montre que cette vitesse est inversement proportionnelle au carré des sections. La vitesse des gaz chauds doit, dans le four, rester dans les limites de 3 à 4 mètres.

Il est bon de laisser en moyenne 10 à 15 centimètres entre deux cornues, ou bien entre une cornue et la voûte. En exagérant ces dimensions, on tomberait dans un excès également nuisible, puisqu'on augmenterait le volume du massif, et par suite les pertes qui en dépendent.

Circulation des flammes. — Autrefois, les gaz pris à leur sortie du foyer étaient contraints de circuler sous les diverses cornues, à travers des carneaux convenablement disposés; on obtenait ainsi des différences très notables entre les températures, suivant l'éloignement du foyer. Il est vrai que cette disposition permettait de soutenir les cornues sur toute leur longueur, précaution

indispensable avec les anciennes cornues en fonte ou les premières cornues réfractaires. Aujourd'hui, les besoins ne sont plus les mêmes. On laisse les flammes s'élever librement dans l'axe du four, s'étaler au sommet de la voûte et redescendre en léchant les piédroits. On obtient ce résultat à l'aide des séparations étanchées convenablement, disposées entre les cornues. L'étanchéité doit être assurée pour éviter tout passage direct. Ce système de circulation assure un brassage complet des flammes à cause des élargissements et rétrécissements successifs de l'espace libre entre les cornues. La combustion se fait donc aussi bien que possible.

Sortie des gaz. — Les carneaux d'évacuation sont placés sous les cornues du bas vers la façade du four, de façon à ramener la chaleur vers la partie antérieure du four toujours la moins chaude.

Parois du four. — Nous verrons un peu plus loin qu'une perte de chaleur notable s'effectue à travers la maçonnerie ; on la réduit dans de certaines limites en augmentant les épaisseurs des parois, procédé fort simple, basé sur cette loi : que pour les mêmes matériaux la quantité de chaleur passant au travers les parois d'un mur, est inversement proportionnelle aux épaisseurs. En général, le mur de façade a une épaisseur minima de 25 centimètres. On doit à M. Letreust l'application d'un masque en maçonnerie dit *antiréfrigérant* qui permet, en atténuant la déperdition de la chaleur par la façade, d'obtenir une économie de 15 p. 100 sur le combustible. Une deuxième méthode pour la conservation de la chaleur des fours est basée sur l'influence de la conductibilité. On sait, en effet, que la

chaleur qui traverse différents corps dans un temps donné, est inversement proportionnelle à leur puissance calorifique. C'est dans ce but qu'on peut interposer entre les maçonneries de la voûte ou de la face une couche plus ou moins épaisse d'air ou de sable. Voici, d'après Péclet, quelques résultats relatifs à l'influence des couches d'air :

| | |
|--|------|
| La perte à travers un mur en briques d'une épaisseur donnée étant représentée par. | 1,00 |
| A travers la même épaisseur de briques, lorsqu'on y interpose 1 couche d'air, la perte est de..... | 0,91 |
| Quand on interpose 2 couches d'air, elle est de | 0,84 |
| — 3 — — | 0,78 |
| — 4 — — | 0,74 |
| — 9 — — | 0,53 |

En se basant sur les remarques précédentes, certains ingénieurs ont également proposé de faire les lampons de cornue, les portes du foyer, etc., à doubles parois, avec interposition d'un matelas d'air; cette pratique est peu suivie.

Un dernier moyen, qu'il faut toujours employer pour diminuer l'importance du rayonnement, est de grouper les fours en batteries en les appuyant à la fois dos à dos et côte à côte si la chose est possible. On arrive de la sorte à des économies de combustible atteignant 10 et 12 p. 100.

Nous verrons enfin qu'il est important de tenir compte des pertes possibles de chaleur par le contact des maçonneries avec le sol. Le plus souvent, ces pertes sont faciles à réduire pour l'établissement de fondations appropriées; mais, lorsque le terrain est humide, il faut avoir recours à des moyens spéciaux. On doit éta-

blir le captage des eaux à une profondeur suffisante et monter les batteries sur voûtes et piliers.

CORNUES ET ACCESSOIRES DES CORNUES

Au début, on employait exclusivement des cornues en fonte, dont la forme passa successivement du creuset ordinaire au moufle, d'où découle le type actuel. D'abord verticales, elles devinrent inclinées, et finalement horizontales. Après quelques essais, on adopta, pour les cornues, l'emploi de la terre réfractaire, qui se généralisa très vite lorsque les moyens furent trouvés de former les cornues d'une seule pièce; aujourd'hui, elles sont universellement adoptées à raison de leur prix avantageux, et de leur résistance plus grande aux températures élevées. L'avantage des cornues en terre réfractaire sur les cornues en fonte est de résister à de hautes températures sans fondre et de faire magasin de chaleur pendant la distillation. Leur prix est aujourd'hui de 100 francs la pièce environ. On fabrique les cornues avec un mélange de ciment (terre réfractaire cuite) et d'argile réfractaire crue ayant peu de retrait et exempt de fer et de chaux. Le ciment est obtenu par le broyage grossier de briques réfractaires ou de morceaux de cornues. Après le tamisage, la partie fine ou légèrement grenue est mélangée à l'argile dans la proportion de 1/3 environ. Depuis quelques années, on revêt intérieurement la cornue d'un enduit vitrifiable, qui assure leur étanchéité. Dans ces conditions, on obtient des produits de qualité remarquable, pouvant résister 18 et 36 mois, et quelquefois davantage, à l'action du feu.

Les formes et dimensions des cornues varient d'une usine à l'autre, toutefois la forme ovale est, avec celle de D, la plus répandue. Les dimensions varient dans les limites suivantes :

| | |
|-----------------------|-------------|
| Largeur de l'œuvre... | 0,50 à 0,64 |
| Hauteur — | 0,30 à 0,45 |
| Longueur — | 2,50 à 3,00 |
| Épaisseur des parois. | 0,05 à 0,06 |

Tampons. — On les fait le plus souvent en tôle emboutie, aussi légers que possible. Le lutage s'obtient à l'aide d'un mortier à base de chaux ou d'argile : toutefois il existe des tampons sans lut dont l'emploi tend à se généraliser. Citons les tampons sans lut Giroud, Rouget, etc... Le serrage du tampon contre la cornue se fait généralement à l'aide d'une vis à écrou fixe ou d'un boulon excentré.

Montage des cornues. — La distance qu'on doit laisser entre deux cornues et entre une cornue et la voûte a déjà été indiquée précédemment. Il suffit d'ajouter les quelques règles suivantes pour le montage des cornues :

1° Eviter de faire dépasser les têtes des cornues sur la façade du four; en raison du poids toujours assez grand des têtes de fonte et des colonnes montantes, on aurait lieu de craindre une rupture par cisaillement;

2° Laisser un certain jeu entre la cornue et le mur de face pour faciliter la dilatation et ne boucher ce joint que lorsque le four est en marche;

3° Disposer les maçonneries de façon que les cornues du bas aient leur sole à 60 centimètres au moins du dallage des ateliers.

Tête de fonte. — Elle doit être aussi légère que pos-

sible et fixée à la cornue par des boulons assez forts et en nombre assez grand. En appelant P le poids de la tête et de la colonne montante on aura pour calculer le diamètre et le nombre de boulons les formules :

- (1) $P = n p.$ $n =$ nombre de boulons.
 (2) $p = 2,5 d.$ $p =$ poids supporté par chaque boulon.

Le diamètre doit être limité à 2 ou 3 centimètres, afin qu'on ne soit pas obligé d'affaiblir la cornue en y pratiquant des entailles trop grosses. On pratique sur les cornues pour loger les boulons diverses sortes de trous : le trou français est très employé ; mais il demande dans sa confection beaucoup de soins et de surveillance. Le trou parisien facilite le montage, mais fatigue la cornue ; le trou belge est incontestablement le meilleur. Voici la composition de trois des principaux mastics employés pour réunir la tête de fonte à la cornue :

| | | | |
|----|---|--|-----------------------|
| 1° | { | Argile réfractaire | 3 volumes. |
| | | Briques pulvérisées | 5 — |
| | | Limaillerie de fonte | 2 — |
| | | Eau suffisante pour produire un mortier. | |
| 2° | { | Argile réfractaire | 2 parties en poids. |
| | | Tournure de fonte | 7 — |
| | | Eau pour produire un mortier. | |
| 3° | { | Plâtre | 20 parties en volume. |
| | | Argile | 20 — |
| | | Limaillerie de fonte | 20 — |
| | | Eau | 40 — |

Colonnes montantes. — Elles doivent avoir un diamètre suffisant pour livrer aux gaz de la cornue un passage facile : en général, le diamètre varie entre 13 et 16 centimètres. Le diamètre des tuyaux montants peut se déterminer ainsi : supposant que la cornue reçoive 110 à 115 kilogr. de houille par charge de

cornue et que la distillation dure cinq heures, on produira en moyenne 3 à 4 litres par seconde, qui représentent à 400° un volume de 4 à 5 litres. La section du tuyau se déduit de la formule :

$$\omega V = Q.$$

dans laquelle V représente la vitesse des gaz en mètres par seconde et Q le volume des gaz écoulés dans le même temps. On trouve de cette façon qu'il faut employer des diamètres variant de 8 à 10 centimètres en prenant pour V la valeur de 0,50 par seconde.

Il ne faut pas, en effet, compter sur une trop grande vitesse, sans cela les pressions dans la cornue seront trop élevées. Si on observe enfin que les tuyaux montants sont sujets à des obstructions, on comprendra la nécessité où l'on est de ne pas descendre pour leurs diamètres au-dessous de 12 à 13 centimètres.

Obstructions des colonnes. — On est ainsi conduit à examiner les causes qui déterminent les engorgements de ces tuyaux. Les gaz provenant de la distillation entraînent des hydrocarbures dont l'une des propriétés principales est de subir sous l'influence de la chaleur des décompositions multiples ; quelques-uns d'entre eux donnent naissance à des carbures très denses et souvent même à du carbone. Ces derniers éléments se déposent dans les colonnes et causent les obstructions.

La présence du carbone dans les gaz sortant de la cornue ne peut être mise en doute. M. Chevallet a démontré, par une expérience très simple, qu'il existe en proportion assez notable dans le goudron et dans les gaz.

Les dépôts sont favorisés, sans doute, par le refroidissement.

dissement momentané des tuyaux ; la transformation en brai s'effectue ensuite par le passage des gaz chauds au début des charges ou par suite de l'échauffement des colonnes pendant le délutage. Les cornues longues, profondes et hautes favorisent les obstructions, en augmentant l'importance des décompositions pyrogénées.

Il en résulte une augmentation de pression nuisible à tous les points de vue.

Plusieurs moyens ont été préconisés pour empêcher ces engorgements : refroidissement des colonnes contre les tampons, injection de vapeur anti-brai, etc. ; le plus simple et le plus efficace est le ramonage des colonnes à l'aide d'une sonde appropriée.

CHAPITRE III

APPAREILS DE CHAUFFAGE

Il nous reste à étudier la partie essentielle du four, c'est-à-dire l'appareil de chauffage. Nous considérerons trois cas suivant que le combustible est solide, liquide ou gazeux, et nous aurons à faire l'étude :

- 1° Des foyers à grille ;
- 2° Des foyers à sole pleine ;
- 3° Des foyers à gaz et des récupérateurs.

COMBUSTIBLES SOLIDES

Foyers à grille. — Lorsque le chauffage s'effectue par des combustibles solides, l'appareil de combustion est essentiellement formé d'une chambre rectangulaire à parois latérales verticales ou évasées, terminée en arrière par un mur ou autel, en avant par une porte de chargement. Le fond en est toujours constitué par une grille métallique.

Les foyers à grille peuvent brûler toutes sortes de solides, depuis les poussières jusqu'aux coques en gros morceaux. Ces appareils étant toujours le siège de hautes températures se détériorent facilement.

La construction du foyer doit être spécialement soignée pour résister à l'action violente du feu et aux

variations de température produites par les chargements et les décrassages de la grille. Cette dernière opération amène aussi des ébranlements redoutables dans les maçonneries.

Petite voûte. — Le foyer est ordinairement surmonté d'une voûte en briques placée à 0^m, 60 au-dessus de la grille et percée sur toute la longueur de ses pieds-droits de carneaux livrant passage aux flammes. Supprimée par quelques praticiens, elle est cependant utile pour protéger la cornue du milieu contre le feu et les variations de température ; d'un autre côté, le passage des gaz dans les ouvertures des pieds-droits favorise leur brassage, augmente la rapidité de la combustion et assure son intégrité.

Autel. — Banquette. — La grille se termine ordinairement vers l'arrière au pied d'une saillie plus ou moins grande, constituant l'autel ; elle se continue jusqu'au mur du fond par un plan légèrement incliné, quelquefois même horizontal. Ce plan ou banquette sert à recevoir le feu pendant l'opération des décrassages et faciliter la marche des flammes vers l'arrière du four.

Matériaux de construction. — En raison du travail pénible que doit supporter cette partie du four, on a résolu de la construire en blocs spéciaux et de qualité supérieure. On arrive de cette façon à obtenir des maçonneries aussi homogènes que possible renfermant un minimum de joints et pouvant durer assez longtemps. Toutefois, il serait désavantageux d'exagérer les dimensions des blocs, et de dépasser les limites

pour lesquelles leur cuisson en fabrique ou leur confection est suffisamment assurée.

Grille. — La grille est constituée par quatre ou six barreaux séparément amovibles et reposant ordinairement sur des sommiers en fonte. Elle est inclinée souvent de l'avant à l'arrière pour faciliter le chargement et la surveillance du feu ; dans ce cas, le sommier arrière est de 8 à 15 centimètres plus bas que celui d'avant. Les barreaux sont en fonte ou en fer, carrés ou présentant la forme du solide d'égale résistance ; dans ce dernier cas, on leur donne les dimensions qui varient dans les limites suivantes :

| | |
|------------------------|-----------------|
| Largeur..... | 0,03 à 0,06 cm. |
| Longueur..... | 0,70 à 1,00 |
| Hauteur au milieu..... | 0,030 à 0,040 |
| — aux extrémités. | 0,020 à 0,030 |

Les barreaux carrés ont de 3 à 6 centimètres de côté. On en trouve quelquefois de ronds avec les mêmes dimensions comme diamètre.

L'espacement des barreaux varie, suivant l'état plus ou moins grenu du combustible, depuis 0,010 à 0,040. En moyenne, on peut compter pour le chauffage au coke tout venant sur un écartement de 25 à 30 millimètres.

Surface de la grille. — Il existe peu de données sur cette question et pour des fours de même importance on trouve des surfaces variant du simple au double.

Néanmoins, en comparant les types les plus répandus, on peut admettre qu'il faut de 0^m,0065 à 0^m,0075 par kilo de combustible brûlé par heure. En France, on tend à adopter les surfaces les plus grandes et on arrive même à 0^m,0080 par kilo et heure.

Voici quelques renseignements pratiques à ce sujet.

En général, les barreaux ont $1/3$ à $1/4$ de la longueur des cornues, soit de 0,60 à 1, ils sont espacés de 0,03 à 0,04 pour le coke tout venant, et ont une épaisseur de 13 à 30 centimètres ; la largeur de la grille varie entre 0,25 et 0,50.

On trouve ordinairement, pour la surface de la grille, les valeurs suivantes :

| 0 ^m q12 à 0 ^m q13 | pour four à 1 cornue. | |
|---|-----------------------|-----|
| 0, 14 à 0, 16 | — | 2 — |
| 0, 17 à 0, 19 | — | 3 — |
| 0, 19 à 0, 21 | — | 5 — |
| 0, 21 à 0, 23 | — | 6 — |
| 0, 23 à 0, 27 | — | 7 — |

M d'Hurcourt conseille de prendre 1^mq par 100 ou 120 kilos de combustible brûlé par heure ; W. Richard propose 0,01, dans les mêmes conditions.

Ces chiffres dépendent d'ailleurs de l'importance des vides de la grille, de telle sorte qu'ils ne sont que relatifs : plus la grille accepte d'air, moins sa surface doit être grande.

Il faut, en outre, faire intervenir la nature du combustible, sa pureté, son état, etc. Il est bon de savoir que les grilles trop étroites usent davantage le foyer, et que les grilles trop larges sont difficiles à décrasser.

Vitesse de l'air à l'entrée sous la grille. — On l'obtient par la formule approchée.

$$V = \frac{P A}{S}$$

P = poids du combustible brûlé par heure. }

S = section des vides de la grille. }

A = 15 à 18 kilos d'air par kilog. de combustible brûlé.

V doit varier entre 1^m,00 et 1^m,50 et qui permet de calculer S. Les vitesses précédentes répondent à une dépression dans le foyer de 4 à 7^{mm} d'eau.

Consommation de combustible dans les foyers à grille. Chauffage au coke. — Dans le chauffage au coke on compte par tonnes de houille distillée sur une dépense par vingt-quatre heures de :

| Kilog. | | Cornues | Hectos. | |
|---------------|------------------|---------|---------------------------------------|---|
| 1,000 à 1,200 | pour les fours à | 7, | soit 25 à 30 de coke à 40 kg. l'hect. | |
| 900 à 1,100 | — | 6 | 22 à 24 | — |
| 700 à 900 | — | 5 | 18 à 22 | — |
| 600 à 700 | — | 3 | 15 à 18 | — |
| 490 à 600 | — | 2 | 12 à 15 | — |

La consommation du coke avec les foyers à grille varie entre 200 et 220 kilogrammes, soit 5 hectolitres et 5 hectol. 5 pour la distillation de 1,000 kilogrammes de houille. Certains directeurs prétendent être descendus à 180 kilogrammes. Dans les petites usines où les cornues distillent par vingt-quatre heures quelquefois moins de 400 kilogrammes, on peut atteindre pour la distillation une proportion de coke de chauffage allant jusqu'à 40 p. 100 du poids de houille distillée.

Chauffage à la houille. — Dans le chauffage à la houille, on peut compter en moyenne sur l'emploi de 150 à 200 kilogrammes par tonne distillée. D'ailleurs, à cause de son prix, ce mode de chauffage peut être rarement employé, on a recours le plus ordinairement à un mélange de charbon et de poussière de coke, et quelquefois à de l'aggloméré formé des deux éléments précédents et de brai, ou de goudron.

Chauffage aux agglomérés. — Le chauffage par les agglomérés s'est fait à la Compagnie Parisienne sur une vaste échelle. Le combustible était ainsi composé :

| | |
|------------------------------|------------|
| Charbon de Bonne-Espérance.. | 80 p. 100. |
| Poussier de coke..... | 12 — |
| Brai..... | 8 — |

Il était employé sous forme de briquettes et brûlé dans les fours à sept cornues avec la surface de grille ordinaire $0,45 \times 0,90$.

Voici le résultat d'essais faits à Vaugirard en 1876 par M. Letreust.

Huit fours à sept cornues ont marché du 29 mai (6 heures du matin) au 7 juillet (6 heures du soir).

| | | | |
|--|---|---|--------------------|
| Charbon distillé | { | En totalité..... | 1,514,800 k. |
| | | Par four et en 4 h. (jours ordin.)..... | 800 |
| | | — et en 4 h. 48 (dimanche).... | 950 |
| | | Par cornue et par jour..... | 684 |
| Agglomérés brûlés | { | En totalité..... | 372,265 k. |
| | | Par jour et par four..... | 1,178 |
| | | Par tonne de charbon distillé.. | 245 |
| Température des cornues (moyenne de 40 essais dans chacun des huit fours). | | | 1179° |
| Tirage sur les cornues du bas..... | | | 10 mm. |
| Surface de la grille..... | | | 0m ^q 40 |

Cadre et porte du foyer.— Le cadre et les portes du foyer sont en fonte, avec ou sans circulation d'air. La porte, le plus souvent, est doublée intérieurement de briques réfractaires. Les portes du cendrier doivent être perforées.

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------|-------------|
| Dimension des portes du foyer | { | Hauteur = | 0,25 à 0,37 |
| | | Largeur = | 0,30 à 0,35 |
| Porte du cendrier..... | { | Hauteur = | 0,20 à 0,30 |
| | | Largeur = | 0,30 à 0,35 |

La hauteur du seuil de la porte du foyer est en général de 0^m 25 au minimum et 0^m 35 au maximum au-dessus du sol de l'atelier.

Cuvette.— La cuvette ou bêche placée sous la grille doit avoir une profondeur de 0^m,18 au minimum. Elle doit toujours contenir de l'eau. Son rôle est de

recevoir les escarbilles, de fournir de la vapeur qui refroidit les barreaux et facilite la combustion ; de réfléchir enfin la surface de la grille et de renseigner ainsi le chauffeur sur l'état du foyer.

Opérations au foyer, chargements. — On doit charger le combustible à intervalles réguliers et toujours en quantité convenable sans exagération. La hauteur sur la grille varie entre 0^m,20 et 0^m,40. Il ne faut pas l'exagérer outre mesure, sans cela on produirait de l'oxyde de carbone, ce qui constitue une perte d'environ deux tiers du calorique. Ce fait est facile à établir. En effet, 1 kilogramme de carbone brûlant en acide carbonique dégage 8,080 calories ; il n'en dégage plus que 2,473 s'il brûle en oxyde de carbone. La différence représente la perte.

M. Letreust emploie dans son usine d'Amiens une disposition ingénieuse qui assure la combustion complète. Il prend de l'air sur le devant du four, le fait circuler dans le cadre de la porte et le conduit à travers les pieds-droits du foyer au-dessus du combustible. Cet air aide à la conservation des matériaux en les refroidissant et il produit en se mélangeant aux gaz un brassage qui assure la combustion de l'oxyde de carbone.

Le chargement s'opère, suivant les cas, toutes les heures ou toutes les deux heures.

Piquage, décrassage. — Le piquage se fait en dessous de la grille avec un crochet, ou en dessus avec une pince. Il a pour effet de débarrasser les barreaux du mâchefer qui empêche l'arrivée de l'air, et occasionne leur échauffement au détriment de leur durée. Cette opération se fait aussi souvent que l'exige la nature du

combustible, de façon que la grille soit toujours claire et que le feu soit bien réfléchi dans l'eau du cendrier.

Le décrassage se fait une ou deux heures avant la charge, et de une à quatre fois par vingt-quatre heures; il doit être fait complètement et le plus vite possible, afin de restreindre le refroidissement du four. Dans aucun cas le piquage ne peut en tenir lieu. Celui-ci se borne à soulever et détacher le mâchefer; celui-là doit avoir pour but de l'enlever du foyer. Quand plusieurs fours sont attelés sur une même cheminée, toutes les opérations nécessaires à la bonne conduite du feu doivent se faire simultanément et avec rapidité. Il est important qu'elles soient simultanées, parce que l'air appelé par la cheminée pendant l'opération se répartira entre les différents fours et les refroidira évidemment moins que si cette même quantité passait à travers un seul foyer.

CHAUFFAGE PAR LES LIQUIDES

FOYERS A SOLE PLEINE

Les foyers à sole pleine servent dans le cas du chauffage par les liquides (goudron, huiles lourdes). Ils sont spéciaux, ou seulement appropriés à la nature du combustible. Au premier genre appartiennent les foyers Letreust, Alleau, etc.; aux seconds appartiennent les foyers ordinaires, dans lesquels la grille est simplement recouverte d'une maçonnerie de briques. Dans l'un et l'autre cas les portes sont supprimées ou condamnées; elles sont remplacées par des ouvertures convenables, amenant, les unes, le comburant; les autres, le combustible.

Nous nous occuperons exclusivement dans ce livre du chauffage des fours par le goudron.

Dépense de goudron. — Voici les résultats obtenus à Vaugirard par M. Letreust :

| | | | |
|---|---|------------------------------|----------------------|
| Charbon distillé. | { | En totalité..... | 19,259,200 k. |
| | | Par cornue..... | 401,233 |
| | | Par cornue et par jour.... | 923 |
| Goudron brûlé.. | { | En totalité..... | 2,343,750 k. |
| | | Par four et par jour., | 675 |
| | | P. 100 du charbon distillé.. | 12,17 |
| Gaz produit par 100 kil. de charbon distillé..... | | | 29 ^m q03. |
| — par cornue et par jour..... | | | 268, 40. |
| Durée de la marche des cornues | | | 434 jours. |

Huit fours à sept cornues ont marché pendant 434 jours en totalité avec un arrêt dans l'intervalle.

Au moment de l'arrêt, les cornues étaient encore bonnes pour fournir un plus long service. Des chiffres ci-dessus il résulte que 12 litres de goudron remplacent pour le chauffage 50 litres de coke, ou bien, en considérant les poids, que 100 kilos de goudron valent 200 kilos de coke.

On peut évaluer par ces considérations la valeur qu'on fait prendre à ce produit en l'utilisant dans les fours. A Paris, on est arrivé à lui donner une valeur de 35 francs la tonne, le coke se vendant à la même époque à raison de 25 francs. Pour une autre localité, on aurait, en appelant A le prix de 1,000 kilogrammes du coke :

$$x = A \times \frac{35}{25}$$

Avec les appareils pulvérisateurs employés depuis quelque temps, on regarde la dépense de 90 kilogrammes de goudron par tonne de houille distillée comme une moyenne facile à atteindre.

Voici d'ailleurs les résultats obtenus jusqu'à ce jour par

| | | | | |
|-------------|----------------|---------------------------------------|---|---|
| M. Lemerle | 11k.62 p. 100, | plus 1,200 litres de vapeur par 24 h. | | |
| M. Dauge | 13.94 | — | — | — |
| M. Drory | 8 à 10 | — | — | — |
| M. Letreust | 12 à 17 | — | — | — |

En chauffant avec du goudron tombant sur du coke on dépense en goudron 15 p. 100 environ.

Alimentation du foyer. — Le goudron coule pur ou bien mélangé d'eau ou de vapeur ; le but de la vapeur d'eau est de faciliter la combustion. Le filet liquide doit être proportionné à la dépense du foyer et toute exagération est nuisible ; on règle l'écoulement par un robinet ou par des appareils spéciaux, tels que ceux indiqués par MM. Letreust, Rouget, Alleau. On a souvent reproché à ce mode de chauffage des interruptions dans l'écoulement du combustible : elles sont dues soit à des corps étrangers qui pénètrent dans le tuyau, soit à l'épaississement du goudron. Contrairement à une opinion autrefois très répandue, il est aujourd'hui prouvé qu'il est facile d'obtenir avec le goudron un chauffage régulier et sans fumée, que les coups de feu sont impossibles et que les cornues font un service assez long. On évite la fumée, c'est-à-dire la combustion incomplète, en donnant aux flammes du foyer le temps de s'oxyder. Il suffit de construire une chambre de combustion assez vaste. Les coups de feu sont uniquement dus à ce que les chauffeurs ont à leur disposition les moyens d'augmenter sans limite la quantité de goudron brûlé. La suppression de la cause supprimera l'effet, et on obtiendra des résultats analogues à ceux obtenus à Vaugirard.

Opérations au foyer. — Elles se bornent : 1° au piquage du champignon qui se fait sur la tôle; en le brisant, on assure la combustion, et on évite l'encombrement du foyer; 2° à un nettoyage plus ou moins fréquent de la cuillère à goudron, afin de prévenir les arrêts dans l'alimentation. La conduite du feu est donc assez simple, ce qui explique la faveur accordée par les ouvriers à ce mode de chauffage.

CHAUFFAGE PAR LES GAZ

APPAREILS DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DES GAZ

Les appareils employés dans le chauffage par les gaz se divisent en 3 groupes : 1° l'appareil de production au gazogène; 2° l'appareil d'utilisation au foyer; 3° le récupérateur.

Gazogènes. — On désigne sous ce nom une chambre en maçonnerie, dans laquelle s'effectue la transformation du combustible solide (on pourrait aussi employer des liquides) en combustible gazeux. Pour leur construction, il n'y a rien de particulier à dire, sinon qu'il convient d'y apporter les mêmes soins et d'y suivre les mêmes règles que pour les maçonneries du four.

Emplacement des gazogènes. — Au début, le gazogène était notablement éloigné du four (système Siemens primitif). On a reconnu bientôt l'avantage de le rapprocher des batteries, et aujourd'hui on semble d'accord pour l'établir au-dessous des fours, en avant ou en arrière du massif, et même, quand cela est possible, sous la chambre de combustion. De cette manière, on

facilite le service et la surveillance de l'appareil, on introduit les gaz dans le foyer avec leur chaleur de formation, et comme ceux-ci tendent à monter naturellement dans le four en vertu de leur température, on peut marcher avec moins de tirage. Il résulte de ce dernier fait un avantage remarquable, c'est qu'il est possible d'obtenir des gaz moins chargés d'acide carbonique. En effet, en diminuant le tirage, on diminue les rentrées d'air dans le canal distributeur et, par suite, on évite la transformation partielle de l'oxyde de carbone en acide carbonique. Les gazogènes sont à grille ou à fente, avec ou sans injection d'eau ou de vapeur; ils fonctionnent avec de l'air froid ou de l'air chauffé, introduit sous pression (ce qui est assez rare), ou par simple appel.

Formes et dimensions. — Ils sont généralement rectangulaires ou en tronc de pyramide. Leurs dimensions varient suivant le travail qu'on leur demande. La section de l'appareil varie entre 1 et 2 mètres carrés. L'épaisseur des maçonneries atteint en général une et demie à deux briques; la couverture intérieure est en briques réfractaires.

La section des générateurs varie entre 0^m,50 et 1 mètre pour un seul four, l'accroissement du tirage permet d'augmenter la production des gaz dans de vastes limites. Pour une variation de tirage entre 4/10 de millimètre et 13 millimètres, le poids du coke brûlé peut aller de 1,000 à 3,000 kilogr., avec une surface de grille ayant 0^mq,80.

Chargement et opérations au foyer. — On charge le combustible toutes les quatre heures au maximum,

toutes les douze heures au minimum. La couche de combustible doit être supérieure à 0^m,50; elle varie ordinairement entre 0^m,75 et 1 mètre. Quand on dépasse la limite inférieure de 0^m,50 et qu'on tombe au-dessous, il se produit de l'acide carbonique en quantité d'autant plus grande que le tirage est plus énergique. Les chargements s'effectuent par des trémies ou gueulards. Les opérations au foyer ne diffèrent pas de celles indiquées pour le chauffage par les solides. Toutefois, les décrassages sont moins fréquents, et peuvent, dans quelques cas, être supprimés (gazogène à fente). Il arrive quelquefois, que la descente des combustibles est arrêtée par la formation d'empâtements; on les détruit à l'aide d'un piquage effectué par des regards spéciaux. Cet accident est dû à la nature du coke.

Canal de distribution. — Les gaz produits dans le générateur sont recueillis à leur sortie et dirigés aux brûleurs par un canal en maçonnerie ou en métal (gazogènes sous le four, gazogènes éloignés du four). Celui-ci doit être étanche pour éviter les rentrées d'air, dont les inconvénients ont déjà été signalés. Il doit enfin être suffisamment large (voir le calcul des carneaux), et présenter le moins de coudes brusques, afin d'éviter les pertes de pression; le plus souvent, les difficultés de conduite pour les fours à gaz tiennent au canal distributeur. La pression des gaz s'y trouvant très faible (quelques millimètres d'eau seulement), il est difficile de répartir également le combustible aux différents brûleurs. C'était même pour corriger cet inconvénient, qu'on fit des essais avec les générateurs soufflés donnant des pressions égales à quelques centimètres d'eau.

On les a abandonnés parce que la conduite du feu dans le gazogène était trop délicate. Il se fait dans le canal de distribution des dépôts siliceux et charbonnés d'autant moins importants que la température est plus élevée dans les gazogènes Siemens (éloignés du four); il peut se produire, en outre, des dépôts goudronneux (gazogène à la houille), qui diminuent la richesse des gaz combustibles.

La section du canal de distribution se calcule d'après le volume des gaz brûlés, à débiter par 1" on admet la vitesse moyenne de 1 mètre pour les fumées. En général pour un four à sept cornues, on donne une section de 0^{m. q.},10 et on va jusqu'à 0^{m. q.},25 pour une batterie à deux fours. L'importance du canal de distribution est notablement diminuée avec les gazogènes en sous-sol; dans ce cas, en effet, la longueur du canal est considérablement réduite.

Carneaux d'air. — Leur disposition étant variable, il suffit de dire que pour la section elle se détermine en calculant le volume d'air à fournir à la température de 100 à 200° pour brûler les gaz apportés dans le four par le générateur. La vitesse de l'air doit être prise égale à 1 mètre.

APPAREILS D'UTILISATION DES GAZ

1° **Brûleurs.** — Le brûleur est constitué par une série de fentes percées dans des blocs très réfractaires et laissant échapper les unes l'air, les autres le gaz. Ces fentes sont disposées en rangées vers le milieu du four ou vers les côtés: les dispositions varient suivant le système. Les jets gazeux sont plus ou moins inclinés entre

eux, de façon à produire plus ou moins rapidement le mélange du combustible et du comburant. Il n'existe pas encore d'expériences concluantes sur l'importance de cette inclinaison au point de vue du résultat final, et chaque constructeur a ses préférences; de même, on ne paraît pas encore fixé sur les sections les plus convenables pour l'écoulement des gaz, les opinions varient également sur la vitesse la plus convenable à donner aux jets. Jusqu'à présent, les sections varient entre 300 et 500 centimètres carrés; les vitesses sont le plus souvent dues à des pressions de 2 à 3 millimètres.

2° Récupérateurs. — Les récupérateurs sont des chambres en briques ou poteries réfractaires. Ils servent à l'échauffement de l'air et des gaz (Siemens primitif), ou simplement à l'échauffement de l'air (gazo-gènes nouveaux). Mais il faut savoir qu'ils n'arrêtent que 30 p. 100 de la chaleur des fumées (Ponsard et Lencauchez).

M. Lencauchez a donné la formule pratique suivante pour déterminer la quantité de chaleur sur laquelle peut agir le récupérateur :

$$q = 0,666 \frac{t}{T} \frac{R}{Q}$$

t = température de l'air.

T = — des fumées.

Q = Chaleur de la combustion.

R étant donné par la formule $R = \frac{Q - (Q' + Q'')}{Q}$

où Q' = la chaleur utilisée dans le foyer

et Q'' = la chaleur emportée dans la fumée à 200°.

L'air s'échauffe d'autant plus dans le récupérateur que les parois de ce dernier sont plus chaudes et la chaleur spécifique du fluide plus grande. A ce dernier

point de vue, on a avantage à employer les gazogènes avec la vapeur d'eau, mais il ne faut pas en exagérer la proportion. Ces récupérateurs se logent sous les fours, en dessous de la chambre de combustion ; ils sont à circulation intermittente ou à circulation continue. Dans le premier cas, ils sont dits à renversement de flammes (Siemens) ; dans le second, sans renversement (Ponsard, Lencauchez, Klœnne, etc.).

Avantages et inconvénients du renversement. —

Les valves du renversement ont pour but de faire servir alternativement les chambres du récupérateur, les unes à la sortie des flammes, les autres à la rentrée du gaz.

Par ce moyen on peut porter le feu, à intervalle régulier, de la droite à la gauche du four, et, par suite, maintenir la température plus égale dans toute l'enceinte. Les renversements peuvent s'effectuer aussi souvent que l'on veut, et il est évident que plus ils seront fréquents, plus sera constante la température de combustion. En général, ils sont faits toutes les heures.

Les inconvénients qui résultent de l'emploi des valves à renversement sont de trois sortes : d'abord elles exigent une manœuvre supplémentaire et sont une petite complication du service ; ensuite, à chaque renversement, on perd le gaz combustible compris entre la valve et les brûleurs ; elles exigent enfin un plus grand volume d'emplages, ce qui occasionne de plus grandes dépenses.

Dépenses de combustibles dans les foyers à gazogène. — Nous verrons dans le chapitre suivant (*Calculs sur le chauffage par les gaz*) comment s'explique

l'économie de combustible obtenue par les gazogènes. Voici, quant à présent, les résultats fournis par la pratique avec le coke pour combustible :

TABLEAU
DES CONSOMMATIONS DE COKE POUR LES PRINCIPAUX GAZOGÈNES

| NATURE DES FOURS | CONSOMMATION DE COKE par 1000 kilos de houille distillée | |
|---------------------|---|------------|
| | Volumes | Poids |
| Four ordinaire..... | 5 hectol. 28 | 211 kilog. |
| » Siemens..... | 4 — 54 | 182 — |
| » Ponsard..... | 4 — 43 | 176 — |
| » Lencauchez..... | 4 — 32 | 173 — |
| » Kloenne..... | 3 — 37 | 135 — |
| » Munich..... | 2 — 87 | 113 — |
| » Liégel..... | 3 — 75 | 150 — |
| » Stettin..... | 4 — 75 | 190 — |
| » Munich..... | » | 110 — |
| » Vacherot..... | » | 170 — |
| » Didier..... | » | 110 — |

DISCUSSION DE L'ÉCONOMIE DE COMBUSTIBLE

En 1880, la Commission nommée au sujet du différend entre la ville de Paris et la Compagnie Parisienne, évaluait à 23 p. 100 l'économie de combustible produite par l'emploi des gazogènes ; ce qui représentait un abaissement de 0,0024 sur le prix de revient du mètre cube de gaz. Elle ajoutait que ce chiffre était un maximum et qu'on n'avait pas tenu compte de la moins-value présentée par le coke dont la friabilité se trouvait accrue. Si on rapproche ces résultats de ceux que l'on espérait au début, à savoir 40 ou 50 p. 100, il devient utile d'expliquer les différences.

Il faut d'abord remarquer que, si les chiffres 40 ou 50 p. 100 ont été obtenus dans certaines industries (métallurgie, verrerie) qui emploient les températures les plus élevées, dans la distillation de la houille, où les températures les plus hautes ne doivent pas dépasser 1,200 ou 1,400°, on n'a pas retiré des gazogènes tout ce qu'ils pouvaient produire et l'économie de combustible devait s'en trouver réduite. Toutefois, certains ingénieurs prétendent que les foyers à grille dans les fours à gaz étant mieux étudiés que certains foyers de verrerie ou d'usines métallurgiques, il était impossible de réaliser par l'emploi du Siemens les mêmes progrès dans des cas différents. Quoiqu'il en soit, on peut admettre aujourd'hui que dans les usines à gaz l'économie moyenne produite par l'emploi des gazogènes est de 22 à 25 p. 100. Mais si on considère l'excédent de dépenses occasionné par la construction de ces appareils (gazogène et récupérateur) et par la disposition spéciale des ateliers de distillation qui nécessitent deux étages, on se trouve forcé de reconnaître que l'économie de combustible réalisée est, le plus souvent, absorbée par l'intérêt à 6 p. 100 de la somme qui représente cet excédent. C'est le résultat obtenu par la Compagnie Parisienne qui évalue à 1,000 ou 1,200 fr. de plus par cornue les frais de construction inhérents à l'emploi des gaz. Il faut encore remarquer que la Compagnie Parisienne fabrique elle-même ces produits réfractaires, ce qui réduit notablement les frais de construction et de montage de four.

De ce qui précède on doit seulement conclure que, si tous les avantages du chauffage par les gaz résidaient dans l'économie prétendue du combustible, il faudrait y renoncer : heureusement il n'en est pas ainsi, et plu-

sieurs raisons militent en sa faveur. Aussi pour permettre à chacun de se faire suivant les cas une opinion sur l'emploi des gazogènes, il est utile de résumer rapidement les principaux avantages et inconvénients qui résultent de leur établissement.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS GÉNÉRAUX DU CHAUFFAGE PAR LES GAZ

Avantages. — 1° Economie de combustible (précédemment étudiée);

2° Possibilité d'employer au chauffage des fours des combustibles de qualité médiocre;

3° Réduction des pertes de chaleur par l'évacuation des fumées, car il suffit, pour assurer la combustion complète des gaz, d'employer un excès d'air égal à 20 p. 100 au maximum au lieu de 33 p. 100 au minimum, nécessaire avec les foyers ordinaires à grille;

4° Du fait précédent et de l'usage des récupérateurs, se déduit la possibilité d'obtenir des températures aussi élevées que possible;

5° Possibilité de régler l'intensité de la chaleur;

6° Constance à peu près parfaite des températures assurant la conservation du four et la régularité de la fabrication;

7° Absence de cendres dans les canaux et sur les cornues, ce qui accroît encore la durée de ces dernières;

8° Réduction de la main-d'œuvre et de la surveillance dans une certaine mesure.

Inconvénients. — 1° Dépenses considérables pour frais premiers d'installation et de disposition des ateliers, sauf exception pour le four Muller Eichelbrenner, et quelques autres;

- 2° Occupation d'un emplacement assez considérable;
- 3° Difficultés dans la distribution du gaz;
- 4 Dangers d'explosion au moment de l'allumage;
- 5° Chaleur considérable sous les pieds des ouvriers si l'on installe le gazogène à la place qu'il doit occuper de préférence.

Principaux types de gazogènes : 1° Siemens primitif.

— Le générateur était assez éloigné du four. A Vaugirard la distance était de 75 mètres. Les gaz étaient recueillis dans un tube collecteur en tôle qui traversait les cours à une certaine distance au-dessus du sol, se recourbait en siphon et les amenait au bas des récupérateurs. Cette conduite était encombrante, elle formait condenseur et on perdait ainsi les vapeurs combustibles retenues dans les gaz.

Cette perte insignifiante pour un gazogène alimenté de coke, serait notable avec un gazogène alimenté de houille.

Dans le trajet ces derniers perdaient leur chaleur de formation et cette perte était indispensable pour produire dans la conduite une contraction de volume qui formait un appel d'air sous la grille et donnait aux gaz dans la conduite la pression nécessaire pour entrer dans les empilages. L'emploi de l'eau au gazogène était très limité.

Le récupérateur était en briques pleines et à renversement; il servait à chauffer à la fois l'air et le gaz et son volume était énorme.

Siemens modifié. — Le gazogène est sous les fours et le récupérateur sert uniquement au chauffage de l'air. Le renversement est conservé. Les empilages des chambres sont toujours en briques pleines.

3° Ponsard, Lencauchez, Gaillard et Hailot, Kloenne, Liegel, etc. — Tous ces systèmes se rapprochent du Siemens modifié. Ils en diffèrent par la forme et la disposition des brûleurs et surtout par la construction des récupérateurs. Tous ont supprimé le renversement. Les chambres sont formées par des briques creuses (Ponsard) ou par des poteries (Lencauchez, Kloenne). Ils ont sur le Siemens l'avantage d'exiger moins de place, mais on leur reproche de ne pas donner des températures aussi égales et d'être compliqués dans la construction des chambres ; l'étanchéité des cloisons n'est pas parfaite. Les fours Schilling, Ponsard, Vacherot et Munich rentrent dans cette catégorie.

4° Four Muller et Eichelbrenner. — Le récupérateur est remplacé par des carnaux logés dans les maçonneries du four. Il est moins coûteux, plus simple et peut s'adapter facilement aux fours ordinaires. En revanche, il est moins puissant et moins économique pour le combustible que les systèmes précédents, il convient surtout aux petites et moyennes usines.

CARNEAUX. — REGISTRES. — REGARDS

Les carnaux doivent être *étanches*, suffisamment *larges*, sans *coudes brusques*, sans *rétrécissement* ou *élargissement* subits. Ces conditions répondent à une marche des gaz normale, sans trop grande vitesse, sans perte trop forte de pression. Il est préférable d'avoir des carnaux trop larges plutôt que trop étroits, car le passage des flammes est moins rapide, ce qui assure un bon chauffage avec un minimum de tirage.

Les registres doivent avoir une course suffisante pouvant donner en entier la section calculée des carneaux ; ils doivent être facilement abordables.

Les carneaux doivent pouvoir être nettoyés en cas d'obstruction ; on ménage donc aux points favorables des regards qui peuvent servir en outre à prendre les températures ou à mesurer le tirage. Des regards sont ménagés sur la façade du four et servent à constater son état intérieur.

Calcul des carneaux. — On peut compter en moyenne sur une section de $0^{\text{mq}},0014$ à $0^{\text{mq}},0018$. (M. d'Hurcourt indique même $0,0020$) par kilogramme de combustible brûlé par heure.

On peut aussi calculer la section ω des carneaux en se basant sur le poids des fumées débité par seconde. Soit Q le volume de ces fumées à la température de t

$$Q = Q_0 (1 + 0,00367 t)$$

Q_0 est le volume débité à 0° , il est donné d'une manière assez approchée par la formule

$$Q_0 = P \times A$$

P étant en kilogrammes le poids de combustible brûlé et A le volume d'air employé par kilogramme de combustible. $A = 15$ à 18 mètres cubes avec les combustibles solides, 2 à 3 mètres cubes avec les combustibles gazeux.

Finalement on trouve

$$Q = P A (1 + 0,00367 t)$$

Ce volume doit passer par le carneau de section ω à la vitesse V . Il en résulte qu'on a :

$$\omega = \frac{P A (1 + 0,00367 t)}{V}$$

S'il y a plusieurs carneaux d'écoulement on écrira :

$$n \omega = \frac{P A (1 + 0,00367 t)}{V}$$

en général $V = 8$ à 10^m ; $t = 1200^\circ$ en moyenne.

Rampant ou cheminée trainante. — Mêmes règles de construction que pour les carneaux, c'est-à-dire étanchéité, section suffisante, point de coudes brusques, etc. Le rampant se place derrière ou devant les fours — il reçoit les gaz brûlés par des conduits très inclinés ; c'est le moyen de faciliter les nettoyages.

La *section* du rampant Ω se détermine en fonctions de la section ω des carneaux par la formule

$$\Omega = n \omega$$

dans laquelle n est le nombre de carneaux desservis par le rampant.

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉNÉRALE DU CHAUFFAGE DES FOURS

PUISSANCE CALORIFIQUE

Définition. — On entend par puissance calorifique d'un corps le nombre de calories qui se dégagent dans la combustion *complète* de 1 kilogramme de ce corps. Il ne faut pas confondre la température de combustion avec la puissance calorifique, la première s'exprime en degrés, la seconde en calories, l'une dépend de la rapidité de la combustion, de la quantité de comburant employé, l'autre est indépendante de la durée de la combustion et ne varie qu'avec la nature du combustible.

Définition de la combustion. — Toute combustion est le résultat de la combinaison des éléments combustibles avec un élément nouveau appelé comburant ; le plus souvent, le comburant employé étant de l'oxygène, on peut définir la combustion : une oxydation de combustible. Cette oxydation ne commence qu'à une température déterminée ; dès que celle-ci est atteinte, il se produit un dégagement de chaleur qui reste constant pendant toute la durée du phénomène. L'accroissement de la température n'influe nullement sur l'intensité de

la combustion. On facilite l'oxydation du combustible en augmentant les surfaces du contact avec l'air et en fournissant aux deux éléments qui se combinent, la chaleur nécessaire au départ du phénomène.

Lois relatives aux puissances calorifiques. — 1° La chaleur produite par la combinaison de deux corps est toujours égale et de signe contraire à celle de leur décomposition ;

2° La puissance calorifique d'un corps est indépendante de la rapidité de la combustion ; de sorte que dans les limites où la combustion peut encore s'effectuer, elle reste indépendante de la pression, du comburant, de sa température et de la proportion d'oxygène qu'il contient (Depretz) ;

3° Elle est de même indépendante de la chaleur du combustible et de sa pression, s'il est gazeux (Dulong) ;

4° La chaleur dégagée par deux corps qui se combinent reste la même, que la combinaison ait lieu directement ou indirectement, à une ou plusieurs reprises (Hess) ;

5° La chaleur dégagée pendant la combustion d'un corps est égale à la somme algébrique des quantités de chaleur produites par l'oxydation du carbone et de l'hydrogène, ou absorbées par les travaux de décomposition et de volatilisation (Meyer).

Nous aurons à invoquer à plusieurs reprises la dernière partie de cette loi ; dans l'étude des procédés pratiques pour la détermination des puissances calorifiques. Sous le nom de travaux de décomposition, il faut entendre les travaux qu'exige le dédoublement des hydrocarbures contenus dans le combustible. Comme

travaux de volatilisation, on considérera tous ceux qui répondent à la transformation en vapeur des divers produits condensables.

Détermination des pouvoirs calorifiques : 1^o Méthode du calorimètre. — On fait brûler 1 kilogramme de combustible dans un calorimètre, on tient compte de l'imperfection de la combustion et on obtient directement la puissance calorifique cherchée. Cette méthode seule rigoureuse est très délicate et ne peut être employée qu'au laboratoire par des expérimentateurs habiles. Les expériences ont été faites sur les principaux corps par Lavoisier et Laplace, Depretz, Dulong, Clément Desormes, Favre et Silbermann, etc. Le tableau suivant donne les chiffres généralement admis pour les pouvoirs calorifiques des principaux corps.

Méthode de Dulong. — La méthode de Dulong repose sur la loi suivante : La chaleur dégagée par la combustion d'un corps est égale à la somme des quantités de chaleur dégagées par la combustion de ses éléments en ne tenant pas compte toutefois de la portion d'hydrogène, qui peut former de l'eau avec l'oxygène contenu dans le corps considéré.

D'après la loi de Hess, cette méthode n'est qu'approchée ; on admet en effet que tout l'oxygène est combiné avec de l'hydrogène sous forme d'eau et que l'excès de ce dernier gaz reste en mélange avec les autres éléments combustibles alors qu'il peut être (et cela est pour une certaine partie) en combinaison avec du carbone. Par la même raison, tout le carbone est supposé à l'état solide et on lui attribue le pouvoir calorifique de 8,080, alors qu'il est en partie gazeux,

TABLEAU DES PUISSANCES CALORIFIQUES DES PRINCIPAUX CORPS

| ÉQUIVALENT | COMBUSTIBLE | EXPÉRIMENTATEURS | PUISSANCE calorifique | TEMPÉRATURE maximum de combustion | OBSERVATIONS |
|------------|---|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 1 ^k d'hydrogène | Favre et Silbermann | 34462 calories | 2736° | l'eau est recueillie liquifiée. id. en vapeur. |
| » | id. | Péclet | 29312 | 4500° | |
| 6 | 1 ^k de C en CO | Favre et Silbermann | 2473 | 2715° | |
| 6 | id. id. CO ² | Id. | 8080 | 3000° | |
| 14 | id. CO en CO ² | Id. | 2403 | 1985° | |
| 6 | id. S en SO ² | Id. | 2240 | | |
| 32 | id. du Ph en PhO ³ | Lavoisier et Laplace | 2700 | | |
| 16 | id. C ² H ⁴ en CO ² + HO | Favre et Silbermann | 43063 | | PhO ³ anhydre. |
| 28 | 1 ^k de C ² H ⁴ | Id. | 41857 | | |
| 78 | id. de C ² H ⁶ | Calculé par formule Dulong. | 1529 | | |
| 26 | id. de C ³ H ² | Id. | 40110 | | |
| » | Gaz d'éclairage | Tresca? | 6000 | | |
| » | id. | Witz | 5164 | | |
| » | Alcool | Favre et Silbermann | 7184 | | |
| » | Blanc de baleine | Id. | 10342 | | Expériences récentes. |

c'est-à-dire combiné sous forme d'hydrocarbures et que, dans ce cas, son pouvoir calorifique est de 11,213 calories. On ne tient pas compte non plus des phénomènes de décomposition et de volatilisation.

MM. Scheurer-Kestner ont montré qu'en appliquant la règle de Dulong on obtient des résultats le plus souvent trop faibles de 3 à 8 p. 100, et au lieu de la formule (1) donnée par Dulong ils ont adopté la formule (2) ci-dessous où Q représente la puissance calorifique :

$$(1) \quad Q = 8.080 \times C + 34.462 \left(H - \frac{O}{8} \right) \text{ (formule de Dulong.)}$$

$$(2) \quad Q = 8.080 C + 34.462 H \text{ (formule de MM. Scheurer-Kestner.)}$$

M. Cornut a proposé récemment la formule suivante :

$$(3) \quad Q = 8080 C_r + 11.214 C_v + 34.462 H$$

où C_r représente le carbone fixe et C_v le carbone volatil.

REMARQUE. — Lorsque le combustible est gazeux, la loi de Dulong est d'une exactitude à peu près parfaite.

COMPARAISON DES POUVOIRS CALORIFIQUES DE CERTAINS CORPS DÉTERMINÉS DIRECTEMENT ET CALCULÉS PAR LA FORMULE (1)

| CORPS | PUISSANCES CALORIFIQUES | |
|------------------------------|-------------------------|--------------------|
| | Résultats d'expériences | Résultats calculés |
| Hydrogène protocarboné | 13,063 | 14,675 |
| — bicarboné | 11,857 | 11,849 |
| Esprit de bois..... | 5,307 | 5,184 |
| Alcool de vin | 7,183 | 7,212 |

REMARQUE I. — Lorsqu'on détermine par les formules ci-dessus les puissances calorifiques, il faut avoir soin

de tenir compte de la présence de l'eau dans le combustible. En effet, si A est le poids d'eau contenu dans 1 kilogramme du corps, les puissances calorifiques seront diminuées du nombre de calories nécessaire pour vaporiser à la température t de la combustion le poids d'eau A. Ce nombre de calories se déduit de la formule :

$$Q = A (606,5 + 0,303 t)$$

REMARQUE II. — Pour employer l'une ou l'autre des formules ci-dessus, il est indispensable de connaître exactement la composition élémentaire du combustible. Dans la pratique, ce cas est assez rare.

3° Procédé Berthier. — Le procédé Berthier est basé sur la loi suivante de Velter : « La puissance calorifique d'un corps est proportionnelle à la quantité d'oxygène absorbée dans sa combustion. »

Cette loi n'est qu'approchée, et elle donne des résultats d'autant plus faibles que le combustible renferme plus d'hydrocarbures. Par suite, avec les charbons gras on commet des erreurs notables. On suppose, en effet, que les éléments combustibles dégagent la même quantité de chaleur, qu'ils soient en mélange ou en combinaison, ce que nous savons être inexact d'après la loi de Hess. D'ailleurs, on a reconnu par des expériences directes que si 1 kilogramme d'oxygène est combiné avec différents corps, le nombre de calories dégagées n'est pas constant ; il oscille toutefois entre des limites assez restreintes. Exemple :

| | | |
|---|--------|----------------|
| 1 kilogr. d'oxygène combiné avec l'hydrogène en quantité voulue | dégage | 3625 calories. |
| — — carbone | 3030 | — |
| — — oxyde de carbone | 4023 | — |
| — — alcool | 3600 | — |

En résumé, la loi de Velter ne peut donner que des résultats approximatifs, mais qui suffisent cependant dans la pratique courante. D'un autre côté, la méthode de Berthier, dont elle est la base, est certainement la plus rapide et la plus simple pour les applications de l'industrie.

On mélange au combustible un excès de litharge (PbO) qui doit fournir l'oxygène nécessaire à la combustion. On introduit le tout dans le fond d'un creuset et on recouvre par du poussier de coke. On porte le creuset au rouge pendant un temps assez long, puis on recueille et on pèse le culot de plomb formé par la réduction de l'oxyde : soit p le poids de ce culot. On en déduit le pouvoir calorifique du combustible par la formule approchée.

$$Q = p \times 265 \text{ calories.}$$

Quantité d'air nécessaire à une combustion.—Il faut déterminer d'abord par l'analyse la composition du combustible. On obtient ensuite les quantités d'oxygène ou d'air nécessaires à la combustion à l'aide du tableau que nous donnons plus loin ; on ne tient pas compte de la portion d'hydrogène qui peut être brûlée par la totalité de l'oxygène libre (ou supposée libre) contenue dans le combustible.

Les calculs peuvent être faits en partant soit de la composition en poids, soit de la composition en volume. Notre tableau donne aussi les poids ou les volumes des produits de la combustion calculés pour la température de 0° et la pression de $0^m,760$. Pour les obtenir à la température ambiante ou à la température du foyer, il faut

multiplier les chiffres du tableau par le binôme de dilatation :

$$1 + 0,00367 t$$

t représentant l'une ou l'autre de ces températures, on fait rarement la correction relative à la pression.

REMARQUE. — Dans le tableau ci-contre, on a calculé le volume de carbone répondant à 1 kilogramme en adoptant pour densité de la vapeur de carbone le chiffre de 0,828. De sorte que le poids de 1 litre de vapeur est représenté par

$$0,828 \times 1,293 = 1,0706$$

Considérations sur les puissances calorifiques calculées ou absolues. — Les puissances calorifiques calculées comme il est indiqué ci-dessus sont absolument théoriques. Elles supposent en effet une combustion complète et la condensation de toutes les vapeurs contenues dans les fumées. En pratique, une combustion ne satisfait jamais à ces conditions. Certains éléments combustibles échappent toujours à l'oxydation et fort rarement les vapeurs sont condensées. Par suite, il sera prudent dans les divers calculs relatifs à l'utilisation d'un combustible de compter sur des puissances calorifiques pratiques inférieures à celles obtenues par la loi de Dulong ou le procédé Berthier. Dans le cas où on utiliserait les puissances calorifiques calculées ou absolues, il faudrait les multiplier par un coefficient de réduction.

TEMPÉRATURE DE COMBUSTION

On entend par température de combustion le nombre de degrés obtenus par l'oxydation d'un poids donné de

TABLEAUX POUR LES CALCULS DE COMBUSTION
1° TABLEAU RELATIF AUX POIDS DES ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES

| ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES | ÉQUIVALENT EN POIDS | | POIDS BRÛLÉ | COMBUSTION PAR L'OXYGÈNE | | COMBUSTION PAR L'AIR | |
|--------------------------|------------------------------------|-----------|----------------|--------------------------|----------|----------------------|----------|
| | combustible | oxygène | | oxygène | produits | air | produits |
| Carbone | C = 6 | 20 = 16 | 1k | 16 6 | 24667 | 14594 | 12594 |
| Id. | C = 6 | 0 = 8 | 1 | 6 6 | 1,333 | 5,797 | 6,797 |
| Oxyde de carbone | CO = 14 | 0 = 8 | 1 | 8 14 | 0,571 | 2,484 | 3,484 |
| Hydrogène | H = 1 | 0 = 8 | 1 | 8 1 | 8,000 | 34,784 | 35,784 |
| Hydr. bicarboné | C ² H ⁴ = 16 | 8 O = 64 | 1 | 64 16 | 4,000 | 17,392 | 18,392 |
| Hydr. protocarboné | C ⁴ H ⁴ = 28 | 12 O = 96 | 1 | 96 28 | 3,420 | 14,903 | 15,903 |

2° TABLEAU RELATIF AUX VOLUMES DES ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES

| ÉLÉMENTS COMBUSTIBLES | ÉQUIVALENT EN VOLUMES | | VOLUMES brûlés représentant à 1 kil. de combustible | COMBUSTION PAR L'OXYGÈNE | | COMBUSTION PAR L'AIR | |
|--------------------------|-----------------------|---------|---|--------------------------|----------|----------------------|----------|
| | combustible | oxygène | | oxygène | produits | air | produits |
| Carbone | 1 | 2 | 0,9325 | 1,865 | 8,9669 | 8,9669 | |
| Id. | 1 | 1 | 0,9325 | 0,9325 | 4,4834 | 5,4159 | |
| Oxyde de carbone | 2 | 1 | 0,7986 | 0,3993 | 1,9188 | 2,3181 | |
| Hydrogène | 2 | 1 | 11,700 | 5,855 | 2,6850 | 32,4551 | |
| Hydr. bicarboné | 1volC + 4volH | 4 | 1,3990 | 2,798 | 13,453 | 14,851 | |
| Hydr. protocarboné | 1volC + 2volH | 3 | 0,7896 | 2,3958 | 11,519 | 12,317 | |

combustible. Elle se calcule par les formules suivantes :

$$(1) T = \frac{P (ct + \alpha N) + P' c' t'}{p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots}$$

T = température cherchée.

P = poids en kilogr.

c = chaleur spécifique

t = température

N = puissance calorifique absolue

α = Coefficient tenant compte de l'imperfection de la combustion, des pertes de combustible par les escarbilles, phénomènes de dissociation, etc.; α varie de 0,85 à 0,95.

$c_1 c_2$ sont les chaleurs spécifiques des différents gaz contenus dans les fumées.

$p_1 p_2$ sont les poids respectifs correspondants.

P' = poids en kilogrammes

c' = chaleur spécifique

t' = température d'admission

} du combustible brûlé.

} du comburant.

VALEUR DE C_1 , C_2 POUR LES DIFFÉRENTS CORPS

Acide carbonique $C O_2 = 0,2164$

Vapeur d'eau $H O = 1,0132$ à 100°

— — — — — = $1,0262$ à 150°

— — — — — = $1,0440$ à 200°

Oxyde de carbone $CO = 0,2182$

Charbon $C = 0,4600$

Coke $C = 0,12120$

Air $O + Az = 0,2375$

Oxygène $O = 0,21751$

Azote $Az = 0,244$

Le terme αN n'est autre chose que la puissance calorifique absolue corrigée : c'est par conséquent la puissance calorifique pratique. Appelons-la N' et remplaçons chacun des termes $c_1 c_2 \dots$ par la chaleur spécifique γ ; le dénominateur $p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots$ deviendra $\gamma (p_1 + p_2 + \dots)$ et en désignant par π le poids total $p_1 p_2 + \dots$ des fumées on aura la formule approchée.

$$(2) T = \frac{P (ct + N') + P' c' t'}{\pi \gamma}$$

Si on suppose enfin que les températures d'introduction t et t' sont négligeables (température ambiante), la formule deviendra :

$$(3) \quad T = \frac{PN'}{\pi \gamma}$$

Nota. — Il peut être intéressant de mettre en évidence dans la formule des températures les poids d'air employés à la combustion. Or, soit A le poids d'air rigoureusement nécessaire à la combustion d'un kilogramme du corps (on déterminera A à l'aide du tableau déjà donné) on a : $P' = PA$

et les formules (1), (2), (3), deviennent :

$$a) \quad T = \frac{P(ct + Ac't' + \alpha N)}{p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots}$$

$$b) \quad T = \frac{P(ct + Ac't' + N')}{\pi \gamma}$$

$$c) \quad T = \frac{\pi N'}{\pi \gamma}$$

Supposons que l'on fasse la combustion avec un excès d'air égale à k p. 100, on le fera paraître dans les formules (b), (c) en écrivant :

$$b) \quad T = \frac{P [ct + Ac't' (A + \frac{K}{100}) + N']}{\pi \gamma + PAc' \frac{K}{100}}$$

$$c) \quad T = \frac{PN}{\pi \gamma + PAc' \frac{K}{100}}$$

De l'examen des formules précédentes on peut tirer plusieurs conclusions intéressantes. Ainsi les formules (1) et (2) font voir que la température T est d'autant plus grande que les températures t , t' d'introduction du com-

bustible et du comburant sont plus élevées : on a par là l'explication de l'avantage des récupérateurs.

Un étude très simple des formules (c') et (b') montre que dans les limites de la pratique on a tout avantage à réduire l'excès d'air employé par la combustion. Ce fait est d'ailleurs surabondamment prouvé par les calculs résumés dans le tableau ci-dessous :

TEMPÉRATURE DE COMBUSTION

| COMBUSTIBLE | PRODUIT FORMÉ | TEMPÉRATURE PRODUITE en chiffres ronds | | |
|------------------|---------------|---|--------------------------|---|
| | | avec l'oxygène nécessaire | avec l'air nécessaire | avec un excès d'air de 50 p. 100 |
| 1 k° d'hydrogène | Eau | 6800° | 2700° | 1760° |
| » carbone.... | Oxyde de carb | 4250° | 1500° | 1050° |
| » id. | Acide carbon. | 10180° | 2700° | 1850° |
| » oxyde de carb | id. | 7000° | 3000° | 2080° |

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION

EXPLICATION DES DIFFÉRENCES QUI EXISTENT ENTRE LES TEMPÉRATURES CALCULÉES ET LES TEMPÉRATURES OBTENUES DANS LA PRATIQUE

Les températures de combustion indiquées dans le tableau ci-dessus sont toujours notablement supérieures à celles trouvées dans la pratique.

Ces différences s'expliquent par les *phénomènes de dissociation* que subissent à certaines températures les produits de la combustion ; ainsi à 1,200° la tension de dissociation est déjà appréciable ; elle doit donc être très grande à 10,180° température de combustion du carbone en acide carbonique, et, par suite, nuire préci-

sément à la formation de ce dernier produit. De même pour la vapeur d'eau. M. Sainte-Claire Deville a montré, en effet, que les tensions de dissociation croissent avec les températures et varient en raison inverse des pressions.

Par conséquent dans toute combustion les températures sont limitées par les phénomènes de dissociation et si l'on observe que les pressions augmentent du foyer au registre, tandis que les températures vont en décroissant, on en conclura qu'il s'établit dans les gaz chauds un équilibre continuellement variable suivant la position qu'ils occupent dans le four.

Une deuxième cause qui peut expliquer les différences entre les températures pratiques et les températures théoriques réside dans l'inexactitude de l'hypothèse introduite dans la formule (1), à savoir que les chaleurs spécifiques c_1 , c_2 , c_3 , etc., étaient des nombres constants à toutes les températures, tandis que l'expérience démontre qu'il n'en est pas rigoureusement ainsi.

CHAUFFAGE PAR LES COMBUSTIBLES SOLIDES

Combustion des solides. — Étant donné que la combustion des solides est une oxydation, il est évident qu'elle sera d'autant plus rapide que les surfaces en contact avec le comburant seront plus développées. Toutefois une division trop grande du combustible devient nuisible, dès que l'air cesse de le traverser facilement. Il existe donc une limite qu'il ne faut pas dépasser sous peine *d'étouffer le feu* à moins d'envoyer l'air comburant sous pression (foyers soufflés).

La surface du combustible doit être débarrassée des cendres au fur et à mesure de leur formation. Enfin la présence de la vapeur d'eau en quantité déterminée favorise la combustion.

De ce qui précède découle la nécessité de savoir limiter l'épaisseur du combustible à une valeur convenable, de maintenir la grille toujours dégrassée, d'effectuer des piquages suffisamment répétés et de maintenir de l'eau dans les cuvettes.

Marche de la combustion. — Considérons le moment où le combustible vient d'être chargé. Tout d'abord il emprunte au foyer un certain nombre de calories ; quand il est arrivé à la température d'oxydation la combustion commence et se continue avec dégagement de chaleur ; peu à peu les morceaux diminuent de volume, il se produit un rapprochement vers la grille jusqu'à ce que l'épaisseur étant devenue trop faible, un chargement nouveau soit nécessaire.

Si nous examinons à son tour la marche de l'air, nous le voyons arriver sous le combustible, produire de l'acide carbonique et s'élever à travers les couches en feu. Durant cette ascension, l'acide est réduit partiellement en oxyde de carbone qui brûlera plus tard dans le foyer, s'il trouve dans les flammes une quantité suffisante d'oxygène libre. Dans le cas contraire il sera évacué par la cheminée. Il en résultera une perte qu'on peut éviter en fournissant un excès d'air de 25 à 40 p. 100. Toutes les fois qu'il se produit de l'oxyde de carbone dans un foyer on perd environ 70 p. 100 de la chaleur qu'aurait pu fournir la partie de carbone transformée en oxyde.

| |
|--|
| En effet, 1 kilog. de C brûlant en CO ² donne 8,080 calories. |
| 1 kilog. de C — CO — <u>2,473</u> — |
| Différence. 5,607 calories. |
| Soit 70 p. 100. |

VARIATIONS DE TEMPÉRATURE DANS LES COUCHES DE COMBUSTIBLE

Si nous étudions la répartition de la chaleur dans les couches de combustible, nous trouvons que la couche inférieure au-dessus des barreaux perd par rayonnement un certain nombre de calories utilisées à vaporiser l'eau de la bûche et à chauffer l'air affluant. Dans cette région, l'oxydation n'est que partielle. Dans les couches supérieures il se produit encore un rayonnement du calorique vers le four, mais la perte de chaleur qui en résulte est ici beaucoup moindre en raison de la température élevée des surfaces environnantes. D'un autre côté, il s'y produit une combustion de l'oxyde de carbone formé par la réduction de l'acide carbonique ce qui fournit un dégagement de chaleur.

Enfin si nous considérons la région centrale du combustible nous y trouverons la température la plus élevée. Les pertes par rayonnement y sont nulles, puisque tous les morceaux ont sensiblement la même température, et la combustion y est très active surtout au voisinage des couches inférieures.

Température des flammes au-dessus du combustible.
— Cette température varie entre 1,300 et 1,500°, elle peut produire le ramollissement du fer.

Transport de la chaleur dans les fours. — L'enceinte du four et les cornues qu'il renferme sont chauffées :
1° Par le rayonnement des flammes ;

2° Par leur contact avec elles.

La cession de calorique par rayonnement est à peu près négligeable en raison de la température élevée acquise au bout de peu de temps par les cornues et par l'enceinte. Il faut donc admettre que le chauffage s'effectue en majeure partie (on pourrait dire en presque totalité) par le contact des gaz chauds.

Dès lors, la première condition que doivent remplir les flammes, c'est de posséder une température supérieure à celle des cornues. La seconde, c'est que leur vitesse de circulation ne soit pas exagérée. Celle-ci ne doit jamais dépasser 2 mètres par seconde, il est bon de rester dans les limites de 0,90 à 1 mètre.

Comment la chaleur est emmagasinée dans les flammes. — La chaleur contenue dans les flammes peut se diviser en trois parties dont les plus importantes sont en général les deux premières.

1° Chaleur emmagasinée dans les gaz chauds en vertu de leur chaleur spécifique et dont l'expression sera :

$$q = p_1 c_1 + p_2 c_2 = \pi \gamma \quad \begin{array}{l} p_1 p_2 p_3 = \text{poids des composants.} \\ c_1 c_2 c_3 = \text{chaleurs spécifiques correspondantes.} \end{array}$$

2° Chaleur absorbée par la dissociation de certains composés tels que CO^2 , H_2O et qui est restituée lorsque les circonstances permettent la recombinaison des éléments dissociés. On ne peut pas l'évaluer dans la pratique.

3° Chaleur que peut engendrer la combustion de l'oxyde de carbone ou de l'hydrogène, résultant d'une combustion incomplète dans le foyer.

Il semble que les n^{os} 2 et 3 concernent une même source de chaleur. Il n'en est rien, car il existe toujours dans les combustions incomplètes, une proportion d'oxyde de carbone et d'hydrogène supérieure à celle qui pourrait résulter de la dissociation eu égard aux températures et pressions considérées.

Cession de chaleur aux cornues. — Pour faciliter la cession de la chaleur contenue dans les flammes, il faut, ainsi que nous l'avons déjà dit, une vitesse modérée et un brassage énergique dans le four. Ces deux conditions sont remplies avec un tirage restreint (7 à 12 millimètres sous les cornues du bas), et avec une circulation chicanée des flammes.

Air nécessaire à la combustion des solides. — On a vu plus haut un tableau qui permet de calculer théoriquement l'air nécessaire à la combustion d'un corps quelconque dont on connaît la composition élémentaire. En général, avec les solides (coke, charbon, agglomérés), il faut compter sur un excès de 30 à 50 p. 100 de comburant.

Avec le coke, il faut employer 13 à 17 kilos d'air par kilogramme de combustible ; avec la houille, 15 à 18.

Dans ces conditions, les fumées ne doivent pas contenir d'oxyde de carbone, mais renfermer 6 à 10 p. 100 d'oxygène encore libre. Toute exagération des chiffres ci-dessus serait fâcheuse et augmenterait la perte par la cheminée.

Rentrées d'air. — Il faut se défier toujours des rentrées d'air dans un four, aussi faibles qu'elles paraissent, car il suffit de la moindre ouverture pour per-

mettre des changements notables dans l'allure du four. On peut évaluer à 1,5 ou 2 kilogrammes le poids d'air qui passe par heure à travers une ouverture de 1 centimètre carré, pratiquée dans les parois d'un four (il s'agit exclusivement des fours à cornues). Ce poids d'air répond en moyenne à une perte de 560 calories par les fumées.

Analyse des gaz brûlés. — Voici le résultat de quelques analyses des gaz de combustion dans le chauffage à grille (Schilling).

| ÉLÉMENTS | I | II | III | IV |
|-----------------|------|------|------|------|
| CO ² | 12,6 | 16,0 | 14,0 | 8,0 |
| O | 7,6 | 4,0 | 5,5 | 12,0 |
| Az | 79,8 | 80,0 | 80,5 | 80,0 |

Les échantillons de gaz I, II, III étaient pris dès le garnissage de la grille et aussi longtemps que la hauteur du coke était normale; l'échantillon IV était prélevé après la combustion presque totale, et immédiatement avant le décrassage.

Les analyses suivantes ont été faites en 1869, à la Compagnie parisienne, avec les gaz circulant dans les carneaux de départ des fours sous les cornues du bas. Les échantillons provenaient de deux fours, l'un à grande porte, l'autre à petite porte.

ANALYSE DES GAZ BRULÉS

| HEURES des OBSERVATIONS | FOURS A GRANDE PORTE | | | | FOURS A PETITE PORTE | | | |
|---|----------------------|-------|----|--------|----------------------|------|------|--------|
| | CO ² | O | CO | Tirage | CO ² | O | CO | Tirage |
| 5 minutes après le décrassage. | 7,00 | 8,00 | 0 | 5 m/m | 11,50 | 3,50 | 1,0 | 6 m/m |
| 15 m. ap. le décras. | 10,00 | 6,50 | » | id. | 14,50 | 1,00 | 1,0 | id. |
| 25 id. | 10,00 | 8,50 | » | id. | 13,00 | 3,00 | 0,0 | id. |
| 33 id. | 9,50 | 9,50 | » | id. | 12,00 | 2,00 | 2,5 | id. |
| 45 id. | 9,50 | 9,75 | » | id. | 11,75 | 7,25 | 0,0 | id. |
| 53 id. | 8,00 | 10,50 | » | id. | 10,00 | 8,25 | 0,0 | id. |
| 1 h. 5 m. id. | 7,50 | 9,00 | » | id. | | | | |
| 1 h. 15 id. | 7,25 | 12,75 | » | id. | | | | |
| 1 h. 25 id. | 5,50 | 13,50 | » | 5,5 | | | | |
| Composition moyen- ne du gaz brûlé en- tre 2 garnissages. | 8,25 | 9,77 | 0 | 5,11 | 12,12 | 4,16 | 0,58 | 6 |

Foyers à double combustion. — On brûle le combustible sur la grille avec insuffisance d'air, puis on fait arriver ultérieurement de l'air en quantité nécessaire pour brûler l'oxyde de carbone formé. On ne retire pas ainsi d'un poids donné de combustible un plus grand nombre de calories, mais on obtient des températures plus hautes parce qu'il est facile de réduire la quantité d'air à une limite plus juste. Dans ce cas, un excès d'air de 20 p. 100 est suffisant, et cet excès est accordé seulement à l'air secondaire.

Tirage des fours. — La question du tirage sera étudiée à propos des cheminées, toutefois il n'est pas inutile d'indiquer ici que le tirage ordinaire dans les fours à gaz doit se maintenir sous les cornues du bas entre 0^m,006 et 0^m,012 de hauteur d'eau.

RENDEMENTS DES FOYERS A GRILLE

Définition. — On entend par rendement d'un foyer le rapport entre la chaleur réellement utilisée et la chaleur totale réellement dégagée par le combustible brûlé.

Pour établir le calcul du rendement, il est indispensable d'évaluer toutes les pertes de chaleur durant le chauffage. Ces pertes ont lieu :

- 1° Par le foyer;
- 2° Par les parois du four;
- 3° Par l'évacuation des fumées;
- 4° Par la combustion incomplète.

Perte de chaleur par le foyer proprement dit. — Par la grille, le cadre et la porte, une certaine somme

de chaleur est distraite du foyer par rayonnement et contact de l'air. Il est difficile d'évaluer exactement cette perte, parce qu'une partie de la chaleur rayonnée par la grille est utilisée à vaporiser l'eau de la cuvette et à réchauffer l'air affluant, de sorte qu'elle fait ainsi retour dans le foyer sous une autre forme. Certains ingénieurs, par des calculs assez approchés, ont évalué à 6 ou 7 p. 100 la perte occasionnée par le foyer. Nous admettrons ces chiffres comme suffisamment exacts dans la pratique. On peut mentionner enfin pour mémoire, la perte due aux escarbilles qui représentent $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ du carbone total chargé sous la grille, soit 5 à 10 p. 100 de la chaleur totale¹.

Pertes par les parois du four. — Elles sont dues à trois causes : au rayonnement des parois ; au contact de l'air avec elles ; au refroidissement par le contact avec le sol.

1° *Rayonnement.* — Les pertes par rayonnement peuvent se déterminer par la formule

$$(1) R = 124,72 \times r \times \frac{1,0077^t}{(1,0077^{\frac{T-t}{100}} - 1)}$$

dans laquelle :

r est un coefficient variable avec la surface rayonnante : ce coefficient est de 3,60 pour la brique et de 3,25 pour la fonte et le fer ?

T , température de la surface rayonnante ;

t , température de l'air ambiant.

2° *Contact de l'air.* — Au contact des maçonneries

¹ La perte due à la chaleur spécifique des cendres n'est pas à considérer ; elle est insignifiante, puisque en tombant dans le cendrier, les escarbilles chaudes produisent de la vapeur qui rapporte dans le foyer une grande partie de la chaleur soustraite.

chaudes, il se produit un renouvellement continu d'air qui s'élève et se disperse en emportant de la chaleur. La perte résultant de ce fait se détermine par la formule

$$(2) C = 0,552 \times \gamma \times (T-t)^{1,283}$$

dans laquelle γ est un coefficient dépendant de la surface chaude et de la vitesse de renouvellement de l'air

$\gamma = 2,12$ pour les faces ou parois verticales (briques) et $3,80$ (fonte et fer).

$\gamma = 1,54$ pour les faces ou parois horizontales (briques) et $2,70$ (fonte et fer)

T et t ont la même signification que précédemment.

Il est assez difficile d'obtenir pratiquement la température T de la paroi chaude. Mais on peut la calculer approximativement comme il suit :

Supposons le four en service et le régime de la chaleur établi; dans ces conditions, la chaleur perdue par rayonnement et par contact avec l'air, est égale à la chaleur qui traverse les parois du four, d'où :

$$(3) M = R + C$$

Or, d'après une formule très simple, on sait calculer la quantité de chaleur M qui traverse un mur dont l'épaisseur e est connue, ainsi que la chaleur spécifique c des matériaux qui le composent; on a en effet:

$$(4) M = \frac{c}{e} (T' - T)$$

T est toujours la température de la surface rayonnante et T' représente la température des maçonneries, à l'intérieur du four. T' est très approximativement égal à la température des flammes que nous apprendrons à déterminer.

Les expressions (3) et (4) donnent ainsi :

$$(5) \quad R + G = \frac{c}{e} (T' - T)$$

$c = 0,83$ pour la brique $c = 0,27$ pour le sable.

Dès lors dans la formule (3) on fait une hypothèse sur la valeur de T déduite de celle de T' , et on cherche si l'équation se vérifie : suivant le sens de l'erreur, on modifie la première hypothèse, et on arrive par un certain nombre de tâtonnements à trouver une valeur de T qu'on admettra pour le calcul des formules (1) et (2).

Remarque. — Dans les parois, il faut faire intervenir les tampons, les têtes de cornues, et une partie des colonnes montantes. La perte de ce chef peut se déterminer par les formules (1) et (2).

On peut évaluer à 12 ou 15 p. 100 la perte par les parois métalliques de la façade.

3° *Conductibilité, contact avec le sol.* — La perte s'exerce ici par les fondations en vertu de la conductibilité. Elle est toujours négligeable avec des fondations sèches, car, dans ce cas, on est en présence d'une perte par transmission à travers un mur d'épaisseur énorme et la formule (4) nous montre que M varie en raison inverse de e . Il n'en est pas de même lorsque le sol est humide, car on ne perd plus la chaleur par conductibilité; il se produit aussi une montée d'eau à travers les maçonneries, et c'est la vaporisation de ce liquide qui détermine surtout l'absorption de chaleur; de là, la nécessité, mentionnée déjà, d'établir dans ce cas des fondations sur voûte ou radier en béton.

Perte par la cheminée. — Les gaz brûlés sortent du

four à une température T qui varie entre 700 et 1000° (foyers à grille ou à sole pleine).

Ils emportent donc, en vertu de leurs chaleurs spécifiques et de leurs poids, un certain nombre de calories qui se calcule par la formule :

$$(1) N = (p_1 c_1 + p_2 c_2 + \dots) (T - t)$$

$p_1 p_2 p_3$ poids des divers gaz constituant la fumée.

$c_1 c_2 c_3$ chaleurs spécifiques correspondantes.

T = température des fumées.

t = température ambiante.

La formule (1) peut s'écrire plus simplement :

$$(2) N = \pi \gamma (T - t) \quad \gamma = 2,38 \text{ à } 2,40$$

dans laquelle π représente le poids total des fumées, et γ leur chaleur spécifique moyenne.

Si nous mettons en évidence le poids d'air A employé par kilogramme de combustible, on aura :

$$(2') N' = P (A + 1) \gamma (T - t)$$

P poids du combustible brûlé.

γ = chaleur spécifique moyenne des fumées.

Si on a employé un excès d'air $\frac{K}{100}$ on aura :

$$(2'') N'' = P \left[A \left(1 + \frac{k}{100} \right) + 1 \right] \gamma (T - t)$$

Ces formules nous prouvent une fois de plus l'importance qu'il y a à réduire à la quantité strictement nécessaire pour obtenir une bonne combustion, l'air admis sous la grille.

Perte par combustion incomplète. — Lorsqu'il reste dans les gaz brûlés une certaine proportion de gaz combustibles, il se produit une perte facile à calculer.

Supposons qu'on ait trouvé, après une analyse avec l'appareil d'Orsat, que p' kilogrammes d'oxyde de carbone et p'' kilogrammes d'hydrogène restent dans les fumées produites par la combustion de 1 kilogramme de combustible. N' étant la puissance calorifique pratique de ce dernier, la perte p. 100 pour la combustion incomplète sera

$$P = \frac{p' \times 2403 + p'' \times 34462}{N'}$$

Cette perte, qui peut atteindre 15 p. 100 à 20 p. 100 est le plus souvent inférieure à 5 p. 100 ; toutefois, on ne peut pas l'annuler.

Quand le combustible est fumeux (houille, goudron, etc.), on trouve dans la nature de la fumée un moyen simple de se renseigner sur l'état de la combustion : on peut admettre en effet que :

Une fumée noire répond à une perte de combustible de 10 à 12 p. 100
 — légère (c'est ordinairement le cas pratique) 7 à 8 —
 — nulle 1 à 2,5 —

Rendement du foyer. — Avec ce qui précède, nous pouvons maintenant calculer le rendement d'un foyer à grille : soit P le nombre de kilogrammes de combustible employé, N sa puissance calorifique absolue ; le nombre total des calories produites sera :

$$Q = \alpha P N \quad \alpha = 0,85 \text{ à } 0,95$$

Soit Q la chaleur réellement utilisée, c'est-à-dire la chaleur employée au chauffage des cornues ou à l'échauffement des parois du four, de façon à compenser les pertes par rayonnement et contact ; on aura :

$$Q' = Q - (M + N + P)$$

Formule dans laquelle

| | |
|---|------------|
| M = chaleur perdue par le foyer proprement dit (soit en moyenne) | 6,0 p. 100 |
| N = chaleur perdue par la cheminée | 65,0 — |
| P = combustion incomplète | 15,0 — |
| TOTAL. | 86,0 |

Le rendement ayant pour expression $\frac{Q'}{Q}$ il vient :

$$\rho = \frac{Q'}{Q} = 1 - 0,86 = 0,14$$

Ainsi, en moyenne, l'utilisation du combustible dans un foyer à grille atteint 14 p. 100.

M. Melon (Congrès de 1881) évalue les pertes beaucoup plus haut :

| | | |
|------------------------|-----------|-------------|
| Perte pour la cheminée | 60 p. 100 | } 77 p. 100 |
| — les produits | 17 — | |
| — le masque | 2,5 — | } 5 p. 100 |
| — le massif | 1,5 — | |
| — le foyer | 2,5 — | } 8 p. 100 |
| — diverses | 5,5 — | |
| TOTAL : | | 92 p. 100 |

REMARQUE. — On a supposé le poids P du combustible réellement brûlé, c'est-à-dire qu'on ne comprend pas la portion tombée avec les escarbilles et qui représente, d'après nos évaluations, 5 à 8 p. 100 du carbone total. Si cette hypothèse n'était pas admise on aurait pour M la valeur moyenne 12 p. 100 au lieu de 6, et par suite le rendement ρ ne serait que de 8 p. 100.

CHAUFFAGE PAR LES COMBUSTIBLES LIQUIDES

Combustion des liquides. — L'oxydation des liquides se fait de la même façon que celle des solides. Les

mêmes causes la favorisent. Par conséquent ils doivent arriver dans le foyer en couches minces pour que le comburant les atteigne sur une grande surface, avec une certaine quantité de vapeur d'eau pour favoriser l'oxydation et avec un excès d'air suffisant (35 à 45 p. 100) pour assurer la combustion complète.

Température produite par la combustion. — Elle se calcule par la méthode générale en prenant pour puissance calorifique du goudron 10,800 calories environ. Cette température varie en général de 1,300° à 1,500°. Elle est plus élevée que celle de la houille et du coke, parce que la puissance calorifique du goudron est supérieure à celle des deux autres combustibles et parce qu'il faut employer pour la combustion des liquides un excès d'air moindre qu'avec les solides.

Pour tous les calculs des pertes de chaleur, d'air nécessaire à la combustion, etc., on suit les règles données à propos des solides, le tirage dans ces deux genres de four étant à peu près le même.

Rendement des foyers à sole pleine. — Il se calcule, comme il a été dit précédemment par l'emploi de la formule :

$$\rho = 1 - \frac{M + N + P}{Q}$$

En général, il varie entre 20 et 35 p. 100, suivant que le four est plus ou moins bien approprié à ce genre de chauffage.

CHAUFFAGE PAR LES COMBUSTIBLES GAZEUX

Combustion du gaz. — Les gaz produits par le générateur arrivent au foyer avec quelques millimètres d'eau

de pression. Dans le gazogène Siemens (1^{er} type) la pression dans le canal de distribution était inférieure à 1 millimètre pour un générateur desservant 46 fours.

Les gaz s'écoulent en lames en se mélangeant plus ou moins vite à l'air qui s'écoule lui-même par des fentes convenablement disposées.

L'oxydation a lieu avec une rapidité variable suivant le brassage plus ou moins énergique des flammes.

Composition des gaz combustibles. — Nous donnons ci-dessous les analyses faites à Vaugirard sur les gaz d'un Siemens au coke, installé loin des fours.

| ÉLÉMENTS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------------------------|--------|--------|---|------------|
| | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| CO ² . . . | 25,00 | 26,50 | 24,50 | 27,75 | 26,00 |
| CO . . . | 4,25 | 4,00 | 4,75 | 2,50 | 4,50 |
| O . . . | 0,25 | 0,50 | 0,62 | 0,00 | 0,50 |
| Az . . . | 69,00 | 69,00 | 70,13 | 69,75 | 67,50 |
| Pression dans le canal dis- tributeur . . | 1 m/m | 1 m/m | 1 m/m | Le gaz brû- lait dans le généra- teur. | |
| Auteurs | C ^{ie} Parisienne | | | | F. Leblanc |

Les analyses suivantes donnent, par comparaison avec les gazogènes Siemens, la composition des gaz obtenus avec un certain nombre d'autres gazogènes très employés dans les usines à gaz.

| GAZ ET VAPEURS | GAZOGÈNES | | | | | | Didier Dnoy | Yacherot |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|---------|----------------|----------|
| | Siemens M. BOISSEL | Siemens M. KRANS | Ponsard PERISSE moyenne | Four de Munich (Bunte) | Stettin Fischer | Kloenne |  |  | Liégel |
| CO ² | 4 à 6,0 | 4,2 | 4,0 à 6,0 | 8,6 | 5,19 | 7,06 | 8,70 | 6,15 |
| CO | 21,5 à 24,0 | 24,2 | 24,0 à 25,0 | 20,6 | 18,19 | 27,43 | 23,70 | 26,685 |
| Azote | 60,0 à 64,0 | 61,2 | 52,0 à 61,0 | 55,8 | 64,04 | 48,73 | 67,05 | 56,34 |
| Hydrogène | 5,2 à 9,5 | 8,2 | } 11,0 à 21,0 | 15,0 | 2,58 | 15,56 | 0,55 | 10,23 |
| Hydrocarbure | 1,3 à 2,6 | 2,2 |  |  |  |  |  |  | 1,22 | 0,00 | 0,57 |

Analyse des gaz brûlés. — L'analyse des gaz brûlés permet de se rendre un compte exact de l'utilisation des gaz combustibles; à ce titre, nous donnons ci-dessous un certain nombre de résultats obtenus avec divers gazogènes.

| GAZOGÈNE SIEMENS ÉLOIGNÉ DU FOUR | | | | |
|----------------------------------|------|-------|-------|-------|
| ÉLÉMENTS | | | | |
| CO ² | 9,25 | 7,50 | 11,50 | 12,50 |
| CO | 0,00 | 0,00 | 0 | 10,36 |
| O | 8,00 | 10,75 | 5,50 | 7,25 |
| | | | | 8,50 |
| | | | | 9,00 |

Observation. — Les analyses ci-dessus ont été faites sur les gaz brûlés d'un siemens pour lequel nous avons fait connaître la combustion des gaz combustibles (page 178). — Dans le cas actuel la pression dans le carneau d'évacuation était de 7 millimètres.

Les analyses suivantes ont été communiquées par M. Drory, à la Société technique du gaz, en 1886.

| ÉLÉMENTS | GAZOGÈNES | | | |
|-----------------------|-----------|--------|--------|----------|
| | Liégel | Munich | Didier | Vacherot |
| Az. . . | 17,35 | 18,45 | 18,0 | 20,6 |
| O . . . | 1,95 | 0,066 | 0,0 | 0,0 |
| CO . . . | 2,25 | 1,934 | 2,4 | 0,0 |
| CO ² . . . | 78,45 | 79,500 | 79,6 | 79,4 |

L'analyse suivante faite sur un gazogène à houille est due à M. Ponsard.

| | |
|---------------------------|---------|
| CO ² | 16 à 17 |
| O | 1 à 2 |

Calcul de la composition des gaz en poids. — Les analyses précédentes des gaz combustibles ont été faites en volumes. Pour en convertir les résultats en poids, on suit la marche ci-après :

Soit a, b, c, d, e , les volumes trouvés pour les divers éléments, par exemple :

| | | |
|-----------------------|---------------------------------|---------|
| CO = a | la densité correspondante étant | d |
| CO ² = b | — | d' |
| H = c | — | d'' |
| Az = d | — | d''' |
| Hydrocarbure = e | — | d'''' |

On fait l'addition des produits :

$$(ad + b d' + c d'' + \dots = M).$$

On obtient ensuite la composition en poids et en centièmes par les formules :

$$\begin{aligned} \text{CO} &= \frac{ad \times 100}{M} \\ \text{CO}^2 &= \frac{bt' \times 100}{M} \\ \text{H} &= \frac{cd'' + 100}{M} \\ &\dots \text{ etc...} \end{aligned}$$

Air nécessaire à la combustion. — Il se détermine comme s'il s'agissait d'un solide par l'emploi du tableau donné et en se basant sur la composition en poids ou sur la composition en volume.

Température de combustion. — Elle se calcule par l'une des deux formules.

$$\begin{aligned} (1) \text{ T} &= \frac{P (ct + \alpha N) + P''c' t'}{\pi \gamma} \\ (2) \text{ T} &= \frac{P [ct + A c't' (1 + \frac{K}{100}) + \alpha N]}{\pi \gamma} \end{aligned}$$

N = étant la puissance calorifique absolue du combustible.

α = coefficient variable entre 0,95 et 0,98.

Les autres lettres ont des valeurs déjà connues. La température pratique ne diffère de la température théorique qu'en vertu de quelques phénomènes de dissociation difficiles à évaluer et des différences entre les valeurs des chaleurs spécifiques aux diverses températures.

Parmi les causes qui, dans l'emploi des gaz, influent sur les températures, il faut citer :

1° *La nature du gaz combustible*, fait évident, puisque nous savons déjà que l'hydrogène, l'oxyde de carbone, etc., produisent en s'oxydant des températures variables.

2° *La proportion d'oxygène* plus ou moins grande

dans le comburant. L'influence de la dilution de l'oxygène dans les gaz inertes a déjà été étudiée et on peut se reporter au tableau relatif à cette question.

3° *L'intimité* plus ou moins grande du mélange du combustible et de l'air, en augmentant les points d'oxydation on accroît la rapidité de la combustion, de laquelle dépend la température. A ce point de vue les températures sont d'autant plus élevées que les jets de gaz et d'air sont plus inclinés l'un sur l'autre, mais elles se concentrent alors dans le voisinage du brûleur. Au contraire, en inclinant modérément les jets, le mélange est moins rapide et la température moins haute, mais plus également répartie dans le four. Dans le premier cas la flamme est courte; dans le second, elle est longue et enveloppe les cornues.

4° *Vitesse des gaz*. — Elle permet de modifier l'effet de l'inclinaison du jet, car, plus la vitesse est grande pour une inclinaison donnée, plus le choc des deux gaz est grand et leur mélange rapide. Elle est ordinairement assez faible.

Détermination des températures t et t' . — Les températures t et t' sont celles que possèdent l'air et les gaz à leur sortie du récupérateur. Si les gaz ne traversent pas celui-ci, t est sensiblement égal à la température de combustion dans le gazogène (sensiblement égal, parce qu'il faut tenir compte du refroidissement par le distributeur) et on détermine sa valeur comme il a été indiqué dans un chapitre précédent en tenant compte toutefois des détails qui seront donnés plus loin à propos de la chaleur dégagée dans la formation du gaz. Si on suppose que les gaz traversent le récupérateur, on devra déterminer leur température à la sortie.

Laissant de côté les procédés pratiques (voir à la fin du chapitre sur le *Chauffage*) nous nous occuperons uniquement ici du mode de détermination par le calcul.

1° *Détermination de la chaleur cédée à l'air* dans le cas de récupérateur à marche continue (Ponsard, Lencauchez, Siemens, nouveau type, etc.).

Les gaz brûlés sortant du four sont à une température T de 1,000 à 1,200°; au sortir du récupérateur, ils sont à une température T' de 200 à 300°. La chaleur cédée au récupérateur est $(T - T') \times C \times P = Q$, C étant la chaleur spécifique des fumées, P représentant le poids des fumées produites dans un temps donné. Si le récupérateur est à marche continue (systèmes adoptés aujourd'hui), la chaleur emportée par l'air est précisément égale à Q ; d'où, en appelant t_1 la température d'introduction de l'air, on aura :

$$Q = P' C (T_1 t_1 -)$$

T_1 est la température cherchée, P' le poids et c' la chaleur spécifique de l'air passant dans le temps considéré (on ne tient pas compte ici du refroidissement des récupérateurs, mais on peut évaluer la perte de ce fait à 1/10).

2° *Chaleur cédée à l'air et au gaz, dans les récupérateurs à renversement*. Soit θ le temps écoulé entre deux renversements; PCT représente la chaleur emportée par les gaz à leur sortie du four, si P répond au poids des gaz écoulés dans le temps θ . PCT'' sera de même la chaleur évacuée par la cheminée dans ce même temps, si P et T'' répondent dans le temps θ au poids et à la température moyenne des fumées sorties par la cheminée. Il est évident, en effet, qu'au fur et à mesure

que le récupérateur s'échauffe, la température de sortie des gaz devient plus élevée.

Donc $P C (T - T'') = Q'$ sera la chaleur cédée au récupérateur pendant le temps θ considéré.

Le renversement opéré, l'air et les gaz traversent le récupérateur pendant une même durée, et en appelant p_1 le poids de l'air, p_2 le poids des gaz qui auront à s'échauffer dans le temps θ , en remarquant qu'ils traversent chacun une chambre distincte, et en supposant que ces deux chambres se sont partagées par moitié la chaleur Q' , on aura :

$$p_1 c_1 (T_1 - t_1) = \frac{Q'}{2}$$

$$p_2 c_2 (T_2 - t_2) = \frac{Q'}{2}$$

c_1 = chaleur spécifique de l'air.

c_2 = — des gaz.

T_1 = température de l'air à l'entrée dans le four.

t_1 à son entrée dans les empilages.

De même pour les gaz.

T_2 et t_2 . On en déduit donc facilement les valeurs de T_1 et T_2 , mais ce sont seulement des moyennes pour le temps θ .

Il serait facile de calculer la variation de la température dans le récupérateur et d'obtenir par suite les écarts entre les températures des gaz au commencement du temps θ et à la fin ; mais ces calculs sont assez longs et comme d'ailleurs on peut par des renversements fréquents, toutes les demi-heures, par exemple, réduire les différences de température, il est inutile d'insister, d'autant plus que le système à renversement est aujourd'hui abandonné.

Quantité de combustible solide nécessaire pour produire 1 kilogramme de gaz. — On détermine le poids

des composés carbonés contenus dans 1 kilogramme de gaz du gazogène, soit :

$$\text{CO} = a \quad \text{CO}^2 = b \quad \text{hydrocarbures} = c$$

on obtient le poids de carbone contenu dans ce kilogramme de gaz par la formule :

$$a \times \frac{6}{14} + b \frac{6}{22} + c \frac{12}{16} = p.$$

On suppose, dans cette formule que tous les hydrocarbures se réduisent à C^2H^4 , le plus stable d'ailleurs des hydrocarbures aux hautes températures. Or sa composition donne :

$$\frac{\text{C}^2}{\text{C}^2\text{H}^4} = \frac{12}{16}$$

On connaît d'autre part le poids p' de carbone renfermé dans 1 kilogramme de combustible solide, de sorte qu'en appelant M la quantité de combustible à brûler pour produire 1 kilogramme de gaz on a :

$$M = \frac{p}{p'}$$

Emploi de l'eau et de la vapeur. — On s'est préoccupé, dès le début, d'enrichir les gaz combustibles en injectant de l'eau dans le gazogène. L'avantage est manifeste, car, si l'on suppose une combustion du carbone en oxyde de carbone: 1° par l'air théoriquement nécessaire; 2° par la vapeur d'eau, on arrive pour les gaz combustibles aux deux compositions théoriques suivantes :

Combustion par l'air.
 $\text{CO} = 35$
 $\text{Az} = 66$

Combustion par l'eau.
 $\text{CO} = 50$
 $\text{H} = 50$

On voit donc que l'emploi de l'eau donne deux gaz

combustibles tout en évitant l'introduction dans le mélange d'un gaz inerte Az qui entraîne ultérieurement dans la cheminée un certain nombre de calories. De plus, nous savons que la vapeur d'eau surexcite l'oxydation, et si l'on ajoute qu'on protège ainsi la grille du gazogène contre l'action du feu et qu'on facilite la conduite du générateur, on sentira tous les avantages qui présente l'emploi de l'eau.

On objecte, il est vrai, que si la production de l'hydrogène assure dans l'utilisation des gaz une augmentation de chaleur, il faut tenir compte de celle absorbée au générateur pour la décomposition de l'eau; en un un mot, on fait remarquer que la chaleur dégagée dans le four par la combustion de l'hydrogène, égale précisément la chaleur absorbée pour sa production dans le gazogène.

Sans doute ce raisonnement est juste, mais ce n'est pas à ce point de vue qu'il faut se placer pour juger la question. Il faut considérer que les gaz combustibles obtenus à l'aide des gazogènes humides renfermant moins de gaz inertes et qu'ils sont par suite d'un emploi avantageux pour le chauffage.

La pratique a confirmé d'ailleurs la théorie de M. Krans (étude du Siemens) qui évalue à 18 p. 100 l'économie produite par l'emploi de la vapeur dans les gazogènes chauffés au coke ou au charbon de bois, et à 13 p. 100 avec ceux chauffés à la houille.

Du reste, comme on l'a vu plus haut, tous les gazogènes ne se prêtent pas également bien à l'emploi de l'eau. Cela s'explique par l'abaissement produit dans la température de formation des gaz, température qu'il est nécessaire de conserver dans certains cas.

Calcul du poids d'eau à injecter dans le générateur. — La chaleur absorbée par la décomposition de 1 kilogramme d'eau est :

$$\frac{34,462}{9} = 3,882 \text{ avec l'eau liquide.}$$

$$\frac{29,512}{9} = 3,279 \text{ avec l'eau en vapeur.}$$

Soit T la température de combustion dans le gazogène.

B le poids de gaz fourni par 1 kilogramme de combustible.

Pour abaisser la température T, d'un nombre déterminé de degrés t, on devra employer en kilogrammes :

$$\text{Eau liquide } x = \frac{B C t}{3,882}$$

$$\text{Eau en vapeur } \gamma = \frac{B C t}{3,279}$$

C = chaleur spécifique moyenne des gaz combustibles.

RENDEMENT DES GAZOGÈNES

Par rendement d'un gazogène il faut entendre le rapport entre la chaleur Q réellement utilisée (terme déjà défini), et la chaleur totale que dégagerait la combustion complète du combustible employé dans le générateur.

Il faut donc déterminer les pertes de chaleur qui sont :

- 1° Perte par la cheminée ;
- 2° Perte par la transformation du solide en gaz (cette perte n'intervient qu'avec les générateurs éloignés du four) ;
- 3° Perte par les parois du générateur ;
- 4° Perte par la grille du générateur ;

5° Perte par la combustion incomplète des gaz dans le four ;

6° Perte par les parois du récupérateur.

Perte par la cheminée. — Formule donnant le nombre de calories emportées par les fumées :

$$N = \pi \gamma (T - t) = P \gamma \left[A \left(1 + \frac{K}{100} \right) + 1 \right] (T - t)$$

π = poids des fumées. T = température des fumées.
 γ = chaleur spécifique des fumées. t = température ambiante.

$A = 1^k, 1$ à $1,3$

$K = 10$ à 20

Avec les gazogènes Siemens, 1^{er} type, T varie entre 300 et 400°. Avec les gazogènes Ponsard, $T = 600^\circ$ environ. Dans le premier cas, perte 17 ou 18 p. 100 ; dans le second, 28 ou 30 p. 100.

Perte par la transformation en gaz. — Les calories dégagées dans le générateur par la combustion des solides sont perdues dans les gazogènes éloignés du four et au contraire utilisées dans les gazogènes placés sous lui.

Nous nous proposons de calculer la quantité de chaleur absorbée par la transformation du combustible en gaz.

Supposons que le gaz produit ait la composition en volume suivante :

$$CO = a \quad CO^2 = b, \quad H = c, \quad Az = d, \quad \text{hydrocarbures} = e$$

Le poids de carbone contenu dans CO et dans CO² sera :

$$C = a * \frac{1}{14} + b \times \frac{1}{12} = n + n'$$

et la chaleur que dégage la combustion de ce carbone pour la production de ces 2 composés CO et CO² sera :

$$Q = n \, 2,473 + n' \, 8,080$$

Il nous faut retrancher de cette chaleur Q

$$\left. \begin{array}{l} 1^{\circ} \text{ La chaleur absorbée par la décomposition de l'eau} = q_1 \\ 2^{\circ} \text{ ————— la formation des hydrocarbures} = q_2 \end{array} \right\} Q'$$

A. — D'après la composition du gaz la quantité totale d'hydrogène contenu par kilogramme de gaz est :

$$H = c + \frac{e \, 4}{6}$$

(Toujours en admettant les hydrocarbures sous forme de C²H⁴.)

Si H' est le poids d'hydrogène renfermé dans le combustible qui a donné 1 kilogramme de gaz, la différence II — II' = h représentera le poids d'hydrogène fourni par la vaporisation de l'eau. h étant connu, on en déduit la valeur de q₁ (chaleur absorbée par la vaporisation de cette eau), par une des formules :

$$q_1 = h \, 34,462$$

avec eau liquide

$$q_1' = h \, 29,512$$

avec eau en vapeur

B. — D'autre part, on a immédiatement la chaleur absorbée par la formation des hydrocarbures au moyen de l'équation :

$$q_2 = e \, 2,500$$

La perte de chaleur due à la transformation du combustible en gaz sera donc :

$$Q' = Q - q_2 - \left\{ \begin{array}{l} q_1 \\ \text{ou} \\ q_1' \end{array} \right.$$

Nous répétons qu'avec les gazogènes voisins du four on n'a pas besoin de calculer Q', puisqu'on admet que

toute la chaleur de transformation des gaz pénètre dans le foyer.

Enfin le terme q_2 n'a besoin d'être calculé qu'avec les générateurs à la houille, le coke ne donnant pas d'hydrocarbures.

On peut évaluer la perte de la chaleur résultant de la non utilisation de Q' à 22 p. 100 environ de la chaleur totale répondant au combustible brûlé dans le gazogène;

3° Perte par les parois du gazogène. — 4° Perte par la grille. — Elles se calculent comme pour les fours à cornues, on peut les évaluer à 5 ou 7 p. 100 de la chaleur totale. La température dans le gazogène varie en effet entre 700 et 850° ce qui réduit de beaucoup les pertes de ce chef.

5° Perte par la combustion incomplète. — Elle est ici bien inférieure à celle qu'on obtient avec les foyers à grille et elle n'atteint jamais 1 p. 100. On peut en tenir compte en admettant le chiffre 0,5 p. 100 qui est souvent trop fort.

6° Perte par le récupérateur. — Elle se calcule par les formules de convection et de rayonnement données plus haut. La température moyenne T est de 600 à 700°. La perte n'excède pas 12 p. 100 et peut descendre à 7,5 ou 8 p. 100.

Les pertes de chaleur étant évaluées, nous pouvons nous faire maintenant une idée du *Rendement des gazogènes* de divers systèmes.

1° Siemens à renversement avec gazogènes loin des

fours. — Les pertes peuvent être évaluées comme il suit :

| | |
|---|-------------|
| Perte par la cheminée..... | 18 p. 100 |
| — le gazogène et la transformation en gaz.. | 22 |
| — les récupérateurs..... | 8 |
| — la combustion incomplète..... | 0,5 |
| TOTAL..... | <u>48,5</u> |

Le rendement sera $\rho = 1 - 0,485 = 0,515$.

2° Gazogènes sous le four (Ponsard, Klønne, etc...).

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Perte par la cheminée..... | 28,00 p. 100 |
| — le gazogène..... | 6,00 |
| — la combustion incomplète. | 0,5 |
| — le récupérateur..... | 8,0 |
| TOTAL..... | <u>42,5</u> |

Le rendement sera $\rho = 1 - 0,425 = 0,575$.

NOTA. — Ces chiffres ne sont évidemment que des moyennes et de grands écarts peuvent se produire entre deux gazogènes donnés.

Pour que le rendement d'un gazogène quelconque soit maximum il faut :

1° Qu'il produise le maximum possible de gaz combustible avec le maximum d'éléments nuisibles (Az CO²);

2° Que la combustion des gaz soit complète sous la voûte du four et réalisée avec le minimum d'air; en général les fumées ne doivent pas contenir plus de 6 à 7 p. 100 d'oxygène libre;

3° Que le récupérateur soit assez puissant pour refroidir les fumées jusqu'à 400° et plus, si c'est possible.

MÉTHODES PRATIQUES POUR LA DÉTERMINATION
DES TEMPÉRATURES

Usage du calorimètre. — On introduit dans le four ou dans la cornue un index en cuivre, fer ou platine pesant 1/2 kilogramme et ayant une chaleur spécifique égale à c . Dans un calorimètre, on a un poids P d'eau à t_0 . — Quand l'index a pris la température de l'enceinte, on le plonge rapidement dans le calorimètre en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter une perte de chaleur durant le transport; à l'aide d'un thermomètre placé dans l'eau du calorimètre on mesure la température finale du liquide t_1 ; on a dès lors la relation très approximative :

$$P(t_1 - t_0) = p c (T - t_1)$$

d'où
$$T = \frac{P}{p c}(t_1 - t_0) + t_1$$

Pour que les calculs soient exacts, il faut que T soit inférieur de 150° à 200° à la température de fusion de l'index; ainsi avec un index de cuivre on ne pourra évaluer exactement que les températures inférieures à 900° , avec le fer, que celles inférieures à 1200° .

D'un autre côté, les chaleurs spécifiques c devront correspondre aux températures considérées; M. Guegen, auquel nous empruntons ce qui suit, a calculé les variations suivant la température des chaleurs spécifiques du fer d'après la formule de Post, qui a fait de longues recherches sur cette question. Mais ce ne sont encore que des approximations :

| | | | |
|-----------------|---------------|-----------|--------------|
| à 700° | $cc = 0,1396$ | à 1.100 | $c = 0,1686$ |
| à 800° | $c = 0,1462$ | à 1.200 | $c = 0,1717$ |
| à 900° | $c = 0,1532$ | à 1.500 | fusion |
| à 1.000° | $c = 0,1607$ | | |

D'après ces données, M. Guegen a préparé, dans un tableau reproduit ci-après, les éléments de la formule

$T = \frac{P}{pc} (t_1 - t_0) + t_1$ pour permettre de calculer T rapidement.

| $t_1 - t_0$ (1) | $\frac{P}{pc} (t_1 - t_0)$ (2) | $t_1 - t_0$ (1) | $\frac{P}{pc} (t_1 - t_0)$ (2) |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | 42 | 22 | 763 |
| 2 | 84 | 23 | 794 |
| 3 | 121 | 24 | 814 |
| 4 | 164 | 25 | 840 |
| 5 | 205 | 26 | 865 |
| 6 | 246 | 27 | 887 |
| 7 | 295 | 28 | 910 |
| 8 | 336 | 29 | 932 |
| 9 | 372 | 30 | 954 |
| 10 | 407 | 31 | 977 |
| 11 | 442 | 32 | 998 |
| 12 | 475 | 33 | 1,015 |
| 13 | 508 | 34 | 1,039 |
| 14 | 539 | 35 | 1,060 |
| 15 | 569 | 36 | 1,079 |
| 16 | 599 | 37 | 1,100 |
| 17 | 628 | 38 | 1,119 |
| 18 | 657 | 39 | 1,136 |
| 19 | 685 | 40 | 1,158 |
| 20 | 712 | 41 | 1,175 |
| 21 | 737 | 42 | 1,212 |

Donc on obtiendra T connaissant t_1 t_0 en ajoutant aux chiffres fournis par les colonnes (2) la valeur de t_1 donnée par le thermomètre. Ce tableau peut servir sans modification avec le calorimètre Salleron en prenant, un index en fer, $p = 100$ gr.

Quand on veut évaluer des températures supérieures à 1000 ou 1100°, on doit employer des index d'un poids

plus faible et ramener les calculs à l'index de 100 grammes en opérant comme il suit :

Si $p' = 80$ grammes par exemple, on aura :

$$x = \frac{(t_1' - t_0) 100}{80} = n^{\circ}$$

n° sera le nombre de degrés représentant $(t_1 - t_0)$ et par suite en se rapportant au tableau précédent on aura T.

Quand on emploie un index de platine, on prend pour chaleur spécifique :

| | | | |
|--------|--------------|--------|--------------|
| à 600° | $c = 0,0353$ | 1.000° | $c = 0,0377$ |
| à 700° | $c = 0,0359$ | 1.100° | $c = 0,0383$ |
| à 800° | $c = 0,0365$ | 1.200° | $c = 0,0389$ |
| à 900° | $c = 0,0371$ | | |

Pyromètre de Wedgwood. — L'index est en argile; porté dans le four, il y prend un retrait d'autant plus grand que la température est plus élevée. On le retire et on le fait coulisser entre des règles graduées et inclinées, l'une vers l'autre; le point où s'arrête l'index indique le degré du pyromètre. Le 0 de l'appareil correspond à 580° centigrades et chaque degré vaut 72° centigrades.

Cet appareil est peu pratique, car il est difficile d'avoir des index bien homogènes.

Pyromètre de Brogniart. — Cet appareil est formé d'une tige métallique assez longue appuyée à l'une de ses extrémités contre un bloc de porcelaine et à l'autre contre un levier articulé, commandant une aiguille. La barre est introduite dans le feu et les températures, déduites de la dilatation, sont données par les indications de l'aiguille. Cet appareil a l'inconvénient de subir des dilatations permanentes qui faussent les indications.

Thermomètre à courant gazeux ou liquide. — On a cherché récemment à déterminer les hautes températures à l'aide des thermomètres ordinaires. On introduit pour cela dans le four un tube métallique dans lequel circule un courant d'un fluide connu. On mesure la température du fluide à sa sortie et on en déduit la température du four. Ces appareils très commodes se généraliseront sans doute s'ils deviennent perfectionnés.

Détermination de la température par la fusion des alliages. — Cette méthode n'est guère employée en raison de la valeur de ces alliages.

TABLEAU DES POINTS DE FUSION DE PLUSIEURS ALLIAGES

| COMPOSITION DES ALLIAGES | POINTS |
|---|-----------------|
| | DE FUSION |
| | degrés centigr. |
| Plomb 1 partie, étain 3 parties..... | 186° |
| — 1 partie, — 2 parties..... | 196° |
| — 1 partie, — 1 partie..... | 241° |
| Alliage plomb, 3 équivalents. Etain, 1 équivalent | 289° |
| Plomb..... | 340° |
| Zinc..... | 450° |
| Aluminium pur..... | 600° |
| Bronze..... | 900° |
| Argent pur..... | 960° |
| Or titre de monnaie..... | 1150° |
| Alliages { 95 p. 100 or pur; 5 p. 100 de platine | 1100° |
| Prinsep { 80 — or et 20 — — | 1190° |
| Prinsep { 75 — — 25 — — | 1220° |
| Prinsep { 60 — — 40 — — | 1320° |
| Fer doux français..... | 1500° |
| Platine..... | 1700° |

DÉTERMINATION DES TEMPÉRATURES PAR LA COULEUR
DES MATÉRIAUX DU FOUR

| COLORATIONS | TEMPÉRATURES CORRESPONDANTES |
|-------------------|------------------------------|
| Rouge sombre..... | 700° approximativement. |
| — ordinaire..... | 800° — |
| Cerise foncé..... | 900° — |
| — clair..... | 1000° — |
| Orangé foncé..... | 1100° — |
| — clair..... | 1200° — |
| Blanc nuancé..... | 1300° — |
| — éblouissant.... | 1500° — |

Pyromètre Mesuré et Noel. — Cet appareil est tout récent ; c'est une lunette pyrométrique, qui permet d'obtenir immédiatement les températures d'après les couleurs des corps incandescents. Elle est construite par M. Ducretet, à Paris, et destinée à se répandre dans les usines à gaz.

NOTES PRATIQUES

MISE EN FEU DU FOUR. — RÉPARATIONS EN MARCHÉ.
EXTINCTION

Mise en feu. — Jadis la mise en feu était très lente, aujourd'hui elle se fait rapidement, et, au lieu de trente-six et quarante-huit heures, on compte mainte-

nant sur dix-huit à vingt-quatre heures. (On suppose évidemment que les maçonneries du four sont sèches.) On chauffe au foyer immédiatement avec les registres ouverts et les regards fermés, ce qui aurait semblé autrefois une très grave imprudence.

Les cornues sont chargées de houille ordinaire, sans qu'il soit besoin d'y mélanger du goudron. Cette ancienne pratique avait pour but de permettre le bouchage rapide des pores de la cornue ; mais elle est reconnue sans avantages. M. Letreust estime qu'on peut activer à volonté la mise en feu, sans aucune crainte, pourvu que les cornues contiennent toujours du charbon en distillation, ce qui exige qu'on fasse les charges avant la complète transformation de la houille en coke.

Pertes de gaz lors d'une première mise en feu. — Essais à la Compagnie parisienne (usine expérimentale).

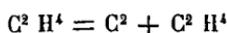
| | |
|--|----------------------|
| 1 ^{er} jour, rendement en gaz | 13 ^{me} 545 |
| 2 ^e — — — | 10, 073 |
| 3 ^e — — — | 20, 720 |
| 4 ^e — — — | 23, 080 |
| 5 ^e — — — | 26, 892 normal. |

Les fuites sont donc bouchées en cinq jours.

Réparations. — Les réparations en marche se réduisent à des nettoyages ou bien au bouchage de quelques fissures. Quand une fente se produit dans une cornue en service, on doit la nettoyer avec un chiffon mouillé, gratter ses bords si elle n'est pas suffisamment large et y appliquer un ciment réfractaire [mastic Alleau, ciment réfractaire, Sellers ciment] qu'on lisse à la spatule.

Le nettoyage consiste dans l'enlèvement de cendres qui peuvent s'arrêter dans les carreaux, sur les cornues, etc.

Décarburation des cornues. — Au bout d'un certain temps de service, il se dépose du graphite sur les parois des cornues ; ce dépôt provient de décompositions pyrogénées (voir *Théorie de la distillation*) dont la suivante fournit un exemple :



La couche de graphite est d'autant plus épaisse que la pression dans la cornue et que la température de la distillation est plus élevée.

Il résulte de la carburation une difficulté plus grande de chauffage et une réduction de l'espace utile de la cornue.

La décarburation s'opère à la pince, après avoir laissé pendant huit à douze heures passer un courant d'air sur le graphite. Non seulement la couche est alors partiellement brûlée en acide carbonique, mais encore elle est facile à détacher. L'expérience a prouvé toutefois que l'enlèvement du graphite par la pince est plus facile au début de l'opération que vers la fin.

Diverses méthodes sont adoptées pour produire le courant d'air qui brûle le graphite ; mais nous n'insisterons pas sur ce sujet.

Toute décarburation fatigue les cornues et les refroidit. Il est donc avantageux de réduire le plus possible la formation du graphite, ce qu'on obtient en distillant à des températures qui ne soient pas inutilement exagérées, et en diminuant la pression que doit vaincre le gaz pour quitter la cornue (rôle des extracteurs).

Au point de vue de la houille distillée, il faut savoir qu'une houille privée de toute eau hygrométrique carbure plus vite que celle qui en renferme 2 ou 5 p. 100.

Cette dernière proportion ne peut nuire au point de vue de la qualité du gaz.

Extinction ou arrêt d'un four. — On doit apporter à cette opération les plus grands soins, si l'on veut pouvoir employer encore le four. On ferme les registres et toutes les rentrées d'air (murettes lutées avec de l'argile). On peut, une ou deux heures après la fermeture, décharger les cornues et les recharger de nouveau, de façon à utiliser une partie de la chaleur logée dans le four.

L'extinction d'un four et son rallumage est une chose toujours nuisible à la durée des cornues ; néanmoins on peut, avec des précautions, éviter la production de fentes ou de dislocations. Dans tous les cas, il est indispensable de n'arrêter un four qu'après avoir décarburé les cornues avec le plus grand soin.

COUT DES FOURS

| NATURE DU FOUR | NOMBRE de cornues | PRODUCTION moyenne en m. c. par cornue et 24 heures | COUT APPROXIMATIF par cornue |
|---|-------------------------|---|------------------------------------|
| (1) Four gazogène à grande récupération, syst. Klœnne, Munich, Siemens. | 8 à 12 | 250 à 270 | 1,800 à 2,000 fr. |
| (2) Four gazogène à moyenne récupération, syst. Liégel, Lencauchez, etc. | 7 à 9 | 240 | 1,500 à 1.600 |
| (3) Four gazogène à petite récupération, syst. Liégel, Muller, Eichelbrenner..... | 6 à 8 | 230 | 700 à 750 |
| (4) Four ordinaire. | 6 à 7 | 220 | 500 à 600 |

CHAPITRE V

CHEMINÉES D'USINE

Les cheminées, dans une usine à gaz, sont toujours d'une grande importance, car de leur bonne construction dépend la marche assurée du four, l'économie du combustible, la régularité et l'intensité du chauffage.

Leur section peut être polygonale, ronde ou carrée ; la forme ronde est préférable, car elle offre moins de prise à l'action du vent et convient beaucoup mieux à l'écoulement du gaz (c'est la section qui, pour le même périmètre, c'est-à-dire la même quantité de matériaux de construction employés, donne la plus grande surface).

Pour assurer la stabilité des cheminées, on leur donne extérieurement la forme d'un tronc de cône ou de pyramide à surface continue. Intérieurement la surface de la cheminée est le plus souvent discontinue ; elle est formée de troncs de cône ou de pyramides superposées qui permettent l'emploi de briques entières et dispensent de la confection d'un parement.

Il ne faut pas perdre de vue cependant qu'on augmente par ce mode de construction la résistance de frottement sur le parcours des fumées. Il faut en tenir compte dans le calcul des sections.

Matériaux. — Les matériaux ordinairement employés pour la confection de nos appareils sont les briques de

Bourgogne, réunies par un mortier formé de deux parties de sable pour une partie de chaux hydraulique. Toutefois, dans les usines à gaz où la température des gaz chauds est toujours élevée, le parement intérieur doit être construit vers la base et sur une hauteur assez grande en briques réfractaires réunies par un ciment également réfractaire.

Le *piédestal* et le *chapiteau* se font souvent en pierre de taille ; dans ce cas, il faut avoir la précaution de protéger ces matériaux contre l'action du feu.

Certains constructeurs ont l'habitude de consolider les cheminées par des armatures en fer. Ce procédé n'a de valeur que lorsque le scellement est fait avec assez de précautions pour assurer la dilatation du métal ; le plus souvent cette pratique est nuisible et, dans tous les cas, elle est inutile.

Construction. — Pour la construction d'une cheminée on doit compter qu'une équipe de deux briqueteurs avec deux aides avance de 0^m,45 par journée de dix heures. On se dispense depuis longtemps de la confection coûteuse d'échafaudages en ayant soin de laisser les ouvriers s'élever en même temps que la construction sur des planches mobiles ; celles-ci sont portées par des échelons scellés dans les maçonneries extérieurement ou intérieurement, de façon à servir plus tard en cas de besoin pour les travaux de réparation. Au fur et à mesure que les maçonneries s'élèvent on doit vérifier la section de la cheminée, la verticalité de son axe et le fruit des parements.

Enfin, pour confection des rouleaux ou troncs de pyramide, on opère comme il suit :

L'épaisseur de la cheminée à la base étant déterminée, on élève le briquetage avec les fruits choisis pour les parements. Lorsque, par suite de la différence entre les fruits intérieur et extérieur, l'épaisseur de la cheminée a augmenté d'une brique, on commence le second rouleau du tronçon en se retirant vers l'extérieur et en réduisant ainsi l'épaisseur de 11 centimètres. De la sorte on forme intérieurement des redents ou gradins espacés ordinairement de 6 à 10 mètres.

Dans une cheminée on peut distinguer les fondations, le piédestal, le fût et le chapiteau ; comme accessoires, on peut distinguer les armatures et le paratonnerre.

Fondations. — Les fondations doivent être aussi soignées que possible et faites dans un terrain parfaitement sec : toute trace d'humidité est une cause de dérangement dans le tirage, par suite de la vaporisation de l'eau produite par la chaleur des fumées.

On doit descendre les fondations jusqu'au terrain résistant, roc, sable, etc. La base des maçonneries doit avoir une surface suffisante pour que la charge par centimètre carré sur le sol ne dépasse pas le chiffre pratique compatible avec la résistance du terrain, trois ou quatre kilogrammes environ par centimètre carré. En général, la profondeur des fondations est comprise entre $1/8$ ou $1/10$ H, H étant la hauteur de la cheminée.

Piédestal. — Quels que soient les matériaux dont il est formé, sa hauteur varie entre

$$\frac{1}{5} \text{ ou } \frac{1}{7} \text{ de H}$$

Son diamètre ou son côté est ordinairement compris entre

$$\frac{1}{10} \text{ ou } \frac{1}{11} \text{ de H}$$

Chambre des cendres folles. — Le carneau qui amène les fumées dans la cheminée débouche toujours au-dessus du fond de cet appareil, de façon à laisser ainsi dans le bas une chambre dont le volume est variable et dans laquelle se déposent les cendres fines entraînées par le courant d'air chaud. Pour enlever ces poussières, il est nécessaire de ménager dans le piédestal une porte de nettoyage qui sert aussi à l'entrée des ouvriers en cas de réparations à faire.

Fût. — Le fût est, à proprement parler, la partie essentielle de la construction. La beauté architecturale dépend de la nature du parement et du fruit adopté.

En général, pour les cheminées dont la hauteur reste comprise entre 15 et 35 mètres, le fruit extérieur varie entre 0,24 et 0,30. Le chiffre 0,28 est une bonne moyenne, car il ne faut pas oublier que, si, d'une part, avec une inclinaison trop forte, la combustion acquiert de la lourdeur, d'autre part avec une inclinaison faible, elle perd de sa stabilité. Le fruit intérieur varie ordinairement entre 0,15 et 0,18. Le parement extérieur doit être fait autant que possible par un même ouvrier bon briqueteur, on assure de la sorte l'uniformité des assises et par suite un plus bel aspect.

Chapiteau. — Cette partie de la construction est à la fois décorative et protectrice. A ce dernier point de vue elle exige beaucoup de soins pour le rejointement des briques ou des pierres de taille de façon à en prévenir

toute infiltration d'eau de pluie. Pour l'harmonie des formes et la justesse des proportions, la hauteur du chapiteau est généralement comprise entre $\frac{1}{20}$ et $\frac{1}{25}$ H.

Stabilité des cheminées. — L'épaisseur des maçonneries dans une cheminée se détermine théoriquement en calculant les conditions de stabilité de l'édifice. On connaît à priori la section intérieure et la hauteur H de la cheminée (voir au paragraphe suivant); par suite si on appelle :

r = le rayon intérieur de la cheminée au sommet.
 R = — — — — — au bas.
 f = le fruit intérieur.

On aura :

$$1^{\circ} R = r + f H.$$

Ceci étant posé, nous savons que la cheminée doit :
 1° résister à l'action renversante du vent ; 2° être construite de telle façon que les briques des différentes assises puissent résister en tous points à l'écrasement des assises supérieures.

Ces deux conditions sont exprimées par les formules (2) et (3), savoir :

Action du vent

$$(2) \quad P \delta = (2 \text{ ou } 3) \frac{p H^2 (2 R + r)}{3}$$

Action du poids des matériaux

$$(3) \quad \pi = \leq \frac{P}{\omega} \left(1 + \frac{2 R^2}{R^2 + R'^2} \right)$$

Dans lesquelles P est le poids des matériaux de la cheminée.

δ = distance de l'axe de la composante des forces dues au vent et au poids des matériaux.

p = pression du vent par mètre carré de surface

= 135^k cheminées rondes.

= 170^h — carrées.

π = pression sur les briques de l'assise inférieure. (Cette pression ne doit pas dépasser 0^k,065 par millimètre carré de surface.)

ω = section des maçonneries à la base de la cheminée.

L'épaisseur se déduit des formules de stabilité en déterminant le poids P des maçonneries de façon à satisfaire aux formules (2) et (3). Il est inutile d'entrer dans le détail de ces calculs auxquels dans la pratique on a rarement recours.

On se contente ordinairement de calculer l'épaisseur des maçonneries en se donnant l'épaisseur au sommet e , les fruits, le diamètre au sommet et la hauteur; la valeur de e s'obtient par comparaison avec les cheminées existantes et se trouve être le plus souvent de 0,22; quelquefois, pour les petites cheminées, on descend à 0,11 mais ce n'est pas prudent.

L'épaisseur à la base E se déduit de l'épaisseur au sommet par la formule :

$$E = e + (f - f') H$$

f et f' étant les fruits intérieurs et extérieurs.

Hauteur et section des cheminées. — Il existe un grand nombre de formules pour déterminer la hauteur et la section d'une cheminée. Nous nous bornerons à indiquer les plus simples et celles qu'on peut employer en toute sécurité.

En général la hauteur H est comprise entre 15 et 35 mètres. Schilling conseille de prendre

$H = 10$ ou 20 mètres pour les petites usines,

25 à 30 — grandes usines.

Quelques ingénieurs calculent la hauteur en fonction

du poids de combustible brûlé par heure dans les foyers par l'appareil. Ils emploient la formule :

$$H = \frac{7 P}{P + 30}$$

P = poids de combustible brûlé par heure. .

La section peut se déterminer en fonction de la surface de la grille par la relation

$$\omega = \frac{1}{3} \text{ ou } \frac{1}{2} S$$

S = surface de la grille. .

Schilling donne la méthode suivante qui conduit à des résultats voisins des précédents :

Petites usines $\omega = 0,013 \times \pi$

Grandes — $\omega = 0,010 \times \pi$

π = poids de combustible brûlé sur la grille pendant vingt-quatre heures.

Les formules suivantes permettent de calculer H ou ω , quand on s'est donné l'une de ces deux quantités.

$$(1) \quad \omega = P \frac{1}{100 \sqrt{H}}$$

Formule de Montgolfier.

$$(2) \quad \omega = \frac{4}{5} \frac{P}{\sqrt{H}}$$

Formule de Trégold.

P = poids du combustible brûlé par heure.

H et ω hauteur et section de la cheminée.

Cette dernière formule, très employée, donne des résultats plus élevés qu'il ne convient.

M. Melon dans une communication à la Société technique, a établi les formules suivantes, permettant

de déterminer les dimensions des cheminées dans les usines à gaz.

$$(1) \quad H = h [1 + 0,00703 (T - 600)] 0,77$$

$$(2) \quad Q_0 = \frac{S}{2} \frac{N}{\sqrt{2 H g}}$$

$$(3^o) \quad v = \sqrt{2gH \cdot \alpha 600}$$

$$\text{Equations secondaires } \begin{cases} h = > 14 \text{ m/m} \\ d = > 0,70 \\ H = > 15 \text{ m/m} \end{cases}$$

Dans ces formules on a :

H = hauteur de la cheminée.

S = section de la cheminée.

N = nombre de fours attelés sur la cheminée.

Q₀ = volume d'air froid appelé.

h = tirage au bas de la cheminée supposée assez voisine du four.

T = température des gaz chauds.

α = coefficient de l'air = 0,0036.

d = diamètre ou côté du carré à la base de la cheminée

Tirage. — La dépression produite par une cheminée en colonne d'eau est :

$$H d_0 \alpha = \frac{T - \theta}{(1 + \alpha \theta) \times (1 + \alpha T)}$$

$d_0 = \text{densité des gaz à } \theta.$

Vitesse d'écoulement. — La vitesse des gaz dans une section $q. q. c.$ de la cheminée se détermine par la formule :

$$(A) \quad v = \sqrt{\frac{2 g \alpha (T - \theta) H}{(1 + \alpha \theta) (1 + R)}}$$

R = Coefficient de résistance dû au frottement des gaz = 0, 2 en moyenne.

θ = température de l'air ambiant; les autres symboles ont la même signification que ci-dessus.

De la formule (A) on déduit le poids des fumées π , évacuées par seconde; S étant la section de la cheminée.

$$(B) \pi = 1000 S \frac{d_0}{1 + \alpha T} \sqrt{\frac{2g H \alpha (T - \theta)}{(1 + \alpha \theta) (1 + R)}}$$

Le volume des gaz écoulés par seconde sera $Q = SV$.

La densité d_0 est voisine de celle de l'air : $d_0 = 1,30$ tandis que pour l'air on a $d'_0 = 1,293$.

d_0 = densité des gaz chauds à θ_0 . Même signification que plus haut pour les autres lettres.

Lorsque π sera maximum, le travail de la cheminée aura atteint sa plus grande valeur. Mais π ne varie qu'avec le facteur $\sqrt{\frac{T - \theta}{1 + \alpha T}}$. Il est facile d'obtenir le maximum de cette fraction en égalant à 0 le dérivé de son carré, on trouve alors que π est maximum pour

$$T = \frac{1}{\alpha} + 20 = 273 + 20$$

Pour $\theta = 0$

$$T = 273^\circ = \text{maximum}$$

Ce maximum théorique n'a pas été constaté dans la pratique, mais on a remarqué qu'aux environs de 300° , le travail de la cheminée ne variait que légèrement et avait sa plus grande valeur. Ce maximum a lieu à une température plus basse en hiver

$$\text{Pour } \theta = \begin{cases} 10^\circ & \dots & T = 250 \\ 13^\circ & \dots & T = 299 \\ 15^\circ & \dots & T = 303 \end{cases}$$

Si nous portons cette valeur de T dans la formule (1) nous aurons, en supposant $\theta = 0$:

$$v = \sqrt{\frac{2g \alpha 600}{1 + R}}$$

Enfin, si on ne tient pas compte du frottement des

gaz dans la cheminée, on retombe sur la formule adoptée par M. Melon.

La formule ci-dessous, beaucoup plus simple, est suffisante, dans le cas de la pratique journalière, pour déterminer rapidement en divers points d'une cheminée la vitesse des gaz au passage.

$$v = \sqrt{13 e}$$

e = dépression manométrique mesurée en colonne d'eau.

La vitesse de sortie au sommet de la cheminée devra toujours être supérieure à 1,80 ou 2 par seconde, afin que le tirage ne soit pas influencé par le vent.

On peut juger de l'action du vent sur le tirage par des tableaux graphiques fort simples :

Sur une ligne AB on porte le diamètre de la cheminée ou le côté du carré, aux points A et B on élève des ordonnées AC, BD perpendiculaires sur AB et égales à la vitesse de sortie des gaz. Aux points C et D, on mène, suivant la direction du vent, des lignes DE, CF proportionnelles à sa vitesse. L'aire ABEF représente le volume débité par la cheminée dans une seconde et on voit que lorsque le vent souffle horizontalement, le débit n'est pas altéré et est le même que quand il n'y a pas de vent, mais qu'il croît quand le vent souffle de bas en haut, et décroît quand il souffle de haut en bas.

Il est prudent dans les usines de contrôler fréquemment le tirage de la cheminée et même d'établir à la base un manomètre qui donnera toujours des indications utiles. La dépression d'eau doit varier entre 0,12 et 0,15 au minimum ; le plus souvent elle oscille aux environs de 0,25 (manomètres ordinaires ou inclinés indicateurs à vide à frotteur excentré).

CHAPITRE VI

DISTILLATION DE LA HOUILLE

Chargement et déchargement des cornues. — Le chargement à la pelle, de beaucoup le plus répandu, est celui qui demande le plus de soins ; il exige un chargeur habile opérant rapidement et sachant bien répartir la houille. On lui reproche de mettre l'usine à la merci d'ouvriers spéciaux en cas de grève, et dans l'embarras en cas de maladies. D'autre part, comme il est toujours plus long que les autres modes de chargement, on l'accuse d'occasionner pendant la charge une perte de gaz assez importante.

Celle-ci varie en effet entre 2 et 3 p. 100 de la production totale.

Le chargement à la cuillère est ordinairement préféré dans les usines toutes les fois que le nombre d'ouvriers pour les fours est égal ou supérieur à trois. Il ne demande pas, à proprement parler, d'ouvriers spéciaux, mais seulement deux manœuvres actifs et un porteur grand et robuste : la perte de gaz pendant le chargement des cornues peut être réduite à 1,5 p. 100.

Depuis de longues années on s'est préoccupé dans les usines de l'installation d'outils ou de fours spéciaux, permettant un chargement mécanique ou automatique.

Citons les machines Vester, les chargeurs West, Servier et Rouget, Jarlot, Ross, etc.

Les essais de ces divers appareils ont été faits dans de grandes usines, notamment en Amérique et en Angleterre. Il est encore difficile de se prononcer sur les résultats à attendre de ces nouveaux engins, mais on peut aisément comprendre qu'ils ne peuvent s'appliquer avantageusement qu'à des exploitations très importantes. Il faut, en outre, tenir compte dans les discussions économiques, des frais assez considérables de premier établissement, de la durée des appareils, de leur entretien, etc.

Nous ne terminerons pas cette question sans rappeler le nom de M. A. Coze qui a repris ces derniers temps, pour la perfectionner, une idée de chargement automatique des cornues déjà étudiée par la Compagnie Parisienne. Le principe est le suivant :

Placer les cornues dans les fours à distiller, de façon qu'elles fassent avec l'horizon un angle égal ou voisin du talus d'éboulement des charbons à gaz.

On charge la cornue par le haut en culbutant dans la trémie de chaque cornue des wagonnets spéciaux ; le défournement du coke a lieu par le bas et cela très facilement en raison de l'inclinaison des cornues. A l'aide de certaines dispositions et avec quelques tours de main, on arrive à faire les chargements d'une façon satisfaisante, que le charbon employé soit menu, grêle, ou tout venant, pourvu qu'il ne soit pas humide au delà de certaines limites.

Comme dans le cas des chargeurs mécaniques, il convient avant de se prononcer sur la valeur du système de pouvoir calculer exactement l'accroissement de dé-

penses dû à la modification des fours et des cornues ; il convient de savoir si la durée des appareils n'est pas diminuée.

En général, il faut compter sur vingt minutes pour faire la charge complète d'un four à sept avec un chauffeur et son aide. Cette même opération peut être faite avec des hommes de choix en quinze minutes.

Action de la chaleur sur les houilles. — Lorsque les cornues sont chargées, que les tampons sont en place, les houilles se trouvent soumises à l'action d'une chaleur plus ou moins vive qui se propage par rayonnement d'une part, par conductibilité de l'autre.

Selon la température des cornues, les phénomènes qui se manifestent peuvent être énumérés comme il suit :

Entre 300° et 330° dégagement de gaz faible (expérience de M. Marsilly) ; au-dessus de 350° et 400°, décomposition de la houille et dégagement des matières volatiles d'autant moins facilement condensables que la température est plus élevée.

A 800° les houilles ont donné le volume de gaz susceptible de produire le maximum de lumière ; au delà de cette température, la quantité de gaz fixe s'élève encore, mais le pouvoir éclairant moyen s'abaisse sensiblement.

La température de 350° est donc la température nécessaire et suffisante à laquelle se produit la décomposition des houilles ; toutefois, dans la pratique des usines à gaz, les cornues sont toujours chauffées à une température notablement supérieure (900° à 1,200°) afin d'obtenir une distillation plus rapide et surtout un

volume plus important de gaz fixe. Nous verrons plus loin l'influence des températures sur la production du gaz d'éclairage.

Transmission du calorique. — Pendant longtemps on s'est préoccupé de savoir comment s'opérait la transmission de la chaleur dans la houille pendant la distillation. Des expériences, déjà anciennes, faites à la Compagnie Parisienne, ont permis d'éclaircir cette question. On savait déjà que dans les saumons de coke, résidus de la distillation, la partie la moins cuite était la partie centrale. On a pu constater que la ligne de séparation entre le coke et la houille non distillée était une courbe fermée qui s'avance progressivement de la périphérie au centre au fur et à mesure que la charge distille. Cette courbe est appelée *ligne isotherme de 350°*, parce qu'on admet que le charbon qui se cokéfie reste durant tout le temps de sa distillation à une température sensiblement constante et égale à la température de décomposition.

Il résulte de ces observations que la chaleur se transmet à la fois par conductibilité au cœur de la charge, pour les couches en contact avec les parois de la cornue et par rayonnement pour les couches supérieures.

La marche des courbes isothermes prouve enfin que l'action de la chaleur conduite est plus intense que celle de la chaleur rayonnée.

D'autre part, dans un mémoire remarquable, M. Guegen a pu théoriquement démontrer, en se basant sur la conductibilité des houilles, que la distillation serait deux ou trois fois plus longue qu'elle n'est en réalité si on ne faisait intervenir que l'action de la chaleur conduite. Il faut donc admettre avec lui que

l'échauffement de la masse est dû, pour une grande partie, au passage des gaz produits qui traversent la couche de houille en se dégageant et aux réactions chimiques qui se produisent pendant la distillation.

Comme conclusion de cette étude, il sera donc avantageux, pour obtenir une distillation rapide à une température donnée, d'employer des cornues offrant à la houille de grandes surfaces de contact, et de distiller de préférence aux charbons menus et en grosses mottes, des charbons grêles qui faciliteront le passage des gaz.

PRODUITS COMPLEXES DE LA DISTILLATION

La houille soumise en vase clos à l'action de la chaleur dégage une certaine quantité de *matières volatiles* et un résidu fixe de *coke*.

Les *matières volatiles refroidies* se décomposent en *gaz fixes*, *eaux ammoniacales*, *goudrons*.

Rendements des houilles à gaz. — Dans les tableaux suivants figurent les rendements moyens des houilles à gaz.

RENDEMENTS FOURNIS PAR DIVERSES HOUILLES

| PRODUITS PAR 100 KILOGR. | HOUILLES | | | | MOYENNES des rendements en poids |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| | Anglaises | Belges et du nord de la France | de Commentry et de Chansac | du Gard | |
| Gaz | 28-32 ^{m³} | 28-30 ^{m³} | 26-31 ^{m³} | 20-26 ^{m³} | 14-17 p.100 |
| Goudron | 4-6 lit. | 3-5 lit. | 3-6 lit. | 3-5 lit. | 5-6 |
| Eaux ammoniacales.. | 6-8 | 6-6,5 | 5-7 | 5-6 | 6-7 |
| Coke | 16-18 hect. | 16-18 hect | 16-19 hect. | 14-17 hect. | 66-72 |

A la Compagnie Parisienne (usine expérimentale de la Villette), on a obtenu avec les cinq types de houilles dont l'analyse a été donnée page 98 :

| PRODUCTION par 100 kil. de houille | 1 ^{er} TYPE | 2 ^e TYPE | 3 ^e TYPE | 4 ^e TYPE | 5 ^e TYPE |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Gaz | 17k | 16k95 | 15k81 | 15k08 | 13k70 |
| Goudron | 5,58 | 5,48 | 5,08 | 4,65 | 3,90 |
| Eaux ammoniacales.. | 9,86 | 8,61 | 6,80 | 5,57 | 4,59 |
| Coke..... | 58,00 | 60,85 | 64,90 | 67,63 | 71,48 |
| Poussier | 9,36 | 8,09 | 7,41 | 6,07 | 6,33 |
| Totaux.... | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Eléments constituant des produits de la distillation.

— Dans le tableau suivant nous avons groupé tous les éléments qui rentrent dans la composition des produits de la distillation.

CAUSES QUI INFLUENT SUR LES RÉSULTATS DE LA DISTILLATION

Les rendements ainsi que la qualité des produits obtenus par la distillation sont essentiellement variables, non seulement avec la nature des houilles, mais encore avec la température de distillation, l'épaisseur des charges, la pression sur les cornues, la présence de corps étrangers, etc.

Nous nous proposons d'examiner rapidement les effets produits par les principales causes énumérées ci-dessus, sans pour cela renoncer à étudier plus loin en détail les réactions chimiques qui s'opèrent dans l'intérieur des cornues.

TABLEAU DES PRODUITS DE LA DISTILLATION

| | | | |
|--|-----|---|---------------------------|
| Principes éclairants | Gaz | Ethylène ou hydrogène bicarboné | $C^2 H^4$ |
| | | Acétylène. — Allylène..... | $C^2 H^2 - C^6 H^4$ |
| Vapeurs | | Propylène. — Butylène. — Amylène, etc.. | $C^6 H^6 - C^8 H^8$ |
| | | Benzine — Toluène..... | $C^{12} H^6 - C^{14} H^8$ |
| | | Naphtaline..... | $C^{20} H^8$ |
| Principes peu éclairants | | Styrolène ou butyle ou téréne, etc..... | $C^{16} H^8$ |
| | | Gaz des marais, grisou ou protocarbure d'hydrogène..... | $C^2 H^4$ |
| | | Oxyde de carbone | CO |
| | | Hydrogène..... | H |
| Principes nuisibles pour la qualité du gaz | | Azote..... | Az |
| | | Acide carbonique .. | CO^2 |
| | | Ammoniaque..... | Az H |
| | | Cyanogène, sulfure de carbone..... | $C^2 Az - CS^2$ |
| | | Hydrogène sulfuré..... | HS |
| | | Sulfo-carbures..... | |
| | | Sulfo-cyanogènes..... | |

| | | | | |
|-----------------|------------------------------------|---|---|--|
| Eau ammoniacale | Principaux éléments | { Sesqui-carbonate d'ammoniaque..... Bi-carbonate d'ammoniaque..... Sulfhydrate d'ammoniaque..... Chlorhydrate d'ammoniaque..... Cyanidrate-sulfocyanhydrate d'ammoniaque. Hyposulfite, sulfite, sulfate, acétate, etc. | $2\text{Az H}^+\text{O}, \text{HO}, 3\text{CO}^2$ $\text{Az H}^+\text{O}, \text{HO}, 2\text{CO}^2$ $\text{Az H}^+\text{S}$ $\text{Az H}^+\text{Cl}$ $\text{AzH}^+\text{Cy}-\text{AzH}^+\text{SCyS}$ | |
| | | | Goudron | Composés | Liquides | Benzine ou benzol..... | $\text{C}^{12}\text{H}^6$ |
| Toluène..... | C^{14}H^8 | | | |
| Xylène..... | $\text{C}^{16}\text{H}^{10}$ | | | |
| Cumène..... | $\text{C}^{18}\text{H}^{12}$ | | | |
| Goudron | Solides | Naphtaline..... | C^{20}H^8 | |
| | | Anthracène..... | $\text{C}^{28}\text{H}^{10}$ | |
| Goudron | Carbures oxygénés | Préantrène, etc..... | $\text{C}^{28}\text{H}^{10}$ | |
| | | Phénol ou acide phénique..... | $\text{C}^{12}\text{H}^6\text{O}^2$ | |
| | | | Acide rosolique..... | $\text{C}^{40}\text{H}^{14}\text{O}^6$ |
| | | | Créosote..... | C^{14}HO^2 |
| | | Bases azotées | Aniline..... | $\text{C}^{12}\text{H}_7\text{Az}$ |
| Toluidine..... | $\text{C}^{14}\text{H}^9\text{Az}$ | | | |
| Coke | Résidu | Brai..... | | |
| | | Azote, soufre, carbone, cendres, etc..... | Az. S. C. | |

Influence des températures. — La substitution des cornues en terre réfractaire aux cornues en fonte conduisit rapidement à adopter pour la distillation les hautes températures.

Aujourd'hui, on opère d'une façon courante entre 1,000° et 1,200° et on a toute satisfaction de cette pratique.

Sans doute à ces hautes températures la production de naphthaline, oxyde de carbone, hydrogène, acide carbonique est augmentée; sans doute au contact des parois très chaudes de la cornue les gaz subissent de nombreuses décompositions pyrogénées, et perdent de leur pouvoir éclairant; mais, en revanche, le gaz produit est plus abondant (5 à 10 p. 100 en plus) et son pouvoir éclairant reste encore très acceptable. La production par cornue est augmentée et peut atteindre 250 mètres cubes par vingt-quatre heures; le coke produit est léger, d'une combustion facile et d'un aspect brillant; on obtient moins de goudron et on lui enlève une plus grande quantité d'hydrocarbures éclairants; on retire également de la houille une plus grande quantité d'azote ce qui rend plus avantageux le traitement des eaux ammoniacales; ajoutons enfin qu'on produit un peu moins d'hydrogène sulfuré et que, par suite, l'épuration est plus facile.

Les tableaux suivants, qui résument d'anciens travaux de M. Audouin à la Compagnie Parisienne, permettront de se faire une idée très exacte de l'influence des températures sur les produits de la distillation.

Ils sont suivis de ceux fournis par M. Wri^gth, en Angleterre.

TABEAU

DES

DISTILLATIONS A BASSES ET HAUTES TEMPÉRATURES

N° 1

RENDEMENTS

| POUR 100 KIL. DE CHARBON DE DENAIN | HAUTES TEMPÉRA- TURES — | BASSES TEMPÉRA- TURES — | A BASSE TEMPÉRATURE on obtient donc | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|---|----------|
| | 6 heures de distillation | 8 heures de distillation | en plus | en moins |
| Gaz en mètres cubes | 25,071 | 16,132 | ..... | 35 % |
| Pouvoir éclairant en carrels | 0,705 | 1,185 | 68 % | |
| Coke en hectolitres | 1,840 | 1,640 | ..... | 41 % |
| Poids d'un hectolitre | 35,944 | 37,376 | | |
| Poussier de coke | 0,012 | 0,015 | 12 % | |
| Goudron | 2,964 | 4,010 | 27 % | |
| Densité du goudron | 1,177 | 1,143 | | |
| Eaux ammoniacales (litres) | 5,927 | 6,078 | 2 % | |
| Degré des eaux | 2,200 | 2,200 | | |
| Coke brûlé % de charbon. | 31 kilos | 22 kilos | | 30 % |
| GOUDRONS CONDENSÉS | | | | |
| 1° { Dans les barillets | 41 % | 58 % | | |
| { Densité | 1,196 | 1,180 | | |
| 2° { Dans les réfrigérants | 59 % | 42 | | |
| { Densité | 1,165 | 1,110 | | |

N° 2
COMPOSITION DES GAZ

| CORPS CONTENUS | HAUTES TEMPÉRATURES | | BASSES TEMPÉRATURES | |
|-------------------------------------|------------------------|--------|-----------------------|--------|
| | pour 100 k. de houille | | par 100 k. de houille | |
| | par mètre cube | | par mètre cube | |
| Ammoniaque (AzH ³) | 68,830 | 0,4707 | 4,208 | 0,0673 |
| Acide sulfhydrique (HS) | 8,339 | 0,1790 | 8,690 | 0,1390 |
| Acide carbonique (CO ²) | 18,700 | 0,4675 | 12,440 | 0,1991 |

N° 3

COMPOSITION DES GOUDRONS

| CORPS CONTENUS | HAUTES TEMPÉRATURES | | | | BASSES TEMPÉRATURES | | | |
|-----------------|---------------------|-------------|---------------|-----------------------------|---------------------|-------------|---------------|-----------------------------|
| | Barillet | Réfrigérant | Goudron moyen | Rendement p. 100 de charbon | Barillet | Réfrigérant | Goudron moyen | Rendement p. 100 de charbon |
| | | | | | | | | |
| Eau | 2,5 p. 100 | 8 p. 100 | 5,745 | 0,1690 | 4,5 p. 100 | 4,5 p. 100 | 4,50 | 0,1704 |
| Essence à 24 | " | " | " | " | " | 12,2 | 6,80 | 0,2717 |
| — 22 | " | 11,5 | 6,785 | 0,2010 | " | " | " | " |
| — 12 | " | " | " | " | " | " | " | " |
| Huiles lourdes | 17,0 | 16,0 | 17,074 | 0,5039 | 8,0 | 20,0 | 4,840 | 0,1856 |
| Naphtaline | 12,0 | 6 | 8,460 | 0,2500 | 11,5 | 8,0 | 17,394 | 0,6956 |
| Brai | 67,6 | 58 | 61,936 | 1,8401 | 2,0 | 51,3 | 4,320 | 0,1708 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,00 | 2,9640 | 100,00 | 100,0 | 100,00 | 4,0100 |

— Toujours sur le même sujet et au point de vue des pouvoirs éclairants et du rendement, voici les résultats obtenus par M. Wri^gth dans des essais au Laboratoire.

On a distillé dans chaque expérience 2,24 livres de charbon de Newcastle. Les volumes sont ramenés à 0,760 de pression et 15°,5 de température.

RENDEMENTS DE DISTILLATIONS A DIVERSES TEMPÉRATURES

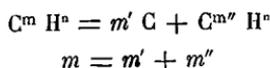
| TEMPÉRATURE de distillation | GAZ par tonne | POUVOIR éclairant en bougies | BOUGIES par tonne |
|-----------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| Rouge sombre..... | 8,250 | 20,5 | 33,95 |
| » cerise..... | 9,693 | 17,8 | 34,51 |
| » orange..... | 10,821 | 16,75 | 36,14 |
| » clair..... | 12,006 | 15,6 | 37,46 |

Les quatre échantillons de gaz analysés ont donné les compositions ci-dessus :

| N° | H | C O | C ² H ¹ | C ⁿ H ⁿ | Az |
|----|-------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| 1 | 38,09 | 8,72 | 42,72 | 7,55 | 2,92 |
| 2 | 43,77 | 12,50 | 34,50 | 8,83 | 3,40 |
| 3 | Egarée..... | ..... | ..... | ..... | ..... |
| 4 | 48,02 | 13,96 | 30,70 | 4,51 | 2,81 |

Poids des charges. — Après avoir pendant longtemps préconisé les charges en couches minces, les gaziers

ont adopté les couches d'épaisseur moyenne variant entre 20 à 30 centimètres. Elles distillent facilement et donnent peu de graphite. Les fortes charges ont l'inconvénient de refroidir les cornues et par suite elles donnent les résultats de la distillation à basse température. Dans certains cas, toutefois, elles peuvent avoir leur raison d'être, par exemple lorsqu'il s'agit d'obtenir du coke dur et compact pour les usages métallurgiques. Les fours Pauwels distillant 6 à 7 tonnes de houille en soixante-dix ou soixante-quinze heures, sont une application de ce principe et sont exclusivement construits pour l'obtention d'un coke de densité supérieure. Cet accroissement de densité du coke s'obtient au détriment de la quantité du gaz, à cause de la décomposition des carbures denses et de la formation de carbures plus légers avec dépôt de carbone, comme l'exprime la formule ci-dessous :



Le poids des charges, variable d'ailleurs suivant l'état et la dimension des cornues, la durée de distillation, etc., sera le plus souvent, dans la pratique, de 100 à 150 kilogrammes.

Durée des charges. — Les charges se répètent ordinairement tous les cinq heures environ (4 h. 48). C'est assurément une durée très convenable pour la distillation et avec laquelle on obtient d'excellents rendements sans surmener les fours, ni fatiguer outre mesure les chargeurs.

On trouve, il est vrai, des partisans assez nombreux

des charges en quatre heures et même en trois heures. Il est sans doute avantageux d'augmenter le rendement des cornues par vingt-quatre heures, mais il faut aussi tenir compte des inconvénients que cette pratique peut entraîner, à savoir : l'usure rapide des cornues et foyers, les accidents de marche quand des refroidissements surviennent, la dépense élevée du combustible, la fatigue pour le personnel.

Dans les petites usines, la distillation peut durer six et huit heures, mais dans ce cas il n'y a pas à discuter le mode d'opérer, auquel on est naturellement conduit par les exigences de la consommation.

A l'aide des données qui précèdent et connaissant les poids et durée moyenne des charges, il est facile de se rendre compte de la puissance de fabrication d'un matériel donné. — Le tableau de la page 224 donne quelques renseignements à ce sujet.

PRODUCTION DU GAZ DANS LES DIVERSES PHASES
DE LA DISTILLATION

Si nous examinons la proportion du gaz produit dans les différentes phases de la distillation, nous trouverons les moyennes ci-après :

DISTILLATION DE 4 HEURES

| | | | | |
|-----------------------|------------------|--------|---------|------|
| 1 ^{re} heure | 24 ^{me} | p. 100 | densité | 0,53 |
| 2 ^e — | 29 | — | — | 0,41 |
| 3 ^e — | 29 | — | — | 0,38 |
| 4 ^e — | 28 | — | — | 0,31 |
| Total | 100 | | | |

TABLEAU
DE LA PRODUCTION D'UNE CORNUÉ
PAR VINGT-QUATRE HEURES

| DURÉE de la DISTILLATION | 2 CORNUES | | 3 CORNUES | | 4 CORNUES | | 5 COR- NUES | | 6 CORNUES | | 7 CORNUES | | 9 CORNUES | | 12 CORNUES | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 | 25 p. 100 | 30 p. 100 |
| 4 heures . . | 360 | 430 | 540 | 650 | 720 | 860 | 1080 | 1000 | 1290 | 1260 | 1510 | 1620 | 1940 | 2000 | 2380 | |
| 4 h. 48 min. | 300 | 360 | 450 | 540 | 600 | 720 | 900 | 900 | 1080 | 1050 | 1260 | 1350 | 1620 | 1800 | 2160 | |
| 6 heures . . | 240 | 290 | 360 | 430 | 400 | 580 | 720 | 720 | 860 | 840 | 1000 | 1080 | 1300 | 1440 | 1720 | |
| 8 heures . . | 180 | 220 | 270 | 325 | 360 | 450 | 550 | 540 | 650 | 630 | 780 | 810 | 970 | 1080 | 1300 | |

Les charges sont comptées à 120 kilos et le rendement à 25 et 30 p. 100

A la Compagnie Parisienne, avec les types de houille donnés page 98, on a trouvé les résultats suivants.

TABLEAU 3

| PROPORTION du gaz produit pendant | 1 ^{er} TYPE | 2 ^e TYPE | 3 ^e TYPE | 4 ^e TYPE | 5 ^e TYPE |
|---|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| La 1 ^{re} heure... | 23,1 | 24,2 | 24,7 | 25,0 | 23,8 |
| — 2 ^e — ... | 26,9 | 29,6 | 29,2 | 28,4 | 29,9 |
| — 3 ^e — ... | 19,0 | 20,0 | 20,8 | 28,6 | 28,8 |
| — 4 ^e — ... | 20,6 | 16,9 | 16,3 | 18,0 | 16,4 |
| | 100 » | 100 » | 100 » | 100 » | 100 » |

Pression. — La pression des gaz dans la cornue doit toujours être aussi faible que possible afin que les produits de la distillation puissent se dégager facilement. Le rendement gazeux se trouvera de la sorte augmenté et la formation du graphite diminuée. Dans les usines munies d'extracteurs, la pression doit se réduire à 20 ou 30 millimètres représentant uniquement le lutage des plongeurs dans le barillet.

Dans les petites usines, on se tiendra entre les pressions de 100 à 150 millimètres et plus bas, si la chose est possible. Un manomètre indiquant la pression du gaz dans le barillet doit toujours exister dans une usine bien conduite.

Influence de certains corps étrangers, de la chaux notamment, sur les résultats de la distillation. — On a fait grand bruit, ces derniers temps, sur la distillation de la houille mélangée de chaux. On arrivait, disait-on,

par ce moyen, à augmenter le rendement en gaz, le pouvoir éclairant et la proportion d'ammoniaque dans le gaz ; on réduisait aussi la teneur de ce dernier en soufre.

Après les nombreuses controverses auxquelles ont donné lieu les essais, il semble reconnu qu'en réalité, la présence de la chaux en petite quantité (2,5 à 3 p. 100) dans la houille distillée augmente de 4 à 5 p. 100 le rendement gazeux ; elle enlève au gaz 0,15 à 0,20 p. 100 de soufre et lui fait emporter en plus 15 à 20 p. 100 d'ammoniaque. Par contre, le pouvoir éclairant diminue de 5 p. 100 environ ; le coke contient plus de cendres et prend un aspect moins beau (taches blanches de chaux). On produit un peu moins de goudron et celui-ci est pauvre en benzol.

La silice agit dans le même sens que la chaux.

* THÉORIE CHIMIQUE DE LA DISTILLATION DES HOUILLES

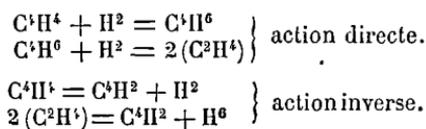
Nous devons à M. Guégen une étude très remarquable sur les phénomènes chimiques de la distillation. Il a su, sous une forme claire, grouper et discuter les résultats des expériences faites par MM. Berthelot, Payen, Sainte-Claire-Deville, etc., et en tirer des conclusions précieuses et peut-être encore trop peu connues. Nous allons résumer les points principaux de son intéressant mémoire :

On trouve, dans les produits de la distillation des houilles, des composés de carbone et d'hydrogène, d'azote et d'hydrogène qu'il est impossible de produire par synthèse avec des températures inférieures à celles

de l'arc voltaïque. Or ces composés se rencontrent jusque dans les distillations faites à 400°, ce qui nous oblige à conclure qu'ils existent dans la houille. Il nous suffit d'ailleurs d'admettre que l'un quelconque des quatre carbures fondamentaux dont il est question ci-dessous soit présent dans la houille pour expliquer la formation, sous l'action de la chaleur, des autres composés carburés qui se rencontrent dans le gaz. Considérons en effet les quatre carbures fondamentaux suivants : acétylène ($C^2 H^2$), éthylène ($C^2 H^4$), deuthylène ($C^3 H^6$), formène ($C^2 H^4$), et examinons comment la chaleur agit sur eux.

1^{er} Fait. — Sous l'action de la chaleur, un quelconque de ces carbures peut prendre ou perdre de l'hydrogène et donner ainsi naissance à l'un des trois autres. Cette transformation, qui est plus ou moins rapide selon les cas, s'opère de 400 à 500° et jusqu'au rouge vif ; elle est toutefois limitée, c'est-à-dire que, dans l'intervalle des mêmes températures et par une sorte de dissociation, le carbure résultant est décomposé d'une façon inverse à celle de sa formation.

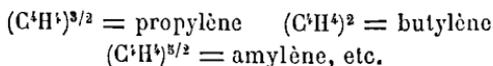
Exemples :



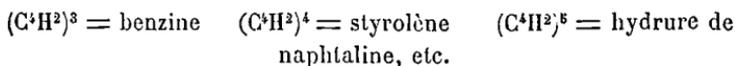
Donc, quand il existe un quelconque des carbures fondamentaux, en présence de l'hydrogène et sous l'action de la chaleur, on obtient au bout d'un certain temps les trois autres.

2° Fait. — A la température du rouge, l'éthylène et l'acétylène donnent par polymérisation un grand nombre de nouveaux carbures ayant la même composition centésimale que le carbure primitif dont ils dérivent, mais renfermant les éléments constitutifs à un degré de condensation variable.

Ainsi l'éthylène donne une série de corps ayant pour formule générale $(C^4H^4)^n$ tels que :

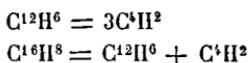


L'acétylène donne de même des composés de la forme $(C^2H^2)^n$ tels que :



La formation de ces composés polymères est encore limitée par des réactions inverses ou réciproques, en vertu desquelles sont reproduits par des décompositions ou mieux par des dédoublements les carbures primitifs moins condensés.

Exemples :



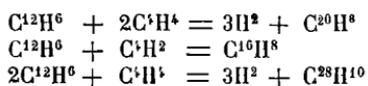
3° Fait. — La chaleur agit sur les produits polymères dont il est question ci-dessus, comme sur les carbures fondamentaux, c'est-à-dire que l'un quelconque de ces corps, par perte ou gain d'hydrogène, reproduit un des autres carbures du groupe.

Exemple :



4° Fait. — Les divers carbures, dont il a été question

ci-dessus, agissent entre eux sous l'action de la chaleur, c'est-à-dire se combinent et se dédoublent, produisant ainsi des carbures nouveaux qui pénètrent à leur tour dans le cycle des réactions et concourent à des combinaisons nouvelles. Comme toujours, ces réactions ont leurs inverses qui se produisent dans les mêmes limites de température. Voici quelques exemples de ces réactions :



5° Fait. — La chaleur joue enfin sur les produits volatils de la distillation, des phénomènes d'un ordre plus spécial et plus connu. Elle décompose les gaz et les vapeurs plus ou moins complètement d'après les lois de dissociation si bien étudiés par M. Sainte-Claire-Deville. On conçoit le rôle important de ce phénomène qui introduit dans le système en réaction une partie des éléments simples qui constituent les composés et permet ainsi des combinaisons nouvelles par l'entrée en lice de nouveaux éléments. D'ailleurs, les phénomènes que nous appelons inverses ou d'équilibre, ne sont très probablement que les résultats de la dissociation des composés produits. A ce point de vue, il est donc intéressant de rappeler les lois de la dissociation.

Lois de la dissociation. — 1° Les dissociations sont réversibles ou définitives. Dans le premier cas, les éléments dissociés, se retrouvant en présence, tendent à se recombinaison quand la cause de leur dissociation disparaît. Il en est ainsi pour la vapeur d'eau, le carbonate de chaux, etc. Dans le second cas, les éléments séparés

le sont définitivement : dissociation de l'ammoniaque ;

2° Même dans le cas où la dissociation est réversible, la recombinaison des éléments dissociés n'est pas immédiate et elle ne se fait pas à basse température ;

3° Tous les corps sont susceptibles de dissociation ; mais il existe, à chaque température et à chaque pression, une limite de tension pour les éléments dissociés à laquelle le phénomène cesse ; cette limite est indépendante des corps en présence ;

4° La limite de tension de dissociation croît avec la température et décroît avec la pression ;

5° La vitesse avec laquelle se produit la dissociation augmente avec la température.

Comme conclusion de notre étude, nous dirons qu'un carbure fondamental quelconque peut, par la seule action de la chaleur, par synthèse, réactions réciproques, dissociation ou polymérisation, donner naissance à un mélange, de différents carbures, qui sera fonction des températures, des masses, des temps et des vitesses de réactions.

Nous donnerons, dans les chapitres concernant les gaz, les eaux ammoniacales et les goudrons, le détail des propriétés physiques et chimiques des corps qui les composent.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

Composition élémentaire. — Le gaz d'éclairage est un mélange de gaz et de vapeurs, mélange variable suivant la houille employée et les procédés de la distillation.

Au point de vue de la composition élémentaire nous devons à Landolt les quatre analyses suivantes :

| ÉLÉMENTS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|----|-------|-------|-------|-------|
| Carbone.... | C | 57,35 | 61,92 | 60,78 | 61,62 |
| Hydrogène.. | H | 20,45 | 21,50 | 21,98 | 20,97 |
| Oxygène . . | O | 5,74 | 10,70 | 8,62 | 6,44 |
| Azote | Az | 16,28 | 5,58 | 9,22 | 11,00 |
| Poids | | 100 » | 100 » | 100 » | 100 » |

M. Guégen a fait remarquer très justement que 100 kilogrammes de houille grasse contiennent environ 85 kilogrammes de carbone total, 13 à 21 kilogrammes de carbone volatil et 4,68 à 5^{kg},80 d'hydrogène. Or le gaz produit par ces 100 kilogrammes de houille pèse de 15 à 18 kilogrammes et ne renferme à peu près que 8,6 à 10^{kg},28 de carbone et 3,06 à 3^{kg},26 d'hydrogène. Il en résulte que non seulement une faible quantité (soit 1/85) du carbone total de la houille est transformé en gaz

TABLEAU
DE L. A.
COMPOSITION EN VOLUME DE DIVERS ÉCHANTILLONS DE GAZ D'ÉCLAIRAGE

| ÉLÉMENTS | SYMBOLES | GAZ DE | | | | | | | | | | HOUILLE DE NEWCASTLE | | | | Bunson | Frankland | Bunson | Hempel | Blochman |
|-----------------------|-------------------------------|------------|------------|--------|----------|----------|---------|---------|------------|--------|--------|----------------------|--------|------------|------|--------|-----------|--------|--------|----------|
| | | Heidelberg | Heidelberg | Bonn | Chemnitz | Chemnitz | Londres | Londres | Canal coal | Pelton | Divers | MANCHESTER | DRESDE | KENIGSBERG | | | | | | |
| Hydrogène..... | H | 44,00 | 44,37 | 39,80 | 51,29 | 50,08 | 46,00- | 49,54 | 29,70 | 50,05 | 47,50 | 51,24 | 54,81 | 45,58 | 48,7 | 45,08 | | | | |
| Formène..... | C ² H ⁴ | 38,40 | 38,30 | 43,12 | 36,45 | 35,92 | 39,50- | 36,64 | 50,00 | 32,87 | 41,50 | 35,28 | 35,25 | 34,90 | 33,4 | 30,93 | | | | |
| Oxyde de carbone.... | CO | 5,73 | 5,56 | 4,66 | 4,45 | 5,02 | 7,50- | 4,06 | 6,80 | 12,89 | 7,32 | 7,40 | 8,95 | 6,64 | 8,0 | 4,84 | | | | |
| Ethylène..... | C ² H ⁴ | 4,13 | 5,06 | | | | | | | | | | | 4,08 | | | | | | |
| Carbures denses..... | C ⁿ H ^m | 3,14 | 4,34 | 4,75 | 4,91 | 5,33 | 3,80- | 5,78 | 13,00 | 3,87 | 3,05 | 3,56 | 3,53 | 2,38 | 3,0 | 2,99 | | | | |
| Azote..... | Az | 4,23 | 5,43 | 4,65 | 4,41 | 1,89 | 0,50- | 3,71 | 0,40 | traces | traces | 2,24 | 0,46 | 2,46 | 4,0 | 2,95 | | | | |
| Oxygène..... | O | " | " | " | 0,41 | 0,54 | " | 0,24 | " | " | " | " | " | " | 1,4 | " | | | | |
| Acide carbonique..... | CO ² | 0,37 | " | 3,02 | 1,08 | 1,22 | 0,70- | 0,03 | 0,40 | 0,32 | 0,53 | 0,28 | " | 3,67 | 1,5 | 0,30 | | | | |
| Vapeur d'eau..... | HO | " | " | " | " | " | 2,00- | " | 2,00 | " | " | " | " | " | " | " | | | | |
| Auteurs..... | " | | Bunson | Ladolt | Wander | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | " | |

d'éclairage, mais encore qu'avec les procédés actuels de fabrication on n'arrive pas à utiliser d'une manière complète les éléments volatils (carbone et hydrogène) que cette houille contient. On voit par là les nombreux progrès que peut réaliser un jour l'industrie du gaz.

La composition du gaz d'éclairage étant très intéressante à connaître au point de vue des éléments principaux qu'elle renferme; le tableau ci-contre fait connaître les résultats d'un certain nombre d'analyses faites à ce sujet.

Bunsen et Flayair en comparant le poids des éléments constitutifs du gaz d'éclairage au poids de charbon distillé ont trouvé que

100 kilogrammes de houille anglaise donnent :

| | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------|-------|--------|-------------------------|
| C ² H ⁴ | Hydrogène <i>proto-carboné</i> | } Gaz non épuré. | 7,00 | p. 100 | du poids de la houille. |
| CO | Oxyde de carbone... | | 1,10 | — | — |
| Az | Azote..... | | 0,03 | — | — |
| C ⁴ H ⁴ | Hydrogène bicarboné | | 1,10 | — | — |
| CO ² | Acide carbonique... | | 1,10 | — | — |
| HS | Hydrogène sulfuré .. | | 0,50 | — | — |
| H | Hydrogène | | 0,20 | — | — |
| Az H ³ | Ammoniaque | | 0,03 | — | — |
| | Eau ammoniacale... | | 7,50 | — | — |
| | Goudron..... | | 12,23 | — | — |
| | Coke..... | 68,92 | — | — | |

A la Compagnie Parisienne, la moyenne des résultats obtenus avec les types de houille dont nous avons parlé plus haut, p. 98, est enregistrée dans le tableau suivant :

COMPOSITION MOYENNE EN VOLUME

| TYPES | CO* | CO | H | C ⁴ H ⁴ Az | BENZOL | | DENSITÉ | POUVOIR éclairant |
|-------|------|-------|-------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------|----------------------|
| | | | | | Condensable à - 70 | Non condensable | | |
| 1 | 3,13 | 11,93 | 42,26 | 37,14 | 0,88 | 4,76 | 0,482 | lit. 101,8 |
| 2 | 2,70 | 9,86 | 45,45 | 36,42 | 1,04 | 4,44 | 0,441 | 102,1 |
| 3 | 1,72 | 8,21 | 50,10 | 35,03 | 0,96 | 3,98 | 0,399 | 103,8 |
| 4 | 1,58 | 7,19 | 52,79 | 34,43 | 0,99 | 3,02 | 0,376 | 111,7 |
| 5 | 1,47 | 6,68 | 54,21 | 34,37 | 0,79 | 2,48 | 0,352 | 132,1 |

Voici quelques analyses récentes faites par le docteur Bunte.

COMPOSITION EN VOLUME

| ORIGINE des CHARBONS | CO ² | CO | H | C ² H ⁴ | Az | BENZOL |
|----------------------------|-----------------|------|------|-------------------------------|-----|--------|
| Westphalie | 1,2 | 7,2 | 48,9 | 35,83 | 3,7 | 3,2 |
| Saare..... | 2,0 | 8,6 | 45,2 | 35,00 | 4,8 | 4,4 |
| Bohême... | 3,0 | 10,0 | 45,2 | 33,00 | 4,4 | 4,4 |
| Zwickau.. | 2,2 | 9,5 | 45,3 | 35,90 | 3,1 | 4,0 |
| Pilsen..... | 3,2 | 8,3 | 39,6 | 37,10 | 1,9 | 9,9 |

Comme résumé, et d'après les analyses les plus récentes, nous pouvons admettre les chiffres ci-dessous comme chiffres moyens :

COMPOSITION MOYENNE DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

| ÉLÉMENTS | VOLUMES | POIDS des volumes | COMPOSITION en poids dédiuite des volumes |
|--|---------|----------------------|---|
| C ⁴ H ⁴ Hydrogène bicarb. et hydrocarbures denses | 0,08 | 0,4012 | 0,1933 |
| C ³ H ⁴ Hydrog. protocarb. | 0,35 | 0,2523 | 0,5819 |
| CO Oxyde de carbone. | 0,07 | 0,0859 | 0,1641 |
| CO ² Acide carbonique.. | 0,02 | 0,0395 | 0,0755 |
| H Hydrogène..... | 0,48 | 0,0430 | 0,0842 |
| | 1,00 | 0,5219 | 1,000 |

} Densité
correspondante
0,401

Au point de vue des éléments utiles et nuisibles, le gaz se compose, au sortir des cornues, comme il suit:

Principes non éclairants et nuisibles.

| | | |
|------------------------|-------------------|-------------------------|
| Hydrogène..... | H | 45 à 50 p. 100 volumes. |
| Hydrogène sulfuré.... | H ₂ S | 2 à 4 — |
| Ammoniaque..... | Az H ³ | 0,5 à 0,2 — |
| Acide carbonique..... | CO ² | 1 à 3,5 — |
| Oxyde de carbone.... | CO | 5 à 15 — |
| Cyanogène..... | C ² Az | traces. |
| Sulfure de carbone.... | CS ² | traces. |
| Azote..... | Az | |

Principes éclairants.

| | | |
|----------------|---|---------------------------|
| Benzols..... | { C ¹² H ⁶ C ¹⁴ H ⁸ ..etc.. } | 0,8 à 1,5 p. 100 volumes. |
| Formène. | C ² H ⁴ | 34,0 à 37,0 — |
| Ethylène..... | C ² H ⁴ | } 2,5 à 4,8 — |
| Acétylène..... | C ² H ² | |

D'après M. Berthelot, le gaz de Paris renferme les éléments éclairants ci-dessous dans les proportions suivantes :

Un million de volumes de gaz courant contient :

| | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|-------------|-----------|
| C ¹² H ⁶ | Benzine en vapeur.. | 30,000 à 35,000 | soit p. 100 | 3 à 3,5 |
| C ⁴ H ² | Acétylène..... | 1,000 | — | 0,1 |
| C ² H ⁴ | Ethylène..... | 1,000 à 2,000 | — | 0,1 à 0,2 |
| C ³ H ⁶ | Propylène | 2,5 | | |
| C ³ H ⁴ | Allylène | 8 | | |
| C ⁴ H ⁸ C ²⁴ H ²⁴ | Butylène et analogues..... | traces | | |
| C ⁶ H ⁶ | Crotonylène..... | 31 | | |
| C ¹⁰ H ⁸ | Téréne et styrolène..... | 42 | | |
| Carbures identiques aux précédents, mais transformés en polymères fixes... .. | | 83 | | |
| Diacétylène et carbures analogues..... | | 15 | | |

} NOTA.— Ces chiffres sont des minima, la totalité de ces éléments ayant pu ne pas être arrêtée dans l'acide sulfurique.

COMPOSITION DU GAZ DANS LES DIFFÉRENTES PHASES
DE LA DISTILLATION

D'après les analyses de la Société continentale allemande, les corps contenus dans le gaz d'éclairage se trouvent répartis comme il suit dans les différentes phases de la distillation.

COMPOSITION DU GAZ DANS LES DIVERSES PHASES DE LA DISTILLATION

TABLEAU I

| NOMS DES GAZ | 1 ^{re} HEURE | 2 ^e HEURE | 3 ^e HEURE | 4 ^e HEURE |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Acide carbonique CO ² . | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,00 |
| Etylène et analogues) C ⁴ H ² et C ²ⁿ H ²ⁿ | 8,65 | 4,46 | 1,51 | 1,11 |
| Oxyde de carbone CO.. | 3,57 | 4,27 | 2,46 | 1,69 |
| Formène..... C ² H ⁴ | 73,92 | 51,17 | 43,94 | 34,13 |
| Hydrogène.... H... | 13,56 | 39,60 | 51,59 | 62,07 |
| Densité du gaz..... | 0,54 | 0,40 | 0,32 | 0,26 |

ESSAIS EN ANGLETERRE FAITS PAR M. WRIGHT

TABLEAU II

| GAZ | DISTILLATION DE 6 HEURES | | | DISTILLATION DE 4 HEURES | | DISTILLATION DE 6 HEURES | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Temps après la charge | | | T. après la ch | | Temps après la charge | | | |
| | 40' | 3 h. | 5 ^h 45 | 30' | 2 ^h 45 | 40' | 1 ^h 30 | 3 ^h 25 | 5 ^h 35 |
| HS. | 0,40 | 0,78 | 0,38 | 1,31 | 1,38 | 1,30 | 1,42 | 0,49 | 0,11 |
| CO ² | 2,08 | 1,34 | 0,50 | 1,52 | 1,38 | 2,21 | 2,07 | 1,49 | 1,50 |
| H. | 23,36 | 48,36 | 71,94 | 41,68 | 68,51 | 20,10 | 38,33 | 52,68 | 67,12 |
| CO | 4,52 | 6,73 | 7,52 | 4,33 | 8,49 | 6,19 | 5,68 | 6,21 | 6,12 |
| C ^m H ^m .. | 36,46 | 37,46 | 14,61 | 43,65 | 19,45 | 37,38 | 43,03 | 33,54 | 22,68 |
| C ⁴ H ⁴ | 8,84 | 3,13 | 2,72 | 6,01 | 0,84 | 10,62 | 5,98 | 3,04 | 1,79 |
| Az. | 2,37 | 2,20 | 2,18 | 1,50 | 1,33 | 2,20 | 2,47 | 2,55 | 0,78 |

En 1886, le D^r Bunte a communiqué à la Société technique allemande les résultats ci-dessous :

TABLEAU III. — Houille de Westphalie.

| NOM DES GAZ | 30 ^m | 1 ^h 15 | 2 ^h 15 | 3 ^h 15 | 4 h. | MOYENNE |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|---------|
| Acide carbonique... CO ² | 1,8 | 2,0 | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 1,2 |
| Hydrocarbures..... C ^m H ^m | 6,0 | 4,2 | 2,4 | 1,4 | 1,2 | 3,2 |
| Oxyde de carbone. CO | 8,3 | 7,4 | 6,8 | 6,6 | 6,7 | 7,2 |
| Hydrogène..... H | 37,1 | 48,9 | 53,5 | 58,2 | 61,1 | 48,9 |
| Hydr. protocarboné C ² H ⁴ | 45,4 | 36,9 | 34,2 | 29,6 | 27,6 | 35,8 |
| Azote..... Az | 1,4 | 0,6 | 2,0 | 3,5 | 2,7 | 3,7 |
| | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

TABLEAU IV. — Houille de Bohême.

| NOM DES GAZ | 30 ^m | 1 ^h 15 | 2 ^h 15 | 3 ^h 15 | 4 h. | MOYENNE |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|---------|
| Acide carbonique... CO ² | 3,8 | 3,0 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 3,0 |
| Hydrocarbures..... C ^m H ^m | 8,8 | 5,0 | 2,1 | 1,1 | 0,8 | 4,4 |
| Oxyde de carbone.. CO | 11,0 | 10,3 | 10,0 | 9,3 | 10,9 | 10,0 |
| Hydrogène..... H | 30,3 | 43,1 | 50,3 | 60,3 | 58,9 | 45,2 |
| Hydr. protocarboné C ² H ⁴ | 41,4 | 35,8 | 30,2 | 23,4 | 20,9 | 33,0 |
| Azote..... Az | 4,7 | 2,8 | 6,0 | 4,8 | 7,5 | 4,4 |
| | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

TABLEAU V. — Houille de Zwickau.

| NOM DES GAZ | 30 ^m | 1 ^h 15 | 2 ^h 15 | 3 ^h 15 | 4 h | MOYENNE |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|---------|
| Acide carbonique... CO ² | 3,4 | 3,0 | 1,9 | 1,2 | 0,8 | 2,2 |
| Hydrocarbures..... C ^m H ^m | 8,7 | 5,5 | 2,5 | 1,3 | 0,5 | 2,0 |
| Oxyde de carbone. CO | 10,5 | 10,2 | 9,3 | 9,0 | 8,7 | 9,5 |
| Hydrogène..... H | 28,6 | 42,1 | 50,9 | 56,6 | 63,3 | 45,3 |
| Hydr. protocarboné C ² H ⁴ | 46,9 | 37,1 | 32,4 | 28,7 | 23,6 | 35,9 |
| Azote..... Az | 1,9 | 2,1 | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 3,1 |
| | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

TABLEAU VI. — Houille de la Saar (Heinitz I).

| NOMS DES GAZ | 30 MIN. | 45 1 H. | 15 2 H. | 15 3 H. | 4 HEURES | MOYENNE |
|--|---------|------------|------------|------------|----------|---------|
| Acide carbonique CO ² .. | 4,0 | 3,4 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 2,0 |
| Hydrocarbures... C ^m H ^m | 9,4 | 5,6 | 4,3 | 2,4 | 1,7 | 4,4 |
| Oxyde de carbone CO... | 9,4 | 8,3 | 8,1 | 8,2 | 8,8 | 8,6 |
| Hydrogène..... H.... | 28,3 | 42,6 | 49,0 | 56,6 | 55,3 | 45,2 |
| — protocarb. C ² H ⁴ .. | 46,6 | 35,0 | 31,7 | 28,7 | 27,2 | 35,0 |
| Azote..... Az.... | 2,3 | 0,1 | 4,9 | 2,1 | 5,2 | 4,8 |
| | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

En moyenne, le gaz de houille contient de 4 à 8 p. 100 d'hydrocarbures denses, celui de Boghead ou d'huile peut en contenir plus de 20 p. 100. Le plus souvent, le gaz de Paris contient, dans un mètre cube de gaz, 39 grammes de benzol qui se décomposent en 30 grammes de benzine et 9 grammes de toluène, xylène, cumène, etc. Ces 39 grammes de benzol représentent une proportion de 1,05 p. 100 en volume et 7 p. 100 en poids.

Les autres carbures riches (éthylène, propylène, acétylène) se trouvent dans le même gaz de Paris dans la proportion de 2,5 à 4,8 p. 100 en volume, soit 6,2 à 11,7 en poids.

Pour terminer ce chapitre il nous reste à étudier les propriétés physiques ou chimiques des corps principaux contenus dans le gaz d'éclairage.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES PRINCIPAUX
ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

ÉTHYLÈNE

$$F = C^2H^4 \quad P = 28 \quad Q = 4 \quad d = 0,97 \quad \alpha = 1,274$$

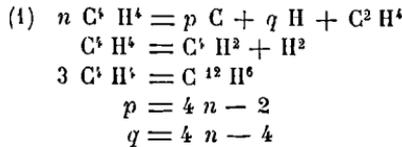
Notations. — F formule chimique. — P équivalent en poids. — Q équivalent en volume. — d densité et α poids du litre.

L'éthylène (appelé aussi bicarbure d'hydrogène, gaz oléfiant, élayle) est un gaz incolore, doué d'une légère odeur empyreumatique; peu soluble dans l'eau qui en prend seulement 1/6 de son volume, il se dissout mieux dans l'alcool; qui en prend 3 volumes, et encore davantage dans l'éther et l'essence de térébenthine. Le chlore se combine avec l'éthylène sous l'action de la lumière

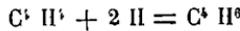
et donne naissance à l'huile des Hollandais; une réaction très vive a lieu aussi avec le brome et l'iode. L'oxygène, dans la proportion de trois volumes pour un d'éthylène, forme un mélange très détonant.

Sous l'action de la chaleur on obtient au rouge sombre la réaction suivante: $C^2 H^2 = C^2 + C^2 H^2$. On peut conclure de cette expression qu'une grande partie du graphite des cornues est due à la décomposition de l'éthylène.

Au rouge vif, les actions sont plus variées.



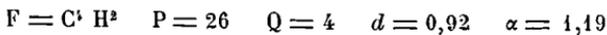
En présence de l'hydrogène naissant, l'éthylène donne naissance à l'hydrure d'éthyle.



L'éthylène est un carbure très éclairant qui absorbe en brûlant trois volumes d'oxygène et forme de l'oxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

Le gaz d'éclairage contient en volume de 0,1 à 0,2 p. 100 d'éthylène.

Acétylène

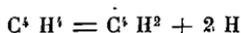


Gaz incolore, d'une odeur désagréable, assez facile à liquéfier. L'eau en dissout une fois son volume, l'essence de térébenthine deux fois, le chloroforme et la benzine

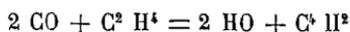
quatre fois et l'acide acétique cristallisé six fois leur volume.

L'acétylène est absorbable par les solutions de chlorure de cuivre ammoniacal, d'acide iodhydrique, ou de permanganate de potasse; il brûle en absorbant vingt-cinq volumes d'oxygène et donne une flamme fuligineuse qui serait plus éclairante si la combustion dégageait plus de chaleur.

C'est l'hydrocarbure le plus stable aux températures élevées, et sa stabilité croît en présence de l'hydrogène. La présence de l'oxygène favorise sa formation au milieu des réactions qui se passent dans la distillation des houilles. Comme carbure renfermant le plus de carbone il se produit dans les décompositions pyrogénées d'un grand nombre d'hydrocarbures.



Il se forme encore par la réaction de l'oxyde de carbone sur le formène.



Cette réaction a lieu dans toutes les combustions incomplètes. Chauffé en vase clos en présence de l'hydrogène et sous pression, il donne l'éthylène et l'hydrure d'éthylène, $C^2 H^4$ et $C^2 H^6$.

Seul et à haute température, il se polymérise et produit $C^{12} H^6$ (benzine) $C^{18} H^8$ (styrolène) $C^{20} H^{18}$ (hydrure de naphthaline, etc.). Le chlore, le brome, l'iode, le potassium et l'azote s'unissent à lui aux très hautes températures et sous l'influence de l'électricité; dans le premier cas, on obtient comme résultat le cyanogène. M. Berthelot a pu obtenir directement l'acétylène par la

combinaison directe du carbone et de l'hydrogène sous l'influence de l'arc voltaïque.

Propylène $C^6 H^6$

Butylène $C^8 H^8$

$$P = 42 \quad Q = 4 \quad d = 1,498 \quad P = 56 \quad Q = 4 \quad d = 1,99$$

Tous les carbures de cette série $C^{2n} H^{2n}$ sont des combustibles, d'autant plus éclairants que l'exposant n est moindre. Ils sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'alcool et surtout dans les carbures liquides. La formation de l'un d'eux n'a pas lieu sans la formation des homologues. $C^6 H^6$ est gazeux à 0° , le butylène bout à $+ 3^\circ$.

Le premier a une odeur phosphorée, le second une odeur éthérée assez agréable.

L'anylène — $C^{10} H^{10}$ bout à $+ 31^\circ$.

On ne rencontre dans les gaz que des traces de ces carbures.

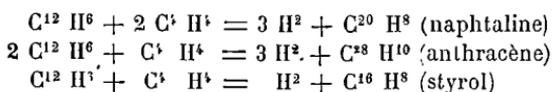
Benzine

$$F = C^{12} H^6 \quad P = 78 \quad Q = 4 \quad d = 0,89 \quad \alpha = 3,57$$

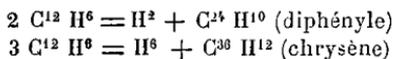
La benzine est liquide à la température ordinaire ; elle bout à 84° . C'est un carbone de la série de $C^{2n} H^{2n-6}$ qui sont tous très stables et donnent un grand nombre de dérivés. La benzine à l'état liquide est incolore, douée d'une odeur agréable ; à l'état de vapeur sa densité est de 2,75 ; elle est insoluble dans l'eau, très soluble dans l'alcool, l'éther, l'acétane et la térébenthine. Elle brûle avec une flamme très fuligineuse, ce qui est l'indice d'un carbure riche en carbone. La benzine liquide

dissout l'iode, le phosphore, le camphre, la cire, le caoutchouc, les corps gras, etc.

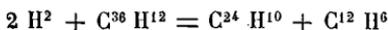
Jusqu'à 400° la benzine ne subit aucune altération dans son essence. Mais à la température du rouge elle entre en réaction avec la plupart des carbures. Il y a à peu près 30 grammes de benzine par mètre cube de gaz. Mêlée à l'éthylène, la vapeur de benzine donne au rouge le styrol, la naphthaline l'acénaphène, l'anthracène, etc.



En perdant de l'hydrogène elle donne naissance au diphényle, au chrysène :



Le chrysène, à son tour, peut régénérer la benzine en perdant deux équivalents d'hydrogène :



Benzol

On appelle benzol les hydrocarbures riches de la série aromatique. Un mètre cube de gaz en contient environ 39 grammes (30 grammes de benzine et 9 grammes de toluène), soit 10 lit. 5 (8 litres de benzine, 2 litres de toluène).

Toluène

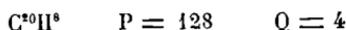


Liquide incolore, très fluide, doué d'une odeur plus

agréable que celle de la benzine. Il bout à 110° et la densité de sa vapeur est de 3,25 environ. Il brûle avec une flamme éclairante, mais fumeuse ; au rouge sombre, il abandonne l'hydrogène et produit de la benzine. Il engendre également du phénile et de l'antracène.

Xylène**Cumène****Cymène**

Tous ces carbures de la série $C^{2n} H^{2n-6}$ ont des propriétés analogues. Leur vapeur brûle avec une flamme fuligineuse et se décompose par une voie pyrogénée en carbure plus stable et en hydrogène. Ils sont liquides, mais leur point d'ébullition s'élève rapidement avec les valeurs de l'exposant. Le gaz contient environ 9 gr. de toluène et de carbures de cette série par mètre cube.

Naphtaline.

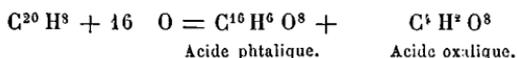
Densité de sa vapeur, variable suivant sa température.

Solide, sous forme de lamelles blanches ayant l'odeur du goudron et une saveur âcre et aromatique. A 17° , sa densité est de 1,16. Mais à 79° , c'est-à-dire à la température de fusion, cette densité n'est plus que 0,97 ; celle de la vapeur est alors de 4,58, sa température d'ébullition est de 218° .

Insoluble dans l'eau froide, elle se dissout un peu dans l'eau bouillante, beaucoup dans l'alcool, le benzol, le goudron, l'éther, les huiles grasses et volatiles, et l'acide acétique cristallisé. — Elle dissout facilement

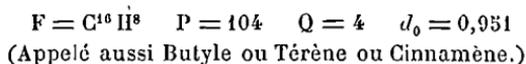
les alcaloïdes, le soufre, le phosphore, les sulfures d'étain, d'arsenic, d'antimoine, l'indigo, l'iode de mercure, etc. Le chlore, le brome et l'iode réagissent sur elle.

Très stable sous l'action de la chaleur, elle se forme dans toutes les décompositions pyrogénées des carbures. L'acide azotique réagissant sur la naphthaline donne, en abandonnant 16 équivalents d'oxygène :

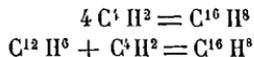


Nous avons étudié plus haut les principales réactions desquelles résulte la naphthaline.

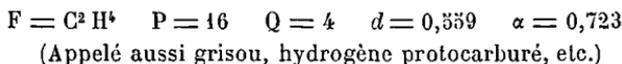
Styrolène.



Liquide incolore, très mobile, d'une odeur aromatique et pénétrante, saveur brûlante avec arrière-goût sucré. Bout à 145°. Insoluble dans l'eau, il se dissout dans l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone et les huiles volatiles. Il se produit dans les deux réactions ci-dessous :



Gaz des marais (formène).

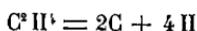


Gaz incolore, inodore, sans saveur. Le gaz d'éclairage en contient 32 à 37 p. 100 en volume. Peu soluble

dans l'eau et l'alcool. Il brûle avec une flamme pâle; avec l'air et l'oxygène il forme des mélanges détonants; sa combustion demande 8 volumes d'oxygène et produit de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Le chlore donne avec le formène du chlorure de méthyle; le brome agit aussi sur lui mais d'une façon moins vive, l'iode est inactif.

Au rouge blanc et sous l'étincelle électrique, il se décompose en ses éléments :



A une température moins élevée, il perd seulement de l'hydrogène et donne de l'acétylène :



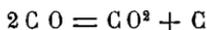
Tous les composés du même groupe qui ont pour formule générale $C^n H^{(n+2)}$ se produisent dans la distillation de la houille. Ils ont tous une grande indifférence chimique et, sous l'action de la chaleur, ils se dédoublent facilement en un produit plus volatil et un résidu plus stable.

Oxyde de carbone.

$$F = CO \quad P = 14 \quad Q = 2 \quad d = 0,967 \quad \alpha = 1,254$$

Gaz incolore, inodore, sans saveur. L'eau en dissout 1/40 de son volume, l'alcool 10 fois plus. Il est absorbé par le sous-chlorure de cuivre ammoniacal, le carbonate et le bicarbonate de soude, le carbonate de chaux (action plus lente) et le pyrogallate de potasse.

Sous l'influence d'une haute température, il se dissocie en acide carbonique et un dépôt de carbone :



Il se produit dans la distillation de la houille par l'action de l'oxygène de celle-ci sur le carbone.

Le gaz contient environ 6 à 12 p. 100 d'oxyde de carbone en volume, soit, en poids, 7,5 à 15 p. 100.

C'est au début de la charge qu'il en renferme le plus, sans que toutefois il y ait grand écart entre le maximum et le minimum.

C'est à l'oxyde de carbone que sont dus les empoisonnements dans les cas où se produisent des fuites de gaz.

Hydrogène.

$$\text{F} = \text{H} \quad \text{P} = 1 \quad \text{Q} = 2 \quad d = 0,0692 \quad z = 0,089$$

Gaz incolore, inodore, sans saveur, 14 fois plus léger que l'air, peu soluble dans l'eau qui n'en retient que 1/100 de son volume.

Le gaz d'éclairage contient en volume 40 à 50 p. 100 d'hydrogène. La proportion de cet élément contenu dans le gaz va en augmentant du commencement à la fin de la charge; le maximum peut aller jusqu'à 80 p. 100.

L'hydrogène brûle avec une flamme bleue peu éclairante, mais très chaude; il dégage dans cette combustion 34,862 calories, si on recueille l'eau produite à l'état liquide; on obtient seulement 29,512 calories si l'eau produite reste à l'état de vapeur. L'hydrogène donne avec le carbone de nombreux composés, dont il a été suffisamment question ci-dessus.

Azote.

$$F = \text{Az} \quad P = 14 \quad Q = 2 \quad d = 0,9713 \quad \alpha = 1,256$$

Gaz incolore, inodore et sans saveur, peu soluble dans l'eau qui en prend $\frac{1}{50}$ de son volume à 0°. Incombustible, il se rencontre dans le gaz d'éclairage dans la proportion de 2 à 4 p. 100 en volume. La houille en renferme de 1 à 3 p. 100 de son poids. Ce dernier semble provenir de la chlorophylle des plantes ou des huiles de certains phanérogames. L'azote forme avec l'hydrogène et le carbone des composés très importants au point de vue de l'industrie du gaz : l'ammoniaque et le cyanogène.

Ces composés se produisent surtout aux températures rouges, et ont lieu de préférence quand l'un des éléments est à l'état naissant. L'ammoniaque et le cyanogène ainsi produits sont aujourd'hui utilisés dans le traitement des eaux ammoniacales pour la formation des sels ammoniacaux, des cyanures et sulfocyanures.

Acide carbonique.

$$F = \text{CO}^2 \quad P = 22 \quad Q = 2 \quad d = 1,529 \quad \alpha = 1,97$$

Gaz incolore, piquant l'odorat, une fois et demi plus lourd que l'air ; ni combustible ni comburant.

L'eau en dissout son propre volume à la température de 15°.

Par sa présence dans le gaz d'éclairage, il affaiblit le pouvoir éclairant.

L'acide carbonique se dissocie faiblement à la température du rouge, mais très facilement au-dessus de 1,200°

(température pratique de distillation des houilles). Cette dissociation favorise la production d'oxyde de carbone, de phénols et autres composés. L'acide carbonique est surtout produit dans les cornues, par l'action de l'oxygène sur le carbone des houilles. La vapeur d'eau en excès favorise sa formation :

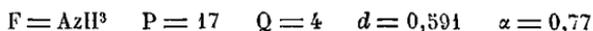


Dans tous les cas, cet acide ne se forme qu'au rouge vif, après l'hydrogène sulfuré et l'ammoniaque.

C'est au début de la charge que le gaz produit contient le plus d'acide carbonique; toutefois l'écart est faible entre le maximum et le minimum.

Le gaz brut renferme de 1,20 à 3,90 p. 100 en volume d'acide carbonique.

Ammoniaque.



Gaz incolore d'une odeur piquante et d'une saveur âcre, assez facilement liquéfiable, très soluble dans l'eau qui en dissout 1147 fois son volume à 0° et 783 fois à 15°. L'ammoniaque brûle en donnant AzO^2,HO dans la flamme du gaz d'éclairage; en présence de l'acide sulfureux elle peut former un sulfate d'ammoniaque. Avec l'oxygène pur, l'ammoniaque produit un mélange détonant, qui donne après explosion un mélange d'azote de vapeur d'eau, d'acide azotique, d'azotite et d'azotate d'ammoniaque. La présence de l'ammoniaque dans le gaz est révélée par le papier de tournesol ou de Curcuma.

L'ammoniaque prend naissance dans toutes les distil-

lations de matières azotées. La houille en contient à l'état natif; pendant sa distillation dans les cornues il s'en produit encore par la réaction de l'hydrogène naissant sur l'azote de la chlorophylle ($C^{18}H^{10}AzO^3$) et des huiles végétales. — La formation de l'ammoniaque exige une température supérieure à 900° et la présence de la vapeur d'eau. Le gaz épuré contient environ 1/10 de milligramme par litre (Leblanc), soit à 0,2 à 1,3 p. 100 en volume.

L'ammoniaque est difficilement décomposable par la chaleur.

Cyanogène.

$$F = C^2Az \quad P = 26 \quad Q = 2 \quad d = 1,806 \quad \alpha = 2,335$$

Gaz incolore d'une odeur piquante, brûlant avec une flamme violette pourpre, soluble dans l'eau qui en prend 4 volumes, dans l'éther, l'alcool et la térébenthine.

Il se forme chaque fois que l'hydrogène et le carbone sont en présence à haute température. Il s'unit à l'hydrogène pour former l'acide cyanhydrique $C^2 Az H$ et dégage dans cette réaction 24,000 calories.

La formation de ce dernier acide a lieu quand le cyanogène se dissocie sous une forte température. — L'ammoniaque passant sous des charbons rouges peut aussi donner de l'acide cyanhydrique.



Sous l'action de la chaleur le cyanogène donne naissance au paracyanogène son isomère.

Avec l'hydrogène sulfuré le cyanogène forme deux

combinaisons, l'une monosulfhydrique C^2AzHIS ; l'autre bisulfhydrique $C^2Az,2HIS$.

Le gaz ne renferme pas, à proprement parler, de cyanogène libre, mais on trouve dans les eaux ammoniacales et les vieilles matières d'épuration les cyanhydrates et les sulfocyanate d'ammonium en quantité assez notable.

Sulfure de carbone.

$$F = CS^2 \quad P = 30 \quad Q = 2 \quad d = 1,293 \quad d \text{ (vapeur)} = 2,643$$

Liquide incolore, d'une odeur fétide et d'une saveur âcre. Il bout à 45° ; très peu soluble dans l'eau, il l'est beaucoup plus dans l'alcool et l'éther. Il dissout le soufre, le phosphore, l'iode, les corps gras. Aux hautes températures il est dissocié, et dans les cornues le soufre dégagé peut s'unir à l'hydrogène pour former de l'acide sulfhydrique. Il se forme dans la distillation de la houille surtout quand on opère à basse température. Le sulfure de carbone brûle en produisant de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux. Vis-à-vis des sulfures alcalins, il agit comme un acide et produit des sulfocarbonates; on en trouve dans les eaux ammoniacales. Avec l'ammoniaque, le sulfure de carbone donne de l'acide sulfocyanhydrique. 1 mètre cube de gaz bien épuré contient à peine 0,08 à 0,10 de sulfure de carbone.

Hydrogène sulfuré.

$$F = HS \quad P = 17 \quad Q = 2 \quad d = 1,1912 \quad \alpha = 1,540$$

Gaz incolore, ayant l'odeur des œufs pourris. L'eau en dissout 4 fois son volume, l'alcool 3 à 4 fois plus. Il

est très important au point de vue du gaz d'éclairage, car sa présence nuit à la qualité du gaz. Il altère le pouvoir éclairant de celui-ci et donne en brûlant de la vapeur d'eau et de l'acide sulfureux ce qui rend le séjour difficile dans les lieux éclairés. On reconnaît sa présence par la réaction qu'il donne avec l'acétate de plomb.

L'hydrogène sulfuré contenu dans le gaz provient de diverses sources. Il peut provenir du bisulfure de fer que la chaleur rouge décompose en monosulfure avec dégagement de soufre. Celui-ci se combine à son tour soit directement à l'hydrogène naissant, soit au carbone pour former soit de l'hydrogène sulfuré, soit du sulfure de carbone. Ce dernier corps, nous le savons déjà, donne de l'acide sulfhydrique en se dissociant en présence de l'hydrogène.



Les sulfates qui peuvent exister dans la houille sont encore une source d'acide sulfhydrique.

D'après M. Arsong il existe en moyenne de 5 à 10 grammes de H₂S par mètre cube de gaz non épuré, soit en volume 2 à 4 p. 100. Le gaz courant ne doit pas en renfermer plus de 0^{sr},5 p. 100, soit en volume, 0,20 à 0,25, p. 100.

ANALYSES DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

L'analyse du gaz d'éclairage est une opération délicate que le praticien peut rarement entreprendre. Nous n'en donnerons donc qu'un aperçu, nous contentant

d'insister sur les parties de l'analyse qui ont le plus d'intérêt tout en demeurant assez facile à exécuter.

ACIDE CARBONIQUE

Qualitativement, l'acide carbonique dans le gaz est reconnu en faisant barboter celui-ci dans un vase renfermant de l'eau de chaux ou de baryte.

Méthodes par pesées. — Pour doser l'acide carbonique contenue dans un volume de gaz donné, on fait passer un volume connu de gaz dans de l'eau de baryte : le précipité obtenu est recueilli sur un filtre lavé rapidement avec de l'eau légèrement ammoniacale et pesé après avoir été desséché et chauffé au rouge faible. Chaque gramme de carbonate de baryte renferme 0 gr. 223 d'acide. Pour que l'opération soit exacte, il convient de n'avoir laissé échapper aucune partie d'acide contenu dans le gaz et pour cela on doit avoir soin de faire passer le gaz à sa sortie du premier flacon dans un deuxième flacon à eau de baryte et s'assurer que le dernier liquide reste limpide.

Méthode volumétrique. — On peut doser plus rapidement l'acide carbonique en renfermant un volume de gaz connu dans une éprouvette graduée et placée sur la cuve à mercure. On absorbera l'acide en introduisant dans l'éprouvette un fragment de potasse humecté et en agitant le mélange.

L'*appareil Orsat* est encore d'un emploi très pratique pour des analyses de ce genre quand elles n'ont pas besoin d'une rigoureuse exactitude.

En effet, il ne faut pas oublier que dans les analyses

volumétriques l'hydrogène sulfuré du gaz est également absorbé par la potasse. D'autre part, avec l'appareil Orsat, les liquides en contact avec le gaz sont susceptibles d'absorber un peu d'acide carbonique dont la solubilité dans l'eau n'est pas nulle.

Nous rappelons ici que toutes les analyses volumétriques rigoureuses exigent encore des corrections relatives à la température et à la pression.

L'appareil photométrique (essayer pratique) de M. Giroud, permet aussi de doser l'acide carbonique contenu dans le gaz en se basant sur la variation de densité du gaz quand il contient ou ne contient pas d'acide carbonique.

OXYDE DE CARBONE

L'oxyde de carbone doit être dosé par la méthode eudiométrique : on opère sur un volume de gaz connu et on absorbe l'oxyde de carbone par le protochlorure de cuivre ammoniacal.

On opère soit sur la cloche à mercure avec une éprouvette graduée, soit avec l'appareil Orsat.

OXYGÈNE

On dose l'oxygène en opérant comme pour l'oxyde de carbone avec le pyrogallate de potasse à la place du protochlorure de cuivre.

HYDROGÈNE SULFURÉ

On constate la présence de cet élément dans le gaz

au moyen du papier à l'acétate de plomb. On obtient un sulfure noir de plomb qui est caractéristique.

Le dosage de l'acide sulfhydrique peut se faire sur la cloche à mercure à l'aide du peroxyde de manganèse. Ce réactif absorbe l'hydrogène sulfuré et lui seul, si on a eu soin d'imprégner la balle de peroxyde avec une solution sirupeuse d'acide sulfurique. Cette dernière précaution empêche la condensation des autres gaz dans le réactif.

On dose encore l'hydrogène sulfuré en faisant passer un volume connu de gaz dans une solution d'acide arsénieux, d'acétate de plomb ou de sulfate de cuivre, et en pesant le sulfure ainsi produit. Le sulfure d'arsenic desséché à 100° contient par gramme de précipité 0,4146 d'hydrogène sulfuré.

AMMONIAQUE

Il existe un grand nombre de méthodes pour doser l'ammoniaque. Nous nous bornons à indiquer la suivante qui est très simple. On fait barboter dans un vase contenant 40 centimètres cubes d'une solution à demi-normale, d'acide sulfurique, 50 litres de gaz. La liqueur doit rester acide durant toute l'opération, ce qu'on constate en la colorant avec quelques gouttes de teinture de tournesol ou mieux de lakmoïde. A la fin de l'opération, on sature l'acide libre par une solution de borate de soude demi-normale telle que 1 centimètre cube de celle-ci réponde à 1 centimètre cube de la liqueur acide. Par différence on a le nombre n de centimètres cubes saturé par l'ammoniaque; l'expression $\frac{n \times 0,017}{2}$ don-

nera le poids d'ammoniaque renfermé dans le gaz soumis à l'analyse.

HYDROCARBURES DENSES

Les hydrocarbures denses sont dosés le plus souvent sur la cloche à mercure ou avec la burette du D^r Bunte ; on les absorbe avec le brome.

A la Compagnie parisienne, on détermine à part le benzol contenu dans le gaz. La méthode suivie consiste à condenser le benzol par refroidissement à -70° à l'aide du chlorure de méthyle. Un artifice de laboratoire permet de rendre cette opération très pratique. On s'est assuré qu'à -22° la quantité de benzol contenu dans le gaz est constante et égale à 23,15. Il suffit donc de déterminer le benzol condensé à -22° et en y ajoutant la quantité constante connue on a le benzol total.

HYDROGÈNE. — AZOTE. — GAZ DES MARAIS CARBURES LÉGERS

Lorsque les gaz de cette classe restent seuls dans le volume V de gaz à analyser, on opère par la méthode des combustions.

On introduit un volume A d'oxygène suffisant pour brûler tous les éléments du mélange, on a alors dans l'eudiomètre un volume $V + A = V_1$.

On fait passer l'étincelle et quand la combustion a eu lieu, on laisse refroidir le mélange, soit V_2 le nouveau volume ; $V_1 - V_2 = D$ sera la contraction produite par la combustion. — On absorbe par la potasse l'acide carbonique qui a été produit et on détermine

ainsi son poids C. Dès lors, on a tous les éléments du calcul pour déterminer la composition du volume primitif V; il suffit de résoudre les équations suivantes :

$$\begin{array}{l} \text{Volume de} \\ \text{Id.} \\ \text{Id. des} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{l'hydrogène} = x \quad x + y + z = V \quad V = \text{volume primitif.} \\ \text{l'azote} = y \quad \frac{3x}{2} + 2y = D \quad C = \text{acide carb. prod.} \\ \text{carb. légers} = z \quad y = C \quad D = \text{contraction.} \end{array} \right.$$

L'azote est du reste obtenu directement par la lecture du résidu quand on a absorbé par le pyrogallate de potasse l'oxygène en excès.

DENSITÉ DU GAZ

Pour déterminer la densité du gaz on peut employer

la formule $\frac{d}{d_1} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$ dans laquelle :

d est la densité du gaz,
 d_1 — de l'air.

Cette formule exprime la relation qui existe entre la densité de deux fluides qui s'écoulent par un même orifice sous une pression identique pendant des temps t et t_1 , tels que les volumes écoulés soient les mêmes.

Si on fait $d_1 = 1$, on aura $d_{\text{gaz}} = \frac{t_1^2}{t^2}$.

L'éprouvette de Schilling est basée sur ce principe. L'appareil de M. Giroud utilise une variété de la loi précédente.

On peut déterminer directement la densité du gaz par le baromètre Lux et autres appareils de ce genre; mais leur entretien est toutefois délicat.

La densité du gaz varie entre 0,35 et 0,45, de sorte que un mètre cube de gaz pèse de 440 à 580 grammes.

CHAPITRE VIII

ÉPURATION

Les matières volatiles qui sortent de la cornue renferment un mélange des gaz fixes, des vapeurs condensables, et des corps solides. On se propose d'éliminer par une *épuration* rationnelle ceux de ces corps qui sont nuisibles ou inutiles.

L'épuration se subdivise en deux parties :

1° La *condensation* improprement appelée épuration physique;

2° L'*épuration chimique*.

PREMIÈRE PARTIE

CONDENSATION

En sortant des cornues, le gaz est à une température voisine de 400 à 500 degrés. Il se refroidit lentement au fur et à mesure qu'il s'éloigne des fours et n'a généralement à l'entrée des gazomètres qu'une température inférieure à 20°.

Le gaz se refroidit donc durant son passage dans les appareils de l'usine, et le résultat de ce refroidissement est le dépôt des vapeurs goudroneuses et ammoniacales qu'il tient en suspension au sortir des cornues.

Pendant longtemps on n'a attaché qu'une très médiocre importance à la manière dont on opérait le refroidissement du gaz. Mais peu à peu l'expérience et l'étude ont démontré que la condensation devait être faite avec intelligence et méthode pour conserver au gaz le maximum possible de ses qualités éclairantes.

Nous savons déjà en effet que le pouvoir éclairant est dû principalement à des carbures légers, tels que la benzine, le toluène, etc. ; il importe donc d'en conserver dans le gaz la plus grande quantité possible. Or, les carbures légers sont tous plus ou moins condensables dans les carbures lourds du goudron et ils le sont d'autant plus qu'ils sont eux-mêmes plus rapprochés de leur point de liquéfaction. On sait d'autre part qu'une vapeur se liquéfie à une température plus basse que sa température normale de liquéfaction quand elle est en mélange avec des vapeurs plus condensables qu'elle. — De tous ces faits, il résulte qu'avec un refroidissement trop rapide du gaz nous condenserons les carbures lourds trop brusquement, sous forme presque de nuages vésiculaires, que les carbures légers seront partiellement arrêtés par cette condensation subite, et dissous par le goudron.

En partant de cette théorie, MM. Cadel, Coze, Guegen, etc., ont posé les conditions pratiques suivantes de la condensation du gaz.

Condensation à chaud. — Lois. — Il faut condenser à chaud la majeure partie du goudron et éviter qu'il y ait contact entre le gaz et les produits de la condensation. Quand le contact ne peut être évité, il doit avoir lieu à la plus haute température possible.

Les appareils imaginés pour satisfaire à cette loi sont connus de tous : les barillets à écoulement de goudron rationnel (types Hedde, Salanson, etc.), les faux barillets ou chambres à gaz, les condenseurs abrités, etc.

En revanche, on a proscrit, peut-être trop vite, les réfrigérants horizontaux inclinés ou à tuyaux immergés. Sans doute, le contact du goudron et du gaz est à éviter, mais il ne faut pas s'exagérer les défauts des méthodes ou des appareils jusqu'à ce jour employés.

La Compagnie Parisienne a fait ressortir d'ailleurs dans une note suivante que :

100 kilogrammes de houille distillées dans les conditions ordinaires donnent :

39^{m3} de gaz renfermant 5^k,3 de benzol.
5^k,3, de goudron — 0,079 (soit 1,5 p. 100 de son poids).

Il en résulte que sur 100 kilogrammes de benzol fournis par la houille, il en existe 96 p. 100 dans le gaz et 6 p. 100 dans le goudron. — On voit par là la limite du gain qui peut résulter de la condensation à chaud.

Quant à la critique des appareils réfrigérants, la Compagnie Parisienne fait observer qu'au moins 50 p. 100 du goudron se dépose à chaud dans le barillet¹, qu'en réalité dans les condenseurs il ne s'en dépose au maximum que 2 à 3 litres par 30 mètres cubes de gaz fabriqué. L'influence du contact ne peut donc être très grande entre des volumes aussi différents.

En résumé, la théorie de la condensation à chaud est rationnelle, mais presque toujours elle est suffisamment appliquée dans les usines.

¹ A chaud et à la température de 56 à 58°, tout le goudron est condensé.

On doit évacuer les goudrons des barillets à chaud au fur et à mesure de leur production, de façon que les plongeurs n'y pénètrent jamais. On évite ainsi l'épaississement du goudron, et par suite les engorgements du barillet.

Produits de la condensation. — Les produits qui résultent du refroidissement du gaz sont le goudron et les liquides ammoniacaux. Nous étudierons plus loin ces produits : bornons-nous ici à dire que leur composition est éminemment variable suivant le point où ils sont recueillis.

L'expérience a démontré qu'à la température de 58°, tout le goudron est déposé; par suite, au-dessous de cette température, les condensations seront surtout formées d'eaux ammoniacales.

Limite de la condensation. — Le gaz doit être refroidi à la température la plus basse qu'il peut ultérieurement atteindre dans les conduites. On évite de cette façon les dépôts dans la canalisation de ville, et, parmi eux, ceux qui sont dus à la naphthaline. Il semble en effet que ce carbure soit maintenu en suspension dans le gaz par la présence de la vapeur d'eau, et que la condensation de cette dernière en détermine le dépôt. Par suite, en refroidissant le gaz dans l'usine à la température la plus basse des conduites on sera sûr que le gaz dans son parcours ne déposera pas d'eau et partant pas de naphthaline.

Quantité de chaleur dans le gaz. — La quantité de

chaleur contenue dans le gaz en divers points de son parcours dans l'usine se détermine comme il suit :

Soit : A le poids de gaz produit par tonne.

B — goudron —
C — eaux —

La composition du gaz en poids étant connue et p_1 p_2 p_3 étant les poids des éléments, t la température considérée; 60 étant la chaleur latente de vaporisation de la benzine et du goudron, et $606,5 + 0,305 \cdot t$ la chaleur totale dans l'eau à t degrés, c_1 c_2 c_3 les chaleurs spécifiques des divers corps; on aura :

$$\begin{aligned} \text{Chaleur entraînée par les gaz} &= Q' = (60 + c_1 t) p_1 + (c_2 p_2 + \\ &\quad + c_3 p_3 + \dots c_n p_n) t \\ \text{— goudron} &= Q'' = (60 + ct) B \\ \text{— les eaux} &= Q''' = (606,5 + 0,305 t) c \\ &\quad p_1 + p_2 + p_3 \dots + p_n = A \end{aligned}$$

M. Guegen, appliquant ces formules à un gaz moyen, a trouvé que pour $t = 100^\circ$

Les matières volatiles emportent de la cornue savoir :

| | |
|---|------------------|
| Les gaz secs. | 12,634 calories. |
| Les vapeurs (goudron et eaux) | 59,663 » |
| Soit au total | 72,297 calories. |

En répétant les mêmes calculs pour $t = 12^\circ$, température moyenne à laquelle on refroidit le gaz on trouve :

| | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Chaleur dans les gaz secs | 3,433,6 calories. |
| — dans les vapeurs | 49,703,0 » |
| Soit au total | 52,836,6 calories. |

Différence $72,297 - 52,836,6 = 19,650,4$ calories.

C'est la chaleur que doivent absorber les réfrigérants.

APPAREILS DE CONDENSATION

BARILLET

Le barillet a pour premier rôle d'isoler les cornues des autres appareils de l'usine; pour second, de recueillir les matières volatiles et de permettre une première séparation du gaz et des vapeurs condensées.

Cet appareil placé soit en avant des fours, soit sur le massif, doit être maintenu à l'abri de toute température excessive. Sa forme est variable, mais elle est le plus généralement ronde ou en forme de \cup . Les barillets se font à tabatière ou à regards; ils sont libres ou cloisonnés; ils portent au moins deux orifices de départ, l'un pour le gaz, l'autre pour le goudron; quelquefois ils ont un départ spécial pour les eaux; plus rarement le gaz, le goudron et les eaux partent par la même conduite. L'écoulement du goudron est continu ou intermittent, mais le premier cas est préférable.

On fait aujourd'hui quelques barillets à fond incliné, dont la pente aboutit aux départs de goudron. Cette pratique est à recommander.

La *surface du niveau* de l'eau dans le barillet doit être déterminée de façon à être au moins dix fois plus grande que la somme des sections de tous les plongeurs; à cette condition, la dénivellation qui se produit au délutage est insuffisante pour découvrir l'extrémité de ces plongeurs.

Température des gaz dans le barillet. — Dans un barillet bien établi la température moyenne des gaz est de 60°

environ, mais il n'est pas rare de trouver des températures de 100 à 150° avec un appareil mal compris. C'est un phénomène qui se produit surtout quand on a des cornues profondes, très chaudes et que le gaz barbote dans le goudron.

Nous citerons comme accessoires du barillet les chariots mélangeurs et les cribleurs (M. Alavoine). Ces appareils facilitent l'un le mélange des goudrons et leur écoulement, l'autre la condensation.

Surveillance des barillets. — Dans la plupart des cas le barillet demande très peu de surveillance. Quand on a des motifs de craindre des engagements, on doit faire de fréquents examens du goudron produit, et prendre la température de sortie des gaz. La densité moyenne du goudron de barillet doit être de 1,1 à 1,2.

Plongeurs. — Les plongeurs doivent être lutés de 26 à 40 millimètres d'eau. Il n'est pas rare de voir des usines où la plonge est de 110 à 120 millimètres; ces plonges excessives sont inutiles le plus souvent, et, quand elles sont commandées par les refoulements de gaz au délutage, on en peut conclure que la surface libre de l'eau dans le barillet est trop faible. (Voir plus haut.)

On a proposé, pour réduire la pression sur les cornues, l'emploi de divers appareils qui permettent de supprimer la plonge des tuyaux pendant la distillation et de la rétablir pendant la charge. Citons comme exemple les appareils Hawkins, Lindor, Largeron, etc.; ils ne sont pas répandus.

RÉFRIGÉRANTS

Les réfrigérants, appelés, suivant leur forme, jeux d'orgue, colonnes annulaires, tuyaux horizontaux, etc., sont à l'air libre ou arrosés. Nous n'insisterons pas sur les diverses dispositions adoptées et nous bornerons à donner les renseignements suivants.

Réfrigérants à l'air libre. — Ils reposent sur le principe du refroidissement par rayonnement.

On calcule les dimensions d'un appareil réfrigérant en comptant environ 15^{m^2} par $1,000^{\text{m}^3}$ de gaz fabriqué en vingt-quatre heures.

Si nous appelons S la surface refroidissante, V le volume produit dans l'usine par vingt-quatre heures, on aura :

$$S = V \times \frac{15}{1000}$$

La surface S est donnée en fonction du diamètre D des tuyaux et de leur longueur totale L par l'expression :

$$S = \pi D L$$

Si on se donne D , L sera donnée par la formule ci-dessus. — En général on prend $V = < 1$ mètre par seconde.

Condenseurs arrosés. — On les calcule de la même façon que les précédents à raison de 10^{m^2} environ par $1,000^{\text{m}^3}$ en vingt-quatre heures.

Voici les résultats obtenus avec quelques réfrigérants.

TABLEAU I

| HEURES | TEMPÉRATURES | | |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | air ambiant | à l'entrée | à la sortie |
| matin | degrés centigrades | degrés centigrades | degrés centigrades |
| 6 | 14 | 23 | 16 |
| 7 | 15 | 23 | 16 |
| 8 | 17 | 27 | 18,5 |
| 9 | 19 | 25 | 20 |
| 10 | 20 | 23 | 20 |
| 11 | 20,5 | 24,5 | 21,5 |
| 12 | 21 | 24 | 21 |

Jeu d'orgue de 80^{m²}. — Production de gaz à l'heure 110^{m³}

Les condensations recueillies étaient de 2^k à 2^k,2 par 100 mètres cubes de gaz fabriqué.

Le goudron pesait 1^k,06 au litre.

Les eaux ammoniacales pesaient 2°,4 et renfermaient environ 73 p. 100 de sels fixes et 27 p. 100 de sels volatils.

TABLEAU II

| HEURES | TEMPÉRATURES | | |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | de l'air | du gaz à l'entrée | du gaz à la sortie |
| soir | degrés centigrades | degrés centigrades | degrés centigrades |
| 1 heure | 21,5 | 52 | 51 |
| 1 1/2 | 21,5 | 56 | 57,5 |
| 2 | 21,5 | 53 | 49 |
| 2 1/2 | 21,5 | 54 | 50 |
| 3 | 21,5 | 58 | 52,5 |
| 3 1/2 | 21,5 | 56,5 | 51,5 |
| 4 | 21,5 | 54,5 | 50 |
| 4 1/2 | 21,5 | 54 | 49 |
| 5 | 21,5 | 56 | 50 |

Usine à gaz de La Villette. — Production horaire 3.000^{m³}.
Condenseur horizontal; surface 400^{m²}.

TABLEAU III

| HEURES | TEMPÉRATURES | | |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | de l'air | du gaz à l'entrée | du gaz à la sortie |
| soir | degrés centigrades | degrés centigrades | degrés centigrades |
| 1 heure | 20 | 54 | 43 |
| 1 1/2 | 20 | 56,5 | 47 |
| 2 | 20,5 | 54,5 | 46,5 |
| 2 1/2 | 20,5 | 54 | 44 |
| 3 | 20,6 | 57 | 46,5 |
| 3 1/2 | 20,5 | 57 | 43,5 |
| 4 | 20,5 | 55 | 47,5 |
| 4 1/2 | 20,5 | 54,5 | 44 |
| 5 | 19 | 58,5 | 47 |

Usine de La Villette. — Production horaire 3,000^m.
Condenseur mixte Regnault sans arrosage — surface utile 400^m.

Condenseurs à frottement. — Nous comprenons dans ce groupe les colonnes à coke, ou à toute autre matière, dans lesquelles le gaz dépose par frottement contre le garnissage une partie du goudron qu'il renferme. Ces appareils n'existent plus comme condenseurs depuis qu'on emploie les Pelouze; ils servent aujourd'hui comme scrubbers (voir plus loin) pour l'arrêt de l'ammoniaque.

RÉSULTAT OBTENU A VAUGIRARD EN 1869

| APPAREILS EMPLOYÉS | CONDENSATIONS RECUEILLIES | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------|----------------|
| | GOUDRON | | | EAUX | | |
| | En totalité | par 100 k charbon | Observation | En totalité | par 100 k charbon | Observation. |
| Colonnes à coke vides... | litres 57 | 0,07 | légér | litres 403 | 0,12 | Baumé 12°,2 |
| — — pleines. | 621 | 0,74 | id. | 601 | 0,72 | 9°,2 |

| TEMPÉRATURES | DE L'AIR | DU GAZ A L'ENTRÉE DES COLONNES | DU GAZ A LA SORTIE DES COLONNES |
|--------------|----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Maxima..... | 14 | 20 | 18 |
| Minima..... | 10 | 14 | 12 |
| Moyenne..... | 12,5 | 16,7 | 15,3 |

Durée des essais : 36 heures.
Gaz produit : 240,900m³; soit par heure : 3,345m³

Condenseurs à choc. — Les condenseurs à choc reposent sur le principe suivant : lorsque des vapeurs condensables sont entraînées dans un courant gazeux, on peut obtenir leur dépôt en faisant heurter les veines de gaz contre des parois pleines.

Le condensateur Pelouze et Audouin réalise le choc du gaz d'une façon très simple. Cet appareil se compose essentiellement de deux feuilles métalliques perforées et assemblées de telle façon que les trous de l'un correspondent aux pleins de l'autre. Elles sont écartées de 1,5 à 2 millimètres. Le courant de gaz animé d'une certaine vitesse passe par les trous de la première plaque, frappe contre les pleins de la seconde, et s'échappe enfin après déviation par les trous de cette dernière. Les particules liquides restent déposées en gouttelettes sur l'obstacle et s'écoulent dans le bas.

Cet appareil est à fonctionnement automatique. Les feuilles perforées sont disposées sous forme d'un cylindre ou mieux d'une cloche emboîtant le tuyau d'arrivée du gaz ; cette cloche est suspendue à une tige verticale portant un flotteur, le tout équilibré par un contrepoids.

Supposons la cloche du Pelouze en équilibre.

Soient h h' les pressions manométriques en mètres d'eau à l'entrée et à la sortie de l'appareil, S et S' les sections de la cloche et du flotteur, Q le poids de la première, Q' le poids du second y compris la tige, π le contrepoids; on aura pour l'équation d'équilibre :

$$1000 (h - h') S + 1000 h' S' = Q + Q' - \pi$$

Tant que π restera constant la somme $Q + Q' - \pi$ sera constante.

Or, supposons que h augmente soit parce que la production devient plus grande, soit parce qu'un certain nombre de trous se bouchent — dans le deuxième cas h' n'aura pas varié (la pression absorbée par les appareils après le Pelouze étant restée la même) — dans le premier cas h' aura crû en même temps que h , dans ces deux hypothèses la variation de pression aura pour effet de soulever la cloche et de la faire monter jusqu'à ce que l'équilibre se soit rétabli. Ce mouvement ascensionnel a pour résultat de faire émerger de l'eau un certain nombre de trous, de telle sorte que le gaz ayant un plus grand passage, la différence de pression $h - h'$ reprenne sa valeur primitive. — On discuterait de même le résultat d'une variation de pression en sens contraire.

Appareil Servier. — M. Servier a imaginé un condensateur à choc dans lequel les plaques perforées sont remplacées par un faisceau de tubes ou de fils de fer.

Ces appareils doivent pour bien fonctionner absorber une *pression suffisante* :

40 à 60^{mm} avec le Pelouze.

20 à 25 — Servier.

Les condensateurs à choc donnent environ 1/10 du goudron total. Mais les *condensations* sont d'autant plus importantes que le gaz arrive moins dépouillé de ses vapeurs.

A la Compagnie Parisienne on a obtenu à l'usine des Ternès, à une température relativement basse (4° à 8°), pour le gaz, 8^r,9 de goudron par 1000^m³ fabriqués. La température extérieur était de 0° .

A l'usine expérimentale de La Villette, où le gaz arrivait à une température moins basse, on retenait 72 kilogrammes de goudron par 1000^m³ de gaz,

Le goudron ainsi retenu est très riche en benzine. Il est mélangé à une petite quantité d'eau ammoniacale.

Place du condensateur à choc. — Cet appareil doit être employé comme finisseur de la condensation et par suite être placé après les réfrigérants et avant les scrubbers.

Résultats d'une bonne condensation. — Quand la condensation est bien faite, elle doit donner tout le goudron contenu dans le gaz et toutes les eaux ammoniacales.

Le poids total des liquides condensés est le 1/10 environ du poids de la houille distillée.

Tous les gaziers connaissent l'axiome : « Une bonne condensation est la moitié de l'épuration. » C'est qu'en effet le goudron laissé dans le gaz par une mauvaise condensation vient ultérieurement se déposer dans les scrubbers, les caisses à sciure, les épurateurs, et qu'il y empâte les matières. L'épuration devient non seulement plus coûteuse, mais encore plus difficile.

Pour finir, nous dirons que par la condensation seule on peut enlever environ, en poids :

| | | |
|--------------------------------------|-----------|--------|
| 40 à 60 p. 100 de l'ammoniaque total | } Contenu | |
| 10 à 15 — de l'hydrogène sulfuré | | dans |
| 15 à 25 — de l'acide carbonique | | le gaz |

si nous prenons des teneurs moyennes, nous aurons d'après ce qui précède les résultats suivants :

| | EXISTANT PAR MÈTRE CUBE | | Quantités enlevées par la condensation |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| | Dans le gaz brut | Dans le gaz après condensation | |
| Ammoniaque | 7 ^{sr} .00 | 3 ^{sr} .00 | 4 ^{sr} .00 |
| Acide sulhydrique | 8 50 | 7 30 | 1 20 |
| — carbonique | 18 50 | 17 00 | 1 50 |

DEUXIÈME PARTIE

ÉPURATION CHIMIQUE

Au sortir des condenseurs, le gaz peut être considéré comme formé de deux groupes principaux d'éléments :

1° *Eléments utiles :*

a). Gaz éclairants : éthylène, acétylène, benzine et carbures denses.

b). Gaz calorifiques utiles à la production de la lumière : hydrogène, oxyde de carbone, gaz des marais.

2° *Eléments nuisibles :*

a'). Gaz non éclairants par eux-mêmes et nuisibles au développement de la lumière : acide carbonique, azote.

b'). Gaz nuisibles pour les milieux éclairés : hydrogène sulfuré, sulfure de carbone, ammoniaque.

L'épuration chimique a pour but d'enlever les éléments de la classe b' et le plus possible de ceux de la classe a'.

I. — ENLÈVEMENT DE L'AMMONIAQUE

L'ammoniaque existe dans le gaz à l'état libre ; on la retient facilement en lavant le gaz à l'eau pure et

fraîche ; à 15° on peut en dissoudre 783 litres dans un litre d'eau.

Le lavage du gaz n'a pas pour seul effet de retenir l'ammoniaque, il retient aussi une partie des acides sulfhydrique et carbonique, qui se retrouvent dans les eaux ammoniacales à l'état de sulfhydrate et carbonate d'ammoniaque.

Un lavage, pour être efficace, doit employer de l'eau à la plus basse température possible. Cette dernière doit aussi être pure, afin d'éviter les dépôts de sels calcaires ou magnésiens dans les appareils laveurs. Le lavage enfin doit être méthodique, c'est-à-dire que le gaz et l'eau doivent circuler en sens contraire.

Action de l'eau sur le gaz. — Les hydrocarbures contenus dans le gaz sont solubles dans l'eau comme l'indique le tableau suivant :

COEFFICIENT DE SOLUBILITÉ DES HYDROCARBURES

| FORMULES | CARBURES | 0° | 4° | 10° | 15° | 20° |
|--------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| C ⁴ H ¹⁰ | Hydrog. bicarboné. | 0,2658 | 0,2277 | 0,1837 | 0,1615 | 0,1488 |
| C ² H ⁴ | — protocarb. | 0,0544 | 0,0499 | 0,0437 | 0,0390 | 0,0349 |
| C ⁸ H ⁸ | Butylène..... | 0,0314 | 0,0277 | 0,0235 | 0,0214 | 0,0206 |
| C ² H ³ | Méthyle..... | 0,0874 | 0,0748 | 0,0599 | 0,0508 | 0,0447 |

Il résulte de là qu'un lavage trop abondant à l'eau pure a pour effet de faire baisser le pouvoir éclairant. La perte peut atteindre 11 et 15 p. 100 ; si le contact est prolongé, l'effet est plus grave ; on doit à M. de

Marsilly les résultats suivants obtenus en laissant séjourner du gaz longtemps au contact de l'eau :

HOUILLE DU NORD

| | Carbures. | Gaz des mar. | Oxyde de carb. | Hydrog. |
|--|-----------|--------------|----------------|---------|
| Au début. | 0,50 | 89,40 | 7,10 | 3,00 |
| Après 1 mois de contact avec l'eau. | traces | 37,70 | 13,90 | 48,40 |

Ces résultats montrent qu'il y a non seulement perte de carbures, mais encore altération dans la composition chimique du gaz.

L'expérience a prouvé que pour rester dans de bonnes conditions de lavage il ne faut pas dépasser 3 à 4 litres d'eau par 100 mètres cubes de gaz. (Voir plus loin : *Lavage aux eaux ammoniacales* ¹.)

Laveurs à surface et à frottement. Scrubbers. — On donne le nom de scrubbers aux colonnes garnies de matières divisantes, coke, briques, cailloux, balais, planches croisées, etc., et arrosées d'eau.

Ces appareils sont encore très employés; toutes les usines à peu près ont transformé les anciennes colonnes

¹ On s'est préoccupé de savoir si la présence de la vapeur d'eau dans le gaz influait sur le pouvoir éclairant et à ce point de vue quelle était l'augmentation de la teneur en eau du fait du lavage. L'expérience a certes démontré que la vapeur d'eau dans le gaz altérait le pouvoir éclairant, mais elle a prouvé de même que l'action du lavage n'augmentait pas la proportion de vapeur dans le gaz, ainsi que le prouvent les chiffres ci-dessous :

| | |
|--|----------|
| Teneur du gaz en eau avant les lavours | 21 gr.20 |
| — après — | 22 02 |
| — après les épurateurs. | 20 50 |
| — après les compteurs de fabrication | 20 88 |

Le gaz est saturé de vapeur d'eau en presque tous les points de l'usine.

à coke sèches, en scrubbers ordinaires ou en scrubbers ammoniacaux.

On leur donne ordinairement un volume de 2 à 2^m,5 par 1,000 mètres cubes de gaz fabriqués en vingt-quatre heures.

Laveurs à barbotage. — Sous ce nom on comprend les appareils dans lesquels le gaz est lavé par barbotage dans l'eau. Les principaux laveurs de ce genre sont les laveurs à lames, les laveurs Chevallet à plaques perforées, les laveurs à colonnes, les laveurs Wolff.

Pour obtenir de bons résultats avec ces appareils, il faut qu'ils soient disposés de façon à faire barboter le gaz en bulles nombreuses et de petit volume. Ils doivent pour cela absorber une certaine pression, au moins 20 à 30 millimètres. Ils doivent utiliser de l'eau fraîche et pure

Laveurs à surface. — Dans cette catégorie rentrent surtout les appareils Kirkham, les laveurs à tablettes, et même les appareils à pulvérisation d'eau. Ils donnent plus difficilement de bons résultats que les précédents ; les derniers surtout n'ont qu'une action très faible, parce que le coefficient d'absorption de l'eau pulvérisée est inférieur à celui de l'eau ordinaire.

Caisses à sciure. — Les caisses à sciure ou à copeaux peuvent être considérées comme appartenant au premier groupe ; nous n'en faisons mention à part qu'en raison de leur importance. Elles arrêtent assez complètement l'ammoniaque et durent très longtemps quand elles travaillent du gaz bien condensé. Le lavage des

caisses à sciure doit être fait d'une façon spéciale; il faut supprimer l'arrivée de l'eau pendant le passage du gaz, et pour laver isoler l'appareil. On le remplit alors de la quantité d'eau nécessaire pour que la sciure soit noyée; on laisse macérer le temps voulu et on fait écouler la liqueur ammoniacale. Après cela la caisse est prête à réserver.

La surface à donner aux caisses à sciure est de $\frac{3\text{m}^2}{4}$ à $\frac{3\text{m}^2,5}{4}$ par 1,000 mètres cubes fabriqués en vingt-quatre heures.

RÉSULTATS OBTENUS POUR LE LAVAGE A L'AIDE DES PRINCIPAUX APPAREILS (Chevalet. S. T.)

| NOMBRE des appareils | AMMONIAQUE par m. c. de gaz | | GARNISSAGE EMPLOYÉ | DEGRÉ de l'eau de lavage | OBSERVATIONS |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|---|
| | à l'entrée | à la sortie | | | |
| <i>Scrubbers non arrosés.</i> | | | | | |
| 4 | 5 ^{sr} ,01 | 3 ^{sr} ,21 | Planchettes en bois | pas | |
| 4 | 3,50 | 2,19 | — — | » | |
| 1 | 5,13 | 3,53 | 20 planches percées | » | |
| <i>Scrubbers ammoniacaux.</i> | | | | | |
| 2 | 4,50 | 1,78 | Planchettes en bois | 4,5 | Le gaz passe simultanément dans les 2 scrubbers. |
| 2 | | 0,78 | — — | 4,0 | |
| 2 | | 0,86 | — — | 1,0 | |
| 1 | | 1,18 | — — | 2,0 | |
| 1 | 3,07 | 1,68 | — — | 3,5 | |
| 1 | 3,38 | 1,19 | — — | 3,0 | |
| <i>Scrubbers à l'eau pure.</i> | | | | | |
| 1 | | 0,131 | Cailloux | 0 | L'eau ne passe qu'une fois. |
| 1 | | 0,150 | — | 0 | |
| 4 | 4,29 | 0,057 | Planchettes | 0 | L'eau est remontée plusieurs fois. L'eau pure ne passe qu'une fois dans le dernier. |
| 4 | 5,05 | 0,229 | — | 0,5 | |
| 4 | | 0,025 | Planchette et copeaux | 0 | |
| 4 | | 0,071 | — — | 0 | |

| NOMBRE des appareils | AMMONIAQUE par m. c. de gaz | | GARNISSAGE EMPLOYÉ | DEGRÉ de l'eau de lavage | OBSERVATIONS |
|---|--------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|---|
| | à l'entrée | à la sortie | | | |
| <i>Laveurs-condensateurs Chevallet.</i> | | | | | |
| 1 | 2 ^{gr} ,70 | 1 ^{gr} ,78 | 3 plaques à trous | 4,5 | Eau ammonia- |
| 1 | 4,50 | 3,97 | de 2 millimètres | 4,5 | cale. |
| 1 | 2,67 | 1,37 | — | 2,5 | — |
| 1 | 1,78 | 0,97 | — | 2,5 | — |
| 1 | 3,70 | 2,37 | — | 4,0 | — |
| <i>Laveur Kirkham.</i> | | | | | |
| 1 | | 0,510 | A 6 compartiments | 0 | Eau ammoniacale |
| 1 | | 0,450 | Lames en tôle | 0 | à moitié. Eau claire à la sortie. |
| <i>Laveur Wolff ou Mallet.</i> | | | | | |
| 3 | 4,16 | 1,09 | Cuves | 0 | Eau pure deven- |
| 3 | | 2,44 | | 1 | nant ammociale. |

M. Melon donne les résultats suivants obtenus avec un *Kirkham* (moyenne).

| | A l'entrée | A la sortie |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Ammoniaque par mètre cube... | 0 ^{gr} 95 | 0 ^d 25 |
| Acide carbonique p. 100 en vol.. | 2 70 | 2 30 |

L'arrosage était fait à l'eau pure et la température de celle-ci a varié de 7° à 10°. — La température du gaz a varié de 10 à 20°.

Nous devons à M. Letreust la communication des tableaux suivants relatifs aux *caisses à sciure*.

| NUMÉROS des cuves | DATES | | DURÉE de marche | GAZ passé m c | VOLUME d'eau de lessivage | Degré de l'eau | Ammoniaque arrêtée par m. c. de gaz | Température moyenne du gaz à l'entrée |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|----------------|---|---|
| | de la mise en marche | de l'arrêt | | | | | | |
| 12 | 18 mai | 28 mai | 10 jours | 72.700 | 60 hectol. | 2,7 | 1 ^{re} 56 | 16,7 |
| 11 | » | 29 — | 11 » | 80.100 | » | 2,5 | 1,31 | 17,9 |
| 10 | » | » | 11 » | 80.100 | » | 3,5 | 1,91 | 17,9 |
| 9 | » | » | 11 » | 80.100 | » | 3,3 | 1,73 | 17,9 |
| 6 | » | 30 — | 12 » | 87.500 | » | 3,5 | 1,74 | 19,3 |
| 7 | » | 31 — | 13 » | 91.800 | » | 3,6 | 1,59 | 20,4 |
| 4 | » | 1 ^{er} juin | 14 » | 102.100 | » | 3,9 | 1,60 | 21,3 |
| 3 | » | 2 — | 15 » | 109.500 | » | 4,0 | 1,53 | 22,0 |
| 11 | 30 mai | 5 — | 6 » | 42.600 | » | 2,6 | 2,56 | 35,0 |
| 12 | 29 — | 5 — | 7 » | 49.900 | » | 2,9 | 2,44 | 34,5 |
| 8 | 29 — | 9 — | 11 » | 71.600 | » | 3,9 | 2,28 | 35,0 |
| 5 | 28 — | 9 — | 12 » | 78.900 | » | 4,2 | 2,23 | 33,8 |
| 10 | 30 — | 10 — | 11 » | 6.800 | » | 3,4 | 2,10 | 36,7 |

Arrêt de l'ammoniaque par les sels neutres. — Nous avons supposé jusqu'ici que l'ammoniaque du gaz était retenue par dissolution dans l'eau pure ; nous ne pouvons cependant passer sous silence les essais qui ont été faits par MM. Mallet, Crool, Laming pour fixer l'ammoniaque à l'aide des sels neutres, tels que sulfate et chlorure de fer, de zinc, de manganèse, de calcium, etc. — Dans cette méthode d'épuration le sel neutre était employé, dissous dans des laveurs appropriés, ou bien on l'utilisait dans des épurateurs secs ordinaires à l'aide d'un corps poreux (sciure) comme véhicule. L'ammoniaque était fixée à l'état de sulfate ou de chlorhydrate, tandis que les acides carbonique et sulfhydrique étaient retenus à l'état de sulfure ou de carbonate¹.

¹ M. Mallet employait par tonne de houille 80 kilogrammes de solution de chlorure de manganèse à 28°, étendue à 10° et neutralisée par un peu d'eau ammoniacale. On retirait ainsi par tonne 6 kilogrammes environ de chlorhydrate d'ammoniaque.

M. Jonhson a proposé de son côté l'emploi de sciure arrosée d'une dissolution de sulfate de fer; M. Cavaillon a préconisé l'emploi du sulfate de chaux et des plstras, mais tous ces procédés n'ont pu pénétrer dans la pratique en raison des frais qu'ils occasionnent ou des difficultés qu'ils présentent en grande marche.

Emploi de l'acide sulfurique. — On a proposé également de fixer l'ammoniaque directement par l'acide sulfurique. M. Crool employait 2 kilogrammes d'acide par 100 kilogrammes d'eau et se servait de la liqueur pour laver le gaz. Dans le même ordre d'idées, M. Mallet a essayé à la Compagnie parisienne l'emploi de plstras arrosés d'acide sulfurique, puis l'emploi de sciure acidulée par ce même acide. — Ces procédés n'ont pu réussir, les uns à cause de l'acidité prise par le gaz, les autres à cause des frais de traitement des liquides saturés.

Inconvénients de l'ammoniaque dans le gaz. — L'enlèvement de l'ammoniaque est imposé par la nécessité d'éviter, durant la combustion du gaz, la formation de fumées azotiques. Il est d'ailleurs avantageux et facile de retenir l'ammoniaque à l'usine; on en tire aujourd'hui un parti très important par la production du sulfate d'ammoniaque ou de l'alcali.

Si toutefois l'enlèvement complet de l'ammoniaque n'est pas réalisé, on arrive facilement à ne plus en laisser subsister que 0 gr.10 par mètre cube de gaz. Cette quantité ne peut être nuisible pendant la combustion.

Il ne convient pas d'ailleurs de pousser à l'extrême

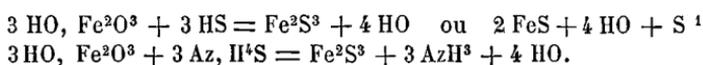
le lavage du gaz pour retenir tout l'ammoniaque, car non seulement on altérerait le pouvoir éclairant, mais encore au point de vue de l'hygiène le gaz perdrait de ses qualités. Il est aujourd'hui démontré, en effet, qu'une petite quantité d'ammoniaque dans le gaz avant son entrée aux épurateurs à chaux et à oxyde favorise l'enlèvement du cyanogène et du sulfure de carbone, éléments aussi nuisibles, si ce n'est plus, que l'ammoniaque elle-même. Ces gaz sont fixés à l'état de sulfo-cyanhydrate ou sulfocarbonate d'ammoniaque.

II. — ENLÈVEMENT DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ

L'hydrogène sulfuré et les sulfures alcalins possèdent parmi leurs propriétés celles de former des sulfures insolubles avec un certain nombre de métaux (fer, manganèse, plomb, etc...). Ils précipitent ces métaux de leurs solutions salines, et décomposent également les oxydes formés par quelques-uns d'entre eux.

Epuration à l'oxyde. — Phillips (1835) est le premier qui préconisa l'emploi des oxydes métalliques pour l'épuration du gaz; Crool, en 1840, fit quelques essais restés infructueux à cause des dépenses qu'ils nécessitaient. C'est à Laming que revient le mérite d'avoir rendu pratique l'épuration par l'oxyde de fer (sesquioxyde hydraté), en indiquant la manière de revivifier l'oxyde épuisé par l'exposition à l'air atmosphérique.

Les formules sur lesquelles repose l'emploi des matières ferrugineuses sont les suivantes :



Ces réactions ne rendent certainement pas compte de tous les phénomènes qui se passent dans l'épurateur, mais elles indiquent les plus importantes et les plus utiles.

Etude des mélanges : 1° Matière Laming. — Laming tire le sesquioxyde de fer du sulfate métallique, qu'il décompose soit par la chaux carbonatée, soit par la chaux éteinte. — Il se forme un sulfate de chaux, du sesquioxyde de fer hydraté et il reste en excès un peu de chaux libre. — La réaction doit être surveillée, et il est bon de n'opérer à la fois que sur des mélanges peu volumineux pour éviter un trop grand échauffement ; faute de ce soin, le sesquioxyde pourrait perdre son eau d'hydratation et serait moins actif.

Pendant longtemps on a considéré le sulfate de chaux comme une partie indispensable au mélange ; en fait, il n'est là que par nécessité, et comme conséquence de la formation de l'oxyde, d'ailleurs il ne faut pas perdre de vue qu'après les premières revivifications la chaux est inerte et transformée en carbonate.

Le mélange de sesquioxyde et de sulfate de chaux est employé dans les épurateurs additionné d'une quan-

⁴ D'après Brescius, la première réaction serait réellement celle qui se passe dans l'épuration du gaz, puis il y aurait, après coup, décomposition du sesquisulfure en protosulfure et en soufre, en vertu de la formule $\text{Fe}^2\text{S}^3 = 2 \text{ FeS} + \text{S}$.

tité variable de sciure. Voici la composition d'une matière assez couramment employée :

Sulfate de fer, 3 hectol.; hydrate de chaux, 2 à 2,5 hect.
Matière divisante (sciure, poussier...) 25 hectol.

La réaction du sulfate de fer et de la chaux peut avoir lieu avec les éléments pris à l'état sec, ou utilisés en dissolution.

Dans le premier cas, la chaux en poudre est mélangée en proportion convenable (équivalent à équivalent) avec le sulfate de fer en poussière; on forme de petits tas coniques, représentant 1 hectol. environ, et on laisse agir quelques heures. Quand le mélange est chaud, on le retourne; au bout de vingt-quatre heures et après deux ou trois reprises des tas, la matière peut être employée à l'épuration.

Quand on prépare le sesquioxyde à l'aide de la solution de sulfate, on peut, ou bien arroser la chaux, ou mieux, arroser la matière divisante (sciure) avec la liqueur et ajouter ensuite la chaux en poudre. Nous ne conseillons pas cette dernière méthode.

La Compagnie parisienne opère de la façon suivante : dans un cuvier en bois on mélange 250 kilogr. de sulfate de fer et 7 hectol. de sciure; on fait arriver un jet de vapeur et on remue jusqu'à dissolution complète du sulfate, on étale ensuite la sciure sur le sol et on la mélange à 4 hectol. de chaux hydratée en poudre.

2^e Matière de M. Salanson. — En 1881, M. Salanson a indiqué dans une communication à la Société technique le moyen de préparer le sulfate de fer à l'usine même à l'aide d'acide sulfurique et de débris de fer.

On étend l'acide sulfurique de façon à lui faire marquer :

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|----|
| 13° Baumé à la température de 10° | | | |
| 15 | — | — | 15 |
| 18,5 | — | — | 18 |

On jette dans le bain des débris de fer et on laisse agir. La liqueur peut être employée quand elle pèse 26 à 30° Baumé, on la mélange alors à de la sciure et de la chaux dans la proportion suivante :

Sciure 15 à 20 hectol. — liqueur à 30° 4 hect. 5
Hydrate de chaux en poudre, 3 hect. 3

3° Matière à la limaille. — La limaille de fer s'oxyde rapidement à l'air surtout quand elle a été mouillée par l'eau ammoniacale. La limaille de fonte fait de même mais un peu moins rapidement.

La méthode est donc toute simple ; on prend un volume donné de limaille aussi fine que possible et on arrose à raison de 5 à 6 p. 100 d'eau ammoniacale, on peut obtenir de cette façon en oxyde 50 p. 100 du poids de la limaille.

4° Matière Deicke-Schneider. — Si on mélange de la limaille de fer, du soufre et de l'eau, on produit du protosulfure de fer et de la vapeur d'eau :



C'est la réaction qui se produit dans l'expérience connue du volcan de Lemeris ; or, nous savons qu'à l'air le protosulfure de fer se transforme en sesquioxyde ; nous avons donc là un moyen d'obtenir une matière épurante. MM. Deicke et Schneider, partant de ce principe qu'une vieille matière à oxyde contient jusqu'à 40 et 50 p. 100 de soufre libre, ont proposé d'additionner

celle-ci de limaille et de laisser se produire la réaction précédente ; avec cette méthode, on ne fait pas, à proprement parler, une matière neuve, mais on peut prolonger le service d'un mélange épurant déjà épuisé.

5° Lux-masse. — Tous les gaziers connaissent aujourd'hui la lux-masse ; c'est un sesquioxyde de fer hydraté alcalisé par de la soude. Cette matière est produite comme résidu dans la fabrication de l'alumine dans la bauxite.

6° Oxydes de fer naturels. — Il y a déjà longtemps qu'on s'est préoccupé d'utiliser les minerais de fer naturels à l'épuration du gaz. Nous pouvons dire qu'aujourd'hui leur emploi se généralise, et cela à très juste raison. Sans doute, tous les minerais ne sont pas acceptables, mais il en existe un assez grand nombre qui répondent aux conditions du problème, les minerais naturels sont d'ailleurs peu coûteux, et, quand ils renferment au moins 50 p. 100 de sesquioxyde, il est avantageux de les employer.

ANALYSES DE QUELQUES MINERAIS

| NOMS ou provenance | OXYDE de manganèse | Hydrate de sesquioxyde de fer $Fe_2O_3 \cdot HO$ | Silice SiO_2 | Argile $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ | Chaux CaO | Magnésie Mg O | Alumine $Al_2 O_3$ | Eau. portes et divers |
|--|-----------------------|---|-------------------|----------------------------------|--------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| Sidérîte de Budín..... | » | 54,68 | 15,94 | ..... | ..... | ..... | ..... | 29,38 |
| Algérie (Tafna). (Gard) Su- mène | 1,4 | 80,00 | 3,5 | ..... | 4,5 | ..... | 1,5 | 9,00 |
| (Aude) Sal- signe ..... | ..... | 71,50 | 2,25 | ..... | 5,5 | ..... | 2,40 | 16,58 |
| Minerais de Danemark. | traces | 77,00 | .. | ..... | 1,0 | 0,90 | 2,50 | 17,70 |
| Minerais de Gueldre... | 0,85 | 66,00 | 11,04 | | traces | | 1,80 | 19 55 |
| | traces | 61,30 | 28,92 | | | | 2,82 | 16,84 |

Emploi des mélanges. — Quel que soit le mélange adopté, il doit être employé suffisamment humide pour que la matière pressée dans la main conserve à peu près la forme qu'on lui a donnée.

La proportion de matière divisante dépendra des circonstances particulières dans lesquelles on se trouvera ; mais il ne faut pas perdre de vue que les mélanges les moins lourds sont les meilleurs au point de vue du rendement. L'épuration marche d'autant mieux qu'elle occasionne une perte moindre de pression. Dans les cas ordinaires les mélanges neufs pèsent 60 à 65 kilogrammes par hectolitre et ils sont réformés quand ils atteignent 80 à 85 par hectolitre.

La matière neuve n'a pas dès les premiers jours toute sa puissance épurante ; il faut attendre quelquefois deux et trois revivifications. Les matières qui contiennent à l'état libre des alcalis (Lux-masse, Laming, etc.) agissent cependant assez bien dès les premiers jours, mais dans ce cas elles doivent cet avantage à l'alcali libre, après deux ou trois revivifications, le mélange épurant a toute sa puissance ; l'oxyde de fer est devenu plus actif, et a pris en quelque sorte cette propriété nouvelle à la suite des réactions dont il a été l'acteur.

La matière neuve absorbe enfin des carbures éclairants, de telle sorte qu'au début le gaz qui la traverse perd de son pouvoir éclairant. Cet inconvénient disparaît quand la sciure a été suffisamment imprégnée de gaz.

Surface d'épuration. — On doit compter sur une surface moyenne d'épuration d'environ 3 à 3^m,5 par 1,000 mètres cubes fabriqués en vingt-quatre heures.

La masse épurante est employée par couches de 50 à 60 centimètres quand son poids est dans les limites ci-dessus indiquées. Si on l'emploie sans mélange de sciure, on réduit à 7 ou 8 centimètres l'épaisseur des couches ; mais cette pratique n'est pas à recommander.

Vitesse de passage. — La vitesse de passage du gaz dans les épurateurs doit être réduite au minimum ; nous avons déjà dit d'ailleurs qu'on avait intérêt à réduire l'absorption de pression par les épurateurs. D'après les expériences du D^r Kunalh, à l'usine à gaz de Stettin, la vitesse de passage ne doit pas excéder 0^m,005 par seconde ; elle peut atteindre 0,016 avec les matières neuves, mais il faut la réduire au fur et à mesure qu'elles vieillissent.

Dépense d'oxyde. — Si on admet que la teneur moyenne du gaz en acide sulfhydrique est de 8 gr.5, il faudra théoriquement 13 gr. 33 de sesquioxyde pour cette épurant. En d'autres termes, 100 kilogrammes d'oxyde peuvent arrêter 6 kilog.459 d'hydrogène sulfuré, et épurer par conséquent $\frac{6,459}{0,0083} = 760$ mètres cubes en chiffres ronds.

Connaissant dès lors la teneur du mélange épurant en sesquioxyde de fer, il est facile d'en déduire la quantité de gaz qu'il peut épurer. Si on compare les chiffres ainsi calculés aux résultats de la pratique, on trouve des différences notables. C'est qu'en effet les mélanges épurants renferment toujours une certaine quantité d'oxydes comptés comme actifs et qui ne le sont pas, qu'à chaque revivification il se produit de l'oxyde anhydre inactif, que le sesquioxyde, quelle que

soit sa finesse, est toujours composé de grains dont l'intérieur n'agit pas, qu'enfin les matières se salissent avec les dépôts de goudron et deviennent inertes.

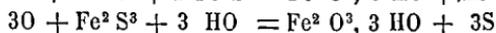
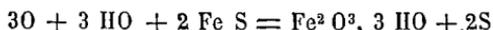
Voici quelques essais de M. Scheele :

PUISSANCE ÉPURANTE DE DIVERSES MATIÈRES

| MATIÈRES | POIDS du m. c. | LA MATIÈRE ÉPURÉE | |
|------------------------|----------------------|-------------------|------------|
| | | par m. c. | par 100 k. |
| Oxyde de Manheim | 577 | 1808 | 313 |
| d° | d° | 1438 | 249 |
| Matière Laming..... | 665 | 1684 | 253 |
| » Oberursel..... | 796 | 1584 | 200 |
| » Deicke..... | 718 | 1470 | 205 |

THÉORIE DE LA REVIVIFICATION DES VIEILLES MATIÈRES

La revivification des matières épurantes repose sur les formules suivantes :



Les vieilles matières au sortir des épurateurs sont mises en contact avec l'air, par couches de 20 à 30 centimètres et aussitôt les réactions prennent naissance avec dégagement de chaleur et de vapeur d'eau.

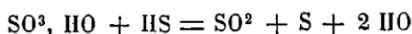
Quelques chimistes pensent qu'il se produit, durant la revivification, un peu d'acide sulfurique. Ils attribuent sa formation à la haute température obtenue et à l'action du soufre libre en présence de l'oxygène. — Ce fait est incertain et étant donnée la faible teneur en sulfate d'ammoniaque des matières reformées, d'autres chi-

mistes préfèrent supposer que l'acide sulfurique provient du gaz d'éclairage. — Le gaz en effet contient des sulfites et hyposulfites d'ammoniaque, qui sont transformables en sulfates et hyposulfates au contact de l'air; ce serait donc à ces composés que serait dû l'acide sulfurique contenu dans les vieilles matières.

Quoi qu'il en soit, ni toutes les réactions qui se passent dans l'épurateur, ni toutes celles qui se passent pendant la revivification ne nous sont exactement connues. C'est ainsi que, théoriquement, la difficulté est grande pour expliquer comment la quantité de soufre libre dans les matières réformées est supérieure à celle calculée d'après les réactions admises. On peut l'expliquer par l'action de l'oxygène sur l'hydrogène sulfuré en vertu de la formule.



Mais il nous semble également qu'on pourrait l'attribuer à la décomposition de l'acide sulfurique par ce même hydrogène sulfuré.



Cette explication aurait pour avantage de mettre d'accord les chimistes sur la présence de l'acide sulfurique dans les matières épurantes. Elle expliquerait fort bien, nous semble-t-il, comment on trouve si peu de cet acide dans les mélanges réformés, alors même qu'il s'en produirait pendant la revivification. Ajoutons enfin qu'elle rend compte parfaitement de l'excès de soufre libre trouvé dans les vieux mélanges.

Dans ce qui précède nous avons admis la transformation complète du protosulfure en sesquioxyde hydraté.

Ilâtons-nous de dire qu'il se forme aussi quelquefois un peu d'oxyde magnétique.

Pratique de la revivification. — Les matières à revivifier doivent être exposées à l'air, sous un hangar couvert et bien aéré. Plutôt que de les poser sur le sol, il est préférable de les poser sur un plancher à claire-voie de façon à faciliter l'entrée de l'air. Le mélange ne doit être étendu qu'après avoir commencé à chauffer ; enfin il convient de le retourner une ou deux fois par vingt-quatre heures pendant les premiers jours.

Quand la revivification est faite *in situ*, c'est-à-dire dans les épurateurs mêmes, on doit opérer sur des masses assez riches en sciure pour que l'échauffement pendant la revivification ne soit pas exagéré. Il convient également de n'introduire dans le mélange que de l'air humide, soit en mouillant à l'avance la matière, soit en injectant l'air à l'aide d'un appareil à vapeur (Kœrting, Bourdon, etc.).

La quantité d'air nécessaire à une bonne revivification peut être évaluée par mètre cube de mélange à 200 ou 250 mètres cubes.

Coût de la revivification. — La revivification dans les caisses donne sur la revivification sous hangar 50 à 60 p. 100 d'économie en main-d'œuvre. Toutefois il faut compter qu'après cinq ou six revivifications dans les épurateurs, la matière doit être remuée afin de diminuer son tassement.

La revivification hors caisses demande un quart de journée d'homme par hectolitre manutentionné, et il faut compter sur 9 à 10 hectolitres à manutentionner

par 1,000 mètres cubes de gaz fabriqué en vingt-quatre heures.

Nombre de revivifications. — Le nombre de revivifications varie avec la matière employée, la nature des charbons distillés, le degré plus ou moins parfait de la condensation du gaz.

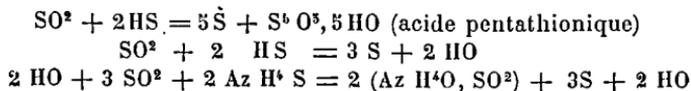
On peut admettre les chiffres ci-dessous comme moyenne :

NOMBRE DE REVIVIFICATION DES QUELQUES MATIÈRES ÉPURANTES

| MATIÈRES | NOMBRE de revivifications | NOMBRE de 1,000 m. c. épurés par m. c. de matière ou de minéral | PRIX moyen de la matière |
|---|---------------------------|---|--------------------------|
| Laming..... | 11 | 100 | 25 fr. |
| Lux-masse pure..... | 30 | 300 | 65 |
| Minéral naturel (Salsigne) à 75 p. 100 d'oxyde... | 15 | 225 | 35 |

ÉPURATION PAR L'ACIDE SULFUREUX

Ce genre d'épuration a été essayé à Londres en 1877, mais abandonné depuis sans que les raisons nous en soient connues. Il est basé sur les réactions ci-dessous :



Le soufre ainsi déposé pouvait ultérieurement rentrer dans le cycle des opérations en se transformant en acide sulfureux.

III. — ENLÈVEMENT DE L'ACIDE CARBONIQUE

L'acide carbonique est facilement retenu par les alcalis, et parmi ceux-ci la chaux est le moins coûteux à employer. Nous n'étudierons dans ce paragraphe que l'épuration au point de vue de l'acide carbonique.

Épuration à la chaux. — On peut employer la chaux à l'état de lait ou à l'état de poudre. Dans les débuts de l'industrie du gaz, l'épuration avait lieu avec un lait de chaux dans lequel barbotait le gaz ; on avait soin d'agiter constamment le liquide pour maintenir les particules de chaux qui sont peu solubles en suspension dans l'eau. Cette méthode fut promptement abandonnée.

On emploie aujourd'hui la chaux surtout à l'état sec, et dans le cas, que nous examinons, où elle doit *seulement* arrêter l'acide carbonique, les épurateurs à chaux viennent après ceux à oxyde.

Surface d'épuration. — La surface des épurateurs à chaux pour l'épuration qui nous occupe est comprise entre 3 et 4 mètres carrés par 1,000 mètres cubes fabriqués en vingt-quatre heures.

La quantité de chaux employée varie entre 8 ou 10 kilogrammes de chaux vive, c'est-à-dire 12 à 15 kilogrammes de chaux éteinte. Ces chiffres sont basés sur ce résultat expérimental que 3 kilogrammes de chaux vive ou 4^{kg} 625 de chaux hydratée arrêtent 1 mètre cube d'acide carbonique.

Place des épurateurs. — Nous avons dit que les épurateurs à chaux devaient venir après ceux à oxyde. Le gaz qu'ils reçoivent est ainsi dépouillé de tout son hydrogène sulfuré et la chaux ne travaille qu'avec l'acide carbonique.

Ilâtons-nous de dire que rarement, dans les usines, on épure à la fois à la chaux et à l'oxyde. On n'a intérêt à le faire que quand la teneur du gaz en acide carbonique est un peu trop grande, et que le pouvoir éclairant laisse à désirer.

Voici en effet, d'après M. Hinnman, l'influence de l'acide carbonique sur le pouvoir éclairant du gaz.

| | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------------|---|-----|----------------|-----|--------|------|---|
| Bees d'Argand | Acide carbonique p. 100 en vol. | { | 1,3 | perte de P. E. | 2,3 | p. 100 | | |
| | | | 2,8 | | — | | 5,4 | — |
| | | | 4,9 | | — | | 9,2 | — |
| Bees papillons | — | { | 1,4 | — | 6,0 | — | | |
| | | | 2,5 | | — | | 12,4 | — |
| | | | 3,9 | | — | | 16,9 | — |

IV. — ENLÈVEMENT DU SULFURE DE CARBONE

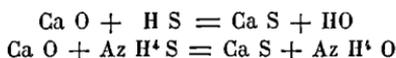
Le gaz de houille renferme de petites quantités de sulfure de carbone à peu près 0^{sc.}25⁴ en moyenne par mètre cube de gaz. En France, on ne se préoccupe pas de cet élément dont une partie d'ailleurs est fixée durant l'épuration ordinaire à l'état de sulfocarbonate d'ammoniaque. En Angleterre, au contraire, où la teneur du gaz

⁴ Les charbons anglais peuvent donner de 0 gr. 050 à 1 gr. 100 de composés sulfurés autres que le soufre, parmi lesquels le plus important est le sulfure de carbone. Les autres ne sont pas bien connus et partant difficilement éliminables.

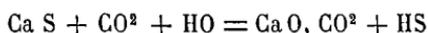
en soufre est limitée à 0^{gr} 45 par mètre cube, quelle que soit la forme sous laquelle existe le soufre, on attache une grande importance à l'élimination du sulfure de carbone. Celle-ci peut être obtenue de deux façons principales, soit par l'action de l'oxygène, soit par celle des sulfures alcalins. Nous étudierons brièvement l'action de ces derniers.

Les sulfures alcalins forment avec le sulfure de carbone des sulfocarbonates de la forme $M S, C S^2$; l'élimination du sulfure de carbone est donc par ce procédé tout à fait simple.

Dans les usines à gaz, le sulfure alcalin en usage est le sulfure de calcium produit par l'action de l'hydrogène sulfuré du gaz sur la chaux en poudre.



Pour obtenir cette formation de Ca S , il faut prendre dans la pratique quelques précautions, car il est décomposé par l'acide carbonique du gaz ainsi que l'indique la formule suivante :



Voici donc la règle générale à suivre :

On fait arriver le gaz dépouillé d'acide carbonique dans un ou deux épurateurs à la chaux, où il abandonne son hydrogène sulfuré en formant du sulfure de calcium.

Ce sulfure de calcium arrêtera le sulfure de carbone contenu dans le gaz.

Quand l'épuration générale du gaz a lieu exclusivement à la chaux, on n'a pas, à proprement parler, à se préoccuper de l'ordre de passage du gaz, autrement que

pour obtenir de la chaux le maximum possible de travail : l'arrêt du sulfure de carbone est toujours assuré.

Quand on opère l'épuration partie à la chaux, partie à l'oxyde, voici quelle doit être la disposition rationnelle des caisses en supposant borné à une de chaque nature le nombre de celles qu'on emploie :

| | | | | | |
|-----------------|---|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Caisses à . . . | { | Ca O | Ca S | Fe ² O ³ | } 1 ^{re} disposition. |
| arrêt de . . . | { | CO ² | C S ² | H S | |
| Caisses à . . . | { | Ca O | Fe ² O ³ | Ca S | } 2 ^e disposition. |
| arrêt de . . . | { | CO ² | H S | C S ² | |

On arrive en Angleterre à ne laisser dans le gaz épuré que 0,14 à 0^{sr},15 de soufre total par mètre cube de gaz.

En France, où des précautions aussi minutieuses ne sont pas prises, la teneur totale en soufre reste néanmoins inférieure à 0^{sr},6 par mètre cube. Le gaz de Paris ne renferme pas plus de 0^{sr},08 à 0^{sr},10 de sulfure de carbone par mètre cube.

V. — ARRÊT SIMULTANÉ DE DEUX OU PLUSIEURS ÉLÉMENTS NUISIBLES

Epuration à la chaux. — Nous n'aurons à ce sujet que peu de chose à dire. Nous avons vu, en effet, comment la chaux peut retenir l'acide carbonique et le sulfure de carbone. Nous avons indiqué enfin comment il agit sur l'hydrogène sulfuré. Rappelons seulement les formules des diverses réactions :

- (1) $\text{CaO} + \text{CO}^2 = \text{CaO}, \text{CO}^2$
- (2) $\text{CaO} + \text{H S} = \text{CaS} + \text{HO}$
- (3) $\text{CaO} + \text{Az H}^4 \text{S} = \text{Az H}^3 + \text{HO} + \text{Ca S}$
- (4) $\text{CaS} + \text{C S}^2 = \text{Ca S}, \text{C S}^2$

La chaux est donc un agent complet d'épuration, et à ce point de vue elle ne peut être remplacée par l'oxyde de fer.

Les motifs qui l'ont fait abandonner sont au nombre de deux principaux. L'épuration était coûteuse; les vieilles matières étaient encombrantes et répandaient de mauvaises odeurs.

On lui a également reproché d'altérer un peu le pouvoir éclairant en absorbant des hydrocarbures, mais il est prouvé aujourd'hui que le fait ne se produit pas avec la chaux hydratée. Au surplus, y eût-il perte réelle, elle était compensée, et au delà, par le gain provenant de l'enlèvement de l'acide carbonique.

Surface d'épuration. — On compte pour l'épuration complète du gaz à la chaux un mètre de surface par tonne de charbon distillé en vingt-quatre heures. On peut l'employer pure ou mélangée de sciure.

La consommation de chaux peut être évaluée à 800 ou 1,000 kilogrammes par 1,000 mètres cubes de gaz à épurer en vingt-quatre heures — théoriquement 200 à 250 kilogrammes suffisent à épurer 1,000 mètres cubes de gaz d'une composition moyenne.

ÉPURATION PAR LES EAUX AMMONIACALES

Depuis longtemps on s'est proposé de faire l'épuration entière du gaz à l'aide de l'ammoniaque qu'il renferme. Former une liqueur ammoniacale, l'employer au lavage du gaz et fixer les acides carboniques et sulfhydriques à l'état de carbonate et sulphydrate d'am-

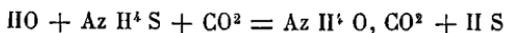
moniaque, tel est le problème. Si simple qu'il paraisse, sa solution réellement économique et pratique n'est pas encore réalisée. On connaît les essais de M. Hill en Angleterre et ceux plus récents de M. Claus; ils ne paraissent pas jusqu'à ce jour sur le point d'être suivis en France, et, de fait, l'économie à réaliser sur les frais d'épuration n'apparaît pas encore comme très claire.

Nous nous occuperons surtout ici, du lavage par les eaux ammoniacales, et ne ferons qu'effleurer la question de régénération des eaux.

Lavage par les eaux de gaz. — L'emploi des eaux ammoniacales dans les appareils laveurs présente quelques avantages. — Elles agissent peu sur le pouvoir éclairant du gaz, lui enlèvent de l'acide carbonique, et se concentrent progressivement.

Tandis qu'un lavage exagéré à l'eau pure peut faire baisser le pouvoir éclairant de 11 p. 100, dans les mêmes conditions on n'obtient avec les eaux de gaz qu'une perte de 9,6 p. 100.

L'arrêt de l'acide carbonique par les eaux ammoniacales s'explique par l'action de ce gaz sur le sulfhydrate d'ammoniaque :



L'acide sulfhydrique dégagé est retenu dans les caisses à oxyde. L'expérience confirme la réalité de la réaction ci-dessus, et les analyses prouvent que la teneur du gaz en hydrogène sulfuré augmente par le lavage aux eaux ammoniacales. Le D^r Schilling donne les chiffres suivants :

USINE A GAZ DE MUNICH (analyse en volume)

| ÉCHANTILLON DE GAZ PRIS | CO ² | HS | Az H ³ |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-------------------|
| | p. 100 | p. 100 | p. 100 |
| Dans le barillet..... | 2,228 | 0,342 | 0,145 |
| Avant les scrubbers ammoniacaux.... | 2,226 | 0,051 | 0,093 |
| Après — — — — | 1,637 | 0,115 | 0,013 |

La forte proportion d'acide carbonique indiquée dans ces analyses se rencontre quelquefois avec les charbons allemands de Westphalie ; ils peuvent donner dans le gaz plus de 4 p. 100 d'acide carbonique en volume.

Proportion d'eau de lavage. — D'après les expériences faites à la Compagnie Parisienne, pour effectuer un bon lavage ammoniacal il faut employer 80 à 100 litres d'eau par 1,000 mètres cubes de gaz fabriqué en vingt-quatre heures. Au-dessus de cette proportion, on risque d'altérer le pouvoir éclairant, de même qu'en restant au-dessous, le gaz, au lieu de perdre son ammoniac, pourrait en emprunter à l'eau, surtout s'il n'était pas bien refroidi.

Dans les conditions indiquées ci-dessus, on peut enlever au gaz dans le laveur ammoniacal $\frac{2}{3}$ de l'ammoniac, $\frac{1}{2}$ de l'acide sulfhydrique et $\frac{1}{4}$ de l'acide carbonique qu'il possède à l'entrée de cet appareil.

Régénération des liqueurs ammoniacales. — Nous ne citerons que pour mémoire les procédés dans lesquels on précipitait les acides de l'eau par la chaux ou l'oxyde de fer ; ils ne présentaient aucun avantage. Seuls, les

procédés d'épuration par la chaleur méritent notre attention.

En 1874, M. Hill a proposé le premier de décomposer les carbonate et sulfhydrate d'ammoniaque dissous dans les eaux de gaz en chauffant celles-ci à 80 ou 85°. On élimine ainsi une certaine quantité des acides CO^2 et HS , et l'eau de gaz s'enrichit en ammoniaque ; on peut enlever par cette méthode 90 p. 100 de l'acide carbonique et 75 p. 100 de l'acide sulfhydrique contenus dans l'eau. Les eaux traitées, riches en ammoniaque libre, sont alors aptes à servir à l'épuration du gaz ; elles peuvent être envoyées à cet effet dans des laveurs appropriés, ou bien, comme dans le procédé Clauss, être distillées en vue de dégager l'ammoniaque et les composés ammoniacaux volatils restés dans l'eau ; les produits de cette distillation sont envoyés avec le gaz à l'entrée des laveurs dans lesquels s'opère l'épuration. Nous n'indiquons ici le procédé que d'une façon sommaire ; il se complique en réalité de nombreux appareils et permet, par contre, d'obtenir à l'état commercial du soufre et des sels ammoniacaux.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'ÉPURATION

Pour terminer ce chapitre, nous croyons qu'il est intéressant de grouper quelques analyses de gaz prises en différents points de l'usine de façon que le lecteur puisse se rendre compte des résultats fournis par chaque appareil d'épuration.

TABLEAU DES RÉSULTATS FOURNIS PAR L'ÉPURATION

| HOUILLES distillées | PRISE DU GAZ | CO ² | | HS | | AzH ³ | | |
|---|---|-----------------------|-------|--------|-------|------------------|-------|-----------------------|
| | | PAR MÈTRE CUBE DE GAZ | | | | | | |
| | | Volume | Poids | Volume | Poids | Volume | Poids | |
| Allemandes | Avant les condenseurs. | 2,228 | | 0,342 | | 0,145 | | Muelch |
| | Avant les scrubbers ammoniacaux | 2,226 | | 0,051 | | 0,093 | | |
| | Après les scrubbers ammoniacaux | 1,675 | | 0,115 | | 0,013 | | |
| Françaises et Belges | Après les condenseurs. | | 16,89 | | 7,32 | | 6,96 | M. Dussard (Paris) |
| | Après le lavage am- moniacal..... | | 11,64 | | 2,46 | | 2,01 | |
| Lambton | Après les condenseurs. | | 36,70 | | 14,56 | | 4,965 | M. Dupasquier |
| | Après 2 scrubbers am- moniacaux | | 31,26 | | 12,65 | | 1,540 | |
| | Après 1 scrubber à l'eau pure..... | | 28,95 | | 11,92 | | 0,557 | |
| | Après les épurateurs à oxyde et à chaux... | | 7,47 | | 0,00 | | 0,030 | |
| 2/3 Campagne et 1/3 Carmaux | Avant les condenseurs. | | 13,21 | | 9,33 | | 5,25 | B. |
| | Avant les scrubbers à eau ammoniacale .. | | 12,93 | | 8,22 | | 2,63 | |
| | Après les scrubbers à eau ammoniacale .. | | 5,98 | | 5,45 | | 0,112 | |
| | Après les épurateurs à oxyde..... | | 4,74 | | 0,39 | | 0,081 | |

Voici les résultats obtenus à la Compagnie Parisienne comme moyenne de 5 essais avec des charbons provenant : un d'Angleterre, un du bassin de la Ruhr et trois du Pas-de-Calais.

USINE EXPÉRIMENTALE DE LA VILLETTE

| ÉLÉMENTS | Az H ³ | H Cl | HS | Cy H | CO ² |
|--|-------------------|---------|---------|---------|-----------------|
| <i>1° Poids dans les gaz au sortir des cornues</i> | | | | | |
| | grammes | grammes | grammes | grammes | grammes |
| Parmètre cube de gaz..... | 8,03 | 1,17 | 8,33 | 1,57 | 46,5 |
| Par 100 kilog. de houille ... | 241,00 | 35,20 | 250,00 | 47,00 | 1395,0 |
| <i>2° Répartition p. 100 de chaque impureté</i> | | | | | |
| Dans le condensateur ... | 63,1 | 96,3 | 8,1 | 3,3 | 9,8 |
| Dans la caisse à sciure..... | 35,4 | 3,7 | 3,8 | 5,2 | 7,5 |
| Dans l'épurateur à oxyde. | 1,5 | néant | 88,1 | 91,5 | traces |
| Dans le gaz épuré..... | traces | néant | néant | traces | 82,7 |
| Total.... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

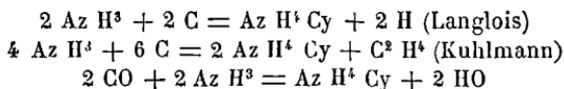
VIEILLES MATIÈRES D'ÉPURATION

Résidus de l'épuration par les oxydes de fer. — La composition des matières réformées varie suivant la nature du mélange employé et les conditions dans lesquelles se pratique l'épuration. On y trouve du sulfate d'ammoniaque, du soufre libre, des sulfures, sulfocyanures et ferrocyanures d'ammonium, des hydrates d'oxyde et peroxyde de fer, des ferrocyanures divers du bleu de Prusse, des matières organiques,

du sulfure de fer, des sels de chaux enfin, quand le mélange primitif contenait de la chaux.

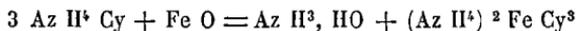
Comme nous avons déjà indiqué l'origine du soufre libre et du sulfate d'ammoniaque, nous ne parlerons ici que des sulfocyanures.

On est d'accord, pour expliquer la présence du cyanogène dans le gaz, d'admettre les réactions suivantes qui se passeraient dans les cornues :



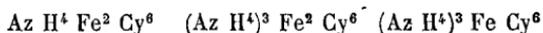
Le cyanhydrate d'ammoniaque ainsi formé se trouve dans des barillets, scrubbers ou épurateurs en contact avec des sulfures ammoniacaux et se transforme alors facilement en sulfocyanate (Wurtz T. 3 — 95).

Quant aux ferrocyanures, leur production peut s'expliquer par la réaction d'une partie du cyanhydrate d'ammonium sur l'oxyde de fer des épurateurs.



Cette réaction se produit encore plus facilement si l'ammoniaque peut se combiner à un acide fort comme l'acide sulfurique pour former un sel. — Il se forme alors un sulfate d'ammoniaque et un ferrocyanure d'ammonium.

Suivant que le gaz est plus ou moins riche en ammoniaque à son entrée dans les épurateurs, le ferrocyanure ammoniacal sera de l'une ou de l'autre des formes :



Or, toutes les fois qu'un quelconque de ces composés prend naissance, le bleu de Prusse se rencontre dans la matière : il résulte alors de l'action du ferrocyanure sur un sel de sesquioxyde de fer.

Il peut également se former du bleu de Prusse par le dédoublement à l'air du ferrocyanure d'ammonium, en cyanhydrate d'ammoniaque et cyanure ferrique ($\text{Fe}^2 \text{Cy}^3$) qui se transforme en bleu de Prusse au contact de l'air.

Nous avons tenu à expliquer l'origine des principaux corps renfermés dans les résidus d'épuration, parce qu'il nous paraît probable que, dans un avenir prochain, les gaziers auront intérêt à tirer directement de ces résidus les quelques composés importants de cyanogène qui y sont contenus.

Nous réunissons dans les tableaux suivants quelques *analyses détaillées de vieilles matières* à oxyde.

ANALYSE DE M. NIERMEYER

| NATURE du mélange épurant | Soufre total | Cyanogène total | Acide sulfurique total | Sulfate d'ammoniaque | Sulfocyanure d'ammonium | Ammoniaque total | Bleu de Prusse | Soufre pur | Divers solubles dans eau bouillante |
|--|-----------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------|---|
| Oxyde naturel mêlé à moitié volume de poussier | 33,40 | 4,62 | 1,75 | 2,35 | 5,93 | 1,90 | 0,81 | 30,61 | 9,22 |
| Lux-masse pure. | 45,31 | 8,18 | 4,40 | 5,92 | 7,14 | 3,14 | 4,19 | 41,76 | 16,83 |

ANALYSE DE M. BUHE

| MATIÈRE | Sulfate d'ammoniaque | Cyanure et ferrocyanure d'ammonium | Sulfocyanure d'ammonium | Hydrate de fer et peroxyde | Bleu de Prusse | Soufre | Sciure et résidus |
|----------------|-------------------------|--|----------------------------|----------------------------------|----------------------|--------|-------------------------|
| Oxyde naturel. | 0,77 | 4,40 | 14,08 | 16,82 | 11,12 | 33,50 | 19,31 |

Nous donnons également ci-dessous les analyses d'une même matière épurante à diverses époques de son emploi :

| ÉLÉMENTS CONSTITUANTS | MATIÈRE REVIVIFIÉE | | |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------|
| | 1 fois | 2 fois | 3 fois |
| Sulfate d'ammoniaque..... | 0,20 | 0,52 | 0,77 |
| Ferrocyanure d'ammonium.... | 1,00 | 2,00 | 4,40 |
| Sulfocyanure d'ammonium.... | 4,69 | 7,82 | 14,08 |
| Oxydes de fer..... | 41,82 | 26,90 | 16,82 |
| Bleu de Prusse..... | 5,93 | 7,84 | 11,12 |
| Soufre..... | 15,24 | 28 20 | 33,50 |
| Sciure, goudron, etc..... | 31,12 | 24,72 | 19,31 |

ANALYSE DE M. HUMPRIEYS

| MATIÈRE | Sulfocyanure d'ammonium | Sulfate d'ammoniaque | Ammoniaque libre | Sulfure de fer | Soufre libre | Résidus insolubles | Eau, matières organiques et hydrocarbures |
|------------|----------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|---|
| Oxyde..... | 9,70 | 7,33 | 0,13 | 14,70 | 48,83 | 3,53 | 15,78 |

Dans une matière Laming, épuisée, provenant de l'usine à gaz de Breslau, M. Schwarz a trouvé :

| MATIÈRE | Humidité | Peroxyde de fer | Bleu de Prusse | Sulfocyanure de calcium | Sulfate d'ammoniaque | Soufre, sels de chaux et autres |
|------------|----------|--------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Laming.... | 20,50 | 7,90 | 2,33 | 4,17 | 0,70 | non dosés |

M. Pendrié donne les analyses suivantes faites sur une matière Laming :

| MATIÈRE LAMING | Poids moyens du mètre cube | PAR MÈTRE CUBE | | |
|--|----------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|
| | | Acide sulfocyanhydrique | Cyanogène | Cyanogène total |
| Masse complètement épuisée après 2 mois de séjour dans la cour de l'usine..... | 593 ^k | 26,940 | 2,113 | 13,985 |
| Masse revivifiée 14 fois..... | 649 | 23,221 | 2,085 | 12,318 |

Traitement des vieilles matières à l'oxyde. — Dans la plupart des usines on se borne à laver les vieilles matières pour en extraire les sels ammoniacaux solubles. Dans ce cas, il ne faut pas perdre de vue qu'on n'extrait que des sels fixes qui exigent de la chaux pour leur traitement.

Lorsqu'on veut vendre aux fabriques de produits chimiques les vieilles matières d'épuration, on renonce quelquefois au lavage préalable; le prix qu'on retire, dans ce cas, de la vente des résidus d'épuration est supérieur parce qu'on les offre plus riches en azote et en cyanogène. Quelques usines se préoccupent aujourd'hui de traiter complètement les vieilles matières et nous croyons que cette pratique est appelée à se généraliser.

Dans ce cas, on lave les vieilles matières à l'eau froide ou chaude et d'une façon méthodique, pour en extraire les sels solubles, sulfate d'ammoniaque et sulfocyanure. Le résidu passé au filtre pressé est ensuite

traité par le sulfure de carbone qui dissout le soufre avec facilité comme l'indique le tableau suivant :

SOLUBILITÉ DU SOUFRE DANS LE SULFURE DE CARBONE

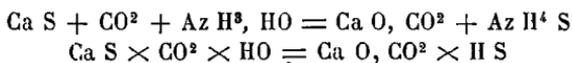
| 100 PARTIES DE SULFURE DISSOLVENT | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Température . . | - 11 | - 6 | 0 | + 15 | + 22 | + 38 | + 48,5 | + 55 |
| Soufre..... | 16,54 | 18,75 | 23,99 | 41,65 | 46,65 | 94,57 | 146,21 | 181,34 |

Après ce lavage, les résidus sont mélangés avec un alcali, la chaux en pratique ; on sèche alors la masse à 60 ou 100 degrés. On peut alors, par un simple lavage à l'eau chaude, extraire le ferrocyanure alcalin qui s'est formé, et l'obtenir par l'évaporation des liqueurs. On ne traite ordinairement que les liqueurs les plus riches, les autres servant à préparer le bleu de Prusse par la précipitation avec les sels de fer. (Voir *Traitement des eaux ammoniacales.*)

Résidus de l'épuration par la chaux. — Quand la chaux est employée à retenir uniquement l'acide carbonique, le résidu de l'épuration est un carbonate de chaux sans valeur.

Au contraire, quand la chaux est utilisée à l'épuration complète du gaz, les résidus peuvent servir comme engrais, à la condition de les utiliser quelque temps seulement après la sortie des caisses, c'est-à-dire lorsque est terminé le dégagement de l'acide sulfhydrique résultant

de la décomposition à l'air du sulfure de calcium en présence de l'ammoniaque :



ANALYSES DE VIEILLES CHAUX

| AUTEURS | Soufre | Sulfate de chaux | Sulfite de chaux | Hyposulfite de chaux | Carbonate de chaux | Chaux caustique | Magnésie et alcali | Sable et silice | Eau et résidus |
|--------------|--------|------------------|------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Wölcker..... | « | 4,64 | 15,19 | » | 49,40 | 18,23 | 2,53 | 0,28 | 9,73 |
| Graham..... | 5,14 | 2,81 | 14,57 | 12,30 | 14,48 | 17,72 | » | 0,71 | 32,28 |

Ces deux analyses ne parlent pas du cyanogène qui existent cependant dans les vieilles matières à chaux. (Celles-ci renferment ordinairement 5 à 6 p. 100 de composés cyanurés.) Les vieilles matières renferment enfin toujours quelques traces d'ammoniaque et de sulfhydrates d'ammoniaque, de sulfocarbonates et sulfocyanates de chaux. Quoi qu'il en soit, ces deux analyses peuvent servir, le cas échéant, en tenant compte des remarques ci-dessus, à juger de la valeur des vieilles chaux comme engrais.

CHAPITRE IX

EXTRACTION

Le gaz qui sort des cornues doit, pour se rendre aux gazomètres, vaincre toutes les pressions fournies par les appareils de l'usine (barillets, condenseurs, laveurs, épurateurs, compteurs et gazomètres). Il est évident que, dans ces conditions, la pression du gaz dans la cornue peut atteindre une valeur élevée, 15 et 20 centimètres par exemple. Il en résulte une diminution très importante dans le rendement gazeux des houilles les cornues se carburent promptement, les engorgements des colonnes montantes sont fréquents, et les pertes par les fissures peuvent être excessives.

C'est pour éviter ces inconvénients qu'on fait usage d'extracteurs, appareils qui aspirent le gaz produit et le refoulent aux gazomètres.

Les premiers essais furent tentés avec la cagniardelle; on essaya ensuite le compteur aspirateur de Grafton, les extracteurs à pompe de Pauwels et Dubochet, Anderson, etc.

Les extracteurs rotatifs de Root, Schielle, Beale, etc., furent ensuite appliqués et sont encore de nos jours très généralement en usage.

Plus récemment, on a utilisé les extracteurs à jet de vapeur, systèmes Kœrting ou Bourdon. Nous ne nous

occuperons ici que des extracteurs rotatifs et des appareils à jet de vapeur.

EXTRACTEURS ROTATIFS BEALE, WALLEs, ETC.

Le succès de ces appareils tient essentiellement à leur marche régulière. Ils fonctionnent en ne donnant sur le refoulement que des variations de pressions insignifiantes, 7 à 8 millimètres au maximum ; d'autre part ils ont un rendement très élevé qui peut atteindre 85 à 90 p. 100. — Ils n'exigent que très peu de force, 4 à 3 chevaux suivant leur puissance, et marchent à 70 ou 80 tours seulement par minute.

Installation des extracteurs. — La place de ces appareils est ordinairement choisie avant les Pelouzes et les laveurs. Ils travaillent ainsi du gaz contenant encore du goudron et comme cet élément est rassemblé par le jeu des palettes, les surfaces de l'aspirateur se trouvent naturellement lubrifiées ; le fonctionnement est donc meilleur.

Quelquefois on fait l'aspiration du gaz après le lavage, mais les engorgements sont plus fréquents.

Sans vouloir entrer dans les détails, nous devons dire qu'il y a deux façons d'actionner les extracteurs.

1° *Avec un moteur à vitesse constante.* — Dans ce cas, l'appareil d'extraction est muni d'un by-pass automatique, d'un régulateur de vide avec tuyau de retour. Le régulateur de vide est réglé de façon que l'extracteur puisse aspirer le maximum de gaz fabriqué. Si, à un moment donné, la production baissant, le vide à l'entrée

de l'extracteur devient trop considérable, le régulateur ouvre le tuyau de retour et une partie du gaz déjà refoulé retourne à l'aspiration. Si pour une raison quelconque la pression d'entrée aux extracteurs dépassait la limite voulue, le by-pass automatique s'ouvrirait et livrerait passage au gaz. — Dans ces conditions, l'extracteur fait toujours le même travail; son débit est le même à tout moment, et il est fixé à volonté par le surveillant des machines à l'aide du régulateur.

Ce genre d'installation est très avantageux. La surveillance n'a pas besoin d'être aussi grande que dans tout autre cas, et, de plus, on a l'avantage de pouvoir utiliser le mouvement du moteur pour tout autre travail exigeant une vitesse constante, marche des pompes, casse-coke, etc.

2° *Avec un moteur à vitesse variable.* — Dans ce cas, le régulateur de vide existe toujours, mais le tuyau de retour est supprimé. — Le régulateur de vide agit sur l'admission de vapeur de façon à ralentir ou accélérer la marche de l'extracteur suivant les besoins.

Cette disposition exige une grande surveillance et met dans l'impossibilité d'utiliser les moteurs à d'autres services que l'extraction. En revanche, le travail dépensé est réduit au strict nécessaire.

Ordinairement les extracteurs sont commandés par un arbre intermédiaire qui peut recevoir le mouvement de deux ou plusieurs moteurs. On a aussi proposé l'installation d'extracteurs directement attelés sur la machine motrice, mais nous préférons le premier système; dans le second, en effet, un même appareil est sujet à un arrêt pour deux causes au lieu d'une, suivant que l'extracteur ou son moteur a besoin de réparation.

Travail produit par les extracteurs. — Le travail théoriquement nécessaire pour comprimer 1 mètre cube de gaz de la pression h à la pression h' . ($h - h' = \Pi$) est donné par la formule

$$N^{ch} = QH$$

dans laquelle Q représente le nombre de mètres cubes aspirés par seconde, Π la différence de pression entre l'aspiration et le refoulement exprimé en mètres d'eau.

En pratique, il faut multiplier cette valeur par un coefficient ρ qui varie, selon les appareils, entre 30 et 60.

Voici ci-contre, d'après M. Voodall, les résultats obtenus à Londres avec des Beale de 3,000 mètres cubes à l'heure.

Avec les moteurs à gaz, la dépense varie entre 6 et 8 mètres cubes de gaz par 1,000 mètres cubes extraits à l'heure et 10 centimètres de contre-pression.

En résumé on peut admettre comme moyenne assez large que les dépenses d'extraction répondent à 1 cheval-vapeur par 1,000 mètres cubes aspirés par heure et par centimètre de contre-pression.

EXTRACTEURS A JET DE VAPEUR

Ces appareils ont mérité l'attention des directeurs d'usines par leur faible coût d'installation, leur marche régulière, la suppression des machines et les faibles dépenses d'entretien.

Les extracteurs à vapeur reposent sur un principe bien connu : on lance un jet de vapeur à travers un ou plusieurs ajutages convenablement disposés et on utilise

EXTRACTION DU GAZ PAR UN MOTEUR ROTATIF

| DURÉE DES ESSAIS 10 heures | MACHINE à condensation et à balancier actionnant | | MACHINE sans condensation actionnant | |
|--|---|--|--|-------------|
| | 2 Beale de 3000 m ³ à l'heure | 1 Beale de 3000 m ³ à l'heure | 1 Beale de 3000 m ³ commande directe par | |
| | commande par engrenage | | engrenage | courroies |
| Pression du gaz à l'entrée. | 0,076 | 0,076 | 0,041 | 0,038 |
| Pression du gaz à la sortie..... | 1,028 | 0,965 | 0,704 | 0,693 |
| Température du gaz | 16,0 | 17,0 | 24,0 | 23,0 |
| Eau vaporisée par cheval et heure.. | 25,0 | 35,0 | 25,0 | 46,0 |
| Eau vaporisée par kilog. de combustible..... | 9,5 (Houille) | 7,46 (Coke) | 7,25 (Coke) | 8,10 (Coke) |
| Combustible employée par 1000 m ³ de gaz extrait... | 23,0 | 34,0 | 21,0 | 28,0 |
| Eau employée par 1000 m ³ de gaz extrait..... | 210,0 | 232,0 | 155,0 | 224,0 |
| Chevaux absorbés par 1000 m ³ de gaz extrait à l'heure. | 8,4 | 7,3 | 6,45 | 4,84 |
| Chevaux absorbés par 1000 m ³ de gaz extrait à l'heure et par centimètre de contre-pression | 0,763 | 0,702 | 0,820 | 0,662 |

la dépression ainsi produite autour de la colonne de vapeur pour faire l'appel du gaz et son refoulement. L'inconvénient de ces appareils réside uniquement dans le mélange du gaz avec la vapeur et par suite dans la nécessité où l'on se trouve de placer après l'extracteur de nouveaux appareils de condensation très puissants

pour bien retenir toute l'eau contenue dans le gaz. Enfin, les eaux ainsi condensées sont peu riches en sels ammoniacaux et partant difficiles à traiter.

On a reproché aussi aux extracteurs à vapeur d'altérer la composition du gaz, mais ce reproche ne paraît pas fondé ainsi que le démontrent les analyses suivantes faites par M. Grahn.

| ÉLÉMENTS | AVANT | APRÈS |
|---|-------------|-------------|
| Az = Azote | 2,91 p. 100 | 2,25 p. 100 |
| Co = Oxyde de carbone | 5,73 — | 5,40 — |
| H = Hydrogène | 51,10 — | 52,08 — |
| O = Oxygène | 0,63 — | 0,55 — |
| C ² H ² = Carbures denses | 4,38 — | 4,26 — |
| C ² H ¹ = Gaz des marais | 35,43 — | 35,06 — |

; **Dépense de vapeur.** — D'après le D^r Paterson, les résultats suivants ont été obtenus avec un Kœrting dans l'usine Cheltenham :

EXTRACTION DU GAZ PAR UN APPAREIL A JET DE VAPEUR

| | MOYENNE de 5 jours de marche consécutive | MOYENNE de 3 jours de marche consécutive | MOYENNE de 2 jours de marche consécutive |
|--|---|---|---|
| Pression du gaz à l'entrée | 292mm | 275mm | 433mm |
| » à la sortie | 22mm | 24mm | 16mm |
| Température du gaz à l'entrée | 16°,2 | 13°,0 | 15°,6 |
| » à la sortie | 61,8 | 57,28 | 64,7 |
| Pression de la vapeur en kilog. par cm. q. | 3k,700 | 3k,672 | 3k698 |
| Vapeur consommée par 1000 m ³ extraits | 308k | 271k | 400k |
| Vapeur consommée par 1000 m ³ de gaz extrait et centimètre de contre-pression | 9k,50 | 9k | 8k,9 |

En pratique, on comptera sur 10 kilogrammes de vapeur par 1,000 mètres cubes et par centimètre carré de contre-pression.

L'extracteur Bourdon consomme peut-être un peu moins, sans toutefois que la dépense puisse descendre au-dessous de 8 kilogrammes.

CONTROLE DE L'EXTRACTION

Indicateurs de vide et pression. — Il importe de pouvoir à tout instant contrôler la marche des extracteurs et pour cela il est utile d'avoir branché sur l'arrivée du gaz un indicateur-enregistreur des pressions. Dans les usines importantes on place un appareil analogue sur la conduite de refoulement. — Le premier permet de contrôler non seulement l'extraction, mais encore le service des cornues (les charges se trouvent, en effet, marquées sur la feuille par de petits traits verticaux coupant la ligne de pression); le second, indiquant les variations après l'extracteur, permet de contrôler la manœuvre des vannes d'entrée aux gazomètres. Si, en effet, ceux-ci ont entre eux des différences de poids, la ligne des pressions sera pour chaque gazomètre tracée à différentes hauteurs. Cette remarque est très importante dans le cas où on pratique le classement du gaz.

CHAPITRE X .

MESURAGE DU GAZ FABRIQUÉ

Le mesurage du gaz fabriqué a lieu par le *compteur de fabrication*; ce dernier appareil est indispensable pour toute usine qui veut pouvoir contrôler la qualité des charbons employés et la marche de sa fabrication; ses indications sont surtout utiles pour l'évaluation exacte des pertes de gaz. — Nous étudierons le fonctionnement des compteurs dans le chapitre xiv.

Rapporteur de fabrication. — On appelle ainsi l'appareil dont sont munis les compteurs d'usines en vue de fournir le graphique de la production de gaz en vingt-quatre heures.

Les rapporteurs sont de deux types différents : dans le premier, le crayon s'élève et s'abaisse en fonction du temps et trace des lignes sur un cercle qui tourne proportionnellement à la quantité de gaz mesurée.

Dans le second, le crayon est animé d'un mouvement ascendant et descendant dont la vitesse est proportionnelle à la quantité de gaz mesurée, et les signes qu'il trace sont inscrits sur un cadran qui fait un tour complet en vingt-quatre heures.

Le deuxième rapporteur donne des courbes très nettes et qui ne se coupent pas l'une l'autre. Il est à préférer au premier dont les indications demeurent confuses avec des productions restreintes.

Influence de la température. — Pour que les indications des compteurs soient exactes, il faut non seulement que le compteur soit de niveau, avec son plan d'eau normal et qu'il ne subisse aucune surcharge, mais encore il est indispensable qu'on tienne compte des erreurs dues à la température. Le coefficient de dilatation du gaz étant de 0,00366, on devra ramener tous les volumes lus à la même température (on ne se préoccupe généralement pas de la pression barométrique dont l'influence est moins importante).

La température normale à laquelle toutes les indications peuvent être ramenées avec avantage est celle de 12° qui correspond à la température moyenne du gaz dans les conduites, c'est-à-dire celle à laquelle le gaz est livré aux consommateurs.

Le tableau ci-dessous donne les coefficients de correction pour les diverses températures observées.

TABLEAU DE CORRECTIONS

| TEMPÉRA- TURES | Coefficients de correction | TEMPÉRA- TURES | Coefficients de correction | TEMPÉRA- TURES | Coefficients de correction |
|-------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 0 | 1,04392 | 11 | 1,00352 | 22 | 0,96612 |
| 1 | 1,04011 | 12 | 1,00000 | 23 | 0,96286 |
| 2 | 1,03633 | 13 | 0,99650 | 24 | 0,95262 |
| 3 | 1,03258 | 14 | 0,99303 | 25 | 0,95641 |
| 4 | 1,02885 | 15 | 0,98908 | 26 | 0,95321 |
| 5 | 1,02516 | 16 | 0,98617 | 27 | 0,95004 |
| 6 | 1,02148 | 17 | 0,98227 | 28 | 0,94688 |
| 7 | 1,01784 | 18 | 0,97939 | 29 | 0,94375 |
| 8 | 1,01422 | 19 | 0,97605 | 30 | 0,94063 |
| 9 | 1,01063 | 20 | 0,97271 | | |
| 10 | 1,00706 | 21 | 0,96941 | | |

Règles de construction. — Un compteur de fabrication doit être établi pour le maximum de production de l'usine ; son volant ne doit pas faire plus de cent révolutions par heure ; il doit absorber peu de pression, 20 à 25 millimètres au plus et pour cela la section suivant l'axe, la plus convenable à donner à son volant, doit être sensiblement celle d'un carré. Enfin le compteur doit être installé dans un local tempéré à l'abri des brusques variations de température. Il sera placé de niveau et disposé de façon à permettre le nettoyage des tuyaux d'entrée et de sortie.

CHAPITRE XI

EMMAGASINAGE DU GAZ

Rôle des gazomètres. — Le gaz est produit dans l'usine d'une façon régulière, mais dépensé par les consommateurs très inégalement aux différentes heures du jour. Le gazomètre sert à emmagasiner le gaz fabriqué quand la production excède la dépense et à le restituer en quantité suffisante quand la consommation est supérieure à la production.

Dimensions des gazomètres. — MM. Monnier et Thibaudet ont donné la formule suivante pour calculer les dimensions des gazomètres d'une usine.

$$V = Q \left(\frac{\theta}{24} + 0,25 \right) - q$$

dans laquelle V est le volume utile de la cloche, q la consommation pendant le temps θ où la consommation excède la production — Q la production moyenne par vingt-quatre heures dans le mois de décembre.

Ordinairement V varie entre 60 et 75 p. 100 de la consommation maxima pendant vingt-quatre heures.

Le *diamètre de la cloche* est généralement déterminé d'après l'emplacement dont on dispose, la hauteur seule reste alors variable; de là l'origine des gazomètres télescopiques.

Quoi qu'il en soit, en vue d'obtenir une stabilité convenable, on adopte ordinairement les relations :

$$\begin{aligned} \text{Gazomètres ordinaires} \quad H &= \frac{1}{4} D \\ \text{— télescopiques} \quad H &= \frac{1}{2} D \end{aligned}$$

dans lesquelles H représente la hauteur de la cloche et D le diamètre.

Diamètre et profondeur de la cuve. — Les dimensions de la cuve se déduisent de celles de la cloche à l'aide des formules :

$$\begin{aligned} \text{Gazomètres ordinaires} \quad D &= D + 2 \times (0,20 \text{ à } 0,30) \\ \text{— télescopiques} \quad D' &= D + 2 \times (0,30 \text{ à } 0,60) \end{aligned}$$

La profondeur est déterminée par cette condition que lorsque le gazomètre est à fond la cloche ne doit pas dépasser la margelle de la cuve.

CONSTRUCTION DES CUVES

I. — CUVES EN MAÇONNERIE

Les cuves en maçonnerie se font avec moellons, briques, bétons, etc., mais quels que soient les matériaux choisis, il importe de savoir vérifier les conditions de résistance de l'ouvrage.

Radier. — L'épaisseur du radier n'est généralement pas déterminée par des considérations de résistance, et, en effet, c'est à proprement parler le sol qui doit supporter toute la pression et qui doit être suffisamment

solide. Le radier ne sert qu'à répartir également la pression sur le sol et à assurer l'étanchéité du fond. On lui donne de 50 à 80 centimètres d'épaisseur. On peut encore le calculer par la formule

$$e = 0,30 + 0,05 H \text{ (1)}$$

Les radiers se font presque toujours horizontaux. On les fait quelquefois sphériques, quand ils ont à résister à des pressions extérieures, ce qui est le cas des terrains aquifères.

MM. Monnier et Thibaudet les calculent alors par la formule de Lamé :

$$e = \rho_0 \left[\left(\frac{2k + P_0}{2k - P_0 + 3P_1} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

dans laquelle e représente l'épaisseur du radier en millimètres ;

ρ_0 le rayon intérieur de la sphère ;

k l'effort de traction maximum en kilogrammes par mètre carré auquel on peut soumettre le béton ;

P_0 et P_1 pressions en kilogrammes par mètre carré sur les surfaces intérieure et extérieure du radier.

Parois verticales. — L'épaisseur des parois verticales peut se déterminer à l'aide de diverses formules. Les ingénieurs cités plus haut ont calculé l'épaisseur d'une cuve de 40 mètres de diamètre et 8^m,50 de hauteur à l'aide de la formule de Lamé :

$$e = \rho_0 \left[\left(\frac{k + P_0}{k + 2P_1 - P_0} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

¹ Dans tout ce qui va suivre nous appellerons H la hauteur de la cuve et D son diamètre.

dans laquelle les lettres ont les mêmes valeurs que ci-dessus. Cette formule ne tient pas compte de la résistance des remblais.

M. d'Hurcourt, partant des formules données par Navier dans ses *Leçons de mécanique*, calcule les épaisseurs des parois construites avec mortier hydraulique, par l'une des expressions :

$$(1) \quad e = \frac{H}{1 + 20 \left(\frac{1}{H} + \frac{1}{R} \right)}$$

$$(2) \quad e' = 0,577 H \sqrt{\frac{1,000}{1,100 + 30,000 \frac{R}{H}}}$$

H et R sont la hauteur et le rayon de la cuve.

La formule (1) donne l'épaisseur à adopter pour qu'il n'y ait pas rupture par glissement, (2) celle qui est nécessaire pour qu'il n'y ait pas rupture par renversement. On prend celle des deux formules qui donne la plus grande valeur de e . Or, tant que l'on a $H < 4$ et $R < 2 H$, la formule (1) est seule à considérer. Les épaisseurs ainsi calculées sont toujours un peu fortes.

M. Arsong, ingénieur en chef de la Compagnie Parisienne, a établi très simplement la formule suivante à l'aide de laquelle il est tenu compte de la résistance des remblais.

$$\frac{1.000 H^3 D}{6} = \frac{C D' H^2}{2} + \frac{P E D' H}{2} + K H^2 E$$

Cette expression, traduite en langage ordinaire, indique que la pression de l'eau $\frac{1,000 H D^3}{6}$ est équilibrée :

1° Par la résistance du remblai à la compression

$$\frac{C D' H^2}{2}$$

2° Par la résistance due au poids des maçonneries

$$\frac{P E D' H}{2}$$

3° Par la résistance due à la cohésion des maçonneries $K H^2 E$

E représente l'épaisseur de la cuve ;

D, H, son diamètre et sa hauteur ;

C, la résistance du remblai variable entre 4,400 et 10,000 kilogrammes par mètre carré ;

P le poids du mètre cube de maçonneries $\left\{ \begin{array}{l} 1,800 \text{ kilog. p. les briques} \\ 2,200 \text{ — moellons} \end{array} \right.$

K le coefficient de résistance à la cohésion. — On peut le prendre entre 100,000 et 150,000 kilogrammes. par mètre carré.

Il est évident que si, à l'aide d'une quelconque de ces formules, on calcule l'épaisseur à des hauteurs différentes du niveau de l'eau, on aura en chaque point des valeurs de E différentes. Les murs construits avec l'épaisseur variable ainsi calculée sont dits d'égale résistance en tous points. En pratique, les murs de gazomètre ont une épaisseur constante ou sont formés de rouleaux superposés ayant chacun une épaisseur déterminée.

Comme il est bon pour la construction des gazomètres de s'inspirer des leçons de l'expérience, nous donnons ci-après un tableau fourni par Schilling et donnant quelques dimensions de cuves déjà construites.

EXEMPLE DES ÉPAISSEURS DE CUVES EN MAÇONNERIE

| DIAMÈTRE de la cuve | HAUTEUR de la cuve | ÉPAISSEUR en haut | ÉPAISSEUR en bas |
|---------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| 10 ^m | 4, à 4,5 | 0,30 à 0,45 | 0,90 à 1,00 |
| 15 | 4,5 - 5,5 | 0,45 - 0,60 | 1,25 - 1,50 |
| 20 | 5,5 - 6,5 | 0,60 - 0,75 | 1,50 - 2,00 |
| 25 | 6,5 - 7,0 | 0,60 - 0,75 | 2,00 - 2,50 |
| 30 | 7,0 - 7,5 | 0,75 - 0,90 | 2,25 - 2,75 |
| 35 | 7,0 - 7,5 | 0,75 - 0,90 | 2,50 - 3,00 |
| 40 | 7 - 8 | 0,90 - 1,05 | 3,00 - 3,50 |
| 45 | 7 - 8 | 0,90 - 1,10 | 3,25 - 3,75 |
| 50 | 7 - 8 | 0,90 - 1,10 | 3,50 - 4,00 |

Contreforts. — On renforçait presque toujours, autrefois, les cuves par des contreforts extérieurs. Cette pratique est abandonnée. Toutefois, on conserve au mur une épaisseur constante de la base au sommet, au droit des chemins de roulement et des colonnes de guidage.

Cuves en béton. — L'épaisseur des cuves en béton peut se déduire des formules précédentes en prenant pour résistance du béton à la traction le chiffre de 100,000 kilogrammes par mètre carré et pour poids du mètre cube $P = 1,800$ kilogrammes.

EXEMPLE DE QUELQUES CUVES EN BÉTON

| DIAMÈTRE de la cuve | HAUTEUR | ÉPAISSEUR en bas | ÉPAISSEUR en haut | USINES |
|---------------------------|---------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 30,40 | 12 | 4,00 | 1,00 | St-Etienne. |
| 19,00 | 6 | 1,50 | 0,60 | Le Mans. |
| 12,90 | 6 | 1,25 | 0,85 | Clermont-Ferrand. |
| 10,30 | 4 | 0,90 | 0,60 | Senlis. |
| 6,10 | 2 | 0,60 | 0,40 | St-Germain. |

CONSTRUCTION DES CUVES

Fouilles. — L'emplacement des gazomètres étant choisi, le volume des fouilles dépendra du diamètre extérieur de la cuve dans le fond et du talus naturel que prennent les terres.

Aussitôt le terrassement terminé, on vérifie la résistance du sol à la compression, et, par des sondages prudents, on étudie la composition du sous-sol. — On voit ainsi si le terrain peut supporter la construction ou s'il est nécessaire de le consolider par des puits en béton, des pilotis, etc.

Les terrains bons pour la construction des gazomètres doivent résister pratiquement à une compression d'au moins 3,000 kilogrammes par mètre carré. — Le sable peut résister jusqu'à 40,000 kilogrammes. — La charge pratique de résistance est ordinairement prise égale au $\frac{1}{10}$ de la charge limite donnée par les essais.

Les terrains solides sont le roc, le tuf, les bancs pierreux et sablonneux, l'argile et la terre végétale. Toutefois il faut que la couche de bon terrain ait une épaisseur suffisante (3 à 4 mètres environ) et qu'elle soit préservée de toute cause de glissement ou de dislocation.

Choix des matériaux. — Les matériaux employés dans la construction doivent être choisis avec le plus grand soin. Nous allons examiner brièvement les pierres, les mortiers et les ciments ordinairement en usage.

Pierres. — Les pierres sont naturelles ou artificielles,

Les *pierres naturelles*, employées dans la construction des cuves, doivent pouvoir supporter au moins 6 kilogrammes par centimètre carré dans les conditions pratiques de résistance. Elles ne doivent pas être gélives, ne pas être attaquées par l'eau et faire liaison avec les mortiers.

Les *pierres artificielles* comprennent les blocs en béton et les briques. Ces dernières doivent être bien cuites, posséder un son clair, se casser à angles vifs, être bien homogènes et ne pas renfermer de grains de chaux ; elles doivent pratiquement pouvoir être chargées d'au moins 3^{ks},5 par centimètre carré. — Il est indispensable qu'elles résistent à l'eau sans se ramollir.

Voici les charges pratiques qu'on peut en toute sécurité faire supporter à diverses pierres employées pour le travail qui nous occupe :

RÉSISTANCE A LA COMPRESSION DES PRINCIPALES PIERRES

| DÉSIGNATION DES CORPS | POIDS du mètre cube | CHARGE PRATIQUE par centimètre carré à la compression |
|---------------------------|------------------------|---|
| Basalte et porphyre..... | 2,800 ^k | 150 ^k — 200 ^k |
| Grès quartzeux..... | 2,650 | 75 — 100 |
| Granite..... | 2,700 | 65 — 75 |
| Grès tendre..... | 2,400 | 20 — 40 |
| Pierre calcaire..... | 2,200 | 20 — 35 |
| Moellons d'appareils..... | 1,900 | 9 — 15 |
| Blocs en béton..... | 1,800 | 4 — 6 |
| Briques choisies..... | 2,100 | 6 — 10 |
| — ordinaires..... | 2,000 | 4 — 6 |

Chaux et ciments. — Dans le formulaire qui précède

cet ouvrage, nous avons donné la classification des chaux et ciments (p. 82).

Rappelons qu'il existe deux sortes de chaux :

1° Les *chaux grasses* ou aériennes ne faisant pas prise sous l'eau, et ne contenant que 6 à 10 p. 100 d'argile et autres éléments étrangers ;

2° Les *chaux hydrauliques* qui font prise sous l'eau plus ou moins rapidement et contiennent de grandes proportions d'argile et d'autres éléments divers (magnésie, sable, etc.).

Les premières durcissent par la formation de carbonates, les autres par la formation de silicates de chaux.

Dans la construction des cuves de gazomètre on n'emploie exclusivement que les chaux hydrauliques, à moins qu'on ait recours de préférence aux ciments.

Les *ciments* sont des chaux très hydrauliques, fabriquées le plus souvent d'une manière artificielle. Ils font prise sous l'eau en très peu de temps, quelquefois dix ou douze heures, et ne prennent leur durcissement complet qu'après plusieurs mois.

Quand on ne connaît pas la qualité d'une chaux ou d'un ciment, il est bon de la vérifier par les procédés ordinaires (essais de prise, de foisonnement, de résistance). Bien que la couleur de ces matériaux n'ait pas grande importance, on doit se défier de ceux qui ne l'ont pas homogène.

La densité est toujours intéressante à connaître ; les chaux et ciments lourds sont généralement bons.

| | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|
| La chaux hydraulique pèse de | 900 à 1,200 | kilog. au mètre cube. |
| Les ciments de Portland | — 1,300 à 1,400 | — |
| — de Vassy | — 1,150 à 1,200 | — |

Les ciments et les chaux choisis pour la construction

des cuves doivent pouvoir donner des mortiers susceptibles de résister à une traction de 8 à 10 kilogrammes par centimètre carré.

Mortiers. — On appelle mortier un mélange en proportion convenable de chaux ou ciment, avec du sable et de l'eau.

Les mortiers pour constructions hydrauliques doivent être faits avec du sable fin (grains de 1 millimètre de diamètre au maximum), dur et exempt de parties terreuses.

Voici la résistance de quelques mortiers renfermant des proportions variables de sable :

ESSAIS DES CIMENTS ET MORTIERS

| NATURE DU MORTIER | RÉSISTANCE A LA RUPTURE en kilog. par cm ² après un durcissement sous l'eau de | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|----------|----------|-----------|--------|------|-------|
| | 10 jours | 15 jours | 30 jours | 60 jours | 90 jours | 180 jours | 8 mois | 1 an | 2 ans |
| Portland Boulogne pur | 16 | 21 | 23 | | 25 | 27 | 31 | | |
| 1 de portland et 1 de sable..... | 11 | 12 | 14 | | 17 | 22 | | | |
| 1 de portland et 2 de sable..... | 6 | 7 | 8 | | 12 | 17 | | | |
| Portland Pouilly pur..... | | | | 12 | | 31 | | | |
| 1 — — — et 1 de sable | ... | ... | ... | ... | ... | 16 | ... | ... | 30 |
| 1 — — — et 2 de sable | ... | ... | 5,5 | 6,5 | 6,0 | | | | |
| CHAUX DU TEIL | | | | | | | | | |
| 350 ^k de chaux 1 ^m ³ de sable..... | ... | ... | ... | ... | ... | 6,67 | ... | 8,5 | |

Les mortiers doivent être préparés peu de temps avant leur emploi. On doit commencer par mélanger à sec,

sable et ciment, puis ajouter de l'eau en léger excès, 30 à 35 p. 100 d'eau ordinairement pour 100 kilogrammes de ciment. On malaxe le tout sur une aire plane en bois et on laisse reposer quelque temps pour que l'eau en excès puisse s'écouler.

| | | | | | |
|---|--------------------------------|---|------------------------|------|----------|
| 1 | partie de ciment ou chaux avec | 1 | de sable donne environ | 1,50 | mortier. |
| 1 | — | 2 | — | 2,33 | — |
| 1 | — | 3 | — | 3,25 | — |

Adhérence des mortiers. — Les mortiers bien préparés doivent se lier assez fortement aux matériaux de construction pour qu'après la prise la résistance à la traction soit au moins de 2,5 à 3 kilogrammes par centimètre carré.

Béton. — Le béton est formé par un mélange de mortier avec des cailloux, des débris de pierres, de briques, etc. Ces matériaux doivent au préalable avoir été bien lavés.

La quantité de mortier à employer doit être suffisante pour combler tous les vides ; ceux-ci étant de 30 à 35 p. 100 en moyenne, on emploie le plus souvent 45 p. 100 de mortier soit un excès de 25 p. 100 environ.

La préparation des bétons se fait à main d'homme ou mécaniquement : le coût du malaxage peut être évalué à 2 fr. 80 par mètre cube fait, à main d'homme, et 1 fr. 40 ou 1 fr. 50 fait à la machine.

La qualité du béton dépendra de la perfection du mélange mortier-cailloux et du pilonnage régulier qui suit sa mise en place. Les reprises doivent être particulièrement soignées, et pour cela les surfaces doivent être grattées et lavées.

Enduits. — Les enduits des cuves se font au ciment ; ils ont pour but d'assurer l'étanchéité du travail. Les ciments à préférer sont ceux à prise rapide sans exagération. — Les ciments de Pouilly, Tenay, Vassy, conviennent particulièrement.

Le mortier renferme de 1 à 1,5 parties de sable ; ils sont faits par petite quantité à la fois et employés frais.

L'épaisseur des enduits varie entre 3 et 8 centimètres. Le fond de la cuve est doté presque toujours d'une épaisseur plus forte que les maçonneries du haut.

Le travail doit avoir lieu par couches successives, toutes fortement lissées ; l'opération du lissage augmente en effet l'imperméabilité du ciment.

Comme pour le béton, et encore plus rigoureusement, les reprises méritent le plus grand soin.

Remblais. — Bien qu'à proprement parler, les remblais ne puissent être considérés comme matériaux de construction, nous avons cru devoir en parler à cette place à cause du rôle qu'ils remplissent.

Les remblais peuvent être en terre végétale ou en sable rapporté. On doit à M. Arsong des études très importantes sur la résistance des remblais à la compression.

D'après cet ingénieur, on obtient un bon travail en pilonnant les sables ou les terres uniformément par couches de 4 à 6 centimètres. Avec les sables toutefois, l'épaisseur des couches peut être portée à 10 et 12 centimètres et le pilonnage remplacé par un arrosage abondant. Par ces méthodes, la densité augmente de 33 p. 100 avec les terres ; de 20 p. 100 avec le sable ; les poids du mètre cube sont, avant et après, les suivants :

TABLEAU DE LA RÉSISTANCE DES REMBLAIS A LA COMPRESSION

| REMBLAIS | POIDS DU MÈTRE CUBE | |
|--|---------------------|--------------------|
| | avant le pilonnage | après le pilonnage |
| Terre..... | 1200 ^k | 1500 ^k |
| Sable..... | 1800 ^k | 1800 |
| La résistance des remblais bien établis est : | | |
| Avec la terre végétale humide et pilonnée de 0,44 par cm. q. | | |
| — le tuf blanc | — | 0,80 — |
| — le sable de rivière | — | 1,00 — |

L'épaisseur des remblais dépend du volume des fouilles et de la nature du terrain environnant. — Il faut, dans tous les cas, avoir soin de faire des terrassements suffisants pour que la construction des remblais soit facile.

EXÉCUTION DES MAÇONNERIES

Tracé. — On détermine le centre de la cuve à l'aide de deux diamètres perpendiculaires et on établit solidement en ce point un poteau vertical, monté sur pivot, formant l'axe de la cuve. — Ce poteau porte à l'extrémité d'un rayon égal au demi-diamètre de la cuve, un fil à plomb ou mieux un gabarit qui servira à guider les maçons pendant leur travail.

Pour ce qui est de l'exécution des maçonneries rien de particulier n'est à citer. L'ingénieur doit surveiller les dosages des matières, vérifier les matériaux, leur qualité, en un mot, s'assurer que tout est selon les conditions qu'il a stipulées.

On ménagera sur le fond du radier des dés en pierre pour supporter la cloche à fin de course. Les parties de la construction qui demandent le plus de surveillance, sont : le raccordement des parois verticales avec le radier, le passage dans le fond des tuyaux d'entrée et de sortie, les chemins de roulement des galets de guidage, les trous de scellement des divers boulons logés dans la maçonnerie, l'enduit et la pose de la margelle.

II. — CUVES MÉTALLIQUES

On a recours aux cuves métalliques toutes les fois que la construction d'une cuve en maçonnerie présente des difficultés, soit à cause de la qualité du sol, ou de la présence de nappes d'eau.

On a fait des cuves en fonte et en tôle. Ces dernières sont préférables parce qu'elles sont plus résistantes avec moins de poids et que l'homogénéité des fers est plus facile à obtenir que celle des fontes.

L'épaisseur des cuves peut se déduire des formules indiquées précédemment en prenant pour la résistance du métal par millimètre carré :

$$\begin{array}{l} R = 8 \text{ kilogrammes pour les fers} \\ R' = 2 \quad \quad \quad \text{la fonte.} \end{array}$$

CLOCHES DE GAZOMÈTRES

Nous allons donner brièvement les formules qui permettent de vérifier les conditions de résistance des cloches.

Épaisseur des tôles. — Si on calculait uniquement l'épaisseur des tôles de la partie cylindrique de façon à

résister à la pression du gaz, on arriverait à des épaisseurs notablement plus faibles que celles dont l'emploi est reconnu nécessaire pour satisfaire aux conditions d'assemblage, de rigidité et de durée.

Donc, pour la partie cylindrique, on se contente ordinairement d'adopter les épaisseurs indiquées par l'expérience. Les tôles du haut et du bas sont toujours renforcées, en raison des efforts plus grands qu'elles supportent.

Pour la calotte, les tôles ordinairement adoptées sont celles que le calcul indique pour le premier rang voisin de la partie cylindrique. Souvent aussi on donne seulement la même épaisseur aux tôles de ce premier rang et à la calotte centrale, les tôles intermédiaires étant choisies un peu plus faibles parce qu'elles sont moins fatiguées (voir plus bas le tableau des épaisseurs ordinairement adoptées).

M. Arsong donne les formules suivantes pour vérifier les tôles du rang extérieur de la calotte, la force de la cornière et les rivets d'assemblage :

$$(1) \quad t = \frac{P}{2 \pi R \sin \alpha}$$

$$(2) \quad t' = \frac{P}{2 \pi R} \cos \alpha$$

$$(3) \quad t'' = \frac{P}{t g \alpha}$$

α est l'angle que fait avec le plan horizontal le premier élément de la calotte au bord de la partie cylindrique.

t est l'effort de traction par unité de surface dans la section la plus fatiguée de la tôle ; c'est l'effort qui agit sur les rivets par cisaillement.

t' est la traction exercée sur rivets dans le sens de leur longueur.

f' est la compression exercée sur la cornière.

P, enfin, est le poids de la partie cylindrique de la cloche, y compris toutes ses armatures. — R est le rayon de cette cloche.

Ces formules montrent qu'on a intérêt à prendre l'angle α le plus grand possible, mais comme il y a des inconvénients à exagérer la courbure de la calotte, on ne dépasse pas en pratique la valeur

$$\alpha = 15^\circ \text{ ou } 16^\circ$$

A la Compagnie Parisienne, on adopte l'angle de 14° . — MM. Monnier et Thibaudet conseillent de prendre pour rayon de la calotte le $1/20$ du diamètre de la cloche.

Voici, à titre de renseignement, les épaisseurs couramment adoptées pour les tôles de divers gazomètres (journal *le Gaz et l'Electricité*):

ÉPAISSEUR DES TOLES POUR GAZOMÈTRES

| CAPACITÉ DES GAZOMÈTRES | ÉPAISSEUR DES TOLES | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | ROBES | | CALOTTES | |
| | en haut et en bas | rangs inter- médiaires | anneaux extrême et centre | rangs inter- médiaires |
| Jusqu'à 25 mèt. cub. | 2 ^m / _m | 1,00 | 2,00 | 1,25 |
| 25 à 100 — | 2,25 | 1,75 | 2,25 | 1,75 |
| 100 à 300 — | 2,50 | 2,00 | 2,50 | 2,00 |
| 300 à 400 — | 2,75 | 2,25 | 2,75 | 2,25 |
| 400 à 500 — | 3 | 2,50 | 3,00 | 2,50 |
| 500 à 1,000 — | 3,50 | 2,75 | 3,50 | 2,75 |
| 1,000 à 2,000 — | 4 | 3,00 | 4,00 | 3,00 |
| 2,000 à 5,000 — | 5,5 | 4,00 | 5,50 | 4,00 |
| 5,000 à 10,000 — | 7 | 5,00 | 7,00 | 5,00 |

Guidage. — Les dimensions des pièces de guidage sont déterminées en vue de la pression que peut transmettre la poussée du vent.

Lorsque le vent souffle normalement sur un cylindre la pression totale qu'il exerce sur lui se déduit de la formule

$$F = 0,413 v^2 \times 0,589 DH$$

D, H étant les diamètre et hauteur du cylindre ;
v la vitesse du vent en mètres par seconde.

Lorsque l'on veut tenir compte de la direction du vent, on multiplie la valeur précédente, F, par le sinus de l'angle qui fait la direction du vent avec l'horizon.

$$F' = F \sin \varphi$$

φ varie entre 75° et 80°. Quant aux vitesses du vent, elles peuvent être choisies comme il suit :

| | | | |
|--------------|------------|---------------|----------|
| Vent violent | $v = 15^m$ | Ouragan | $v = 35$ |
| Tempête | $v = 20$ | Grand ouragan | $v = 45$ |

Dans les calculs de F, en vue de l'établissement du guidage on ne doit jamais prendre v plus petit que 30 mètres.

Colonnes et entretoises. — Les dimensions des colonnes peuvent être calculées comme ci-dessous. — Nous supposons que le système du guidage est convenablement entretoisé de façon à ne former qu'un tout rigide. — Dans ce cas, la pression P sur chaque colonne et chemin de roulement, sera sensiblement

$$P = \frac{F}{n}$$

n étant le nombre de colonnes.

Notre raisonnement s'applique surtout à un système de guidage avec galets tangentiels.

Si le gazomètre est à une seule levée, la pression maxima P , quand la cloche est complètement émergée, se répartira en deux parties égales sur les galets inférieur et supérieur, de sorte que la colonne supportera à elle seule une pression de :

$$f = \frac{1}{2} P = \frac{F}{2n}$$

Si le gazomètre est télescopique à deux levées, la pression P se répartira sur trois galets et la pression f supportée par la colonne sera :

$$f = f_1 + f_2$$

f_1 étant la pression au sommet de la colonne ;

f_2 étant la pression au milieu —

Or, on doit admettre que le galet du milieu supporte moitié de la pression exercée par le vent sur la cloche supérieure, moitié de celle exercée sur la cloche inférieure. Dans ce cas, on a :

$$f_1 = \frac{1}{4} P \quad f_2 = \frac{1}{2} P$$

$$\text{Donc } f = \frac{3}{4} P$$

On raisonnerait de même pour un gazomètre télescopique à trois levées.

Connaissant f , il est facile de trouver le moment de renversement des colonnes, on aura en effet :

$$\text{Pour un gazomètre ordinaire : } \mu = H \frac{F}{2n}$$

$$\text{télescopique à 2 levées } \mu = H \frac{F}{4n} + H' \frac{F}{2n}$$

H étant la hauteur au-dessus du sol de l'entretoise supérieure ;
 H' — — — — — moyenne.

Pour que la colonne résiste à la force de renversement, nous écrivons la condition d'équilibre.

$$\mu = < \pi R \frac{(r^4 - r_1^4)}{r}$$

dans laquelle $R = 8 \times 10^6$, résistance du fer ;
 r et r_1 rayons extérieur et intérieur de la colonne.

Cette équation sert à calculer ces rayons, toutes les autres quantités étant connues.

La *section des entretoises* se déduira de l'équation :

$$R \omega = > f$$

C'est en effet dans le sens de la force f que les entretoises subissent le plus grand effort.

Construction des cloches. — La construction des cloches exige une surveillance continue de la part de l'acheteur. Il doit surveiller l'assemblage et le rivetage : toutes les tôles doivent être assemblées sur deux et trois rangs avant de commencer à placer les rivets. Ceux-ci doivent être en fer doux et mis à froid. Il est inutile d'interposer entre ces tôles des papiers cérusés, une couche de minium liquide doit suffire

On ménage des trous d'hommes dans la calotte en vue des réparations ultérieures ; ces trous sont placés au droit des tuyaux d'arrivée et de départ quand le gaz arrive par le fond de la cuve.

Nous n'insistons pas sur la construction de l'échafaudage, la descente de la cloche, la forme de l'armature, du gazomètre, et autres détails concernant spécialement le constructeur.

Quant *au guidage*, il est fait de diverses manières,

mais le meilleur est celui fourni par les galets tangentiels. Les guidages par poulies sur rail, galets entre barres rigides et autres se rencontrent cependant dans les gazomètres anciens : ils ne répartissent pas aussi bien la pression du vent sur les guides.

Les grands gazomètres se font sans *contre-poids* ; la pression qu'ils fournissent par eux-mêmes est toujours trop faible et on ne leur fait atteindre la limite désirée qu'en augmentant le poids des armatures de la partie cylindrique et de la calotte. Les petits gazomètres de 200 et 300 ont au contraire besoin d'être allégés ; on utilise alors des contre-poids mobiles soutenus par des chaînes ou des câbles dont le poids, au mètre courant, est déterminé de façon qu'ils équilibrent les variations de pression dues à l'enfoncement ou à l'émersion de la cloche.

Pression manométrique. — Si nous appelons P et ω le poids et la section de la cloche, l'expression approchée de la pression manométrique sera en millimètres d'eau :

$$h = \frac{P}{1,000 \omega}$$

L'expression exacte en tenant compte de la perte de pression due, d'une part à l'enfoncement des tôles dans l'eau, de l'autre à la poussée du gaz, sera pour une élévation z de la cloche :

$$h = \frac{1,27 P}{D^2} - \left[\frac{0,163 p z}{D^2 H} + 0,773 (H - z) \right]$$

H = hauteur totale de la cloche ;

p = poids de la partie cylindrique ;

D = diamètre total de la cloche.

Voici, d'après Schilling, les pressions données par quelques cloches.

POIDS DES CLOCHES

| DIAMÈTRE en m | POIDS DE LA CLOCHE POUR LES PRESSIONS DE | | |
|------------------|--|-------------------|-------------------|
| | 75 mm | 100 mm | 125 mm |
| 10 | 5892 ^k | 7854 ^k | 9820 ^k |
| 15 | 13254 | 17672 | 22090 |
| 20 | 23562 | 31416 | 39270 |
| 25 | 36316 | 49087 | 61360 |
| 30 | 53016 | 70686 | 88360 |
| 35 | 72159 | 96211 | 120265 |
| 40 | 94248 | 123664 | 157080 |

GAZOMÈTRES TÉLESCOPIQUES

Les gazomètres télescopiques sont d'un emploi toujours avantageux; ils coûtent notablement moins cher que les gazomètres ordinaires. On leur a reproché, il est vrai, de donner des pressions élevées et variables, mais cet inconvénient est de peu d'importance dans les usines qui ont un extracteur: d'autre part, l'émission ne saurait souffrir des variations de poids puisque le régulateur annule les différences.

Dans la construction des gazomètres télescopiques, on peut prendre la *hauteur des gorges* égale à :

$$H = 2 h + (25 \text{ à } 30 \text{ centimètres})$$

h étant la pression manométrique donnée par le gazomètre.

Quand la gorge est à rebord on peut prendre la hauteur du rebord

$$R = h$$

et la hauteur de la gorge :

$$H' = h + (25 \text{ à } 30 \text{ centimètres})$$

Ces chiffres ne sont que relatifs ; ils supposent, bien entendu, que le jeu de la cloche entre ses guides n'est pas exagéré, et que par suite les variations d'inclinaison de la cloche sont limitées.

Tuyaux d'entrée et sortie du gaz. — Ils sont tantôt souterrains, coudés en siphon, et amenant le gaz à travers le radier de la cuve, tantôt aériens, articulés à genouillères et raccordés sur la calotte de la cloche.

Les premiers ont l'inconvénient d'être difficiles à surveiller, et peu facilement réparables. — Les seconds fatiguent souvent le gazomètre, occasionnent des variations de pression et sont sujets aux fuites.

Mise au gaz. — La mise au gaz d'un gazomètre est une opération simple, mais demandant beaucoup de prudence. Il faut laisser sortir tout l'air contenu dans la calotte, et, pour cela, ouvrir le robinet de purge. On doit conduire dans un endroit écarté le gaz qui s'échappe, prendre des échantillons de temps à autre et les analyser au laboratoire pour s'assurer de l'instant où tout l'air a disparu, et alors seulement arrêter la purge. Il va sans dire qu'on doit éloigner toute flamme du voisinage de la cloche.

Coût des gazomètres. — Le coût d'un gazomètre varie dans des limites très étendues, entre 15 et 40 francs par mètre cube de capacité utilisable.

La dépense diminue en raison inverse du volume de

la cloche, et, pour ce motif, les gazomètres télescopiques sont avantageux.

Le poids du métal (cloche et guidage) peut être évalué à : 11^k500 par m. c. de capacité pour les grandes cloches ;

14, 200 — moyennes ;

9, 00 — petites.

Bien que les prix en Angleterre et en France ne soient pas comparables, nous donnons comme intéressant à consulter le tableau ci-dessous fournis par M. Wright, en Angleterre :

COUT DES GAZOMÈTRES

| CLOCHES | VOLUME DE LA CLOCHE | DIAMÈTRE DE LA CUVE | DÉPENSE PAR MÈTRE CUBE DE CLOCHE | | COUT TOTAL |
|----------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------|
| | | | pour la cuve | pour la partie métallique | |
| | mètres cubes | mètres | francs | francs | francs |
| A une levée | 1556 | 18,89 | 14,60 | 12,17 | 26,77 |
| » | 2122 | 21,96 | 14,27 | 10,70 | 24,97 |
| A deux levées | 3112 | 18,89 | 7,30 | 8,09 | 15,39 |
| » | 4245 | 21,96 | 7,14 | 8,03 | 15,17 |
| » | 5660 | 24,99 | 6,24 | 8,47 | 14,71 |
| » | 7075 | 24,99 | 5,88 | 7,48 | 13,36 |
| » | 8490 | 28,04 | 5,12 | 7,43 | 12,55 |
| » | 11320 | 31,09 | 5,01 | 6,69 | 11,70 |
| » | 14150 | 37,18 | 4,46 | 6,24 | 10,70 |
| A trois levées | 21220 | 37,18 | 2,97 | 6,25 | 9,22 |
| » | 28314 | 28,34 | 2,69 | 5,78 | 8,47 |

CHAPITRE XII

ÉMISSION

Le gaz doit être livré à la consommation non seulement en quantité suffisante, mais encore avec une pression déterminée.

Le *régulateur d'émission* est l'appareil qui sert à résoudre le problème.

Régulateur de Cleeg. — Le premier régulateur fut imaginé par S. Cleeg; il se compose essentiellement d'une cloche flottante, renversée sur une cuve d'eau, et portant suspendu au centre un cône métallique ou un parabolôïde de révolution, qui joue dans le tuyau d'entrée du gaz et peut l'ouvrir ou le fermer. Le tuyau de départ, en relation avec le réseau, débouche également sous la cloche.

La cloche flottante s'élève ou s'abaisse selon que la pression intérieure (pression d'émission) augmente ou diminue, c'est-à-dire suivant que la consommation des abonnés baisse ou s'élève.

Il est facile de prouver, que le régulateur maintient constante la pression de sortie.

Soit p cette pression :

P la pression atmosphérique,

S la section de la cloche,

Q le poids de cette cloche,

π les poids additionnels.

L'équation d'équilibre sera ;

$$p = \frac{PS + Q + \pi}{S} = \text{constante.}$$

La pression p reste donc invariable. — A la rigueur, il n'en est pas exactement ainsi, parce que nous ne tenons pas compte de la perte de pression due à l'enfoncement de la cuve dans l'eau, ni du frottement des galets, ni des pressions exercées sur les deux faces du cône.

Pour remédier aux variations produites par cette dernière cause, et aux inconvénients qui en résultent (calage de l'appareil, oscillations), on a construit des régulateurs à double cône ou à tube d'équilibre de telle façon que les pressions d'entrée et de sortie s'exercent toujours sur deux faces égales et en sens contraire.

Malgré ces perfectionnements, l'appareil de S. Cleeg ne résoud pas entièrement le problème de l'émission. Il maintient bien la pression constante à la sortie de l'usine mais non dans le réseau. — Pour obtenir le résultat désiré, M. Giroud a imaginé un régulateur dit à tuyau de retour dont la cloche reçoit intérieurement la pression du gaz existant au centre de la consommation. Son appareil est en outre muni d'un cône équilibré et d'un jeu de siphons qui permet de neutraliser les variations de pression dues à l'émersion ou à l'immersion de la cloche.

Règles de construction. — Un bon régulateur doit satisfaire les conditions suivantes :

1° Avoir une cloche de section assez grande pour

être bien sensible aux variations de pression ; on prend généralement $S = 3$ à 5 fois la section du tuyau d'arrivée ;

2° Marcher aussi bien à basse qu'à haute pression ;

3° Donner une fermeture complète ;

4° Avoir pour l'ouverture dans laquelle joue l'obturateur une section égale aux $2/3$ ou $3/4$ de celle du tuyau ;

5° L'obturateur doit avoir une forme parabolôide de telle façon qu'à des variations égales dans la hauteur de position de l'obturateur répondent des variations égales dans la section du passage du gaz.

Réglage des pressions. — On détermine les pressions d'après la dépense ; il est bon d'étudier les variations de pression en différents points du réseau à l'aide de manomètres enregistreurs et de se baser sur leurs indications pour régler le débit du gaz à l'usine.

Les indicateurs de pression employés pour contrôler les pressions de sortie, doivent être très sensibles et vérifiés souvent.

Les indicateurs à cadran sont forts employés ; on se sert aussi quelquefois des appareils d'Elster et des manomètres inclinés. Il sont préférables aux manomètres ordinaires à eau.

CHAPITRE XIII

DISTRIBUTION DU GAZ

Le problème de la distribution est un des plus intéressants dont nous ayons à nous occuper. On se propose d'amener le gaz en quantité suffisante aux différents points du réseau avec une perte de charge fixée d'avance, et tout en réduisant au minimum les frais du 1^{er} établissement pour les conduites.

En d'autres termes, sans exagérer outre mesure les dépenses du 1^{er} établissement, on veut pouvoir calculer les sections successives des tuyaux permettant un écoulement de gaz prévu avec des pertes de charge assez faibles pour le frottement du gaz dans les tuyaux, les changements de direction, les variations de section, etc...

I. — CALCUL DES CONDUITES PRINCIPALES

Un grand nombre de formules ont été proposées pour le calcul des conduites. Nous donnons les principales :

Soit Q le volume écoulé par heure et par mètre cube.

d le diamètre de la conduite en mètres.

δ la densité du gaz = 0,41 environ.

l la longueur de la canalisation en mètres.

h la perte de charge ré pondant à la longueur.

u la vitesse du gaz en m. par seconde.

a et b deux coefficients variables avec le diamètre des tuyaux et la nature de leur surface.

$$\text{on a : } h = \frac{4 l}{d} \times \frac{1.293 \delta}{1000} (au + bu^2)$$

C'est la formule avec laquelle M. Arsong a calculé ses tables ; les coefficients a et b ont été déterminés par lui très rigoureusement.

En raison de l'importance de ces tables nous en donnons ci-dessous un extrait pour les cas les plus usuels :

EXTRAIT DES TABLES DE M. ARSONG

| DIAMÈTRE | a | b | VOLUMES écoulés par heure | PERTE DE CHARGE par kilom. cien m. d'eau |
|--------------------|----------|----------|---------------------------------|--|
| 0 ^m 050 | 0,000702 | 0,000595 | 18 ^m | 0 ^m 2287 |
| | | | 36 | 0,8038 |
| | | | 54 | 1,6949 |
| 0,081 | 0,000589 | 0,000489 | 18 | 0,0269 |
| | | | 36 | 0,0780 |
| | | | 72 | 0,2524 |
| | | | 90 | 0,3757 |
| | | | 144 | 0,8904 |
| 0,100 | 0,000550 | 0,000475 | 36 | 0,0311 |
| | | | 72 | 0,0948 |
| | | | 108 | 0,1911 |
| | | | 144 | 0,3199 |
| | | | 180 | 0,4812 |
| 0,135 | 0,000470 | 0,000442 | 72 | 0,0238 |
| | | | 108 | 0,0458 |
| | | | 180 | 0,1103 |
| | | | 252 | 0,2018 |
| | | | 360 | 0,3897 |
| | | | 432 | 0,5480 |

| DIAMÈTRE | a | b | VOLUMES écoulés par heure | PERTE DE CHARGE en kilom. et en m. d'eau |
|----------|----------|----------|---------------------------------|--|
| 0,150 | 0,000440 | 0,000430 | 108 | 0,0280 |
| | | | 180 | 0,0665 |
| | | | 270 | 0,1368 |
| | | | 360 | 0,2317 |
| | | | 540 | 0,4952 |
| 0,200 | 0,000330 | 0,000395 | 180 | 0,0159 |
| | | | 270 | 0,0317 |
| | | | 360 | 0,0526 |
| | | | 540 | 0,1100 |
| | | | 720 | 0,1883 |
| 0,250 | 0,000240 | 0,000360 | 900 | 0,2872 |
| | | | 180 | 0,0032 |
| | | | 360 | 0,0168 |
| | | | 540 | 0,0347 |
| | | | 720 | 0,0587 |
| 0,300 | 0,000180 | 0,000332 | 1080 | 0,1258 |
| | | | 1440 | 0,2181 |
| | | | 1800 | 0,3353 |
| | | | 180 | 0,0020 |
| | | | 360 | 0,0064 |
| 0,500 | 0,000125 | 0,000310 | 540 | 0,0132 |
| | | | 720 | 0,0222 |
| | | | 1080 | 0,0474 |
| | | | 1440 | 0,0819 |
| | | | 1800 | 0,0003 |
| | | | 720 | 0,0011 |
| | | | 1080 | 0,0025 |
| | | | 1440 | 0,0045 |
| | | | 1800 | 0,0069 |

M. Monnier a publié en 1876 un aide-mémoire fort complet et fort commode relatif au calcul des conduites.

Nous empruntons à ce travail les formules générales et les tableaux suivants :

Soit Q le volume en mètres cubes débité dans une heure par la conduite principale.

n le nombre de branchements sur cette conduite supposés équidistant.

q le volume en mètres cubes débité par heure par chaque branchement (le même pour tous).

l et d la longueur en mètres et le diamètre en centimètres de la conduite principale.

On suppose que les changements de direction sont le moins brusques possible et que la vitesse des gaz dans les tuyaux est égale ou inférieure à 3^m par seconde, on a pour la perte de charge répondant à la longueur l :

$$(1) \quad h = \frac{0,84 Q^2 l}{d^5} \times M$$

$$(2) \quad M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6n} \right) \frac{q^2}{Q^2}$$

Si la conduite n'alimente pas de branchements $M = 1$.

En pratique, dans les calculs, on suppose que tous les branchements débitent la même quantité de gaz, et que n est égal à 10. — La valeur de M calculée dans ces hypothèses est suffisamment approchée pour être admise dans tous les cas.

Or, si dans la formule (1) on fait :

$$Q = Q_1 \sqrt{M}$$

l'expression pourra s'écrire :

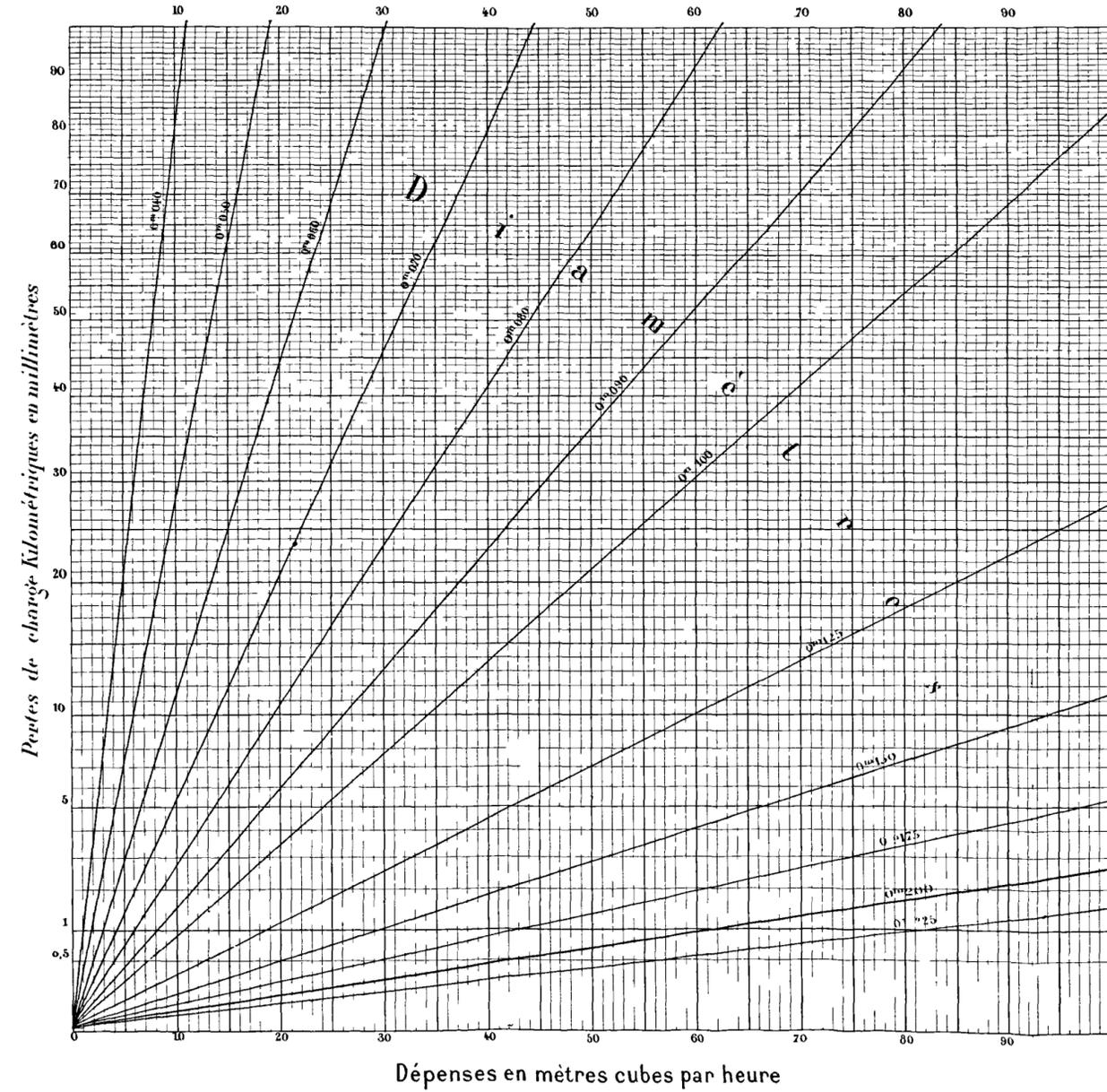
$$(3) \quad h = \frac{0,84 Q_1^2 l}{d^5}$$

On trouvera dans la tableau suivant les valeurs de \sqrt{M} pour diverses valeurs du rapport $\frac{q}{Q}$ et un nombre n de branchements donné :

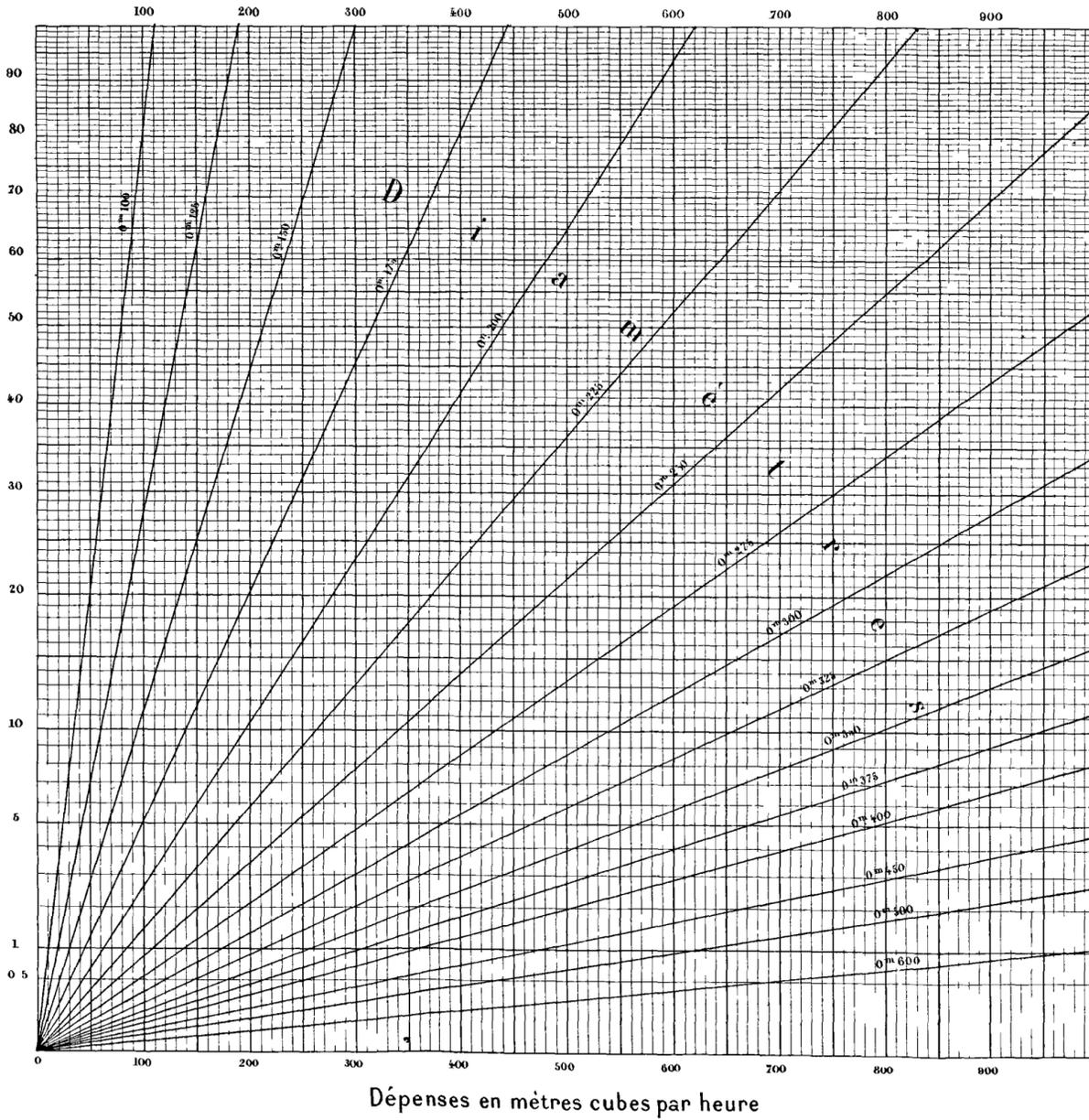
TABLEAU DES VALEURS \sqrt{M} (D. Monnier.)

| $\frac{q}{Q}$ | VALEURS DE n | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 0,01 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 |
| 0,05 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 | 0,975 |
| 0,10 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,951 | 0,950 | 0,950 |
| 0,15 | 0,928 | 0,927 | 0,927 | 0,927 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 | 0,926 |
| 0,20 | 0,906 | 0,904 | 0,903 | 0,903 | 0,903 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 | 0,902 |
| 0,25 | 0,884 | 0,881 | 0,880 | 0,879 | 0,879 | 0,879 | 0,879 | 0,879 | 0,879 | 0,878 | 0,878 | 0,878 | 0,878 |
| 0,30 | 0,863 | 0,859 | 0,857 | 0,857 | 0,857 | 0,856 | 0,856 | 0,856 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 | 0,855 |
| 0,35 | 0,843 | 0,837 | 0,835 | 0,834 | 0,834 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,833 | 0,832 | 0,832 | 0,831 | 0,831 |
| 0,40 | 0,825 | 0,816 | 0,814 | 0,812 | 0,812 | 0,811 | 0,811 | 0,810 | 0,810 | 0,810 | 0,809 | 0,809 | 0,808 |
| 0,45 | 0,807 | 0,796 | 0,793 | 0,791 | 0,790 | 0,789 | 0,789 | 0,788 | 0,788 | 0,788 | 0,787 | 0,786 | 0,786 |
| 0,50 | 0,794 | 0,777 | 0,773 | 0,772 | 0,769 | 0,768 | 0,768 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,765 | 0,764 | 0,764 |
| 0,55 | 0,775 | 0,759 | 0,753 | 0,751 | 0,749 | 0,748 | 0,747 | 0,746 | 0,746 | 0,746 | 0,744 | 0,743 | 0,743 |
| 0,60 | 0,762 | 0,742 | 0,735 | 0,734 | 0,729 | 0,728 | 0,727 | 0,726 | 0,726 | 0,725 | 0,723 | 0,722 | 0,722 |
| 0,65 | 0,749 | 0,725 | 0,717 | 0,713 | 0,711 | 0,709 | 0,708 | 0,707 | 0,706 | 0,706 | 0,703 | 0,702 | 0,701 |
| 0,70 | 0,738 | 0,710 | 0,700 | 0,696 | 0,693 | 0,694 | 0,689 | 0,688 | 0,687 | 0,687 | 0,684 | 0,682 | 0,681 |
| 0,75 | 0,729 | 0,696 | 0,685 | 0,679 | 0,676 | 0,673 | 0,671 | 0,670 | 0,669 | 0,668 | 0,665 | 0,663 | 0,662 |
| 0,80 | 0,724 | 0,683 | 0,670 | 0,663 | 0,659 | 0,657 | 0,655 | 0,653 | 0,652 | 0,651 | 0,647 | 0,645 | 0,644 |
| 0,85 | 0,715 | 0,672 | 0,657 | 0,649 | 0,644 | 0,641 | 0,639 | 0,637 | 0,636 | 0,635 | 0,630 | 0,627 | 0,626 |
| 0,90 | 0,714 | 0,661 | 0,644 | 0,635 | 0,630 | 0,627 | 0,624 | 0,622 | 0,620 | 0,619 | 0,614 | 0,610 | 0,609 |
| 0,95 | 0,708 | 0,653 | 0,633 | 0,623 | 0,617 | 0,613 | 0,610 | 0,608 | 0,606 | 0,605 | 0,599 | 0,595 | 0,594 |
| 1,00 | 0,707 | 0,646 | 0,624 | 0,612 | 0,606 | 0,601 | 0,598 | 0,595 | 0,593 | 0,592 | 0,585 | 0,580 | 0,579 |

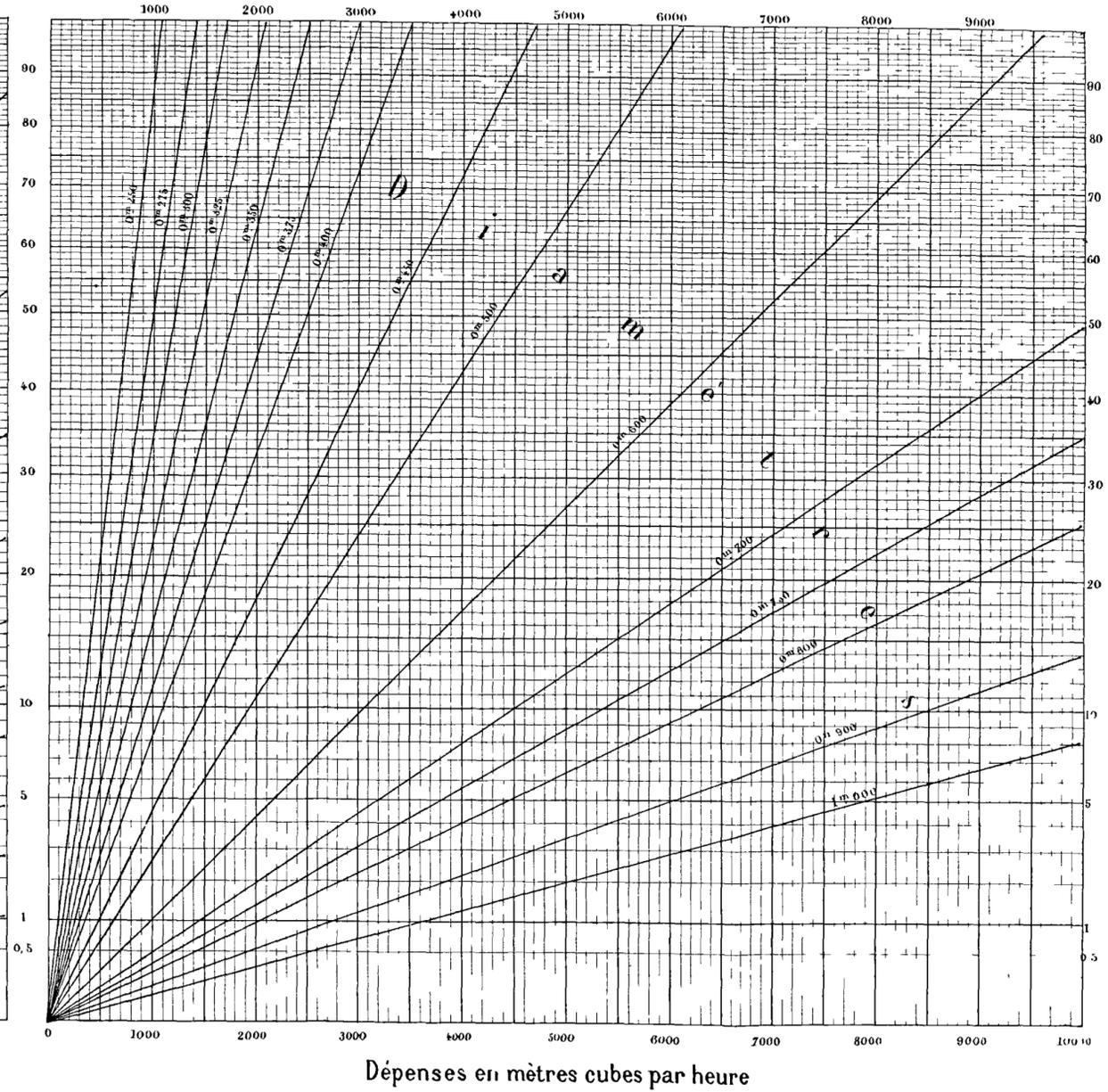
Série décimale (a)



Série décimale (b)



Série décimale (c)



Il sera donc facile à l'aide du tableau ci-dessous de calculer la valeur de $Q^2 M$ à employer dans les calculs.

D'autre part, si on appelle h_k la perte de charge kilométrique, on aura pour la perte h répondant à une longueur quelconque l , la formule :

$$h = \frac{h_k l}{1000}$$

Si nous reportons cette valeur dans l'équation (3) il viendra :

$$h_k = 840 \frac{Q_1^2}{d^5}$$

ou :

$$\sqrt{h_k} = \sqrt{\frac{840}{d^5}} \times Q_1$$

expression de la forme $y = ax$, c'est-à-dire équation d'une droite passant par l'origine, et dont $\sqrt{h_k}$ est l'ordonnée et l'abscisse.

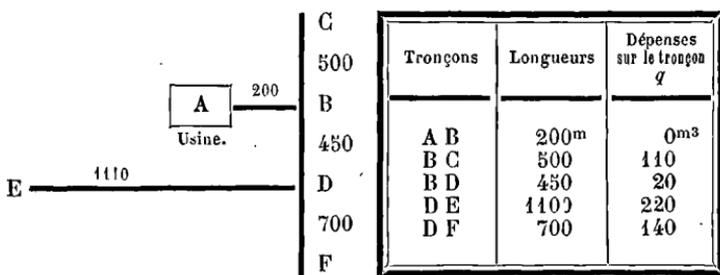
En s'appuyant sur cette remarque, M. D. Monnier a construit des tableaux graphiques excessivement commodes permettant d'obtenir une des valeurs h_k , d ou Q , deux quelconques d'entre elles étant connues.

Nous donnons ci-contre un de ces tableaux.

CALCUL D'UN RÉSEAU

Pour montrer comment on se sert des tables et tableaux de M. Monnier, nous ferons une application au calcul d'un réseau.

Soit à établir une distribution de gaz définie par le tracé ci-dessous, connaissant les débits de chaque tronçon et leur longueur.



On admet que la conduite d'émission AB peut perdre de A en B 15^{mm} de pression, et on veut que de B en E (point le plus éloigné) la perte de charge soit inférieure ou égale à 20^{mm}, à l'aide des données et formules ci-dessus, on construit immédiatement le tableau suivant :

| TRONÇONS | LON- GUEURS | VALEURS de q | VALEURS de Q | $\frac{q}{Q}$ | $Q=Q\sqrt{\frac{a}{p^n}}$ $n=10$ | h_h |
|----------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------|
| A B | 200 | 0 ^{m³} | 490 | 0 | 490 | 7 ^{mm} ,5 6,75 |
| B C | 500 | 110 | 110 | 1 | 65,120 | |
| B D | 450 | 20 | 380 | 0,19 | 376,20 | |
| D E | 1110 | 220 | 220 | 1 | 119,24 | |
| D F | 700 | 140 | 140 | 1 | 82,88 | |
| Réseau. | 2960 | 490 | » | » | » | » |

Ce tableau suffit pour pouvoir déterminer à l'aide des courbes graphiques les diamètres convenant à chaque tronçon. On connaît en effet Q_1 et h_k on trouvera d par une simple lecture. Quand les ordonnées et les abscisses (h_k, Q_1) se coupent en un point placé entre deux diamètres de tuyaux, la prudence conseille de choisir le tuyau du plus fort diamètre, on aura donc pour chaque tronçon :

| TRONÇONS | DIAMÈTRES A ADOPTER |
|----------|---------------------|
| A B | 300 ^{mm} |
| B C | 150 |
| B D | 275 |
| D E | 175 |
| D F | 150 |

Dans ce qui précède, nous n'avons tenu aucun compte des variations de pression dues aux *différences d'altitude*, aux *changements brusques de direction*, etc.

Différences d'altitude. — On tient compte des différences d'altitude en remarquant que la pression augmente ou diminue de 0^{mm},8 quand l'altitude augmente ou diminue de 1 mètre.

La variation exacte des pressions serait donnée par la formule :

$$\pm y = \pm P h (1 - \delta)$$

P = poids du mètre cube de gaz.

h = différence du niveau considérée.

δ = densité du gaz.

Changements de direction. — Les perturbations dues aux changements de direction sont en pratique négligeables surtout avec des vitesses de gaz modérées; 1^{mm} de pression n'est perdu qu'après 10 angles droits ou 18 coudes arrondis.

Le calcul d'un réseau peut donc être fait comme nous venons de l'indiquer, quitte à vérifier ensuite si les pressions désirées sont obtenues en chaque points. Quand on tient compte des différences d'altitude, on modifie les diamètres des tuyaux suivant les résultats calculés.

II. — DÉTERMINATION DES BRANCHEMENTS

Les diamètres des branchements d'abonnés ou de lanternes peuvent se déterminer à l'aide du tableau ci-dessous :

DIAMÈTRES DES BRANCHEMENTS

| NOMBRE DE BECS comptés à 140 litres | DIAMÈTRE EN mm |
|--|----------------|
| 1 à 5 | 20 |
| 6 - 10 | 25 |
| 11 - 20 | 30 |
| 21 - 30 | 33 |
| 31 - 40 | 40 |
| 41 - 60 | 45 |
| 61 - 80 | 50 |
| 81 - 100 | 55 |

Dans l'intérieur des habitations, les tuyaux ont du compteur au plafond le même diamètre que les tuyaux

de sortie des compteurs. Les tuyaux secondaires desservent un ou plusieurs becs, ont des diamètres calculés au moyen du tableau précédent, on comptera :

| | | |
|------------------------------------|-------|-----------|
| 1 réchaud à 2 alimentations | comme | 3 becs. |
| 1 — 1 | — | 2 — |
| 1 rôtissoire (suivant sa grandeur) | 4 à 5 | — |
| 1 chauffe-bain | — | 10 à 15 — |

Matériaux des conduites principales. — Les conduites principales se font surtout en fonte, tôle bitumée, très rarement en ciment ou en bois.

Choix des tuyaux. — Dans l'adoption du système de tuyaux, les principales considérations qui interviennent sont le coût, la solidité, la durée, la facilité de pose.

Les *tuyaux à emboîtement cordon* sont fréquemment adoptés en raison de leur faible prix et de leur solidité. Ils demandent beaucoup de soins pour la pose, veulent être posés en bon terrain et bien calés ; le joint exige un matage soigné de la corde sur la demi-hauteur de l'emboîtement, une coulée de plomb très chaud dans le godet bien sec, et un matage énergique et régulier du bourrelet de plomb.

Les *tuyaux à brides* sont rarement employés, et ils ne servent dans les canalisations courantes qu'aux raccordements de quelques pièces spéciales, vannes, siphons isolateurs, etc., la qualité du joint dépend moins du mastic que du serrage régulier des boulons.

Les *tuyaux à joints de caoutchouc*, jouissent aujourd'hui d'une certaine faveur. Nous n'entrerons pas dans les discussions qu'a suscitées l'emploi des joints en

caoutchouc pour les conduites de gaz; disons seulement que l'expérience a prouvé qu'ils étaient excellents, la pose de ces tuyaux est très rapide, la canalisation est souple et les fuites sont rarement à craindre, ce qui a retardé la généralisation de ce genre de tuyaux, c'est leur prix élevé; mais à présent ces prix sont devenus abordables, et leur emploi sera plus fréquent.

Les *tuyaux en tôle bitumée*, système Chameroy, sont économiques; ils se posent rapidement et font un excellent service toutes les fois qu'on les enterre dans un terrain bien sec; dans le cas contraire, leur durée est faible.

La *dépense de plomb et de corde par joints à emboîtement* est donnée dans le tableau ci-dessous :

JOINTS A EMBOITEMENT ET CORDON

| DIAMÈTRE en mm. | LONGUEUR du tuyau | DÉPENSE par m. courant de | | DIAMÈTRE en mm. | LONGUEUR du tuyau | DÉPENSE par m. courant de | |
|--------------------|-------------------------|------------------------------|-------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--------|
| | | Corde | Plomb | | | Corde | Plomb |
| 40 ^{mm} | 2 | 0,030 | 0,450 | 300 ^{mm} | 4 ^m | 0,120 | 1,800 |
| 54 | 2 | 0,035 | 0,750 | 350 | 4 | 0,190 | 2,000 |
| 81 | 3 | 0,045 | 0,700 | 400 | 4 | 0,300 | 2,300 |
| 108 | 3 | 0,050 | 0,800 | 500 | 4 | 0,350 | 3,000 |
| 135 | 3 | 0,060 | 0,810 | 600 | 4 | 0,500 | 4,000 |
| 160 | 3 | 0,075 | 0,900 | 700 | 4 | 0,650 | 4,450 |
| 200 | 3 | 0,110 | 1,200 | 800 | 4 | 0,900 | 7,000 |
| 225 | 3 | 0,120 | 1,600 | 900 | 4 | 1,000 | 8,500 |
| 250 | 3 | 0,150 | 2,000 | 1000 | 4 | 1,300 | 11,500 |

Poids des tuyaux. — Voir l'Aide-mémoire.

Pose des conduites. — La pose des conduites doit être faite d'après les règles suivantes :

1° Laisser toujours libre le chantier des poseurs et pour cela avoir au moins toujours 50 mètres de tranchée ouverte à l'avance.

2° Autant que possible placer les tuyaux bout à bout de façon que leurs axes se prolongent.

3° Bien faire toucher le bout mâle au fond de l'emboîtement.

4° Au droit des joints faire des niches suffisantes pour que le joint soit facile à faire.

5° Bien dresser le fond de la tranchée et caler les tuyaux. On ne doit couler les joints au plomb qu'après avoir posé d'une façon invariable un certain nombre de tuyaux.

6° Maintenir fermée l'extrémité libre de la canalisation d'une façon quelconque pour éviter l'introduction de terres ou autres matériaux dans la conduite.

7° Vérifier la partie posée avant de combler la tranchée.

Pentes. Siphons. — Une conduite de gaz doit avoir au moins une pente de 7 à 8 millimètres par mètre. Les siphons placés aux points bas doivent avoir un volume proportionné à la longueur et au diamètre des conduites qu'ils desservent.

Profondeur. — On doit placer les tuyaux au moins à 60 centimètres de profondeur, autant pour éviter les variations trop brusques de température, que pour ne pas être sujets aux ruptures par suite des chocs occasionnés par le passage des lourdes charrettes.

Matériaux des tranchements. — Les tranchements

se font en plomb, fer ou fonte. Nous n'avons pas à revenir sur la fonte.

Le fer a le défaut de s'oxyder promptement et de nécessiter l'emploi de longues vis pour faciliter les réparations ultérieures. Il a l'avantage de ne pas coûter très cher et de ne pas s'aplatir facilement.

Le plomb s'oxyde moins, mais demande à être protégé contre les écrasements ou les affaissements; on le loge pour cela soit dans des cornières, soit dans des gouttières en bois.

Le *raccord* des branchements est fait avec des manchons à selle pour les branchements en fonte. Les raccords à trois pièces en cuivre sont très employés avec le fer et le plomb; enfin avec ce dernier, les *colliers à brides* sont d'un bon emploi. Le tuyau de plomb porte à 15 ou 20 millimètres de l'extrémité libre une collerette de plomb soudée sur lui — cette collerette sert à faire joint sur la conduite maîtresse par suite de la pression du collier.

Robinets d'arrêt. — Les branchements sont ordinairement munis d'un robinet d'arrêt logé à l'extérieur de l'installation dans un coffret fermé. Ils sont indispensables pour permettre la fermeture du gaz, chez les abonnés, dans les diverses circonstances où elle est nécessaire.

FUITES

Une bonne canalisation ne doit pas perdre plus de 150 à 200 litres par kilomètre courant et par heure. Il est toujours bon de rapporter les fuites aux longueurs

de canalisation, afin de se rendre exactement compte de l'état des conduites.

L'évaluation des fuites en p. 100 de la consommation est néanmoins utile pour l'appréciation de la valeur commerciale d'une usine. — En général, une bonne canalisation ne perd pas plus de 10 à 12 p. 100 de l'émission totale.

Causes des fuites. — Les fuites dépendent le plus souvent d'une mauvaise installation première des conduites. A cette première cause viennent s'ajouter les ruptures de tuyaux par suite de choc ou de gelées, la dislocation des joints sous l'influence des tassements du sol, des variations de température, l'oxydation ou la coupure des branchements, etc.

Recherche des fuites. — Le problème de la recherche des fuites est certainement l'un des plus importants pour les directeurs d'usine. Il se divise ordinairement en deux parties : le sectionnement du réseau et la localisation des fuites.

Le *sectionnement* a pour but de diviser le réseau en parties faciles à isoler et pour lesquelles on puisse évaluer exactement les pertes. Le sectionnement se fait, soit à l'aide de simples robinets ou vannes, soit à l'aide de siphons Gibault, ou de siphons ordinaires.

La *localisation* des fuites a pour but de préciser l'endroit où existent, dans chaque section, les pertes de gaz.

Nous n'insisterons pas sur la façon dont se font en pratique les sectionnements, mais nous devons faire con-

naitre les principales méthodes suivies pour localiser les fuites.

1° RELEVÉ DES PRESSIONS. — Les relevés de pression donnent souvent des indications rapides et sûres. On prend les pressions de jour aux diverses lanternes placées sur la partie du réseau à examiner : autant que possible, il faut opérer au moment où la dépense de gaz est minimum. En faisant sur les diverses pressions obtenues les corrections dues aux différences d'altitude, on doit obtenir des pressions sensiblement égales. S'il en est autrement, on en doit conclure qu'il existe une perte de charge occasionnée par le débit, soit du branchement de la lanterne, soit de la conduite maîtresse.

2° SONDAGES. — En faisant dans le sol, au droit des conduites, des sondages répétés à l'aide d'une barre à mine, on peut par l'odorat découvrir les points où existent des émanations de gaz. — Quand les sondages sont profonds et faits à la pioche, on se guide sur l'odeur et la coloration des terres.

3° EMPLOI DU PALLADIUM. — Les liqueurs de chlorure de palladium, sont réduites par l'oxyde de carbone contenu dans le gaz. On conçoit donc que, si on fait passer des vapeurs contenant du gaz d'éclairage sur un papier réactif imprégné de cette liqueur, on pourra découvrir le siège des fuites.

Le D^r Bunte a appelé l'attention des gaziers sur ce fait, et conseille l'emploi de ce réactif. M. Schauffler, directeur à Mamers, a étudié consciencieusement cette méthode et indiqué les conditions pratiques dans lesquelles il faut se placer pour en tirer les meilleurs

résultats. Il préconise l'emploi de l'or palladium, et sa liqueur renferme

| | | |
|------------------------------|---|-----------------|
| 3 ^{gr} ,75 de Pd Cl | { | par litre d'eau |
| 1 25 de Au Cl | | distillée |

Le réactif est ainsi plus sensible, soit à cause de l'action de présence produite par le chlorure d'or, soit à cause de la propriété du chlorure d'or d'être réduit par l'acétylène contenu dans le gaz; dans ce cas, en effet, la liqueur renferme deux éléments actifs au lieu d'un.

Le papier trempé dans la liqueur est placé humide dans un tube en verre de 15 à 20 centimètres de long sur 15 à 20 millimètres de diamètre. Ce tube est adapté sur un tuyau en fer de 27 millimètres de diamètre intérieur et de 1 mètre environ de long qu'on enfonce de 20 à 40 centimètres dans les trous de sonde faits au-dessus des conduites: le papier brunit ou noircit quand il y a fuite de gaz. — Il faut avoir soin d'opérer des sondages assez rapprochés (1 mètre à 1^m,50 environ); ils doivent tous être également profonds et le papier réactif doit rester dans les tubes à peu près le même espace de temps (15 à 20 minutes environ).

Pour que les essais soient concluants, il faut s'assurer que la réduction du palladium n'est pas due à des éléments étrangers au gaz (gaz des fosses d'aisances, fumées de cheminées, vapeurs amyliques, etc.).

Indices des fuites. — Il existe d'autres moyens de reconnaître la place d'une fuite, mais ils sont trop connus pour que nous insistions. Ce sont le dépérissement des arbres, la coloration du sol, l'odeur des eaux d'infiltration, etc.

Quand on opère, comme nous l'avons dit, à l'aide de sectionnements, le tableau suivant peut être employé pour se rendre compte du gain obtenu en guérissant les fuites.

TABLEAU POUR LES RÉPARATIONS DE FUITES

| N° du section- nement | DÉSIGNATION du quartier | LONGUEUR de canalisation | PREMIER ESSAI — PERTES | | | DEUXIÈME ESSAI — PERTES | | |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | | | par heure | | par an par kilom. courant | par heure | | par an par kilom. courant |
| | | | en totalité | par kilom. courant | | en totalité | par kilom. courant | |
| | | | | | | | | |

Nous n'avons pas besoin de dire qu'on peut faire la recherche des fuites sans avoir recours aux sectionnements, mais alors il n'est plus possible de suivre pas à pas les résultats obtenus par la découverte et la guérison de chaque perte.

CHAPITRE XIV

MESURAGE DU GAZ CHEZ LES ABONNÉS

COMPTEURS

Le compteur est l'appareil qui livre, en le mesurant, le gaz dont a besoin le consommateur ; il fut imaginé par S. Cleeg, et perfectionné par Malam, Crosley, Warner-Corvan, Siry Lizard et autres constructeurs.

Les compteurs sont humides ou secs.

COMPTEURS HUMIDES

Cet appareil se compose essentiellement : 1° d'un volant immergé dans l'eau jusqu'à une hauteur fixe et divisé en quatre chambres étanches qui s'emplissent et se vident alternativement de gaz. La pression du gaz agissant sur les parois des chambres produit la rotation du volant. Les chambres ont deux ouvertures, l'une d'entrée vers le centre, l'autre de sortie sur la périphérie, disposées de façon que l'une étant ouverte, l'autre est nécessairement fermée ; le volant est logé dans la boîte postérieure du compteur.

2° D'un mécanisme enregistreur mis en mouvement par la rotation de l'arbre du volant à l'aide d'une vis sans fin engrenant sur une roue dentée ; cette roue ne

peut tourner que dans le sens normal de la marche du volant, un cliquet empêchant la rotation en sens inverse ; de cette façon, le décomptage est impossible.

3° D'un certain nombre d'organes accessoires destinés à régler le niveau de l'eau (tubes de niveau) ou à fermer l'arrivée du gaz (soupape d'admission), etc. Ajoutons le siphon recourbé qui prend le gaz dans la boîte antérieure et le fait passer à l'intérieur du volant. Tous ces organes sont situés dans la chambre carrée sur la face du compteur.

La rotation du volant est réalisée, comme il a été dit, par la pression du gaz sur la paroi du compartiment qui s'emplit ; dès que ce compartiment est plein, et avant qu'il ne commence à se vider, son ouverture d'entrée cesse d'être en relation avec l'arrivée du gaz et c'est le compartiment suivant qui s'emplit.

Une partie de la pression du gaz étant utilisée à faire tourner le volant, il est donc naturel que la pression de sortie soit plus faible que celle d'entrée.

Volumes débités. — Soit V le volume connu d'un compartiment. Le débit du compteur par révolution du volant sera :

$$Q = 4 V = 4 L \left(\pi R^2 - 4 \frac{h^2 + \frac{\sqrt{2}}{3}}{\sin 2\alpha} \right)$$

(formule générale donnée par M. Salanson, dans laquelle L et R sont la longueur et le rayon du volant, h la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du centre de ce volant, r le rayon du cercle intérieur de projection des hélices planes, et α l'angle de l'hélice sur l'horizontale)

au moment où va cesser l'entrée du gaz dans la chambre). En général, $\sin 2\alpha = 1$.

Connaissant Q , il est donc facile de calculer la transmission de mouvement à l'appareil enregistreur de façon à faire marquer aux aiguilles le nombre de mètres cubes débités. Mais alors, il est certain que les indications des cadrans ne seront exactes que si le volume Q reste invariable, c'est-à-dire, en examinant la formule générale, si la valeur de h ne change pas. En d'autres termes, le niveau de l'eau dans le compteur doit rester toujours rigoureusement le même.

Réglage du niveau. — Le plan d'eau à l'intérieur du compteur est dans sa position normale quand l'eau s'écoule par la vis de niveau, l'appareil étant placé sur un sol horizontal, avec l'entrée du gaz fermée les vis du niveau, de syphon et d'introduction d'eau enlevées et un bec de l'installation ouvert.

Abaissement du niveau. — Quand, pour une raison quelconque, le plan d'eau est descendu au-dessous de sa position normale, le compteur enregistre moins de gaz qu'il n'en débite, et l'erreur de mesurage peut atteindre 5 et 6 p. 100.

L'abaissement peut être le résultat de diverses causes ; il peut être produit :

1° Par *évaporation* naturelle de l'eau des compteurs. C'est le cas le plus fréquent qui se rencontre surtout quand les compteurs sont placés dans un local trop chaud ;

2° Par la surcharge des compteurs, quand on exagère le débit des appareils. Dans ce cas il se produit une pulvérisation d'eau qui favorise l'évaporation, en même

temps que le plan d'eau s'abaisse à l'intérieur du volant par suite de la grande pression absorbée par la marche exagérée du compteur.

Dans les conditions normales du fonctionnement, le volant ne doit pas effectuer plus de 100 révolutions par heure. Voici le débit par révolution pour les principaux compteurs :

| CAPACITÉS | DÉBIT par tour | CAPACITÉS | DÉBIT par tour |
|-----------|-------------------|-----------|-------------------|
| 3 becs | 3 lit. 57 | 50 becs | 55 lit. 56 |
| 5 — | 7 — 14 | 60 — | 83 — 33 |
| 10 — | 14 — 28 | 80 — | 111 — 41 |
| 20 — | 28 — 57 | 100 — | 142 — 86 |
| 30 — | 41 — 67 | 150 — | 210 — 15 |

. Par bec de capacité on entend le bec débitant 140 litres à l'heure, excepté pour les compteurs de 3 becs dans lesquels on compte le bec à 120 litres par heure.

3° Par l'inclinaison des compteurs. L'inclinaison d'un compteur d'arrière en avant ou de gauche à droite, détermine un abaissement du plan d'eau dans les chambres de mesurage, et les erreurs qui en résultent peuvent être de 5 à 6 p. 100

4° Par des procédés frauduleux, tels que l'enlèvement de l'eau par succion, perforation du tube de niveau, etc.

Nous avons groupé ci-dessous divers tableaux empruntés à l'Album de la maison Nicolas Chamon et C^{ie}, donnant les erreurs de mesurage qui correspondent aux diverses causes d'erreurs énumérées ci-dessus.

TABLEAU DES ERREURS DUES A L'ABAISSEMENT DU PLAN D'EAU
(LE COMPTEUR ÉTANT SUPPOSÉ PLACÉ HORIZONTAL)

| CAPACITÉS | EAU ENLEVÉE | ABAISSEMENT du niveau | ERREURS en moins |
|-----------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| 3 becs | 0 ^k ,300 | 6 millimètres | 5 p 100 |
| 5 — | 0,500 | 7 — | 4 |
| 10 — | 1,000 | 10 — | 4 |
| 20 — | 1,800 | 10 — | 4 |
| 30 — | 2,500 | 12 — | 3 |
| 40 — | 3,000 | 12 — | 3 |
| 60 — | 4,000 | 12 — | 3 |
| 80 — | 4,000 | 12 — | 2,8 |
| 100 — | 5,000 | 12 — | 2,5 |
| 150 — | 8,000 | 12 — | 2 |

TABLEAU DES ERREURS DE MESURAGE DUES A LA SURCHARGE

| CAPACITÉS (compteurs neufs) | DÉBITS A L'HEURE | | ERREURS |
|-----------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------|
| 3 becs | { | 5 becs de 120 litres = 200 lit. | nulle |
| | | 6 — — — 720 | 1,5 p. 100 en moins |
| | | 9 — — — 1080 | 2 — — |
| 5 — | { | 5 becs de 140 litres 700 | nulle |
| | | 10 — — — 1400 | 1,3 p. 100 en moins |
| 10 — | { | 10 — — — 1400 | nulle |
| | | 20 — — — 2800 | 1,5 p. 100 en moins |
| 20 — | { | 20 — — — 2800 | nulle |
| | | 40 — — — 5600 | 1 p. 100 en moins |
| 40 — | { | 40 — — — 5600 | nulle |
| | | 80 — — — 11200 | 0,6 p. 100 en moins |

TABLEAU DES ERREURS DE MESURAGE
DUES A L'INCLINAISON DES COMPTEURS DE L'ARRIÈRE A L'AVANT

| CAPACITÉS | VALEURS des inclinaisons mesurées sur la profondeur du compteur et erreurs correspondantes au détrimement de l'usine | | | | | |
|-----------|---|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| | 3 ^{mm} 2 0/0 | 5 ^{mm} 3 0/0 | 10 ^{mm} 5 0/0 | 15 ^{mm} 7 0/0 | 20 ^{mm} 7 0/0 | 25 ^{mm} |
| 3 becs | 5 3 | 10 5 | 15 6 | 20 8 | 25 8 | 25 |
| 5 — | 5 2,5 | 10 4 | 15 5 | 20 6,5 | 25 6,5 | 30 |
| 10 — | 5 2 | 15 4,5 | 20 6 | 30 8 | 40 8 | 40 |
| 20 — | 10 2,5 | 20 4,5 | 30 6 | 40 8 | 45 8 | 43 |
| 30 — | 10 2,5 | 20 4 | 30 6 | 40 7,5 | 45 7,5 | 45 |
| 40 — | 20 4 | 30 6 | 40 8 | | | 45 |
| 60 — | 20 5 | 30 6,5 | 40 8 | | | 50 |
| 80 — | 20 6 | 40 8 | 50 9 | | | 65 |
| 100 — | 20 6 | 40 7 | 60 9 | | | 70 |
| 150 — | | | | | | Ne marque plus. |

TABLEAU DES ERREURS DE MESURAGE
DUES A L'INCLINAISON DES COMPTEURS DE GAUCHE A DROITE

| CAPACITÉS | VALEURS des inclinaisons mesurées sur la distance horizontale entre les poids et erreurs correspondantes au détrimement de l'usine. | | | | | |
|-----------|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| | 5 ^{mm} 1,5 0/0 | 10 ^{mm} 4 0/0 | 20 ^{mm} 6 0/0 | 30 ^{mm} » 0/0 | 45 ^{mm} | 50 ^{mm} |
| 3 becs | 5 1 | 10 3 | 20 5 | 30 6 | 45 6 | 50 35 |
| 5 — | 5 1 | 10 2 | 20 3 | 35 4 | 40 4 | 40 |
| 10 — | 5 1 | 10 1,5 | 20 2,5 | 45 6,5 | 50 6,5 | 50 |
| 20 — | 5 1 | 10 1,5 | 20 2,5 | 45 6 | 50 6 | 50 |
| 30 — | 5 0,5 | 10 1 | 20 2 | 45 5 | 50 5 | 50 |
| 40 — | 10 1 | 20 2 | 30 3 | 50 4 | 50 4 | 50 |
| 60 — | 10 1 | 30 2,5 | 50 4 | » » | » » | 60 |
| 80 — | 10 0,5 | 30 2 | 50 3 | 60 5 | 75 5 | 75 |
| 100 — | 20 1 | 40 2 | 60 3 | » » | 89 5 | 89 |
| 150 — | | | | | | Soupape fermée. |

Les tableaux ci-dessus montrent l'intérêt qu'on a à préférer les gros compteurs aux petits et la nécessité où

l'on est de bien sceller les compteurs sur un plan horizontal.

Remèdes contre les abaissements de niveau. 1° Soupape. — La soupape a pour but de limiter les erreurs de mesurage dus à l'abaissement du niveau. Cette soupape est portée par un flotteur et elle ferme l'entrée du gaz quand les erreurs atteignent 6 p. 100. On conçoit qu'en inclinant les compteurs de façon à faire monter le niveau de l'eau dans la chambre du flotteur, la soupape ne fonctionnera plus dans les conditions pour lesquelles elle a été établie. D'autre part, si la tige de guidage s'oxyde ou s'encrasse, le fonctionnement du flotteur est annulé. Ainsi, d'après Schilling, 10 vieux compteurs de 3 becs, 6 de 5 et 3 de 10 ayant été essayés, on a trouvé que 8 d'entre eux possédaient une soupape hors de service et que pour les autres, la fermeture n'avait lieu que lorsque les erreurs oscillaient entre 5,5 et 9,9 p. 100.

2° Compteurs à bêche (Rouget). — Ce compteur remédie aux abaissements de niveau dus à l'évaporation. Le gaz, avant de pénétrer dans le compteur, traverse une bêche où il se sature d'eau.

3° Compteurs Scholefield, Crosley et Goldsmith. — Ces compteurs possèdent un appareil élévatoire mis en mouvement par la rotation du volant, et qui élève à chaque tour une certaine quantité d'eau prise dans un réservoir, pour le déverser dans le compteur. Un tuyau de trop-plein ramène dans le réservoir l'eau en excès.

4° Compteur Maldan — Dans ce compteur le niveau

est maintenu invariable à l'aide d'un corps flottant qui s'immerge dans l'eau du compteur de façon à venir remplacer exactement l'eau enlevée. Ce flotteur compensateur, analogue à celui du manomètre Elster, porte un obturateur qui vient fermer le tuyau d'entrée du gaz dès que le volume d'eau évaporée est supérieur au volume du flotteur.

5° Compteurs Warner-Cowan, Siry Lizars. — Les compteurs précédemment étudiés ne corrigent pas absolument les erreurs de mesurage ; ils sont sans effet relativement aux erreurs dues à l'inclinaison.

Les appareils suivant sont à proprement parler des compteurs à *mesure invariable*.

Le compteur Cowan-Warner est caractérisé par l'adjonction d'un petit volant concentrique au volant principal et occupant la moitié de la longueur du grand volant : par sa seule présence il réduit donc de 50 p. 100 l'erreur de mesurage dû à l'abaissement du plan d'eau ; mais, en outre, le petit volant dont les cloisons hélicoïdales sont en sens inverse de celle du grand, emmagasine l'autre moitié du gaz mesurée en trop et le ramène dans le compartiment suivant qui s'emplit. Ce compteur corrige donc les erreurs de mesurage. En revanche, on lui reproche d'absorber un peu de pression.

Dans le compteur Siry Lisard, le volant intérieur est remplacé par 4 cuillers disposées de telle façon que chacune d'elle prend, dans le compartiment qui se vide, la quantité de gaz reçue en trop et la ramène dans le compartiment qui s'emplit. Toutes les erreurs de mesurage sont ainsi évitées, quand la section de la cuiller

est égale à la somme des surfaces sur lesquelles a lieu l'abaissement du niveau dans la chambre mesurante.

Élévation du niveau. — L'élévation du niveau de l'eau dans les compteurs occasionne des erreurs de mesures de sens contraire à celles produites par l'abaissement. L'élévation peut résulter soit des condensations reçues par le compteur (si ce dernier est placé dans un local froid), soit d'un nivellement inexact, soit enfin de l'inclinaison du compteur de droite à gauche.

Siphon. — Pour limiter les causes d'erreurs dues à l'élévation du niveau, le siphon d'entrée du gaz au volant est disposé de façon à pouvoir servir de trop-plein quand l'erreur atteint 6 p. 100, l'eau en excès pénètre alors dans les boîtes de garde ou vient noyer le tuyau d'entrée du gaz.

Poinçonnage. — Les compteurs neufs sont vérifiés avant d'être livrés à la vente, ils sont enfin poinçonnés, s'ils mesurent le gaz assez exactement pour que l'erreur soit inférieure à 2 p. 100 dans l'un ou l'autre sens.

VÉRIFICATIONS DES COMPTEURS EN SERVICE

Il est quelquefois important de contrôler sur place le fonctionnement d'un compteur, de façon à reconnaître ses défauts, s'il en possède. Nous examinerons donc ci-dessous les cas les plus fréquents qui peuvent se produire.

1° Faiblesse ou arrêt du gaz. — Si le branchement

n'est pas obstrué et que le gaz arrive aussi bien à l'entrée du compteur, on commence par vérifier le siphon qui peut être *noyé* ou *engorgé de naphthaline*. Si le siphon est libre on devra conclure que le volant est arrêté, soit par suite de l'encrassement, soit par suite d'un dérangement des engrenages de la transmission. Si le siphon ne donnait pas de gaz, après s'être assuré qu'il n'est point obstrué, on devra supposer que la soupape d'entrée repose sur son siège : dans ce cas, ou bien la soupape est collée (on peut la décoller en frappant légèrement sur la boîte carrée), ou bien le flotteur est noyé soit parce qu'il est percé, soit parce qu'il est trop lourd. Nous supposons naturellement que le niveau de l'eau dans le compteur est normal.

Si le gaz est débité partiellement, et qu'il y ait seulement faiblesse d'éclairage, on en conclura que la soupape n'est que légèrement alourdie et, dans ce cas, en surchargeant le niveau, on devra obtenir un plus grand débit.

2° Fluctuations. — Les fluctuations sont occasionnées, soit par la présence d'un peu d'eau dans le siphon, soit par des résistances variables subies par le volant. Ces dernières tiennent à un mauvais équilibre du volant ou à des défauts de la transmission.

3° Erreurs de mesure. — Après s'être assuré que le compteur est placé horizontalement et bien nivelé, on ouvre un bec de l'installation muni d'un régulateur Giroud ou d'un compteur de poche. Si le compteur n'acuse pas la dépense exacte du bec, il y a deux cas à considérer.

1^{er} cas. — Le *volant tourne*, et on entend le bruit du cliquet. On en conclura, ou que la vis du volant n'engrène pas (et alors l'erreur est de 100 p. 100), ou bien que le volant est perforé, si l'erreur est plus petite que 100 p. 100.

2^e cas. — Le *volant ne tourne pas* et par suite on n'entend pas le bruit du cliquet : dans ce cas, la cloison médiane est percée et le gaz passe directement de la chambre antérieure dans la chambre postérieure sans traverser le volant. Alors, on doit obtenir la rotation partielle du volant en augmentant le débit du compteur.

On peut, sur place, déterminer également le cas où il y a *perforation de la boîte à soupape* (le compteur débite alors que celle-ci est fermée); quand le *flotteur est alourdi* la soupape reste fermée bien que le niveau de l'eau soit normal, etc... Dans ce dernier cas, il peut arriver aussi que le *tube du niveau soit perforé*, et par suite que l'eau s'écoule avant que le plan d'eau soit normal.

Congélation des compteurs. — L'eau contenue dans les compteurs peut geler en hiver. On a proposé pour parer à cet inconvénient :

1° L'emploi de chemises en feutre, paille, foin, etc.

2° L'emploi de liquides spéciaux résistant aux basses températures. Voici les principales liqueurs adoptées :

a). Alcool dénaturé mélangé à l'eau dans la proportion de 20 p. 100 (1/2 litre par bec de capacité du compteur); ce liquide résiste à une température de -10° , mais s'évapore rapidement.

b). Glycérine étendue d'eau jusqu'à densité de 1,1.

Elle attaque souvent les métaux, mais résiste à -12° .

c). Esprit de bois, huiles lourdes de goudron. — Le premier est avantageux mais coûte cher; les secondes absorbent de la pression.

d). Dissolutions salines; elles ont l'inconvénient de déposer des sels aux basses températures. Néanmoins, on indique comme fournissant de bons résultats la dissolution de chlorure de calcium qui ne donne pas de dépôts aux températures de -6° à -10° , et n'altère pas les compteurs. La liqueur formée de 10 litres d'eau et 2 kilos de CaCl, résiste à une température de -16° .

Pour dégeler un compteur il faut avoir recours à l'eau chaude versée sur l'appareil, ou introduite à l'intérieur; on ne doit jamais avoir recours au feu pour chauffer un compteur.

COMPTEURS SECS

Nous venons de voir que les compteurs humides sont sujets à des erreurs de mesurage importantes dues à l'abaissement du niveau de l'eau, et qu'ils doivent pour ce motif être fréquemment nivelés; d'autre part, le froid a une très grande prise sur eux.

Pour toutes ces raisons, on préfère dans certains pays les compteurs secs aux compteurs humides.

Le principe sur lequel sont construits les compteurs secs est le suivant : 2 soufflets de capacité connue se remplissent de gaz et se vident alternativement : la pression du gaz est utilisée à produire le mouvement. Le va-et-vient des soufflets obtenu de cette façon est transformé, à l'aide de leviers, en un mouvement cir-

culaire qui fait tourner les engrenages de l'enregistreur.

Ces compteurs ne se sont pas acclimatés en France où on leur reproche d'absorber beaucoup de pression et de se déranger souvent.

CHAPITRE XV

EMPLOI DU GAZ A L'ÉCLAIRAGE

ET A LA VENTILATION

Un jet de gaz, enflammé au contact de l'air, brûle avec une flamme éclairante dont l'intensité lumineuse varie avec la qualité du gaz et la nature du brûleur employé.

Théorie des flammes d'après Davy. — Lorsqu'on examine la constitution physique d'une flamme on reconnaît immédiatement l'existence de trois couches : la première, interne, possède une température faible, néanmoins suffisante pour que la décomposition des éléments combustibles y puisse commencer. — La deuxième, tout extérieure, est la couche où se fait la combustion vive au contact de l'air en excès : la température y est très élevée. — La troisième, enfin, intermédiaire entre les deux précédentes, est à proprement parler, la couche lumineuse. La décomposition des hydrocarbures s'y achève sous l'influence de la chaleur fournie par la deuxième zone, mais, comme l'air n'y arrive pas en quantité suffisante, les particules de carbone y demeurent quelques instants avant de brûler à une température haute, et y deviennent incandescentes.

Cette théorie qui rapporte au carbone incandescent, contenu dans la flamme, la production de la lumière,

est encore généralement admise. On en déduit qu'une flamme sera d'autant plus éclairante qu'elle sera plus étendue tout en restant modérément épaisse. La surface donnée à la flamme favorise le développement de la chaleur, et son épaisseur, la présence d'une plus grande quantité de carbone incandescent. — Les gaz riches en hydrocarbures sont donc favorables à la production de la lumière.

Théorie nouvelle. — Depuis quelques années, la théorie de Davy a été battue en brèche à la suite des expériences de Frankland, Siemens, Hirn, etc. Voici le résumé des observations de ces savants :

1° Si on chauffe un gaz combustible à une température très élevée, il ne devient pas incandescent.

2° Les flammes changent de coloration avec les matières qu'elles renferment, alors même que celles-ci ne sont point des solides (colorations dues aux émanations des sels d'arsenic, etc.).

3° Les flammes sont transparentes et absorbent peu de lumière et de chaleur.

4° Si les flammes contenaient du carbone en suspension elles seraient plus éclairantes sur les côtés larges que les côtés minces.

On conclut de tous ces faits que la lumière n'est pas produite par l'incandescence des particules solides en suspension, et, par suite, on prétend qu'il convient d'attribuer le phénomène lumineux à une autre cause, telle par exemple que la formation de raies spectrales sous l'influence des hautes températures de combustion.

Ilâtons-nous de dire que les partisans des deux théories se combattent réciproquement et que la vérité n'est

pas facile à trouver. Nous laissons à nos lecteurs le soin de faire leur choix.

Produits de la combustion. — La combustion est une oxydation ; les produits auxquels elle donne naissance varient suivant le combustible ; mais avec le gaz d'éclairage, les plus importants sont la vapeur d'eau et l'acide carbonique.

Si on analyse les gaz contenus dans une flamme en différents points de sa hauteur, on trouve que l'oxydation s'effectue, comme il était facile de le prévoir, du brûleur à l'extrémité libre et à la périphérie de la flamme. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du bec, la proportion d'éléments combustibles (H , $C^n H^m$, CO) contenus dans les gaz va en décroissant, tandis que l'acide carbonique, la vapeur d'eau et l'azote vont en augmentant.

Parmi les produits secondaires de la combustion du gaz d'éclairage, nous devons citer l'acide sulfureux dû, soit à la présence de l'hydrogène sulfuré, soit à celle du sulfure de carbone. La présence dans le gaz de l'ammoniaque, du cyanogène ou des autres composés cyanogénés, donne naissance à des produits profondément nuisibles : heureusement, de nos jours, les procédés d'épuration permettent de livrer un gaz à peu près exempt de ces éléments, et, avec une combustion bien faite, les conditions hygiéniques restent toujours bonnes dans les locaux éclairés.

La présence de la vapeur d'eau dans les produits de la combustion est moins fâcheuse que celle de l'acide carbonique, gaz impropre à la respiration. Toutefois, il ne faut pas s'exagérer à ce sujet les inconvénients du

gaz, car, à lumière égale, il en dégage moins que le pétrole. Voici par heure la production d'acide carbonique de trois flammes d'égale intensité :

Pétrole 1^{er},49 Gaz 1^{er},28 Huile 1^{er}.

On a reproché au gaz d'éclairage d'altérer les peintures et les couleurs, de nuire aux plantes et aux animaux. Tous ces reproches ne méritent pas grande attention, car ils sont le plus souvent exagérés.

Les plantes souffrent fort peu des produits de la combustion; c'est surtout la chaleur des locaux qui les fatigue. Nous savons que l'acide carbonique n'est pas délétère, et que l'oxyde de carbone, qui est un poison, est toujours brûlé en acide carbonique, et ne peut se répandre que si la combustion est mal faite, ou s'il existe des fuites. Quant aux produits sulfureux, le gaz en renferme si peu que la combustion d'un mètre cube produit moins d'acide que l'inflammation d'une allumette soufrée. Enfin le gaz altère moins les couleurs que le soleil ou la lumière électrique, et, si les peintures noircissent à la longue sous l'action des produits brûlés, un nettoyage facile permet toujours de retrouver intacte la couleur primitive; il n'en est pas de même avec toutes les autres lumières artificielles.

POUVOIR ÉCLAIRANT. — TITRE DU GAZ

On peut définir le pouvoir éclairant d'une flamme le nombre d'unités de lumière (carcel ou bougie) qu'elle peut remplacer. D'autre part, si on détermine à combien de carcels ou de bougies correspondent 100 litres

de gaz brûlés dans des conditions déterminées, le nombre ainsi obtenu représentera le *titre du gaz*.

Variations du pouvoir éclairant. — La lumière obtenue avec un volume donné de gaz de houille est essentiellement variable suivant *sa composition* et les *conditions dans lesquelles il est brûlé*.

Influence des hydrocarbures, notamment de la benzine. — Le pouvoir éclairant du gaz croît notablement avec la quantité de carbures denses qu'il renferme. MM. Berthelot, Knapp, etc., ont en effet démontré que, si on condense dans l'acide azotique des hydrocarbures du gaz, le pouvoir éclairant devient nul ou très faible, et que c'est la benzine surtout qui est la plus utile à la production de la lumière. C'est, d'ailleurs, sur cette propriété des hydrocarbures que repose la théorie de la carburation du gaz.

On a proposé d'évaluer le pouvoir éclairant d'un gaz d'après la quantité qu'il renferme d'hydrocarbures condensables dans l'acide azotique ou le brome; on a voulu aussi se baser sur la densité; dans deux cas, on avait la pensée de mettre à profit les conclusions fournies par les expériences de MM. Berthelot et Knapp. La méthode était facile, mais malheureusement peu rigoureuse. Il ne faut pas perdre de vue en effet que si les carbures denses sont favorables à l'augmentation du pouvoir éclairant, le rôle joué par les gaz qui les accompagnent est souvent très important et que leur présence peut souvent fausser les indications fournies par les méthodes en question. D'ailleurs en aucune façon le pouvoir éclairant d'un gaz, n'augmente proportionnellement à sa richesse en carbures.

Influence des diluants. — L'air mélangé au gaz abaisse notablement son pouvoir éclairant.

D'après les essais de MM. Andouin et Bérard, on obtient les résultats suivant avec les becs à fente.

PERTE DE POUVOIR ÉCLAIRANT DUE A L'AIR

| P. 100 D'AIR | PERTE d'intensité p. 100 | P. 100 D'AIR | PERTE d'intensité p. 100 | P. 100 D'AIR | PERTE d'intensité p. 100 |
|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 6 | 7 | 53 | 30 | 98 |
| 2 | 11 | 8 | 58 | 40 | 99 |
| 3 | 18 | 9 | 64 | 45 | 100 |
| 4 | 26 | 10 | 67 | 50 | 100 |
| 5 | 33 | 15 | 80 | | |
| 6 | 44 | 20 | 93 | | |

L'acide carbonique dans le gaz agit dans le même sens que l'air, il fait baisser le pouvoir éclairant du gaz d'une façon très notable. D'après les essais de Sheard, on obtient les résultats suivants.

PERTE DE POUVOIR ÉCLAIRANT DUE A L'ACIDE CARBONIQUE

| BEC D'ARGAND | | BEC PAPILLON | |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| CO ² p. 100 en vol. | Perte moyenne | CO ² p. 100 en vol. | Perte moyenne |
| 2,50 | 6,9 | 2,62 | 17 |
| 1,00 | 3,0 | 1,90 | 7 |

L'hydrogène, l'azote, l'oxyde de carbone agissent comme l'air et l'acide carbonique leur influence est plus ou moins grande, mais tous abaissent le pouvoir éclairant du gaz.

Influence de la température. — Le pouvoir éclairant du gaz croît avec la température de combustion. C'est un fait sur lequel il est inutile de s'appesantir, et il nous suffit d'enregistrer le succès obtenu par les becs à récupérateur.

Influences diverses. — La *vapeur d'eau* altère notablement le pouvoir éclairant des flammes, comme le montre le tableau ci-dessous :

PERTE DE POUVOIR ÉCLAIRANT DUE A LA VAPEUR D'EAU

| Eau vaporisée à | Perte de pouvoir éclairant | Eau vaporisée à | Perte de pouvoir éclairant |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| 30° | 0 p. 100 | 50° | 15 p. 100 |
| 35 | 1 — | 60 | 40 — |
| 40 | 4 — | 70 | 98 — |

La *pression barométrique* agit également sur le pouvoir éclairant du gaz. D'après Tyndall, le P. E. décroît en raison inverse de la densité de l'air. M. Brémond a communiqué à la société technique du gaz les chiffres suivants :

VARIATION DU POUVOIR ÉCLAIRANT AVEC LA PRESSION BAROMÉTRIQUE

| POUVOIR éclairant | TEMPÉRATURES | VILLES | Altitudes au-dessus de Paris | Pression barométrique moyenne | Pouvoir éclairant du gaz par rapport à Paris | Perte due à la rarefaction de l'air | Pouvoir éclairant définitif du gaz, par rapport à Paris |
|-------------------|--------------|--------|------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| 105 | 15°5 | Paris | 0 | 0,754 | " | " | 105 |
| 105 | 15,5 | Vienne | 68 | 0,747 | 993 | 1,3 | 103 |
| 105 | 15,5 | Moscou | 235 | 0,732 | 977 | 3,66 | 99 |
| 105 | 15,5 | Madrid | 573 | 0,705 | 940 | 11,00 | 87 |
| 105 | 15,5 | Mexico | 2212 | 0,572 | 710 | 44,00 | 80 |

Le pouvoir éclairant du gaz diminue également sous l'action du froid, si cette action est assez prolongée pour qu'il y ait altération de la composition du gaz. Demeuré longtemps au contact de la glace pilée, le gaz peut perdre jusqu'à 18 p. 100 de son pouvoir éclairant.

Enfin, l'intensité lumineuse produite avec un volume donné de gaz varie avec la *dépense* et la *nature* des brûleurs, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant.

Influence des verres. — La lumière est absorbée en partie par les verres et cristaux. La perte de ce chef a été évaluée par certains ingénieurs comme il suit :

ABSORPTION DE LUMIÈRE PAR LES VERRES

| NATURE DU VERRE | ABSORPTION | NATURE DU VERRE | ABSORPTION |
|-----------------|---------------|---------------------------------|----------------|
| Verre blanc... | 10 à 15 p.100 | Verre opale et porcelaine... | 30 à 60 p. 100 |
| — dépoli . . | 15 à 20 — | | |
| Verre opalin... | 20 à 30 — | | |

Absorption des hydrocarbures par le caoutchouc. — Le gaz passant dans de longs tubes en caoutchouc perd de ses hydrocarbures, et par suite de son pouvoir éclairant. — La perte de ce dernier a été trouvée de 26 p. 100 pour du gaz qui avait traversé un tuyau de caoutchouc de 27 millimètres de diamètre et de 75 mètres de longueur. La température extérieure de l'air était de + 10°

ÉTUDE DES BECS

Les becs sont des appareils terminant les tuyaux de distribution du gaz, et servant à l'obtention de flammes de formes déterminées.

On peut classer les becs en quatre classes principales : les becs bougies — Manchester ou à deux trous — à fente ou papillons — à jet ou double courant d'air.

Voici, d'après les études de MM. Andouin et Bérard les principales propriétés de ces différents becs.

Bec bougie. — Le bec bougie est constitué par un bouton percé d'un trou livrant passage au gaz. C'est un bec de luxe utilisant mal le gaz ; dans les meilleures conditions il donne une Carcel par 150 litres.

Le pouvoir éclairant du gaz augmente avec le diamètre du trou, et la consommation, toutefois plus vite que cette dernière. Il décroît quand la pression du gaz augmente.

Les trous ont un diamètre ordinaire de $\frac{5 \text{ à } 6}{10}$ de millimètre. Théoriquement, le meilleur bec répond au diamètre de 2 millimètres pour le trou, à la dépense de 110 litres à l'heure, avec une hauteur de flamme de 30 centimètres.

Avec ce genre de becs, on obtient avec un même gaz et un même diamètre du trou une flamme dont la hauteur varie presque proportionnellement à la consommation. Cette hauteur varie au contraire en raison inverse du pouvoir éclairant, pour des gaz de qualités différentes brûlés avec le même bec et avec une dépense semblable.

Manchester. — Dans les becs Manchester le bouton est percé de deux trous inclinés l'un sur l'autre. Si on compare ce bec à deux becs bougie dépensant ensemble comme lui, on trouve que :

1° Pour de faibles consommations et avec des trous de petit diamètre les deux bougies éclairent autant que le Manchester ;

2° Avec des diamètres croissant, la supériorité du Manchester se révèle et peut atteindre 50 p. 100 ;

3° Cette supériorité cesse de croître au delà d'une certaine limite, et que le meilleur résultat est obtenu avec un trou de 1,7 à 2 millimètres de diamètre et une consommation horaire de 200 litres.

Les Manchester sont comparables aux becs à fente, si le diamètre des trous est de 1^m,5 — dans ce cas on produit une Carcel avec 137 litres environ.

Ces becs dépensent sans fumer plus de gaz que les becs bougies ; ils jouissent de la propriété de faire entendre un sifflement quand ils consomment plus qu'il ne convient en vue d'une bonne utilisation du gaz.

Ils fonctionnent mieux aux basses pressions, mais pour éviter une trop grande mollesse de flamme, celles-ci ne descendent pas, en pratique, au-dessus de 0^m,02.

Becs papillons. — Le bouton des becs papillons est percé d'une fente d'épaisseur variable.

1° Ces becs donnent la meilleure utilisation du gaz avec des fentes de 6 à 7/10 de millimètres ; dans ces conditions, on peut obtenir une Carcel avec 120 litres ;

2° Avec une fente de 7/10 de millimètre le pouvoir éclairant du gaz est supérieur de 40 p. 100 à celui fourni par des becs à fente de 2 à 3/10 de millimètre ;

si la comparaison porte sur des becs à fente de 1/10 de millimètre, l'accroissement de pouvoir éclairant est de 400 p. 100.

3° Comme les becs précédents, ils donnent de meilleurs résultats quand la pression du gaz au brûleur est faible. La pression théorique la plus favorable est celle de trois millimètres ; on donne en pratique 16 à 20 ;

4° Le diamètre du bouton a moins d'influence sur le pouvoir éclairant que la largeur de la fente ; néanmoins il doit être proportionné à la consommation ;

5° A chaque bec répond une consommation déterminée pour laquelle l'effet utile obtenu est maximum, et, quand on restreint ou augmente la dépense, le pouvoir éclairant diminue ;

6° La surface éclairante reste sensiblement la même quel que soit le gaz employé : ainsi l'intensité variant de 1 à 32, la hauteur de la flamme de 1 à 1,6.

largeur — 1 à 1,8.

7° Quand on augmente la dépense d'un bec papillon (même du simple ou double), la surface éclairante croît surtout par l'augmentation de la largeur de la flamme. Exemple :

| | | |
|-------------------------|---|-----|
| Consommation..... | 1 | 2 |
| Hauteur de la flamme... | 1 | 1,1 |
| Largeur..... | 1 | 2,2 |

8° Les brûleurs à fente trop large donnant des flammes molles, on emploie de préférence en pratique ceux dont la fente a 6/10 de millimètre pour un bouton de 7 millimètres de diamètre.

Becs à jet. — Les becs à jet ou à double courant d'air se composent d'une couronne circulaire percée de

trous ou d'une fente continue : l'air arrive au contact du gaz à la fois par l'intérieur et l'extérieur de la couronne ; il passe au préalable à travers un panier de porcelaine qui régularise son arrivée. Un cône métallique dirige ordinairement l'air extérieur sur la flamme, quelquefois aussi un tuteur central opère de même avec l'air intérieur. La flamme est protégée et rendue fixe à l'aide d'une cheminée en verre. Voici les conclusions auxquelles sont arrivés MM. Andouin et Bérard relativement à ces becs :

1° Le diamètre des trous le plus avantageux est :

| | |
|--|--------------------------|
| De 0 ^{mm} ,6 à 0 ^{mm} ,8 | pour les becs sans cône. |
| De 1 ^{mm} ,0 à 1 ^{mm} ,5 | — avec cône. |

Quand le bec est à fente circulaire, la largeur la plus convenable pour celle-ci est de 0,6 à 0^{mm},7 ;

2° Le pouvoir éclairant du gaz croît avec la consommation du bec, mais plus vite qu'elle jusqu'à une limite déterminée, au delà de laquelle le bec fume ;

3° Le nombre des trous doit être aussi grand que possible : ainsi un bec à 30 trous donne 25 p. 100 de pouvoir éclairant en plus qu'un bec à 20 trous. Les différents jets de gaz doivent se réunir et former une flamme continue ;

4° Le cône rend la flamme plus fixe mais produit une perte de 5 p. 100 sur le pouvoir éclairant, tandis que le panier qui règle la rentrée de l'air donne un gain de 3 p. 100 ;

5° L'air doit affluer au bec en quantité suffisante, mais sans excès (6^l,95 par litre de gaz). Cette quantité ne croît pas proportionnellement à la dépense de gaz ;

6° A pouvoir éclairant égal, plus la densité du gaz est forte, plus les trous du bec doivent être grands ;

7° La grandeur du courant d'air intérieur dépend du diamètre de la couronne et non pas du nombre des trous ;

8° En vertu du tirage produit par la cheminée, ces becs brûlent le gaz presque sans pression ;

9° Le pouvoir éclairant obtenu croît avec la hauteur de la flamme jusqu'à une hauteur de 10 à 12 centimètres. Cette hauteur croît avec la richesse du gaz.

Verres à gaz. — Cheminée. — La cheminée cylindrique tend à augmenter la hauteur où la flamme se contracte ; toutefois, il ne faut pas exagérer les dimensions, car un verre trop haut diminue le pouvoir éclairant. On prend, en général, la hauteur du verre égale à 20 centimètres, le diamètre à 5.

Les cheminées coniques ou étranglées restreignent la dépense des becs.

Un bon bec à jet donne une Carcel avec 100 ou 105 litres de gaz.

Becs intensifs à récupération, etc. — Les becs intensifs utilisent cette loi que l'effet utile obtenu par la combustion du gaz est d'autant meilleur que le bec consomme davantage à la fois. Les becs à récupération sont basés sur l'augmentation de pouvoir éclairant résultant du chauffage de l'air nécessaire à la combustion. Quelques becs réalisent aussi le chauffage du gaz.

Nous ne pouvons passer sous silence les becs conjugués qui sont à proprement parler des becs intensifs. Ils sont établis d'après ce principe que si on réunit conve-

nablement 2 flammes d'intensité a et b , la flamme résultante aura une intensité $A > a + b$. Ces becs ont été très étudiés par M. E. Coze.

Nous donnons plus loin un tableau indiquant la consommation des principaux becs et leur intensité en Carcels.

RÉGULATEURS DE BECS

Le régulateur de becs est un appareil destiné à maintenir constant le débit d'un brûleur quand la pression augmente au tuyau d'amenée. Cet appareil permet, en d'autres termes, de maintenir constante la pression sous laquelle le brûleur doit consommer. Il nous faut dire qu'il existe bien peu de régulateurs satisfaisant à ces conditions.

Les régulateurs se divisent en deux classes : les régulateurs secs et les régulateurs humides.

Régulateurs secs. — Nous ne citerons que pour mémoire les appareils à *membrane souple*, ils ne sont plus employés. Les appareils à membrane ou *disque métallique* sont formés d'une chambre close dans laquelle peut naviguer sous la pression du gaz un disque en métal. Ce disque est muni d'un appendice qui vient étrangler plus ou moins la sortie du gaz quand le disque s'élève sous la pression plus ou moins forte du gaz affluent.

Si nous appelons S la surface du disque, h la pression au-dessous et h' la pression au-dessus de S , P étant le poids du disque, on aura l'équation d'équilibre $P = S(h - h')$.

$h - h'$ représente précisément la pression qui détermine la consommation du gaz; elle sera donc constante et égale $\frac{P}{S}$.

Les appareils Bablon, Giroud, Grangeon, etc., rentrent dans cette catégorie; on leur reproche de s'oxyder facilement, et de ne plus fonctionner après quelques mois de service.

Régulateurs humides. — Nous citerons comme premier type le rhéomètre Giroud, dans lequel le réglage est obtenu à l'aide d'une cloche renversée dans un bain de glycérine et fonctionnant à l'instar du disque sec des régulateurs précédents. L'équation d'équilibre ci-dessus lui est applicable.

Comme second type, nous citerons le régulateur Parsy Derval, dans lequel le gaz d'arrivée transmet sa pression à un liquide renfermé dans un vase communiquant: le liquide qui s'élève quand la pression augmente porte un flotteur muni d'un cône d'obturation qui ouvre plus ou moins la sortie du gaz.

VENTILATION PAR LES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE

De tous temps on a reproché au gaz d'éclairage de fournir par sa combustion de la chaleur et des produits nuisibles à la respiration, l'acide carbonique et la vapeur d'eau. Ces défauts réels ont été depuis longtemps et avec intention mis en relief par les électriciens, qui vantaient par contre les mérites de la lumière électrique par incandescence éclairant sans dégagement de chaleur et sans altération de l'air ambiant. Nous sommes donc

heureux de dire que le gaz s'est victorieusement défendu. La chaleur produite par la combustion est devenue entre les mains des gaziers un agent de ventilation et d'assainissement servant non seulement à expulser au dehors les produits de la combustion mais encore à renouveler dans les lieux éclairés l'air vicié par les émanations les fermentations organiques, la respiration pulmonaire ou la transpiration cutanée.

A ce point de vue le gaz est aujourd'hui supérieur à la lumière électrique.

Données sur la ventilation. — DÉFINITIONS. — On est convenu d'appeler ventilation naturelle ou artificielle l'opération qui a pour but le renouvellement de l'air à l'intérieur des habitations.

L'air est dit *vicié* lorsqu'il indique à l'analyse chimique une composition différente de l'air extérieur et qu'il a perdu tout ou partie notable de sa valeur comme aliment respiratoire.

En général, on admet que l'air doit être renouvelé quand sa teneur en acide carbonique atteint 0,10 à 0,15 p. 100 en volume et que son état hygrométrique est supérieur à 75 centièmes ou inférieur à 40. Autant que possible sa température doit rester voisine de 17 degrés centigrades.

L'air pur renferme en poids de $\frac{4 \text{ à } 6}{10,000}$ d'acide carbonique soit en volume $\frac{3 \text{ à } 4}{10,000}$; son état hygrométrique est ordinairement de 50 centièmes, c'est-à-dire qu'il est à moitié saturé de vapeur d'eau à la température qu'il possède. Les poids de vapeur qui saturent 1 mètre cube

d'air à diverses températures sont calculés dans le tableau suivant :

| TEMPÉRA- TURES | POIDS DE VAPEUR saturant 1 ^m d'air à 700 ^{mm} de pression | TEMPÉRA- TURES | POIDS DE VAPEUR saturant 1 ^m d'air à 700 ^{mm} de pression |
|-------------------|--|-------------------|--|
| — 10 | gr. 2,31 | 15 | gr. 12,95 |
| — 5 | 3,39 | 20 | 17,40 |
| 0 | 4,89 | 25 | 22,95 |
| 5 | 6,82 | 30 | 26,20 |
| 10 | 9,40 | | |

Résultat de la respiration. — Un homme adulte à l'état de veille expire par heure de 330 à 350 litres d'air, contenant 40 grammes ou 20 litres d'acide carbonique et 50 à 60 grammes de vapeur d'eau. Il se produit dans les poumons une véritable combustion de carbone et d'hydrogène qui est variable d'intensité avec le travail et l'âge des individus.

Il résulte de ce qui précède qu'un homme adulte brûle par heure environ 11 grammes de carbone et 6 gr. 10 d'hydrogène. Cette combustion fournit un dégagement de chaleur facile à calculer.

$$\begin{array}{r}
 0^k,0110 \times 8080 = 88,88 \\
 0^k,0061 \times 34462 = 21,02 \\
 \hline
 109,98
 \end{array}$$

Soit en chiffre rond un dégagement de 110 calories par heure. Toutefois une partie de cette chaleur est employée à vaporiser une moyenne de 55 grammes d'eau ce qui prend :

$$8^k,55 \times 588 = 31^{cal},9$$

Soit en chiffre rond 32 calories, il reste donc libre et par heure et individu un nombre de calories égal à $410 - 32 = 78$ calories.

On compte ordinairement avec M. Dumas sur le chiffre un peu plus élevé de 80 calories par heure.

Altération de l'air du fait de l'éclairage. — Les foyers lumineux dégagent tous en brûlant de la chaleur, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Voici quelques renseignements assez exacts à ce sujet.

| MATIÈRE ÉCLAIRANTE | DÉPENSE horaire | Production par heure | | | POUVOIR calorifique |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------------|------------------|----------|------------------------|
| | | CO ₂ en litres | HO en grammes | Calories | |
| Bougie..... | 11 gr. | 17 | 11 | 106 | 9.700 |
| Huile de paraffine } C = 83 H = 15 | 30 — | 48 | 38 | 285 | 9.500 |
| Huile de colza... } C = 71 H = 10 | 30 — | 45 | 28 | 300 | 10.000 |
| Pétrole raffiné... } C = 84 H = 13 | 40 — | 64 | 47 | 404 | 10.100 |
| Gaz d'éclairage..... | 100 lit. | 52 | 9 | 600 | 6.000 |

Renouvellement de l'air. — A l'aide des données précédentes, il serait facile de calculer le volume d'air à introduire par heure dans un local contenant un nombre d'individus et de foyers lumineux donnés. Toutefois il est préférable d'adopter immédiatement les quantités d'air plus fortes qui sont indiquées dans

le tableau ci-après auquel les ingénieurs ont coutume de se rapporter.

| LOCAUX OCCUPÉS | Mètres cubes d'air à fournir par personne et par heure | Observations |
|--|--|----------------|
| Hôpitaux { Salles pour maladies ordinaires. — d'opérations chirurgicales — p ^r maladies contagieuses. | 70 80-100 150 | Général Morin. |
| Prisons | 50 | |
| Casernes | 40 | |
| Ateliers { Ordinaires | 60 | |
| { Malsains | 100 | |
| Salles de théâtre, et concert | 50 | |
| Salle de conférences, d'assemblée | 60 | |
| Écoles { pour enfants | 20 | |
| { — adultes | 35 | |
| Écuries | 200 | |
| CHAMBRES ORDINAIRES | 15 | |
| Par bougie et par heure | 12 | Calculé. |
| Par lampe à huile et par heure (dépense | 30 | |
| 30 grammes d'huile) | | |
| Par lampe à pétrole et par heure (dépense | 45 | |
| 40 grammes de pétrole) | | |
| Par 100 litres de gaz d'éclairage et par heure | 35 | |

Entrée d'air pur. — L'air extérieur ne doit pas être introduit avec une vitesse supérieure à 1^m,25 par seconde ; il est donc facile de calculer les sections des tuyaux d'amenée.

Il convient en outre de tenir compte de la température et de l'état hygrométrique de l'air appelé, de le réchauffer ou de lui fournir de la vapeur d'eau au besoin pour maintenir dans le local de bonnes conditions hygiéniques.

Evacuation de l'air. — La ventilation par les appareils d'éclairage à récupération s'opère de deux façons principales. Une première partie de l'air arrive au brûleur et s'échappe dans le canal d'évacuation après avoir servi à la combustion du gaz. Une seconde partie d'air entraînée par le départ des fumées s'engouffre dans ce même canal d'évacuation, se mélange avec les gaz brûlés et s'échappe avec eux à l'extérieur.

Pour assurer une bonne ventilation, il suffira donc de donner une section suffisante à ces canaux d'évacuation. Or, nous connaissons le nombre de mètres cubes d'air qu'il faut extraire par heure au moyen de N appareils de ventilation; la section en mètres carrés ω du canal desservant une lampe, sera fournie par les formules approchées :

$$(1) \quad \omega = \frac{q_1 (1 + \alpha T) + q_2 (1 + \alpha t_i)}{v}$$

$$(2) \quad v = \sqrt{\frac{2 g H \alpha (t - t_o)}{1,25 (1 + \alpha t_o)}}$$

q_1 et T = Volume en mètres cubes et température des fumées fournies par une lampe à récupération en une seconde.

q_2 = Volume d'air en mètres cubes que doivent extraire par seconde les gaz brûlés d'une lampe.

t_i = Température du local.

t_o = — extérieure.

t = — moyenne de l'air et des fumées mélangées dans le canal d'évacuation $t = \frac{q_1 T + q_2 t_i}{q}$

H = Hauteur du canal d'évacuation mesurée verticalement de son orifice d'entrée à son orifice de sortie au dehors.

α = Coefficient de dilatation de l'air = 0,00367.

g = Accélération due à la pesanteur = 9,81

Le plus souvent la section du canal d'écoulement est prise entre deux et trois fois celle du tuyau de dégagement des fumées. Il nous semble préférable pour les grandes installations d'adopter des sections plutôt fortes que faibles, de façon à pouvoir, suivant les besoins et à l'aide de dispositifs spéciaux, augmenter ou diminuer les quantités d'air secondairement entraînés. L'installation du théâtre de l'Odéon, à Munich, faite suivant ce principe, a donné les meilleurs résultats.

CHAPITRE XVI

PHOTOMÉTRIE

La photométrie a pour objet la comparaison des intensités relatives de deux lumières ; les photomètres sont les appareils usités pour ces comparaisons.

On peut diviser les photomètres en plusieurs groupes principaux, savoir :

1° Les photomètres à un seul écran plan, recevant la lumière sur une même face (appareils de Foucault, de MM. Dumas Regnault, etc.).

Si, au lieu de recevoir les rayons lumineux, l'écran reçoit les ombres fournies par un corps solide placé entre lui et les lumières, nous serons en présence du photomètre de Rumfort ;

2° Les photomètres à deux écrans plans formant entre eux un angle dièdre (appareil de M. G. Villarcéau) ;

3° Les photomètres à un seul écran plan recevant la lumière sur les deux faces (appareil de Bunsen) ;

4° Les photomètres à projection (Wheastone) ;

5° Les photomètres à indications rapides (MM. Giroud, Sugg, etc.).

L'emploi des photomètres à écrans repose sur la loi de la variation des intensités lumineuses en raison inverse du carré des distances et proportionnellement au sinus de l'angle d'inclinaison.

$$i = \frac{L}{D^2} \sin \alpha$$

Soient L et L' les intensités des deux lumières qu'on compare; D , D' leur distance à l'écran; α et α' les angles des rayons lumineux tombant sur cet écran. Quand ce dernier sera également éclairé par les deux sources lumineuses, on aura l'équation :

$$\frac{L}{D^2} \sin \alpha = \frac{L'}{D'^2} \sin \alpha'$$

Pour ne pas avoir à tenir compte des angles α et α' , on s'arrange pour ne comparer que des rayons tombant sur l'écran sous le même angle; dans ce cas, la formule devient :

$$\frac{L}{D^2} = \frac{L'}{D'^2}$$

M. Leroux, dans un savant mémoire présenté en 1886 à la Société technique, a démontré que dans les photomètres usuels « en aucun cas, deux foyers différents, situés à quelque distance que ce soit d'un écran plan, ne peuvent également éclairer une portion superficielle de celui-ci, si petite soit-elle ». En discutant les formules auxquelles il était arrivé, il a défini dans quelles conditions spéciales il existe sur l'écran *un point* (photomètre de Bunsen), *deux points ou une droite* (photomètres Foucault, Villarceau, Dumas et Regnault) qui peuvent être également éclairés. Il résulte en outre de ses

recherches que les erreurs pouvant résulter de l'application de la loi des distances sont, dans la comparaison d'intensités très différentes, toujours au profit des gros foyers ; elles peuvent atteindre 28 p. 100.

Ilâtons-nous de dire toutefois qu'avec le photomètre de MM. Dumas Regnault, quand on observe exactement dans les essais, les conditions prescrites par ces deux savants, les erreurs de mesure peuvent être considérées comme pratiquement nulles.

ÉTALONS DE LUMIÈRE

Nous avons dit que, pour déterminer l'intensité L d'un foyer, on la compare à celle L' d'un autre foyer pris pour type. Ce dernier est ce qu'on appelle l'*étalon de lumière*.

En France, on adopte comme étalon la *lampe Carcel* brûlant dans les conditions prescrites par MM. Dumas et Regnault. (Voir plus loin.)

En Angleterre, en Allemagne et dans d'autres pays on préfère évaluer le pouvoir éclairant en *bougies*. Ces dernières sont alors soumises à des procédés de fabrication au point de vue de la mèche et de la matière combustible.

Malgré tout, elles ne présente pas la même régularité d'intensité que la Carcel, et les écarts que peuvent atteindre les variations peuvent aller d'après M. Giroud jusqu'à :

- 33,10 p. 100 pour la bougie de l'Étoile ;
- 25,67 — pour la bougie allemande de Spermacetti (fine mèche ;
- 33,16 — pour la bougie anglaise de Spermacetti (grosse mèche.

D'autres étalons ont été proposés, parmi lesquels le bec à vapeur de pentane (Vernon-Harcourt), l'étalon de platine incandescent (M. Violle). Ce dernier répond à l'intensité lumineuse émise par 1^{cmq} de platine fondu à 1775°

TABLEAU DE COMPARAISON DES ÉTALONS LUMINEUX

| VALEUR EN CARCELS DES ÉTALONS | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Carcel | Vernon-Harcourt vapeurs de pentane | Viole platine incandescent | BOUGIES | | | | | |
| | | | Allemande ou Kerzen | Anglaise ou Candle | Normale de $\frac{1}{7,5}$ Carcel | stéarique de Munich | de Spermacetti ordinaire | Etoile ordinaire |
| 1 | 8 | 2,08 | 7,89 | 8,91 | 7,5 | 8,73 | 9,60 | 9,50 |

Au point de vue de la détermination du pouvoir éclairant du gaz, la Carcel offre sur les autres étalons l'avantage de se rapprocher comme intensité lumineuse de celle fournie par le bec employé dans les essais.

Choix de la flamme. Gaz. — Nous savons, d'après les expériences de MM. Andouin et Bérard, que tous les becs n'utilisent pas également le gaz. Il importe donc de fixer une fois pour toutes, le brûleur dont on devra se servir pour les essais.

En France, on emploie le bec à jet de 30 trous avec panier porcelaine et sans cône. Ce bec est défini de dimensions dans le paragraphe suivant. Il donne, avec du gaz de Paris au titre normal, une Carcel pour 105 litres.

En Angleterre, on a adopté le brûleur d'Argand qui consomme 142 litres de gaz normal ; il fournit 17 p. 100 de lumière en plus que le bec français.

A Munich et à Berlin, on emploie de préférence le bec fendu.

PHOTOMÈTRE DUMAS ET REGNAULT

Cet appareil est suffisamment connu pour qu'il soit utile d'en donner la description. Il nous suffira de rappeler que, dans ce photomètre, les deux lumières situées dans un même plan horizontal sont symétriquement placées par rapport à un deuxième plan vertical passant comme le premier au centre de l'écran. La lampe Carcel et le bec de gaz sont à égale distance de cet écran.

Voici la copie des instructions données par MM. Dumas et Regnault relativement aux essais pour la détermination du pouvoir éclairant du gaz.

RÈGLES A SUIVRE

DANS LES EXPÉRIENCES

DE VÉRIFICATION DU POUVOIR ÉCLAIRANT

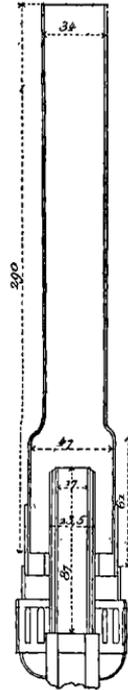
La flamme de la lampe Carcel, prise pour type, et celle du bec de gaz normal sont amenées et maintenues une égale intensité, sous le rapport du pouvoir éclairant. Quand la lampe a brûlé 10 grammes d'huile, le

bec doit avoir brûlé 25 litres de gaz, s'échappant sous la pression de 2 à 3 millimètres d'eau.

1^o. DESCRIPTION DES APPAREILS

Lampe Carcel.

| | | |
|--|-----|---------|
| Diamètre extérieur du bec..... | 23 | mill. 5 |
| Diamètre intérieur du bec (ou du courant d'air intérieur)..... | 17 | » |
| Diamètre du courant d'air extérieur..... | 45 | » |
| Hauteur totale du verre..... | 290 | » |
| Distance du coude à la base du verre..... | 61 | » |
| Diamètre extérieur au niveau du coude..... | 47 | » |
| Diamètre extérieur du verre pris au haut de la cheminée..... | 34 | » |
| Épaisseur moyenne du verre..... | 2 | » |



Conditions de la mèche.

Mèche moyenne, dite mèche des phares.

La tresse est composée de 75 brins. Le décimètre de longueur pèse 3 gr. 6. Les mèches doivent être conservées dans un endroit sec, ou, si le local est humide, dans une boîte contenant de la chaux vive dans un double fond ; cette chaux sera renouvelée avant sa complète extinction.

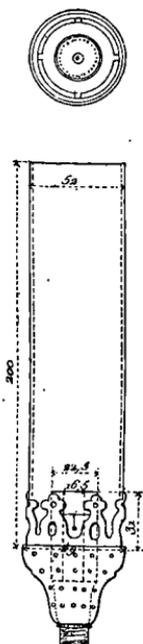
Conditions de l'huile.

On emploiera de l'huile de colza épurée.

Bec à gaz.

Le bec d'essai est un bec Bengel en porcelaine à

30 trous, avec panier et sans cône, comme le montre la figure ci-devant.



| | |
|---|------------------------------------|
| Hauteur totale du bec..... | 80 mill » |
| Distance de la naissance de la galerie au sommet du bec..... | 31 » |
| Hauteur de la partie cylindrique du bec. | 46 » |
| Diamètre extérieur du cylindre en porcelaine..... | 22 » |
| Diamètre du courant d'air intérieur., | 9 » |
| Diamètre du cercle sur lequel sont percés les trous..... | 16 5 |
| Diamètre moyen des trous..... | 0 6 |
| Hauteur du verre..... | 200 » |
| Epaisseur du verre..... | 3 » |
| Diamètre extérieur du verre | } en haut. 52 » } en bas.. 49 » |
| Nombre de trous percés dans le panier. |  | 109 » |
| Diamètre des trous du panier..... | 3 » |

Les becs qui seront employés aux essais devront avoir été préalablement comparés aux becs-types conservés sous scellés.

2° PRÉPARATION DE L'ESSAI

L'essai comprend l'allumage et les mesures.

Allumage de la lampe.

Mettre une mèche neuve.

La couper à fleur du porte-mèche.

Remplir la lampe exactement d'huile jusqu'à la naissance de la galerie.

Monter la lampe.

L'allumer, en maintenant d'abord la mèche à 5 ou 6 millimètres de hauteur.

Placer le verre.

Pour régler la dépense, on élève la mèche à une hauteur de 10 millimètres et le verre de telle sorte que le coude soit à une hauteur de 7 millimètres, et au-dessus du niveau de la mèche.

Pour obtenir ces conditions, on fait affleurer la pointe inférieure du petit appareil qui est adapté au porte-mèche, avec la mèche elle-même et la pointe supérieure avec un trait au diamant marqué sur le col du verre.

La lampe doit consommer 42 grammes d'huile à l'heure, et il importe de la régler à ce chiffre. Quand la consommation descend au dessous de 38 grammes, ou qu'elle s'élève au-dessus de 46 grammes, l'essai est annulé.

Allumage du bec.

On allume le bec, en ayant soin de faire porter la partie inférieure du verre sur la base de la galerie.

On le laisse brûler; ainsi que la lampe, une demi-heure avant de commencer l'opération.

On mesure la pression sur le manomètre adapté au porte-bec. Elle doit être de 2 à 3 millimètres d'eau.

Mesures.

Tarer la lampe. Pour cela, la placer dans le cylindre fixé à un des plateaux de la balance, et établir l'équilibre au moyen de grenailles de plomb.

Ajouter sur le plateau où se trouve la lampe, un petit poids supplémentaire (A).

Etablir la communication du fléau de la balance avec le timbre.

S'assurer au moyen des mires, que la flamme de la lampe et celle du bec sont à la même hauteur et à une même distance de l'écran.

Ramener au zéro l'aiguille mobile sur l'axe du compteur à gaz, et celles du compteur à secondes.

3° ESSAI

Se placer derrière la lunette.

Pour obtenir des lumières égales dans les deux moitiés de l'écran, on fait varier la dépense du gaz au moyen du robinet à vis placé sur le compteur. Il est commode, pour apprécier plus sûrement les intensités relatives des deux lumières, de se servir de petites lames mobiles au moyen d'une vis, qui servent à diminuer le champ de l'instrument.

Quand le marteau frappe sur le timbre, on fait partir l'aiguille du compteur en tirant à soi le levier qui met en mouvement les deux aiguilles.

Accrocher le poids B au plateau dans lequel se trouve la lampe.

Rétablir la communication du fléau avec le timbre.

Pendant tout le temps que dure l'essai, on doit observer dans la lunette si l'égalité des deux lumières se maintient; au besoin, on la rétablit en réglant l'arrivée du gaz à l'aide du robinet à vis.

Au moment où le marteau frappe de nouveau sur le timbre, on presse sur le levier pour arrêter les deux aiguilles.

4^o RÉSULTAT DE L'ESSAI. — CALCUL

Lire la dépense sur le cadran du compteur.

Lire la pression sur le manomètre adapté au porte-bec.

Exemple du calcul.

Le compteur marque. 24 litres 5
 Comme le poids B pèse 10 gr. »
 la dépense du gaz pour 42 grammes d'huile sera :

$$2,45 \times 42 = 102 \text{ litres } 9.$$

Cet essai sera répété trois fois, de demi-heure en demi-heure. La lampe et le bec allumés au commencement de l'opération serviront, dans les mêmes conditions, pour le reste de l'expérience.

On prendra la moyenne des trois résultats.

La consommation normale de la lampe étant de 42 grammes d'huile à l'heure, pour brûler 10 grammes d'huile, il faudra 14' 17".

Ainsi le compteur à secondes permet de déterminer, dans chaque expérience, la consommation d'huile que la lampe fait par heure, et de reconnaître si l'on est dans les limites indiquées plus haut.

Par exemple, le compteur à secondes marque 13' 30", soit 13,5.

D'après la proportion suivante, on aura :

$$18 : 13,5 :: x : 68$$

$x = 38$ grammes 7, consommation d'huile de la lampe par heure.

5° VÉRIFICATION DU COMPTEUR

Elle doit être faite tous les huit jours en présence d'un agent de la Compagnie.

Préparation de l'expérience.

Remplir d'eau le gazomètre.

Y introduire le gaz. Pour cela, on ouvre le robinet qui donne accès au gaz, et, en même temps, celui qui laisse écouler l'eau.

Recueillir dans un vase l'eau qui s'échappe et l'introduire dans le réservoir supérieur.

Le gazomètre étant plein de gaz, fermez le robinet inférieur.

On doit s'assurer alors s'il n'y a pas de fuite dans l'ensemble des appareils. Pour cela, on ferme le robinet du porte-bec, on ouvre le robinet qui met en communication le gazomètre et le compteur, ainsi que le robinet à vis : on fait couler un peu d'eau du réservoir dans le gazomètre, jusqu'à ce que le manomètre marque une pression de 0^m,50 d'eau. Si cette pression n'a pas varié au bout de cinq minutes, il n'y a pas de fuites dans l'appareil.

Expérience.

Ramener à zéro l'aiguille du compteur.

Ouvrir en plein le robinet du compteur et celui du porte-bec.

Faire écouler l'eau du réservoir dans le gazomètre, au moyen du robinet disposé à cet effet.

On règle l'écoulement de l'eau au moyen de ce robinet;

de telle sorte que la pression indiquée par le manomètre ne dépasse pas $0^m,003$.

Quand le niveau de l'eau dans le gazomètre se trouve au zéro de l'échelle, faire partir l'aiguille mobile du compteur.

Quand le niveau de l'eau arrive dans le gazomètre au degré 25, on arrête l'aiguille du compteur.

On lit la division marquée par cette aiguille; si ces deux nombres sont d'accord, le compteur est exact.

Dans le cas où le nombre de litres représenté par la marche du compteur et celui qui serait indiqué par le gazomètre ne seraient pas d'accord, on répétera l'expérience trois fois chaque jour, pendant toute la semaine, et on prendra la moyenne.

Si la dépense du compteur, mesurée au gazomètre, présente des variations qui dépassent 1 p. 100, c'est-à-dire 0 litre 25, ou bien 2,5 divisions pour les 25 litres du compteur, celui-ci doit être mis en réparation et remplacé.

PHOTOMÈTRES A JET

En étudiant les becs-bougies, nous avons vu que :

1° Pour un même gaz et une même consommation, la hauteur de la flamme produite par les becs à un trou est presque directement proportionnelle au pouvoir éclairant du gaz.

2° Si l'on compare des gaz de qualités différentes brûlés dans un bec-bougie, les hauteurs de flamme sont en raison inverse du pouvoir éclairant.

La première loi a été appliquée dans la construction du *photomètre à jet, à dépense fixe*. L'appareil est formé

d'un bec-bougie, muni d'un excellent régulateur, de façon que la dépense du bec reste invariable. L'extrémité supérieure de la flamme s'élève ou s'abaisse suivant que le gaz brûlé est plus riche ou plus pauvre. On lit sur une échelle, graduée par comparaison, le pouvoir éclairant du gaz répondant aux diverses hauteurs de flamme.

La seconde loi a été appliquée par M. Giroud dans son *essaiyeur pratique*. Il fait consommer au bec-bougie une quantité de gaz suffisante pour donner à la flamme une hauteur déterminée. On déduit le pouvoir éclairant de la consommation ; soit, en effet, A, la consommation de gaz par heure faite par le bec-bougie avec le gaz normal, soit B, la consommation dans les mêmes conditions avec le gaz à essayer. Dans les deux cas, la hauteur des flammes est restée la même. Le pouvoir éclairant en Carcels sera donné alors par l'expression

$$x = \frac{A}{B}$$

Dans l'appareil Giroud, la hauteur de la flamme est prise égale à 105^{mm}; elle est obtenue par une dépense de 38 litres à l'heure avec le gaz normal de Paris. L'appareil est disposé de façon que les essais ne durent qu'une minute et, d'après la consommation du bec pendant ce temps, on obtient à l'aide d'un tableau le nombre de litres à brûler par heure, pour obtenir la Carcel dans le bec-type de 30 trous.

Les résultats fournis par cet appareil ne comportent pas des erreurs supérieures à 1 p. 100.

Voici le tableau de M. Giroud complété par M. Rabilot, permettant de comparer entre elles les diverses données photométriques.

TABLEAU DE DONNÉES PHOTOMÉTRIQUES

| MILLIMÈTRES parcourus par le contrepois du gazonètre (Essayeur Giroud) | POUVOIR ÉCLAIRANT CORRESPONDANT | | | | DÉPENSE équivalente en huile de coïza brûlée par heure en grammes | LITRES DE GAZ A BRULER | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---------------------------|--------------------------------------|
| | en Carrels | EN BOUCHES | | de l'Étoile du commerce | | par heure et Carrel | en 14' 17" dans un essai Dumas |
| | | réglementaires valant 7,5 | stéarine de Munich | | | | |
| 110 | 4,154 | 10,373 | 12,110 | 13,130 | 36,3 | 91,97 | 21,897 |
| 115 | 4,104 | 9,528 | 11,126 | 12,068 | 38,0 | 95,10 | 22,642 |
| 117 | 4,085 | 9,190 | 10,730 | 11,640 | 38,6 | 96,75 | 23,035 |
| 118 | 4,076 | 9,021 | 10,532 | 11,426 | 39,0 | 97,38 | 23,233 |
| 119 | 4,066 | 8,852 | 10,334 | 11,212 | 39,3 | 98,41 | 23,430 |
| 120 | 4,058 | 8,683 | 10,136 | 10,998 | 39,6 | 99,24 | 23,628 |
| 121 | 4,049 | 8,514 | 9,938 | 10,784 | 40,0 | 100,06 | 23,820 |
| 122 | 4,040 | 8,345 | 9,740 | 10,570 | 40,3 | 100,89 | 24,020 |
| 123 | 4,032 | 8,176 | 9,542 | 10,346 | 40,6 | 101,72 | 24,219 |
| 124 | 4,024 | 8,007 | 9,344 | 10,142 | 41,0 | 102,54 | 24,414 |
| 125 | 4,016 | 7,838 | 9,146 | 9,928 | 41,3 | 103,35 | 24,607 |
| 126 | 4,007 | 7,669 | 8,948 | 9,714 | 41,6 | 104,17 | 24,802 |
| 127 | 4,000 | 7,500 | 8,750 | 9,500 | 42,0 | 105,0 | 25,000 |
| 128 | 0,992 | 7,331 | 8,552 | 9,286 | 42,3 | 105,85 | 25,202 |
| 129 | 0,984 | 6,162 | 8,354 | 9,072 | 42,6 | 106,67 | 25,397 |
| 130 | 0,976 | 6,993 | 8,156 | 8,858 | 42,9 | 107,50 | 25,595 |
| 131 | 0,969 | 6,824 | 7,958 | 8,644 | 43,3 | 108,32 | 25,790 |
| 132 | 0,962 | 6,685 | 7,760 | 8,430 | 43,6 | 109,15 | 25,988 |
| 133 | 0,954 | 6,468 | 7,562 | 8,216 | 43,9 | 109,97 | 26,183 |
| 134 | 0,947 | 6,317 | 7,364 | 8,068 | 44,3 | 110,80 | 26,380 |
| 135 | 0,940 | 6,148 | 7,166 | 7,788 | 44,6 | 111,62 | 26,576 |
| 136 | 0,933 | 5,979 | 6,968 | 7,474 | 44,9 | 112,45 | 26,773 |
| 137 | 0,927 | 5,810 | 6,770 | 7,360 | 45,3 | 113,27 | 26,969 |
| 138 | 0,920 | 5,303 | 6,176 | 6,718 | 45,6 | 115,77 | 27,564 |
| 139 | 0,914 | 4,458 | 5,186 | 5,648 | 45,9 | 119,95 | 28,547 |
| 140 | 0,907 | 3,613 | 4,196 | 4,378 | 46,2 | 124,04 | 29,533 |

COMPARAISON DE DIVERS ÉCLAIRAGES

Les essais photométriques permettent de comparer la valeur de diverses lumières ; on déduit facilement de ces comparaisons le coût de chacune d'elles en appliquant le prix auquel revient une intensité lumineuse donnée. Le lecteur pourra faire lui-même ses calculs en se basant sur les chiffres ci-dessous.

TABLEAU DES CONSOMMATIONS ET INTENSITÉS
DES PRINCIPAUX FOYERS LUMINEUX

| FOYERS LUMINEUX | DÉPENSE | Pouvoir éclairant en Carcels |
|--|---------|------------------------------|
| <i>1° Chandelles et Bougies.</i> | | |
| | grammes | c. |
| Chandelle de suif..... | 8,60 | 0,108 |
| Bougie stéarique..... | 10,23 | 0,133 |
| — de paraffine..... | 7,70 | 0,100 |
| — de spermacetti..... | 8,21 | 0,104 |
| <i>2° Huile.</i> | | |
| Lampe à mèche ronde de 15 ^{mm} | 17,66 | 0,470 |
| — — 20,3..... | 21,31 | 0,576 |
| — — 23,55..... | 42,00 | 1,000 |
| — — 24,80..... | 29,33 | 0,764 |
| <i>3° Pétrole.</i> | | |
| Lampe ordinaire, mèche plate..... | 39,70 | 1,260 |
| — — — — — ronde..... | 49,00 | 1,780 |
| Brûleur rond ordinaire, diamètre de 25 ^{mm} | 54,20 | 1,670 |
| — à petit disque — 30 ^{mm} | 63,40 | 2,000 |
| — Vulcain $d = 30^{\text{mm}}$ | 84,90 | 2,480 |
| Lampe belge..... | 102,00 | 4,400 |
| — — — — — | 90,00 | 4,100 |
| Lampe Sépulchre ou Rochester..... | 90,00 | 3,960 |
| <i>4° Gaz.</i> | | |
| Papillon fente 3/10 ^{mm} | litres | c |
| — — 5/10..... | 63 | 0,45 |
| — — 6/10..... | 84 | 0,65 |
| — — 7/10..... | 135 | 1,05 |
| — — — — — | 200 | 1,75 |

| FOYERS LUMINEUX | DÉPENSE | Pouvoir éclairant en Carcels |
|--|---------------------|------------------------------|
| <i>Gaz (suite).</i> | | |
| | litres | c. |
| Manchester trous de 1,5..... | 146 | 1,00 |
| Bec à jet 20 trous..... | 159 | 1,00 |
| — 30 —..... | 126 | 1,00 |
| Bec Monnier..... | 126 | 1,20 |
| — Vioche..... | 266 | 3,00 |
| — à disque..... | 286 | 3,10 |
| — phare 60 jets..... | 203 | 2,15 |
| — — 80 jets..... | 223 | 2,85 |
| — Chaussenot..... | 150 | 2,30 |
| — Delmas globe clair, fente 3/10 ^{mm} | 63 | 1,00 |
| — — — 5/10..... | 84 | 1,33 |
| — — — 6/10..... | 135 | 2,35 |
| — — — 7/10..... | 200 | 4,00 |
| — de la rue du 4 Septembre..... | 873 | 8,00 |
| — Giroud..... | 700 | 9,00 |
| — Guibout..... | 950 | 20,00 |
| — Breittmayer..... | 700 | 14,00 |
| — —..... | 1,000 | 20,00 |
| — Marini Goelzer..... | 800 | 8,05 |
| — sphéroïdal (Bengel)..... | 700 | 9,20 |
| — Ulrich et Mesmer..... | 500 | 7,00 |
| — Schulke..... | 200 | 5,72 |
| — —..... | 300 | 9,60 |
| — Industriel..... | 425 | 10,00 |
| — —..... | 750 | 22,00 |
| — Siemens..... | 600 | 15,00 |
| — —..... | 2,200 | 72,00 |
| Lampe Cromartie petit modèle..... | 170 | 3,70 |
| — — grand modèle..... | 366 | 5,72 |
| — Wenham (verticalement)..... | 170 | 5,08 |
| — —..... | 283 | 11,09 |
| — —..... | 426 | 12,30 |
| Bec Auer..... | 93 | 1,00 |
| — Clamond, nouveau modèle..... | 135 | 2,00 |
| — —..... | 190 | 3,86 |
| — —..... | 300 | 5,50 |
| <i>5° Electricité.</i> | | |
| Lampes à arc (courant continu)..... | 0,7 wats par bougie | |
| — — (courant alternatif)..... | 1,30 — | — |
| Bougies électriques..... | 2,30 — | — |
| Lampes à incandescence type A..... | 4 — | — |
| — — type B..... | 3,2 — | — |

CHAPITRE XVII

EMPLOI DU GAZ AU CHAUFFAGE

ET A LA CUISINE

Puissance calorifique calculée. — La puissance calorifique du gaz d'éclairage peut se calculer approximativement et suivant la méthode indiquée dans le chapitre relatif au chauffage des fours. Nous donnons ci-dessous un tableau obtenu par l'application de cette méthode.

| COMPOSÉS contenus dans le gaz | POIDS d'un m. c. des composés ci-contre | COMPOSITION moyenne du gaz en volume | POIDS des volumes ci-contre | CALORIES dégagées par 1 kg. des composés | CALORIES dégagées par les composés contenus dans 1 m. c. de gaz |
|---|---|---|--------------------------------------|--|---|
| C ³ H ⁴ — C ² H ⁿ | 1,2650 | 0,08 | 0,1012 | 11857 | 1209,41 |
| C ² H ⁴ | 0,7209 | 0,35 | 0,2523 | 13063 | 3295,79 |
| CO..... | 1,2516 | 0,07 | 0,0859 | 2473 | 212,43 |
| CO ² | 1,9774 | 0,02 | 0,0395 | » | » |
| H..... | 0,0806 | 0,48 | 0,0430 | 34462 | 1481,86 |
| | | 1,00 | 0,5219 | | 6199,49 |

Si la composition du gaz avait été connue en poids, au lieu d'être connue en volume, on aurait calculé la puissance calorifique du kilogramme de gaz, et obtenu celle du mètre cube par une simple division.

Il est bon de rappeler que le tableau ci-dessus est calculé dans l'hypothèse où tous les produits de la combustion sont ramenés à 0° et à la pression barométrique de 760^{mm}.

Dans le tableau suivant, nous calculons, toujours d'après la méthode antérieurement décrite, les volumes et les poids d'air nécessaires à la combustion de 1 mètre cube de gaz, et les poids et volumes des produits brûlés.

| ÉLÉMENTS | Composition en volume | Poids des éléments ci-contre | AIR pour la combustion | | PRODUIT de la combustion | |
|---|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | | | en vol. | en poids | en vol. | en poids |
| C ⁴ H ⁴ — C ⁿ H ⁿ | 0,08 | 0,1012 | 1,353 | 1,750 | 1,0727 | 1,851 |
| C ² H ⁴ | 0,35 | 0,2523 | 2,907 | 3,760 | 3,9357 | 4,012 |
| CO..... | 0,07 | 0,0859 | 0,165 | 0,213 | 0,1898 | 0,298 |
| CO ² | 0,02 | 0,0395 | » | » | 0,0200 | 0,0395 |
| H..... | 0,48 | 0,0430 | 1,157 | 1,496 | 1,2470 | 1,539 |
| TOTAUX. ... | 1,00 | 0,5219 | 5,582 | 7,219 | 6,4652 | 7,739 |

L'examen de ces tableaux fait voir qu'un mètre cube de gaz consomme théoriquement pendant sa combustion 5^m3,582 d'air et que, dans ce cas, la puissance calorifique est environ 6,000 calories. Il suffirait donc d'après cela de consommer 17 litres de gaz pour élever de 0 à 100° la température d'un litre d'eau $17 \times 6000 = 102$ calories. Nous verrons que les divers brûleurs ne permettent pas d'obtenir cette utilisation.

Une autre remarque est intéressante à faire. La combustion entraîne une contraction des volumes de gaz et d'air : Ainsi nous calculons que pour 1 mètre cube de gaz il faut 5^m3,582 d'air ; les produits brûlés devraient

donc avoir $6^{\text{m}^3},582$ tandis qu'ils ont $6^{\text{m}^3},4652$. La contraction est ici de 2 p. 100. MM. Witz et Dugald Clerk ont trouvé, avec des gaz différents, le premier 4,2 p. 100, le second 5 p. 100.

Une dernière conclusion à tirer du premier tableau, c'est que les gaz riches en hydrogène ne sont pas, comme on l'avait longtemps supposé, spécialement convenables au chauffage. Sans doute, de tous les gaz, l'hydrogène est celui dont la puissance calorifique est maximum; mais la puissance calorifique est rapportée aux poids et non aux volumes. Or, le gaz d'éclairage est consommé et vendu au volume, et le calcul, aussi bien que l'expérience démontre que le maximum de chaleur est obtenu avec le gaz le plus éclairant, c'est-à-dire celui qui renferme le plus d'hydrocarbures. Des expériences concluantes dans ce sens ont été faites à la Compagnie Parisienne, et on est d'accord aujourd'hui pour reconnaître que le pouvoir chauffant du gaz est lié d'une manière très intime au pouvoir éclairant.

Détermination expérimentale de la puissance calorifique du gaz. — Sans entrer dans le détail des essais faits récemment par M. Witz pour déterminer expérimentalement le pouvoir calorifique du gaz, nous dirons seulement qu'il résulte de ses nombreuses et savantes expériences sur des gaz dont la densité a varié entre 0,34 et 0,38, que la puissance calorifique moyenne a été de 5,164.

Si nous avions pu connaître la composition moyenne de ces différents gaz, nous aurions pu faire la comparaison intéressante sans doute des puissances calori-

fiques obtenues d'une part par le calcul et de l'autre par l'expérience.

Combustion du gaz dans les foyers de cuisine et de chauffage. — En pratique, on doit brûler le gaz toujours avec un excès d'air; le combustible et le comburant sont pris le plus souvent à la température ambiante, et les produits de la combustion sont évacués à la pression barométrique du moment et à une température qui varie entre 50° et 200°. On conçoit donc qu'on ne puisse obtenir d'un mètre cube de gaz tout le calorifique qu'il peut fournir.

Rendements. — Avec les *appareils de cuisine à vase interposés*, le maximum de rendement obtenu est de 55 p. 100; le plus souvent l'effet utile reste compris entre 40 et 50 p. 100. Dans ce cas il faut compter sur 35 à 45 litres de gaz pour porter un litre d'eau de 0 à 100°.

Avec les *poêles, calorifères*, le rendement est généralement meilleur, mais il reste très variable; il oscille entre 30 p. 100 (avec les bûches) et 85 p. 100 (avec les appareils à récupération).

Les *chauffe-bains* sont les brûleurs qui utilisent le mieux la puissance calorifique du gaz. Ils ont un effet utile qui peut atteindre 85 et 95 p. 100.

On détermine le rendement des divers brûleurs d'une manière assez simple: Pour les réchauds, appareils de cuisine, chauffe-bains, on calcule la quantité de gaz employée à élever à t° degrés un poids d'eau connu; pour les poêles d'appartements, cheminées, etc., on mesure ou on calcule Q la puissance calorifique du gaz,

on détermine q , la chaleur évacuée par les fumées, et on déduit le rendement de la formule :

$$R = \frac{Q - q}{Q}.$$

Au concours de Bruxelles, en 1887, la valeur de q , exprimée en fonction de H , pression barométrique, T , t , températures des fumées et de l'enceinte, P , p , poids en milligrammes de la vapeur d'eau contenue dans deux litres des fumées et deux litres de l'air dans l'enceinte chauffée, était la suivante :

$$q = 627 + \left[\frac{228,4 \times H}{(P-p)(273+t)} + 0,55 \right] (T - t) - 0,718 t$$

Conditions de meilleur rendement. — On sait que le gaz peut brûler blanc ou bleu suivant la quantité d'air qu'il reçoit pour sa combustion. Les meilleurs brûleurs seront ceux qui donneront au gaz l'air dont il a besoin pour brûler complètement dans les conditions où s'opère sa combustion. Tout air en plus deviendra nuisible puisqu'il agira comme diluant et fera perdre un plus grand nombre de calories par les fumées. M. Lefèvre, à la Compagnie Parisienne, a d'ailleurs donné expérimentalement la preuve de ce fait théorique; on doit mélanger de l'air au gaz brûlant dans les réchauds juste en quantité suffisante pour éviter le dépôt de noir de fumée sur les ustensiles de cuisine; la production de ce dépôt répondrait, en effet, à une combustion incomplète.

Comme deuxième condition, il faut opérer la combustion du gaz à la plus basse pression possible, il en

résulte une durée de chauffage plus longue, mais une utilisation meilleure du gaz.

Comme conditions secondaires, nous citerons la nécessité de proportionner la flamme au récipient qu'elle chauffe et de maintenir celui-ci à une distance convenable du brûleur.

Les flammes compactes conviennent spécialement au chauffage des grandes masses d'eau (chauffe-bains); les flammes à jets séparés ou en lame sont préférables pour les réchauds; enfin, pour les poêles et les cheminées, les flammes à jets séparés donnent les meilleurs résultats, surtout quand on utilise à la fois les réflecteurs et les réchauffeurs d'air par circulation.

TABLEAU DES DÉPENSES MOYENNES DES PRINCIPAUX APPAREILS DE CUISINE ET CHAUFFAGE

| TRAVAIL EFFECTUÉ | TEMPS de chauffe en minutes | GAZ en litres consommé en moyenne |
|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| Pour élever à 100° 1 litre d'eau (réchauds à lame) | 9 | 30 |
| — (réchauds ordin.) | 5 | 45 |
| Pour faire un rôti de 1 kil. (rôtissoire ordinaire) | 45 | 320 |
| 1,5 | 10 | 380 |
| 2,0 | 60 | 400 |
| Chauffage d'un bain, 160 litres d'eau à 14° à porter de 14 à 34° (rendement 85 à 95° p.100) | 20 à 30 | 850—1000 |
| CALORIFÈRES | RENDEMENT | |
| Calorifère en tôle à récupération, flamme bleue... — — — — — | 75—85 p. 100 | |
| — — — — — flamme blanche. | 65—75 — | |
| Foyers à réflecteur, flamme blanche..... | 60—70 — | |
| — à garniture d'amiante..... | 50—60 — | |
| Bâches dans les cheminées..... | 25—45 — | |

CHAPITRE XVIII

EMPLOI DU GAZ

A LA PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE MOTEURS A GAZ

Quand on enflamme un mélange d'air et de gaz fait en proportion convenable, il se produit une détonation violente et un dégagement considérable de chaleur. Il est facile de concevoir que, devant l'élévation de température ainsi obtenue, les produits de la combustion ont une tendance très grande à se dilater et qu'il est facile d'utiliser cette force de dilatation à la production d'un mouvement mécanique.

Si nous appelons t la température absolue (273°) et T la température absolue des produits de la combustion à volume constant, V et v les volumes des produits brûlés et du mélange avant l'explosion, on aura pour la pression développée en atmosphères :

$$x^{\text{atm.}} = \frac{T}{t} \times \frac{v}{V}$$

Cette pression varie entre 7 et 9 atmosphères, quand la combustion a lieu dans des conditions convenables.

Composition du mélange tonnant. — Chaque machine utilise pour ainsi dire son mélange spécial. Néanmoins,

on peut admettre que, le plus souvent, on emploie de 8 à 10 p. 100 d'air. L'expérience démontre qu'il est préférable d'employer les mélanges les plus pauvres, pourvu qu'ils restent inflammables.

Division des moteurs. — Les moteurs à gaz peuvent se ranger en quatre groupes principaux :

- 1° Moteurs à explosion sans compression (Ravcl, Lenoir, etc.).
- 2° — — — avec — (Otto, Delamarre Debutteville et Malandin).
- 3° — à combustion avec compression (Simon).
- 4° — atmosphériques. (Otto-Languen.)

Rendement thermique. — On appelle rendement thermique ou coefficient économique théorique les rapports

$$\rho_1 = \frac{Q - Q_1}{Q} = \frac{T - T_1}{T}$$

dans lesquels Q est la quantité totale de chaleur fournie par la combustion, Q_1 le nombre de calories emportées par les gaz hors du cylindre, T la température absolue de la combustion, T_1 la température absolue des gaz évacués.

Le rendement thermique ainsi calculé répond à l'effet utile maximum qu'on peut tirer d'un nombre donné de calories (dégagées par la combustion complète du gaz employé), quand on les transforme en travail suivant le cycle de Carnot à l'aide d'un gaz ou d'une vapeur.

En appliquant ces formules aux moteurs à gaz, M. A. Witz a trouvé :

| MOTEURS DU GROUPE | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Coefficient économique... | 0,24 | 0,38 | 0,23 | 0,39 |

Rendement calorifique pratique. — Nous entendons par rendement calorifique pratique le rapport

$$\rho_2 = \frac{Q - Q_2}{Q}$$

dans lequel Q a la même valeur que précédemment, mais où Q_2 représente le nombre de calories réellement transformées en travail. Voici les résultats trouvés par M. Witz dans ses expériences.

| MOTEURS DU GROUPE | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Rendement calorifique prat... | 0,056 | 0,136 | 0,140 | 0,136 |

Si nous comparons les rendements théoriques aux rendements pratiques, nous aurons les différences suivantes.

| MOTEURS DU GROUPE | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Rend. calorifique théorique... | 0,24 | 0,38 | 0,23 | 0,39 |
| — pratique.... | 0,056 | 0,136 | 0,140 | 0,136 |
| Différences ou pertes..... | 0,184 | 0,244 | 0,090 | 0,254 |

Quelles sont les causes de ces pertes ? Nous pouvons citer, parmi les principales, les résistances passives du moteur, le refroidissement du cylindre, l'imperfection de la détente.

Perfectibilité des moteurs à gaz. — Il résulte de notre dernier tableau que les moteurs à gaz ont à réaliser de nombreux progrès.

D'après les études de M. Witz, il faut, pour augmenter le rendement calorifique pratique :

1° Rendre la vitesse de détente aussi grande que possible et, partant, la combustion plus rapide, l'explosion plus forte ;

2° Réduire au minimum les pertes par les parois du cylindre ;

3° Augmenter le rapport $\frac{Q}{V}$ de la chaleur contenue dans le mélange tonnant au volume qu'occupe ce dernier dans le cylindre ;

4° Diminuer enfin les résistances passives.

La rapidité de détente est réalisée dans les moteurs atmosphériques ; malheureusement ces appareils ont des résistances passives considérables qui tiennent aux défauts du mécanisme.

Les moteurs Otto, Delamarre-Deboutville et Malandin ont réalisé surtout la troisième condition par la compression préalable du mélange tonnant. Ces moteurs donnent aussi d'excellents résultats et ont acquis la préférence des acheteurs. Le moteur Delamarre-Deboutville et Malandin réaliserait, d'après les derniers essais, un rendement calorifique pratique de 20 p. 100.

CONSUMMATION MOYENNE DES MOTEURS A GAZ

| MOTEURS | CONSUMMATION par cheval et par heure | MOTEURS | CONSUMMATION par cheval et par heure |
|----------------|--|------------------------|--|
| | litres | | litres |
| Lenoir (anc.) | 2,500-2,700 | Bentz..... | 800-1,200 |
| Otto-Languen | 1,200-1,500 | Lenoir (actuel) | 700-1,000 |
| Otto..... | 700-1,000 | Delamarre-Deboutville. | 650-1,000 |
| Ravel (ancien) | 1,200-1,400 | Benier..... | 1,200-1,500 |
| Simon..... | 750-1,400 | Bischof..... | 1,850 pour le type de 1 cheval |

Comparaison entre les machines à vapeur et les moteurs à gaz tonnant au point de vue du rendement calorifique. — Les *moteurs à gaz* peuvent fonctionner entre les limites moyennes des températures absolues $T = 1,700^{\circ}$ $T_1 = 300$.

D'après le cycle de Carnot, le rendement calorifique serait entre ces températures :

$$\rho_1 = \frac{1700-300}{1700} = 0,824 \quad (1)$$

Si nous admettons qu'en pratique on dépasse 1 mètre cube par cheval et par heure, le rendement calorifique pratique ρ_2 sera :

$$\rho_2 = \frac{270000 \text{ kgm.}}{425} \times \frac{1}{5700} = 0,111 \quad (2)$$

Nous prenons 5,700 pour puissance calorifique du gaz, chiffre moyen entre ceux indiqués par divers expérimentateurs. D'après cela, on a :

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{0,111}{0,824} \times 3 = 0,414 \quad (3)$$

Faisons les mêmes calculs pour les *machines à vapeur*.
Les limites extrêmes de température entre lesquelles
peuvent fonctionner ces machines sont :

$$\begin{aligned} T &= 453^{\circ} \text{ absolu (répondant à la pression de 10 atmosphères).} \\ T_1 &= 283^{\circ} \text{ —} \end{aligned}$$

Dans ces conditions, on a :

$$\rho_1' = \frac{453 - 283}{453} = 0,375 \quad (4)$$

Or, la dépense de combustible par cheval et par heure
est, avec les meilleures machines à condensation, de un
kilogramme par cheval et par heure.

On aura donc :

$$\rho_2' = \frac{270000 \text{ kgm.}}{423} \times \frac{1}{8000} = 0,079 \quad (5)$$

On déduit de là :

$$\frac{\rho_2'}{\rho_1'} = \frac{0,079}{0,340} = 0,232 \quad (6)$$

En comparant les équations (1) et (4), nous voyons
que les moteurs à gaz s'appliquent à réaliser un cycle de
beaucoup plus parfait que celui des machines à vapeur,

En revanche, l'examen des expressions (3) et (6) dé-
montre que les premiers réalisent actuellement fort mal
leur cycle théorique, tandis que les secondes réalisent
le leur d'une façon plus parfaite.

Cela nous ramène donc à dire que, non seulement les
moteurs à gaz sont perfectibles, mais encore qu'ils le
sont à un plus haut degré que les machines à vapeur,
leurs concurrentes.

Il faut espérer que les moteurs à gaz, si favorable-

ment accueillis déjà par la petite et moyenne industrie arriveront dans un avenir prochain, grâce à leurs perfectionnements successifs, à conquérir encore un domaine plus large et à remplacer presque absolument les machines à vapeur fixes actuellement en usage.

CHAPITRE XIX

EAUX AMMONIACALES

Azote dans les houilles. — Les houilles renferment une proportion d'azote variant entre 1 et 2 p. 100. Cet élément paraît exister dans les houilles à l'état combiné : 1° sous forme d'ammoniaque; 2° sous forme de sels azotés; 3° sous forme d'huiles ou d'alcaloïdes.

Nous possédons fort peu d'analyses indiquant la quantité d'azote renfermé dans chaque houille. Presque tous les renseignements connus à ce sujet sont groupés dans le tableau suivant :

TABLEAU DES TENEURS EN AZOTE DE DIVERSES HOUILLES

| AUTEURS des analyses | HOUILLES | AZOTE p. 100 |
|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| <i>Anglaises.</i> | | |
| Forster | Durham | 1,76 |
| D ^r Percy | Three-Quarter-Vain | 1,65 |
| — | Big-Vain | 1,47 |
| — | Low-Vain | 2,05 |
| Ch. Mene | Wolverhampton | 1,84 |
| Wright | Yorkshire | 1,28 |
| Ch. Mene | Newcastle | 1,32 |
| — | Doulain | 1,84 |

| AUTEURS des analyses | HOUILLES | AZOTE p. 100 |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| <i>Belges.</i> | | |
| Mines | Denain | 1,281 |
| — | Grand-Hornu..... | 0,959 |
| — | Jemmapes | 1,648 |
| <i>Allemandes.</i> | | |
| D ^r Knublauch | Westphalie I..... | 1,550 |
| — | — II..... | 1,479 |
| — | Bassin de la Saar..... | 1,760 |
| <i>Françaises.</i> | | |
| M. de Marsilly | Haut-Flénu grasse..... | 1,450 |
| — | Escouffiaux | 1,250 |
| — | Agrappe..... | 1,375 |
| — | Bracquignies | 1,000 |
| — | Mariemont..... | 0,750 |
| — | Bassin de Charleroi (moyenne).... | 0,930 |
| — | — de Valenciennes (moyenne)..... | 1,650 |
| — | Bruai..... | 1,875 |
| — | Nœux | 1,525 |
| (?) | Houilles de Billy (moyenne)..... | 1,340 |
| | — de Liévin (moyenne)..... | 1,400 |
| | — Bousquet-d'Orb (moyenne)..... | 1,570 |
| M. Escande | Salle lavé (Gard)..... | 1,670 |
| — | Trelys lavé — | 0,960 |
| — | Martinet lavé — | 1,310 |
| — | Fontanes lavé — | 0,670 |
| Résultats fournis par M. L. | Cransac (Aveyron) tout venant..... | 0,470 |
| | Carmaux menus..... | 0,272 |

Voici, d'après Musprat Stohmann, le rendement de quelques houilles anglaises en eau ammoniacale, dont malheureusement le degré n'est pas donné.

| HOUILLES | EAU AMMONIACALE par tonne de charbon |
|-----------------------------------|---|
| Newcastle | 27 ^k ,2 |
| Wigam-Cannel..... | 73,3 |
| Lochgelly..... | 154,1 |
| 7/8 Lochgelly et 1/8 Boghead..... | 77,0 |
| 9/10 — 1/10 — | 131,5 |
| 11/12 — 1/12 — | 124,0 |
| Felton-Main (Durham)..... | 51,0 |
| 3/4 — 1/4 Boghead | 52,9 |
| Lesmehago-Cannel I..... | 2,0 ⁴ |
| — II..... | 2,0 ⁴ |
| Ramsays New-Castle Cannel..... | 3,0 ⁴ |
| Derbyshire, deep-seam..... | 81,1 |

Dégagement de l'azote pendant la distillation. — L'azote se retrouve dans les produits de la distillation sous forme de composés ammoniacaux ou cyanogénés. Il semble que c'est aux environs de 1,150° qu'on obtient, dans les matières volatiles, le maximum d'ammoniaque; aux basses températures, la distillation en donne très peu, et, au-dessus de 1,200°, le rendement commence à baisser. Nous savons, d'autre part, que les températures très élevées favorisent la formation des composés du cyanogène, ce qui suffit à expliquer comment, au delà d'un certain degré de chaleur, la proportion d'ammoniaque contenue dans le gaz diminue.

Le docteur Forster a recherché comment varie la proportion d'ammoniaque dans le gaz aux différentes périodes de la distillation.

Voici le résumé de ses recherches :

La houille distillée (Durham) contenait 1,76 p. 100 d'azote; 250 kilogrammes de houille avaient été mis en

distillation, et les essais du gaz avaient lieu de 45 en 45 minutes.

PRODUCTION D'AMMONIAQUE DANS LES DIFFÉRENTES PHASES
DE LA DISTILLATION

| NUMÉROS des essais | GAZ PRODUIT m ³ | AMMONIAQUE exprimé en c. c. de la liquour acide nécessaire à la saturation | p. 100 de l'ammoniaque total produit dans la distillation |
|--|-------------------------------|---|--|
| 1 | 19,819 | 651 c. c. | 9,90 |
| 2 | 14,440 | 960 | 14,60 |
| 3 | 13,306 | 1,771 | 26,94 |
| 4 | 13,023 | 1,202 | 18,28 |
| 5 | 15,066 | 1,412 | 21,48 |
| 6 | 4,812 | 496 | 7,54 |
| 7 | 2,831 | 83 | 1,26 |
| Durée de la distillation, 5 h. 45' | Rendement 33,3 p. 100 | 6,575 c. c. | 100,00 |

Des essais récents ont été faits à la Compagnie Parisienne. Dans une distillation de quatre heures, on a obtenu dans les deux premières heures 83 p. 100 environ de la production totale de l'ammoniaque.

La chaux, mêlée à la houille en petite quantité, augmente le rendement en ammoniaque de 15 à 20 p. 100. Il semble enfin que le rendement augmente avec la teneur des houilles en eau combinée.

Répartition de l'azote des houilles entre les produits de la distillation. — Le docteur Forster a publié sur cette question des détails très intéressants, résumés dans le tableau ci-dessous :

MIGRATION DE L'AZOTE DANS LES PRODUITS DE LA DISTILLATION

| ÉCHANTILLONS | N° 4 Cannel d'Ecosse | | N° 2 Cannel anglais | | N° 3 Yorkshire | | N° 4 Durham | | N° 5 Yorkshire | |
|---|-------------------------|--------|------------------------|--------|-------------------|--------|----------------|--------|-------------------|--------|
| | totalité | p. 100 | totalité | p. 100 | totalité | p. 100 | totalité | p. 100 | totalité | p. 100 |
| Azote dégagée en ammoniacque, résultats moyens excepté pour le n° 4 | 0, 227 | 47, 8 | 0, 192 | 11, 6 | 0, 209 | 12, 5 | 0, 251 | 14, 5 | 0, 195 | 41, 1 |
| Azote dégagé en cyanogène. | 0, 005 | 0, 4 | inconnu | * | 0, 006 | 0, 4 | 0, 027 | 1, 5 | 0, 004 | 0, 2 |
| Azote non dosé dont la majeure partie doit rester dans le gaz. | 0, 387 | 30, 2 | 0, 593 | 35, 7 | 0, 354 | 21, 2 | 0, 610 | 35, 3 | 0, 452 | 25, 9 |
| Azote en combinaison chimique dans le coke. . . | 0, 661 | 51, 6 | 0, 875 | 52, 7 | 1, 101 | 65, 9 | 0, 842 | 48, 7 | 1, 099 | 62, 8 |
| TOTAUX | 1, 280 | 100, 0 | 1, 660 | 100, 0 | 1, 670 | 100, 0 | 1, 730 | 100, 0 | 1, 750 | 100, 0 |
| Kilogrammes de sulfate d'ammoniacque que peut produire 1 tonne de houille. | 10, 853 | | 9, 182 | | 9, 993 | | 11, 959 | | 9, 286 | |

La teneur du coke en azote, indiquée dans le tableau précédent, est assurément un peu forte; d'autre part, la proportion de cyanogène obtenue est un peu faible; cela tient évidemment à ce que les résultats précédents répondent à des essais de laboratoire dans lesquels la distillation ne peut être réalisée suivant les conditions ordinaires de la pratique.

M. Guégen, opérant avec des houilles françaises, a obtenu, de son côté, au laboratoire les résultats suivants :

| AZOTE | Répartition de 100 d'Azote | |
|---|----------------------------|--------------------------|
| | Houille du Grand Buisson | Houille Liévin (fosse 1) |
| Azote recueilli sous forme d'ammoniaque... | 19 p. 100 | 3½ p. 100 |
| — non dosé et admis sous forme de cyanogène et alcaloïdes dans le goudron, et à l'état libre dans le gaz..... | 29 " | 27 " |
| Azote dosé dans le coke | 52 " | 39 " |
| TOTAUX..... | 100 p. 100 | 100 p. 100 |

Nous donnons ci-dessous les résultats des essais faits à Cologne par Knublauch avec des houilles de Westphalie.

| AZOTE RECUEILLI DANS LES PRODUITS DE LA DISTILLATION | | |
|--|-------------|---|
| Sous forme d'ammoniaque. . . . | 10 à 1½ | } p. 100 de l'azote total contenu dans la houille |
| Sous forme de ferrocyanure dans les vieilles matières..... | 1,5 à 1,2 | |
| Dans le goudron | 1,0 à 1,3 | |
| Dans le coke | 31,0 à 36,0 | |

La quantité d'azote restant dans le coke est d'autant moindre que la distillation a été opérée à plus haute température ; dans ces conditions, la proportion de cyanogène produite et entraînée par les matières volatiles va aussi en augmentant.

Production des eaux ammoniacales. — Nous savons que l'ammoniaque, contenue dans les matières volatiles, au sortir des cornues est retenue en presque totalité dans les liquides de condensation et de lavage. Le restant demeure dans les caisses d'épuration d'où on l'extrait par lessivage. Les liquides ainsi obtenus sont appelées eaux ammoniacales.

Une tonne de houille produit de 5 à 8 litres d'eaux ammoniacales ou de lavage, pesant de 2° à 3° Baumé ; mais ce rendement est dépassé avec les houilles riches en azote et en oxygène.

Comme moyenne, on peut admettre par tonne de houille la production de 230 à 260 litres d'eaux à 1° Baumé.

Composition de l'eau ammoniacale. — Les eaux ammoniacales contiennent en dissolution un grand nombre de composés ammoniacaux, que nous classerons en *composés fixes* prenant naissance au-dessus de 100°, et en *composés volatils* qui se forment au-dessous de cette température.

TABLEAU DES PRINCIPAUX SELS CONTENUS DANS LES
EAUX AMMONIACALES

| SELS FIXES | FORMULES |
|---|---|
| Chlorhydrate d'ammoniaque..... | Az H ⁴ Cl |
| Sulfate — | Az H ⁴ O SO ³ |
| Cyanhydrate — | Az H ⁴ Cy |
| Sulfocyanure — | Az H ⁴ S Cy S |
| Ferrocyanure d'ammonium..... | Az H ⁴ Fe Cy ⁶ |
| Sels d'amines organiques azotées. | |
| SELS VOLATILS | FORMULES |
| Monocarbonate d'ammoniaque..... | Az H ⁴ O, CO ² |
| Bicarbonate — | Az H ⁴ O, 2 CO ² HO |
| Sesquicarbonate — | 2 Az H ⁴ O, 3 CO ² , 2 HO |
| Sulfocarbonate — | Az H ⁴ CS ³ |
| Sulfhydrate d'ammoniaque..... | Az H ⁴ S |
| Sulfite et hyposulfite d'ammoniaque.... | Az H ⁴ O, SO ² |
| | Az H ⁴ O, S ² O ² |
| Acétate d'ammoniaque..... | Az H ⁴ O, C ⁴ H ³ O ³ |

Examinons sommairement les propriétés des principaux sels.

Chlorhydrate d'ammoniaque. — Appelé aussi sel ammoniac, il cristallise en octaèdres, groupés sous forme de feuilles, sa densité est de 1,5. Doué d'une saveur aigrelette, il est très soluble dans l'eau. (Voir *Aide-mémoire*.) Il se volatilise au rouge sans subir aucune fusion; à une température plus élevée, il se décompose en

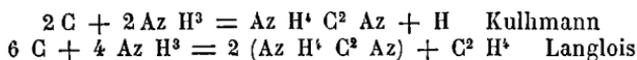
dégageant de l'hydrogène et de l'azote. Il se trouve ordinairement en petite quantité dans les eaux de distillation, à moins que les houilles n'aient été mouillées par l'eau de mer.

Il est utilisé dans l'industrie pour le décapage des métaux.

Sulfate d'ammoniaque. — Ce sel est très fixe, il fond à 150° sans se décomposer; il cristallise en prismes droits, brillants et incolores. Doué d'une saveur piquante, il se fond très facilement dans l'eau. (Voir les tables du Formulaire.) Nous parlerons plus loin de ses usages.

Cyanhydrate d'ammoniaque ou cyanure d'ammonium. — Corps solide incolore et d'une odeur rappelant l'acide prussique; très vénéneux. Il est soluble dans l'eau et l'alcool; en dissolution il se décompose à la longue en laissant déposer de l'acide azulmique.

Modes de formation :



Il précipite par l'azotate d'argent et donne une poudre blanche, dans l'ammoniaque, avec l'azotate de cuivre en présence du sulfate de fer il donne un précipité blanc de cyanure cuivreux.

Sulfocyanure d'ammonium ou sulfocyanate d'ammonium. — Les sulfocyanates se forment dans la distillation de la houille par la fixation du soufre sur un cyanure, par la réaction de certains sulfures sur des polysulfures alcalins, enfin par la réaction de l'ammo-

niaque et de l'acide cyanhydrique en présence du soufre et du sulfhydrate d'ammonium, M. Shultzenberger donne également la réaction suivante :



Le sulfocyanate d'ammonium précipite par l'azotate d'argent et par l'azotate de cuivre en présence du sulfate de fer. Les composés cyanogénés, perdus jusqu'à ce jour dans les usines à gaz doivent finir un jour ou l'autre par être utilisés.

Carbonates d'ammoniaque. — Les carbonates d'ammoniaque sont facilement décomposés par les acides énergiques et dégagent leur acide carbonique. Ils sont particulièrement volatils.

Le *monocarbonate* ne se rencontre qu'en petites quantités dans les eaux de gaz, il se décompose facilement au contact de l'air et produit du bicarbonate; on n'a pas pu l'obtenir encore isolé. Le *sesquicarbonate*, plus stable que le précédent est néanmoins décomposé au contact de l'air; il se dédouble alors en ammoniaque et bicarbonate. Ce dernier est de tous les carbonates celui qui est le plus stable en dissolution.

C'est à l'action de l'air sur les carbonates d'ammoniaque qu'est dû l'appauvrissement des eaux ammoniacales dans les citernes; il convient de tenir ces dernières aussi complètement closes que possible. La perte par évaporation peut atteindre 25 p. 100.

Sulfhydrate d'ammoniaque. — Ce sel est doué d'une odeur sulfhydrique très caractéristique; il est très volatil, même à la température ordinaire et il se dissout facile-

ment dans l'eau. La solution, incolore au début, jaunit par l'exposition à l'air, à la suite de la formation de polysulfures, ou peut-être de la dissolution dans la liqueur du soufre devenu libre. Il existe plusieurs sulfhydrates d'ammoniaque, mais le plus important est certainement le sulfhydrate neutre que nous venons de considérer et dont la formule est $Az\ II^{\text{S}}$.

Sulfite d'ammoniaque. — Ce sel est principalement caractérisé par sa propriété d'absorber l'oxygène de l'air pour se transformer en sulfate. Il est devenu aujourd'hui très important au point de vue industriel, en raison de l'application que M. de Lachomette vient d'en faire pour la fabrication économique du sulfate d'ammoniaque. Ce sel cristallise en prismes à six pans, il a une saveur piquante et fraîche; il est très soluble dans l'eau surtout à chaud.

Analyses des eaux ammoniacales. — L'analyse quantitative d'une eau ammoniacale est une opération longue et délicate. Nous donnons ci-dessous la méthode de dosage préconisée par M. Dyson, dans le *Journal of the society of the chiminal industrie*, et reproduite dans le *Journal des usine à gaz* du 5 avril 1884.

Dosage de l'ammoniaque en totalité. — 25 centimètres cubes d'eau de l'échantillon sont introduits dans un ballon, puis additionnés de magnésie et mis en ébullition. L'ammoniaque dégagée est recueillie dans 50° d'acide sulfurique titré et après épuisement on titre le bain avec une liqueur normale de soude.

Dosage du soufre en totalité. — 25 centimètres cubes d'eau de l'échantillon sont versés goutte à goutte avec

une burette dans de l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique et contenant un excès de brome. L'excès de brome est ensuite évaporé et la solution filtrée; le soufre est alors précipité à l'état de sulfate de baryum au moyen du chlorure de baryum.

Dosage des sulfures. — A 25 centimètres cubes d'eau de l'échantillon, on ajoute du sulfate de zinc et du chlorure d'ammonium. On filtre et on lave le précipité retenu. Le papier du filtre est incisé en divers points et lavé avec de l'eau légèrement acidulée par de l'acide chlorhydrique contenant un excès de brome. Lorsque le lavage du précipité et du filtre a été bien complètement effectué, les liquides sont réunis et chauffés pour chasser le brome. On filtre encore et le soufre est précipité à l'état de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

Dosage des carbonates. — À 50 centimètres cubes d'eau de l'échantillon, on ajoute une solution ammoniacale de chlorure de calcium. Le précipité (carbonate de chaux) est retenu sur un filtre, puis dissous dans 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique titré. Cette dissolution est à son tour titrée avec une liqueur normale de soude.

Dosage du chlorure. — 50 centimètres cubes d'eau de l'échantillon sont évaporés à siccité au bain-marie. Le résidu est dissous dans de l'eau distillée et filtré. Au liquide obtenu on ajoute du sulfate de fer et du sulfate de cuivre et on filtre de nouveau. On ajoute ensuite de l'acide nitrique et du nitrate d'argent. La dissolution est portée à l'ébullition puis décantée après un certain repos et le liquide surnageant filtré. Le chlorure d'argent ainsi obtenu est mis à digérer avec de l'acide nitrique,

pour enlever par dissolution le sulfure d'argent résultant de la décomposition du sulfocyanure d'argent; il est ensuite retenu sur un filtre séché et pesé.

Dosage du sulfocyanure. — Le dosage du sulfocyanure présente quelques difficultés. Un essai a été fait pour le déterminer par un titrage direct au moyen du permanganate de potassium, après déplacement des autres agents réducteurs, mais la couleur rose n'a pu être obtenue permanente. Une méthode par les pesées peut toutefois être basée sur l'insolubilité du sulfocyanate de cuivre. Ainsi 50 centimètres cubes d'eau de l'échantillon sont évaporés à complète siccité et le résidu chauffé à 100° pendant trois à quatre heures. Si ce chauffage prolongé est négligé, le sulfocyanate cuivreux qui est précipité ultérieurement se présente en parties si tenues qu'on ne peut filtrer. Ce résidu est mis à digérer dans de l'alcool pur, puis rincé (à l'eau) et lavé sur filtre (à l'alcool). Le liquide alcoolique ainsi obtenu est passé au filtre, puis évaporé à siccité et le résidu dissous dans l'eau distillée et filtré pour retenir les matières organiques. On obtient ainsi une solution de sulfocyanate d'ammonium passablement dégagée des autres sels ammoniacaux et des matières organiques. Il faut toutefois déplacer encore l'hyposulfate qui est insoluble dans l'alcool, parce que le sulfocyanure de cuivre est assez soluble dans les dissolutions de ce sel.

Le liquide contenant le sulfocyanate d'ammonium est donc traité par addition d'acide sulfurique et de sulfate de cuivre.

Lorsque le sulfate de fer est employé comme agent réducteur, il n'y a pas de difficultés à filtrer, mais les résultats obtenus sont trop forts; la solution précédente

est doucement chauffée et (après repos) le sulfocyanate de cuivre est retenu par filtration si on fait bouillir cette solution, le précipité noircit fréquemment, un nouveau dépôt brun noir se produit et les résultats sont trop forts; le sulfocyanate cuivreux est lavé dans un flacon, dissous dans l'acide nitrique et bouilli pendant longtemps. Le cuivre est alors précipité comme oxyde par la soude caustique. Le poids $\text{CuO} \times 0,96$ donne le poids de sulfocyanate d'ammonium.

Dosage du sulfate. — 250 centimètres cubes d'eau de l'échantillon sont évaporés jusqu'à siccité. Le résidu dissous dans l'eau distillée, puis filtré et mis à bouillir avec de l'acide chlorhydrique. On ajoute un peu d'oxyde de zinc; on filtre et le sulfate est précipité par le chlorure de baryum.

Dosage de l'hyposulfite. — On arrive au résultat en retranchant de la quantité totale de soufre le soufre répondant aux sulfure, sulfocyanate et sulfate.

Dosage des ferrocyanures. — Le résidu obtenu en évaporant 250 centimètres cubes d'eau de l'échantillon jusqu'à siccité, est dissous dans l'eau distillée. On ajoute du chlorure de fer et on filtre. Le précipité bleu de Prusse est retenu sur un filtre lavé et décomposé par la soude caustique. L'hydrate de fer ainsi obtenu est dissous dans l'acide sulfurique dilué, puis titré avec une solution de permanganate de potasse. Le fer multiplié par 5,07 donne le poids de ferrocyanure d'ammonium.

Comme on le voit la méthode ci-dessus d'analyse est assez complexe; nous pensons même qu'en certains points elle pourrait être avantageusement modifiée. Nous l'avons reproduite à titre de document.

Quoi qu'il en soit dans la pratique courante, on ne

fait pas dans les usines à gaz l'analyse complète des eaux. Le plus souvent on détermine leur degré à l'aréomètre Baumé, et on évalue la teneur en ammoniacque, en multipliant par 0,65 le nombre de degrés relevés.

Les résultats ainsi obtenus ne sont que des approximations, parce que la densité d'eau ammoniacale (relevée par l'aréomètre), varie notablement suivant les proportions de sels ammoniacaux qu'elle renferme. Voici, d'après Steidel, une table donnant la teneur en ammoniacque de différentes eaux marquant le même degré à l'aréomètre Baumé.

TENEURS EN Az II³ DE DIVERSES EAUX DE MÊME DENSITÉ

| Degrés Baumé | 2° | 2°,5 | 3° | 3°,5 | 4° | 4°,5 | 5° | 6° |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Densité à 15° | 1,0138 | 1,0163 | 1,0208 | 1,0249 | 1,0280 | 1,0316 | 1,0352 | 1,0426 |
| Ammoniacque p. 100. | 1,16 | 1,30 | | | | | | |
| | 1,42 | 1,43 | | | | | | |
| | 1,50 | 1,63 | 1,63 | | | | | |
| | 1,77 | 1,77 | 1,76 | | | | | |
| | | 1,98 | 1,90 | 1,87 | | | | |
| | | 2,18 | 2,10 | 2,00 | | | | |
| | | 2,65 | 2,38 | 2,24 | | | | |
| | | | 2,45 | 2,40 | | | | |
| | | | | 2,72 | | | | |
| | | | | | 2,55 | | | |
| | | | | | 2,72 | 2,79 | | |
| | | | | | 2,90 | 2,85 | | |
| | | | | 3,10 | 3,06 | | | |
| | | | | | 3,40 | | | |
| | | | | | 3,53 | 3,67 | 3,74 | |

Le tableau ci-après dû à Gerlach vient à l'appui du précédent, et montre combien il y a de variations entre les indications de l'aréomètre et la quantité d'ammoniacque contenu dans les eaux.

TENEURS EN Az H^3 DE DIVERSES EAUX

| HOUILLES DISTILLÉES | GRAMMES d'Az H ³ par 100 c. m. c. | DEGRÉS Beaumé | VILLES |
|--|--|------------------|-----------------|
| <i>Houilles allemandes.</i> | | | |
| Houille de Zwickan..... | 1,209 | 1,60 | Chemnitz. |
| — et Bohême. | 0,908 | 1,66 | Leipsig. |
| — et de Burgk. | 0,944 | 1,50 | Dresde. |
| Houille de Burgk..... | 1,862 | 2,80 | Freiberg. |
| — de la Ruhr..... | 1,812 | 2,10 | Bonn. |
| — — | 1,292 | 1,75 | Eupen. |
| — — | 1,826 | 2,25 | Cologne |
| — — | 1,278 | 1,50 | Dortmund |
| Houille de la Sarre..... | 1,574 | > | Augsbourg. |
| — — | 1,523 | 2,50 | Trèves. |
| — — | 1,870 | 3,20 | Zurich. |
| — — | 1,435 | 3,00 | Munich. |
| Houille de Silésie..... | 2,339 | 3,00 | Berlin. |
| — — | 2,290 | | Pest. |
| — — et de Bohême | 1,030 | 2,00 | Prague. |
| <i>Houilles anglaises.</i> | | | |
| Cannel Boghead..... | 2,881 | 3,75 | Hambourg. |
| Houille anglaise..... | 3,514 | 4,00 | Stettin. |
| — — | 2,659 | 3,00 | St-Petersbourg. |
| — — | 2,244 | 3,30 | Trieste. |
| — — | 2,142 | 3,50 | Stralsund. |
| Leverson Walsend Old Pelton Main..... | 2,366 | 4,00 | Altona. |
| Houille anglaise..... | 2,407 | 4,00 | Copenhague. |
| New Pelton Ravensworth ... | 1,785 | 2,75 | Riga. |
| Old Pelton Main.. | 1,727 | 3,00 | Kœnisberg. |
| Houille anglaise..... | 1,966 | 3,00 | Stettin |
| Old Pelton Main.. | 2,345 | 3,00 | Dantzig. |

Il est donc rationnel, toutes les fois qu'on désire des indications précises, d'avoir recours à l'analyse chimique.

Il existe un grand nombre de méthodes convenables pour le dosage de l'ammoniaque dans les eaux de gaz. En voici une qui est simple et rapide :

On prend 10 à 20 centimètres cubes de l'échantillon

à analyser et on les introduit dans un ballon à fond plat (10 centimètres cubes suffisent pour des eaux marquant 2° Baumé et au-dessus ; mais au-dessous de 2° il est préférable d'opérer sur 20 centimètres cubes au moins).

On ajoute dans le ballon une quantité d'alcali (soude ou potasse) suffisante pour chasser l'ammoniaque de ses combinaisons, on fait bouillir lentement la liqueur, et on recueille l'ammoniaque qui se dégage dans un volume connu d'acide sulfurique titré. Cet acide est coloré avec de la teinture de lakmoïde, et doit demeurer rouge jusqu'à la fin de l'essai. On arrête l'ébullition du ballon quand le liquide qu'il contenait a été réduit à moitié de son volume ; on détermine alors à l'aide d'une liqueur alcaline titrée (soude, potasse, borate de soude, etc.), la proportion d'acide sulfurique que l'ammoniaque a saturée, et on obtient par le calcul la teneur de l'eau du gaz en ammoniaque.

Quand on ne veut déterminer que l'ammoniaque volatile contenue dans l'eau, on chauffe dans le ballon à fond plat sans ajouter d'alcali.

Les liqueurs titrées suivantes sont employées commodément.

La liqueur sulfurique est faite demi-normale contenant 24^{gr},50 d'acide par litre ; la liqueur alcaline est une dissolution de borate de soude demi-normale saturant la précédente, volume à volume.

Soit, avec ces liqueurs, n le nombre de centimètres cubes d'acide saturés par l'ammoniaque. Si on a opéré sur 10 centimètres cubes d'eau ammoniacale, on en déduira :

| | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---------------------|---|------|------------|-----|---|
| Teneur de l'eau de gaz en azote | = | 0 ^{gr} .70 | × | n | par litre. | | |
| » | | ammoniaque | = | 0 85 | × | n | » |
| Sulfate correspondant | = | 3 33 | × | n | » | ' | |

Comme complément, voici le tableau des principaux multiplicateurs de l'azote.

MULTIPLICATEURS DE L'AZOTE

| | | | | |
|---------------|---|--------|---|----------------------------|
| Poids d'azote | × | 1,2143 | = | poids d'ammoniaque. |
| id. | × | 4,7169 | = | » de sulfate d'ammoniaque. |
| id. | × | 3,8183 | = | » chlorhydrate » |
| id. | × | 4,7143 | = | » phosphate » |
| id. | × | 3,7143 | = | » azotate » |

REMARQUE I. — M. Chevallet a proposé d'employer pour liqueur titrée acide une dissolution renfermant 75 grammes d'acide sulfurique par litre. Cette liqueur est très commode quand on désire obtenir immédiatement la quantité de sulfate que peut donner l'eau ammoniacale, chaque centimètre cube de liqueur répond en effet à 0^{es}.10 de sulfate.

REMARQUE II. — Nous avons dit que la liqueur acide devait être colorée par de la teinture de lakmoïde : la coloration ainsi obtenue est en effet plus durable que celle due au tournesol ; le tournesol est très vite décoloré par l'hydrogène sulfuré qui se dégage.

Résultats d'analyses. — A titre de document, voici un certain nombre d'analyses d'eaux ammoniacales.

ANALYSES DE CH. HUNT (Birmingham)

| PROVENANCE DE L'EAU | Poids d'Az N ³ dans 1,000 litres | | CO ² dans 1,000 litres | | HS dans 1,000 litres | | Quantité de gaz CO ² et HS par kil. d'Az N ³ | |
|--------------------------------------|--|--------|--------------------------------------|-------|-------------------------|------|--|------|
| | kil. | lit. | en | | en | | en | |
| | | | poids | vol. | poids | vol. | poids | vol. |
| Eau provenant de l'usine de Windsor. | 22,783 | 23,358 | 12,474 | 6,248 | 4,117 | 1,29 | 710 | |
| — de laveur | 50,993 | 59,447 | 31,753 | 9,117 | 5,094 | 1,34 | 740 | |
| — de scrubber | 35,588 | 44,233 | 23,628 | 4,753 | 3,125 | 1,38 | 752 | |
| — de scrubber Mann au coke..... | 21,700 | 25,753 | 13,756 | 6,987 | 4,603 | 1,50 | 846 | |
| — — avec cailloux..... | 18,443 | 25,130 | 13,424 | 4,163 | 2,698 | 1,58 | 874 | |
| — — Yong..... | 9,331 | 12,092 | 6,460 | 3,575 | 2,350 | 1,66 | 944 | |

ANALYSE D'UNE EAU AMMONIACALE
PROVENANT DE L'USINE DE LEADS (Angleterre.)

| ÉLÉMENTS | GRAMMES PAR LITRE | Az H ³ |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|
| Ammoniaque totale..... | 20,45 | |
| Soufre total..... | 3,92 | |
| Sulfhydrate d'ammoniaque..... | 3,03 | |
| Carbonate —..... | 39,16 | |
| Chlorhydrate —..... | 14,23 | |
| Sulfocyanure d'ammonium..... | 1,80 | |
| Sulfate d'ammoniaque..... | 0,19 | |
| Hyposulfite d'ammoniaque..... | 2,80 | |
| Ferrocyanure d'ammonium..... | 0,41 | |

Analyse faite par la méthode de Dyson indiquée page 433.

ANALYSES DONNÉES PAR GERLACH

| UN LITRE D'EAU renferme en grammes | Chemnitz Charbon de Zwickau | Autres villes de Saxe Charbon de Zwickau | Bonn Charbon de la Rhur | Trèves Charbon de la Sarre | Zurich Charbon de la Sarre |
|--|-----------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Ammoniaque totale..... | 12,090 | 9,400 | 18,120 | 15,230 | 3,470 |
| Hyposulfite d'ammoniaque. | 1,036 | 1,628 | 5,032 | 2,072 | 0,296 |
| Sulfhydrate "..... | 0,340 | 0,616 | 6,222 | 2,468 | 1,248 |
| Bicarbonate "..... | 1,050 | 1,470 | 2,450 | | |
| Monocarbonate "..... | 4,560 | 7,680 | 33,120 | 33,763 | 5,856 |
| Sulfate..... | 0,462 | 0,858 | 1,320 | | |
| Chlorhydrate..... | 30,495 | 17,120 | 3,745 | 4,922 | 1,926 |
| Sels ammoniacaux en tota- lité..... | 37,043 | 29,402 | 51,889 | 43,225 | 9,506 |

L'analyse de l'eau ammoniacale donnée page 443 provenait de l'usine de Bradford ; elle pesait 5° à l'aéromètre Beaumé.

COMPOSITION D'EAUX AMMONIACALES PROVENANT D'UNE MÊME HOUILLE (LUNGE)

| COMPOSÉS et particularités | BARILLET | | 4 ^{er} condenseur tubulaire | | 3 ^o condenseur tubulaire | | 4 ^o condenseur tubulaire | | 1 ^o laveur | | Dernier laveur | |
|---|----------|------------------|---|------------------|--|------------------|--|------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Sels | AzH ³ | Sels | AzH ³ | Sels | AzH ³ | Sels | AzH ³ | Sels | AzH ³ | Sels | AzH ³ |
| Couleur | id. | | incolore | | id. | | id. | | incolore | | id. | |
| Densité à 15°.5 centigr. | 4,044 | | 1,033 | | 1,075 | | 1,120 | | 1,022 | | 1,010 | |
| Sulfhydrate d'ammon. | 5,40 | 2,60 | 34,71 | 47,36 | 71,43 | 35,71 | 120,60 | 60,30 | 22,74 | 11,37 | 27,43 | 8,4 |
| Carbonate de | 8,05 | 2,75 | 38,34 | 17,14 | 116,00 | 41,14 | 173,23 | 61,43 | 64,46 | 22,86 | 24,14 | 8,57 |
| Hyposulfite de | 1,74 | 0,40 | traces | " | 0,59 | 0,59 | 10,93 | 2,53 | 3,29 | 0,73 | 1,93 | 0,44 |
| Sulfate de | 0,11 | 0,03 | " | " | " | " | 5,03 | 1,16 | " | " | " | " |
| Sulfocyanure d'ammonium | 4,60 | 0,36 | 0,13 | 0,03 | traces | " | " | " | 1,60 | 0,36 | 0,39 | 0,09 |
| Chlorure id. | 22,17 | 7,04 | 1,70 | 0,54 | 2,21 | 0,71 | 2,87 | 0,81 | 4,53 | 0,48 | 1,26 | 0,17 |
| Ferrocyanure id. | " | " | 0,31 | 0,07 | 0,59 | 0,14 | 1,79 | 0,43 | 5,36 | 1,29 | " | " |
| Ammoniaque totale gr. par litre | 13,39 | | 35,13 | | 78,19 | | 115,43 | | 35,71 | | 18,0 | |
| P. 100 d'ammoniaque fixe | 59 | | 1,8 | | 1,85 | | 2,2 | | 4, | | 4,0 | |
| tendants d'un m. c. en kg sulfate d'ammoniaque. | 50 | | 133 | | 308 | | 440 | | 132 | | 98 | |

ANALYSES DE MM. APPELYARD ET KAY

| | | |
|----------------------------|--------------|----------------|
| Ammoniaque totale..... | 29,21 à 29,8 | gr. par litre. |
| — volatil..... | 27,2 à 26,4 | » |
| Sulfocyanate d'ammoniaque. | 1,7 à 1,6 | » |
| Carbonate — | 57,4 à 57,2 | » |
| Soufre total..... | 6,38 à 6,36 | » |
| Sulfhydrate d'ammoniaque.. | 9,36 à 9,01 | » |
| Sulfite — .. | 1,56 à 1,52 | » |
| Sulfate — .. | 0,13 à 0,13 | » |
| Ferrocyanure — .. | 9,47 à 9,98 | » |

Nous donnons ci-contre, d'après Lunge la composition de divers échantillons d'eaux ammoniacales provenant d'une même houille, mais pris en différents points de l'usine.

Le tableau suivant est extrait du journal *Of gas Lighting*, et donne également quelques analyses d'eaux ammoniacales provenant d'une même houille.

COMPOSITION D'EAUX AMMONIACALES PROVENANT D'UNE MÊME HOUILLE

| PROVENANCE DE L'EAU | AMMONIAQUE | | TEMPÉRATURE de l'eau |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| | Volatil en gramme par litre | Fixe en gramme par litre | |
| Eau du barillet..... | p. 100 44,4 | p. 100 56,0 | 36°,6 |
| — — — .. | 46,0 | 54,0 | 36,11 |
| — du 1 ^{er} condenseur..... | 98,3 | 1,8 | 30,00 |
| — 2 ^e — .. | 98,9 | 1,1 | 24,40 |
| — 3 ^e — .. | 98,8 | 1,2 | 15,65 |
| — 4 ^e — .. | 98,6 | 1,4 | 13,89 |
| — 1 ^{er} laveur..... | 98,0 | 2,0 | 13,33 |
| — dernier laveur..... | 98,5 | 1,5 | 13,80 |

Ces derniers tableaux sont très intéressants à consulter, en ce sens qu'ils démontrent que les eaux am-

moniacales sont plus riches en sels volatiles au fur et à mesure qu'on s'éloigne du barillet.

TRAIEMENT DES EAUX AMMONIACALES

Dans les usines à gaz, les eaux ammoniacales sont surtout traitées en vue de la production du sulfate d'ammoniaque ou de l'alcali.

Quel que soit le produit à obtenir, le principe du travail est le même : chauffer les eaux à une température suffisante pour en chasser l'ammoniaque qu'on recueille dans un liquide approprié en se maintenant dans les conditions convenables à cet effet.

Distillation des eaux. — Les eaux peuvent être chauffées à feu nu ou par la vapeur. Voici le résultat des expériences faites par M. Tidy.

RENDEMENT DU CHAUFFAGE

| MODE DE CHAUFFAGE | DURÉE du travail | RENDEMENT |
|------------------------------------|---------------------|-----------|
| Chauffage à feu nu..... | 22 heures | 90 |
| id. à la vapeur avec serpentín | 18 » | 92 |
| id. » directemélangé coulíquide | 14 » | 98,5 |

} p. 100 duren-
dement théorique.

Appareils pour le traitement des eaux. — On utilise pour le traitement des eaux les appareils Mallet, Gruneber, Coffey, Lair, Chevalet, etc.

Ces appareils sont les uns à marche continue (ce sont les plus avantageux), les autres à marche intermittente ; ils sont établis soit pour traiter uniquement les sels ammoniacaux volatils, soit pour traiter à la fois les sels ammoniacaux fixes et ceux qui sont volatils.

Avec les derniers appareils, on doit avoir recours à l'emploi d'un alcali pour la décomposition des sels fixes. Cet alcali est en pratique la chaux ou quelquefois la soude qu'on introduit dans une chambre spéciale où arrivent les eaux déjà dégagées de l'ammoniaque volatil. Tous les ingénieurs ne conseillent pas la décomposition des sels fixes sous prétexte qu'elle est une complication du travail et que le bénéfice qui en résulte est souvent absorbé par la dépense de la chaux. Cette dernière peut être évaluée de 10 à 20 p. 100 du poids de sulfate produit, ce qui répond à peu près à une proportion de 0,350 à 0^{ks},780 par hectolitre d'eau et degré.

Eaux épuisées. — Les eaux épuisées sont évacuées après refroidissement, décantation et quelquefois filtrage. Elles doivent marquer à froid 0° à l'aréomètre Baumé et ne pas contenir d'ammoniaque en quantité appréciable. — Voici d'après le D^r Kœnig l'analyse d'une eau épuisée provenant d'un appareil traitant les sels ammoniacaux fixes.

ANALYSE D'UNE EAU ÉPUISÉE

| CORPS DOSÉS | GRAMMES PAR LITRE |
|---|-------------------|
| Résidu..... | 20,4230 |
| Sulfure de calcium..... | 2,5633 |
| Sulfocyanure de calcium..... | 2,3282 |
| Hyposulfite de chaux..... | 1,0913 |
| Sulfate de chaux..... | 0,5785 |
| Composés solubles dans l'éther (série du phénol)..... | 0,6080 |
| Chaux..... | 6,4481 |
| Autres composés, eau et éléments combinés à la chaux..... | 6,8056 |

Les eaux épuisées peuvent servir à la fabrication des sulfocyanures.

Alcali. — On produit l'alcali en recueillant le gaz ammoniac qui se dégage des appareils distillatoires dans une série de flacons de Wolff remplis aux 2/3 d'eau. Pour obtenir un produit blanc, les eaux à traiter doivent d'abord être dépouillées le plus possible de goudron ; les vapeurs produites par la distillation sont ensuite bien refroidies pour éliminer la vapeur d'eau et conduites de là à travers des épurateurs à poussier de coke qui retiennent une grande partie des huiles empyreumatiques entraînées.

Dans un laveur à soude on arrête les traces d'acide échappées de l'appareil distillatoire, et après un passage dans un épurateur à huile et à charbon le gaz ammoniac épuré est recueilli dans les appareils de saturation.

Dans quelques usines on préfère encore faire directement un premier alcali coloré, quitte à le purifier alors par une seconde distillation en présence de la chaux et un filtrage des vapeurs sur le charbon de bois.

L'alcali du commerce pèse ordinairement 21° Cartier. Il est utilisé en pharmacie dans l'impression des étoffes, la fabrication de la glace, des produits chimiques, etc.

Carbonate d'ammoniaque. — Ce produit s'obtient le plus généralement en traitant par la chaleur un mélange de sulfate d'ammoniaque et de carbonate de chaux. Il se dégage des vapeurs de carbonate d'ammoniaque (volatil à 70°) qu'on recueille dans des chambres de plomb. Le carbonate d'ammoniaque se dépose dans ces chambres en volumineux cristaux, qui sont purifiés

avant d'être livrés au commerce par une deuxième sublimation.

La maison Kunheim (de Berlin) prépare directement le carbonate d'ammoniaque en envoyant dans des chambres de plomb les vapeurs produites par la distillation des eaux ammoniacales, et un courant d'acide carbonique.

Ce sel renferme ordinairement 25 p. 100 d'ammoniaque et 52 p. 100 d'acide carbonique. Il est employé pour le lavage des laines, dans la teinture et la fabrication des pains de luxe et la pâtisserie.

Sel ammoniac. — Le sel ammoniac ou chlorhydrate d'ammoniaque peut s'obtenir en saturant directement l'acide chlorhydrique par le gaz ammoniac. Toutefois, cette méthode conduit à une perte d'ammoniaque et à une usure rapide des bacs.

Le procédé de fabrication le plus simple consiste à mélanger de l'alcali brut (procédé Lesage) ou de l'eau ammoniacale très concentrée (procédé anglais) avec de l'acide chlorhydrique en proportion suffisante pour obtenir un mélange neutre ou légèrement acide. Ce dernier est évaporé jusqu'à ce que le sel commence à cristalliser, et on laisse alors la cristallisation s'achever par simple refroidissement.

Les cristaux obtenus après égouttage sont grillés d'abord, puis sont sublimés et le sel blanc qui résulte de cette opération peut être immédiatement livré à la vente.

Le sel ammoniac sert dans la galvanisation des tôles, la teinture, le décapage des métaux et la fabrication du carbonate d'ammoniaque.

Sulfate d'ammoniaque. — Le sulfate est le produit principal obtenu dans les usines par le traitement des

eaux de gaz. On le fabrique en saturant un bain convenable d'acide sulfurique par le gaz ammoniac produit dans le traitement des eaux.

Le bain acide est ordinairement préparé de façon à peser 35 ou 38° Baumé au commencement de l'opération. Celle-ci est achevée quand le liquide du bain marque 28 à 29°.

Pour obtenir un sel blanc et homogène, il faut avoir soin de brasser le bain au fur et à mesure que le sel se dépose. Quand l'opération est terminée, on doit retirer le sel à chaud et bien l'égoutter ; on peut après séchage, à l'air ou à feu doux, le vendre directement ; toutefois il est préférable de le broyer avant la mise en sac pour lui donner une teinte uniforme.

Analyse du sulfate d'ammoniaque. — Le sulfate commercial doit avoir une teneur en azote de 20 à 21 p. 100. Pour l'analyser, on dissout un gramme de sulfate sec dans 100 grammes d'eau, et on opère sur cette liqueur comme nous l'avons indiqué pour les eaux ammoniacales.

Coloration du sel. — Le sulfate d'ammoniaque doit être blanc ou gris ; mais, en pratique, il a souvent des colorations variées tenant aux impuretés de l'acide sulfurique.

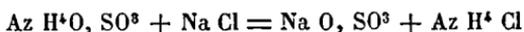
| | |
|--|----------------------------|
| La coloration jaune est due à la présence de l'arsenic ; | |
| — café au lait | — de l'étain ; |
| — bleu | — du fer ; |
| — vert | — du fer et de l'arsenic ; |
| — noir | — du plomb. |

La coloration est due aussi quelquefois à des entraînements d'eaux ammoniacales hors de l'appareil distil-

latoire, et au travers de tuyaux en fonte ou en fer. Au contact de ces métaux, les cyanures que contiennent les eaux produisent des ferrocyanures qui viennent dans le bain colorer le sel. — Une méthode simple a été souvent préconisée pour l'épuration de l'acide, elle consiste à le traiter, avant d'en faire usage, par les gaz qui s'échappent du saturateur. On précipite de cette façon par l'acide sulfhydrique les métaux dont nous avons parlé ci-dessus.

Bien que la coloration du sel soit sans effet sur la valeur chimique du produit, il était bon d'en parler en raison de la dépréciation qu'elle entraîne dans sa valeur commerciale.

Usages. — Le sulfate d'ammoniaque sert à la préparation du chlorydrate :



on l'emploie également à la fabrication de l'alcali et de la soude à l'ammoniaque. Toutefois c'est surtout comme engrais qu'il est le plus employé.

A ce point de vue, le sulfate peut être utilisé seul ou en mélange : dans le premier cas, on le répand au champ à raison de 250 ou 300 kilogrammes à l'hectare (céréales), ou bien on le localise dans des conques à raison de 50 grammes par pieds (arbres à racines profondes, vignes, etc.).

Dans le second cas, il sert à enrichir les fumiers, et alors on l'utilise à raison de 20 à 30 kilogrammes par tonne de fumier, suivant que celui-ci doit être localisé ou répandu.

Rendement des houilles en sulfate. — On peut produire par tonne de houille entre 5 et 9 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, suivant la teneur en azote de cette houille et la manière dont s'opère la migration de ce corps pendant la distillation.

On peut admettre qu'on produit en moyenne 2,5 à 2^{ks},6 de sulfate par hectolitre d'eau ammoniacale et par degré.

Rendement de sulfate par 100 kilogrammes d'acide sulfurique employé. — On sait que l'acide sulfurique monohydraté est saturé par l'ammoniaque, équivalent par équivalent. En se reportant au tableau des densités des dissolutions sulfuriques (aide-mémoire), on trouvera pour les acides de divers degrés la teneur correspondante en $\text{SO}^3, \text{H}_2\text{O}$; par une simple multiplication on en déduira la quantité de sulfate que peuvent rendre théoriquement 100 kilogrammes de l'acide employé. On trouve par exemple les chiffres suivants :

TABLEAU DES PRODUCTIONS DE SULFATE PAR 100 KILOS D'ACIDE SULFURIQUE

| DEGRÉ DE L'ACIDE | RENDEMENT EN SULFATE par 100 k. d'acide |
|------------------|--|
| 66 | 134,70 |
| 60 | 105,20 |
| 58 | 100,62 |
| 55 | 94,29 |
| 53 | 90,00 |
| 50 | 84,18 |

Fabrication des sulfocyanures. — Les eaux de gaz dépouillées de leur ammoniaque contiennent encore

après leur distillation des sulfocyanures qui possèdent une valeur industrielle assez importante. On extrait les sulfocyanures de ces eaux en les précipitant par un sel de bioxyde de cuivre, ou mieux, un mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de fer : le précipité de sulfocyanate de cuivre ainsi obtenu est séparé au filtre-pressé et peut être ensuite livré à la vente.

Le sulfocyanate de cuivre ainsi formé peut servir de point de départ à la fabrication des sulfocyanures alcalins. Il suffit pour cela de le décomposer par le sulfure de l'alcali qu'on recherche et on obtient aussitôt un sulfure de cuivre insoluble et un sulfocyanure alcalin qui reste en dissolution. La liqueur évaporée laisse déposer ce dernier en cristaux qu'on soumet à l'essorage et qu'on emballe aussitôt. — Le sulfure de cuivre obtenu est transformé en sulfate par un grillage à l'air et peut ainsi entrer de nouveau dans le cycle des réactions.

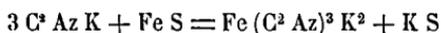
Dans quelques usines on prépare directement le sulfocyanure de baryum en traitant la liqueur ammoniacale concentrée et claire par de la baryte caustique. On passe au filtre-pressé pour séparer les précipités de sulfate et de carbonate de baryte, et on concentre la liqueur jusqu'à l'apparition des cristaux de sulfocyanure de baryum. A ce moment on transvase le liquide dans des cristallisoirs où le sel se dépose et est recueilli.

On a essayé d'opérer la transformation des sulfocyanates en cyanures commerciaux, notamment en ferrocyanure de potassium en vue de la fabrication du bleu de Prusse. C'est ainsi que M. Gélis a préconisé et pratiqué sur une assez vaste échelle la désulfuration par le

fer au rouge sombre et en vase clos du sulfocyanate de potassium. La réaction est la suivante :



En laissant refroidir lentement et à l'abri de l'air les produits de la réaction, on obtenait ensuite par lessivage à l'eau du ferrocyanure de potassium.



Malheureusement l'opération qui paraît si simple en théorie n'a pu donner dans la pratique des résultats assez égaux et assez satisfaisants; cette fabrication est aujourd'hui abandonnée, après avoir servi à démontrer une fois de plus que les opérations de laboratoire les plus simples ne sont pas toujours nécessairement d'une application industrielle.

CHAPITRE XX

GOUDRON

On obtient d'une tonne de houille de 3^{kg},5 à 7^{kg},5 de goudron. Plus la distillation du charbon a lieu à basse température, plus le rendement est élevé et plus le goudron est riche en benzol.

La densité de ce produit varie entre 1,050 et 1,250.

Composition du goudron. — Nous avons énuméré déjà le nom des principaux corps qui se rencontrent dans le goudron, et étudié également les propriétés de quelques-uns (benzine, toluène, naphtaline, etc.). Voici quelques indications sur les plus importants dont il n'a pas encore été parlé.

Anthracène. ($C^{28}H^{10}$. Equivalent en poids P = 178.) — Corps solide, cristallisé, incolore avec fluorescence bleue. Il fond à 210° et bout à 350°. Sa densité de vapeur est 6,3. — Sa composition élémentaire répond à quatre volumes.

Il est insoluble dans l'eau et dans l'alcool à froid ; l'alcool et la benzine bouillant le dissolvent.

Il est attaqué par l'oxygène qui forme avec lui l'antraquinone d'où dérive l'alizarine artificielle.

Traité par le brome et le chlore, l'anthracène produit des combinaisons bromées et chlorées.

Phénantrène ($C^{28} H^{10}$ — $P = 178$). — Corps isomère du précédent; fond à 99° ou 100° et bout à 340 . — Il se sublime moins facilement que l'anthracène.

Mitantrène ($C^{30} H^2$ — $P = 192$). — Corps doué d'une fluorescence violette jouissant de propriétés analogues à celles des précédents. — Il fond à 177° , et bout au-dessus de 360° , en donnant des vapeurs dont l'odeur rappelle celle de l'asphalte.

Le **chrysène** ($C^{36} H^{12}$) et le **pyrène** ($C^{33} H^{10}$) sont moins connus.

Acénaphène ($C^{24} H^{10}$). — Ce corps cristallise en prismes incolores fondant à 93° et bouillant entre 280° et 285° . Il est soluble dans les mêmes dissolvants que l'anthracène.

Phénol. — ($C^{12} H^6 O^2$). — (Appelé aussi acide carbonique, créosote, hydroxybenzol.) Ce corps dérive de la benzine par la substitution de $H^2 O^2$ à H^2 . Il se présente en aiguilles incolores, neutres, fusibles à 35° et bouillant à 188° . Doué d'une saveur brûlante, il donne une flamme fuligineuse; sa densité est $d = 1,06$. — Il se dissout dans 20 parties d'eau.

On utilise le phénol comme caustique et antiseptique.

Aniline ($C^{12} H^7 Az$ densité = $1,031$). — Cette base est un liquide incolore, d'une odeur désagréable, bouillant à $184^{\circ},8$. La densité de sa vapeur $d' = 3,2$.

L'aniline est peu soluble dans l'eau, mais elle l'est dans l'alcool, l'éther et les essences. Elle brunit à l'air en absorbant de l'oxygène. Les sels qu'elle forme sont cristallisés et colorés.

Toluidine ($C^6 H^5 Az$; densité à $16^\circ = 1$). — Liquide huileux, basique, dérivé de la benzine. Il bout à 202° et possède des propriétés analogues à celles de l'aniline.

Brai. — Le brai est le résidu de la distillation du goudron. Il se distingue en brai gras et en brai maigre, suivant sa dureté. — Le brai est employé à la confection de briquettes et dans la fabrication des chaussées d'asphalte.

Emploi du goudron. — On utilise le goudron à la peinture ($4/5$ goudron, $1/5$ essence de térébenthine), à la conservation des bois, la fabrication du noir de fumée, les couleurs, etc. On a essayé et on essaie encore de le distiller en vue de la production de gaz éclairant, mais les essais ne sont pas encore généralisés.

Soumis à la distillation, il donne les principaux produits ci-dessous.

1° Benzine. — Servant au dégraissage, à la fabrication de l'odeur artificielle d'amandes amères, de l'acide picrique, de l'aniline à bleu et à fuschine.

2° Benzol. — Mélange de benzine, de toluène et d'autres huiles légères, employé pour la fabrication de la nitrobenzine, de l'aniline, de la toluidine et des couleurs dérivées. Il est employé au chauffage et à la carburation des gaz.

3° **Phénol.** — Voir plus haut.

4° **Huiles lourdes.** — Ces produits, de composition complexe, servent principalement au chauffage, à la conservation des bois et à la fabrication du papier goudronné.

5° **Brai.** — Voir plus haut.

Distillation des goudrons. — Voici, d'après M. Wurtz, un tableau résumant les distillations du goudron.

TABLEAU DU TRAITEMENT DES HOUILLES ET GOUDRONS

Première distillation.

HOUILLE

| | | |
|-------|-----------------|------|
| Gaz · | \| Goudron et eaux \| | Coke |
|-------|-----------------|------|

Deuxième distillation.

GOUDRON

| | | |
|---|---|--|
| Huiles légères brutes bouillant de 30° à 150°. | \| Huiles moyennes brutes bouillant de 140° à 200°. | \| Huiles lourdes brutes bouillant de 200° à 350°. |
|---|---|--|

Troisième distillation.

HUILES LÉGÈRES BRUTES
(2 fractionnements)

1^{er} fractionnement. — Produits distillés avant 140° (forment les huiles légères rectifiées).
2^e fractionnement. — Produits distillés au-dessus de 140°; sont ajoutés au 2^e fractionnement des huiles moyennes.

HUILES MOYENNES BRUTES
(3 fractionnements)

1^{er} fractionnement. — Produits distillés au-dessous de 130°; sont ajoutés au naphte.
2^e fractionnement. — Produits distillés entre 130 et 200° (forment les huiles moyennes rectifiées).
3^e fractionnement. — Produits distillés au-dessus de 200°; sont ajoutés aux huiles lourdes.

On a ainsi les trois huiles suivantes :

| | | |
|---|---|--|
| Huiles légères rectifiées ou naphte (30—140°). | Huiles légères moyenn ^{es} rectifiées (130 à 200°). | Huiles lourdes brutes (300 — 350°). |
|---|---|--|

Ces huiles subissent un traitement humide par lavages successifs à l'eau, à l'acide sulfurique, l'eau de nouveau, la soude et l'eau encore.

Quatrième distillation.

| NAPHTE (4 fractionnements) | HUILES MOYENNES RECTIFIÉES (2 fractionnements) | HUILES LOURDES ÉPURÉES (3 fractionnements) |
|----------------------------------|--|---|
| 1° Produits distil. entre 30-80° | 1° Produits dist. entre 140-190 | 1° Produits dist. entre 215-230 |
| 2° — 80-115 | 2° — au-des. de 190 | 2° — 230-290 |
| 3° — 115-150 | (sont ajoutés aux huiles lourdes). | 3° — 300-340 |
| 4° — au-des. de 150 | | |

Rendements de la distillation. — Le tableau suivant donne les rendements obtenus avec les goudrons de diverses houilles :

TABLEAU DES PRODUITS OBTENUS DANS LA DISTILLATION
DE 100 KILOGRAMMES DE GOUDRON

| GOUDRONS | Gaz Eau ammoniacale pertes | Essence ou naphte | Huiles moyennes | Huiles lourdes | Brai | EXTRAIT de |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------|---------------------------|
| Goudron anglais..... | 1,34 | 2,83 | 6,70 | 30,38 | 55,00 | Lunge |
| » d'Allemagne (Sud). | 5,50 | 10,5 | | 27,00 | 57,00 | Sthoman- kerl. |
| » " (Nord) | 7,40 | 8,40 | 9,40 | 23,90 | 50,90 | |
| » " " | 5,90 | 8,90 | 10,60 | 24,60 | 50,90 | Thénius. Watson-Smith. |
| » " " | 8,00 | 4,00 | 32,00 | | 56,00 | |
| » Berlin..... | 15,20 | 5,60 | 24,20 | | 55,00 | |
| » anglais..... | 2,20 | 2,20 | 10,60 | 24,50 | 60,50 | |
| C ^{ie} Parisienne..... | 7,00 | 5,00 | 22 à 25 | | 63,00 | |

CHAPITRE XXI

COKE

Le résidu de la distillation de la houille est le coke. On sait que 1,000 kilogrammes de charbon à gaz donnent de 16 à 19 hectolitres de ce résidu et 65 à 72 p. 100 du poids de houille distillée.

Les propriétés physiques du coke varient non seulement avec chaque nature de houille, mais encore avec les conditions dans lesquelles s'opère la distillation. Un coke est, par exemple, d'autant moins dense qu'il a été produit à plus haute température et avec des charges plus faibles. On a, du reste, indiqué au chapitre de la distillation les causes qui influent sur la qualité du coke.

Le coke est très hygrométrique; il contient environ 7 à 10 p. 100 d'eau, après un séjour à l'air de quelque temps, alors même qu'il est à l'abri. Exposé à la pluie, il peut absorber jusqu'à 35 p. 100 d'eau.

Le coke dégage en brûlant 7,500 à 8,000 calories par kilogramme; sa température de combustion est de 1,270° environ. Il exige théoriquement pour brûler 7^mc,5 d'air, mais en pratique, il faut lui en accorder de 15 à 17. Sa chaleur rayonnante est très considérable ;

elle est indiquée ci-dessous à côté de celle des principaux combustibles.

TABLEAU DE LA CHALEUR RAYONNANTE DES COMBUSTIBLES

| COMBUSTIBLE | CHALEUR rayonnante | COMBUSTIBLE | CHALEUR rayonnante |
|-----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| Coke dense... | 0,60 | Lignite..... | 0,40 |
| Anthracite..... | 0,55 | Tourbe..... | 0,30 |
| Houille..... | 0,50 | Bois..... | 0,28 |

La *teneur en cendres* du coke varie entre 3 et 20 p. 100 ; en moyenne, elle est de 12 à 15 p. 100. Ces cendres renferment : 1 à 2 p. 100 de soufre ;

Traces de phosphore ;
60 à 85 p. 100 d'azote combiné.

Cet azote paraît exister à l'état de cyanogène et d'azoture de carbone.

Un hectolitre de coke pèse de 38 à 45 kilogrammes, en moyenne 41 kilogrammes ; la densité absolue de ce combustible est 1,4.

Emploi du coke. — Le coke est employé dans les usines au chauffage des cornues et chaudières à vapeur. Il sert au chauffage des appartements et à la fabrication des chaux, plâtres, ciments, etc.

Cassage et criblage. — On peut évaluer à 15 ou 16 p. 100 le déchet produit par le cassage ; il augmente avec les charbons friables et diminue avec les charbons denses.

Voici le résultat obtenu par cassage et triage avec l'appareil Loizeau (communication de M. Foucart).

10 hectolitres de coke gros ont donné :

| | |
|----------------|----------------------|
| Coke moyen . . | 4 ^h l,50 |
| — petit . . . | 4 00 |
| — grésillon. | 0 65 |
| — poussier. | 0 75 |
| — perte . . . | 0 10 |
| | <hr/> |
| | 10 ^h l,00 |

Le poussier de coke est un résidu dont il est souvent difficile de se débarrasser. On peut l'employer mélangé à 10 p. 100 en poids de goudron pour le chauffage des fours et générateurs de vapeur. — Dans certains cas, on peut même le brûler, sans addition de goudron, en mélange seulement à du gros coke. Il faut employer alors des grilles à vides resserrés : les barreaux Creceveur donnent de bons résultats.

On peut également utiliser le poussier à la fabrication de briquettes ou agglomérés. — Les résultats obtenus par cette méthode ont été toujours assez bons.

CHAPITRE XXII

CAPITAUX ENGAGÉS DANS LES AFFAIRES DE GAZ

PRIX DE REVIENT DU GAZ

Les dépenses de premier établissement par mètre cube de gaz fabriqué varient non seulement d'une usine à l'autre, mais encore d'un pays à l'autre.

Voici, pour la France, quelques données sur cette question.

TABLEAU DES CAPITAUX ENGAGÉS DANS LES AFFAIRES DE GAZ

| USINES | CAPITAL par m. c. de gaz |
|--|-----------------------------|
| Usines de Paris..... | 0,75 — 0,80 |
| production de 2 millions de m. c. par an et au-dessus..... | 0,90 — 1,00 |
| Usines de province } production de 1 million à 1800000 m. c. par an..... | 1,20 — 1,30 |
| production de 500 à 800,000 m. c. par an.. | 1,30 — 1,50 |
| " 300 à 450,000 " | 1,50 — 1,60 |
| " 100 à 300,000 " | 1,80 — 2 00 |
| " Au-dessus de 100,000 m. c.... | 2,00 — 3,00 |

Ces prix ne s'appliquent évidemment qu'aux usines comptées au prix de construction et non pas au prix

auquel elles ont pu être payées à la suite de vente ou de transfert.

Dans les dépenses ci-dessus, on peut compter la canalisation et le matériel de l'éclairage public comme représentant 30 à 40 p. 100 du total, le restant concerne l'usine proprement dite.

Intérêt et amortissement du capital. — Comment faut-il compter l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans une affaire de gaz ? Chacun a sa manière de voir à ce sujet ; néanmoins, on doit se baser sur ce fait qu'une usine demande à être amortie dans un délai de trente ans environ. Si on admet cette donnée, et qu'on évalue à 5 p. 100 le taux de l'intérêt des sommes déboursées, on devra, tous les ans, prélever sur les bénéfices pour le service du capital les sommes suivantes :

| | |
|---|-------------------|
| 0,05 de ce capital pour payer l'intérêt | |
| 0,015 | — l'amortissement |
| 0,065 | |

Le plus souvent on compte sur 7 p. 100.

Ce chiffre énorme pèse lourdement sur le prix de revient du mètre cube de gaz. En effet, si nous prenons pour exemple une usine ayant coûté 1,200,000 francs et produisant par an 1,500,000 mètres cubes de gaz, le prix de revient du fait de la fabrication étant évalué à 0,10, on aura, en y ajoutant les charges provenant du capital, le résultat ci-après :

$$\text{Service du capital} = \frac{7}{100} \times 1,200,000 \times \frac{1}{1,500,000} = 0,056$$

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Prix de revient du fait fabrication | 0,100 |
| | 0,156 |

On voit par là le rôle important que joue le capital relativement aux prix de revient.

Prix de revient du gaz au point de vue de la fabrication. — Pour compléter utilement cet aperçu, le tableau suivant donne le détail du prix de revient d'un mètre cube de gaz dans des usines de diverses importances.

Les données du tableau suivant sont empruntées au *Journal des Usines à gaz*, p. 693, année 1879.

| CHARBONS DISTILLÉS | | BELGES, ANGLAIS | | Anglais Carmaux Aveyron |
|--|---|----------------------|------------|-------------------------------|
| | | Pas-de-Calais | | |
| | | Compagnie Parisienne | | |
| | | 1874 | 1861 | |
| Provenances | | | | |
| Dépenses par m. c. de gaz fabriqué en | Charbon (octroi compris) | 0,0034 | 0,0415 | 0,0230 |
| | Déduction faite de la valeur des sous-produits | 1,0173 | 0,0193 | 0,0358 |
| | Chauffage des fours..... | 0,0090 | 0,0031 | 0,0088 |
| | Entretien général..... | 0,0011 | 0,0075 | 0,0006 |
| | Main-d'œuvre | 0,0127 | 0,0129 | 0,0220 |
| | Frais divers de fabrication | 0,0051 | à l'épur. | 0,0022 |
| | Frais généraux..... | 0,0189 | 0,0151 | 0,0175 |
| Prix de revient du m. c. de gaz à l'usine... | | 0,0675 | 0,1094 | 0,11057 |
| Gaz produit en m. c..... | | 160.852,000 | 84,186,000 | 4,467,000 |
| Gaz vendu en m. c..... | | 146.712,000 | 72,038,000 | 3,826,000 |
| Dont p. 100 à l'éclairage public..... | | 17,5 | 23,0 | 25,5 |
| Perte p. 100 du gaz produit..... | | 8,615 | 14,5 | 16,5 |
| Rendements par tonne | | | | |
| { en gaz : m. c. | | 291 | 248 | 285 |
| { en coke : hectolitres | | 18 | 18 | 16,36 |
| Gaz rendu par tonne | | 266 | 205 | 238 |
| Prix de revient du gaz rendu aux brûleurs. | | 0,067 | 0,13 | 0,13 |
| Prix de vente du coke.... | | 1,5 | » | 1,63 |
| Prix moyen d'une tonne de charbon..... | | 34 | 28,7 | 35,02 |

| Anglais | Pas-de-Calais | Commentry | Anglais Cormaux Campa- gnac | St-Eloi et Pas-de- Calais | Anglais Cormaux Campa- gnac | St-Eloi et Pas-de- Calais | St-Eloi et Pas-de- Calais | St-Eloi et Pas-de- Calais |
|---------|---------------|-----------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0,037 | 0,0009 | 0,0169 | 0,0330 | 0,0008 | 0,0397 | 0,0223 | 0,0027 | 0,0218 |
| 0,0375 | 0,0337 | 0,0259 | 0,0322 | 0,0464 | 0,0580 | 0,0434 | 0,0350 | 0,0638 |
| 0,0056 | 0,0112 | 0,0082 | 0,0172 | 0,0148 | 0,0175 | 0,0173 | 0,0181 | 0,0168 |
| 0,0037 | 0,0198 | 0,0007 | 0,0020 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0023 | 0,0040 | 0,0067 |
| 0,0323 | | 0,0608 | 0,0283 | 0,0306 | 0,0239 | 0,0273 | 0,0312 | 0,0470 |
| 0,0198 | | | 0,0031 | 0,0049 | 0,0021 | 0,0031 | à l'épur | à l'épur |
| 0,0336 | | | 0,0211 | 0,0220 | 0,0290 | 0,0247 | 0,0298 | 0,0268 |
| 0,1028 | 0,1058 | 0,1125 | 0,1569 | 0,1204 | 0,1711 | 0,1428 | 0,1318 | 0,1829 |
| 53,000 | 3,703,600 | 1,193,000 | 320,000 | 404,400 | 350,500 | 310,800 | 297,700 | 119,100 |
| 49,000 | 3,394,520 | 894,000 | 262,900 | 302,000 | 262,900 | 236,000 | 242,600 | 87,800 |
| 18,2 | 23,5 | 27 | 39 | 34,5 | 39 | 37 | 31 | 40 |
| 19,5 | 9,1 | 25 | 21,5 | 25 | 19 | 24 | 18 | 26 |
| 284 | 238 | 300 | 253 | 298 | 279 | 282 | 303 | 264 |
| 16,2 | 18 | 15,6 | 15,74 | 18,67 | 16,65 | 19,3 | 19,0 | 17,21 |
| 228 | 212 | 226 | 199 | 223 | 235 | 214 | 248 | 205 |
| 0,128 | 0,1067 | 0,151 | 0,20 | 0,162 | 0,21 | 0,188 | 0,20 | 0,25 |
| 1,85 | 1,0 | 1,80 | 1,56 | 1,76 | 1,56 | 1,18 | 1,63 | 1,27 |
| 35,0 | 20,0 | 37,20 | 37,81 | 33,43 | 40,23 | 32,06 | 33,86 | 20,24 |

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A

| | |
|---|----------------|
| Absorbant (pouvoir) | 47 |
| Accélération. | 25 |
| Acénaphène. | 454 |
| Acétylène | 240 |
| Action de la chaleur sur les houilles. | 212 |
| Acide carbonique. | 248-253 |
| Acide carbonique (enlèvement de l'). | 291-294 |
| — (influence sur le pouvoir éclairant) | 378 |
| Acide chlorhydrique (densité et richesse des solutions d'). | 60 |
| Acide sulfureux (épuration par l') | 290 |
| — sulfhydrique (enlèvement de l') | 280-294 |
| — sulfurique (densité des solutions d') | 63 |
| Air atmosphérique. | 79 |
| — (solubilité de l'). | 57 |
| — (influence sur le pouvoir éclairant). | 378 |
| — nécessaire à la combustion | 157-167-181 |
| — nécessaire à la ventilation | 391 |
| — pur. | 388-391 |
| — vicié | 388-392 |
| Agglomérés (chauffage par les) | 132 |
| Alcali | 446 |
| Alcool (densité et richesse des solutions d') | 59 |
| Algèbre | 19 |
| Alliages (détermination des températures par la fusion des) | 195 |
| Altération de l'air par la respiration. | 389 |
| — — par l'éclairage | 390 |
| Altitude (influence des différences d'). | 350 |
| Ammoniacque. | 61-240-255-446 |
| — (enlèvement par le lavage). | 272 |
| — (arrêt par les sels neutres, par l'acide sulfurique. | 278 |
| — (influence de l'). | 279 |
| — (densité des solutions d'). | 61 |
| — (production dans les diverses phases de la distillation) | 426 |
| — (sels d'). | 430-446 |
| Ampère | 42 |

| | |
|---|-------------|
| Analyse d'une eau | 76 |
| — des eaux ammoniacales. | 433-440 |
| — des gaz brûlés | 168 |
| — du gaz d'éclairage. | 252 |
| — des houilles. | 102-105-114 |
| — des minerais de fer | 284 |
| — du sulfate d'ammoniaque | 448 |
| — des vieilles matières à l'oxyde. | 302 |
| — des vieilles chaux d'épuration. | 306 |
| Aniline | 454 |
| Annuités. | 21 |
| Anthracène | 453 |
| Arcs de cercle. | 14 |
| — (valeurs des lignes trigonométriques des). | 21 |
| Aréomètres | 55-56 |
| Arithmétique | 10 |
| Arsong (table de M.). | 344 |
| Autel. | 129 |
| Azote. | 413-423 |
| — dans les houilles | 423 |
| — (dosage de l'azote dans les houilles | 413 |
| — (multiplicateurs de l'). | 440 |
| — (répartition dans les produits de la distillation). | 423-426 |

B

| | |
|---|-----------|
| Barillet | 263 |
| Baromètre. | 38 |
| Battage des pieux. | 26 |
| Beale (extracteur). | 308-311 |
| Baumé (aréomètre de) | 55-56 |
| Becs (étude des). | 381 |
| — intensifs et à récupération | 383 |
| — à jets | 385 |
| — (comparaison des). | 408 |
| — (régulateurs de). | 386 |
| Beck (aréomètre de). | 55 |
| Benzine. | 242-455 |
| Benzol. | 243-455 |
| Berthier (procédé de). | 156 |
| Béton. | 80-83-327 |
| Bicarbure d'hydrogène. | 239 |
| Binôme de Newton | 20 |
| Bleu de Prusse | 301-436 |
| Bourdon (injecteur de). | 310 |
| Brai | 455 |
| Branchements | 351 |
| Briques | 80-324 |
| Broggart (pyromètre de). | 194 |
| Brûleurs. | 381 |
| Butylène. | 242 |

C

| | |
|--|-----------------|
| Câbles en chanvre (résistance et poids des) | 27 |
| Cadres de foyer | 133 |
| Caisse à sciure | 275 |
| Calcul des branchements | 351 |
| Calcul des conduites | 313 |
| Calculs relatifs à la combustion | 158-162 |
| Calorie | 39 |
| Calorifique (pouvoir) | 48-151-454 |
| Calorimètres | 153-192 |
| Canalisations | 313 |
| Capacité électrique | 41-42 |
| Capitaux engagés dans les affaires de gaz | 461 |
| Carbonates d'ammoniaque | 432-446 |
| Carbures d'hydrogène | 239 |
| Carneaux | 130-141-148 |
| Carnet de nivellement | 83-84 |
| Carrés des nombres de 1 à 100 | 1 |
| Cartier (aréomètre de) | 56 |
| Cassage du coke | 458 |
| Cendres | 111-459 |
| Cercles des diamètres de 0,01 à 1 | 7 |
| — inscrits et circonscrits aux polygones réguliers | 13 |
| Céruse (essai qualificatif de la) | 75 |
| Chaines en fer (résistance et poids des) | 27 |
| Chaleur | 39 |
| — emportée par les gaz dans la distillation | 261 |
| — rayonnante | 40-459 |
| — (spécifique de quelques corps) | 49 |
| — (transformation en travail) | 40 |
| — (transmission par rayonnement) | 40 |
| — (transport dans les fours) | 165 |
| Chameroiy (poids des tuyaux) | 70 |
| Champ magnétique | 41 |
| Chargement des foyers et des cornues | 134-137-139-210 |
| Chaudières | 29 |
| — (classement des) | 31 |
| — (chauffage des) | 30 |
| — (épaisseur des parois des) | 30 |
| Chauffage (emploi du gaz au) | 410 |
| — par les combustibles gazeux | 138-177 |
| — — liquides | 135-176 |
| — — solides | 132-163 |
| Chaux et ciments | 80-324 |
| Chaux (épuration par la) | 291-294 |
| — (influence sur les résultats de la distillation) | 225 |
| — (résidus de l'épuration par la) | 305 |
| Cheminées d'usine | 200 |

| | |
|--|-----------------|
| Cheminées (verres à gaz) | 385 |
| Cheval-vapeur | 25 |
| Chèvre | 35 |
| Chimie et physique (tableau relatif à la) | 43 |
| Chlorhydrate d'ammoniaque | 430-447 |
| — (solubilité du) | 57 |
| Chlorhydrate d'ammoniaque (densité et richesse des solutions) | 62 |
| Chlorure de calcium (densité et richesse des solutions) | 61 |
| Ciments | 80-324 |
| Circonférences de diamètres de 0 ^m ,01 à 1 | 7 |
| Cisaillement (résistance au) | 29 |
| Classement des machines et chaudières à vapeur | 31 |
| Cloches de gazomètre (poids des) | 330-332-337 |
| Coefficients de dilatation | 48 |
| — de résistance de quelques matériaux | 324 |
| Coke | 110-158 |
| — (chauffage au) | 132-144 |
| Colonnes de gazomètres | 333 |
| — montantes | 125 |
| Colonnes montantes (obstruction des) | 126 |
| Coloration du sulfate d'ammoniaque | 418 |
| Combinaisons principales des corps simples | 53 |
| Combustibles (tableau des et étude des) | 91-92 |
| — gazeux | 143-177 |
| — liquides | 136-176 |
| — solides | 132-144-163 |
| Combustion (calculs relatifs à la) | 157-158 |
| — du gaz d'éclairage | 375-390-411 |
| — (produit de la) | 375 |
| — (température de la) | 158-162-177-181 |
| Comparaison des aréomètres | 55-66 |
| — de divers éclairages | 408 |
| — des données photométriques | 407 |
| — des étalons lumineux | 396 |
| — des machines à vapeur et moteurs à gaz | 420 |
| — des thermomètres | 45 |
| — des unités de mesure anciennes et nouvelles, françaises et anglaises | 11-12 |
| Composition du gaz d'éclairage | 230-235 |
| Compression (résistance à la) | 28-324 |
| — (résistance des remblais à la) | 328 |
| Compteurs d'abonnés (divers systèmes de) | 360-366 |
| — (congélation des) | 370 |
| — (vérification des) | 368 |
| Compteurs secs | 371 |
| — de fabrication | 314 |
| Condensation | 258-270 |
| — (produits de la) | 261 |
| Condenseur à l'air libre | 265 |
| — arrosés | 265 |
| — à frottement | 267 |

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

471

| | |
|--|------------------|
| Condenseurs à choc | 268 ¹ |
| Conducteur (pouvoir) | 48 |
| Conducteurs électriques (résistance des) | 42 ¹ |
| Conduits de vapeur (diamètre des) | 30 |
| Congélation des compteurs | 370 |
| Consommation et intensité des principaux foyers lumineux | 408 |
| — moyenne des moteurs à gaz | 470 |
| Construction des compteurs (règles) | 316 |
| — des gazomètres | 318-330-335 |
| Constructions en maçonneries | 79 |
| Cornues | 123 |
| Corps simples (équivalents, densités, symboles et combinaison des) | 53 |
| Cosinus naturels de 0 à 45° | 9 |
| Coulomb (lois de) | 41-42 |
| Courants électriques (lois des) | 41 |
| Courbes usuelles | 14 |
| Courroies et cordes sans fin | 33 |
| — (résistance des) | 34 |
| Coût des fours à gaz | 199 |
| — des gazomètres | 339 |
| Criblage du coke | 458 |
| Cubes des nombres de 1 à 100 | 1 |
| Cuisine (emploi du gaz à la) | 410 |
| Cuivre (poids des tuyaux en) | 72 |
| Cuve de gazomètre en maçonneries | 318-323 |
| — en béton | 322 |
| — métallique | 330 |
| Cyanogène | 250 |
| Cyanhydrate, cyanure d'ammonium | 301-431 |

D

| | |
|---|-------|
| Décarburation des cornues | 198 |
| Déchargement des cornues | 210 |
| Définitions principales (chaleur) | 39 |
| — (électricité) | 41 |
| Décrassage des foyers | 134 |
| Deicke (matière) : | 383 |
| Densité | 38 |
| — des corps simples | 45-53 |
| — des solutions d'acide chlorhydrique | 60 |
| — — — sulfurique | 63 |
| — — — d'alcool méthylique | 59 |
| — — — d'ammoniaque | 61 |
| — — — chlorure de calcium | 61 |
| — — — chlorhydrate d'ammoniaque | 57 |
| — — — glycérine | 59 |
| — — — sel marin | 59 |
| — — — du sulfate d'ammoniaque | 62 |

| | |
|--|---------|
| Densité des solutions du sulfate de fer. | 62 |
| — du gaz d'éclairage | 257 |
| Dépense de coke aux fours. | 132-144 |
| — de combustible dans les foyers de gazogène. | 143 |
| — de goudron | 136 |
| — et intensité des principaux foyers lumineux. | 408 |
| — des appareils de cuisine et chauffage. | 415 |
| — pour l'extraction du gaz. | 311-312 |
| — d'oxyde de fer pour l'épuration. | 286 |
| Détermination des températures. | 182-192 |
| Dilatation (coefficients de). | 48 |
| Dimensions des cheminées. | 202 |
| — des gazomètres. | 317 |
| Distillation des houilles. | 210-219 |
| — (théorie chimique de la). | 226 |
| — des eaux ammoniacales. | 444 |
| — du goudron. | 456 |
| — du gaz. | 343 |
| Documents divers. | 65 |
| Dosage de l'acide carbonique. | 253 |
| — de l'ammoniaque. | 255-433 |
| — de l'azote | 413 |
| — des hydrocarbures | 256 |
| — de l'hydrogène sulfuré. | 254 |
| — de l'oxyde de carbone. | 254 |
| — du soufre. | 112-438 |
| Dulong (loi de). | 153 |
| Durée des charges (influence de la). | 222 |

E

| | |
|---|---------|
| Eau (analyse d'une). | 76 |
| Eaux ammoniacales. | 423 |
| — (analyse des). | 433-440 |
| — (distillation des). | 444 |
| — (teneurs en ammoniaque des). | 437 |
| — (composition des). | 429 |
| — (production des). | 429 |
| — (traitement des). | 444 |
| — épuisée | 445 |
| — (épuration par les). | 295 |
| — (régénération des). | 297 |
| Eau hygrométrique dans les houilles | 108-115 |
| Ebullition (point d') | 49 |
| Eclairage (emploi du gaz à l'). | 373 |
| — (comparaison des divers) | 408 |
| Éclairage et ventilation. | 373 |
| Echauffement des houilles. | 117 |
| Écoulement de l'air. | 392 |
| Electricité. | 41-42 |
| Electromotrice (unité de force). | 42 |

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

473

| | |
|--|---------------|
| Ellipse (tracé de l') | 14 |
| Eléments combustibles du gaz | 239 |
| Emmagasinage du gaz | 317 |
| Emission | 340 |
| Emissif (pouvoir) | 48 |
| Enduits | 328 |
| Energie potentielle d'un conducteur | 41 |
| Entretoises | 333 |
| Epaisseur des parois des chaudières | 30 |
| Epuration | 258-272 |
| — à la chaux | 291-294 |
| — par l'acide sulfureux | 290 |
| — par l'acide sulfurique | 279 |
| — par les eaux ammoniacales | 295 |
| — par les oxydes de fer | 280 |
| — (surface d') | 285, 291, 295 |
| — par les sels neutres | 278 |
| — (résultats généraux de l') | 298 |
| Equation du 1 ^{er} degré | 19 |
| — du 2 ^e degré | 19 |
| — de géométrie analytique | 23 |
| — d'équilibre de machines simples | 24 |
| Equivalent des corps simples | 53 |
| Erreurs de mesurage de compteurs | 364 |
| Escompte (formule de l') | 12 |
| Essais des houilles | 102-105-114 |
| — des huiles | 76 |
| Essais qualificatifs de la céruse, du minium | 75 |
| Essayeurs Giroud | 405 |
| Etalons de lumière | 396 |
| Etalons lumineux (comparaison des) | 397-407 |
| Évacuation de l'air | 393 |
| Extracteurs rotatifs | 308 |
| — à jet de vapeur | 310 |
| Extraction | 307 |
| — (dépenses d') | 311, 312 |
| — (travail d') | 310 |
| — (contrôle de l') | 313 |

F

| | |
|--|---------|
| Fabrication (rapporteur de) | 314 |
| Facteurs usuels et leurs logarithmes | 9 |
| Farad | 42 |
| Fahrenheit (degrés) | 44-45 |
| Fer étiré (poids des tuyaux en) | 71 |
| — (mastic de) | 74 |
| Ferrocyanures | 311-336 |
| Fers plats (poids des) | 65 |
| Fers ronds et carrés (poids des) | 69 |
| Feuilles métalliques (poids des) | 69 |

| | |
|--|--------|
| Feuillet magnétique | 41 |
| Flammes (théorie des) | 373 |
| Flexion transversale | 29 |
| Fondations | 79-202 |
| Fonte (mastic de) | 74 |
| Force (relation entre les masses et les accélérations) | 25 |
| Force motrice (emploi du gaz à la production de la) | 416 |
| Formules d'annuités | 21 |
| — du battage des pieux | 26 |
| — d'escompte | 12 |
| — d'intérêt simple | 12 |
| — d'intérêt composé | 20 |
| — d'électricité | 41-42 |
| — de mécanique | 25 |
| — de trigonométrie | 21 |
| — du mouvement rectiligne | 25 |
| — du mouvement circulaire | 25 |
| — de Newton | 20-40 |
| Fours | 128 |
| Fours (coût des) | 199 |
| — (tirage des) | 170 |
| Foyers | 31 |
| — à double combustion | 170 |
| — à grille | 128 |
| — à sole pleine | 135 |
| — lumineux (comparaison des) | 408 |
| — des machines à vapeur | 31 |
| Fractions | 6 |
| Frein de Pony | 26 |
| Froid (action sur le pouvoir éclairant) | 380 |
| Fuites | 355 |
| Fuites (indices et réparation des) | 358 |
| Fusion (points de) | 49. |

G

| | |
|--|---------|
| Gauss | 42 |
| Gaz des marais | 245 |
| — (chauffage par les) | 138-177 |
| Gaz brûlés (analyse des) | 168 |
| Gaz combustibles (composition des) | 178 |
| Gaz d'éclairage (analyse des) | 252 |
| Cazogènes | 138 |
| — (rendement des) | 187-191 |
| Gazomètres | 317 |
| — (cloches de) | 330 |
| — (coût des) | 339 |
| — (épaisseurs des tôles de) | 332 |
| — télescopiques | 337 |
| Géométrie | 12 |
| — analytique | 23 |
| Glycérine (richesse et densité des solutions de) | 59 |

| | |
|---|---------|
| Gorges des gazomètres télescopiques | 337 |
| Goudron | 453-456 |
| — (composition du) | 453 |
| — (dépense de). | 136 |
| Grilles | 130 |
| — (foyers à). | 128 |
| Grisou | 245 |
| Grue | 35 |
| Guidage de gazomètre | 333 |

H

| | |
|--|-----------------|
| Hauteurs barométriques (réduction à zéro des) | 38 |
| — (mesure des) par le baromètre | 38 |
| Hélice (construction de l') | 16 |
| Historique de la découverte du gaz d'éclairage. | 87 |
| Houillères (production des) | 94 |
| Houilles | 93 |
| Houilles (classification et composition des). | 95-98 |
| — à gaz (choix d'une). | 97-101 |
| — (analyse des). | 102-105-108-114 |
| — (échauffement des). | 117 |
| — (humidité des). | 108 |
| — (propriétés colantes des). | 114 |
| — (chauffage par la). | 132 |
| — (action de l'air et de l'humidité sur les) | 115 |
| — (poids et prix des). | 97 |
| Huiles (essai des). | 76-77 |
| Hydrocarbures (influence sur le pouvoir éclairant).. | 377 |
| Hydrogène. | 247 |
| — bicarboné. | 239 |
| — proto-carboné. | 245 |
| — sulfuré. | 251-254-280 |

I

| | |
|---|---------|
| Incidence (loi de l' et de la réflexion) | 41 |
| Indicateur de vide et de pression | 313 |
| Induction. | 42 |
| Inertie (moment d') | 26 |
| Influence de l'ammoniaque dans le gaz | 279 |
| — des changements de direction sur les pressions. | 351 |
| — des corps étrangers sur les résultats de la distillation. | 225 |
| — des différences d'altitudes sur les pressions. | 350 |
| — des diluants sur le pouvoir éclairant | 292-378 |
| — de la durée des charges | 222 |
| — des hydrocarbures sur le pouvoir éclairant. | 377 |
| — du lavage sur le pouvoir éclairant. | 273 |
| — du poids des charges sur le résultat de la distillation. | 221 |
| — des pressions sur le pouvoir éclairant. | 225 |

| | |
|--|-----|
| Influence de la proportion d'eau du lavage. | 273 |
| — de la température sur les résultats de la distillation | 219 |
| — — le mesurage | 315 |
| — — le pouvoir éclairant. | 379 |
| — des verres sur le pouvoir éclairant. | 380 |
| Intensité d'aimantation | 41 |
| — d'un courant | 42 |
| — et consommation des principaux foyers lumineux. | 396 |
| Intérêt composé | 20 |
| — simple | 12 |
| Inverses des nombres (table des) | 1 |

J

| | |
|--|-----|
| Jeu d'orgues. | 265 |
| Joint à emboîtement et cordon. | 353 |
| Joule (loi de) | 42 |

K

| | |
|--------------------------------|-----|
| Kilogrammètre | 24 |
| Kirchkoff (loi de) | 42 |
| Koerting (extracteur). | 312 |

L

| | |
|---|-------|
| Laming (matière). | 281 |
| Laveurs | 274 |
| Laveurs ammoniacaux | 296 |
| — condenseurs. | 274 |
| — (résultats fournis par les). | 276 |
| Lavage (appareils de). | 24-35 |
| Lignes trigonométriques | 21 |
| Limaille (matières épurantes à la). | 283 |
| Logarithmes | 1-9 |
| Loi de Coulomb. | 41 |
| Loi de Joule | 42 |
| — Kirchkoff | 42 |
| — Mariotte. | 38 |
| — Ohm | 42 |
| Longueur d'une circonférence | 14 |
| — d'un arc de cercle | 14 |
| Lumière | 41 |
| — (vitesse de la) | 41 |
| Lux-masse | 284 |

M

| | |
|-----------------------------|-------|
| Machines à vapeur | 29-31 |
|-----------------------------|-------|

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

477

| | |
|---|-----------|
| Machines simples (équation d'équilibre des) | 24 |
| Machines à vapeur (comparaison avec les moteurs à gaz) | 420 |
| Maçonneries | 79-329 |
| Manchester (bec) | 382 |
| Mariotte (loi de) | 38 |
| Masses (relations entre les fours et les accélérations) | 25 |
| Masse (Lux) | 284 |
| Mastics divers | 74 |
| Matériaux de construction | 80 |
| Matière épurante Deicke-Schneider | 283 |
| — — Laming | 281 |
| — — à la limaille | 283 |
| — — à l'oxyde naturel | 284 |
| — — Salanson | 282 |
| — — (revivification des) | 287 |
| — — (vieilles) | 300 |
| — — à la chaux (vieille) | 305 |
| Matières volatiles dans les bouilles | 110 |
| Mécanique | 23 |
| Mélanges épurants | 284 |
| Mélange tonnant (composition du) | 416 |
| Mesurage des compteurs (erreur dans le) | 364 |
| Mesurage du gaz à l'usine | 314 |
| — — chez les abonnés | 360 |
| Mesure des hauteurs par le baromètre | 38 |
| Mesures françaises (anciennes et nouvelles) | 11 |
| — — (comparaison avec les mesures anglaises) | 11 |
| Migration de l'azote dans les produits de la distillation | 427 |
| Minerai de fer naturel | 284 |
| Minium (essai du) | 75 |
| Moments d'inertie | 26 |
| Monnier D. (tables et tableaux de M.) | 347 |
| Moteurs animés (travail des) | 37 |
| Moteurs à gaz | 416 |
| — — (division des) | 417 |
| — — (rendement des) | 417 |
| Moteurs à gaz (consommation des) | 420 |
| — — (comparaison avec les machines à vapeur) | 420 |
| Mortiers | 80-82-326 |
| Mouvement rectiligne, mouvement circulaire | 25 |

N

| | |
|---|-------|
| Naphtaline | 244 |
| Newton (binôme de) | 20 |
| Newton (formule du rayonnement de la chaleur) | 40 |
| Niveau des compteurs (abaissement des) | 362 |
| — — (élévation des) | 368 |
| Nitentrène | 454 |
| Nivellement (cornet de) | 83-84 |

O

| | |
|--|---------|
| Obstruction des colonnes montantes | 125 |
| Ohm (loi de) | 42 |
| Oxyde de carbone | 246-254 |
| Oxyde de fer (épuration à l'). | 280 |
| — (dépense pour l'épuration à l'). | 286 |

P

| | |
|--|-------------|
| Palladium (recherche de fuites avec la liqueur de) | 357 |
| Papiers réactifs | 75 |
| Papillons | 382 |
| Parabole | 15 |
| Parois des fours (pertes par les) | 122-170-188 |
| Passage du gaz dans les épurateurs (vitesse de) | 286 |
| Pelouze | 268 |
| Pendule simple | 26-37 |
| Pendule composé | 26 |
| Pente des canalisations | 354 |
| Pertes de gaz par les canalisations | 355 |
| Pertes de chaleurs | 122-170-188 |
| Pertes de gaz lors de la première mise en feu | 197 |
| Pesanteur | 38 |
| Phénantrène | 454 |
| Phénol | 454 |
| Photomètres | 394 |
| Photomètres Dumas et Régnault | 398 |
| — à jet (Giroud) | 405 |
| Photométriques (table des données) | 407 |
| Physique et chimie (tableau relatif à la) | 43 |
| Pierres | 80-323 |
| Piquage | 134 |
| Pieux (formule du battage des pieux) | 26 |
| Plan incliné | 24 |
| Plomb (poids des tuyaux de) | 73 |
| — (mastic de) | 74 |
| Plongeurs | 264 |
| Poids des câbles en chanvre et chaînes de fer | 27 |
| — des charges (influence du) | 221 |
| — des fers plats | 65 |
| — des fers ronds et carrés | 69 |
| — des feuilles métalliques les plus employées | 69 |
| — spécifiques des principaux corps | 43 |
| — des tuyaux à emboîtement et cordon | 68 |
| — — avec assemblages à brides | 69 |
| — — Chameroÿ | 70 |
| — — en cuivre | 72 |
| — — en fer étiré | 71 |
| — — en plomb | 73 |

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

479

| | |
|---|----------------|
| Poinçonnage des compteurs | 368 |
| Points de fusion et d'ébullition de quelques corps | 49 |
| Polygones réguliers | 13 |
| Pompes | 32 |
| Portes de foyer | 133 |
| Pose des conduites | 353 |
| Potentiel | 41-42 |
| Poulies | 24 |
| Pouvoir absorbant | 47 |
| — calorifique | 48-151-154-410 |
| — conducteur | 47 |
| — éclairant | 376 |
| — — (variation du) | 377 |
| — — (vérification du) | 398 |
| — émissif | 48 |
| — réflecteur | 47 |
| Pression de vapeur | 52 |
| Principe de Pascal | 38 |
| Pression barométrique | 38 |
| — (influence sur le pouvoir éclairant) | 379 |
| — sur le produit de la distillation | 225 |
| Pression manométrique des gazomètres | 336 |
| — (réglage de la) | 342 |
| — (relevé de la) | 357 |
| Prix de revient des fours | 199 |
| — du gaz | 463 |
| — des gazomètres | 339 |
| Production des cornues par vingt-quatre heures | 224 |
| — de gaz dans les différentes phases de la distillation | 225 |
| Produits de la combustion | 375 |
| — de la condensation | 271 |
| — de la distillation | 214-216-219 |
| Progressions arithmétiques | 20 |
| — géométriques | 20 |
| Prony (frein de) | 26 |
| Propylène | 242 |
| Puissance calorifique du gaz d'éclairage | 418 |
| — épurante des matières | 287 |
| Pulsomètres | 32 |
| Pyromètre de Wedgewood | 194 |
| — de Brogmart | 194 |
| — de Mesuré et Noël | 196 |

R

| | |
|---|--------|
| Racines carrées et cubiques des nombres de 1 à 100 | 1 |
| — — de quelques fractions | 6 |
| Radier des cuves de gazomètres | 318 |
| Rayons des cercles inscrits et circonscrits aux polygones réguliers | 13 |
| Rayonnement des combustibles | 40-459 |
| — (transmission de la chaleur par le) | 40-122 |

| | |
|---|-----------|
| Réaumur (degrés) | 44-46 |
| Recherches de fuites | 356 |
| Récupérateurs | 142 |
| Réduction à zéro d'une hauteur barométrique | 38 |
| Réflexion | 41 |
| Réflecteur (pouvoir) | 47 |
| Réfraction | 41 |
| Réfrigérant (pouvoir) | 265 |
| Régénération des eaux ammoniacales | 297 |
| Réglage des pressions | 342 |
| Régulateurs de becs | 386 |
| — d'émission | 340 |
| Rendement des appareils de cuisine et chauffage | 415-418 |
| — calorifique pratique | 413 |
| — de la distillation de goudron | 457 |
| — des foyers à grille | 170-175 |
| — des foyers à sole pleine | 177 |
| — des foyers gazogènes | 187 |
| — des houilles distillées | 96-98-214 |
| — — en sulfate d'ammoniaque | 450 |
| — des machines à vapeur | 31-420 |
| — — électriques | 42 |
| — des moteurs à gaz | 420 |
| — thermique | 415 |
| — de sulfate d'ammoniaque par 100 kilogrammes d'acide | 450 |
| Renouvellement de l'air vicié | 391 |
| Renversement (avantages et inconvénients des) | 143 |
| Résidu de l'équation par la chaux | 305 |
| — — par l'oxyde de fer | 300 |
| Résistance (coefficients de) | 27-28 |
| Résistance d'un conducteur électrique | 42 |
| — des remblais | 329 |
| — des câbles en chanvre et chaînes de fer | 27 |
| — des courroies | 34 |
| — à la compression | 28 |
| — au cisaillement | 29 |
| — à la flexion | 29 |
| — à la traction | 29 |
| Richesse en sel de solutions diverses | 59-64 |
| Résultats de la condensation et du lavage | 270 |
| Revivification des matières épurantes | 287-289 |
| Robinets d'arrêt | 355 |

S

| | |
|---|---------|
| Schneider (matière) | 283 |
| Scrubbers | 267-274 |
| — (ammoniacaux) | 295 |
| Sectionnements | 356 |
| Section des canaux d'évacuation | 302 |
| Sels ammoniacaux | 430-446 |

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES 481

| | |
|---|-----------------|
| Sel marin (richesses des solutions de) | 59 |
| Sels neutres (épuration par les) | 278 |
| Sinus naturels de 0 à 45° | 9 |
| Solubilité de l'air. | 57 |
| — du chlorhydrate d'ammoniaque | 58 |
| — des hydrocarbures | 273 |
| — du soufre dans le sulfure de carbone | 305 |
| — du sulfate d'ammoniaque. | 58 |
| — du sulfate de fer | 58 |
| Solution d'acide chlorhydrique (densité et richesse des). | 60 |
| — sulfurique | 63 |
| — d'alcool méthylique. | 60 |
| Solution de chlorhydrate d'ammoniaque. | 61 |
| — d'ammoniaque | 62 |
| Solution de chlorure de calcium | 61 |
| — de glycérine | 59 |
| — de sel marin | 59 |
| — de sulfate d'ammoniaque | 62 |
| — de sulfate de fer | 62 |
| Soudage | 357 |
| Soudures. | 74 |
| Soupapes de sûreté. | 30 |
| Soupape des compteurs. | 366 |
| Soufre | 112 |
| Stabilité des cheminées. | 204 |
| Sulfate d'ammoniaque (solubilité et solution) | 58 |
| — (propriété, usages) | 431-447 |
| — (analyse du) | 448 |
| Sulphate d'ammoniaque | 432 |
| Sulfite | 433 |
| Sulfocyanures (fabrication des) | 450 |
| Sulfocyanate, sulfocyanure d'ammonium. | 431 |
| Sulfureux (épuration par l'acide) | 290 |
| Sulfurique (solution d'acide). | 63 |
| — (arrêt de l'ammoniaque par l') | 279 |
| Sulfure de carbone. | 251-292-294-305 |
| Surface des grilles | 130 |
| — des polygones réguliers. | 13 |
| — usuelles | 14 |
| Styrolène. | 245 |
| Symbole des corps simples | 53 |
| Siphons | 354 |
| Système métrique (tableau des unités du) | 10 |

T

| | |
|--|-----------------|
| Tables diverses (voir aux articles spéciaux) | » |
| Tampons de cornues | 124 |
| Télescopiques (gazomètres) | 337 |
| Température de combustion | 156-162-177-181 |
| Températures (détermination des). | 182-192 |

| | |
|--|--------|
| Températures (influence sur la distillation) | 219 |
| — (influence sur le pouvoir éclairant) | 379 |
| Têtes de fonte | 124 |
| Terrains houillers (superficie des) | 94 |
| Théorie chimique de la distillation | 226 |
| — des flammes | 373 |
| Tensions de quelques vapeurs | 64 |
| — de la vapeur d'eau aux diverses températures | 52 |
| Thermomètres (comparaison des) | 45-46 |
| — à courant gazeux du liquide | 195 |
| Tirage des cheminées | 207 |
| — des fours | 170 |
| Titre du gaz | 376 |
| Tôles de gazomètres (épaisseur des) | 332 |
| Toluène | 243 |
| Toluidine | 455 |
| Tracé de l'ellipse | 14 |
| — de l'hélice | 16 |
| — de la parabole | 15 |
| Traction (résistance à la) | 29 |
| Traitement des eaux ammoniacales | 444 |
| — du goudron | 456 |
| — des vieilles matières d'épuration | 304 |
| Transformation de la chaleur en travail | 40 |
| Transmission de la chaleur par rayonnements | 40 |
| Transmission de la chaleur pendant la distillation | 213 |
| — de la lumière | 41 |
| — de mouvement | 33 |
| Travail (formule du) | 24 |
| Travail des moteurs animés | 37 |
| Travail produit par les extracteurs | 310 |
| Treuil | 24-35 |
| Triangles (relations géométriques entre les côtés des) | 12 |
| — (formules trigonométriques) | 22-23 |
| Trigonométrie | 21 |
| Trigonométriques formules) | 21-22 |
| Tuyaux Chameroy (poids des) | 70 |
| Tuyaux (choix des) | 352 |
| — en cuivre (poids des) | 72 |
| — en fer étiré (poids des) | 71 |
| — en fonte à emboîtement (poids des) | 68-352 |
| — en fonte à brides (poids des) | 69 |
| — en plomb (poids des) | 73 |

U

| | |
|---|----|
| Unités électriques | 42 |
| — du système métrique | 40 |
| — monétaires et des mesures françaises et anglaises | 11 |
| — de travail | 24 |

V

| | |
|---|---------|
| Vapeur (dépense par les machines à). | 30 |
| Vapeur d'eau (influence sur le pouvoir éclairant). | 379 |
| — production. | 29 |
| Vapeurs (tension de quelques). | 52-64 |
| Ventilation par les appareils d'éclairage. | 387 |
| Verres à gaz (cheminées) | 380-385 |
| Verres (influence des verres sur le pouvoir éclairant). | 380 |
| Vérification des compteurs en marche. | 368 |
| — du pouvoir éclairant du gaz | 398 |
| Vitesse de la lumière. | 41 |
| Vitesse de passage du gaz dans les épurateurs. | 286 |
| Volumes usuels. | 17 |
| Volt | 42 |

W

| | |
|------------------------------------|-----|
| Watt. | 42 |
| Wedgewood (pyromètre de) | 194 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|------------------|---|
| PRÉFACE. | 1 |
|------------------|---|

PREMIÈRE PARTIE

AIDE-MÉMOIRE ET FORMULAIRE

MATHÉMATIQUES

| | |
|---|------|
| Table des inverses, des carrés, cubes, racines carrées et cubiques et valeurs des logarithmes des nombres de 1 à 100. — Racines carrées et cubiques de quelques fractions. — Tables des circonférences et cercles. — Tables des sinus, cosinus et tangentes. — Table des facteurs usuels et de leurs logarithmes. . . . | 1-10 |
|---|------|

ARITHMÉTIQUE

| | |
|---|-------|
| Système métrique. — Comparaison des mesures et monnaies diverses. — Intérêt simple et escompte. | 10-12 |
|---|-------|

GÉOMÉTRIE

| | |
|--|-------|
| Triangles. — Polygones réguliers. — Circonférence, courbes usuelles. — Surfaces et volumes usuels. | 12-19 |
|--|-------|

ALGÈBRE

| | |
|---|-------|
| Equations, progressions. — Binôme de Newton. — Arrangements, permutations, combinaisons, intérêt composé. | 19-20 |
|---|-------|

TRIGONOMÉTRIE

| | |
|--|-------|
| Valeurs des lignes trigonométriques. — Formules fondamentales résolutions des triangles. | 20-23 |
|--|-------|

GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

| | |
|---------------------------------|----|
| Equations principales | 23 |
|---------------------------------|----|

MÉCANIQUE

| | |
|--|-------|
| Machines simples (levier, poulie, moufle, treuil) plan incliné — formule du travail, rendements, relations entre les forces, masses et accélérations. — Forces centripète et centrifuge. — Formules du mouvement. — Pendule. — Battage des pieux. — Frein de Prony, moments d'inertie. | 23-26 |
|--|-------|

RÉSISTANCE

| | |
|--|-------|
| <i>Coefficients de résistance</i> des matériaux, résistance des câbles et chaînes en fer — des solides à la compression, à la traction au cisaillement. — Flexion transversale. | 26-29 |
| <i>Chaudières et machines à vapeur.</i> — Chauffage des chaudières, carnaux de fumée, soupapes de sûreté. — Foyers et accessoires. — Rendement des machines à vapeur. — Classement des machines et chaudières à vapeur | 29-32 |
| <i>Pompes — pulsomètres.</i> | 32 |
| Transmission de mouvement. — Courroies | 32-34 |
| Appareils de levage: treuil, chèvre, grue. | 35-36 |

PHYSIQUE

| | |
|--|-------|
| <i>Pesanteur.</i> — Principe de Pascal, densité. — Hauteur barométrique, loi de Mariotte. | 38 |
| <i>Chaleur.</i> — Définition. — Transformation de la chaleur en travail transmission du calorique. | 39-40 |
| <i>Lumière, électricité.</i> Formules | 41-42 |

TABLEAUX RELATIFS A LA PHYSIQUE ET A LA CHIMIE PURE

| | |
|--|-------|
| Poids spécifiques des principaux corps. — Thermomètres, pouvoirs réflecteurs, absorbants, conducteurs calorifiques et émissifs. — Dilatation, coefficients de dilatation. — Points de fusion, d'ébullition et chaleurs spécifiques des principaux corps. — <i>Corps simples.</i> | 43-54 |
| <i>Densités</i> répondant aux degrés de divers aréomètres. — Solubilité de quelques corps: de l'air dans l'eau, du chlorhydrate et du sulfate d'ammoniaque dans l'eau. — Du sulfate de fer. | 55-58 |
| Densités des solutions de sel marin, de glycérine, d'alcool méthylique, d'acide chlorhydrique, de chlorure de calcium, d'ammoniaque, de chlorhydrate d'ammoniaque, de sulfate d'ammoniaque, de sulfate de fer, d'acide sulfurique. | 57-64 |
| Tension à + 15 de quelques vapeurs. | 64 |

DOCUMENTS DIVERS

| | |
|--|--|
| Poids des fers plats, des feuilles métalliques, des fers ronds et carrés, des tuyaux en fonte à emboîtement ou à brides, des | |
|--|--|

TABLE DES MATIÈRES

487

| | |
|---|-------|
| tuyaux Chameroy, des tuyaux en fer étiré, en cuivre, en plomb | 65-73 |
| Principales soudures. — Mastics. — Papiers réactifs, essai des huiles, analyse d'une eau. | 74-79 |
| Constructions — maçonneries. — Pierres, chaux, mortiers, bétons. — Nivellement | 79-84 |

SECONDE PARTIE

TRAITÉ DE LA FABRICATION PROPREMENT DITE

CHAPITRE PREMIER

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

Définitions, origines, subdivision des combustibles minéraux.
Houille. — Généralités. — Superficie des terrains houillers en Europe. — Production houillère de la France. — Classification des houilles. — Composition. — Rendement. — Prix. — Choix des houilles à gaz. — Analyses des houilles : humidité, matières volatiles, coke, cendres, soufre, azote. — Essai des houilles par distillation. — Propriétés collantes des houilles. — Action de l'air et de l'eau atmosphérique. — Echauffement des houilles

89-117

CHAPITRE II

APPAREILS DE DISTILLATION

Fours. — Cornues, tampons de cornues. — Colonnes montantes. — Montage des cornues. — Obstruction des colonnes montantes

118-127

CHAPITRE III

APPAREILS DE CHAUFFAGE

Emploi des combustibles solides. — Foyers à grille : petite voûte, autel, lanquette, grille. — Consommation des foyers à grille (coke, houille, agglomérés). — Cadre et porte de foyers, cuvette. — Opérations au foyer : chargement, piquage, décrassage.

Emploi des combustibles liquides. — Foyers à sole pleine. Dépense de goudron. — Alimentation. — Opérations au foyer.

Chauffage par les gaz. — Appareil de production et d'utilisation des gaz. — *Gazogènes* (emplacement, formes et dimensions). — Opérations au foyer, canal de distribution, carnaux d'air. — Appareils d'utilisation des gaz, brûleurs. — *Récupérateurs.*

Discussion de l'économie de combustible. — Avantages et inconvénients des gazogènes. — Principaux types du gazogène. — Carnaux, registres, regards, calcul des carnaux, de la cheminée traînante. 128-130

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉNÉRALE DU CHAUFFAGE DES FOURS

Puissances calorifiques. — Définition de la combustion. — Lois relatives aux puissances calorifiques. — Méthodes du calorimètre, de Dulong, de Berthier. — Quantité d'air nécessaire à la combustion. — Tableaux relatifs à la combustion.

Chauffage par les combustibles solides. — *Foyers à grille.* Marche de la combustion. variation de température dans les couches de combustible. — Transport de la chaleur dans les fours. — Comment la chaleur est emmagasinée dans les flammes. — Cession de la chaleur aux cornues. — Air nécessaire à la combustion des solides. — Rentrées d'air dans le four. — Analyse des gaz brûlés. — Foyers à double combustion. — Tirage des fours, rendement des foyers à grille. — Perte de chaleur.

Chauffage par les combustibles liquides. — Combustion des liquides. — Température de combustion. — Rendement des foyers à sole pleine.

Chauffage par les combustibles gazeux. — Composition des gaz combustibles. — Température de combustion. — Quantité de combustible solide produisant 1 kilogramme de gaz. — Emploi de l'eau ou de la vapeur au gazogène. — Rendement des gazogènes. — Pertes de chaleur par les parois du gazogène, la grille, etc.

Méthode pratique pour la détermination des températures. — Calorimètre. — Pyromètre de Wedgewort, de Brogniart. — Thermomètre à courant gazeux ou liquide. — Détermination des températures par la fusion des alliages, la couleur des matériaux du four. — Pyromètre Mesuré et Noël.

Notes pratiques. — Mise en feu. — Pertes de gaz lors d'une première mise en feu. — Réparations. — Décarburation des cornues. — Extinction ou arrêt d'un four. — Coût des fours. . . 150-190

CHAPITRE V

CHEMINÉES

Matériaux. — Construction. — Fondations. — Piédestal, chambre des cendres folles. — Fût. — Chapiteau. — Stabilité des cheminées et sections. — *Tirage*. 200-209

CHAPITRE VI

DISTILLATION DE LA HOUILLE

Chargement et déchargement des cornues. — Action de la chaleur sur les houilles. — Produits complexes de la distillation. — Rendement des houilles à gaz. — *Éléments constitutifs des produits de la distillation*. — Influence sur la distillation des températures. — Des poids et de la durée des charges. — Production des cornues en vingt-quatre heures. — Influence de la pression et des corps étrangers. — *Théorie chimique de la distillation*. 210-230

CHAPITRE VII

ÉTUDE DU GAZ D'ÉCLAIRAGE

Composition moyenne. — Composition aux différentes phases de la distillation. — Propriétés physiques et chimiques des éléments constitutifs du gaz d'éclairage. — *Analyse du gaz*: diverses méthodes d'analyses. — Densité du gaz 231-257

CHAPITRE VIII

ÉPURATION

I^{re} PARTIE. — *Condensation*. — Condensation à chaud. — Produits de la condensation. — Limites de la condensation. — Chaleur emportée par le gaz.
Appareils de condensation. — Plongeurs. — Barillets. — Réfrigérants. — Condenseur à air libre, arrosés, à frottement, à choc. Résultats d'une bonne condensation. 258-271

II^e PARTIE. — *Épuration chimique*: 1^o *Enlèvement de l'ammo-*

| | |
|---|---------|
| <i>niaque.</i> — Influence de l'ammoniaque dans le gaz. — Laveurs. Caisses à sciure. — Résultat du lavage. — Emploi des sels neutres et de l'acide sulfurique ; | |
| 2° <i>Enlèvement de l'hydrogène sulfuré.</i> — Epuraton par l'oxyde de fer. — Etude des mélanges épurants. — Mélanges Laming, Salanson, à la linaille, Deicke et Schneider, aux oxydes naturels. — Emploi des mélanges. — Surface d'épuration. — Vitesse de passage du gaz dans les épurateurs. — Dépense d'oxygène. Puissance épurante des matières. — Revivification. — Nombre de revivifications ; | |
| 3° <i>Arrêt de l'acide carbonique.</i> — Epuraton à la chaux. — Influence de l'acide carbonique dans le gaz. | |
| 4° <i>Enlèvement du sulfure de carbone ;</i> | |
| 5° <i>Arrêt de plusieurs éléments nuisibles.</i> — Epuraton à la chaux. — Surface d'épuration. — Epuraton par les eaux ammoniacales. — Lavage par les eaux du gaz. — Proportion des eaux de lavage. — Régénération des liqueurs ammoniacales. | |
| <i>Résultats généraux de l'épuration</i> | 272-300 |
| <i>Vieilles matières épurantes.</i> — Résidu de l'opération par les oxydes de fer. — Traitement de ces résidus. — Résidu de l'épuration par la chaux. | 300-306 |

CHAPITRE IX

EXTRACTION

| | |
|---|---------|
| <i>Extracteurs rotatifs.</i> — Installation des extracteurs. — Travail produit par les extracteurs. — Résultats obtenus avec les appareils Beale. | |
| <i>Extracteurs à jet de vapeur.</i> — Résultats obtenus avec les extracteurs Kærtling. — Contrôle de l'extraction | 307-313 |

CHAPITRE X

MESURAGE DU GAZ FABRIQUÉ

| | |
|--|---------|
| Rapporteur de fabrication. — Influence des températures sur le mesurage. — Tableau de correction. — Règles de construction | 314-316 |
|--|---------|

CHAPITRE XI

EMMAGASINAGE DU GAZ

Gazomètres. — Rôle et dimensions des gazomètres.
Construction des cuves. — Cuves en maçonnerie (Radier,

- parois verticales, contreforts). — Exemples des cuves en maçonnerie et en béton. — Fouilles. — Choix des matériaux : pierres, chaux, ciments, mortiers, bétons et enduits.
 Cuves métalliques.
Cloches de gazomètres. — Epaisseur des tôles. — Guidage — Colonnes et entretoises. — Pression manométrique, poids des tôles.
Gazomètres télescopiques. — Tuyau d'entrée et de sortie des gaz. — Coût des gazomètres 317-339

CHAPITRE XII

ÉMISSION

- Régulateur de Cleeg* et ses dérivés. — Réglage des pressions . 340-342

CHAPITRE XIII

DISTRIBUTION DU GAZ

- Calcul des conduites.* — Table de M. Arsong et de M. Monnier.
Calcul d'un réseau. — Différences d'altitude. — Changements de direction.
Branchements. — Matériaux de conduites. — Pose des conduites (pentes et siphons). — Matériaux des branchements. — Robinets d'arrêt.
Fuites. — Cause des fuites. — Leurs recherches. — (Sectionnements et localisations). — Indice des fuites. — Réparation des fuites. 343-359

CHAPITRE XIV

MESURAGE DU GAZ CHEZ LES ABONNÉS

- Compteurs.* — Compteurs humides. — Volumes débités. — Réglage du niveau. — Abaissement du niveau. — Débit des compteurs. — Erreurs de mesurage dues à l'abaissement du niveau, à la surcharge ou à l'inclinaison des compteurs. Remèdes contre les abaissements du niveau : soupape, compteurs à bêche, compteurs Scholefield, Crossley et Goldsmith. Compteurs Maldant, Warner et Cowan, Siry Lisars. — élévation du niveau. — Siphons.
 Vérification des compteurs en marche : faiblesse ou manque de gaz, fluctuations, erreurs de mesurage. — Congélation des compteurs.
 Compteurs secs 360-372

CHAPITRE XV

EMPLOI DU GAZ A L'ÉCLAIRAGE ET A LA VENTILATION

Théorie des flammes d'après Davy. — Théorie nouvelle. — Produits de la combustion.

Pouvoir éclairant. — Titre du gaz. — Variation du pouvoir éclairant : influence des hydrocarbures, des diluants (air, acide carbonique, hydrogène, etc.), des températures, de la vapeur d'eau, de la pression barométrique, du froid, des verres, etc.

Etude des becs. — Becs bougies, manchesters, à double courant d'air, becs intensifs et à récupération. — Régulateurs secs et humides.

Ventilation par les appareils d'éclairage. — Données sur la ventilation. — Résultat de la respiration. — Altération de l'air du fait de l'éclairage. — Renouvellement de l'air. —

Entrée d'air pur. — Evacuation de l'air 372-393

CHAPITRE XVI

PHOTOMÉTRIE

Photomètres. — Etalons de lumière. — Comparaison des étalons. — Choix de la flamme gaz.

Photomètre Dumas et Regnault. — Règles à observer dans les essais de vérification du pouvoir éclairant.

Photomètre à jets. — Essayeur Giroud. — Tableau des données photométriques. — Comparaison des divers éclairages.

— Tableau des consommations et intensité des principaux foyers lumineux. 394-409

CHAPITRE XVII

EMPLOI DU GAZ AU CHAUFFAGE ET A LA CUISINE

Puissance calorifique du gaz. — Combustion du gaz dans les foyers de chauffage et de cuisine. — Rendements. —

Dépense des principaux appareils de cuisine et chauffage . . 410-415

CHAPITRE XVIII

EMPLOI DU GAZ A LA PRODUCTION DE LA
FORCE MOTRICE

- Moteurs à gaz.* — Composition du mélange tonnant. — Division des moteurs. — Rendement thermique. — Rendement calorifique pratique. — Perfectibilité des moteurs à gaz. — — Consommation moyenne des moteurs à gaz. — Comparaison entre les machines à vapeur et les machines à gaz tonnant au point de vue du rendement calorifique 416-422

CHAPITRE XIX

EAUX AMMONIACALES

- Azote dans les houilles.* — Production d'ammoniaque dans les diverses phases de la distillation. — Répartition de l'azote dans les produits de la distillation. — Production de l'eau ammoniacale. — Composition de l'eau, étude des éléments constitutifs. — Analyse des eaux ammoniacales. — Multiplicateur de l'azote. — Résultats d'analyse de diverses eaux ammoniacales.
- Traitement des eaux ammoniacales.* — Chauffage des eaux. — Rendements du chauffage.
- Alcali.* — Sel ammoniac. — *Sulfate d'ammoniaque.* — Coloration et dosage du sulfate. — Rendement des houilles en sulfate. — Rendement par 100 kilos d'acide. — Fabrication des sulfocyanures. 423-452

CHAPITRE XX

GOUDRON

- Composition du goudron. — Eléments constitutifs du goudron. — Emploi du goudron. — Traitement et rendement du goudron 458-467

CHAPITRE XXI

COKE

- Chaleur rayonnante des combustibles. — Emploi du coke. — Cassage et grillage 458-460

CHAPITRE XXII

ROLE DES CAPITAUX DANS LES AFFAIRES DE GAZ

Capitaux engagés. — Prix de revient du gaz 461-465

FIN

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

