

TABLEAU 1.8
Valeurs des viscosités cinématique et dynamique
de l'eau en fonction de la température et de la
pression [Réf. 1.21]

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\nu, \frac{\text{kgp}}{\text{cm}^2}$ | $\eta, 10^6, \frac{\text{kgp}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$ | $\nu, 10^6, \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ |
|---------------------|---------------------------------------|--|--|
| 0 | 1,0 | 182,3 | 1,792 |
| 10 | 1,0 | 133,1 | 1,306 |
| 20 | 1,0 | 102,4 | 1,006 |
| 30 | 1,0 | 81,7 | 0,805 |
| 40 | 1,0 | 66,6 | 0,659 |
| 50 | 1,0 | 56,0 | 0,556 |
| 60 | 1,0 | 47,9 | 0,478 |
| 70 | 1,0 | 41,4 | 0,415 |
| 80 | 1,0 | 36,2 | 0,365 |
| 90 | 1,0 | 32,1 | 0,326 |
| 100 | 1,03 | 28,8 | 0,295 |
| 110 | 1,46 | 26,4 | 0,272 |
| 120 | 2,02 | 24,2 | 0,252 |
| 130 | 2,75 | 22,5 | 0,233 |
| 140 | 3,68 | 20,5 | 0,217 |
| 150 | 4,85 | 19,0 | 0,203 |
| 160 | 6,30 | 17,7 | 0,191 |
| 170 | 8,08 | 16,6 | 0,181 |
| 180 | 10,23 | 15,6 | 0,173 |
| 190 | 12,80 | 14,7 | 0,165 |
| 200 | 15,86 | 13,9 | 0,158 |
| 210 | 19,46 | 13,3 | 0,153 |
| 220 | 23,46 | 12,7 | 0,148 |
| 230 | 28,53 | 12,2 | 0,145 |
| 240 | 34,14 | 11,7 | 0,141 |
| 250 | 40,56 | 11,2 | 0,137 |
| 260 | 47,87 | 10,8 | 0,135 |
| 270 | 56,14 | 10,4 | 0,133 |
| 280 | 65,46 | 10,0 | 0,131 |
| 290 | 75,92 | 9,60 | 0,129 |
| 300 | 87,61 | 9,30 | 0,128 |
| 310 | 100,64 | 9,00 | 0,128 |
| 320 | 115,12 | 8,70 | 0,128 |
| 330 | 131,18 | 8,30 | 0,127 |
| 340 | 149,96 | 7,90 | 0,127 |
| 350 | 168,63 | 7,40 | 0,126 |
| 360 | 190,42 | 6,80 | 0,126 |
| 370 | 214,68 | 5,80 | 0,126 |

où :

z_1 et z_2 — coordonnées de deux particules du liquide ou du gaz du volume donné par rapport à un plan de référence (profondeurs d'immersion ou hauteurs géométriques correspondantes) (Fig. 1.3).

p_1 et p_2 — pression statique (absolue) au niveau de ces particules en kgp/m^2 .

γ — poids spécifique du liquide ou du gaz, en kgp/m^3 .

3. La pression en un point quelconque du volume de liquide ou de gaz peut être obtenue, connaissant la pression en n'importe quel autre point appartenant au même volume, ainsi que la profondeur d'immersion $h = z_2 - z_1$ de ce point relativement à l'autre (Fig. 1.3) :

$$\left. \begin{aligned} p_2 &= p_1 - \gamma(z_2 - z_1) = p_1 - \gamma h \\ p_1 &= p_2 + \gamma(z_2 - z_1) = p_2 + \gamma h \end{aligned} \right\} (1.7)$$

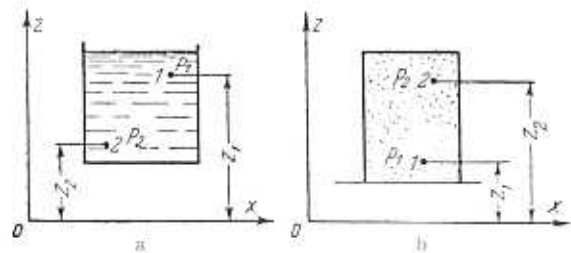


FIG. 1.3. — Détermination de la pression en un point quelconque du liquide ou du gaz d'après la pression en un point donné :

a) $\gamma > \gamma_a$

b) $\gamma < \gamma_a$

(γ_a : poids spécifique de l'air atmosphérique)

D'où, par exemple, dans le cas d'un récipient rempli d'un gaz chaud au repos ($\gamma < \gamma_a$), la pression qui s'exerce sur les parois au niveau $h = z_g - z_a$, qui se trouve plus haut que le plan séparant le gaz de l'air atmosphérique (Fig. 1.4), est plus faible que la pression p_a dans le plan de séparation, autant du côté du gaz (p_g) que du côté de l'air (p_h) :

$$p_g = p_a - \gamma_g h \quad (1.8)$$

$$p_h = p_a - \gamma_a h \quad (1.9)$$

où :

γ_g — Poids spécifique du gaz (moyen suivant la hauteur h), en kgp/m^3 .

γ_a — Poids spécifique de l'air atmosphérique (moyen suivant la hauteur h), en kgp/m^3 .

4. La pression relative H_g d'un gaz chaud au repos dans un récipient au niveau $h = z_g - z_a$, par rapport à la pression atmosphérique de l'air au même niveau h , est obtenue d'après (1.8) et (1.9) :

$$H_g = p_g - p_h = h(\gamma_a - \gamma_g) \quad (1.10)$$

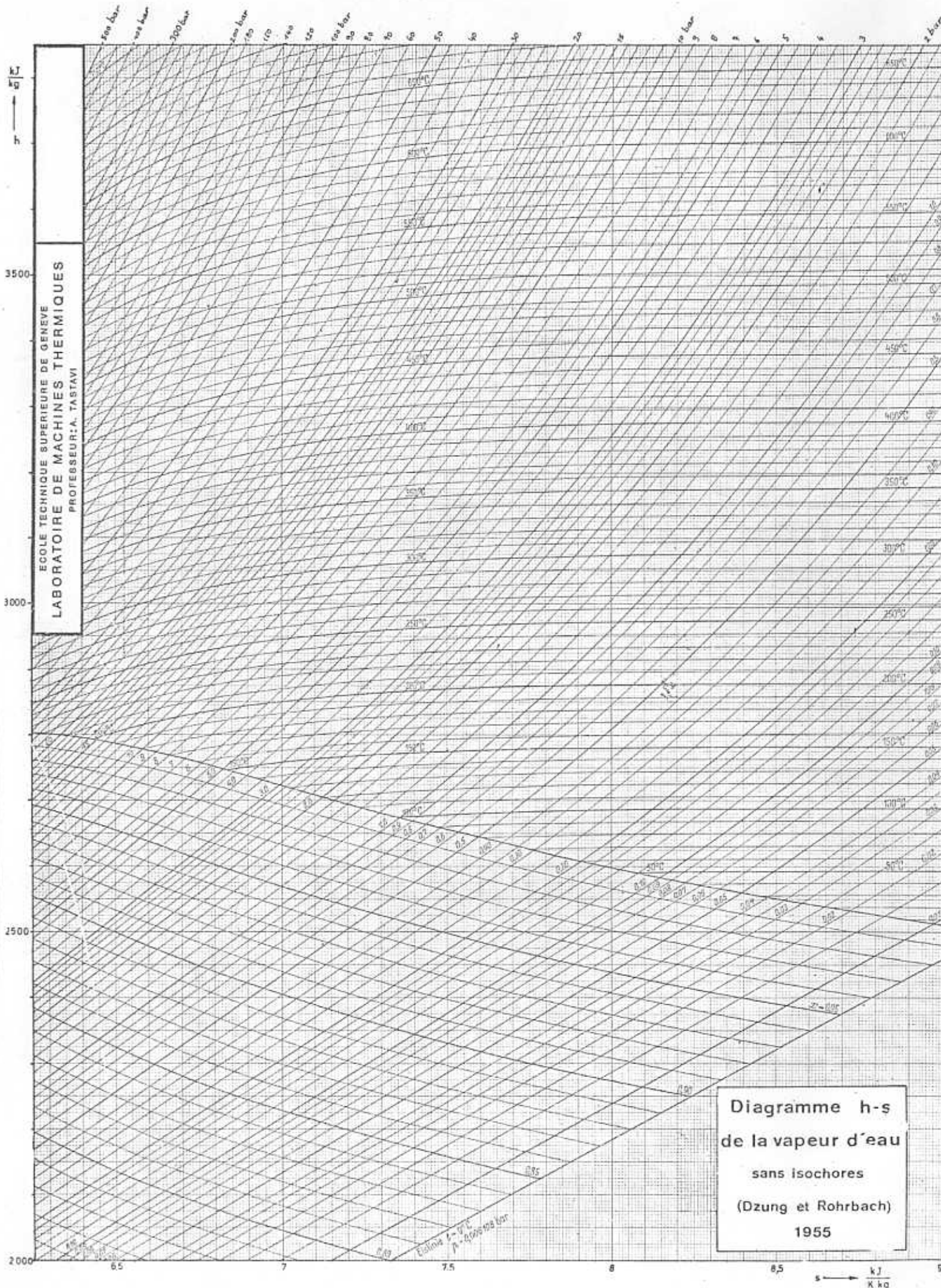


Diagramme h-s
 de la vapeur d'eau
 sans isochores
 (Dzung et Rohrbach)
 1955

ECOLE TECHNIQUE SUPERIEURE DE GENEVE
 LABORATOIRE DE MACHINES THERMIQUES
 PROFESSEUR: A. TASTAVI

Courbe de saturation de l'eau

1

(selon M.P. Voukalovitch)
 1958

| P | T° | v' | v'' | h' | q _v | h'' | s' | s'' - s' | s'' |
|-------|--------|--------------------|--------------------|--------|----------------|--------|---------|----------|---------|
| bar | °C | m ³ /kg | m ³ /kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/K kg | kJ/K kg | kJ/K kg |
| 0,010 | 6,98 | 0,0010001 | 129,205 | 29,34 | 2484,3 | 2513,6 | 0,1060 | 8,868 | 8,974 |
| 0,015 | 13,03 | 0,0010007 | 87,985 | 54,71 | 2470,1 | 2524,8 | 0,1957 | 8,631 | 8,827 |
| 0,020 | 17,51 | 0,0010014 | 67,010 | 73,45 | 2459,5 | 2533,0 | 0,2606 | 8,462 | 8,723 |
| 0,025 | 21,09 | 0,0010021 | 54,260 | 88,44 | 2451,1 | 2539,5 | 0,3119 | 8,330 | 8,642 |
| 0,030 | 24,10 | 0,0010028 | 45,671 | 101,00 | 2444,0 | 2545,0 | 0,3543 | 8,222 | 8,576 |
| 0,035 | 26,69 | 0,0010035 | 39,481 | 111,85 | 2437,9 | 2549,7 | 0,3907 | 8,130 | 8,521 |
| 0,040 | 28,98 | 0,0010041 | 34,805 | 121,42 | 2432,4 | 2553,9 | 0,4224 | 8,051 | 8,473 |
| 0,050 | 32,90 | 0,0010053 | 28,196 | 137,78 | 2423,1 | 2560,9 | 0,4763 | 7,918 | 8,394 |
| 0,060 | 36,18 | 0,0010065 | 23,742 | 151,50 | 2415,3 | 2566,8 | 0,5209 | 7,808 | 8,329 |
| 0,070 | 39,02 | 0,0010075 | 20,531 | 163,38 | 2408,5 | 2571,9 | 0,5591 | 7,715 | 8,274 |
| 0,080 | 41,53 | 0,0010085 | 18,104 | 173,87 | 2402,5 | 2576,4 | 0,5926 | 7,635 | 8,227 |
| 0,090 | 43,79 | 0,0010094 | 16,203 | 183,28 | 2397,1 | 2580,4 | 0,6224 | 7,563 | 8,186 |
| 0,10 | 45,83 | 0,0010103 | 14,673 | 191,84 | 2392,2 | 2584,1 | 0,6493 | 7,499 | 8,149 |
| 0,12 | 49,45 | 0,0010118 | 12,361 | 206,95 | 2383,5 | 2590,5 | 0,6963 | 7,389 | 8,085 |
| 0,14 | 52,58 | 0,0010133 | 10,693 | 220,03 | 2376,0 | 2596,0 | 0,7367 | 7,294 | 8,031 |
| 0,16 | 55,34 | 0,0010147 | 9,432 | 231,60 | 2369,2 | 2600,9 | 0,7721 | 7,212 | 7,985 |
| 0,18 | 57,83 | 0,0010159 | 8,444 | 242,00 | 2363,2 | 2605,2 | 0,8036 | 7,140 | 7,944 |
| 0,20 | 60,09 | 0,0010171 | 7,648 | 251,46 | 2357,7 | 2609,1 | 0,8321 | 7,075 | 7,907 |
| 0,25 | 64,99 | 0,0010199 | 6,203 | 271,99 | 2345,7 | 2617,6 | 0,8932 | 6,937 | 7,830 |
| 0,30 | 69,13 | 0,0010223 | 5,228 | 289,31 | 2335,4 | 2624,8 | 0,9441 | 6,823 | 7,767 |
| 0,35 | 72,71 | 0,0010244 | 4,525 | 304,33 | 2326,5 | 2630,9 | 0,9878 | 6,727 | 7,715 |
| 0,40 | 75,89 | 0,0010264 | 3,992 | 317,65 | 2318,6 | 2636,3 | 1,0261 | 6,643 | 7,669 |
| 0,50 | 81,35 | 0,0010299 | 3,239 | 340,56 | 2304,9 | 2645,4 | 1,0912 | 6,502 | 7,593 |
| 0,60 | 85,95 | 0,0010331 | 2,731 | 359,92 | 2293,2 | 2653,1 | 1,1454 | 6,386 | 7,531 |
| 0,70 | 89,96 | 0,0010359 | 2,364 | 376,77 | 2282,9 | 2659,7 | 1,1920 | 6,287 | 7,478 |
| 0,80 | 93,51 | 0,0010385 | 2,087 | 391,72 | 2273,7 | 2665,4 | 1,2330 | 6,201 | 7,434 |
| 0,90 | 96,71 | 0,0010409 | 1,869 | 405,21 | 2265,4 | 2670,6 | 1,2696 | 6,125 | 7,394 |
| 1,00 | 99,63 | 0,0010432 | 1,694 | 417,51 | 2257,7 | 2675,2 | 1,3027 | 6,056 | 7,359 |
| 1,20 | 104,81 | 0,0010472 | 1,428 | 439,36 | 2244,0 | 2683,3 | 1,3609 | 5,937 | 7,298 |
| 1,40 | 109,32 | 0,0010509 | 1,237 | 458,42 | 2231,9 | 2690,3 | 1,4109 | 5,835 | 7,246 |
| 1,60 | 113,32 | 0,0010543 | 1,091 | 475,38 | 2221,0 | 2696,4 | 1,4550 | 5,747 | 7,202 |
| 1,80 | 116,93 | 0,0010575 | 0,977 | 490,7 | 2211,1 | 2701,8 | 1,494 | 5,668 | 7,163 |
| 2,00 | 120,23 | 0,0010605 | 0,886 | 504,7 | 2201,9 | 2706,6 | 1,530 | 5,597 | 7,127 |
| 2,20 | 123,27 | 0,0010633 | 0,810 | 517,6 | 2193,4 | 2711,0 | 1,563 | 5,533 | 7,096 |
| 2,40 | 126,09 | 0,0010659 | 0,747 | 529,6 | 2185,4 | 2715,0 | 1,593 | 5,474 | 7,067 |
| 2,60 | 128,73 | 0,0010685 | 0,693 | 540,9 | 2177,8 | 2718,7 | 1,621 | 5,419 | 7,040 |
| 2,80 | 131,21 | 0,0010709 | 0,646 | 551,5 | 2170,7 | 2722,2 | 1,647 | 5,368 | 7,015 |
| 3,00 | 133,54 | 0,0010732 | 0,606 | 561,4 | 2163,9 | 2725,4 | 1,672 | 5,321 | 6,992 |
| 3,50 | 138,88 | 0,0010786 | 0,524 | 584,3 | 2148,2 | 2732,5 | 1,727 | 5,214 | 6,941 |
| 4,00 | 143,63 | 0,0010836 | 0,462 | 604,7 | 2133,9 | 2738,6 | 1,776 | 5,120 | 6,897 |
| 4,50 | 147,92 | 0,0010883 | 0,414 | 623,2 | 2120,8 | 2744,0 | 1,820 | 5,037 | 6,857 |
| 5,00 | 151,85 | 0,0010926 | 0,375 | 640,1 | 2108,6 | 2748,7 | 1,860 | 4,962 | 6,822 |
| 6,00 | 158,84 | 0,0011007 | 0,316 | 670,4 | 2086,4 | 2756,8 | 1,931 | 4,830 | 6,761 |
| 7,00 | 164,96 | 0,0011080 | 0,273 | 697,1 | 2066,4 | 2763,5 | 1,992 | 4,717 | 6,709 |
| 8,00 | 170,41 | 0,0011149 | 0,240 | 720,9 | 2048,2 | 2769,1 | 2,046 | 4,617 | 6,663 |
| 9,00 | 175,36 | 0,0011213 | 0,215 | 742,6 | 2031,2 | 2773,8 | 2,094 | 4,529 | 6,623 |
| 10,0 | 179,88 | 0,0011273 | 0,194 | 762,6 | 2015,3 | 2777,9 | 2,138 | 4,449 | 6,586 |

Courbe de saturation de l'eau

(selon M. P. Voukalovitch)
1958

2

| P | T° | v' | v'' | h' | q _v | h'' | s' | s''-s' | s'' |
|------|--------|--------------------|--------------------|--------|----------------|--------|---------|---------|---------|
| bar | °C | m ³ /kg | m ³ /kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/K kg | kJ/K kg | kJ/K kg |
| 10,0 | 179,88 | 0,0011273 | 0,1944 | 762,6 | 2015,3 | 2777,9 | 2,138 | 4,449 | 6,586 |
| 20,0 | 212,37 | 0,0011766 | 0,0996 | 908,6 | 1890,4 | 2798,9 | 2,447 | 3,893 | 6,340 |
| 30,0 | 233,84 | 0,0012163 | 0,0667 | 1008,3 | 1795,0 | 2803,4 | 2,645 | 3,541 | 6,186 |
| 40,0 | 250,33 | 0,0012520 | 0,0498 | 1087,4 | 1713,4 | 2800,8 | 2,797 | 3,273 | 6,070 |
| 50,0 | 263,92 | 0,0012857 | 0,0394 | 1154,5 | 1639,5 | 2794,0 | 2,921 | 3,053 | 5,973 |
| 60,0 | 275,56 | 0,0013185 | 0,0324 | 1213,7 | 1570,6 | 2784,3 | 3,027 | 2,862 | 5,890 |
| 70,0 | 285,80 | 0,0013510 | 0,0274 | 1267,4 | 1504,9 | 2772,3 | 3,122 | 2,692 | 5,814 |
| 80,0 | 294,98 | 0,0013838 | 0,0235 | 1317,0 | 1441,3 | 2758,3 | 3,207 | 2,537 | 5,744 |
| 90,0 | 303,31 | 0,0014174 | 0,0205 | 1363,5 | 1379,0 | 2742,5 | 3,286 | 2,392 | 5,679 |
| 100 | 310,96 | 0,0014521 | 0,0180 | 1407,7 | 1317,1 | 2724,8 | 3,360 | 2,255 | 5,615 |
| 110 | 318,04 | 0,0014883 | 0,0160 | 1450,1 | 1255,4 | 2705,5 | 3,430 | 2,123 | 5,553 |
| 120 | 324,64 | 0,0015266 | 0,0143 | 1491,2 | 1193,5 | 2684,7 | 3,496 | 1,997 | 5,493 |
| 130 | 330,81 | 0,0015678 | 0,0128 | 1531,4 | 1131,0 | 2662,3 | 3,561 | 1,873 | 5,433 |
| 140 | 336,63 | 0,0016115 | 0,0115 | 1571,0 | 1067,0 | 2638,0 | 3,623 | 1,750 | 5,373 |
| 150 | 342,12 | 0,001658 | 0,0104 | 1610,2 | 1001,1 | 2611,3 | 3,685 | 1,627 | 5,312 |
| 160 | 347,32 | 0,001710 | 0,00932 | 1649,7 | 931,9 | 2581,6 | 3,746 | 1,502 | 5,248 |
| 170 | 352,26 | 0,001769 | 0,00838 | 1690,0 | 858,4 | 2548,3 | 3,808 | 1,372 | 5,181 |
| 180 | 356,96 | 0,001838 | 0,00751 | 1731,8 | 778,6 | 2510,4 | 3,872 | 1,236 | 5,108 |
| 190 | 361,44 | 0,001923 | 0,00668 | 1776,5 | 689,2 | 2465,7 | 3,941 | 1,086 | 5,027 |
| 200 | 365,71 | 0,002039 | 0,00585 | 1826,6 | 583,9 | 2410,5 | 4,014 | 0,914 | 4,928 |
| 210 | 369,79 | 0,002213 | 0,00498 | 1888,5 | 447,1 | 2335,6 | 4,108 | 0,695 | 4,803 |
| 220 | 373,7 | 0,00269 | 0,00368 | 2007,9 | 170,1 | 2178,0 | 4,289 | 0,263 | 4,552 |

Point critique K

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| Pression | $P_k = 221,2 \text{ bar}$ |
| Température | $T_k = 374,15 \text{ °C}$ |
| Volume massique | $v_k = 0,00317 \text{ m}^3/\text{kg}$ |
| Enthalpie massique | $h_k = 2084 \text{ kJ/kg}$ |
| Entropie massique | $s_k = 4,430 \text{ kJ/K kg}$ |

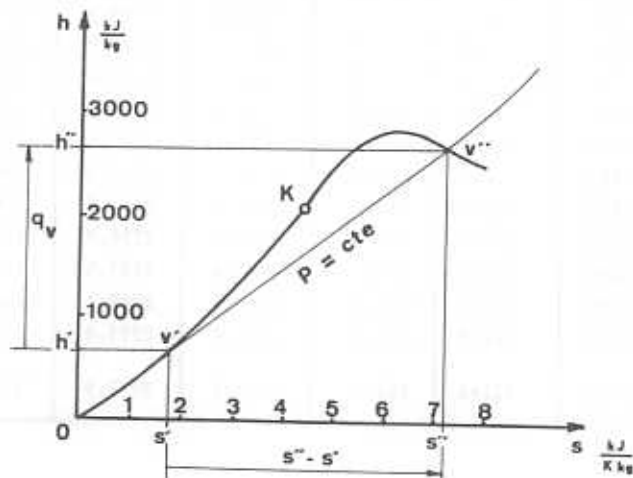


Diagramme h-s de l'eau

