

## TABLE DE CONSTANTES PHYSIQUES

### Constantes Universelles

|                                |                                                                              |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Constante des gaz idéaux:      | $R^* = 8.3143 \times 10^3 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kmole}^{-1}$ |
| Constante de Boltzman:         | $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1}$                   |
| Constante de Stephan-Boltzman: | $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} ^\circ\text{K}^{-4}$          |
| Constante de Planck:           | $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$                                      |
| Constante gravitationnelle:    | $G = 6.668 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$                    |
| Nombre d'Avogadro              | $N_A = 6.022 \times 10^{26} \text{ moléc. kmole}^{-1}$                       |
| Vitesse de la lumière (vide):  | $c^* = 2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$                                   |

### Paramètres planétaires

|                                                                      |                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Masse Atmosphérique:                                                 | $5.14 \times 10^{18} \text{ kg}$              |
| Masse Hydrosphère:                                                   | $1.36 \times 10^{21} \text{ kg}$              |
| Masse Terre:                                                         | $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$              |
| Masse Soleil:                                                        | $2 \times 10^{30} \text{ kg}$                 |
| Rayon Terre:                                                         | $R_T = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$            |
| Surface Terre:                                                       | $S_T = 5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2$        |
| Vitesse angulaire Terre:                                             | $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ |
| Accélération gravité (niveau de la mer):                             | $g_0 = 9.80665 \text{ m s}^{-2}$              |
| Pression (niveau de la mer):                                         | $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}$    |
| Épaisseur hydrosphère (densité uniforme, $10^3 \text{ kg m}^{-3}$ ): | 2.7 km                                        |
| Épaisseur atmosphère (densité uniforme, $1.27 \text{ kg m}^{-3}$ ):  | 7.9 km                                        |
| Rayon Soleil:                                                        | $R_S \cong 7 \times 10^8 \text{ m}$           |
| Distance Terre-Soleil:                                               | $D_{TS} \cong 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$   |

### Propriétés de l'air sec

|                                         |                                                                |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Masse moléculaire moyenne (homosphère): | $M_d = 28.97 \text{ kg kmole}^{-1}$                            |
| Constante du mélange ( $R^*/M_d$ ):     | $R_d = 287 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$     |
| Densité (0 °C et 1000 mb):              | $\rho_0 = 1.275 \text{ kg m}^{-3}$                             |
| Coefficients thermodynamiques:          | $c_{vd} = 718 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  |
|                                         | $c_{pd} = 1005 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ |
|                                         | $c_{pd}/c_{vd} = \eta_d = 1.4$                                 |
|                                         | $R_d/c_{pd} = \chi_d = 0.286$                                  |

**Propriétés de l'eau**

Masse moléculaire:

$$M_w = 18.015 \text{ kg kmole}^{-1}$$

Densité liquide (0 °C et 1000 mb):

$$\rho_w = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

Densité solide (0 °C et 1000 mb):

$$\rho_i = 0.92 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

Constante de la vapeur ( $R^*/M_v$ ):

$$R_v = 461.51 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

Coefficients thermodynamiques:

$$c_{vv} = 1390 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

$$c_{pv} = 1850 \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

Point critique:

$$T_c = 647 \text{ } ^\circ\text{K}, p_c = 218 \text{ atm}$$

Point triple

$$T_t = 0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$e_{st} = 6.11 \text{ mb}$$

$$\alpha_{it} = 1.091 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

$$\rho_i = 917 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\alpha_{wt} = 1.000 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

$$\alpha_{vt} = 206 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$$

$$\ell_{vt} = 2.5008 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\ell_{st} = 2.8345 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\ell_{ft} = 0.3337 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

**Propriétés thermodynamiques de l'eau condensée**Coefficient chaleur spécifique ( $p = 1000 \text{ mb}$ ) pour la glace: $c_{pi}$ Coefficient chaleur spécifique ( $p = 1000 \text{ mb}$ ) pour l'eau: $c_{pw}$ 

Coefficient de chaleur latente de sublimation:

 $\ell_s$ 

Coefficient de chaleur latente de fusion:

 $\ell_f$ 

Coefficient de chaleur latente de vaporisation:

 $\ell_v$ 

Tension superficielle de l'eau:

 $\sigma$ 

| T<br>°C | $c_{pi}$<br>J °K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> | $c_{pw}$<br>J °K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> | $\ell_s$<br>10 <sup>6</sup> J kg <sup>-1</sup> | $\ell_f$<br>10 <sup>6</sup> J kg <sup>-1</sup> | $\ell_v$<br>10 <sup>6</sup> J kg <sup>-1</sup> | $\sigma$<br>N m <sup>-1</sup> |
|---------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| -100    | 1882                                            |                                                 | 2.824                                          |                                                |                                                |                               |
| -90     | 1449                                            |                                                 | 2.828                                          |                                                |                                                |                               |
| -80     | 1520                                            |                                                 | 2.832                                          |                                                |                                                |                               |
| -70     | 1591                                            |                                                 | 2.834                                          |                                                |                                                |                               |
| -60     | 1662                                            |                                                 | 2.837                                          |                                                |                                                |                               |
| -50     | 1738                                            | 5400                                            | 2.8383                                         | (0.2035)                                       | 2.6348                                         |                               |
| -40     | 1813                                            | 4770                                            | 2.8387                                         | (0.2357)                                       | 2.6040                                         | 0.0839                        |
| -30     | 1884                                            | 4520                                            | 2.8387                                         | (0.2638)                                       | 2.5749                                         |                               |
| -20     | 1959                                            | 4350                                            | 2.8383                                         | (0.2889)                                       | 2.5494                                         | 0.07914                       |
| -10     | 2031                                            | 4270                                            | 2.8366                                         | (0.3119)                                       | 2.5247                                         | 0.07729                       |
| 0       | 2106                                            | 4218                                            | 2.8345                                         | 0.3337                                         | 2.5008                                         | 0.07570                       |
| 5       |                                                 | 4202                                            |                                                |                                                | 2.4891                                         |                               |
| 10      |                                                 | 4192                                            |                                                |                                                | 2.4774                                         | 0.07422                       |
| 15      |                                                 | 4186                                            |                                                |                                                | 2.4656                                         |                               |
| 20      |                                                 | 4182                                            |                                                |                                                | 2.4535                                         | 0.07275                       |
| 25      |                                                 | 4180                                            |                                                |                                                | 2.4318                                         |                               |
| 30      |                                                 | 4179                                            |                                                |                                                | 2.4300                                         | 0.07118                       |
| 35      |                                                 | 4178                                            |                                                |                                                | 2.4183                                         |                               |
| 40      |                                                 | 4178                                            |                                                |                                                | 2.4062                                         |                               |
| 45      |                                                 | 4179                                            |                                                |                                                | 2.3945                                         |                               |
| 50      |                                                 | 4181                                            |                                                |                                                | 2.3823                                         |                               |
| 100     |                                                 | 4216                                            |                                                |                                                | 2.25                                           |                               |

**Tensions de vapeur saturée au-dessus de la glace ( $e_{si}$ ) et de l'eau ( $e_{sw}$ )**

| T(°C) | $e_{sw}(mb)$ | $e_{si}(mb)$ | T   | $e_{sw}$ | $e_{si}$ | T  | $e_{sw}$ | T  | $e_{sw}$ |
|-------|--------------|--------------|-----|----------|----------|----|----------|----|----------|
| -50   | 0.0635       | 0.0393       | -24 | 0.8826   | 0.6983   | 1  | 6.565    | 26 | 33.6064  |
| -49   | 0.0712       | 0.0445       | -23 | 0.9647   | 0.7708   | 2  | 7.054    | 27 | 35.646   |
| -48   | 0.0797       | 0.0502       | -22 | 1.0536   | 0.8501   | 3  | 7.574    | 28 | 37.793   |
| -47   | 0.0892       | 0.0567       | -21 | 1.1498   | 0.9366   | 4  | 8.128    | 29 | 40.052   |
| -46   | 0.0996       | 0.0639       | -20 | 1.2538   | 1.032    | 5  | 8.718    | 30 | 42.427   |
| -45   | 0.1111       | 0.0720       | -19 | 1.3661   | 1.135    | 6  | 9.345    | 31 | 44.924   |
| -44   | 0.1230       | 0.0810       | -18 | 1.4874   | 1.248    | 7  | 10.012   | 32 | 47.548   |
| -43   | 0.1379       | 0.0910       | -17 | 1.6183   | 1.371    | 8  | 10.720   | 33 | 50.303   |
| -42   | 0.1533       | 0.1021       | -16 | 1.7594   | 1.505    | 9  | 11.473   | 34 | 53.197   |
| -41   | 0.1704       | 0.1145       | -15 | 1.9114   | 1.651    | 10 | 12.271   | 35 | 56.233   |
| -40   | 0.1891       | 0.1283       | -14 | 2.0751   | 1.810    | 11 | 13.118   | 36 | 59.418   |
| -39   | 0.2097       | 0.1436       | -13 | 2.2512   | 1.983    | 12 | 14.016   | 37 | 62.759   |
| -38   | 0.2322       | 0.1606       | -12 | 2.4405   | 2.171    | 13 | 14.967   | 38 | 66.260   |
| -37   | 0.2570       | 0.1794       | -11 | 2.6380   | 2.375    | 14 | 15.975   | 39 | 69.930   |
| -36   | 0.2841       | 0.2002       | -10 | 2.8622   | 2.597    | 15 | 17.042   | 40 | 73.773   |
| -35   | 0.3138       | 0.2232       | -9  | 3.0965   | 2.837    | 16 | 18.171   | 41 | 77.798   |
| -34   | 0.3463       | 0.2487       | -8  | 3.3478   | 3.097    | 17 | 19.365   | 42 | 82.011   |
| -33   | 0.3817       | 0.2768       | -7  | 3.6171   | 3.379    | 18 | 20.628   | 43 | 86.419   |
| -32   | 0.4204       | 0.3078       | -6  | 3.9055   | 3.684    | 19 | 21.962   | 44 | 91.029   |
| -31   | 0.4627       | 0.3420       | -5  | 4.2142   | 4.014    | 20 | 23.371   | 45 | 95.850   |
| -30   | 0.5087       | 0.3797       | -4  | 4.5444   | 4.371    | 21 | 24.858   | 46 | 100.89   |
| -29   | 0.5588       | 0.4212       | -3  | 4.8974   | 4.756    | 22 | 26.428   | 47 | 106.15   |
| -28   | 0.6133       | 0.4668       | -2  | 5.2745   | 5.173    | 23 | 28.083   | 48 | 111.65   |
| -27   | 0.6726       | 0.5169       | -1  | 5.6772   | 5.622    | 24 | 29.829   | 49 | 117.40   |
| -26   | 0.7369       | 0.5719       | 0   | 6.1070   | 6.106    | 25 | 31.668   | 50 | 123.39   |
| -25   | 0.8068       | 0.6322       | --  | --       | --       | -- | --       | -- | --       |

**Valeurs de la viscosité dynamique  $\mu$  et du coefficient de conductivité thermique K de l'air, et du coefficient de diffusion D de la vapeur d'eau dans l'air**

| T (°C) | $\mu$ (kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) | K (J m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> °K <sup>-1</sup> ) | D (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ) |
|--------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| -40    | 1.512x10 <sup>-5</sup>                      | 2.07x10 <sup>-2</sup>                                   | 1.62x10 <sup>-5</sup>               |
| -30    | 1.564x10 <sup>-5</sup>                      | 2.16x10 <sup>-2</sup>                                   | 1.76x10 <sup>-5</sup>               |
| -20    | 1.616x10 <sup>-5</sup>                      | 2.24x10 <sup>-2</sup>                                   | 1.91x10 <sup>-5</sup>               |
| -10    | 1.667x10 <sup>-5</sup>                      | 2.32x10 <sup>-2</sup>                                   | 2.06x10 <sup>-5</sup>               |
| 0      | 1.717x10 <sup>-5</sup>                      | 2.40x10 <sup>-2</sup>                                   | 2.21x10 <sup>-5</sup>               |
| 10     | 1.766x10 <sup>-5</sup>                      | 2.48x10 <sup>-2</sup>                                   | 2.36x10 <sup>-5</sup>               |
| 20     | 1.815x10 <sup>-5</sup>                      | 2.55x10 <sup>-2</sup>                                   | 2.52x10 <sup>-5</sup>               |
| 30     | 1.862x10 <sup>-5</sup>                      | 2.63x10 <sup>-2</sup>                                   | 2.69x10 <sup>-5</sup>               |

Les valeurs de D sont données pour une pression de 100 kPa. Puisque D est proportionnel à  $\mu/\rho$ , D est inversement proportionnel à la pression pour une température donnée. Pour obtenir D à une pression arbitraire p (kPa), il faut multiplier les valeurs du tableau par (100/p).

**Atmosphère Type (OACI, 1964)**

1. L'air est un gaz pur et sec de masse molaire  $M = 28.966 \text{ g mole}^{-1}$ .
2. L'air obéit à la loi des gaz parfaits:  $p = \rho RT$ , où  $R = 287.05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .
3. L'accélération de la pesanteur au niveau moyen de la mer est  $g_0 = 9.80665 \text{ m s}^{-2}$ .
4. L'air obéit à l'équation hydrostatique.
5. La pression au niveau moyen de la mer est  $p_0 = 1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ , et la température au niveau moyen de la mer est  $T_0 = 15^\circ\text{C} = 288.16 \text{ K}$ , d'où  $\rho_0 = 1.2250 \text{ kg m}^{-3}$ .
6. De la surface à la tropopause,  $H = 11000 \text{ m}$ , le taux de décroissance de la température est  $\gamma_0 = 6.5 \text{ K km}^{-1}$ .
7. Pour  $11000 < H < 20000 \text{ m}$  l'atmosphère est isotherme:  $T = 216.650 \text{ K}$ . De  $20000 \text{ m}$  jusqu'à  $32000 \text{ m}$ , le taux de décroissance de la température est de  $-1 \text{ K km}^{-1}$ .

| Z (m)  | H (m)  | Température (K) | Pression (kPa) | Densité ( $\text{kg m}^{-3}$ ) |
|--------|--------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 0      | 0      | 288.150         | 101.325        | 1.2250                         |
| 200    | 200    | 286.850         | 98.945         | 1.2017                         |
| 400    | 400    | 285.550         | 96.611         | 1.1786                         |
| 600    | 600    | 284.250         | 94.322         | 1.1560                         |
| 800    | 800    | 282.951         | 92.077         | 1.1337                         |
| 1 000  | 1 000  | 281.651         | 89.876         | 1.1117                         |
| 1 200  | 1 200  | 280.351         | 87.718         | 1.0900                         |
| 1 400  | 1 400  | 279.052         | 85.602         | 1.0687                         |
| 1 600  | 1 600  | 277.753         | 83.528         | 1.0476                         |
| 1 800  | 1 799  | 276.453         | 81.494         | 1.0269                         |
| 2 000  | 1 999  | 275.154         | 79.501         | 1.0066                         |
| 2 500  | 2 499  | 271.906         | 74.692         | 0.9570                         |
| 3 000  | 2 999  | 268.659         | 70.121         | 0.9093                         |
| 3 500  | 3 498  | 265.413         | 65.780         | 0.8634                         |
| 4 000  | 3 997  | 262.166         | 61.660         | 0.8194                         |
| 4 500  | 4 497  | 258.921         | 57.753         | 0.7770                         |
| 5 000  | 4 996  | 255.676         | 54.048         | 0.7364                         |
| 5 500  | 5 495  | 252.431         | 50.539         | 0.6975                         |
| 6 000  | 5 994  | 249.187         | 47.218         | 0.6601                         |
| 6 500  | 6 493  | 245.943         | 44.075         | 0.6243                         |
| 7 000  | 6 992  | 242.700         | 41.105         | 0.5900                         |
| 7 500  | 7 491  | 239.457         | 38.300         | 0.5572                         |
| 8 000  | 7 990  | 236.215         | 35.652         | 0.5258                         |
| 8 500  | 8 489  | 232.974         | 33.154         | 0.4958                         |
| 9 000  | 8 987  | 229.733         | 30.801         | 0.4671                         |
| 9 500  | 9 486  | 226.492         | 28.585         | 0.4397                         |
| 10 000 | 9 984  | 223.252         | 26.500         | 0.4135                         |
| 10 500 | 10 483 | 220.013         | 24.540         | 0.3886                         |
| 11 000 | 10 981 | 216.774         | 22.700         | 0.3648                         |
| 11 500 | 11 479 | 216.650         | 20.985         | 0.3374                         |
| 12 000 | 11 977 | 216.650         | 19.399         | 0.3119                         |
| 12 500 | 12 475 | 216.650         | 17.934         | 0.2884                         |
| 13 000 | 12 973 | 216.650         | 16.580         | 0.2666                         |
| 13 500 | 13 471 | 216.650         | 15.328         | 0.2465                         |
| 14 000 | 13 969 | 216.650         | 14.170         | 0.2279                         |

|        |        |         |        |        |
|--------|--------|---------|--------|--------|
| 14 500 | 14 467 | 216.650 | 13.101 | 0.2107 |
| 15 000 | 14 965 | 216.650 | 12.112 | 0.1948 |
| 15 500 | 15 462 | 216.650 | 11.198 | 0.1801 |
| 16 000 | 15 960 | 216.650 | 10.353 | 0.1665 |
| 16 500 | 16 457 | 216.650 | 9.572  | 0.1539 |
| 17 000 | 16 955 | 216.650 | 8.850  | 0.1423 |
| 17 500 | 17 452 | 216.650 | 8.182  | 0.1316 |
| 18 000 | 17 949 | 216.650 | 7.565  | 0.1217 |
| 18 500 | 18 446 | 216.650 | 6.995  | 0.1125 |
| 19 000 | 18 943 | 216.650 | 6.468  | 0.1040 |
| 19 500 | 19 440 | 216.650 | 5.980  | 0.0962 |
| 20 000 | 19 937 | 216.650 | 5.529  | 0.0889 |

### Facteurs de conversion

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$$

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mb} = 10^2 \text{ Pa} = 10^3 \text{ dyn cm}^{-2}$$

$$1 \text{ mm Hg} = 4/3 \text{ mb}$$

$$1 \text{ IT cal} = 4.1868 \text{ J} = 4.1868 \times 10^7 \text{ erg}$$