



# **Présentation du programme TechVapor**

**Détermination des caractéristiques de la vapeur**

Jean Yves MESSE - THERMEXCEL

50, rue d'Erevan (Bât. 35 le Capricorne)

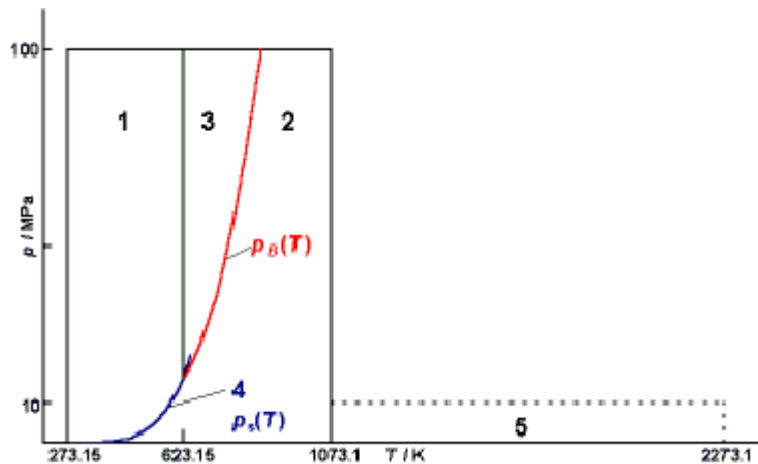
92130 ISSY LES MOULINEAUX – FRANCE

## Programme TechVapor (Fonctions)

Lexique employé pour la vapeur ([voir Thématique : Distribution de vapeur](#))

### Tableau de calcul

Le IAPWS-IF97 divise la surface thermodynamique en 5 régions (voir exemple ci-dessous)



- région 1 : Zone à l'état liquide pour basse et haute pressions,
- région 2 : Zone à l'état vapeur ou gaz idéal,
- région 3 : Zone d'état thermodynamique autour du point critique,
- région 4 : Zone sur la courbe de saturation (équilibre vapeur-liquide),
- région 5 : Zone à haute température au dessus de 1073,15 K (800 °C) et pression jusqu'à 10 MPa (100 bar)

Les fonctions disponibles dans le programme TechVapor sont déterminées pour calculer les propriétés suivantes à simple phase pour des températures de 273,15 K (0°C) à 1073,15 K (800°C) et des pressions de 0 à 1000 bar

Les fonctions additionnelles ont été établies pour calculer : la température du point d'ébullition en fonction de :

- la température du point d'ébullition en fonction de la pression,
- la pression de vapeur en fonction de la température,

La plage de validation admise pour la pression et la température est située entre 273,15 K ou 611,11 Pa et 647,096 K (373,95 °C) ou 220,64 bar (point critique)

[Visualisation en format PDF](#)

| Caractéristiques physiques à l'état de saturation de l'eau ou de la vapeur |                |             |            |                    |             |            |                    |
|--|----------------|-------------|------------|--------------------|-------------|------------|--------------------|
| Caractéristiques physiques obtenues à partir de la :                       | Eau            |             |            | Vapeur             |             |            |                    |
|  | Temp & Pres. * | Température | Pression   | Unités             | Température | Pression   | Unités             |
| <b>Température</b> =   | 104,12 °C      | 15,00 °C    |            |                    | 104,12 °C   |            |                    |
| <b>Pression relative</b> =   | 10             |             | 10         | bar                |             | 10         | bar                |
| <b>Température absolue</b> =   | 457,27 °C      | 288,15 °C   |            |                    | 457,27 °C   |            |                    |
| <b>Pression absolue</b> =  | 11,01325       |             | 11,01325   | bar                |             | 11,01325   | bar                |
| <b>Température d'ébullition (Boiling point)</b> =                          |                |             | 104,123    | °C                 |             | 104,123    | °C                 |
| <b>Pression de vapeur (Vapor pressure)</b> =                               |                | 0,01706     |            | bar                | 11,0132     |            | bar                |
| <b>Densité (Density)</b>   | 882,5642       | -----       | -----      | kg/m <sup>3</sup>  | -----       | -----      | -----              |
| Densité de l'eau bouillante selon la température                           | -----          | 999,0546    | -----      | kg/m <sup>3</sup>  | -----       | -----      | -----              |
| Densité de l'eau bouillante selon la pression                              | -----          | -----       | 882,5608   | kg/m <sup>3</sup>  | -----       | -----      | -----              |
| Densité de la vapeur saturée selon la température                          | -----          | -----       | -----      | -----              | 5,6423267   | -----      | kg/m <sup>3</sup>  |
| Densité de la vapeur saturée selon la pression                             | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 5,642335   | kg/m <sup>3</sup>  |
| <b>Volume spécifique</b>   | 0,0011331      | -----       | -----      | m <sup>3</sup> /kg | -----       | -----      | -----              |
| Volume spécifique de l'eau bouillante selon la température                 | -----          | 0,001001    | -----      | m <sup>3</sup> /kg | -----       | -----      | -----              |
| Volume spécifique de l'eau bouillante selon la pression                    | -----          | -----       | 0,001133   | m <sup>3</sup> /kg | -----       | -----      | -----              |
| Volume spécifique de la vapeur saturée selon la température                | -----          | -----       | -----      | -----              | 0,1772319   | -----      | m <sup>3</sup> /kg |
| Volume spécifique de la vapeur saturée selon la pression                   | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 0,1772316  | m <sup>3</sup> /kg |
| <b>Energie interne spécifique (Specific internal energy)</b>               | 780,17304      | -----       | -----      | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Energie interne spécifique de l'eau bouillante selon la température        | -----          | 62,98134    | -----      | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Energie interne spécifique de l'eau bouillante selon la pression           | -----          | -----       | 780,1866   | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Energie interne spécifique de la vapeur saturée selon la température       | -----          | -----       | -----      | -----              | 2585,5214   | -----      | kJ/kg              |
| Energie interne spécifique de la vapeur saturée selon la pression          | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 2585,5214  | kJ/kg              |
| <b>Enthalpie spécifique (Specific enthalpy)</b>                            | 781,42031      | -----       | -----      | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Enthalpie spécifique de l'eau bouillante selon la température              | -----          | 62,98365    | -----      | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Enthalpie spécifique de l'eau bouillante selon la pression                 | -----          | -----       | 781,4345   | kJ/kg              | -----       | -----      | -----              |
| Enthalpie spécifique de la vapeur saturée selon la température             | -----          | -----       | -----      | -----              | 2780,7103   | -----      | kJ/kg              |
| Enthalpie spécifique de la vapeur saturée selon la pression                | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 2780,711   | kJ/kg              |
| <b>Chaleur latente de vaporisation</b>                                     | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur latente de la vapeur saturée selon la température                  | -----          | -----       | -----      | kJ/kg              | 1939,2768   | -----      | kJ/kg              |
| Chaleur latente spécifique de la vapeur saturée selon la pression          | -----          | -----       | -----      | kJ/kg              | -----       | 1939,2765  | kJ/kg              |
| <b>Entropie spécifique (Specific entropy)</b>                              | 2,179          | -----       | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Entropie spécifique de l'eau bouillante selon la température               | -----          | 0,224471    | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | kJ/(kg K)          |
| Entropie spécifique de l'eau bouillante selon la pression                  | -----          | -----       | 2,179378   | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | kJ/(kg K)          |
| Entropie spécifique de la vapeur saturée selon la température              | -----          | -----       | -----      | -----              | 6,5515689   | -----      | kJ/(kg K)          |
| Entropie spécifique de la vapeur saturée selon la pression                 | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 6,5515683  | kJ/(kg K)          |
| <b>Chaleur massique isobare (à pression constante)</b>                     | 4,4218673      | -----       | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isobare de l'eau bouillante selon la température          | -----          | 4,189433    | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isobare de l'eau bouillante selon la pression             | -----          | -----       | 4,42188    | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isobare de la vapeur saturée selon la température         | -----          | -----       | -----      | -----              | 2,7684403   | -----      | kJ/(kg K)          |
| Chaleur massique isobare de la vapeur saturée selon la pression            | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 2,7684412  | kJ/(kg K)          |
| <b>Chaleur massique isochore (à volume constant)</b>                       | 3,3734184      | -----       | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isochore de l'eau bouillante selon la température         | -----          | 4,175414    | -----      | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isochore de l'eau bouillante selon la pression            | -----          | -----       | 3,373406   | kJ/(kg K)          | -----       | -----      | -----              |
| Chaleur massique isochore de la vapeur saturée selon la température        | -----          | -----       | -----      | -----              | 1,9582418   | -----      | kJ/(kg K)          |
| Chaleur massique isochore de la vapeur saturée selon la pression           | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 1,9582423  | kJ/(kg K)          |
| <b>Viscosité dynamique (Dynamic viscosity)</b>                             | 0,0001466      | -----       | -----      | P.a.s              | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité dynamique de l'eau bouillante selon la température               | -----          | 0,001138    | -----      | P.a.s              | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité dynamique de l'eau bouillante selon la pression                  | -----          | -----       | 0,000147   | P.a.s              | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité dynamique de la vapeur saturée selon la température              | -----          | -----       | -----      | -----              | 0,00001517  | -----      | P.a.s              |
| Viscosité dynamique de la vapeur saturée selon la pression                 | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 0,00001517 | P.a.s              |
| <b>Viscosité cinématique (Dynamic viscosity)</b>                           | 0,16608252     | -----       | -----      | cm <sup>2</sup> /s | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité cinématique de l'eau bouillante selon la température             | -----          | 1,13863562  | -----      | cm <sup>2</sup> /s | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité cinématique de l'eau bouillante selon la pression                | -----          | -----       | 0,16608021 | cm <sup>2</sup> /s | -----       | -----      | -----              |
| Viscosité cinématique de la vapeur saturée selon la température            | -----          | -----       | -----      | -----              | 2,68815484  | -----      | cm <sup>2</sup> /s |
| Viscosité cinématique de la vapeur saturée selon la pression               | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 2,68815128 | cm <sup>2</sup> /s |
| <b>Conductivité thermique (Thermal conductivity)</b>                       | 0,6715508      | -----       | -----      | W/(m K)            | -----       | -----      | -----              |
| Conductivité thermique de l'eau bouillante selon la température            | -----          | 0,589332    | -----      | W/(m K)            | -----       | -----      | -----              |
| Conductivité thermique de l'eau bouillante selon la pression               | -----          | -----       | 0,671549   | W/(m K)            | -----       | -----      | -----              |
| Conductivité thermique de la vapeur saturée selon la température           | -----          | -----       | -----      | -----              | 0,0371394   | -----      | W/(m K)            |
| Conductivité thermique de la vapeur saturée selon la pression              | -----          | -----       | -----      | -----              | -----       | 0,0371394  | W/(m K)            |

Les fonctions disponibles utilisées dans le tableau ci-dessus peuvent être réutilisées sur d'autres feuilles de calcul du même fichier de travail.

## Module de calcul intégré

### Caractéristiques physiques de l'eau, vapeur saturée et de la vapeur surchauffée

Le module de calcul intégré permet d'établir toutes les caractéristiques physiques de l'eau, de la vapeur et de la vapeur surchauffée.

Les fonctions de calcul utilisées sont des fonctions un peu simplifiées par rapport à celles utilisées dans le tableau précédent.

Quelques légères différences de résultats sur certaines caractéristiques peuvent apparaître par rapport au tableau de calcul précédent (0,5 % tout au plus)

### Vapeur à l'état saturé (1)

**Caractéristiques physiques de l'eau et de la vapeur**

Unité de pression : Bar (100000 Pa)

- Pression relative réseau vapeur (P\*) - < 165 bar :  Bar

- Température vapeur γk surchauffée - < 350 °C :  °

- Pression absolue de vaporisation :  Bar

- Température de vaporisation selon P :  °C

**Caractéristiques à l'état** 170,48°C

- Volumique spécifique vapeur ..... :  m3/kg

- Masse volumique vapeur ..... :  kg/m3

- Enthalpie spécifique vapeur ..... :  Kj/kg

- Chaleur latente vaporisation ..... :  Kj/kg

- Chaleur sensible vapeur d'eau ..... :  Kj/kg

- Chaleur massique vapeur ..... :  Kj/kg-k

- Viscosité dynamique vapeur ..... :  Pa-s

- Viscosité cinématique vapeur ..... :  Cst

**Caractéristiques à l'état** 170,48°C

- Masse volumique de l'eau ..... :  kg/m3

- Chaleur massique de l'eau ..... :  kJ/kg

- Conductivité thermique de l'eau ..... :  W/K-m

(P\*) Pression lue sur les manomètres ordinaires (Pression absolue - 1.013 bar)

Attention aux décimales.  
Virgule en Français et point en Anglais (voir configuration windows en paramètres)

©2001 Jean Yves MESSE

### Vapeur à l'état surchauffé (2)

**Caractéristiques physiques de l'eau et de la vapeur**

Unité de pression : Bar (100000 Pa)

- Pression relative réseau vapeur (P\*) - < 165 bar :  Bar

- Température vapeur γk surchauffée - < 350 °C :  ° (Pression 112,9bar)

- Pression absolue de vaporisation :  Bar

- Température de vaporisation selon P :  °C

**Caractéristiques à l'état** 320°C

- Volumique spécifique vapeur ..... :  m3/kg

- Masse volumique vapeur ..... :  kg/m3

- Enthalpie spécifique vapeur ..... :  Kj/kg

- Chaleur latente vaporisation ..... :  Kj/kg

- Chaleur sensible vapeur d'eau ..... :  Kj/kg

- Chaleur massique vapeur ..... :  Kj/kg-k

- Viscosité dynamique vapeur ..... :  Pa-s

- Viscosité cinématique vapeur ..... :  Cst

**Caractéristiques à l'état** 170,48°C

- Masse volumique de l'eau ..... :  kg/m3

- Chaleur massique de l'eau ..... :  kJ/kg

- Conductivité thermique de l'eau ..... :  W/K-m

(P\*) Pression lue sur les manomètres ordinaires (Pression absolue - 1.013 bar)

Attention aux décimales.  
Virgule en Français et point en Anglais (voir configuration windows en paramètres)

©2001 Jean Yves MESSE

Le calcul des caractéristiques physiques de la vapeur saturée (1) peut se faire soit à partir de la pression relative ou inversement en fonction de la température de la vapeur ou des deux paramètres dans le cas d'utilisation de la vapeur surchauffée (2)

## Fonctions de calcul écrites en VBA

Il y a un grand nombre de fonctions intégrées disponibles immédiatement dans Excel. Les fonctions personnalisées écrites en VBA pour le programme ThermoVapeur peuvent être utilisées comme les fonctions intégrées d'Excel à condition d'avoir au préalable installé le programme ThermoVapor dans Excel.

Les fonctions ci-dessous sont utilisées dans le classeur et peuvent être réutilisées sur d'autres feuilles de calcul.

### Fonctions pour les calculs des propriétés de l'eau et de la vapeur

Toutes les propriétés de l'eau et de la vapeur sont formulées en fonction des éléments de l'IAPWS

Les tables de vapeur saturées placées sur le site ThermExcel ont été établies à partir de ces fonctions de calcul.

**Voir Thématique :** [Tables de vapeur](#)

#### **Viscosité cinématique**

- T = Température (en °C)  
- Mas\_V = masse volumique (en kg/m<sup>3</sup>)  
- Visc\_dyn = Viscosité dynamique, valeur E-6 . kg/(m s)  
Fonction = Visc\_cine(T, Mas\_V)

#### **Viscosité dynamique de l'eau, valeur E-6 . kg/(m s)**

Plage de validité : Jusqu'à 500 °C et 600 bar  
- T = Température (en °C)  
- V = Volume en m<sup>3</sup>/kg  
Fonction = Visc\_dyn(T As Single, V As Single) As Double

#### **Masse volumique de la vapeur saturée en kg/m<sup>3</sup>**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = MassVol(P)

#### **Masse volumique de la vapeur surchauffée en kg/m<sup>3</sup>**

Plage de validité : Jusqu'à 350 °C et 300 bar  
- T = Température (en °C)  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = Mass\_vol(T, P)

#### **Chaleur latente de la vapeur saturée en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = Chlatente(P)

#### **Chaleur latente de la vapeur surchauffée en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 350 °C et 300 bar  
- T = Température (en °C)  
- P = Pression relative de la vapeur en Bar  
Fonction = Chlatent(T, P)

#### **Enthalpie spécifique de la vapeur saturée (chaleur totale) en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- T = Température (en °C)

- P = Pression relative en Bar  
Fonction = Enthalp(P)

### **Enthalpie spécifique de la vapeur surchauffée (chaleur totale) en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 350 °C et 300 bar  
- T = Température (en °C)  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = Enthal(T, P)

### **Enthalpie de l'eau bouillante en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = ChH2O(P)

### **Enthalpie de l'eau surchauffée en kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 350 °C et 300 bar  
- T = Température (en °C)  
- P = Pression relative Bar  
Fonction = ChH2O1(T, P)

### **Chaleur massique de la vapeur kJ /kg K**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = ChMas(P)

### **Pression de vaporisation en bar absolu**

Plage de validité : Jusqu'à 350 °C  
- T = Température (en °C)  
Fonction = Pression(T)

### **Température de vaporisation**

Plage de validité : Jusqu'à 300 bar  
- P = Pression relative en Bar  
Fonction = TempVap(P)

## **Surchauffeur vapeur**

Module de calcul complémentaire concernant le calcul de la puissance thermique d'un surchauffeur à vapeur en fonction de débit de vapeur.

### Calcul thermique surchauffeur X

Unité de pression..... Bar (100000 Pa)

- Débit de vapeur ..... 1000 **Kg/h**

- Pression relative en amont de la vanne (\*) ..... 2 **Bar**

- Température vapeur surchauffée < 350 °C 300 °C

- Pression relative sortie surchauffeur 6 **Bar**

| Caractéristiques de la vapeur     | Saturée                 | Surchauffée             |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| - Température de vaporisation     | 133,69 °C               | 300,00 °C               |
| - Masse volumique vapeur .....    | 1,658 kg/m <sup>3</sup> | 3,674 kg/m <sup>3</sup> |
| - Enthalpie spécifique vapeur ... | 2 724,86 Kj/kg          | 3 059,74 Kj/kg          |
| - Chaleur latente vaporisation    | 2 162,78 Kj/kg          | 1 702,30 Kj/kg          |
| - Chaleur spécifique vapeur       | 2,20 kJ/kg-K            | 2,10 kJ/kg-K            |

- Puissance thermique du surchauffeur 96,86 kW

Prévoir une surpuissance selon la qualité de la vapeur saturée à son origine.  
On peut considérer que la vapeur à son origine peut être partiellement à l'état de condensation

(\*) Pression lue sur les manomètres ordinaires  
(Pression absolue - 1,013 bar)  
Attention aux décimales.  
Virgule en Français et point en Anglais (voir configuration windows en paramètres régionaux)

Valider
Ok

©2001 Jean Yves MESSE.