

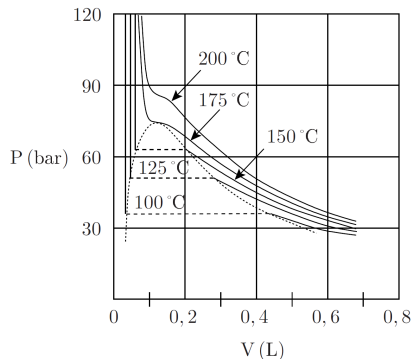
TD TH1 - Description d'un système à l'équilibre

© Jean Lallemand

Lycée des Eucalyptus, Nice

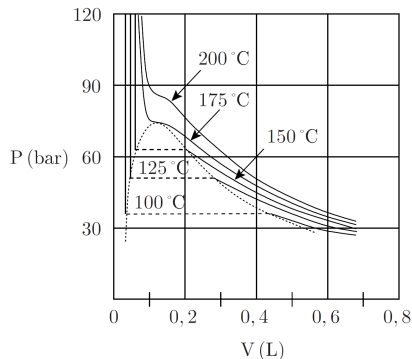
10 mars 2026

5.1



Le point critique C se trouve au sommet de la courbe de saturation, à l'intersection de la courbe de saturation et de l'isotherme critique :

5.1



Le point critique C se trouve au sommet de la courbe de saturation, à l'intersection de la courbe de saturation et de l'isotherme critique :

on lit $V_{c,m} = 0,12 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $P_c = 218 \text{ bar}$

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110 \text{ C}$:

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 110°C (en extrapolant) et la droite verticale $V = 0,6 \text{ L}$:

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 110°C (en extrapolant) et la droite verticale

$V = 0,6 \text{ L}$:

Le fluide est à l'**état gazeux** ($x_v = 1$ et $x_\ell = 0$) à une pression $P = 30 \text{ bar}$.

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110 \text{ C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 110°C (en extrapolant) et la droite verticale

$V = 0,6 \text{ L}$:

Le fluide est à l'**état gazeux** ($x_v = 1$ et $x_\ell = 0$) à une pression $P = 30 \text{ bar}$.

b) Pour $P = 110 \text{ bar}$ et $\theta = 200 \text{ C}$:

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 110°C (en extrapolant) et la droite verticale

$V = 0,6 \text{ L}$:

Le fluide est à l'**état gazeux** ($x_v = 1$ et $x_\ell = 0$) à une pression $P = 30 \text{ bar}$.

b) Pour $P = 110 \text{ bar}$ et $\theta = 200^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 200°C et la droite horizontale $P = 110 \text{ bar}$:

5.2

a) Pour $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 110°C (en extrapolant) et la droite verticale

$V = 0,6 \text{ L}$:

Le fluide est à l'**état gazeux** ($x_v = 1$ et $x_\ell = 0$) à une pression $P = 30 \text{ bar}$.

b) Pour $P = 110 \text{ bar}$ et $\theta = 200^\circ \text{C}$:

On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre l'isotherme à 200°C et la droite horizontale $P = 110 \text{ bar}$:

Comme le point correspondant se situe au dessus de l'isotherme critique, le fluide est à l'**état de fluide hypercritique** (x_v et x_ℓ ne sont pas définis).

5.2

c) Pour $V = 0,2 \text{ L}$ et $\theta = 125 \text{ C}$:

5.2

c) Pour $V = 0,2 \text{ L}$ et $\theta = 125 \text{ C}$:

Le point correspondant se trouve dans la zone où **le corps pur est diphasé**, on en déduit les titres molaires grâce au théorème des moments en mesurant les longueurs en cm sur le schéma :

5.2

c) Pour $V = 0,2 \text{ L}$ et $\theta = 125 \text{ C}$:

Le point correspondant se trouve dans la zone où **le corps pur est diphasé**, on en déduit les titres molaires grâce au théorème des moments en mesurant les longueurs en cm sur le schéma :

$$x_g = \frac{LM}{LG} = \frac{1,5}{2,3} = 0,65 \quad \text{et} \quad x_\ell = \frac{MG}{LG} = 1 - x_g = 0,35$$

5.3 Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante sèche à la pression de 40 bar ?

5.3 Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante sèche à la pression de 40 bar ?

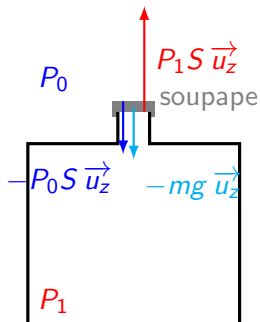
On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre la courbe de rosée et la droite horizontale $P = 40$ bar, on lit alors :

5.3 Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante sèche à la pression de 40 bar ?

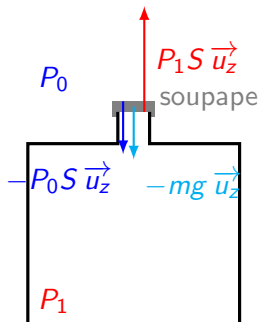
On peut placer le point correspondant qui est à l'intersection entre la courbe de rosée et la droite horizontale $P = 40 \text{ bar}$, on lit alors :

$$V_{g, m} = 0,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

6.1

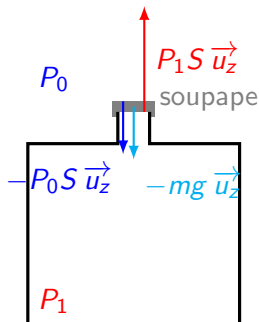


6.1



Tout en laissant s'échapper la vapeur de la cocotte, la soupape est quasiment immobile, la somme des forces agissant sur la soupape est donc nulle :

6.1



Tout en laissant s'échapper la vapeur de la cocotte, la soupape est quasiment immobile, la somme des forces agissant sur la soupape est donc nulle :

$$P_1 S - P_0 S - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad P_1 = P_0 + \frac{mg}{S} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 2 \text{ bar}$$

6.2

En utilisant la formule de l'extrapolation de la courbe $P_{sat}(\theta)$ autour de $\theta_0 = 100^\circ\text{C}$:

6.2

En utilisant la formule de l'extrapolation de la courbe $P_{sat}(\theta)$ autour de $\theta_0 = 100^\circ\text{C}$:

$$P_1 = P_{sat}(\theta_1) = \left(\frac{\theta_1}{\theta_0}\right)^4 P_0 \text{ avec } P_0 = 1 \text{ bar et } \theta_0 = 100^\circ\text{C}$$

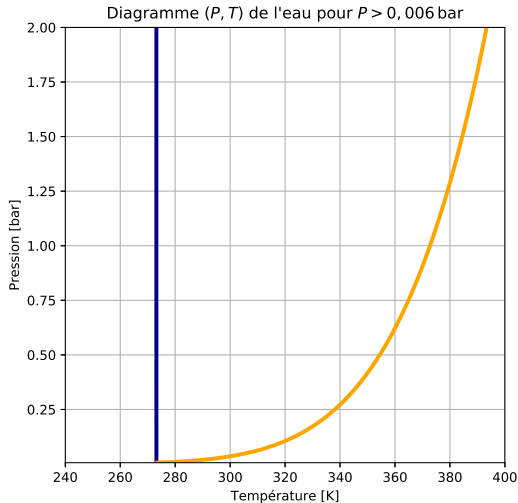
6.2

En utilisant la formule de l'extrapolation de la courbe $P_{sat}(\theta)$ autour de $\theta_0 = 100^\circ\text{C}$:

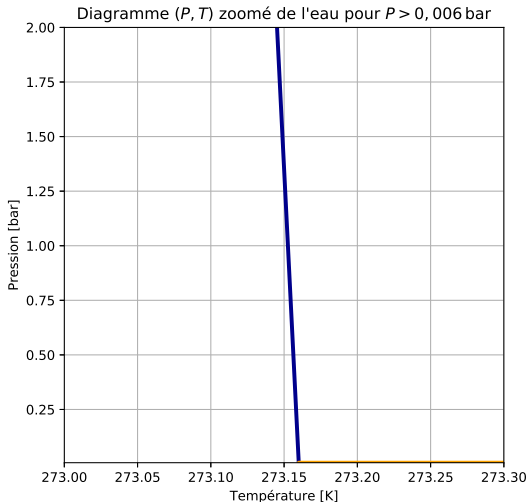
$$P_1 = P_{sat}(\theta_1) = \left(\frac{\theta_1}{\theta_0}\right)^4 P_0 \text{ avec } P_0 = 1 \text{ bar et } \theta_0 = 100^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \theta_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{1}{4}} = 100 \cdot \left(\frac{2}{1}\right)^{\frac{1}{4}} = 119^\circ\text{C}$$

7.1



7.1



7.1 L'eau est entièrement sous forme de vapeur si son état correspond à un point du domaine de la vapeur dans le diagramme (P, T) , c'est-à-dire si :

7.1 L'eau est entièrement sous forme de vapeur si son état correspond à un point du domaine de la vapeur dans le diagramme (P, T) , c'est-à-dire si :

$$P < P_s(\theta_0) \Leftrightarrow \frac{nRT_0}{V} < P_s(\theta_0) \quad \text{avec} \quad n = \frac{m}{M} \quad \text{et} \quad T_0 = \theta_0 + 273$$

7.1 L'eau est entièrement sous forme de vapeur si son état correspond à un point du domaine de la vapeur dans le diagramme (P, T) , c'est-à-dire si :

$$P < P_s(\theta_0) \Leftrightarrow \frac{nRT_0}{V} < P_s(\theta_0) \quad \text{avec} \quad n = \frac{m}{M} \quad \text{et} \quad T_0 = \theta_0 + 273$$

$$\Leftrightarrow \frac{mRT_0}{MV} < P_s(\theta_0)$$

7.1 L'eau est entièrement sous forme de vapeur si son état correspond à un point du domaine de la vapeur dans le diagramme (P, T) , c'est-à-dire si :

$$P < P_s(\theta_0) \Leftrightarrow \frac{nRT_0}{V} < P_s(\theta_0) \quad \text{avec} \quad n = \frac{m}{M} \quad \text{et} \quad T_0 = \theta_0 + 273$$

$$\Leftrightarrow \frac{mRT_0}{MV} < P_s(\theta_0)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{V > \frac{mRT_0}{MP_s(\theta_0)} = V_{\min} = 1,7 \text{ L}}$$

7.1 L'eau est entièrement sous forme de vapeur si son état correspond à un point du domaine de la vapeur dans le diagramme (P, T) , c'est-à-dire si :

$$P < P_s(\theta_0) \Leftrightarrow \frac{nRT_0}{V} < P_s(\theta_0) \quad \text{avec} \quad n = \frac{m}{M} \quad \text{et} \quad T_0 = \theta_0 + 273$$

$$\Leftrightarrow \frac{mRT_0}{MV} < P_s(\theta_0)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{V > \frac{mRT_0}{MP_s(\theta_0)} = V_{\min} = 1,7 \text{ L}}$$

On notera $P_s(\theta_0) = P_s$ par la suite.

7.2 Si $V < V_{\min}$ alors nécessairement une partie de l'eau est sous forme liquide et **le système est diphasé**, le volume de la phase liquide ($V_\ell < 1 \text{ mL}$) étant négligeable, on peut considérer que la vapeur occupe tout le volume V :

7.2 Si $V < V_{\min}$ alors nécessairement une partie de l'eau est sous forme liquide et **le système est diphasé**, le volume de la phase liquide ($V_\ell < 1 \text{ mL}$) étant négligeable, on peut considérer que la vapeur occupe tout le volume V :

L'équation d'état des gaz parfaits appliquée à la masse m_v de vapeur occupant le volume V donne :

7.2 Si $V < V_{\min}$ alors nécessairement une partie de l'eau est sous forme liquide et **le système est diphasé**, le volume de la phase liquide ($V_\ell < 1 \text{ mL}$) étant négligeable, on peut considérer que la vapeur occupe tout le volume V :

L'équation d'état des gaz parfaits appliquée à la masse m_v de vapeur occupant le volume V donne :

$$P_s V = \frac{m_v R T_0}{M} \Rightarrow m_v = \frac{P_s M V}{R T_0}$$

7.2 Si $V < V_{\min}$ alors nécessairement une partie de l'eau est sous forme liquide et **le système est diphasé**, le volume de la phase liquide ($V_\ell < 1 \text{ mL}$) étant négligeable, on peut considérer que la vapeur occupe tout le volume V :

L'équation d'état des gaz parfaits appliquée à la masse m_v de vapeur occupant le volume V donne :

$$P_s V = \frac{m_v R T_0}{M} \Rightarrow m_v = \frac{P_s M V}{R T_0}$$

On en déduit :

7.2 Si $V < V_{\min}$ alors nécessairement une partie de l'eau est sous forme liquide et **le système est diphasé**, le volume de la phase liquide ($V_\ell < 1 \text{ mL}$) étant négligeable, on peut considérer que la vapeur occupe tout le volume V :

L'équation d'état des gaz parfaits appliquée à la masse m_v de vapeur occupant le volume V donne :

$$P_s V = \frac{m_v R T_0}{M} \Rightarrow m_v = \frac{P_s M V}{R T_0}$$

On en déduit :

$$x_v = \frac{m_v}{m} = \frac{M P_s V}{m R T_0} = \frac{V}{V_{\lim}} = 0,59$$

8.1 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_1 telle que :

8.1 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_1 telle que :

$$P_1 = \frac{mRT_1}{MV} = 0,65 \cdot 10^5 \text{ Pa} > P_s(T_1) = 0,466 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

8.1 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_1 telle que :

$$P_1 = \frac{mRT_1}{MV} = 0,65 \cdot 10^5 \text{ Pa} > P_s(T_1) = 0,466 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Ce qui est impossible, on en déduit qu'une partie de l'eau est nécessairement sous forme liquide, **le système est diphasé**, la pression vaut donc :

8.1 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_1 telle que :

$$P_1 = \frac{mRT_1}{MV} = 0,65 \cdot 10^5 \text{ Pa} > P_s(T_1) = 0,466 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Ce qui est impossible, on en déduit qu'une partie de l'eau est nécessairement sous forme liquide, **le système est diphasé**, la pression vaut donc :

$$P_1 = P_s(T_1) = 0,466 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

8.2 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_2 telle que :

8.2 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_2 telle que :

$$P_2 = \frac{mRT_2}{MV} = 0,69 \cdot 10^5 \text{ Pa} < P_s(T_2) = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

8.2 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_2 telle que :

$$P_2 = \frac{mRT_2}{MV} = 0,69 \cdot 10^5 \text{ Pa} < P_s(T_2) = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

On en déduit que **l'eau est entièrement sous forme gazeuse** et la pression vaut donc :

8.2 En considérant (en première approximation) l'eau comme un gaz parfait, si toute l'eau était sous forme gazeuse, on aurait une pression P_2 telle que :

$$P_2 = \frac{mRT_2}{MV} = 0,69 \cdot 10^5 \text{ Pa} < P_s(T_2) = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

On en déduit que **l'eau est entièrement sous forme gazeuse** et la pression vaut donc :

$$P_2 = 0,69 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

$$P_{H_2O} = 0,60 P_{\text{sat}}(20^\circ C)$$

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

$$P_{H_2O} = 0,60 P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C})$$

$$P_{H_2O} = 0,60 \times 2,3 \cdot 10^3$$

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

$$P_{H_2O} = 0,60 P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C})$$

$$P_{H_2O} = 0,60 \times 2,3 \cdot 10^3$$

$$P_{H_2O} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

$$P_{H_2O} = 0,60 P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C})$$

$$P_{H_2O} = 0,60 \times 2,3 \cdot 10^3$$

$$P_{H_2O} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

D'après la loi des gaz parfaits :

$$n' = \frac{P_{H_2O} V}{RT_0}$$

9.1

Si le degré d'hygrométrie vaut $H = 60\%$, la pression partielle initiale de vapeur d'eau est :

$$P_{H_2O} = 0,60 P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C})$$

$$P_{H_2O} = 0,60 \times 2,3 \cdot 10^3$$

$$P_{H_2O} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

D'après la loi des gaz parfaits :

$$n' = \frac{P_{H_2O} V}{RT_0}$$

$n' = 23 \text{ mol}$

9.2

La masse d'eau initialement présente dans le récipient est :

9.2

La masse d'eau initialement présente dans le récipient est :

$$m_0 = 200 \text{ g}$$

9.2

La masse d'eau initialement présente dans le récipient est :

$$m_0 = 200 \text{ g}$$

La quantité de matière correspondante est :

$$n_0 = \frac{m_0}{M}$$

9.2

La masse d'eau initialement présente dans le récipient est :

$$m_0 = 200 \text{ g}$$

La quantité de matière correspondante est :

$$n_0 = \frac{m_0}{M}$$

$$n_0 = 11 \text{ mol}$$

9.2

La masse d'eau initialement présente dans le récipient est :

$$m_0 = 200 \text{ g}$$

La quantité de matière correspondante est :

$$n_0 = \frac{m_0}{M}$$

$$n_0 = 11 \text{ mol}$$

Si toute l'eau s'évapore, la quantité totale d'eau dans l'air devient :

$$n_{H_2O} = n_0 + n' = 34 \text{ mol}$$

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT_0}{V}$$

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT_0}{V}$$

$$P_{H_2O} = 2,1 \text{ kPa}$$

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT_0}{V}$$

$$P_{H_2O} = 2,1 \text{ kPa}$$

Or :

$$P_{H_2O} < P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C}) = 2,3 \text{ kPa}$$

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT_0}{V}$$

$$P_{H_2O} = 2,1 \text{ kPa}$$

Or :

$$P_{H_2O} < P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C}) = 2,3 \text{ kPa}$$

On en déduit que **toute l'eau du verre s'évapore.**

9.2

La pression partielle correspondante vaut :

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}RT_0}{V}$$

$$P_{H_2O} = 2,1 \text{ kPa}$$

Or :

$$P_{H_2O} < P_{\text{sat}}(20^\circ \text{C}) = 2,3 \text{ kPa}$$

On en déduit que **toute l'eau du verre s'évapore.**

Le degré d'hygrométrie final vaut alors :

$$H = \frac{2,1}{2,3} = 91 \%$$

9.3

Pour saturer la pièce en vapeur d'eau ($H = 100\%$), il faut atteindre la pression P_{sat} .

9.3

Pour saturer la pièce en vapeur d'eau ($H = 100\%$), il faut atteindre la pression P_{sat} .

La quantité de matière correspondante est :

$$n'' = \frac{P_{\text{sat}}(T_0)V}{RT_0} - n'$$

9.3

Pour saturer la pièce en vapeur d'eau ($H = 100\%$), il faut atteindre la pression P_{sat} .

La quantité de matière correspondante est :

$$n'' = \frac{P_{\text{sat}}(T_0)V}{RT_0} - n'$$

$$n'' = 15 \text{ mol}$$

9.3

Pour saturer la pièce en vapeur d'eau ($H = 100\%$), il faut atteindre la pression P_{sat} .

La quantité de matière correspondante est :

$$n'' = \frac{P_{\text{sat}}(T_0)V}{RT_0} - n'$$

$$n'' = 15 \text{ mol}$$

Cela correspond à une masse :

$$m = n''M = 0,27 \text{ kg}$$

9.3

Pour saturer la pièce en vapeur d'eau ($H = 100\%$), il faut atteindre la pression P_{sat} .

La quantité de matière correspondante est :

$$n'' = \frac{P_{\text{sat}}(T_0)V}{RT_0} - n'$$

$$n'' = 15 \text{ mol}$$

Cela correspond à une masse :

$$m = n''M = 0,27 \text{ kg}$$

Comme $\rho_{\text{eau}} \simeq 1 \text{ kg L}^{-1}$, cela correspond à un volume :

$$V = 0,27 \text{ L}$$