

PHY 2001 - Cours 2.1

Chapitre 6 - Les mélanges gazeux

Chapitre 6 : Objectifs

6.2 - Définir les paramètres qui décrivent la composition d'un mélange gazeux

- Masse
- Nombre de moles
- Fraction molaire et fraction massique
- Élaborer les règles générales pour estimer les variables thermodynamiques du mélange à partir des variables des constituants et de leurs proportions relatives (fractions molaires ou massiques)

6.3 - Prédire le comportement des mélanges gazeux à l'aide des lois de Dalton et d'Amagat.

6.4 - Distinguer l'air sec de l'air humide

- Définir et calculer l'humidité spécifique et le rapport de mélange de l'air atmosphérique
- Établir l'équation d'état pour l'air humide et sa dépendance de l'humidité
- Calculer le point de rosée de l'air atmosphérique.

6.1 - Introduction

Jusqu'à maintenant on s'est limité à l'étude des systèmes constitués d'une seule substance pure. Or, bon nombre de problèmes thermodynamiques font intervenir des mélanges de substances pures.

Substance pure : substance ne comportant qu'une seule sorte de molécule.

Exemples : diamant (carbone). eau distillée, or, alcool à 100%, sucre, cuivre, sel, ...



Mélange de gaz parfaits
(30 diapos)

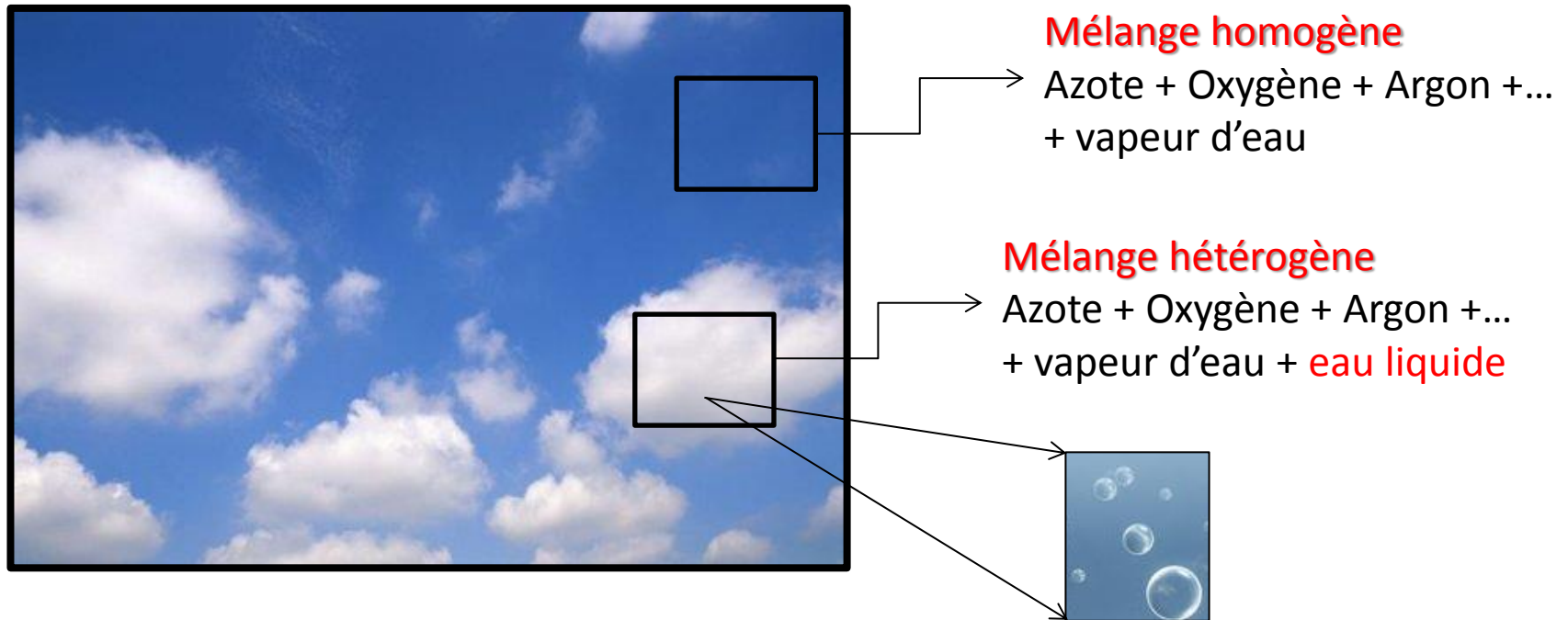


6.1 - Introduction

On s'intéressera dans ce cours aux propriétés thermodynamiques des mélanges de gaz, et plus particulièrement des mélanges de gaz parfaits dont un est condensable comme le mélange d'air et de vapeur d'eau.

Les mélanges peuvent être :

- **Homogènes** : on ne distingue pas les différents constituants
- **Hétérogènes** : on distingue différents constituants séparés par des surfaces bien définies.



6.2 - Composition d'un mélange gazeux

Considérons un mélange de N gaz. Le système peut être défini par sa masse , m :

$$\text{Masse : } m = m_1 + m_2 + \dots + m_N = \sum_{i=1}^N m_i$$

ou par le nombre de moles, n :

$$\text{Nombre de moles : } n = n_1 + n_2 + \dots + n_N = \sum_{i=1}^N n_i$$

L'analyse gravimétrique décrit le système en termes de la masse de chaque constituant. Alors que l'analyse molaire décrit la composition du mélange en fonction du nombre de moles.

La fraction massique f_i est le rapport de la masse du constituant i à la masse du mélange :

$$f_i = \frac{m_i}{m}$$

La fraction molaire χ_i est le rapport du nombre de moles du constituant i au nombre total de moles du mélange :

$$\chi_i = \frac{n_i}{n}$$

Par définition, la somme des fractions (massique ou molaire) est égale à 1

$$f_i = \frac{m_i}{m} \text{ et } \chi_i = \frac{n_i}{n} \Rightarrow \sum_{i=1}^N f_i = 1 \text{ et } \sum_{i=1}^N \chi_i = 1$$

6-2 – Composition d'un mélange gazeux

Masse molaire

La masse molaire du mélange est la masse total, m , divisée par le nombre de moles, n :

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i M_i}{n} = \sum_{i=1}^N \chi_i M_i$$

Exemple 1 : L'air atmosphérique est un mélange de plusieurs gaz qui se comportent comme des gaz parfaits. Ces principaux constituants sont :

L'azote (N_2) $\Rightarrow$ 78%

L'oxygène (O_2) $\Rightarrow$ 21%

Le reste $\Rightarrow$ 1%

» Composition de l'air



6-2 – Composition d'un mélange gazeux

Exemple 1 - Masse molaire de l'air atmosphérique

Gaz constituants de l'air sec	Fractions molaires (en %)	Masses molaires (g/mol) (O = 16,000)
Azote (N ₂)	78,09	28,016
Oxygène (O ₂)	20,95	32,000
Argon (A)	0,93	39,944
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,035	44,010
Néon (Ne)	1,8 10 ⁻³	20,183
Hélium (He)	5,24 10 ⁻⁴	4,003
Krypton (Kr)	1,0 10 ⁻⁴	83,07
Hydrogène (H ₂)	5,0 10 ⁻⁵	2,016
Xénon (Xe)	8,0 10 ⁻⁶	131,3
Ozone (O ₃)	1,0 10 ⁻⁶	48,000
Radon (Rn)	6,0 10 ⁻¹⁸	222,00

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i M_i}{n} = \sum_{i=1}^N \chi_i M_i$$

Masse molaire totale de
l'air sec (indice d pour
«dry») :

$$M_d = 28,97 \text{ g/mol}$$

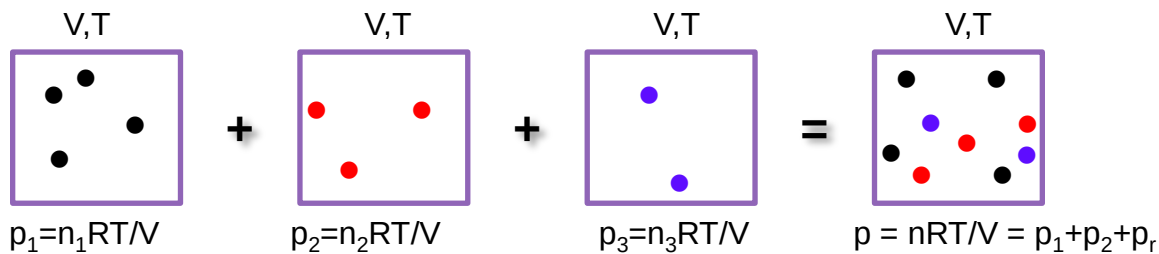
$$M_d \cong 29 \text{ g/mol}$$

6.3 – Le comportement d'un mélange de gaz parfaits

lois de DALTON et d'AMAGAT

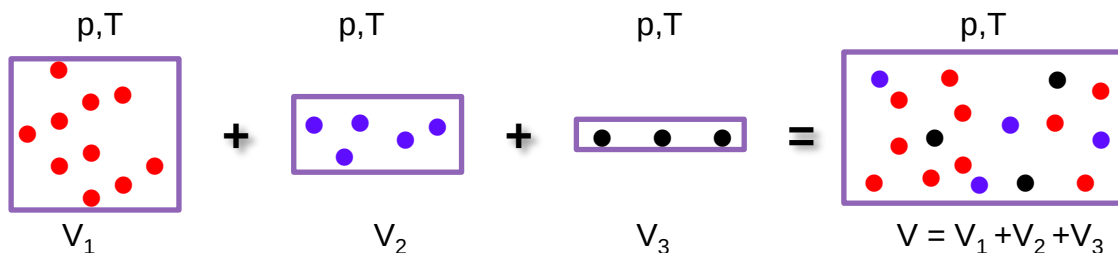
Définition d'un gaz parfait :

1. Un où les forces d'attraction et de répulsion entre les molécules sont nulles. La seule interaction entre les molécules est la collision élastique, c'est-à-dire, que la collision se fait avec conservation d'énergie cinétique. L'énergie cinétique perdue par une molécule est gagnée par les autres molécules participant à la collision.
2. Le volume occupé par les molécules est nul



Loi de DALTON

$$p = \sum_{i=1}^N p_i(T, V)$$



Loi de d'AMAGAT

$$V = \sum_{i=1}^N V_i(T, p)$$

6.3 – Le comportement d'un mélange de gaz parfaits

lois de DALTON et d'AMAGAT

Soit p_i la pression qui aurait le gaz i , à la température de l'ensemble, occupant le volume V et V_i le volume qu'il occuperait à la température et à la pression de l'ensemble. Puisque ce sont des gaz parfaits on que :

$$\frac{p_i(T, V)}{p(T, V)} = \frac{n_i RT / V}{n RT / V} = \frac{n_i}{n} = \chi_i$$

$$\frac{V_i(T, p)}{V(T, p)} = \frac{n_i RT / p}{n RT / p} = \frac{n_i}{n} = \chi_i$$


$$\frac{p_i}{p} = \frac{V_i}{V} = \frac{n_i}{n} = \chi_i$$

6.3 – Le comportement d'un mélange de gaz parfaits

lois de DALTON et d'AMAGAT

Loi de Dalton. Cette loi stipule que la pression d'un mélange gazeux dans un volume donnée est égale à la somme des pressions que chaque constituant exercerait s'il occupait à lui seul le volume, sa température étant égale à celle du mélange.

$$p = \sum_{i=1}^N p_i(T, V) \quad p_i \text{ est nommé } \mathbf{pression partielle} \text{ du constituant } i. \quad p_i = \chi_i p$$

La loi d'Amagat. Cette loi stipule que le volume d'un mélange gazeux est égal à la somme des volumes que chaque constituant occuperait s'il se trouvait à la même pression et à la même température que celles du mélange.

$$V = \sum_{i=1}^N V_i(T, p) \quad V_i \text{ est nommé } \mathbf{volume partiel} \text{ du constituant } i. \quad V_i = \chi_i V$$

6.3 – Le comportement d'un mélange de gaz parfaits

Les propriétés thermodynamiques

Puisque les gaz sont parfaits, les variables ou fonctions thermodynamiques d'un des constituants du mélange ne sont pas influencées par les autres gaz du mélange et chaque gaz se comporte :

1. comme s'il était seul
2. comme s'il se trouvait à la température d'équilibre du mélange T occupant tout seul le volume V
3. l'enthalpie H , l'énergie interne U , et les capacités calorifiques C_p (pression constante) et C_v (volume constant) ne dépendent que de la température T (sont indépendantes de p et de V)
4. Chaque variable thermodynamique extensive du mélange est donnée par la somme des variables extensives de chaque constituant.

Pour $X = H, S, F, U, G$ La valeur de la variable et sa variation au cours d'un processus qui change son état de E_i à E_f sont données par :

$$X = \sum_{i=1}^N X_i$$
$$X_f - X_i = \Delta X = \sum_{i=1}^N \Delta X_i$$

6.3 – Le comportement d'un mélange de gaz parfaits

Les propriétés thermodynamiques

Les capacités calorifiques molaires sont données par

$$\bar{c}_{mol,v} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i c_{mol,v,i}}{n} = \sum_{i=1}^N \chi_i c_{mol,v,i}$$

Pour l'air sec, mélange de gaz diatomiques ?

$$\bar{c}_{mol,p} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i c_{mol,p,i}}{n} = \sum_{i=1}^N \chi_i c_{mol,p,i}$$

Et les capacités calorifiques massiques par

$$\bar{c}_v = \frac{\bar{c}_{mol,v}}{M_m}$$

$$\bar{c}_p = \frac{\bar{c}_{mol,p}}{M_m} \text{ où } M_m = \sum_{i=1}^N \chi_i M_i \text{ est la masse molaire du mélange}$$

6.4 - L'air atmosphérique

Air sec versus air humide

L'air atmosphérique est un mélange de plusieurs gaz. Ses principaux constituants sont l'azote (78 %) et l'oxygène (21 %), le reste (1 %) étant constitué d'autres gaz dont la vapeur d'eau. Ce dernier composant est de loin l'élément le plus important dans la branche atmosphérique du **système terre** et du cycle d'eau : il est en effet à la base de la formation des nuages et donc des précipitations.

Les pourcentages respectives de ces différents gaz varient plus ou moins selon leur nature. Celles de l'oxygène et de l'azote demeurent remarquablement stables dans la basse atmosphère jusqu'à environ 85 km d'altitude. La vapeur d'eau connaît par contre des variations assez sensibles dans le temps et dans l'espace.

L'air qui ne contient aucune trace de vapeur d'eau est appelé **l'air sec**

Le mélange air sec + la vapeur d'eau constitue **l'air atmosphérique** ou **l'air humide**.

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

- Combien il y a de la vapeur d'eau dans l'air?
- Pourquoi ça nous intéresse de connaître l'état d'humidité de l'air?
- Plusieurs grandeurs nous permettent de connaître l'état d'humidité de l'air.
Entre autres :

1- La pression partielle de la vapeur d'eau

2- Humidité spécifique

3- Rapport de mélange

4- Humidité relative

5- La température du point de rosée

6- L'équation d'état de l'air humide

7- La température virtuelle

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

1- La pression partielle de la vapeur d'eau (e)

La **pression partielle de la vapeur d'eau**, e , est la contribution de la vapeur d'eau à la pression totale du système, p .

Soit un système fermé à la température T et occupant le volume V , constitué de n_d moles d'air sec et n_v moles de vapeur d'eau. La pression totale sera

$$p = \sum_{i=1}^N p_i(T, V) = p_d + e$$

$$\text{avec } p_d = \frac{n_d RT}{V} = \frac{m_d R_d T}{V} = \text{la pression partielle de l'air sec, } R_d = \frac{R}{M_d}$$

$$\text{et } e = \frac{n_v RT}{V} = \frac{m_v R_v T}{V} = \text{la pression partielle de la vapeur d'eau, } R_v = \frac{R}{M_v}$$

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

2- L'humidité spécifique (q)

L'**humidité spécifique** est définie comme le rapport de la masse de vapeur d'eau, m_v , à la masse total du mélange, m . Ce rapport est souvent représentée par la lettre q , à ne pas confondre avec la quantité de chaleur!

$$q = \frac{m_v}{m}$$

En dehors des basses couches atmosphériques et des régions chaudes $q < 0,02$ (kg/kg).
Alors on l'exprime en (g de vapeur d'eau)/(kg d'air humide) = (g/kg)

$$\frac{m_v}{m} = \frac{n_v M_v}{n M_m} = \frac{eV/R_v T}{pV/R_m T} = \frac{R_m}{R_v} \frac{e}{p}, \quad R_v = \frac{R}{M_v}; R_m = \frac{R}{M_m}$$

$$q = \frac{R_m}{R_v} \frac{e}{p}$$

R_v est la constante spécifique de l'eau et R_m est la constante de l'air atmosphérique qui est fonction de l'humidité présente dans l'air.

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

3- Le rapport de mélange (r)

Le **rapport de mélange** est défini comme le rapport de la masse de vapeur d'eau, m_v , à la masse de l'air sec, m_d . Ce rapport est représentée par la lettre r ,

$$r = \frac{m_v}{m_d}$$

En dehors des bases couches et des régions chaudes $q < 0,02$ (kg/kg). Alors on l'exprime en g de vapeur d'eau/ kg d'air humide (g/kg)

$$\frac{m_v}{m_d} = \frac{n_v M_v}{n M_d} = \frac{eV/R_v T}{p_d V/R_d T} = \varepsilon \frac{e}{p_d}, \quad \varepsilon = \frac{R_d}{R_v} = \frac{287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}{462 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 0,622$$

$$r = 0,622 \frac{e}{p_d} = 0,622 \frac{e}{p - e}$$

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

Les paramètres qui nous donnent l'humidité de l'air ne sont pas indépendants

$$r = \frac{q}{1-q}, \quad q = \frac{r}{r+1} \Rightarrow r \cong q \ll 1$$

Exemple 2 : $r = 10 \text{ g/kg}$. Déterminer q .

$$q = \frac{r}{r+1} = \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3} + 1} = 0.009901 = 0,01$$
$$q = 10 \text{ g / kg}$$

Dans notre cas, la précision de la mesure de r (1 chiffre significatif) ne permet pas de connaître la différence entre les valeurs de q et de r .

6.4 - L'air atmosphérique

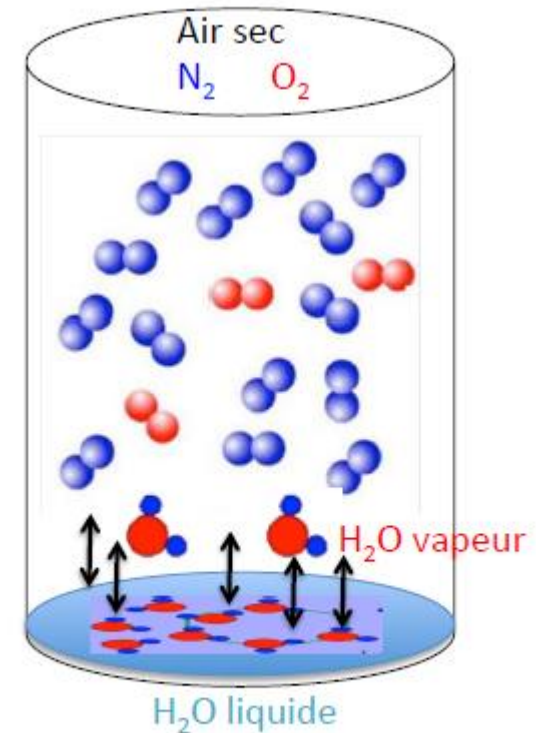
Notion de saturation

Considérons par exemple 1 kg **d'air sec** contenu dans un cylindre fermé par un piston. Cet air, par définition, ne contient aucune vapeur d'eau. Son **humidité spécifique est alors zéro** et sa pression égale à p_d .

On introduit dans le piston de l'eau liquide dont le volume est si petit qu'on peut le négliger par rapport à celui de l'air. On maintient la température et le volume constants. On mesure la variation de la pression.

La pression à l'intérieur du cylindre augmente constamment. Pourquoi?

À un certain moment, la pression ne varie plus. La masse de vapeur m_v qui contient l'air n'augmente plus. On dit que l'air est **saturé**. Cette masse de vapeur va correspondre à une pression partielle de vapeur e_s qu'on appelle pression saturante et qui ne dépend que de la température.



Source : Mélissa Cholette

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

4- L'humidité relative, HR (%)

L'**humidité relative** est la mesure de l'écart relatif entre la masse de vapeur d'eau qu'existe dans l'air, m_v , et la masse de vapeur, m_{vs} , qu'il aurait s'il était saturé.

$$\frac{HR}{100} = \frac{m_v}{m_{vs}} = \frac{n_v M_v}{n_{vs} M_v} = \frac{e V_v / R_v T}{e_s V_v / R_v T} = \frac{e}{e_s}, R_v = \frac{R}{M_v}$$

Pour une substance pure, la pression de vapeur saturante (e_s) dépend uniquement de la température. Il existe des tables thermodynamiques que nous donnent sa valeur en fonction de la température

Une autre mesure d'humidité (par exemple le rapport de mélange) et la température permettent de connaître l'humidité relative :

$$r = \frac{0,622e}{p - e} = \frac{0,622(HR/100)e_s}{p - (HR/100)e_s}$$
$$HR = \frac{rp}{(0,622 + r)e_s} \times 100$$

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

La quantité d'humidité dans l'air agit sur le bien être physique. Ce bien être dépend de la capacité de notre corps à évaporer la sueur, un mécanisme de régulation de la température du corps. Quand l'air est saturée (HR = 100%) ce mécanisme de refroidissement ne fonctionne plus.

L'Indice humidex intègre l'effet de température et d'humidité sur notre sensation de chaleur.

Mélange de gaz parfaits
(30 diapos)

En-dessous de 29	Peu de gens sont incommodés.																
De 30 à 34	Sensation de malaise plus ou moins grande.																
De 35 à 39	Sensation de malaise assez grande. Prudence. Ralentir certaines activités en plein air.																
De 40 à 45	Sensation de malaise généralisée. Danger. Éviter les efforts.																
De 46 à 53	Danger extrême. Arrêt de travail dans de nombreux domaines.																
Au-dessus de 54	Coup de chaleur imminent (danger de mort).																

Température (°C)	Humidité relative (%)																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
21	21	21	21	21	21	22	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29
22	22	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	29	30	31
23	23	23	23	23	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	31	32	33
24	24	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
25	25	25	25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35	36	37
26	26	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	36	37	38	39
27	27	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
28	28	28	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	43	44
29	29	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	43	44	45	46
30	30	30	31	32	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
31	31	31	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50
32	32	33	34	35	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	51	53
33	33	34	36	37	38	40	41	43	44	46	47	48	50	51	52	54	55
34	34	35	37	39	40	42	43	45	46	47	49	50	52	53	55	56	58
35	35	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	53	54	56	57	58	60
36	37	38	40	42	43	45	47	48	50	51	53	55	56	58	59	62	63
37	38	40	42	43	45	47	49	50	52	54	55	57	58	61	63	64	66
38	40	42	43	45	47	49	50	52	54	56	57	59	62	63	65	67	69
39	41	43	45	47	49	51	52	54	56	58	59	62	64	66	68	70	72
40	43	45	47	49	51	52	54	56	58	61	63	65	67	69	71	73	75
41	45	47	48	50	52	54	56	58	61	63	65	68	70	72	74	76	78
42	46	48	50	52	54	56	58	61	64	66	68	70	73	75	77	79	82
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

source : Environnement Canada

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

5- La température du point de rosée (T_D)

La rosée du matin provient de l'humidité dans l'air qui, durant la nuit, s'est condensée sur des surfaces froides comme le sol. À des températures inférieures à 0°C l'humidité dans l'air peut se déposer et former du givre.



Le **point de rosée T_D** est défini comme la température à laquelle la condensation commence à se manifester lorsque l'air est refroidi à **pression constante**.



On est ici en présence de changements d'état physique de l'eau. Pourquoi à une certaine température la vapeur d'eau se transforme en liquide? Pourquoi elle se transforme parfois en solide? Quelle critère nous permet de savoir quel procédé va avoir lieu?

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

6- L'équation d'état de l'air humide

L'air atmosphérique est un mélange de deux gaz parfaits : l'air sec et de vapeur d'eau.

Supposons que l'air atmosphérique occupe un volume V à la température T et à la pression p . Les pressions partielles de l'air sec et de la vapeur d'eau sont respectivement

$$p_d = \frac{n_d RT}{V} \quad e = \frac{n_v RT}{V}$$

La loi de Dalton nous donne la relation entre la pression total du système et les pressions partielles :

$$p = p_d + e = \frac{n_d RT}{V} + \frac{n_v RT}{V} = \frac{n RT}{V}$$

Dans les problèmes atmosphériques il est très rare la connaissance du nombre de moles. Il est préférable de travailler avec la masse et, encore mieux, la densité.

Équation d'état de l'air atmosphérique

$$pV = nM_m \frac{R}{M_m} T = mR_m T$$

$$pV = mR_m T$$

$$p = \frac{m}{V} R_m T = \rho R_m T$$

Constante spécifique de l'air humide

$$R_m = \frac{m_d R_d + m_v R_v}{m} = \frac{(m - m_v) R_d + m_v R_v}{m} = R_d - \frac{m_v}{m} R_d + \frac{m_v}{m} R_v$$
$$R_m = R_d \left(1 - q + q \frac{R_v}{R_d} \right) = R_d (1 + 0,608q)$$

6.4 - L'air atmosphérique

Quantification de l'humidité dans l'air atmosphérique

7- Caractéristiques thermodynamiques de l'air atmosphérique : Constante spécifique ou massique, capacités calorifiques; équation d'état

$$R_m \cong (1 + 0.608q)R_d$$

«Constante» spécifique ou massique

$$c_{pm} \cong (1 + 0,86q)c_{pd}$$

Capacité calorifique spécifique ou massique à pression constante

$$c_{vm} \cong (1 + 0.97q)c_{vd}$$

Capacité calorifique spécifique ou massique à volume constante

Équation d'état de l'air atmosphérique

Température virtuelle

$$pV = mR_m T$$

$$pV = mR_d (1 + 0,608q) T$$

$$T_v = (1 + 0.608q)T$$

$$T_v \cong (1 + 0.608r)T$$

$$pV = mR_d T_v$$

$$p = \rho R_d T_v$$

6.4 - L'air atmosphérique

Les fonctions d'état

8 - L'enthalpie massique ($h = H/m$)

L'enthalpie totale (variable extensive) de l'air atmosphérique est la somme des enthalpies de l'air sec et de la vapeur d'eau :

$$H = H_d + H_v = n_d H_{d,m} + n_v H_{v,m} = m_d h_d + m_v h_v$$

En divisant le tout par la masse d'air (qui reste constante), on obtient l'enthalpie par unité de masse (massique) ou enthalpie spécifique :

$$h = h_d + \frac{m_v}{m} h_v \qquad \frac{m_v}{m} = q \qquad \frac{m_v}{m_d} = r \cong q$$

$$h = h_d + q h_v \cong h_d + r h_v$$
$$dh = dh_d + q dh_v + h_v dq \cong dh_d + r dh_v + h_v dr$$

L'air atmosphérique :

Les autres fonctions thermodynamiques extensives

8 - L'énergie interne (u), l'entropie (s), etc.

$$\text{Humidité spécifique : } \frac{m_v}{m} = q \quad \text{rapport de mélange : } \frac{m_v}{m_d} = r$$

Énergie interne spécifique (ou massique) :

$$u = u_d + qu_v; u = U/m$$

$$du = du_d + qdu_v + u_v dq \cong du_d + rdu_v + u_v dr$$

Entropie spécifique (ou massique) :

$$s = s_d + qs_v; s = S/m_d$$

$$ds = ds_d + qds_v + s_v dq \cong ds_d + rds_v + s_v dr$$

Enthalpie libre de Gibbs spécifique ?

Énergie libre de Helmholtz spécifique?

Exemple 3

Les propriétés de l'air humide

Une pièce a les dimensions de 5 m sur 5 m sur 3 m. La pièce est remplie d'air à la pression $p = 100,0$ kPa et à la température $T = 25,0^\circ\text{C}$. L'humidité relative est $HR=75\%$. Déterminez :

- a) La pression partielle de l'air sec
- b) Le rapport de mélange
- c) La masse de vapeur d'eau et la masse d'air sec dans la pièce
- d) La température virtuelle
- e) L'enthalpie de l'air atmosphérique par unité de masse d'air sec (à une constante près)

Données : $c_{pd} = 1005,0 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $c_{pv} = 1870,0 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $R_d = 287,0 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$;
 $e_s(25^\circ\text{C}) = 3,17 \text{ kPa}$; $R_v = 462,0 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

- a) $p_d = 97,6 \text{ kPa}$;
- b) $r = 0,015 \text{ kg H}_2\text{O/kg d'air sec}$;
- c) $m_d = 85,6 \text{ kg}$ et $m_v = 1,3 \text{ kg}$
- d) $H/m_d = 308 \text{ kJ/kg} + H_0/m_d$;
- e) $T_v = 27,6^\circ\text{C}$

Résumé

- La composition d'un mélange gazeux est décrite en termes des fractions massiques ou des fractions molaires des constituants
- On peut définir une masse molaire moyenne du mélange et une constante spécifique (massique) du mélange.
- La **loi de Dalton** stipule que la pression d'un mélange gazeux dans un volume donnée est égale à la somme des pressions que chaque constituant exercerait s'il occupait à lui seul le volume, sa température étant égale à celle du mélange.
- La **pression partielle** d'un constituant du mélange est la pression que ce constituant exercerait s'il était seul à occuper le volume total du système à la température d'équilibre.
- La **loi d'Amagat** stipule que le volume d'un mélange gazeux est égal à la somme des volumes que chaque constituant occuperait s'il se trouvait à la même pression et à la même température que celles du mélange.
- Le volume **partiel** d'un constituant du mélange est le volume qu'il occuperait tout seul à la pression et température d'équilibre du mélange.

Résumé (suite)

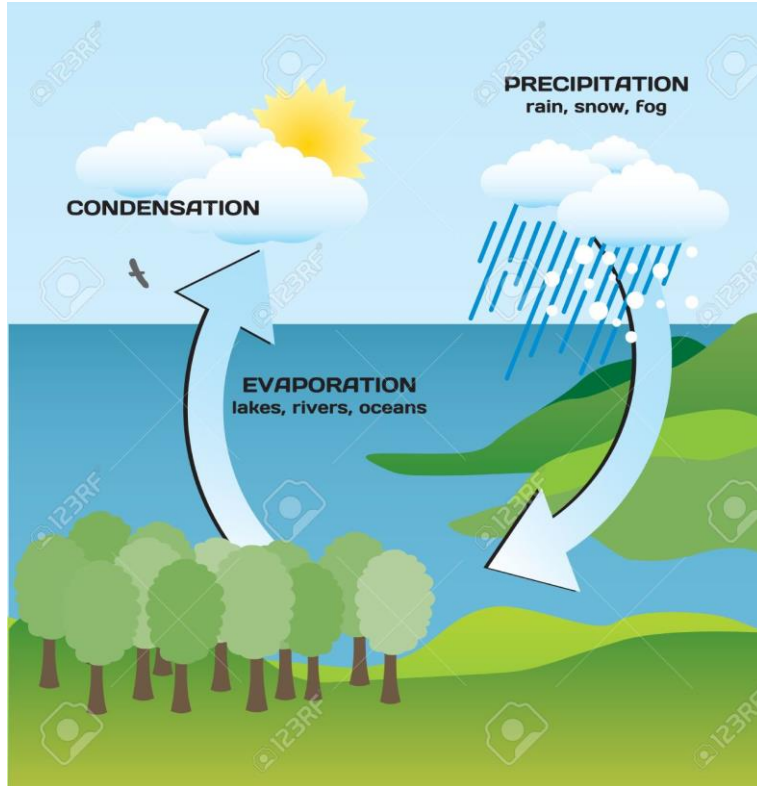
- Les lois de Dalton et d'Amagat sont exactes pour les gaz parfaits et approximatives pour les gaz réels.
- Pour estimer les variables thermodynamiques extensives d'un mélange gazeux, on additionne les valeurs extensives de chaque constituant.
- L'air atmosphérique est un mélange de gaz constitué d'air sec et de la vapeur d'eau.
- L'air atmosphérique peut être modélisé comme un mélange de gaz parfaits dont la pression est égale à la somme des pressions partielles de l'air sec et de la vapeur.
- L'**humidité spécifique**, q , est définie comme le rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse d'air.
- Le **rapport de mélange**, r , est défini comme le rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse d'air sec.
- L'**humidité relative** U (ou HR%) est le rapport de la quantité d'humidité que l'air contient, à la quantité qu'il devrait contenir pour que la vapeur soit en équilibre avec l'eau liquide à la température de l'air.
- Dans l'atmosphère, l'humidité relative varie entre 0% pour l'air sec, à 100% pour l'air saturé. En laboratoire il est possible d'avoir des humidités relatives supérieures à 100 %. La pression de vapeur dans l'air saturé à la température T est $e_s(T)$. Elle ne dépend que de la température.

Résumé (suite)

- La **température virtuelle**, T_v , est la température qui devrait avoir l'air sec, à la même pression que l'air humide pour avoir la même densité que celui-ci.
- Le **point de rosée**, T_D , est défini comme la température à laquelle la condensation commence à se manifester lorsque l'air est refroidit à **pression constante**.

$$T_v \geq T \geq T_D$$

Après la pause : Les gaz réels



Cycle d'eau : branche atmosphérique

http://www.123rf.com/photo_15143982_the-natural-circle-of-water-on-the-planet-earth.html



Pourquoi la nature ne se conforme pas à nos «lois»?