

Modéliser et simuler les technologies énergétiques (extraits résumés)

### 3.4 Approfondissement sur la vapeur d'eau

L'interaction de la vapeur avec l'air est un phénomène complexe qui mérite quelques explications.

L'air sec est un mélange d'oxygène (23 % en masse), d'azote (76 % en masse) et de certains gaz (argon, CO<sub>2</sub>) en proportions infimes (environ 1 % en masse), mais l'air sec ne se rencontre pratiquement jamais : il comprend presque toujours de l'eau, sous forme gazeuse, liquide ou de cristaux de glace.

La thermodynamique des mélanges humides permet d'étudier les propriétés de l'air réel, qui comprend toujours une part d'humidité. Lorsqu'on s'intéresse à un mélange humide, on a affaire à un mélange de gaz qui ne se condensent pas, que l'on appelle le gaz sec, et d'eau, susceptible de se condenser. Tout se passe en quelque sorte comme si le mélange humide était un mélange de deux corps : le gaz sec, dont la composition est invariable, et l'eau, susceptible de se présenter sous une ou plusieurs phases.

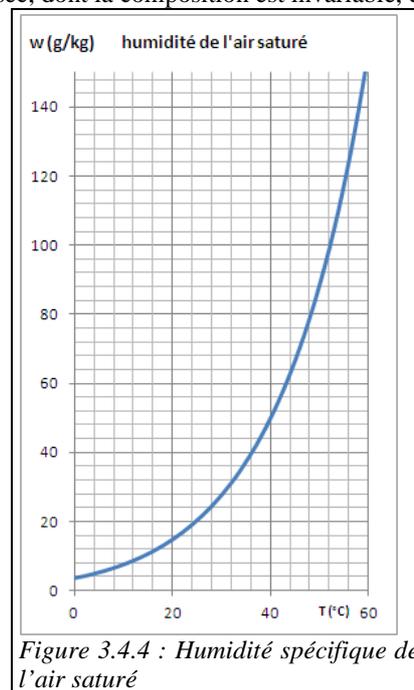
Deux grandeurs servent communément à caractériser l'humidité d'un mélange humide : l'humidité spécifique  $w$  et l'humidité relative  $\epsilon$ , plus communément utilisée par le grand public.

On appelle **humidité spécifique** ou absolue  $w$  le rapport de la masse d'eau contenue dans un volume donné de mélange humide à la masse de gaz sec contenue dans ce même volume.

La courbe de la figure 3.4.4 montre la valeur de l'humidité spécifique de l'air saturé d'eau exprimée en gramme d'eau par kilogramme d'air sec, qui varie considérablement en fonction de la température : à 20 °C, l'air saturé contient environ 15 g d'eau et à 60 °C environ dix fois plus.

Lorsque, à pression donnée, la température descend en dessous de la température de saturation de l'eau (donnée rappelons-le par la courbe de la figure 3.1.2), la vapeur d'eau en excédent de l'humidité spécifique de l'air saturé commence à se condenser sous forme de brouillard ou sur les parois froides qui délimitent le système s'il en existe.

Pour être plus précis, voici ce qui se passe sur le plan physique : la pression (dite partielle) de l'eau dans l'air ne peut excéder la pression de saturation à une température donnée.

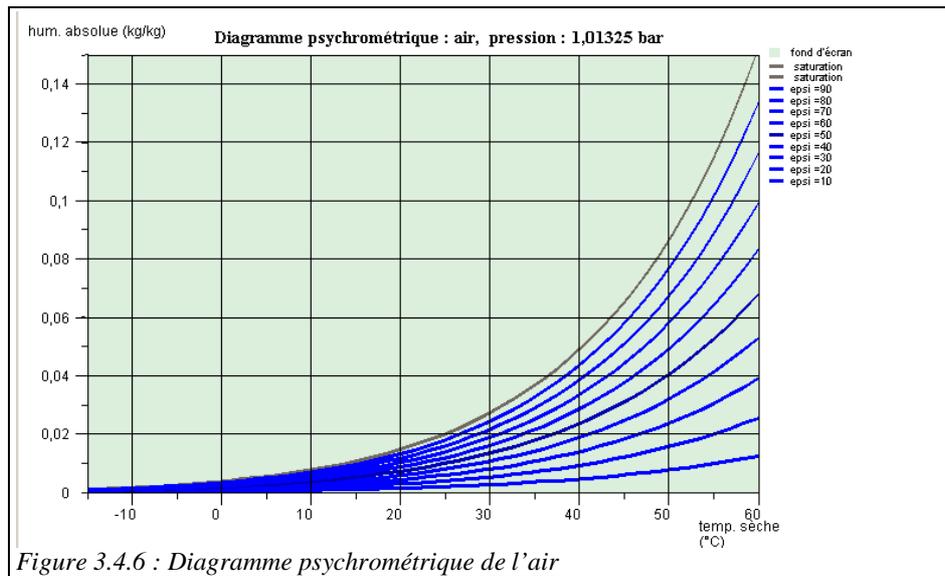


Rappelons que la pression partielle  $P_i$  d'un constituant est la pression qu'exercerait ce constituant s'il occupait seul le volume  $V$  du mélange, sa température étant égale à celle du mélange.

Mathématiquement, cela s'exprime par la relation  $P_i = x_i P$ ,  $P$  étant la pression totale et  $x_i$  la fraction molaire<sup>6</sup> du constituant  $i$ . Pour l'eau, on a donc :  $P_{H_2O} = x_{H_2O} P$ .

La condition de condensation s'écrit donc  $P_{H_2O} = x_{H_2O} P \leq P_{vs}(T)$ , ou bien :

$$x_{H_2O} \leq \frac{P_{vs}(T)}{P}$$



L'**humidité relative**  $\varepsilon$  brièvement introduite plus haut est précisément définie comme le rapport de la pression partielle de l'eau à sa pression de vapeur saturante :

$$\varepsilon = \frac{P_{H_2O}}{P_{vs}(T)}$$

L'humidité relative est égale à 1 (ou 100 %) lorsque la vapeur commence à se condenser. Sinon, elle est inférieure à 1.

La figure 3.4.6 représente le diagramme dit psychrométrique de l'air humide, sur lequel apparaissent les courbes d'iso-humidité relative, de 10 % en 10 %, la courbe supérieure correspondant à la saturation. Dans ce diagramme, la température ambiante (dite sèche) est portée en abscisse, et l'humidité spécifique  $w$  en ordonnée.

<sup>6</sup> La fraction molaire d'un constituant est par définition le rapport du nombre de moles de ce constituant au nombre total de moles dans le mélange.

### Modéliser et simuler les technologies énergétiques (extraits résumés)

La masse de vapeur contenue dans l'air se traduit par une pression partielle de vapeur d'eau. Si, à la température ambiante, cette pression excède celle donnée par la courbe de saturation de la figure 3.1.2, il y a condensation de la fraction de vapeur en excès.

Reprenons l'exemple de la cocotte-minute que nous avons évoqué plus haut. En fonctionnement normal, sa température intérieure est voisine de 110 °C.

La vapeur qui s'échappe à température élevée se refroidit progressivement au contact de l'air ambiant avec lequel elle se mélange. Jusqu'à un ou deux centimètres au-dessus de la buse, le jet ne contient que de la vapeur, invisible. Puis le mélange saturé en eau commence à se condenser, formant un brouillard de microgouttelettes d'eau parfaitement visible. Ce brouillard s'évapore ensuite lorsqu'il se mélange avec l'air sec éloigné de l'autocuiseur.