

CHAPITRE 3

LA VAPEUR D'EAU

1. GENERALITES SUR LA VAPEUR D'EAU

Au sein de la vapeur d'eau l'agitation thermique des molécules d'eau est grande : elles se déplacent en tous sens, séparément les unes des autres et de façon apparemment désordonnée, défiant les lois de la pesanteur car l'énergie thermique qui les habite est suffisamment importante pour les empêcher de s'associer et de tomber sous l'action de leur poids. Un tel comportement est typique de tous les gaz. « **La vapeur d'eau est donc un gaz normal** ». Comme pour tous les gaz, il est possible de comprimer la vapeur d'eau car l'espace entre les molécules est suffisamment grand pour leur permettre de se rapprocher les unes des autres. Inversement, donnez lui plus d'espace, elle occupera tout le volume disponible grâce à l'agitation des molécules qui se déplacent partout où c'est possible : comme tous les gaz, la vapeur d'eau est expansible. Le "gaz H₂O" suit, *pour les faibles pressions et à grand volume* (cas du gaz dilué approchant le gaz parfait), la Loi de Mariotte : c'est-à-dire qu'à température constante, le Volume (V) d'un gaz est inversement proportionnel à sa Pression P : **PV= constante**, et si l'on tient compte de la Température (T) : **PV = cte x T** avec p = Pa [ou N/m²], V = m³ et T = K, la loi des gaz parfait (dans les conditions évoquées) pourrait aussi s'appliquer, soit : **PV = nRT** avec n = nombre de moles et R = constante universelle des gaz (8,314 J/Kmol).

Si l'on refroidit la vapeur d'eau, l'agitation thermique des molécules d'eau diminue. Lorsque leur énergie d'agitation n'est plus suffisante pour les en empêcher, les molécules commencent à se lier les unes aux autres. Elles se rassemblent en paquets pour finalement former, au sein de la vapeur d'eau, des gouttes d'eau liquide qui tombent sous l'action de leur poids au fond du récipient. La vapeur se transforme ainsi progressivement en eau liquide.

Point de Rosée (dew point temperature) : C'est la température (°C) à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans de l'air humide commence à se condenser au contact d'une surface froide. Cette température dépend de la pression totale. Au cours du refroidissement, l'humidité et la pression partielle de la vapeur d'eau restent constantes.

Point de rosée de l'air sous la pression atmosphérique normale (101 325 Pa)

(avec T_s : température sèche et H_r : humidité relative)

T_s	Hr 100%	Hr 80%	Hr 60%	Hr 50%	Hr 20%	Hr 10%	Hr 1%
-10 °C	-10,00	-12,78	-16,26	-18,42	-28,63	-35,75	-56,26
-5 °C	-5,00	-7,90	-11,54	-13,78	-24,43	-31,83	-53,10
0 °C	0,00	-3,03	-6,82	-9,16	-20,23	-27,92	-49,97
5 °C	5,00	1,85	-2,10	-4,54	-16,06	-24,04	-46,87
10 °C	10,00	6,72	2,61	0,07	-11,89	-20,17	-43,79
20 °C	20,00	16,45	12,01	9,27	-3,61	-12,50	-37,72
30 °C	30,01	26,17	21,39	18,44	4,61	-4,90	-31,75
40 °C	40,01	35,88	30,74	27,58	12,77	2,62	-25,89
50 °C	50,01	45,58	40,07	36,69	20,87	10,07	-20,12

NOTA : les *liaisons hydrogène* peuvent exister dans la vapeur d'eau¹, mais l'énergie d'agitation des molécules y étant supérieure à l'énergie de ces liaisons, les molécules ne peuvent s'associer en grand nombre. Elles peuvent tout au plus s'associer par deux ou par trois pour former ce que l'on appelle des dimères ou des trimères.

2. POURQUOI LA VAPEUR D'EAU ET SES DIFFERENTES FORMES.

La vapeur doit être générée et transportée à la pression la plus élevée possible pour réduire le diamètre des tuyauteries. Elle doit être surchauffée pour éviter la condensation en ligne.

Avant son utilisation, sa pression doit généralement être abaissée pour régler le flux de chauffage. On utilise pour cela soit un détendeur mécanique si la précision nécessaire est faible, soit une vanne de réglage asservie pour plus de précision. La

¹ Rappel de quelques propriétés de la vapeur saturée pour Pression absolue de 0,980665 : Densité par rapport à l'air : 0.623, Masse volumique (kg.m³) : 0.5797, Température de vaporisation (°C) = 99.09°C, Chaleur de vaporisation : 638,5 kcal/kg (2671,48 kJ/kg), Viscosité cinématique : 22.0 cSt (centiStokes), vitesse du son : 410 m/s à 20°C et 417 m/s à 120 °C, 1 kg de vapeur saturée occupe, à 100°C, un volume de 1671 litres.

vapeur libère de la chaleur en se condensant. Le liquide formé (condensats) doit être évacué seul (sans que de la vapeur ne s'échappe). Pour cela on peut utiliser :

- un ballon de réception équipé d'une mesure de niveau et d'une vanne de soutirage dont l'ouverture permet de maintenir le niveau constant.
- plus simplement un purgeur

Les condensats amenés derrière le purgeur à une pression inférieure, peuvent libérer de la vapeur. L'écoulement dans la tuyauterie, par la perte de charge qu'il crée, peut générer une contre pression dont on doit tenir compte dans le dimensionnement du purgeur. Lorsque le titre est égal à 1, la vapeur est dite saturée sèche. Au delà, elle devient surchauffée. Pour la surchauffer, on peut augmenter la température de la vapeur saturée dans un échangeur appelé « surchauffeur » incorporé à la chaudière, soit détendre la vapeur grâce à une vanne. La vapeur est le plus utilisé des fluides de transfert thermique. Elle est facile à produire et à utiliser en toute sécurité (non toxique et ininflammable). Son contenu énergétique est supérieur à d'autres fluides (à 12 bars absolus, 1 kg de vapeur à 190°C déplace 2784 kJ alors que de l'eau surchauffée à 190°C n'en déplace que 808 kJ), les canalisations de transport sont donc plus petites. On obtient avec la vapeur des transferts thermiques plus faciles, ce qui conduit à des échangeurs de plus faible surface. Autre avantage, elle est automotrice, c'est-à-dire que son déplacement est assuré par la pression à la sortie de sa production sans pompe de circulation.

Pourquoi surchauffe-t-on la vapeur ?

Du côté des inconvénients, plus la vapeur est surchauffée, plus l'efficacité du condenseur diminue. Lorsque la vapeur actionne une turbine ou parcourt de longues distances, on la surchauffe dans un « surchauffeur » qui élève sa température (jusqu'à parfois 570°C pour une turbine). Le surchauffeur est généralement situé dans la chaudière. Il ne reçoit que la vapeur plus ou moins sèche à laquelle il ajoute de la chaleur. Il n'y a donc pas de changement d'état, mais une augmentation de la température.

La chaleur de surchauffe est donc de la chaleur sensible. Sa chaleur spécifique est comprise entre 2,09 et 2,7 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹. Son but est, pour les turbines, d'améliorer

leur rendement global tout en préservant de l'érosion leurs ailettes, puisque aucune présence de gouttelettes d'eau n'est possible dans la vapeur surchauffée.

Pour les réseaux de grande longueur, la vapeur surchauffée réduit ou évite la présence de condensats qui ne peuvent se former que si la vapeur est saturée. Cela permet de réduire les pertes thermiques parasites dues au refroidissement des tuyauteries.

Le coefficient de transfert de la vapeur en cours de désurchauffe est faible par rapport à celui de la vapeur saturée condensante. Il en résulte que les pertes de chaleur en ligne, malgré un $\Delta\theta$ important avec la température ambiante, sont sensiblement réduites si la vapeur est surchauffée. Cette propriété peut imposer l'installation d'un désurchauffeur surtout lorsque la vapeur renferme plus de 30°C de surchauffe et sert à chauffer un autre fluide.

La détente sans travail d'une vapeur à un titre élevé, par un détendeur, peut également surchauffer la vapeur. Elle ne consomme pas de chaleur, elle est donc isenthalpique. C'est la différence d'enthalpie des pressions respectives qui produit soit une surchauffe, soit une condensation (diminution du titre), selon que la vapeur haute pression est au-dessus ou au-dessous de 30 bar effectifs.