

La compréhension du phénomène initiateur de la vapeur de craquage dans le réacteur Pantone

Salut à tous

Je vous propose donc un axe de réflexion sur la compréhension du « phénomène Pantone ». Et comme toutes les idées sont bonnes, pourquoi pas celle là!!

Notre ami André a constaté que le réacteur Pantone ne fonctionne plus si on lui envoie de la vapeur d'eau surchauffé (vapeur d'eau à $T^{\circ} > 100^{\circ}\text{C}$).

Je pense que cette observation peut nous en apprendre beaucoup et peut être le point de départ de tout.

Si on analyse les théories de la thermodynamique et les courbes de MOLLIER de la vapeur d'eau, il apparaît que pour de la vapeur surchauffée (vapeur sèche en état gazeux) la courbe d'enthalpie est quasi verticale en condition isobare. L'enthalpie caractérisant la capacité d'absorption de chaleur de la phase, cela signifie que notre vapeur surchauffée va absorber la chaleur fournie

par les gaz d'échappement sans changement d'état. Car si on est quasi vertical sur les courbes de Mollier c'est que la variation d'entropie est faible ou nulle d'où à la sortie du réacteur de la vapeur d'eau très chaude (observé par André je crois ??). Et c'est pas ce que l'on veut faire chauffer de la vapeur d'eau ??

Du moins a priori ca ne suffit pas !

Postulat : Il faut éviter la vapeur sèche

Nous ce que l'on cherche c'est foutre le bordel autrement dit on cherche augmenter entropie car chaque changement d'état de la matière passe une augmentation de l'entropie. C'est pas moi qui l'ai dit. C'est les scientifiques.

Par exemple, lorsque le fluide devient gaz, il y a augmentation de l'entropie et les molécules se désorganisent, s'agitent, s'écartent, se rentre dedans, c'est du gaz.

L'entropie caractérise la dé-organisation de la matière.

Dans le cas, de la vapeur humide (vapeur d'eau saturée ou partiellement saturée dont la température est inférieure à 100°C sous 1 bars), nous sommes encore dans les conditions de changement d'état et donc de variation entropie. Dans la vapeur humide, il reste encore des microgoutellettes d'où une capacité à pouvoir évoluer encore vers l'état de vapeur sèche si on continu à chauffer.

Avec la vapeur humide si on fait un apport supplémentaire de chaleur il va se passer des choses.

Ca c'est intéressant !

Que va t-il se passer ? C'est là que réside sûrement le secret du Pentone.

Postulat : Utiliser un état de matière susceptible d'évoluer par apport de chaleur

L'évolution que peut avoir cette vapeur humide par apport de chaleur va se traduire par des micro-ébullitions des microgoutelletes jusqu'à obtenir de la vapeur sèche.

Mais c'est pas ce que l'on veut. Donc il doit se passer quelque chose d'autre, une rupture. Ce que l'on appelle une non-linéarité du phénomène telle que peut l'être le passage du mur du son par exemple.

C'est là que je vais entrer dans le domaine de l'hypothétique car je n'ai pas tout vérifié encore.

On a donc de la vapeur avec des micro-goutelletes et du gaz qui entre dans un tube de réacteur chaud, espace confiné avec une accélération importante pour atteindre des vitesses importantes (mesurés supérieure à 200 m/s).

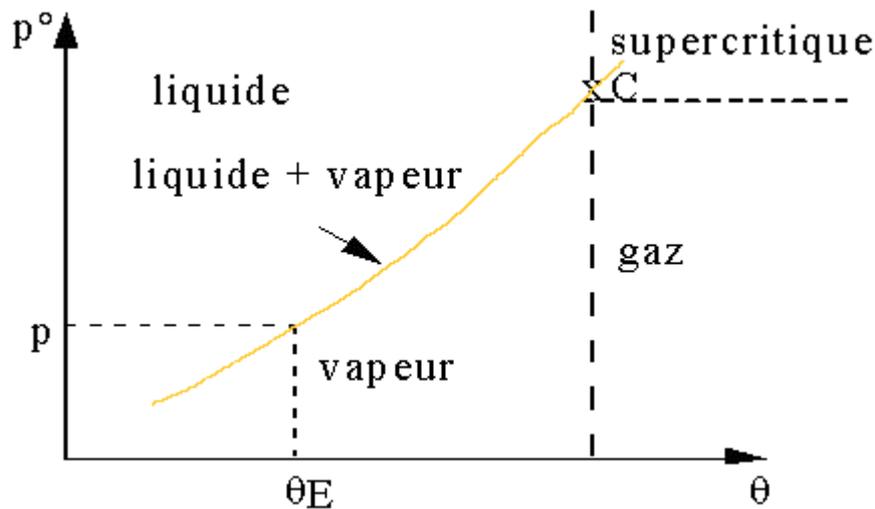
Pour moi le seul changement d'état qui peut se produire encore doit être le facteur déclenchant de la non-linéarité que l'on cherche. Et ce changement d'état c'est la vaporisation rapide des micro-goutelletes présentent dans la vapeur humide.

On sait que la vaporisation est un phénomène qui dépend de la température et de la pression.

La tension de vapeur p° d'un liquide est indépendante de la quantité de liquide présente. Elle ne dépend que de la nature du liquide et augmente très rapidement avec la température.

L'allure de la courbe (p° , T) est reportée sur le graphique pression température suivant. Elle est limitée supérieurement par le **point critique C** (pour l'eau, $T_c = 374^{\circ}\text{C}$ et $p_c = 225$ bars).

Au-delà du point critique, le liquide ne peut pas exister : on dit qu'on a affaire à un fluide à l'état **supercritique**.



Températures critiques de quelques corps purs :

Caractéristiques de la vapeur d'eau

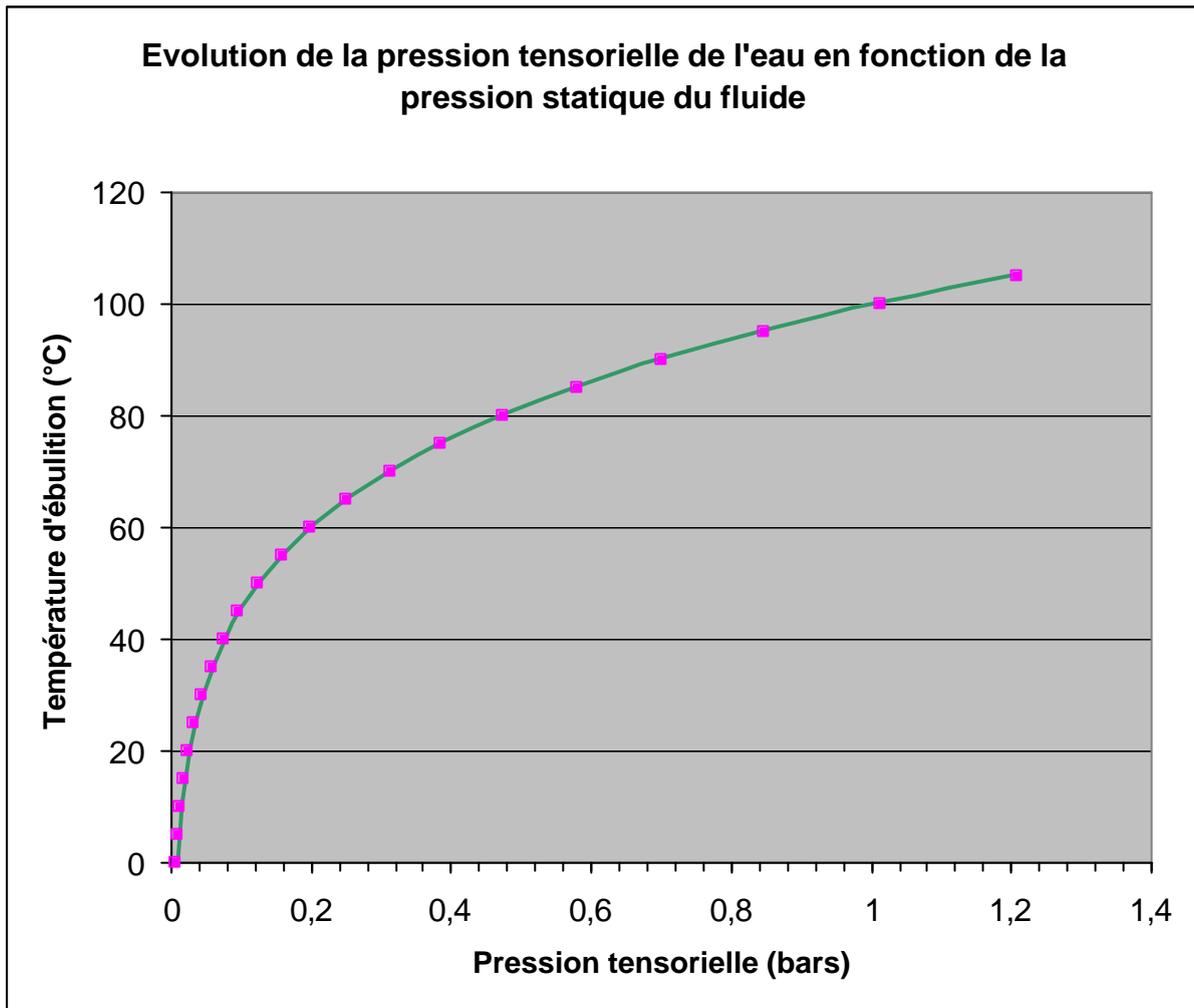
Les valeurs de P° pour l'eau peuvent être approximativement déterminées à partir de formules empiriques, dont le domaine de validité est fixé.

- Entre 10 et 30°C, un ordre de grandeur de la tension de vapeur de l'eau (exprimée en mm de mercure) est fourni par le nombre qui repère la température Celsius.
Exemple : à 20°C, $p^\circ \approx 20$ mm de mercure.
- A 100°C, la tension de vapeur de l'eau vaut 1 atmosphère soit approximativement 1 bar.
- Entre 100 et 250°C, la tension de vapeur de l'eau peut se calculer à l'aide de la formule de **DUPERRAY** :

$$p_{\text{atm}}^\circ = \left(\frac{\theta^\circ\text{C}}{100} \right)^4$$

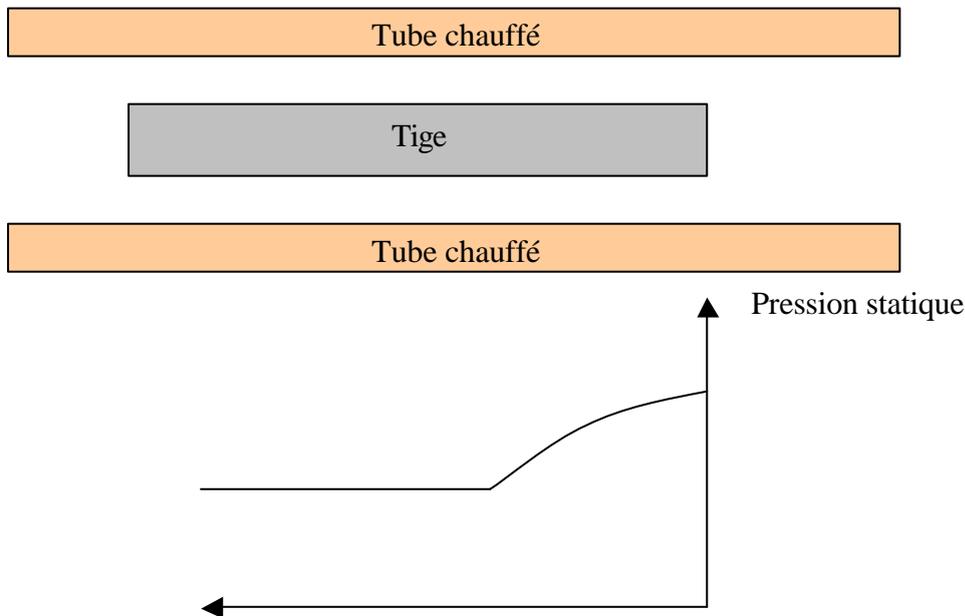
Il est cependant préférable de privilégier les données exactes qui sont rassemblées dans des tables et des ouvrages spécifiques.

La pression tensorielle de l'eau est une fonction parabolique de la température du fluide.



Variation de pression dans le réacteur :

Du fait de la vitesse la pression statique dans l'entrée du réacteur va diminuer plus on avance dans le cœur du réacteur jusqu'à une valeur de régime établi



Vaporisation :

Comme le phénomène de vaporisation augmente si la pression diminue, la vitesse de vaporisation va augmenter en fonction de la baisse de pression statique.

De plus la vitesse de vaporisation augmente en fonction du delta température entre le fluide à vaporiser et la source de chaleur.

Enfin, la température d'ébullition dépend de la pression. Si la pression baisse la température du fluide s'ajuste à la baisse.

Cavitation :

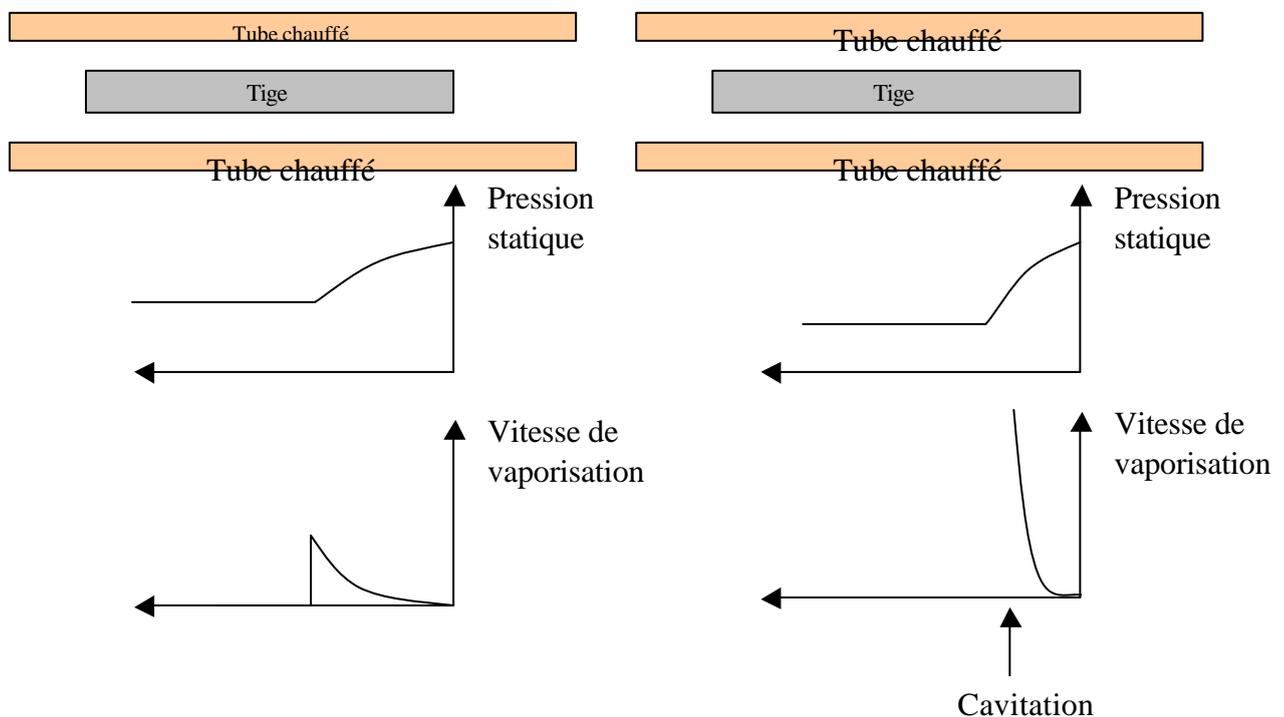
Un peu de mathématique !!

On en déduit donc simplement que la vitesse de vaporisation dépend de deux fonctions. La fonction

baisse de pression et la fonction échange thermique entre fluide et source chaude. La combinaison des deux évolutions va entraîner une vitesse de vaporisation théorique infini ou très élevée (l'infini c'est mathématique).

Comme les phénomènes physiques ne peuvent atteindre ces valeurs extrêmes, ils s'adaptent. En gros comme la vitesse de vaporisation ne peut atteindre une vitesse infinie imposée par les conditions, les éléments en présence d'adaptent afin de ne jamais descendre en dessous de la pression tensorielle du fluide (propriété physique du fluide). Pour s'adapter, il y a baisse de la pression dans le gaz environnant. C'est ce que l'on appelle la cavitation.

On tend donc vers une mise sous vide du gaz et une disparition rapide de la phase liquide.



Accélération de la phase gazeuse :

Il est clair maintenant que la phase fluide en ébullition entraîne une forte baisse de la pression dans le gaz (vide partiel) . De ce fait le gaz se détend. En ce détendant, le gaz s'accélère et absorbe l'énergie de chaleur disponible. C'est là que la réaction endothermique se passe. Le gaz accélère et absorbe beaucoup de chaleur (toute la chaleur des gaz chaud d'échappement).

Le gaz va accélérer jusqu'à ce que sa vitesse dépasse le mur du son. Une onde de choc supersonique se crée. C'est là qu'est la non-linéarité du phénomène.

Derrière l'onde de choc supersonique, le gaz se recomprime instantanément atteignant des températures et une pression très élevée proportionnelles à la forte énergie reçue. Les molécules d'hydrocarbures dissoutes dans le gaz sont craquées et une part des molécules d'eau.

La re-compression rapide post onde de choc supersonique, est très exothermique. Elle va donc chauffer les gaz d'échappement entrant côté sortie du réacteur. Les gaz d'échappement sont réchauffés avant d'alimenter en chaleur la phase endothermique. Donc une fois le réacteur amorcé, ça va de mieux en mieux. Le système s'auto stabilise. Ce processus aérothermodynamique diphasique supersonique entropique est stable.

Ca marche et on sait pourquoi !!

Christophe CASSE
Toulouse

