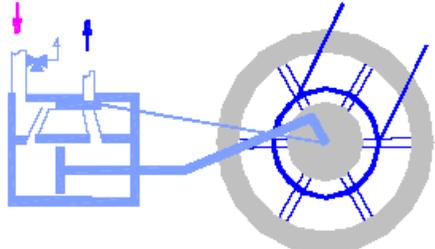
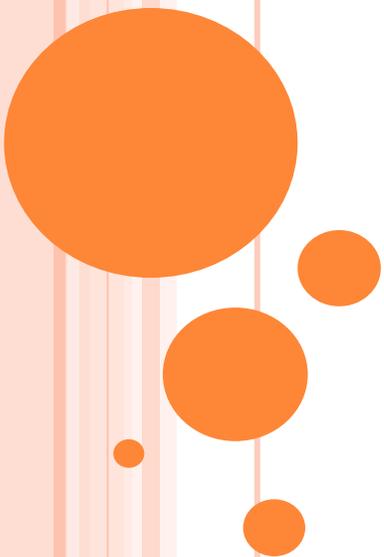


AICVF 7-10-2022



PHYSIQUE
DE LA
VAPEUR



QUE SAVONS-NOUS

**Nous sommes tous allés au bord de mer, en montagne.
On a tous essayé de faire cuire un œuf dur, des pâtes....
Que savons-nous ?.....**

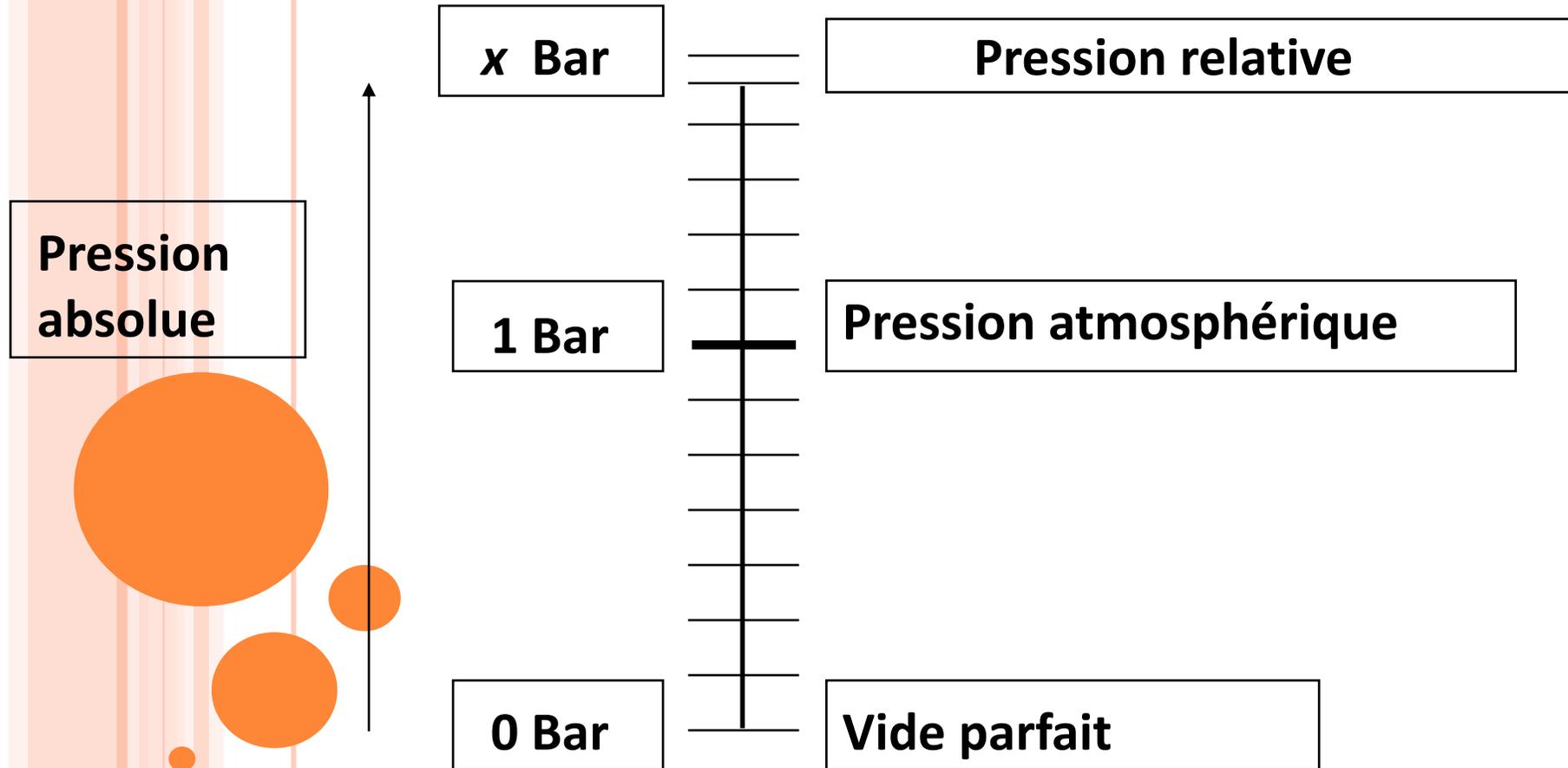
**L'eau boue à 100° au niveau de la mer sous une pression de
1 bar absolu (0 bar effectif ou relatif)**

**A 2000 mètres d'altitude quelle est la pression et quelle est
la température d'ébullition ?.....**

Je vous le dit de suite....

**L'ébullition a lieu à 93° à 2000 mètres sous une pression de
0.795 bar**

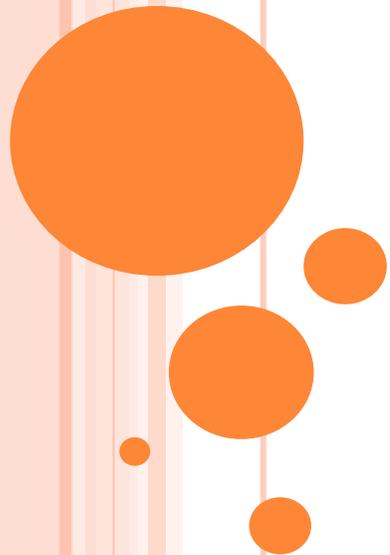
Mesure de pression



Pression relative = Pression abs- Pression atm.

Principes de base de la vapeur

LA VAPEUR D'EAU est le fluide caloporteur le plus utilisé dans l'industrie pour transférer son énergie calorifique ou potentielle



La Vapeur

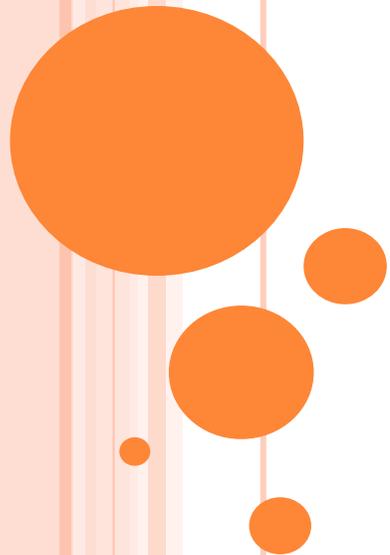
- ▣ Contenu élevé de chaleur
- Les tuyauteries de vapeur sont relativement légères.
- La vapeur s'écoule en réponse à la perte de charge le long de la tuyauterie et ne nécessite pas de pompes de circulation.
- La vapeur est flexible et les débits peuvent être ajoutés ou soustraits à volonté, dans les limites de l'alimentation.
- Les coefficients de transfert de chaleur de la vapeur sont souvent deux fois plus importants que ceux de l'eau.
- Le gradient thermique se produira le long des surfaces émettant la chaleur.
- Entretien de l'installation aisé.

*La vapeur d'eau en cédant
sa chaleur latente de condensation
cède une grande quantité de chaleur:*

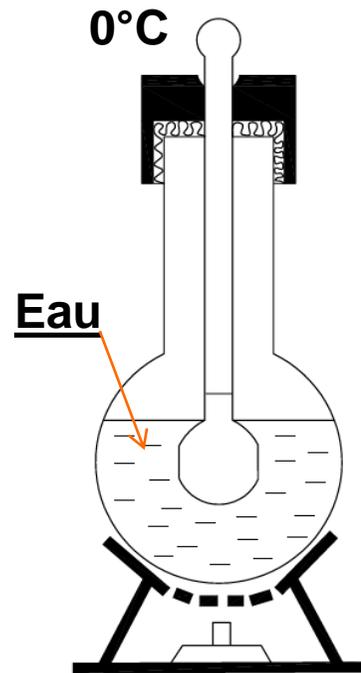
- La condensation d'1 kg de vapeur à 5 bar et 159°C
en 1 kg à 5 bar et 159°C d'eau
cède environ 2086 kJ (ou 500 kcal environ)

A pression constante,
le changement d'état EAU / VAPEUR
se fait à température constante

**Tant que les 2 phases sont en contact (eau / vapeur),
la température ne peut varier**



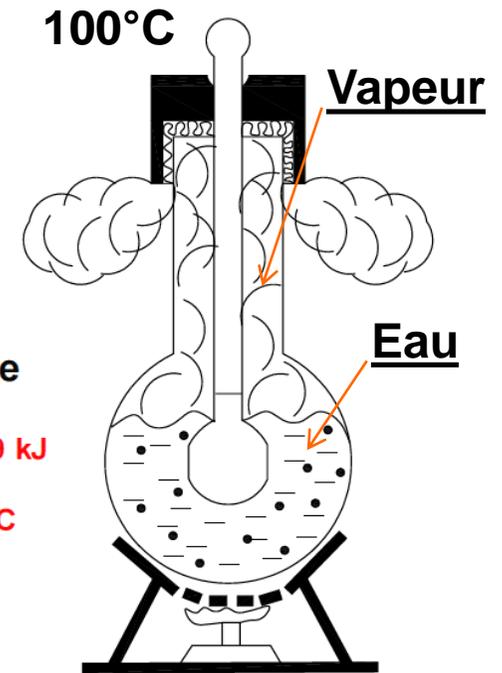
PRESSION ATMOSPHERIQUE



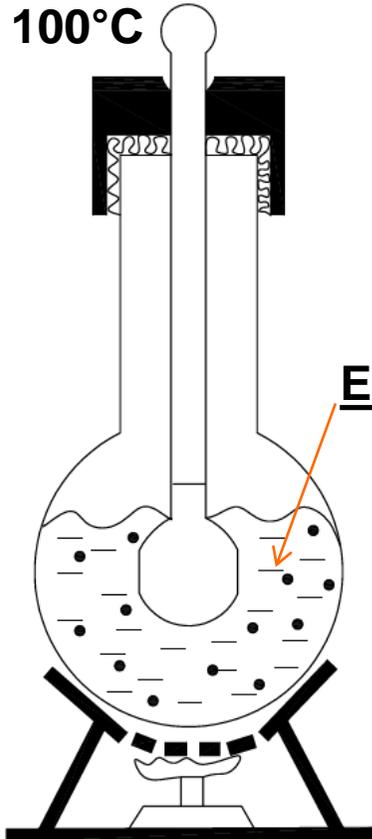
Chaleur sensible

1 kg d'eau à 0°C + 419 kJ

= 1 kg d'eau à 100°C



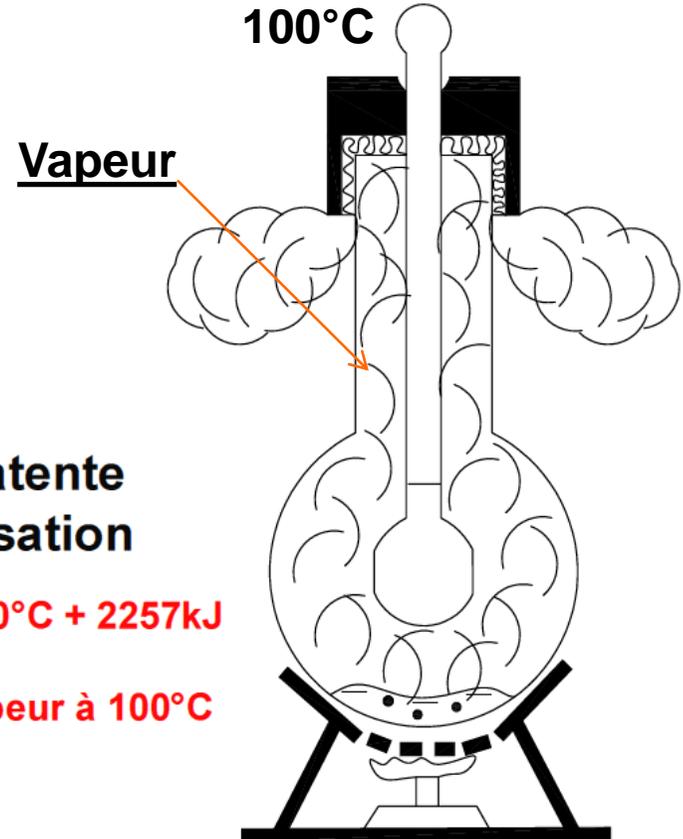
PRESSION ATMOSPHERIQUE



**Chaleur latente
de vaporisation**

1 kg d'eau à 100°C + 2257kJ

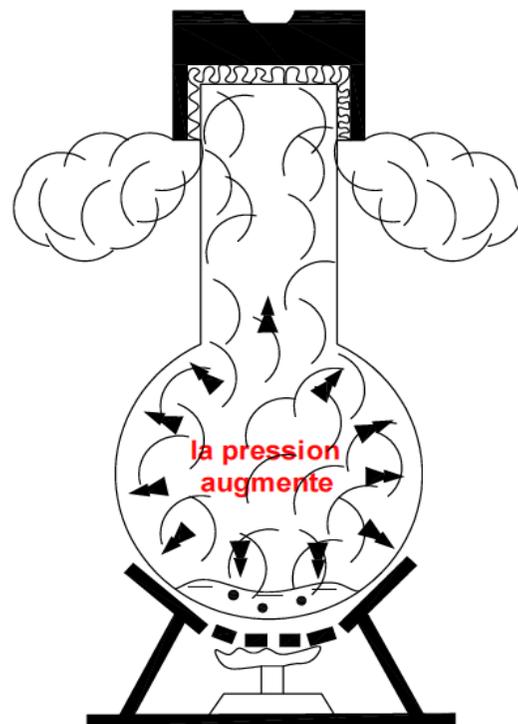
= 1 kg de vapeur à 100°C



**PRESSION
ATMOSPHERIQUE**

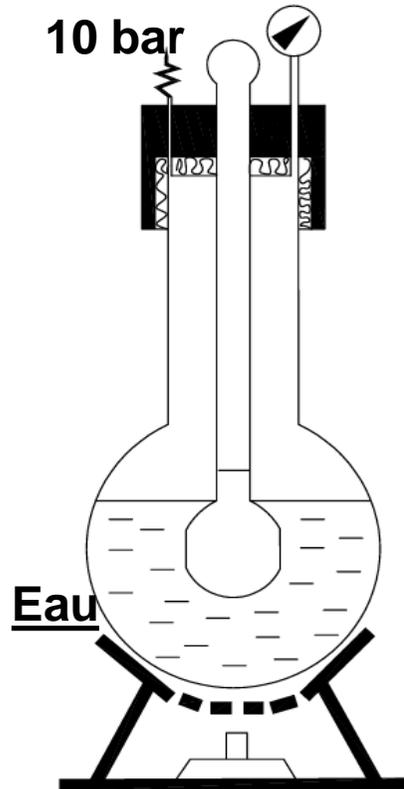


**CHALEUR
TOTALE
DE
1 KG
DE
VAPEUR
2676 Kj**



**La température d'ébullition
augmente avec la pression**

PRESSION 10 BAR

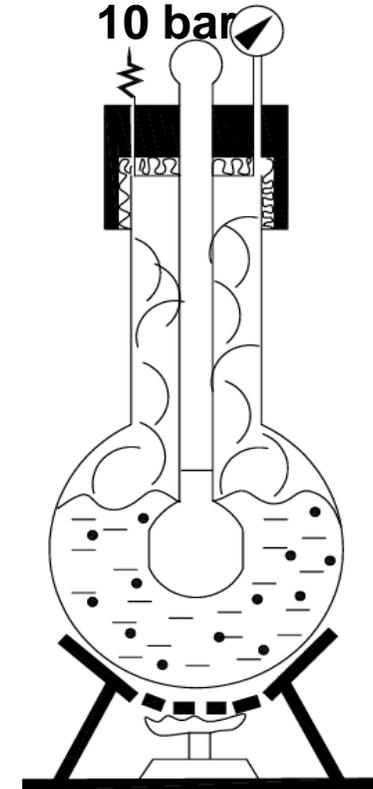


Eau à
ébullition
184°C

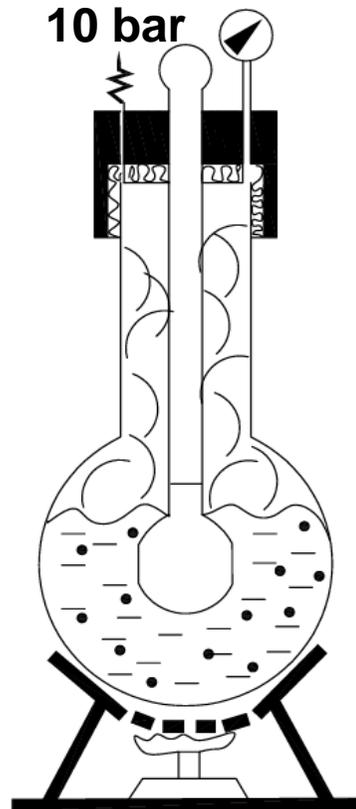
Chaleur sensible

1 kg d'eau à 0°C + 781kJ

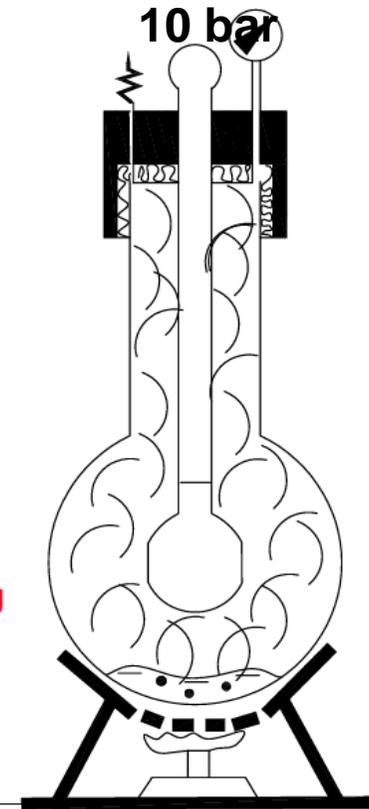
= 1 kg d'eau à 184°C

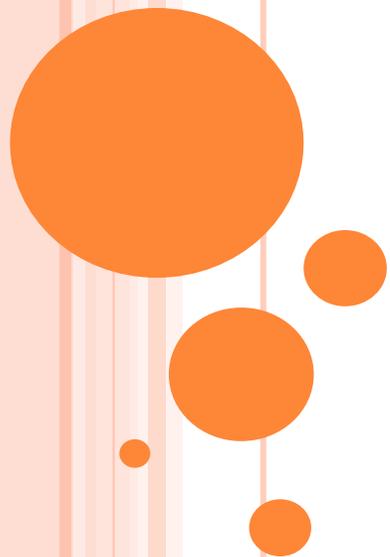


PRESSION 10 BAR

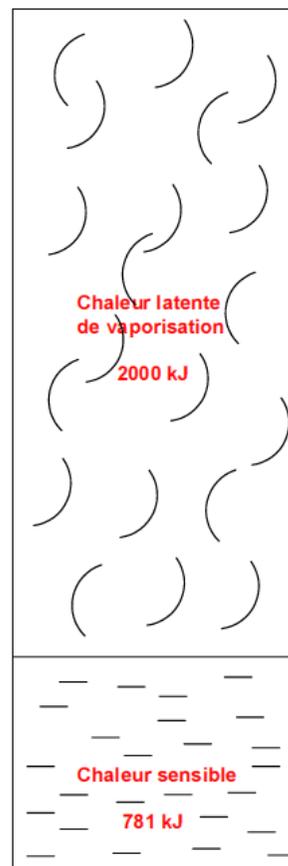


**Chaleur latente
de vaporisation**
1 kg d'eau à 184°C + 2000kJ
= 1 kg de vapeur à 184°C





PRESSION
10 bar effectif



**CHALEUR
TOTALE
DE
1 KG
DE
VAPEUR
2781 KJ**

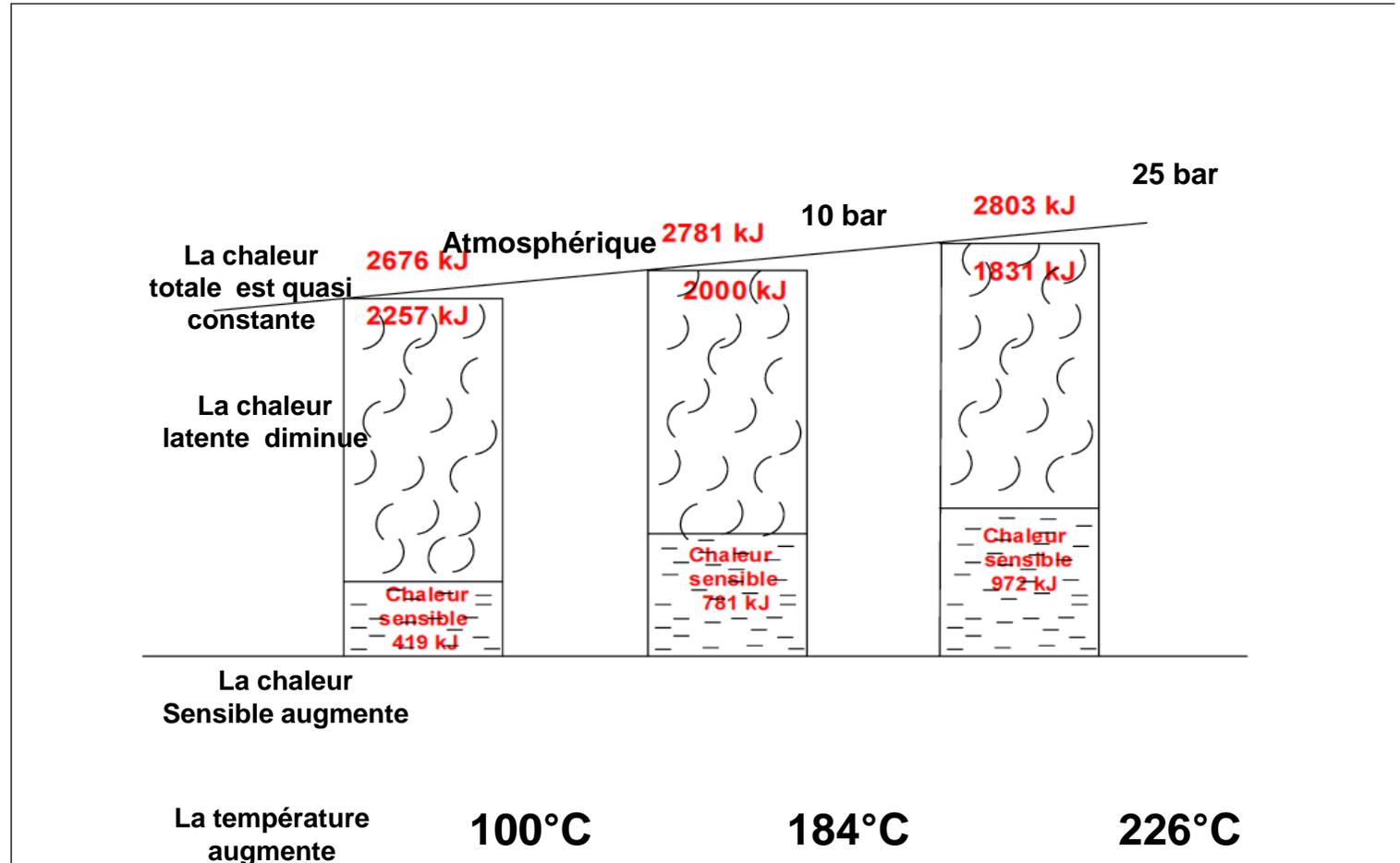
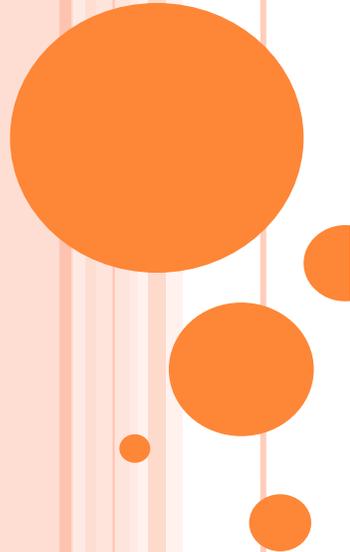
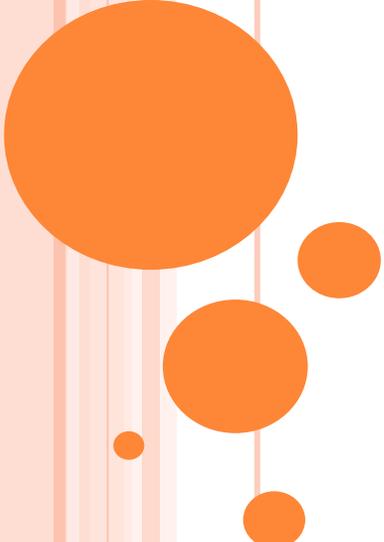


Table de la vapeur

Pression bar	Temp. °C	ENTHALPIE EN kJ/kg			Volume massique saturée sèche/kg
		Eau (h_f)	Enthalpie d' évaporation (h_{fg})	Vapeur (h_g)	
0	100	41	2257	2676	1.673
1	120	506	2201	2707	0.881
2	134	562	2163	2725	0.603
3	144	605	2133	2738	0.461
4	152	671	2108	2749	0.374
5	159	641	2086	2757	0.315
6	165	697	2066	2763	0.272
7	170	721	2048	2769	0.24

Enthalpie réelle

- L'enthalpie "réelle" d'évaporation de la vapeur humide est le produit du titre (x) par l'enthalpie spécifique (h_{fg}) à partir des tables vapeur.


$$\text{Enthalpie d'évaporation} \times \text{Titre} = \text{Enthalpie réelle}$$

Courbe pression / température

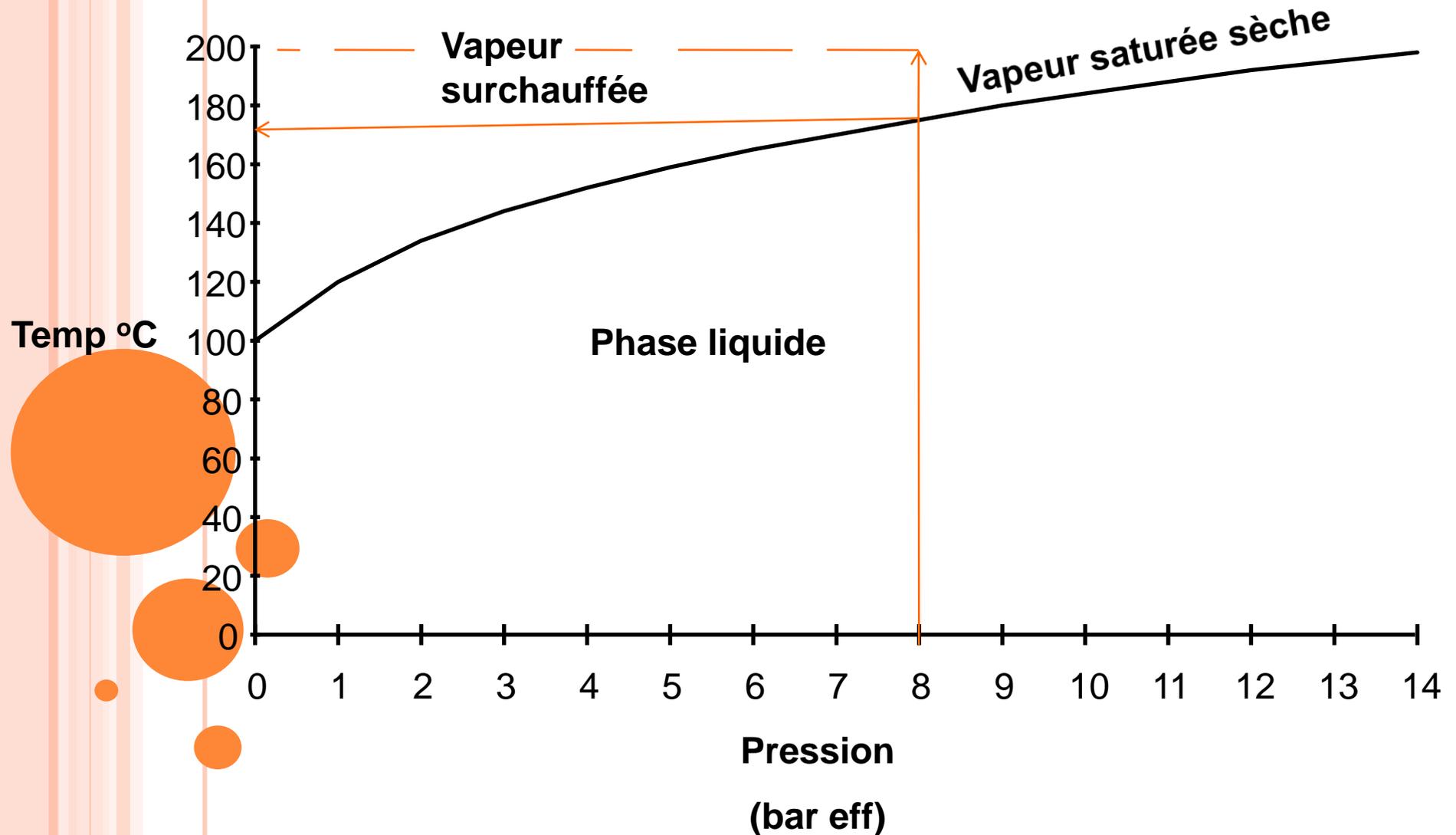
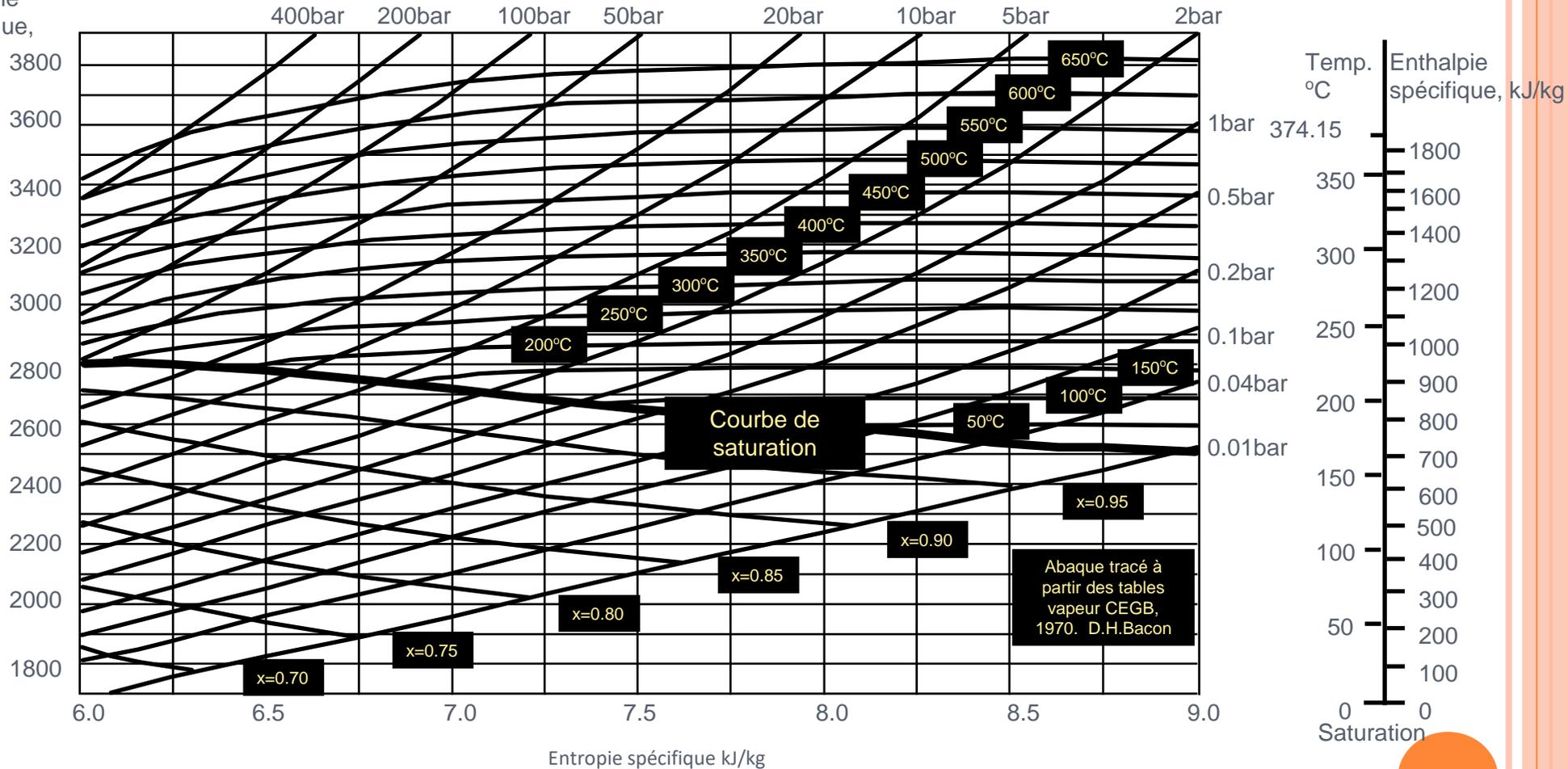


Diagramme de Mollier

Enthalpie
spécifique,
kJ/kg



La réalité

- **La vapeur n'est jamais sèche à 100%**
- **Le titre doit être considéré pour calculer la chaleur latente réelle**

(Contenu de chaleur de la vapeur = $h_f + (\text{titre} \times h_{fg})$)

La revaporisation

Il existe un phénomène important que l'on rencontre fréquemment dans les installations vapeur, le phénomène de revaporisation.

Prenons un exemple:

Nous disposons d'1kg de condensat à 7 bar relatif (ou effectif).

Volume occupé = 0.001 m³

Température de saturation = 170.5°C

Chaleur sensible = 721.4 kJ

On abaisse la pression à la pression atmosphérique (pression relative 0 bar)

Température de saturation = 100°C

Chaleur sensible = 419 kJ

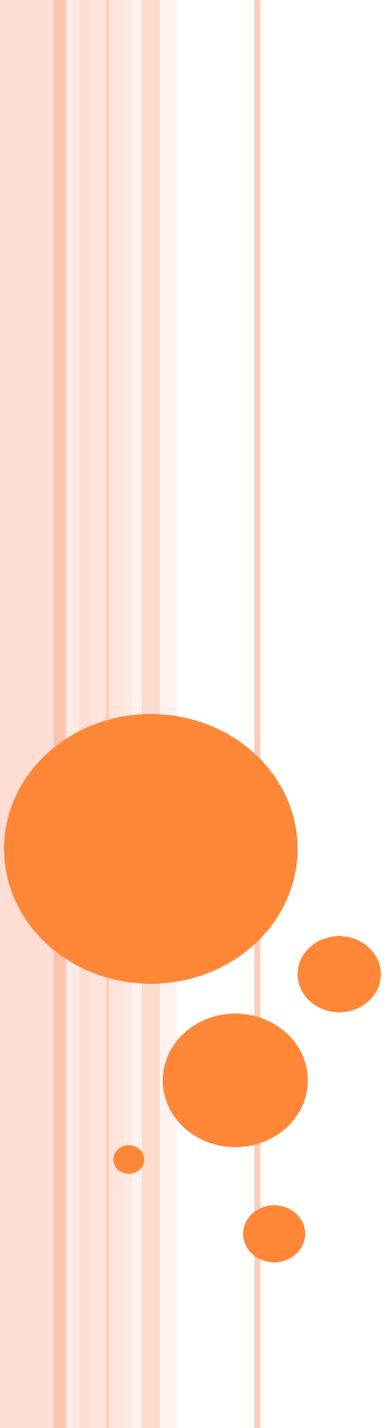
La différence de chaleur sensible se transforme en chaleur de vaporisation à la chaleur atmosphérique et évapore une partie du condensat. C'est la revaporisation.

Différence de chaleur sensible : $721.4 - 419 = 302.4 \text{ kJ}$

La chaleur latente de vaporisation d'1 kg d'eau à pression atmosphérique = 2257 kJ

Vapeur produite: $\frac{302.4}{2257} = 0.134 \text{ kg de vapeur (dite de revaporisation)}$

1 kg de condensat à 7 bar relatif = 0.886 kg de condensat + 0.134 kg de vapeur (à la pression atmosphérique).



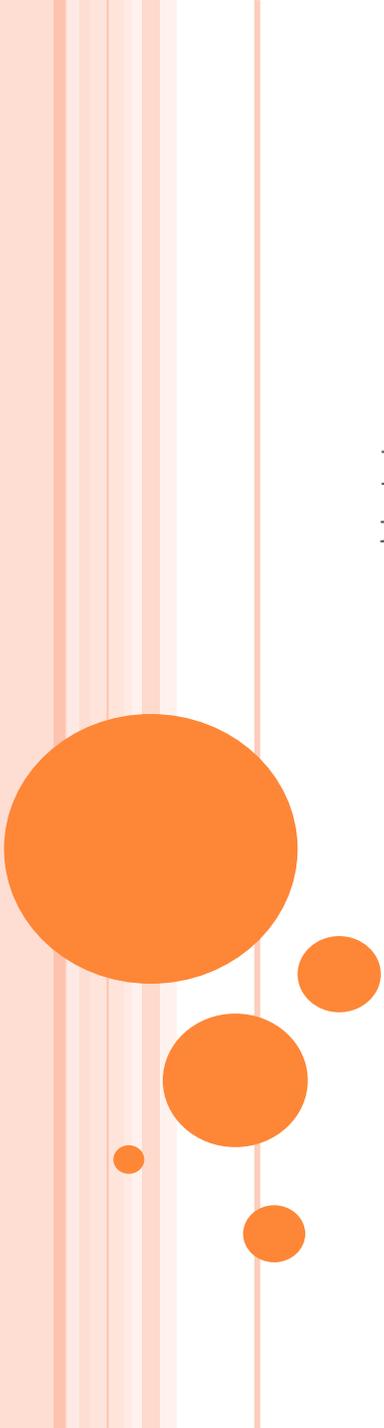
Taux de revaporisation =

$$\frac{\text{Chaleur sensible HP} - \text{Chaleur sensible BP}}{\text{Chaleur latente BP}} \times 100\%$$

Débit de vapeur de revaporisation =

$$\frac{\text{Chaleur sensible HP} - \text{Chaleur sensible BP}}{\text{Chaleur latente BP}} \times Q$$

Q = Débit de condensat à la pression HP



Pour libérer une certaine partie de son enthalpie sous forme de chaleur, la vapeur doit se condenser.

La chaleur cédée par la vapeur lors de la condensation est la chaleur latente de condensation, égale à la chaleur latente de vaporisation.

La vapeur doit être sèche

- La présence d'eau dans la vapeur réduit l'énergie calorifique par unité de masse de la vapeur
- Les gouttes d'eau entraînées avec la vapeur s'ajoutent au film résistant de l'eau sur la surface d'échange de chaleur et ralentissent le transfert de chaleur.

Il faut donc purger les réseaux vapeur

- Evacuer immédiatement les condensats
- Evacuer l'air et les autres incondensables
- Eviter toute perte de vapeur

De plus, le purgeur doit:

- Résister aux impuretés
- Supporter les contre-pressions.

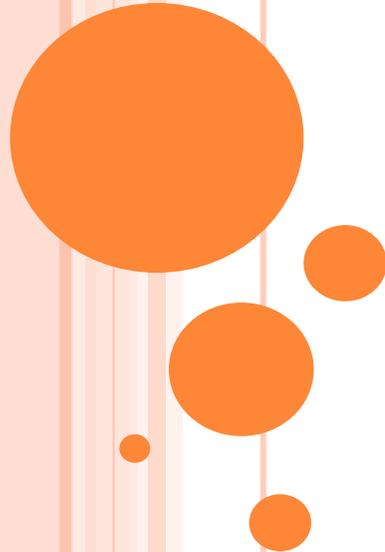
Conception des purgeurs

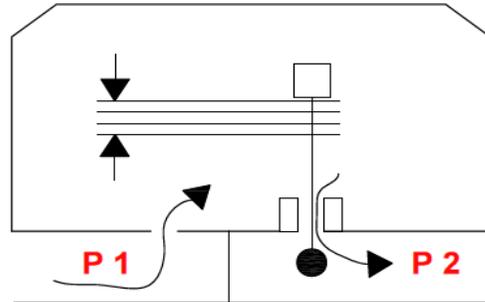
- Paramètres physiques:

- La température
- La vitesse d'écoulement
- La loi d'Archimède

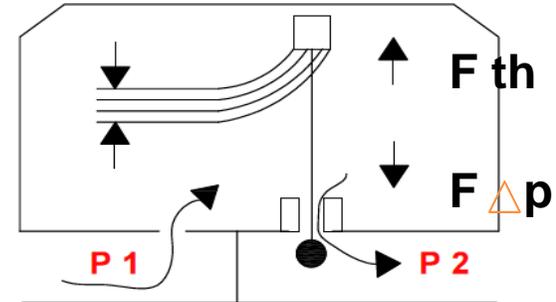
- 3 Principes de purge:

- Purgeurs thermostatiques
- Purgeurs thermodynamiques
- Purgeurs mécaniques



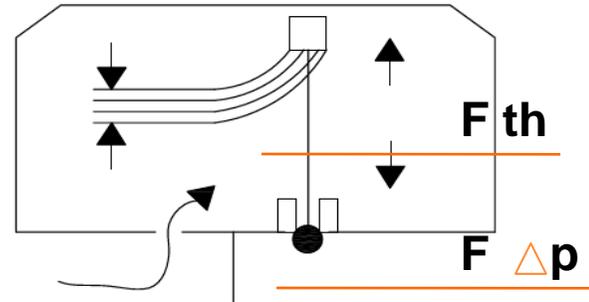


A l'arrêt: condensat froid

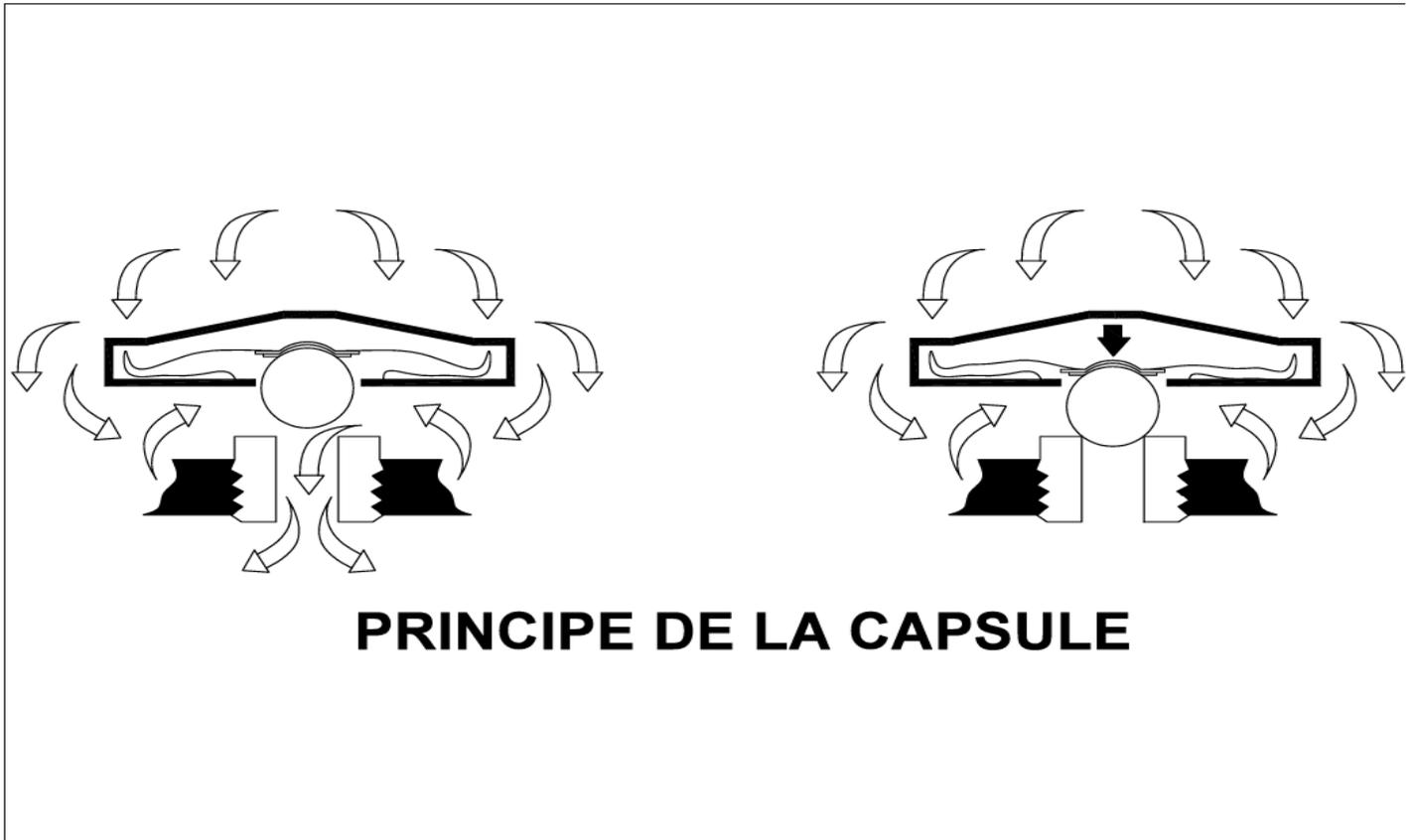


Service normal: condensat chaud

Fermeture:
 $F_{th} > F_{\Delta p}$

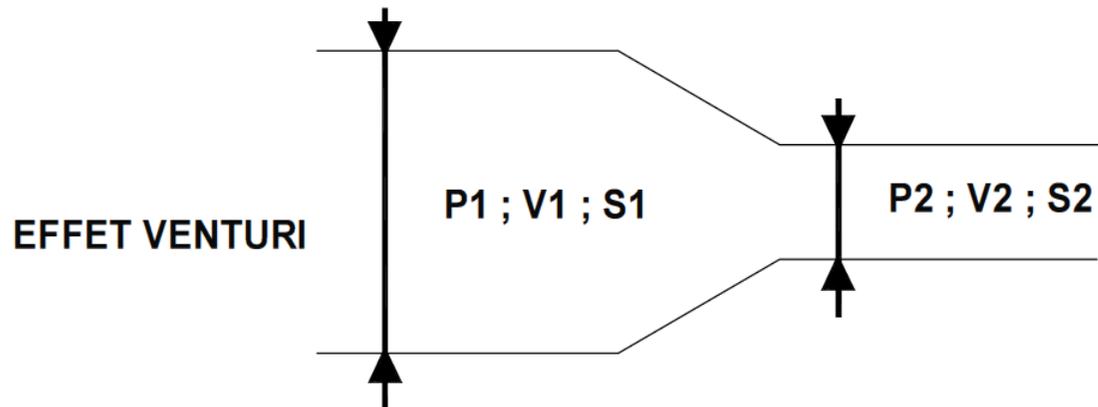


Fermeture du clapet



PRINCIPE DE LA CAPSULE

Le purgeur thermodynamique



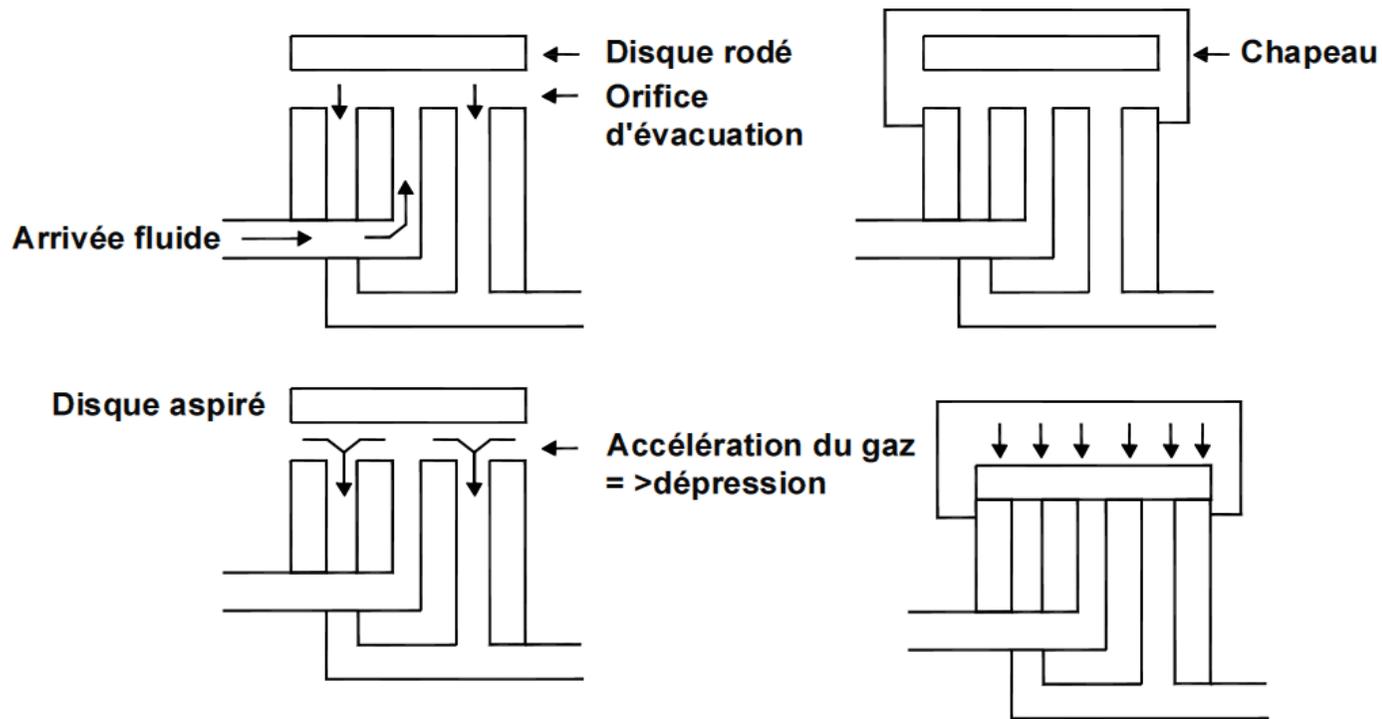
$$E_T = E_C + E_P$$

ENERGIE TOTALE ENERGIE CINETIQUE ENERGIE POTENTIELLE

$$S2 \ll S1 \Rightarrow V2 \gg V1$$

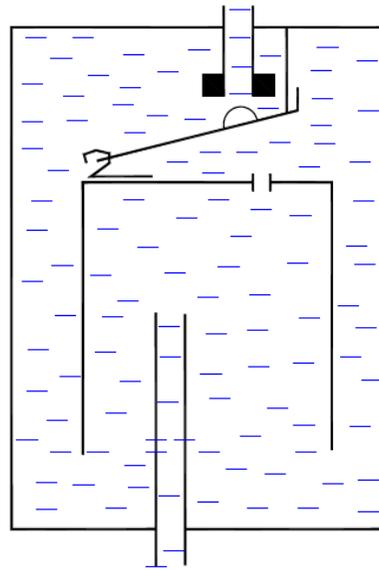
E_C AUGMENTE

E_P DIMINUE, DONC P DIMINUE

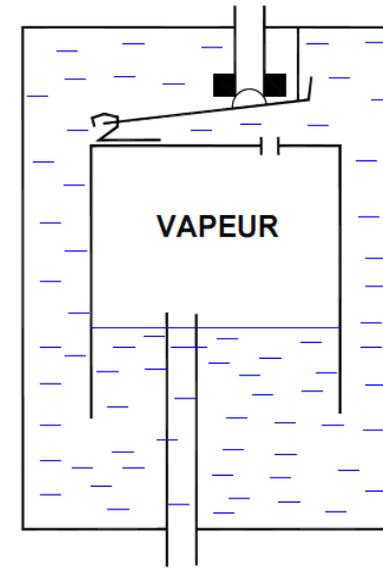


Les purgeurs mécaniques

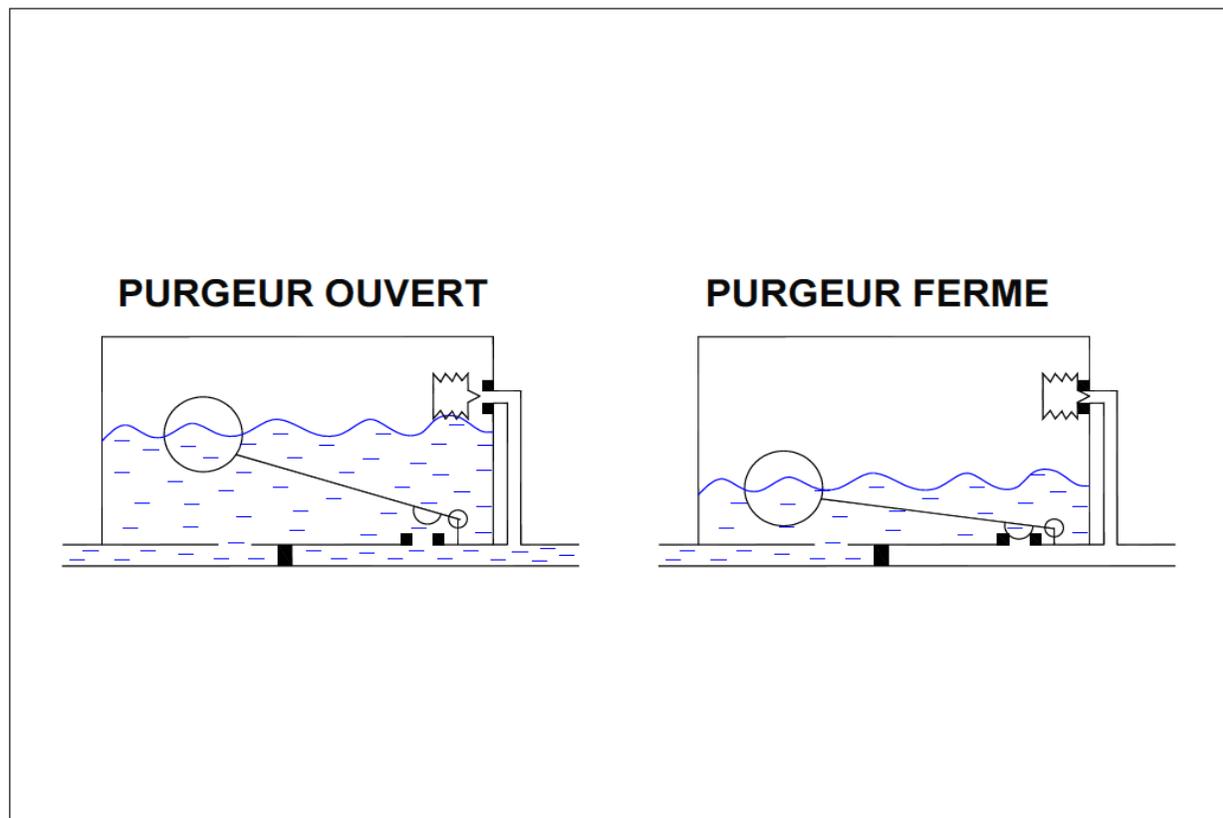
PURGEUR OUVERT



PURGEUR FERME



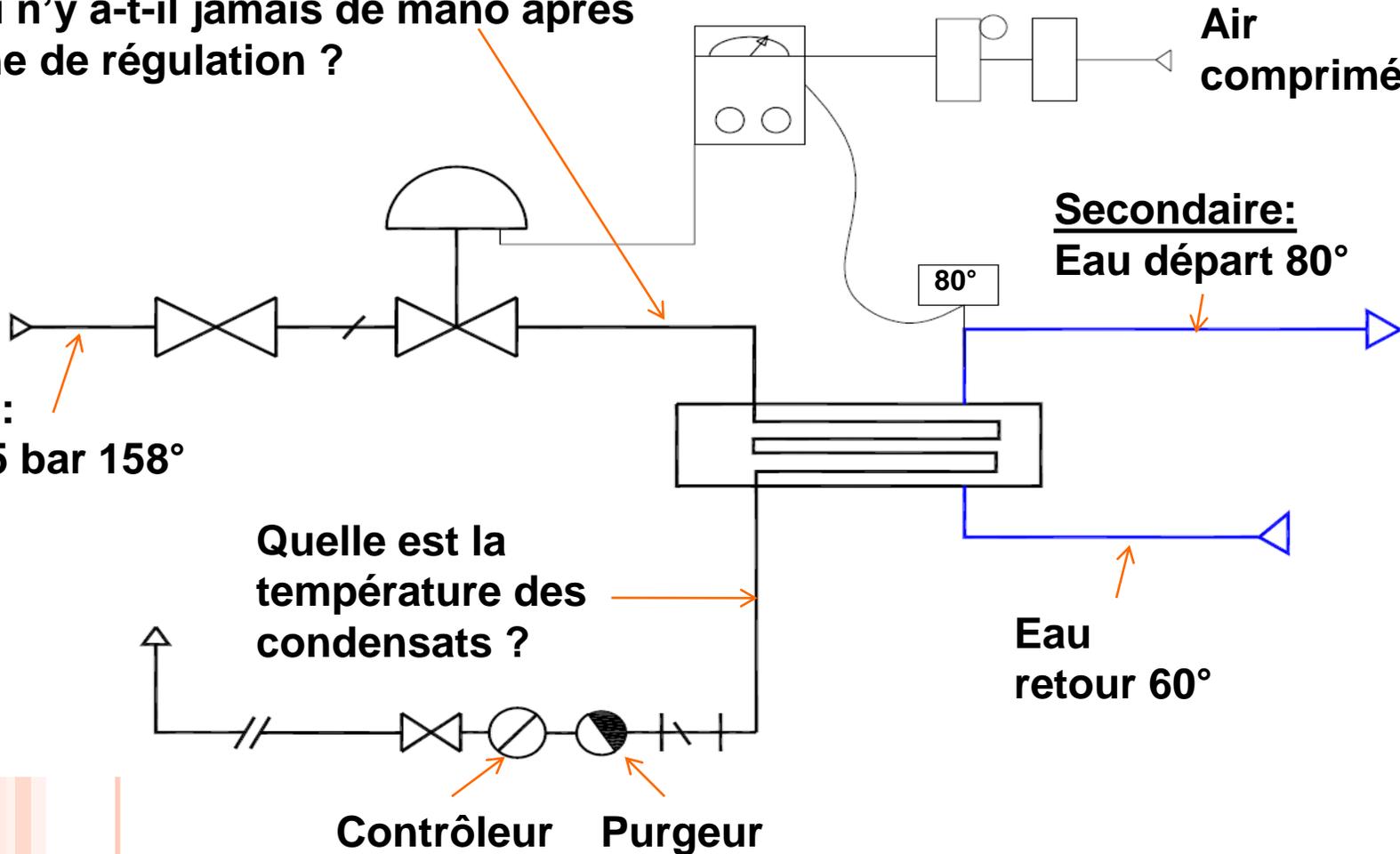
LE PURGEUR A FLOTTEUR FERME



La purge critique

Quel est la pression derrière la vanne ?
Pourquoi n'y a-t-il jamais de mano après
une vanne de régulation ?

Primaire:
Vapeur 5 bar 158°



Quelle est la
température des
condensats ?

Contrôleur Purgeur

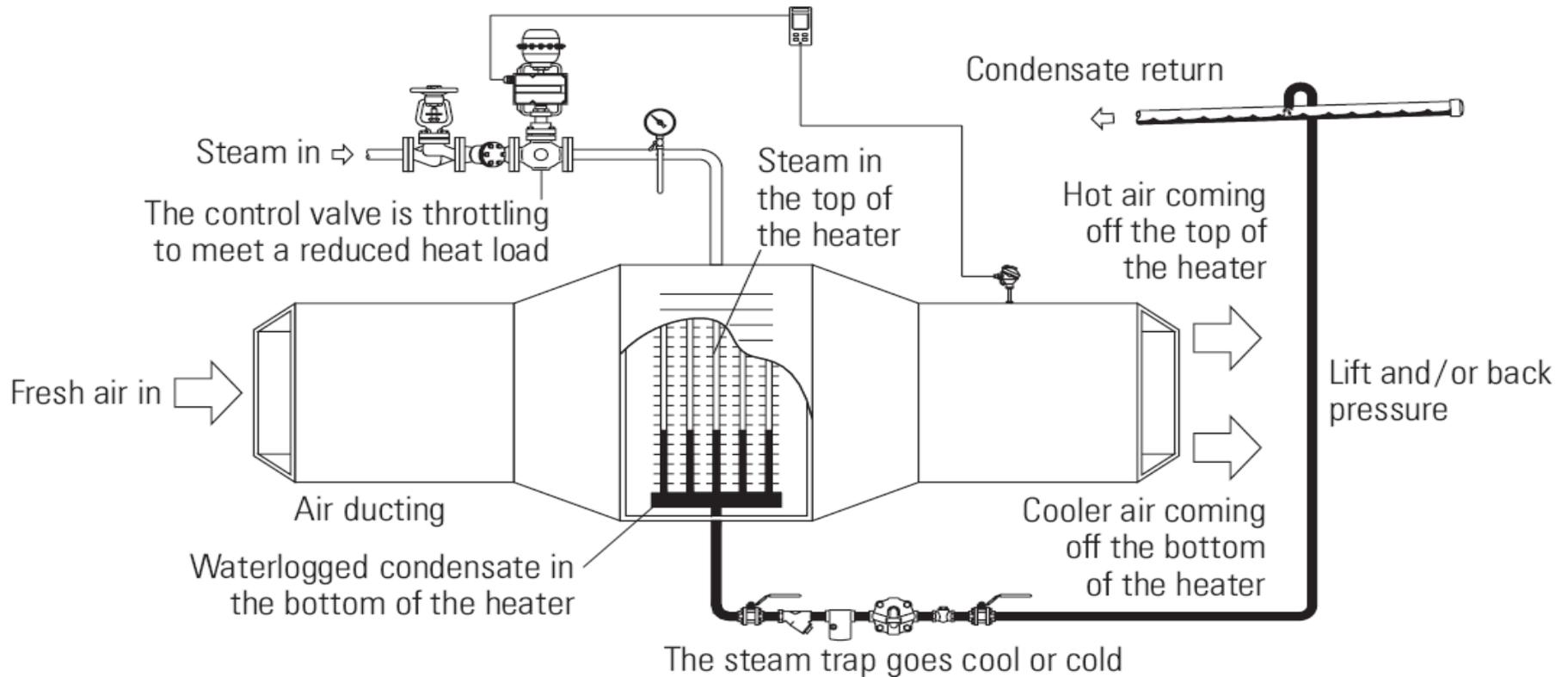
Secondaire:
Eau départ 80°

Eau
retour 60°

Air
comprimé

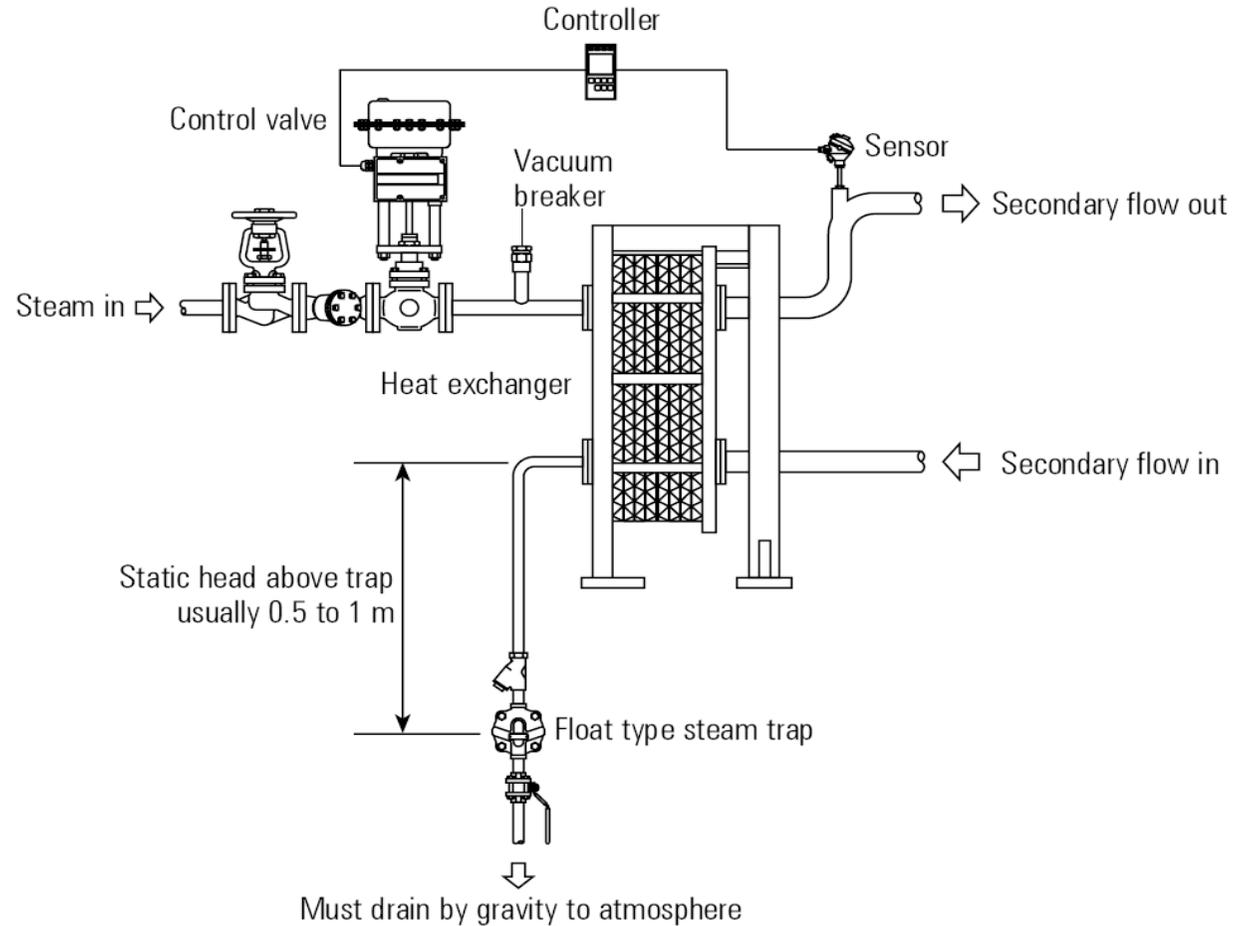
QU'ENTEND-ON PAR "CHARGE CRITIQUE"

Comme la vanne de régulation réduit la pression vapeur pour faire face à une baisse de charge, le manque de pression différentielle dans le purgeur entraîne l'engorgement de l'espace vapeur par les condensats.



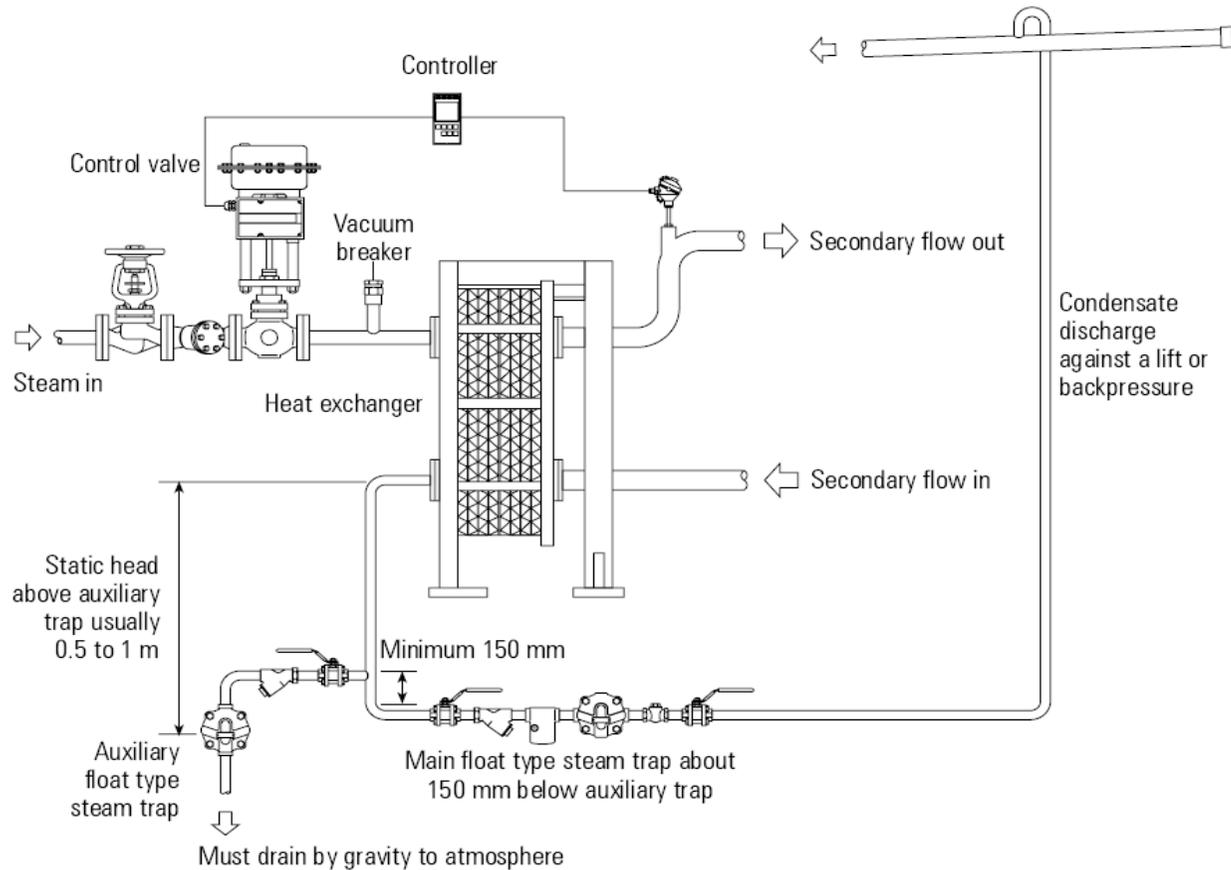
ETUDE DE CAS

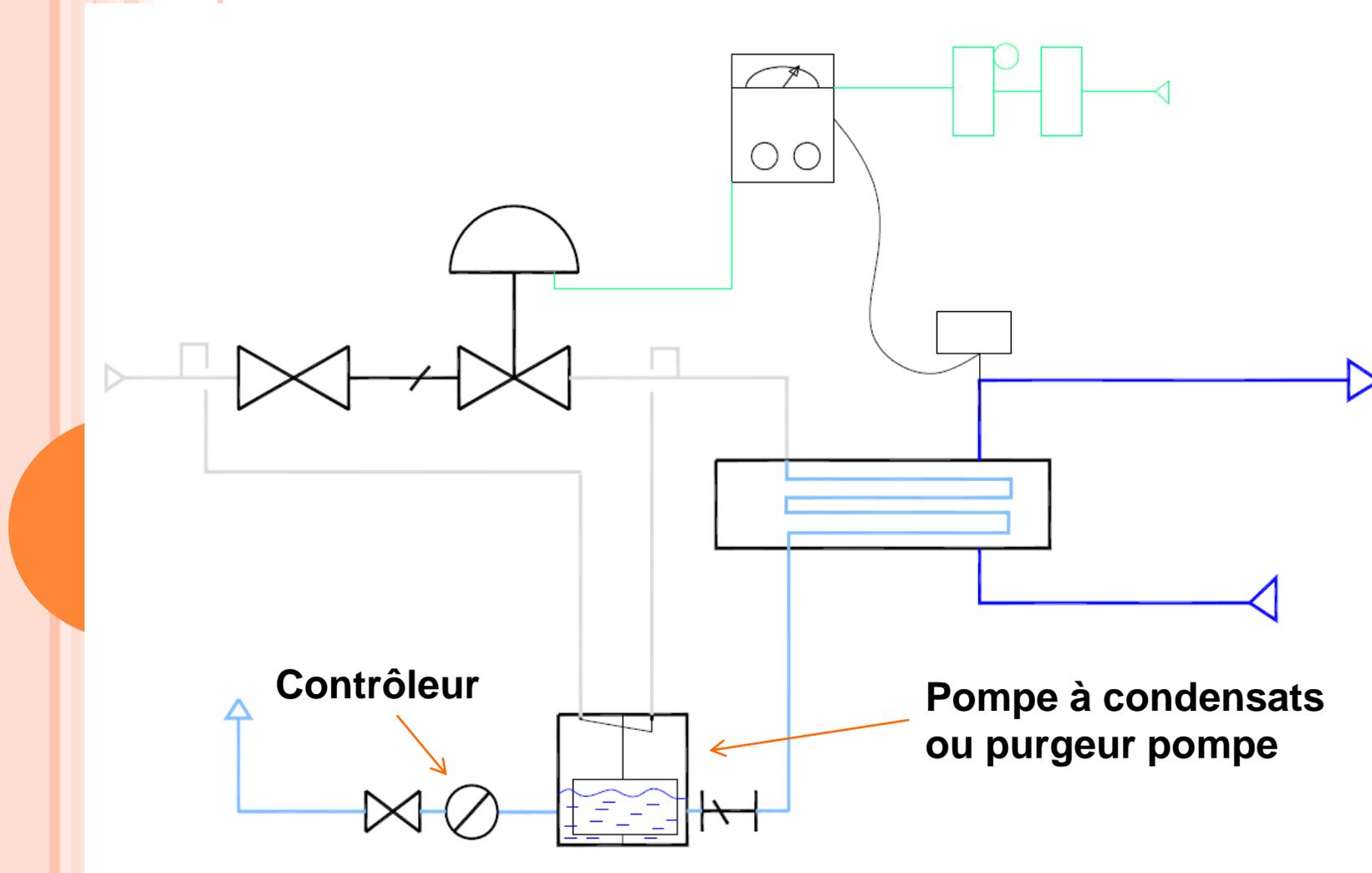
SOLUTION : EXTRACTION DES CONDENSATS AVEC UN CASSE VIDE



ETUDE DE CAS

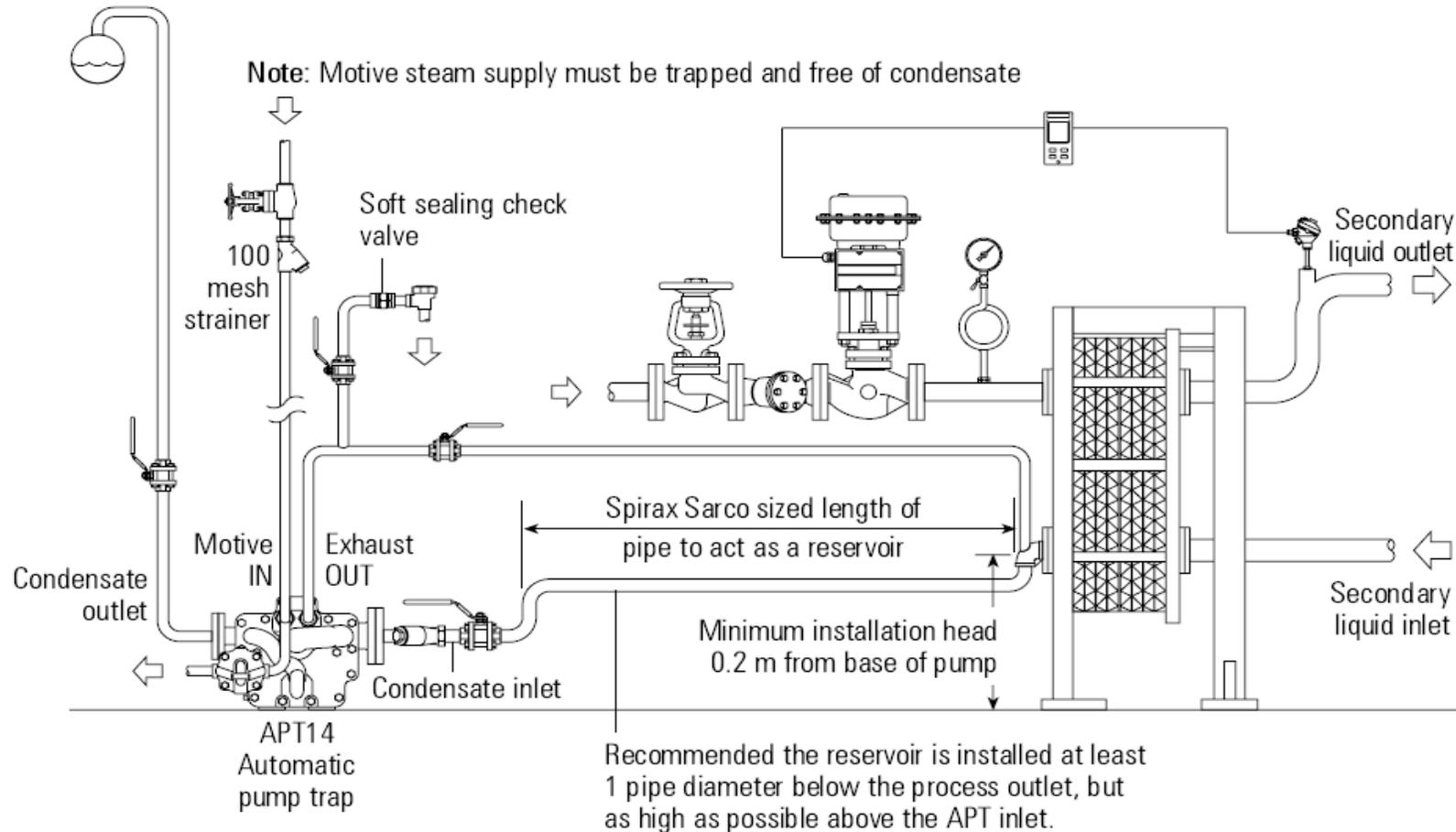
SOLUTION : PURGEUR AUXILAIRE





ETUDE DE CAS

SOLUTION : PURGEUR POMPE



MERCI

