Connaissance de la vapeur

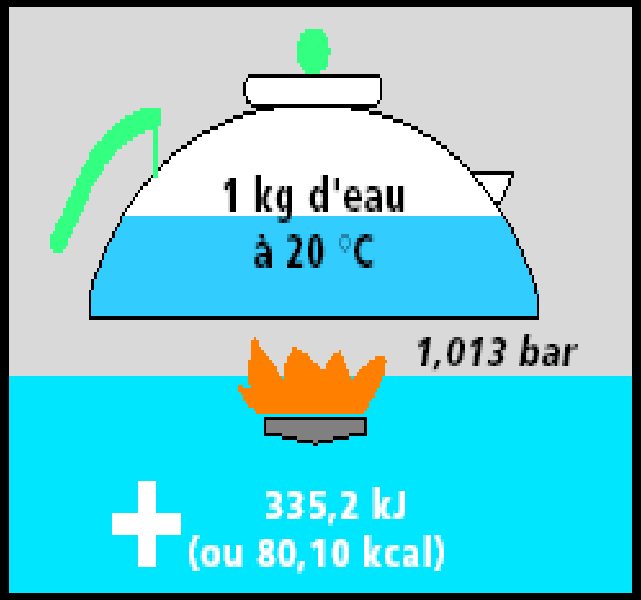
Dr Dominique GOULLET
Stérilisation Centrale des Hôpitaux de Lyon

Pourquoi la vapeur ?

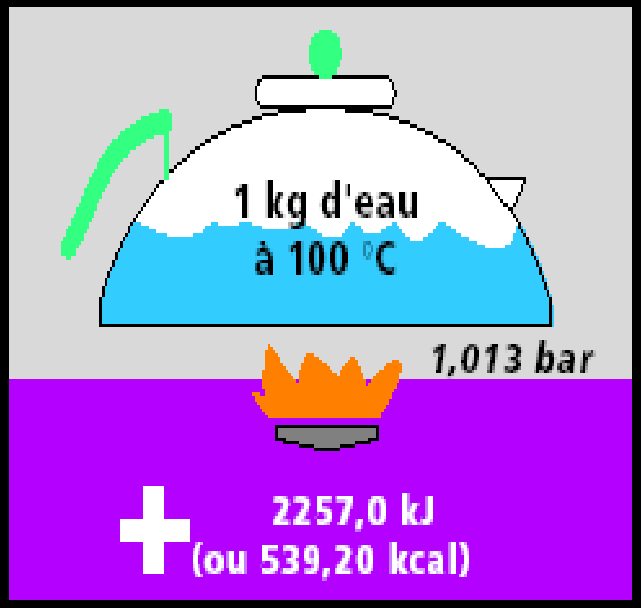
- C'est le corps qui contient **le plus d'énergie** emmagasinée et libérable instantanément
- Elle permet **d'atteindre la température limite de la vie** (110°C)
- La notion de Fo permet de calculer que la **puissance destructrice de la vapeur sur les spores est quasiment infinie**

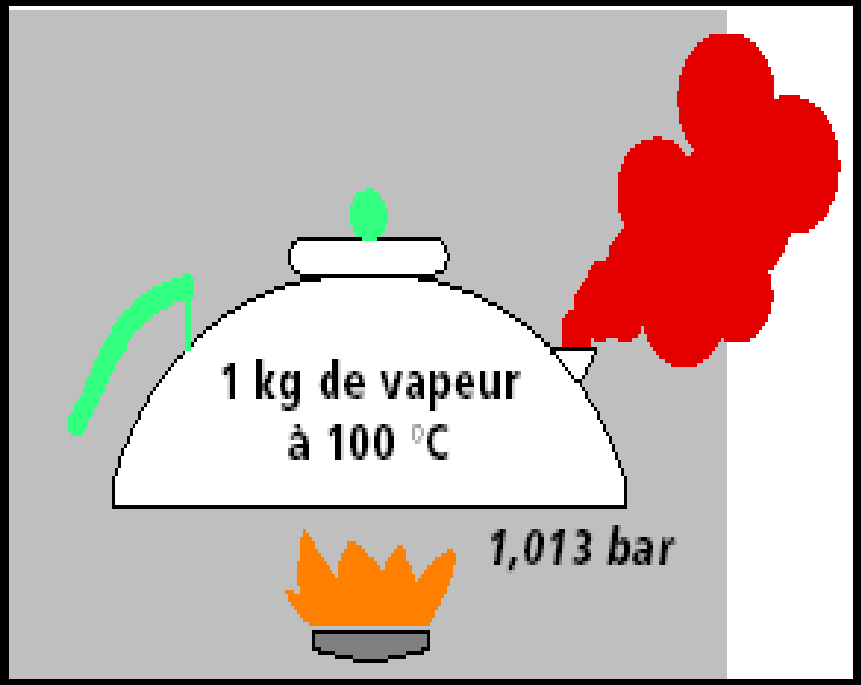
Comment agit la vapeur sur les agents pathogènes ?

- Coagulation
- Hydrolyse (= cracking)



La vapeur contient 7 fois plus de calories que l'eau bouillante





Au niveau moléculaire

- **Chaleur latente** = énergie qui fait varier l'état d'un corps sans modifier la température. Cette énergie reçue entraîne la rupture des liaisons électrostatiques de type hydrogène entre les molécules ; la structure est désordonnée, les molécules sont libres

- **Condensation de la vapeur** : cette quantité de chaleur libérée par ré-établissement des liaisons éléctrostatiques entre les molécules, lors de la condensation, est considérable ; c'est ce qui permet de chauffer la charge, et surtout de tuer tout micro-organisme

La vapeur d'eau : aspects énergétiques

Quantitatif

- **Vaporisation**

Chaleur totale de la vapeur =

Chaleur sensible (enthalpie) t° -->ébullition

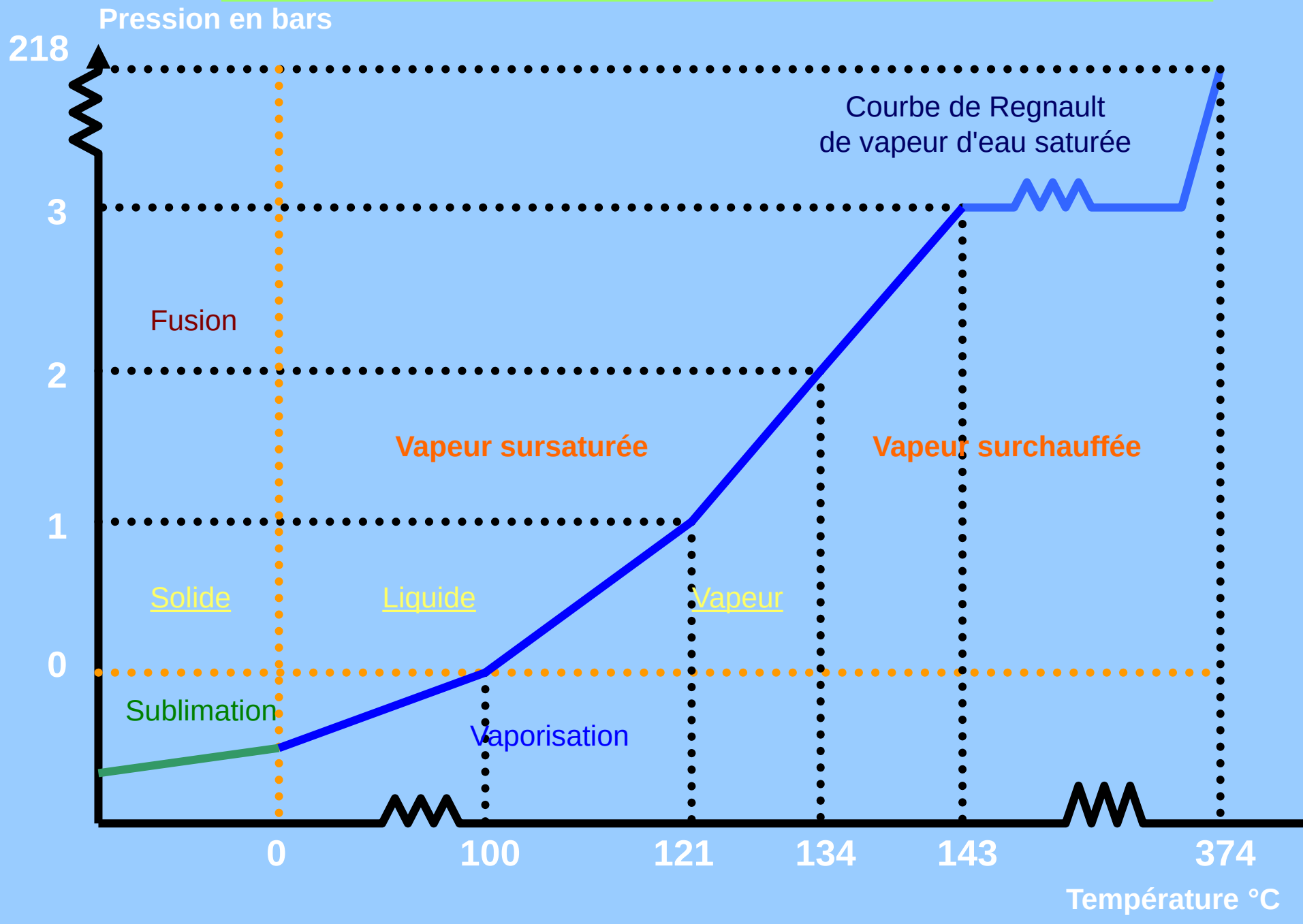
+ chaleur latente de vaporisation ébullition --> vapeur

= 539 kcal/kg

- **Condensation**

1 kg vapeur libère **539 kcal** en se condensant

Diagramme d'état de l'eau – courbe de Regnault



Transformations de l'eau

Sublimation

Condensation

Liquéfaction

La vapeur d ’eau saturée sèche

= celle qui est en équilibre avec l’eau en ébullition

→ ***ni surchauffée***

→ ***ni sursaturée***

Exemple quotidien de vapeur saturée et sursaturée

Correspondance température-pression en vapeur saturante

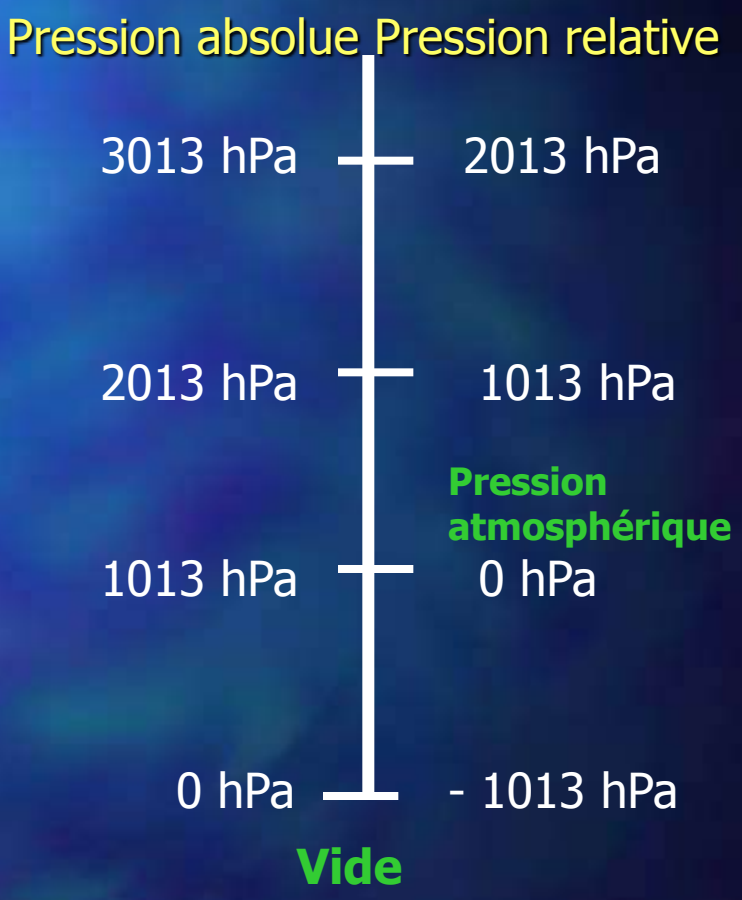
Table de Regnault

Henri-Victor REGNAULT (1810 - 1878)

Température °C	Pression relative (effective) bar	Pression absolue hPa	Pression absolue kPa
112	0,52	1 533	153,3
115	0,67	1 683	168,3
121	1,02	2 033	203,3
125	1,30	2 313	231,3
134	2,05	3 063	306,3
135	2,12	3 130	313,0
136	2,20	3 213	321,3
138	2,40	3 413	341,3

Pression relative/absolue

- Si l'on observe le manomètre de pression de la chambre d'un stérilisateur, on constate que, porte ouverte, l'aiguille indique 0 hPa. Il s'agit là d'une **pression relative** qui ne tient pas compte de la pression atmosphérique.
- La pression absolue est en fait l'addition de la pression atmosphérique et de la pression ajoutée.
- Un cycle de stérilisation à 134°C se déroule donc à une pression absolue de 1000 + 2000 soit environ 3000 hPa.



Autres moyens pour vérifier si la vapeur est saturée : algoritmes

- T° en fonction de la pression absolue (en bar)

$$t = a + bp + cp^2 + dp^3 + ep^4 + fp^5 + gp^6$$

a=+55,681073470
b= +67,733233460
c=-33,464424360
d=+11,997873
e=-2,638552058
f=+0,318180195
g=-0,016061048

- Autres formules (approximatives)
  Les valeurs sont approximativement linéaires entre 130°C et 136°C

$$y = 0{,}0116\,x + 98{,}705 \quad (R^2 = 0{,}996)$$

  x en mbar absolus et y = température

  (approximative à 0,15/7,7 % erreur sur plage 90-300°C)

- **Formule (très) empirique de Duperray : $P = \left[\frac{\Theta}{100}\right]^4$**

- **1°C correspond à 90 mbar entre 134°C et 137°C**

Tolérances

1°C correspond à 90 mbar

Paramètre / Enregistreur	Résolution selon NF EN 285	Précision selon NF EN 285	Sur le diagramme, on peut apprécier :
Température	0,1°C (num) à 1°C (ana)	±1 %	**1°C (1/4 grad)**
Pression	10 (num) à 50 mbar (ana)	±1,6 %	**50 mbar (1/2 grad)**
Temps		± 5 s pour 3,5 min ± 11 s pour 18 min	**1 mm = 15 s**

Comment savoir si l'on se trouve en vapeur saturée ?

- Rappel : 1°C correspond à 90 mbar
- Il n'y a pas d'incertitude à appliquer sur la table de Regnault
- Lire la pression (la plus facile à apprécier avec précision)
- Regarder, sur la table de Regnault, si la température lue se situe bien dans l'intervalle de 1°C par rapport à la température théorique

Exemples

T° ou P° lue sur le diagramme	T° ou P° correspon-dante lue sur le diagramme	Vt ou Vp lue dans la table des vapeurs	Différence entre T° ou P° théorique et t° mesurée ou P° comprise dans la marge de 1°C ou de 90 mbar ?	Décision
3096 mbar	134,4°C	134,6°C	0,2 °C =OUI	OK
3105 mbar	135,8°C	134,7°C	1,1 °C = NON	PAS OK
134,5 °C	3060 mbar	3087 mbar	27 mbar = OUI	OK
134,9 °C	3217 mbar	3123	94 mbar = NON	PAS OK

- Vt ou Vp= valeur théorique de la température à une pression donnée ou valeur théorique de la pression à une température donnée (lue dans table de vapeurs)

T° ou P° lue sur le diagramme	T° ou P° correspondante lue sur le diagramme	Vt ou Vp lue dans la table des vapeurs	Différence entre T° théorique et t° mesurée comprise dans la marge de 1°C ou de 90 mbar ?	Décision
3096 mbar	134,4°C	134,6°C	0,2 °C =OUI	OK
3105 mbar	135,8°C	134,7	1,1 °C = NON	PAS OK
134,5 °C	3060 mbar	3087 mbar	27 mbar = OUI	OK
134,9 °C	3217 mbar	3123	94 mbar = NON	PAS OK

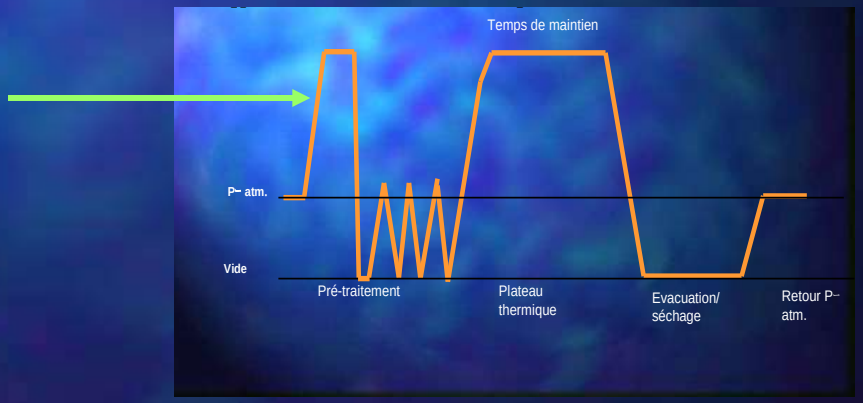
Mélange de gaz

John DALTON (1766-1844)

Loi de Dalton

$$P_{totale} = \Sigma \text{ pressions partielles}$$

- Pour la vapeur : $P_{totale} = P_{air} + P_{vapeur}$
- Exercice : quelle est la t° atteinte lors de la 1ère injection de vapeur ? (cycle instruments 134°C) ?

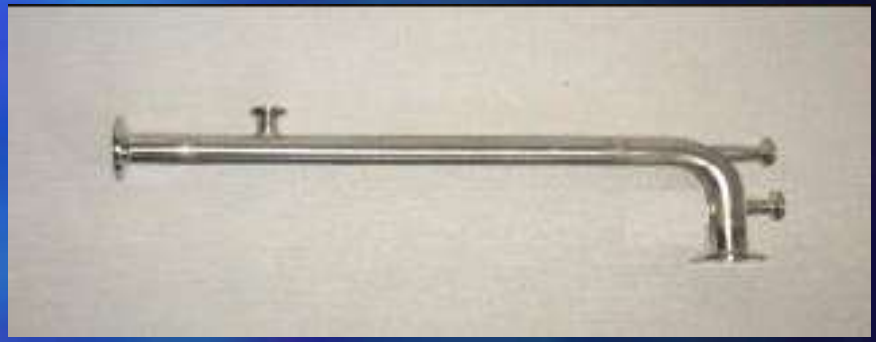


Moyens pour s'assurer de la qualité de la vapeur

NF CEN ISO/TS 17 665-2 : Qualification opérationnelle

- **Test de fuite**
- **Vitesse de changement de pression** = pression dynamique
- **Tests thermométrique**
- **Tests charge creuse**
- **Paquet d'essai métallique**
- **Détecteur d'air**
- **Qualité vapeur** (Re QO : vérification annuelle)
  - Gaz non condensables
  - Siccité vapeur
  - Absence de surchauffe (superheat)
  - Impuretés dans l'eau

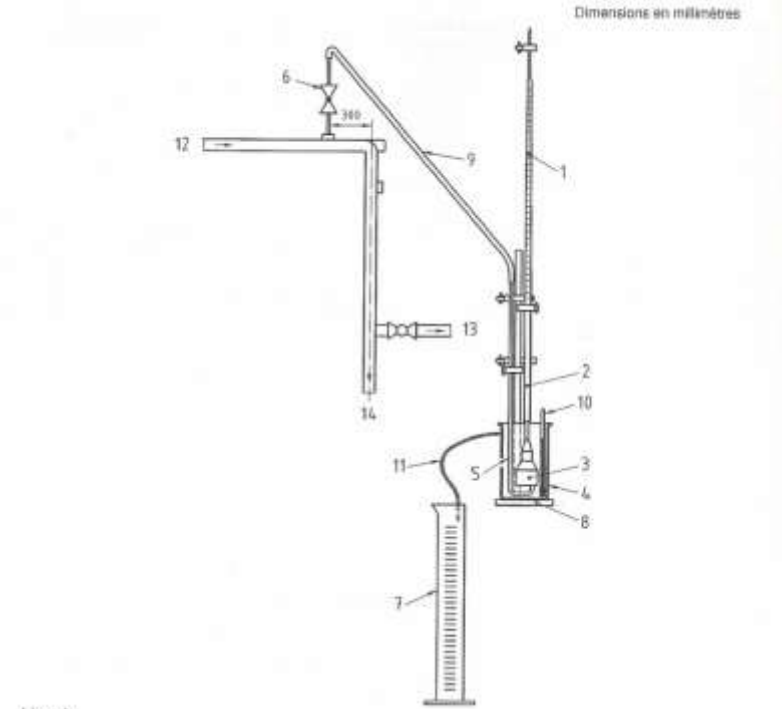
Steam text kit KSA



Gaz non condensables

Mesure du volume de gaz dans la burette

rapporté au volume de vapeur condensée dans l'éprouvette



Légende

1 Burette de 50 ml
2 Tuyau en caoutchouc
3 Entonnoir à parois parallèles
4 Conteneur de 2 000 ml
5 Tuyau d'échantillonnage de vapeur
6 Vanne pointeau
7 Éprouvette graduée de 250 ml
8 Statif de laboratoire
9 Tuyau en caoutchouc
10 Système de mesure de température
11 Tuyau de trop-plein
12 Arrivée de vapeur
13 Vers le stérilisateur
14 Vers le purgeur

Figure 7 — Schéma d'appareillage pour le mesurage de gaz non condensables

GNC : critiques

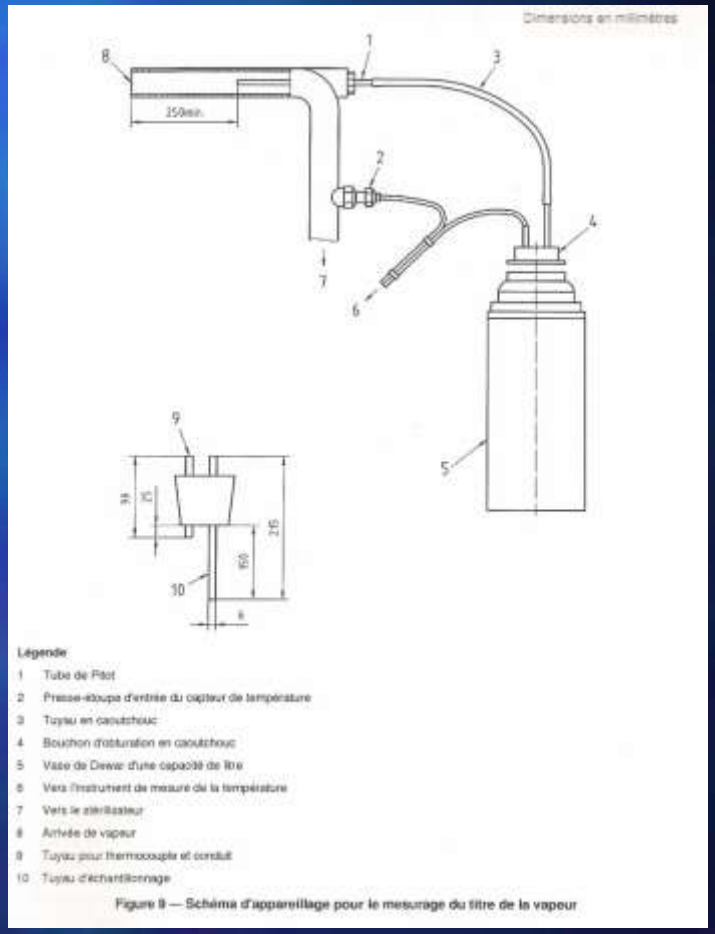
- GNC : 3,5% de mL de GNC/100mL de condensat. Il faut donc pouvoir détecter un volume de 3,5 mL dans un volume de vapeur de 50 000mL à 2,5 bar

  = 0,01 % = irréalisable, pas sérieux !

- Test empirique dépendant de plusieurs grandeurs physiques non contrôlables avec les appareils archaïques décrits : le volume dépend entre autres de la t°, du débit et de la pression*

Titre de vapeur = (siccité)

Mesure de l'augmentation de la température provoquée par la condensation dune quantité donnée de vapeur



Légende

1 Tube de Pitot
2 Presse-étoupe d'entrée du capteur de température
3 Tuyau en caoutchouc
4 Bouchon d'obturation en caoutchouc
5 Vase de Dewar d'une capacité de litre
6 Vers l'instrument de mesure de la température
7 Vers le stérilisateur
8 Arrivée de vapeur
9 Tuyau pour thermocouple et conduit
10 Tuyau d'échantillonnage

Figure 9 — Schéma d'appareillage pour le mesurage du titre de la vapeur

Siccité de la vapeur : critiques

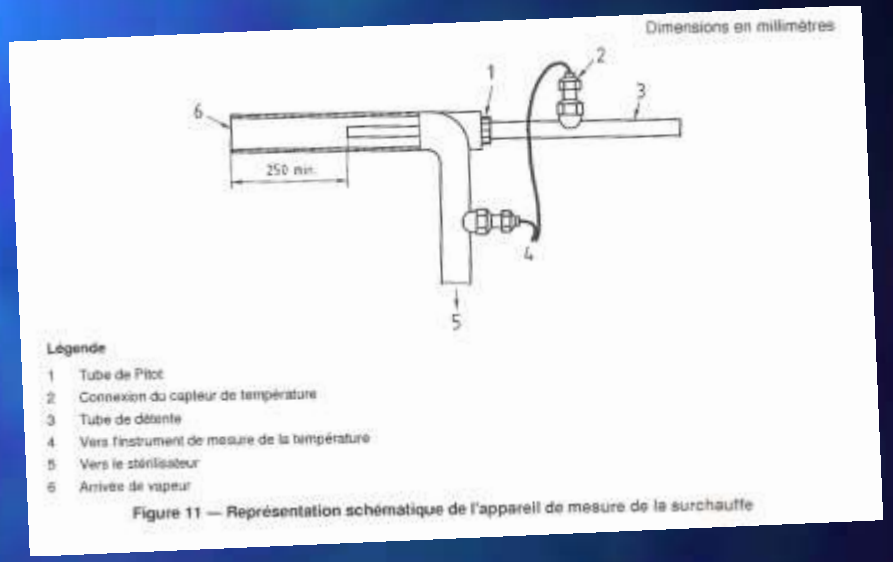
- Siccité = énergie latente. Une vapeur contenant 50 % d'eau en phase liquide n'a qu'un contenu en énergie équivalent à 90 % de sa chaleur latente théorique à sa pression de saturation

  → critère important, mais…

- **Nombreuses erreurs dues à la méthode**

Surchauffe

Mesure de la température provoquée par la vapeur lorsqu'elle se détend à pression atmosphérique



Absence de superheat : critique

- Un petite surchauffe est préférable à une vapeur sursaturée
- Le critère d'acceptation pour ce test indique "la surchauffe mesurée dans la vapeur libre à la pression atmosphérique ne doit pas dépasser 25 K"

Qualité de l'eau d'alimentation des générateurs

TH = somme Ca++ et Mg ++

1°F = 1 meq/l/5 ou 1 meq/l = 5° F

Elément recherché	Eau alimentation	Condensat/ corrosion matériaux	Condensat/ contamination de la charge
Conductivité	≤ 5 µS/cm	≤ 3 µS/cm	≤ 35 µS/cm
pH	5 à 7,5	5 à 7	Pharm. Europ.
Résidu d'évaporation	≤ 10 mg/L		≤ 30 mg/L
Dureté	≤ 0,02 mmol/L	≤ 0,02 mmol/L	Pharm. Europ.
Chlorures	≤ 2 mg/L	≤ 0,5 mg/L	≤ 0,1 mg/L
(Chlore libre)	≤ 0,1mg/L		
Fer	≤ 0,2 mg/L	≤ 0,1 mg/L	
Cadmium	≤ 0,005 mg/L	≤ 0,005 mg/L	
Traces de métaux lourds	≤ 0,1mg/L	≤ 0,1mg/L	≤ 0,1mg/L
Plomb	≤ 0,05 mg/L	≤ 0,05 mg/L	
Phosphate (P2O5)	≤ 0,5 mg/L	≤ 0,1 mg/L	≤ 0,1 mg/L
Silicates (SiO2)	≤ 1 mg/L	≤ 0,1 mg/L	≤ 0,1 mg/L
Ammonium			≤ 0,2 mg/L
Nitrate			≤ 0,2 mg/L
Sulfate			Pharm. Europ.
Substances oxydables			Pharm. Europ.
Endotaoxines bactériennes			≤ 0,25 EU/mL

Danger lié à la pression

- La pression est égale à une force se répartissant sur une surface :
- $P = \frac{F}{S}$ d'où $F = P \times S$

P = Pression, en kgf/cm²,
F = force, en kgf
S = surface en cm²

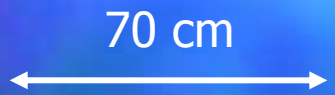
- ***Toute précaution doit être prise pour être sûr de n'ouvrir les portes que lorsque la pression est revenue à la pression atmosphérique***

Si l'on ouvre la porte avant la chute complète de la pression

- S'il restait une pression résiduelle de 100 mbar dans l'autoclave défini ci-avant, la force qui s'exerce sur la porte est encore de **490 kg**.

Simple petit calcul

- Quelle est la force exercée sur une porte d'autoclave de section carrée de 70 cm de côté, la pression étant de 2 bars ?



P = 2 bar
= 2kgf/cm²
→ F = ?

- F = P x S avec P en kgf/cm² et S en cm²
- S = 70 x 70 = 4900 cm²
- F = 2 x 4900 = 9800 kg = **9,8 tonnes !**