

MEMENTO : besoins thermiques
pour, dans une certaine mesure, calculer les **besoins thermiques**
d'une **chaudière** et réaliser le **brûleur** nécessaire à sa chauffe ...

Unités de mesure :

L'unité d'énergie est le Joule (J)

Le Watt est l'unité de puissance : 1 W = 1 J/s

1 Wh = 3600 J

MJ = Mega-joules = 278 Wh = 0,278 kWh

1 kcal/kg (plus usité) = 4,1868 kJ/kg et **1 kcal** = 1,163 Wh (conversions pour actualiser les **Cahiers de Léonard SUYKENS**) que l'on peut télécharger ci-dessous.

Tableau A : pressions, températures, masses spécifiques de la vapeur

Pression manomètre en bar(s)	Pression absolue en bar(s)	T° d'évaporation en °C	masse spécifique en grammes/litre *	Chaleur latente en kilos/joules par kg
0	1	100	0.59	2258
1	2	120	1.13	2202
2	3	133	1.65	2163
3	4	143	2.16	2133
4	5	151	2.69	2107

(*) Valeurs mises à jour « poids » en g/l utilisés précédemment : respectivement 0,58-1,1-1,61-2,12-2,61 (Vaporismes) que l'on trouvera utilisés dans les réalisations qui précèdent le T.T.T.

Pour des valeurs de pression supérieures ou intermédiaires, consulter ce tableau : https://www.thermexcel.com/french/tables/vap_eau.htm

Nota : **Pression absolue et pression effective** : le milieu où nous évoluons est à une pression de 1 bar (pression normale à 0°C au niveau de la mer), mais le manomètre que nous utilisons indique 0 bar à la pression atmosphérique de 1 bar. De ce fait, si on lit 3 bars sur notre manomètre, ce seront 3 bars effectifs mais 4 bars absolus .

Tableau B : chaleur spécifique

C'est la quantité de chaleur nécessaire pour accroître la température de 1° Celsius sur une unité de masse de 1 kg.

Chaleur spécifique du cuivre	0.39 kJ/ kg
Chaleur spécifique du laiton	0.38 kJ/kg
Chaleur spécifique de l' eau	4,18 kJ/kg

Pour notre chaudière, on peut se simplifier la vie en la pesant, elle et ses accessoires : en multipliant cette masse par le coefficient de chaleur spécifique, on obtiendra la **quantité de chaleur (Q)** nécessaire pour augmenter sa t° de 1°C. Selon le cas (prédominance du cuivre ou du laiton, on choisira 0.39 ou 0.38). Par contre, si on veut se la compliquer, on calcule le volume de toutes les pièces et de ses accessoires et on les multiplie par la densité du métal employé :

cuivre	8,910 kg / dm3
laiton	7.3 à 8,8 kg / dm3

En voyant les différences de la densité du laiton (dus au dosage de l'alliage), il vaut mieux prendre la première méthode !

Tableau C : débit calorique des trous d'un brûleur atmosphérique

Les brûleurs à trous ou à fentes (plus performants) acceptent des débits thermiques de 20.94 à 41.86 kJ/ mm², soit :

a : 5,81Wh en charge minimum	b : 8,7 Wh en charge moyenne	c : 11,62 Wh en charge maximum
-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

Et, à partir du diamètre des trous il est possible de composer ce tableau (résultats arrondis).

Diamètre en mm	Surface en mm ²	Charge mini (a)	Charge moyenne (b)	Charge maxi (c)
1	0,79	5	7	9
1,1	0,95	5,5	8,2	11
1,2	1,13	7	10	13
1,4	1,53	9	13,5	18
1,6	2	11	17	23
1,8	2,54	15	22	29
2	3,14	18	27	36

Entre les trous, espacement de 4 à 5 mm. Au-delà de 2 mm de diamètre, cela peut être supérieur mais ne pas dépasser 6.5.

Pour les **brûleurs en céramique**, on peut aussi partir du diamètre des trous qui varie selon la céramique trouvée.

Mais, attention, le débit sera 10 fois moindre.

Tableau D : les gicleurs

débit en grammes/heure	35	60	100	140	200	250
Diamètre en mm	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0,4

Si on établit un rapport entre la surface du trou du gicleur et le débit de gaz, la moyenne est de 2000.

Exemple : pour un gicleur de 0,2, la surface est de 0,0314 mm² et le débit est de 0,314 x 2000 = 62,8.

Ce n'est qu'une approximation mais elle permet de voir qu'avec un trou de 0,1 mm, on aura un débit d'environ 16 g/h.

Choix du gicleur : on prendra celui dont le débit se trouve le plus proche possible de la demande. On peut aussi le construire pour des besoins spécifiques : gicleur réglable à aiguille. Ou se procurer une buse d'imprimante.

. gicleur réglable : <http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/giclleur/index.html#gicleurreglable>

Butane

1 kg de butane = 11 800 kcal = 49 404 kJ

pouvoir calorique du butane : **par kg = 13,7 kW/h** ou 49,4 MJ > **par g = 13,7 Wh**

poids du butane : 1 litre = 0,58 kg > **1 cl ou 1 cm³ = 0.58 g**

pression moyenne d'une cartouche de gaz sans détendeur = 1 bar

Nota : la pression du gaz augmente avec la chaleur (manifestations en été !) et il peut être nécessaire d'utiliser un détendeur ; le **propane est à proscrire** absolument.

Quelques formules :

1 - Quantité de chaleur nécessaire

Elle ne variera pas du début à la fin, on la trouve avec cette **formule** : **$Q = m \times C_p \times \Delta t$**

Q en joules

m (masse) en kilos

C_p (chaleur spécifique) en kJ/kg

Δt (t° finale – t° initiale, ambiante) en °Celsius

Dans certaines publications anglo-saxonnes, on trouvera la notation de la température en °F (degré Fahrenheit).

Méthode pour les transformer en °C :

Soustraire 32 de °F, puis diviser le résultat par 1,8. Exemple : 50°F > 50 – 32 = 18 ; et 18 x 1.8 = 10°C

2 - Surface de chauffe

Elle permet l'évaporation optimum en régime de vapeur saturée de 4 cm³ d'eau par dm² de surface en 1 minute.

Application de la **formule** : **$S = \frac{c \times p \times R}{4 \times 1000}$**

S en dm²

c (cylindrée) en cm³

p (poids spécifique de la chaleur à **X** bars absolus choisis)

R (nombre de tours par minute)

Si cette surface est inférieure à celle nécessaire, le maintien de la pression au manomètre sera impossible.

Pour le maintien de la pression, penser aussi au tube de surchauffe et au laminage de la vapeur : autre fiche à télécharger.

3 – Rendement

Il faut tenir compte du rendement global de l'échange de chaleur :

. pour la chaudière, on compte souvent un rendement de 75 % si elle est couverte avec cheminée ;

. pour le brûleur de type atmosphérique (tube ou disque) le rendement n'est que d'environ 50 %.

Le plus simple est de diviser par 0,50 x 0,75 = **0,375** les besoins obtenus.

Nota : Dans une autre étude, compte tenu du rendement de la combustion, des pertes par la cheminée et les pertes par les parois de la chaudière, Léonard SUYKENS table sur un rendement global de l'ordre de 50%.

Méthode

Le but est d'obtenir un ensemble moteur – chaudière – brûleur cohérent et performant.

Le mieux est de partir du moteur qui a été dessiné pour remplir une fonction : cylindrée et nombre de tours correspondent à un besoin.

A partir de ce moteur, il est facile de définir la surface de chauffe de la chaudière et, à partir d'elle de la dessiner.

A ce propos, il vaut mieux la prévoir pour pouvoir utiliser le moteur à d'autres pressions plus élevées que prévues.

Ainsi, un moteur bien réglé et rodé, tournant parfaitement à 1 bar-mano et moins peut supporter d'autres pressions de fonctionnement mais **il ne tournera dans ces conditions** que si la surface de chauffe est suffisante pour cela, donc plus grande ... Même pour une petite chaudière, prévoir si c'est possible, dès la conception, une pression d'utilisation d'au moins 3 bars-mano soit 4 bars absolus (soupage à régler en conséquence).

Cela n'empêche pas de réunir une chaudière déjà construite et un moteur que l'on possède : si la surface de chauffe convient, il reste à résoudre celui du brûleur. *Et les calculs restent identiques ...*

calculs de la puissance calorifique nécessaire au brûleur, gicleur, réservoir de gaz

Recherches, démarches	Calculs
Masse de la chaudière (la peser avec ses accessoires) en kg	Tableau B - Appliquer la formule Q = ... = Q1
Volume d'eau à chauffer (75 % du volume de la chaudière) en kg	Tableau B - Appliquer la formule Q = ... = Q2
Avec les résultats obtenus	$(Q1 + Q2) \times 1000 = Q$ total en joules Q total en J / 3600 = nombre de Wh
Tenir compte des pertes	Nombre de Wh / 0,375
Choisir le nombre de minutes pour atteindre la t° d'évaporation souhaitée : on peut se baser sur 5 minutes (1) pour une petite chaudière.	Le débit du brûleur étant donné en W par heure , établir les besoins: résultat précédent en Wh x 60 / 5 = puissance nécessaire au brûleur
Pour le brûleur , on partira plutôt d'une charge moyenne de 8,7 Wh (retour d'expérience).	Calculer la surface en mm ² pouvant la donner : puissance au brûleur / 8,7 = surface totale en mm²
Nombre de trous au brûleur qui dépendra de la longueur disponible et de l'espacement des trous. (2)	Voir le Tableau C
Gicleur (3)	Voir Tableau D
Réservoir de gaz : la masse de gaz (MG) à embarquer et égale au 1/10ème de la masse d'eau utile (4) à évaporer. Ce qui représente le remplissage du réservoir à 80% de gaz liquide.	Volume réservoir à 80% en cm ³ = MG / 0,58 gcm ³ Augmenter le volume du réservoir de 20% pour avoir sa capacité totale et le dessiner.

(1) Personnellement je table sur 3 minutes.

(2) Ces calculs sont théoriques, seuls les essais peuvent valider ou non le choix. Généralement, on peut modifier facilement la puissance d'un brûleur trop faible en augmentant le diamètre des trous (1/10 ème par 1/10 ème).

(3) On utilise souvent le gicleur de 0,2 qui a d'ailleurs pour une petite chaudière un débit trop important que l'on règle avec la vanne du réservoir de gaz. Ou alors, on se lance dans la réalisation d'un gicleur réglable à aiguille. *Tenter d'augmenter la puissance calorifique d'un brûleur en en mettant un de plus gros débit mène à un mauvais fonctionnement.*

(4) Trouver la masse d'eau utile à évaporer = (Volume chaudière x 75% de remplissage) - (Volume chaudière x 20% de garde).

Mémento réalisé à partir des Cahiers de Léonard SUYKENS et de la brochure « Vaporismes » de Pierre DUBARRY de LASSALLE. Calculs confirmés par de nombreuses réalisations.

Je ne suis « scientifique » en rien et je me contente de suivre les conseils et les méthodes de personnes qui ont construit, expérimenté et tiré des conclusions que j'utilise à ma grande satisfaction et, comme eux, j'expérimente

A propos de la capacité de la chaudière à construire et de l'autonomie supposée :

Le calcul proposé est généralement égal à : **volume utile de la chaudière / le poids de la vapeur consommée par minute.** Mais **c'est compter sans le moteur** qui présente toujours, à des degrés plus ou moins importants, des fuites ... qui font partie de la consommation qui « vide » la chaudière !

Pour les chaudières équipées d'une pompe de réalimentation, aucun problème.

Pour les constructions à échelle réduite, pas de place pour cette pompe, et il sera nécessaire de procéder à des essais pour déterminer le temps de fonctionnement possible sans danger pour la chaudière (garde de 20%).