

Mini-chaudière du Rail-Car

Comparaison des 2 brûleurs - Etude réalisée avec l'aide de Patrick LECLERE

(La plupart des résultats sont arrondis)

Les données pour cette mini-chaudière

Masses en présence

. chaudière en laiton avec accessoires = 170 g = 0.170 kg – *chaleur spécifique du laiton : 0.38 kJ/kg*

. eau embarquée : 45 ml = 0.045 kg – *chaleur spécifique de l'eau : 4,18 kJ/kg*

Pressions

- envisagée : 2 bars au manomètre = 3 bars absolus

. t° de vaporisation = 133.5°, chaleur latente de vaporisation = 2163 kJ/kg

- pour un autre calcul éventuel : 3 bars au manomètre = 4 bars absolus

. t° de vaporisation = 143.6°, chaleur latente de vaporisation = 2133 kJ/kg

Température de départ : ici la température ambiante de 20° dans l'atelier

Il faut réchauffer l'eau de 20° à 133.5° puis la vaporiser, la chaudière transmet la chaleur par ses surfaces réellement en contact avec l'eau – la Surface de chauffe, appellation classique.

Besoins théoriques : $Q = \text{masse en kg} \times \text{chaleur spécifique de la masse} \times \text{différence de t° (température à atteindre - température de départ)}$

Les besoins à 3 bars absolus pour cette chaudière

Q chaudière : $0.170 \text{ kg} \times 0.38 \text{ kJ/kg} \times (133.5 - 20) = 7,33 \text{ kJ}$

Q eau : $0.045 \text{ kg} \times 4018 \text{ kJ} \times (133.5 - 20) = 21,35 \text{ kJ}$

soit un total de **28,68 kJ**

Si on veut que la pression de 3 bars soit obtenue en 3 mn **A**, il faudra que notre brûleur soit capable de fournir : $\frac{28,68 \times 60}{3} = 573,6 \text{ kJ par heure}$ soit une puissance utile de : $573 \text{ 600 J} / 3600 = 159,3 \text{ W B}$

Comparaison des 2 brûleurs

Le brûleur A est de type céramique : une céramique mais pas de « collage » des flancs par colle réfractaire, donc quelques petites flammes sur son pourtour; cependant la céramique irradie très bien. Inconvénient : une fois bien réglé, c'est réglé ... Avantage : consommation de gaz très réduite.

Le brûleur B est classique avec 24 trous de diamètre 1.6 et 6 fentes qui lui donnent une ouverture de 66 mm². A raison d'une charge minimum de 5,81 Wh par mm², on peut espérer 383 Wh. Il reste modulable et on peut jouer sur le débit de gaz pour tendre vers une charge moyenne.

On constatera que le résultat est au-dessous de ce calcul théorique.



*On réalise pour chaque brûleur un test à l'aide de ce montage qui permet d'amener 20 ml d'eau de 20° (température ambiante) à 100° et 0.02 kg x 4.18 kJ/kg x (100 - 20) = 6688 joules en un temps à relever sachant que **1 W = 1 J/s**.*

Le résultat est faussé : une partie de la chaleur est perdue sur les côtés : estimation de 30 %.

	A - brûleur de type céramique	B – brûleur à trous et fentes
Test de puissance théorique	6688 J en 40 secondes soit $6688 / 40 = 167,2$ W	6688 J en 30 secondes Soit $6688 / 30 = 223$ W
perte de 30 % à ajouter	$167.2/0.7 = \mathbf{238,8}$ W	$223 / 0,7 = \mathbf{318.6}$ W

L'**énergie utile** dégagée en une heure par les brûleurs sera de :

1 Wh = 3600 j	$238,8 \times 3600 = \mathbf{860}$ kJ	$318,6 \times 3600 = \mathbf{1147}$ kJ
---------------	---------------------------------------	--

Reste le problème du rendement thermique pour lequel sur ces petites chaudières on peut tabler sur environ 70 %. Et dans ce cas, notre chaudière risquera de ne pouvoir se servir que de :

Avec un rendement 70%	$860 \times 0.7 = \mathbf{602}$ kJ 167.2 Wh	$1147 \times 0.7 = \mathbf{803}$ kJ 223 Wh
-----------------------	---	--

E On a donc une idée de la puissance théorique de nos brûleurs mais il faut aussi penser dès maintenant à tenir compte de la **chaleur latente de vaporisation** pour les 45 ml d'eau, soit 2133 kJ/kg (à 3 bars absolus) $\times 0.045 = 95,98 = 96$ kJ supplémentaire.

Un brûleur devra donc être capable de dégager une énergie totale de :

574 kJ (réchauffage) + 96 kJ (vaporisation) = 670 kJ

La puissance devra au minimum être de : $670 \times 1000 = 670\ 000$ J et à raison de **1 Wh = 3600 J, 186Wh**

Bilan :	Il manque 68 kJ au brûleur A soit 19 Wh.	On a 133 kJ de trop au brûleur B soit 37 Wh.
---------	---	---

Remarques :

. concernant le brûleur A : si le moteur est bien construit et offre un fonctionnement souple mais capable d'emmener le montage prévu, il est possible qu'il se contente d'un fonctionnement à 1 bar mano (2 bars absolus = 120°). Dans ce cas les besoins seront différents : 604,2 kJ, et c'est très proche de l'estimation ...

. concernant la montée en pression réalisée avec les brûleurs en situation sous la chaudière : tous les deux se trouvent au-dessous du délai de 3 mn pour atteindre les 3 bars absolus .. Avec, et c'est normal, un meilleur score pour le brûleur B. Vidéos en temps réel disponibles sur mon site VMV ci-dessous noté

Essais des brûleurs en situation sous la chaudière



La chaudière est toute petite avec un tube principal de 38 x 40 mm. Elle comporte 6 tubes de fumée de 4 x 5 et une cheminée de 10 x 12. Pour un fonctionnement prévu à 2 bars mano, elle a subi un test hydraulique à 4 bars .

On y verse 45 ml d'eau.

A hauteur de la virole de trop plein, on se retrouve avec 0.62 dm² de contact ente les gaz chauds et l'eau.



Attention : cette expérience ne peut être réalisée qu'à l'atelier (virole de manomètre et sortie de vapeur bouchées) en étant très attentif à la montée en pression.

La mini-soupape tarée à 3 bars sera obligatoire et réservée aux sorties ...

Ici, il s'agit de vérifier si le temps de la montée en pression correspond bien au souhait de 3 minutes .

Ce test n'a en soi pas grande importance car si on peut vérifier une certaine efficacité des brûleurs, le résultat risque d'être différent lorsque l'on ouvrira la vanne vapeur ...

Cependant la mise en situation du brûleur sous la chaudière est important et il est possible avant le montage sur le véhicule d'en modifier la position (différence entre **A** et **B**) par rapport au fond de la chaudière et de vérifier l'efficacité des ouvertures du support.



La chaudière a été calorifugée : *la petite chaudière du ROQUET isolée de la même manière se laissait manipuler avec le mano à 2 bars (133°), donc des pertes de chaleur moins importantes.*

Le **brûleur A** en profitera peut-être pour s'exprimer ... Sinon on passera au **brûleur B**, pour lequel il reste encore la possibilité de lui donner davantage de vigueur si cet habillage n'était pas encore suffisant ...

Pour penser à la suite ...

Les besoins du moteur :

Il est prévu un bicylindre à double effet de 2 cm³ avec presse-étoupes (pistons de 6 mm de diamètre, course de 18 mm). Une rotation de 500 trs/mn à 2 bars mano (3 bars absolus) est envisagée.

Calculs où tout est ramené à 1 minute :

Le moteur consomme 2 (cm³) x 500 (trs/mn) = 1000 cm³ ou **1 l de vapeur**.

Le poids spécifique de la vapeur à 3 bars absolus est de **1.651 g/l** (1.651 kg/m³)

Donc le poids de la vapeur consommée est de 1 (l) x 1.65 (g) = 1.65 g soit **1.65 cm³** d'eau

En régime de vapeur saturée, la valeur moyenne admise par les modélistes est de 4 cm³ d'eau évaporée par dm² de surface de chauffe et par minute.

L'évaporation de 1,65 cm³ d'eau par minute à raison de 4 cm³ par dm²/mn sera assuré par : 1.65/4 = **0.41 dm²**.

Et on en a 0.62 ... Une bonne marge.

Quelques liens :

. références sur la Vapeur : https://www.thermexcel.com/french/tables/vap_eau.htm

. plans de la chaudière et des brûleurs et vidéos des essais :

<http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/railcar/index.html>

. régulateur pour « grosse chaudière » : une une façon de conduire la chauffe :

<http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudiereequipee/index.html>

. documentation : VAPORISMES (Editons Picador) de Pierre DUBARRY de LASSALLE

A Pourquoi ce choix de 3 minutes auquel je m'attache pour mes petites chaudières ?

Pour elles, il n'y a pas la place pour installer un régulateur que l'on trouve sur des ensembles importants dont le volume d'eau embarquée peut être 20 fois plus important.

Sur ces derniers, un « gros » brûleur qui se met en veilleuse dès que la pression de fonctionnement fixée est atteinte et qui se remet en marche dès que la pression baisse ... un peu.

L'observation montre que c'est très rapide et que le moteur reçoit pratiquement toujours la même pitance de vapeur.

Si on calcule le brûleur d'une petite chaudière en demandant une montée en pression en 4, 5 voire 6 minutes, on aura un brûleur plus faible qui prendra son temps pour remonter la pression de la chaudière et le moteur sera obligé de patienter.

B J'ai repris ce mode de calcul car il se trouve dans mon mémento que je n'ai pas envie de modifier et correspond à la méthode de Léonard Suykens