

SUJET : PROBLEME A RESOUDRE

Rappel des données du problème

- Baleinière de 95 x 20cm (profondeur depuis la ligne d'eau = 10cm)
- Chaudière horizontale classique de 840cl capacité totale.
- Moteur Bi/double effet = 5,2cm³.
- Hélice 60/65mm 4 pales.

On préconise de limiter la pression de vapeur à 2 bar au manomètre.

- I La cylindrée du moteur à vapeur est déterminée en fonction des caractéristiques du bateau ainsi qu'à la suite d'observations pratiques.

$$\text{Cylindrée en cm}^3 = \frac{L \times B \times P}{\infty}$$

L = longueur du bateau en cm

B = largeur du bateau en cm

P = Profondeur du bateau depuis la ligne de flottaison en cm

∞ = Coefficient dépendant de la longueur du bateau.

∞ = 4350 pour L = 75cm

4000 « 90cm

3900 « 100cm

3600 « 120cm

3300 « 140cm

3000 « 150cm

Pour notre exemple : $\text{Cyl} = \frac{95 \times 20 \times 10}{3950} = 4,81\text{cm}^3$

Par rapport au 5,2cm³ on est dans le bon (Lire remarque I)

- II L'hélice aura un Ø de 65mm, l'angle des pales sera important.

La largeur est estimée à 20mm.

Avec un angle de 35° on obtient un pas de $\frac{2,2 D \times A}{B}$ (voir cahier III page 3) =

$$2,2 \times 65 \times \frac{10,7}{17} = 90\text{mm (on peut dessiner la pale pour vérifier)}$$

Admettons un glissement de 30%, le bateau parcourt par tour d'hélice $90 \times 0,7 = 63\text{mm}$.

Pour que le bateau avance à une allure normale c.a.d. autour de 0,8m/sec. le moteur devra tourner à la vitesse de $\frac{800}{63} = 12,6 \text{ t/sec.} \times 60 = 760\text{t/min.}$ ce qui

est une vitesse normale.

III La chaudière disponible contient 840cl d'eau.

En pratique les dimensions approximatives sont : Ø 100mm longueur 200mm.
Le foyer central aura un Ø de 30mm et sera traversé en spirale par quelques tubes de 8/10mm.

Compte tenu que l'on doit éviter le remplissage au-delà de 80% du volume et pour ne pas descendre le niveau d'eau sous le tube foyer en fin de navigation, la quantité d'eau utilisable sera de +/- 400cl.

IV La capacité calorifique du brûleur est fonction du débit de vapeur à produire pour faire tourner la machine à 760t/min.

Consommation du moteur :

$$5,2 \text{ cm}^3 \times 760 \text{ t/min} = 3950 \text{ cm}^3/\text{min} = 3,95 \text{ dm}^3/\text{min}.$$

Le poids de la vapeur à 2 bar est de 1,61 gr/dm³

Poids d'eau à évaporer par minute : $3,95 \times 1,61 = 6,3595 \text{ gr/min.}$

Nous admettons que la machine est alimentée de façon «convenable » (Lire Remarque II).

Nous prévoyons quant même une perte aux joints, bielles etc de 20%.

Le poids d'eau total à évaporer par minute sera de $6,3595 \times 1,2 = \underline{7,63\text{gr.}}$

L'autonomie ou temps de navigation théorique $\frac{400}{7,63} = \underline{\underline{52 \text{ minutes}}}$ (voir remarque III)

Une chaudière du type ci-dessus permet de vaporiser de 4 à 5 gr d'eau/dm³/min.
(voir cahier I page 7)

Elle devra donc avoir une surface de foyer de $7,63 = 2 \text{ dm}^2$

Vérification : - Ø de foyer 30mm longueur 200mm surface 188 cm²
 - 8 tubes Ø 8/10 surface 75 cm²
 263 cm²

Soit $2,63 \text{ dm}^3$ ce qui répond aux besoins.

En première instance et pour déterminer les caractéristiques du brûleur, on suppose le bateau en navigation.

Le poids d'eau à évaporer par heure = $7,63 \times 60 = 457,8 \text{ cm}^3$.

Chaleur de vaporisation à 2 bar : 516 kcal/kg (voir tables vapeur).

Rendement thermique brûleur/chaudière ~ 50%.

Chaleur à apporter par le brûleur par heure : $0,4578 \times 516 \times 2 = 471,6 \text{ kcal}$.

$$\text{Poids de gaz : } \frac{1000 \times 471}{11.000} = \underline{42,870 \text{ gr/h}}$$

Nous souhaitons que la mise en chauffe se fasse en 10 minutes.

On sait que 1 dm² de surface de chauffe permet d'évaporer 4 gr d'eau par minute, cela demande 0,004 x 5,16kcal/kg = 2 kcal/min. Autrement dit, par dm² de surface de chauffe, on peut transmettre 2 kcal.

Chaleur nécessaire pour chauffer la chaudière et l'eau :

- Chaudière cuivre dont le poids est estimé à 2 kg et la chaleur spécifique du cuivre à 0,1 kcal/kg = $2 \times 0,1 \times (132-20) =$ 22,4 kcal
- Chauffage de l'eau $0,840 \text{ kg} \times 1 \times (132-20) =$ 94,0 kcal
- Perte de chaleur par déperditions par les parois estimée à 30,0 kcal
146,0 kcal *
- Débit horaire pour le brûleur $146 \times 6 = 876 \text{ kcal}$
- Débit de gaz correspondant (voir cahier I page 8) $\frac{876}{11.000} = 80 \text{ gr/h}$

Alimenté sous une pression de 1 bar le gicleur du brûleur devra avoir un diamètre de 0,25 à 0,27mm (butane ou propane).

Etant optimiste on choisira un Ø 0,3 pour être certain.

Si on désire construire le brûleur soi-même on peut consulter le cahier I page 12, si non on trouve facilement ce genre de brûleur dans le commerce.

Ainsi par exemple le brûleur Camping Gaz type T1550 ou T1700 ou similaire peut parfaitement convenir étant muni d'un gicleur Ø 0,3mm.

- V Pour satisfaire la dépense de gaz du brûleur, le réservoir à BuPro devra être prévu avec une « certaine » grandeur de surface.

C'est par la partie de surface en contact avec le liquide que la chaleur de l'air ambiant fournira celle nécessaire à la vaporisation (voir cahier I pages 14/15/16)

Dans l'exemple du cahier il s'agit d'évaporer 100gr de gaz par heure.

Pour notre problème il faut évaporer 40gr/h en navigation et 80gr/h lors de la mise en chauffe.

Une façon pratique de calculer le volume du réservoir est d'y aller par l'absurde et voir ce que cela donne.

Pour évaporer 1kg d'eau il faut en chaleur latente +/- 500 kcal – Cela demande, compte tenu du rendement dont question plus haut $500 \times 2 = 1.000$ kcal.

Cela demande donc en poids de gaz $\frac{1000}{11.000} = \frac{1}{10}$ du poids d'eau à évaporer.

Dans le cas présent je choisis donc un réservoir ayant une capacité de :

$\frac{400 \text{ cl}}{10} = 40\text{gr}$ en poids de gaz.

Cela demande un volume de 100 cm^3 compte tenu d'un remplissage à 80% (poids spécifique $\approx 0,5 \text{ kg/dm}^3$).

Les dimensions du réservoir sont (en supposant que l'on dispose d'un tube cuivre de Ø 4 cm) $\frac{\pi \times 4^2}{4} \times L = 100 \quad L = \frac{100}{\pi \times 4} = 8\text{cm}$

On remarque que le réservoir de la page 16 cahier I est plus grand alors que la quantité de gaz à évaporer est pratiquement identique, mais les curieux auront retenu, à la lecture de la page 15 que le calcul a été mené pour du butane.

Ce réservoir convient donc en Été pour une coque fermée et ouverte compte tenu que l'on utilise du BuPro (Remarque IV)

Il sera « peut-être » vide avant qu'il n'y ait plus d'eau.

On prévoira éventuellement une vanne coupe gaz.

La navigation hivernale demande une autre approche du problème.

Pour finir un conseil pratique, même très pratique se trouve en remarque V.

REMARQUE I

Pour ceux qui connaissent le cahier « 4 moteurs à vapeur » de feu Mr André LECOMTE, on peut lire en page 49 et 51 que son moteur AL 5 entraîne l'hélice de 90mm de sa chaloupe VAPORETTE qui pèse env. 15 kg, c'est dire. Remarquons également le grand pas du propulseur.

REMARQUE II

Le poids horaire d'eau à évaporer peut sensiblement augmenter si on néglige les points suivants :

- Ne jamais remplir la chaudière au-delà de 80% de son volume sans quoi il y aura primage ce qui signifie entrainement de gouttelettes d'eau.
- Essayer de surchauffer la vapeur, soit par serpentin à installer dans la cheminée, soit en augmentant la pression de la chaudière ce qui permettra de laminier la vapeur via le robinet de chaudière (voir cahier II page 9 dernier paragraphe)
- Fortement isoler la conduite de vapeur et même si possible les cylindres du moteur.

Sans ces précautions la vapeur saturée sèche lors de sa production se transforme en vapeur humide à la sortie de la chaudière. Son poids augmente en fonction de son titre.

Si une vapeur sèche à 2 bar pèse 1,61gr/dm³, elle atteint 2,34gr/dm³ si son titre humide descend à 0,7.

C'est une des raisons pourquoi certaines machines, bien construites, consomment jusqu'à 2 fois plus de vapeur.

Pour les petits curieux le poids spécifique d'une vapeur humide au titre X se calcule comme suit :

Pour une vapeur saturée sèche à 2 bar (voir tables vapeur le volume spécifique $Vm^3/kg = 0,61$ le poids spécifique $\gamma \text{ kg/m}^3 = \frac{1}{0,61} = \frac{1,61}{0,61}$

Cette vapeur au titre $X = 0,7$

$V \text{ m}^3/kg = (0,7 \times 0,61) + (1-0,7)0,001 = 0,427$

$\gamma \text{ kg/m}^3 = \frac{1}{0,427} = 2,34$

REMARQUE III

Lors de la mise en chauffe un essai moteur est effectué. Comme il est froid, une certaine quantité d'eau condensée sera perdue.

D'autre part, le brûleur prévu est toujours du côté « généreux » ce qui fait souvent souffler la soupape de sécurité s'il n'y a pas de dispositif de régulation.

Le temps de navigation pratique sera donc inférieur à 52 min. mais toujours suffisant pour faire le parcours de concours.

REMARQUE IV

L'utilisation du BuPro en coque ouverte donne le résultat suivant ;

Avec $k = 10$, température ambiante 20°, température d'ébullition du mélange BuPro 70/30 à 1 bar, -5°C

Surface humide +/- $10 \times 8\text{cm} = 80\text{cm}^2$

$\Delta \text{ kcal/h} = k \times s \times \Delta t = 10 \times 0,08 \times (20+5) = 20\text{kcal/h}$, soit en 10 minutes 3,33 kcal.

La chaleur d'évaporation étant égale à +/- 90 kcal/kg le réservoir peut libérer en 10 minutes 36,6 gr de gaz x 11.000 kcal/kg = 400 kcal.

* Il n'en faut que 146 pour la mise en chauffe et cela chute encore en navigation. Donc nous sommes dans le bon.

REMARQUE V

Pour les vaporistes allergiques aux chiffres et qui veulent quant même construire eux-mêmes, ils peuvent éventuellement s'appuyer sur les règles ci-après.

- Déterminer la cylindrée du moteur comme indiqué sous I
 - Prévoir la surface de chauffe de la chaudière en fonction de la cylindrée ainsi que le brûleur :
- | | | |
|------------|----------------------------|------------------------|
| pour 20 cc | surface 10 dm ² | débit brûleur 400 gr/h |
| 15 cc | 7,5 dm ² | 300 gr /h |
| 10 cc | 5 dm ² | 200 gr /h |
| 5 cc | 2,5 dm ² | 100 gr/h |

Pour les chaudières à foyer central, le volume d'eau qu'elle peut contenir est pratiquement toujours fonction de sa surface de chauffe.

- Installer un réservoir qui contient en poids de gaz 1/10 du poids d'eau à évaporer.
- Le Ø de l'hélice et son nombre de pales reprend les mesures du plan de construction mais doit avoir un grand pas.

Et voilà c'est tellement simple qu'on se demande pourquoi DUCROS se décarcasse.

REMARQUE VI

Lors de réunion de vaporistes, se pose quelques fois la question, quid du rendement de nos petits esquifs.

Dans le cas qui nous occupe on peut estimer sans se tromper beaucoup que l'hélice utilise/consomme par heure :

$$\pm 10 \text{ watt/h} = \frac{860}{100} = 8,6 \text{ kcal/h (1 kwh = 860 kcal)}$$

Pendant ce temps on brûle environ :

$$(\text{entre } 80 \text{ et } 40 \text{ gr de gaz/h}) = 50 \text{ gr/h} \times 11.000 \text{ kcal/kg} = 550 \text{ kcal/h.}$$

Rendement $\frac{8,6}{550} = 1,5\%$ (à méditer).

$$\frac{8,6}{550}$$