

Construction d'un véhicule roulant à vapeur : théorie

Une démarche permettant de construire théoriquement un véhicule à vapeur.

Avec l'aimable participation de **Philippe Daubuisson**.

Les étapes de la démarche :

- évaluer le poids du véhicule : il s'agit bien d'une évaluation puisque le poids du moteur et de la chaudière à construire ne sont pas connus.
- mesurer la force capable de le mettre en mouvement, soit par l'expérience, soit par le calcul
- choisir une vitesse de croisière, en déduire le nombre de tours des roues, et en fonction de la réduction à apporter, le nombre de tours du moteur
- déterminer la puissance du moteur à construire et en déduire la cylindrée et les caractéristiques
- prévoir le temps de fonctionnement souhaité et, avec une pression choisie, dessiner la chaudière.

Données théoriques :

Pour déplacer notre véhicule, il va falloir lui appliquer une **Force** capable de le mettre en mouvement ; cette force va se mesurer en **Newton (N)**:

1gk-force = 9.81 N qui est la force nécessaire pour élever une masse de 1 kg à 1 mètre de haut

Pour nos petits calculs, on peut considérer que 1 N = 100 grammes au lieu de 102 !

. **force de traction**

qu'on ne peut pas toujours évaluer par expérience (voir le croquis de la fiche de calculs) car il manque un tas de choses ... Dans ce cas, pour mes « petits » véhicules, je table sur une masse moyenne de 2 kg.

. **P** est le poids en kg de la masse qui déclenche le mouvement (ici, cas le plus fréquent, sur une surface horizontale)

. **k, coefficient de frottement**

Le véhicule est monté sur roues elles-mêmes en contact avec le sol et suivant les matériaux des uns et de l'autre, **k** variera.

On peut se simplifier la vie en prenant **k = 2%**

Et on calcule : **F** (de traction) = **k x P**

Personnellement je n'utilise pas cette formule. Les résultats obtenus sont bien souvent très inférieurs à ceux obtenus par expérience.

. la pente

Si on veut rouler sur un sol accidenté, il faut prévoir l'effort supplémentaire de traction qui sera nécessaire.

Dans ce cas, plutôt que de se livrer à des calculs complexes où interviennent les Sinus, on augmentera la force de traction du % de la pente.

Pour nos engins, il n'est pas tenu compte d'un autre facteur de ralentissement : l'aérodynamisme ...

La formule de départ se trouve donc ainsi compliquée : $F = (k \times P) + (\% \text{ de la pente} \times P)$

. vitesse du modèle

pour les bateaux la formule suivante est appliquée pour leur donner une vitesse réaliste : vitesse du modèle = vitesse réelle / $\sqrt{\text{échelle}}$

Cela semble être applicable aux modèles roulants mais, pour l'instant je me contente de la fixer arbitrairement de 1 à 2 km/h.

. nombre de tours des roues en 1 minute

Il dépend de la vitesse choisie et du diamètre de la roue (**D**) en mètres :

Nombre de tours = distance parcourue en mètres et pour une heure : $D \times \Pi$

En divisant le résultat obtenu par 60, on obtient le nombre de tours par minute et en divisant par 3600 le nombre de tours par seconde.

. réduction

Pour faire avancer le véhicule, il faut lui donner de la « pêche » ou, plus mécaniquement, du couple.

La réduction (**R**) dépendra de la vitesse à obtenir au sol et de celle qu'on peut obtenir du moteur. Une réduction de $\frac{1}{4}$ est le minimum.

Quand on applique une réduction, la vitesse de rotation de l'arbre des roues diminue mais son couple augmente.

A retenir aussi que le rendement d'un train d'engrenages est d'environ 95 % .

Ainsi le moteur devra tourner plus vite que l'arbre des roues motrices : si on a choisi une réduction de $\frac{1}{4}$, le moteur devra tourner 4 fois plus vite ...

... et le couple de l'arbre moteur se verra multiplié par 4 aux roues.

Important : la puissance à la sortie de l'arbre moteur est la même que celle obtenue sur l'essieu. (x 105% pour tenir compte du rendement)

. **force motrice** Si on part de l'expérience, on peut considérer qu'elle égale (c'est un minimum) à **F**, la force de traction, puisque **k** est compris.

C'est la force responsable de la mise en mouvement du véhicule vers l'avant et :

Fm = Pj / v ou encore **Pj = Fm x v**

Fm = force motrice en N égale à la **F** de traction constatée

Pj = puissance à la jante en watts

v = vitesse en mètres par seconde

Pj doit être égal ou inférieur à **P réel** du moteur, sinon sa cylindrée est à revoir.

. le couple à la roue

Si on considère une roue, on a la relation :

Force de traction en N = couple en N / r le rayon de la roue en mètres ou **C = F x r (1)**

. le couple moteur

Si on considère un axe, on a la relation :

P en watts = C en N x v la vitesse angulaire ou **C = P / ω (2)**

$\omega = 2\pi \times$ nombre de tours par seconde

Pour faire avancer notre véhicule, il faudra que (2) soit supérieur à (1)

. puissance du moteur :

Comment l'évaluer en partant de la cylindrée ?

Une formule de **Léonard Suyskens** :

P en watts = ($\pi^2 \times R^{2*} \times P \times C^* \times N^* \times V \times 10$) : 60

R = diamètre du piston en cm / 2

P = pression en bars

C = course du piston en mètres

N = nombre d'effets du moteur

V = vitesse en tours par minute

* *éléments entrant dans le calcul de la cylindrée, mais, C étant donné en mètres, il a fallu en tenir compte lors de la simplification proposée*

même formule simplifiée :

Puissance (watts) = (Cylindrée en cm³ x Pression en bars x nombre de trs/mn) / 600

Le rendement d'un moteur à vapeur étant d'environ 20%, on divisera **P** par 5

Avec le banc d'essai à venir, on pourrait calculer la puissance réelle du moteur, mais ici, on essaie de tout prévoir par le calcul.

2 feuilles de calculs suivent :

. la première concerne celle réalisée pour la **Mancelle** ... après sa construction car cette feuille n'était pas encore conçue (réalisée en 2011)

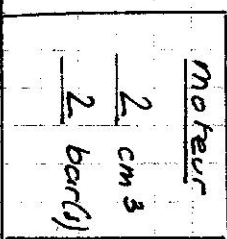
. la seconde est vide et peut vous servir ...

venue Manuelle vitesse souhaitée: $2 \text{ km/h} = 0,556 \text{ m/s}$

Moteur: 2 cm³ oscillant double effet

Nombre de tours/mn = $(V(\text{cm}^3) / T(\text{m}) / 60) \times R$

$$= \frac{1250 \text{ cm}^3/\text{mn}}{21 \text{ m/s}} = 21 \text{ m/s}$$



$$\frac{2}{1} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{3}$$

reduction $R = 15$

Puissance en Watts théorique:

$$P = (C(\text{cm}^3) \times P(\text{bars}) \times N(\text{t/mn})) / 6000$$

$$2 \times 2 \times 1250 / 6000 = 8,33$$

Puissance en Watts réelle (80% de P théorique)

$$P = 1,33 / 5 \quad P = 1,66 \text{ W}$$

C1: couple moteur: $C(N) = P(W) / \omega$

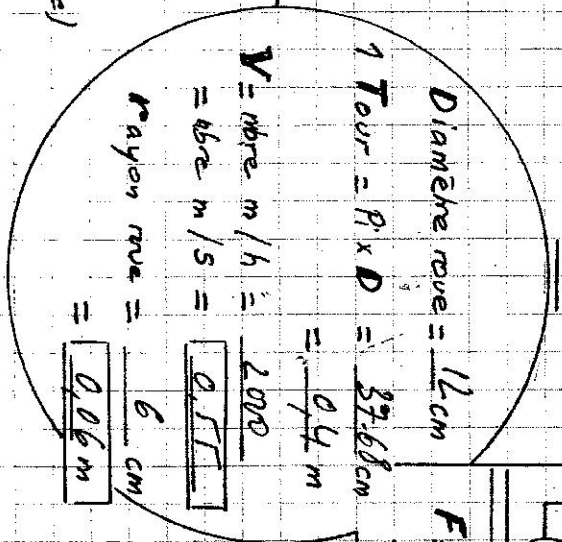
$$\omega = 2\pi \times N(\text{tr/s}) = 132$$

$$C1 = 1,66 / 132 = 0,0126$$

$$C1 \quad a = \frac{95}{100} \times R = \dots \text{ N}$$

$$C1 \quad b = \frac{85}{100} \times R \cdot l = 0,16 \text{ N}$$

Remarques:



Diamètre roue = 12 cm

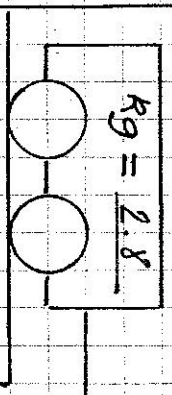
$$1 \text{ Tour} = \pi \times D = 37,68 \text{ cm} = 0,3768 \text{ m}$$

$$V = \text{vitesse m/h} = \frac{2000}{3600} = 0,556$$

$$= \text{vitesse m/s} = 0,556$$

$$\text{rayon roue} = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

Force de traction: expérience



$$F = \frac{80 \text{ g}}{100} = 0,8 \text{ N}$$

$$g = 80$$

Puissance à la jante: $P_j = F(N) \times V(\text{m/s})$

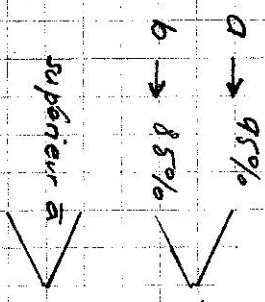
$$P_j = 0,8 \times 0,556 = 0,44 \text{ watts}$$

doit être égal ou inférieur à P réel

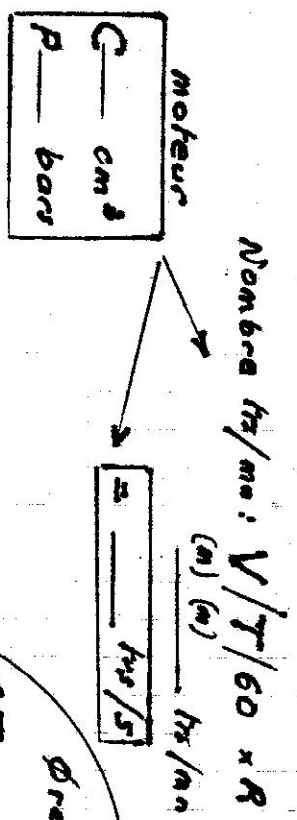
C2: couple à la roue: $C(N) = F(N) \times r(\text{m})$

$$C2 = 0,8 \times 0,06 = 0,048$$

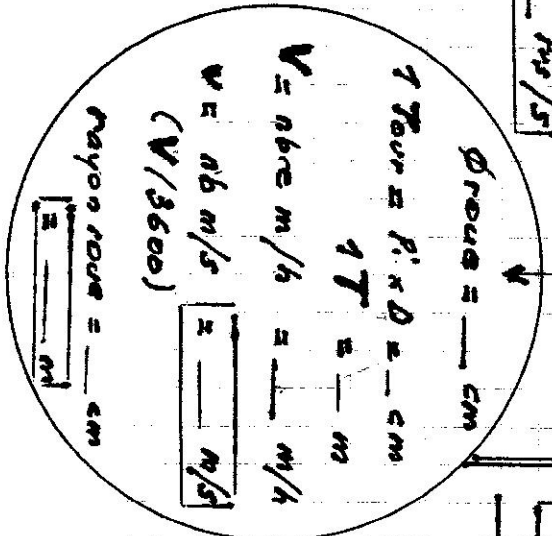
$$C2 = 0,048 \text{ N}$$



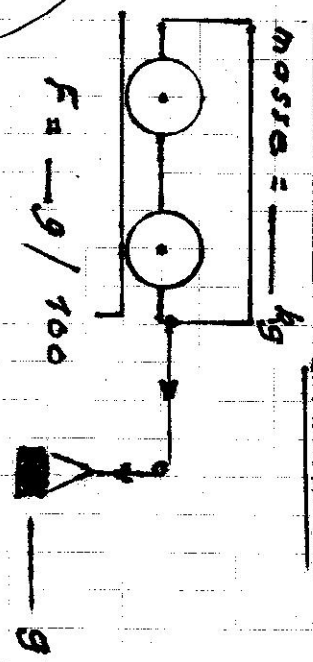
Modelle : _____ Vitesse désirée : _____ km/h = _____ m/h = _____ m/s



Pen watts théorique
 $P = (C \text{ cm}^3 \times P \text{ bars} \times n \text{ tr/mn}) / 600$
 $P =$ _____
 Pen watts réelle (20% de P théorique)
 $P =$ _____ w



rendement :
 a. 95% (engrenages)
 b. 85% (engrenages + autres)



$F = F_m \text{ minimum}$
 Puissance à la jante : P_j
 $P_j = F_m (N) \times V (m/s)$
 $P_j =$ _____ en watts
 (égal ou inférieur à Ptotal)

C1 : Couple au moteur : $C(N) = P(w) / \omega$

$C1 =$ _____ N
 $C1 =$ _____ x (a) _____ x R _____ = _____
 ou $C1 =$ _____ x (b) _____ x R _____ = _____
 doit être supérieur à $C2 =$ _____ N

C2 : Couple à la roue
 $C(N) = F(N) \times r (m)$

Remarques :