

Construction d'un véhicule roulant à vapeur : théorie

Une idée à concrétiser : établir la démarche permettant de construire un véhicule à vapeur uniquement par la théorie. 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 :

. unité de mesure

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

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

On la traduit par cette formule : F (de traction) = k (coefficient de frottement x P (poids du véhicule)

. k , coefficient de frottement

Le véhicule est monté sur roues elle-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 $k = 2\%$ -un peu fort certes, mais ainsi on sera sûr de voir notre engin « décoller » de sa position statique initiale.

. 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 :

$$F \text{ (de traction)} = (k \times P) + (\% \text{ de la pente} \times P)$$

. vitesse du modèle

pour les bateaux la formule suivante est appliquée pour leur donner une vitesse réaliste :

$$\text{vitesse du modèle} = \text{vitesse réelle} : \sqrt{\text{échelle}}$$

Cela semble être applicable aux modèles roulants mais, pour l'instant je me contente de la fixer arbitrairement ...

. nombre de tours des roues en 1 minute

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

$$\text{Nombre de tours} = \text{distance parcourue en mètres et pour une heure} : D \times \pi$$

En divisant le résultat obtenu par 60, on obtient le nombre de tours par minute

. réduction

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

La réduction 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

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

$$F_m = P_j : v$$

F_m = force motrice en N

P_j = puissance à la jante en watts

V = vitesse en mètres par seconde

. le couple

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 $C = F \times r$ (1)

Si on considère un axe, on a la relation :

P en watts = C en N x v la vitesse angulaire ou $C = P : \omega$ (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 :

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

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 :

$$\text{Puissance en watts} = (\text{Cylindrée en cm}^3 \times \text{Pression en bars} \times \text{nombre de tours minute}) : 600$$

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.

Vérification à partir d'une réalisation construite au « pifomètre » et fonctionnant : cas de la voiturette à vapeur l'Alcyon.

Caractéristiques :

- . vitesse souhaitée : 4 km à l'heure
- . poids avec moteur, piles, servos, récepteur et chaudière : 2kg
- . cylindrée du moteur : 1 cm³
- . réduction : 4
- . roue de 7 cm de diamètre soit $r = 0.035$ m

Expérimentation :

Il faut, sur un plan horizontal, une force de 45 grammes pour déclencher le mouvement, soit 0.45 N

Calcul : F de traction = $k \times P$ $F = (2 \times 2000 \text{ g}) : 100 = 40 \text{ g}$ ou 0.4 N

Vitesse = 4 km/h = 66,6 m / mn = 1.11 m / s

1 tour de roue (circonférence) donne un déplacement de 7 cm x 3,14 = 21.98 cm ou 1.22 m

nombre de tours de roues à la minute pour atteindre la vitesse désirée :
 $66.6 \text{ m} : 0.22 = 302.72 = 300$ tours minute

nombre de tours de moteur avec réduction $\frac{1}{4}$: $300 \times 4 = 1200$

puissance théorique du moteur :

P en watts = $(1 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ bar} \times 1200 \text{ tr/mn}) : 600 = 2$ watts

Puissance réelle du moteur évaluée à 20 % : 20 % de 2 watts = 0.4 w

Couple nécessaire : 0.4 N (force de traction) x 0.035 (rayon) = **0.014 N**

Couple à l'arbre moteur : $P = C \times \omega$ ou $C = P : \omega$

$\omega = 2 \pi \times \text{nbe de tours seconde} = 6.28 \times 20 = 125.6$ et $C = 0.4 : 125.6 = 0.0032$

Couple à l'essieu : 0.0032×4 (facteur de réduction) = **0.128 N**

Certes, le couple est légèrement inférieur à celui nécessaire, mais le modèle fonctionne et on peut supposer que, moteur bien réalisé, on obtient un rendement supérieur.

*Si on prend par exemple 25 %, le couple à l'essieu passe à **0.016 N** !*

Il est aussi possible que pour le moteur de l'Alcyon, construit sans vanne pouvant modifier l'arrivée vapeur, le moteur tourne à plus de 1200 tours ... (pas mesuré !)