



## TD d'ÉLECTROTECHNIQUE/ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE : CALCUL DE LA MOTORISATION D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE

Nous allons déterminer la puissance électrique nécessaire au fonctionnement d'un véhicule utilitaire électrique à vocation urbaine ainsi que la fourniture de cette puissance.

### Caractéristiques principales du véhicule

La masse totale du véhicule en charge est  $m = 1400$  kg. Sa vitesse maximale est fixée à  $\hat{V}_{VE} = 90$  km.h<sup>-1</sup>.

Les pneus ont un diamètre sous charge  $\phi$  de 0,5m.

La vitesse maximale du moteur (électrique) est  $\hat{N}_{moteur} = 7.000$  tr.mn<sup>-1</sup>.

### Rappels de mécanique

Pour imprimer une accélération  $a$  à un mobile de masse  $m$  en déplacement linéaire sur un plan horizontal, il faut lui appliquer une force  $F$  telle que  $F = m.a$ . La puissance est, soit le produit d'une force par une vitesse, soit le produit d'un couple par une vitesse de rotation.

### Préliminaires

- 1/ Calculer la circonférence  $C$  de roulement d'un pneu.
- 2/ En reprenant les définitions de la puissance mécanique, déterminer la relation entre le couple total sur les roues et la force de traction.
- 3/ Calculer le rapport  $D$  de la transmission. Cette grandeur est le quotient de la vitesse de rotation du moteur par la vitesse de rotation des roues.
- 4/ En considérant le rapport  $D$  de la transmission du moteur jusqu'aux roues et son rendement  $\eta$  supposé constant et égal à 0,92, exprimer le couple que doit fournir le moteur en fonction du couple sur les roues.
- 5/ En fonction des résultats précédents, exprimer le couple moteur en fonction de la force de traction.

## Détermination de la puissance nécessaire

Pour calculer la puissance que doit fournir le moteur, on va s'intéresser à trois situations typiques.

### Situation n°1 : terrain plat et vitesse maximale

6/ La force de pénétration dans l'air  $F_{\text{air}}$  est proportionnelle au carré de la vitesse du véhicule  $V_{\text{VE}}$ . Elle est égale à  $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_x \cdot V_{\text{VE}}^2$  où le terme  $S \cdot C_x$  vaut  $0,86 \text{ m}^2$  et la masse volumique de l'air  $\rho$  a pour valeur  $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Calculer la force de pénétration dans l'air à la vitesse maximale.

7/ Calculer la puissance que doit fournir le moteur pour vaincre la résistance de l'air à la vitesse maximale.

8/ La force de résistance au roulement  $F_R$  en fonction de la vitesse du véhicule  $V_{\text{VE}}$  est donnée par la relation  $F_R = mg (12,5 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot V_{\text{VE}}^2)$  où  $V_{\text{VE}}$  est exprimée en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  et  $g$  vaut  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Pour la vitesse maximale, calculer la force de résistance due au roulement  $F_{R90}$  et la puissance correspondante  $P_{R90}$ .

### Situation n°2 : rampe de 8 % et vitesse de 50 km/h

9/ Quelle est la puissance que doit fournir le moteur pour maintenir le véhicule à une vitesse stabilisée de  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en rampe de 8% (une rampe de 8% signifie que le véhicule s'élève de 8m lorsqu'il a parcouru 100m) ?

### Situation n°3 : accélération en plat

10/ En palier, on désire passer de l'arrêt à la vitesse de  $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en 18s (cycle normalisé SAE J 227 C). Quelle est l'accélération supposée constante correspondante ?

11/ Quelle est la puissance correspondante au démarrage ? Quel couple le moteur doit-il fournir ?

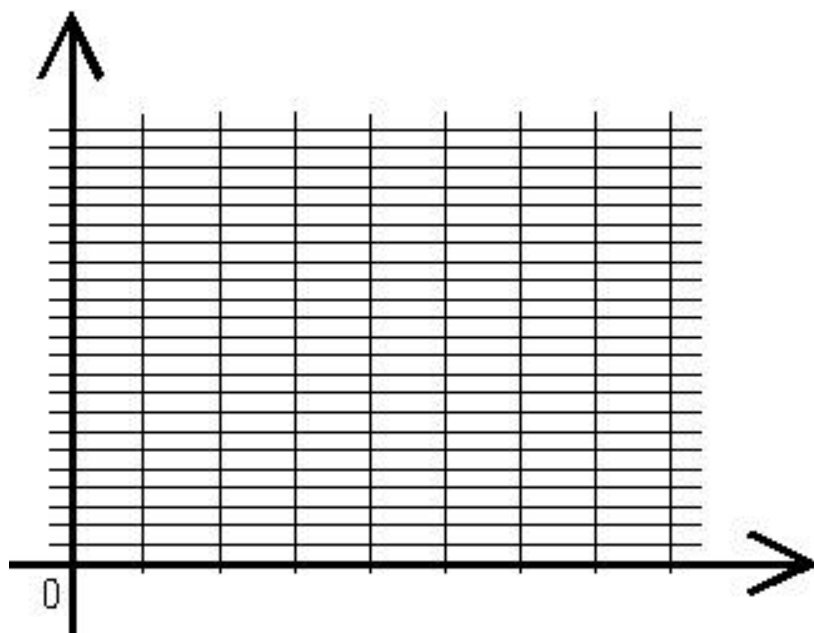
12/ Quelle est la puissance correspondante à  $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ?

### Synthèse : choix du moteur

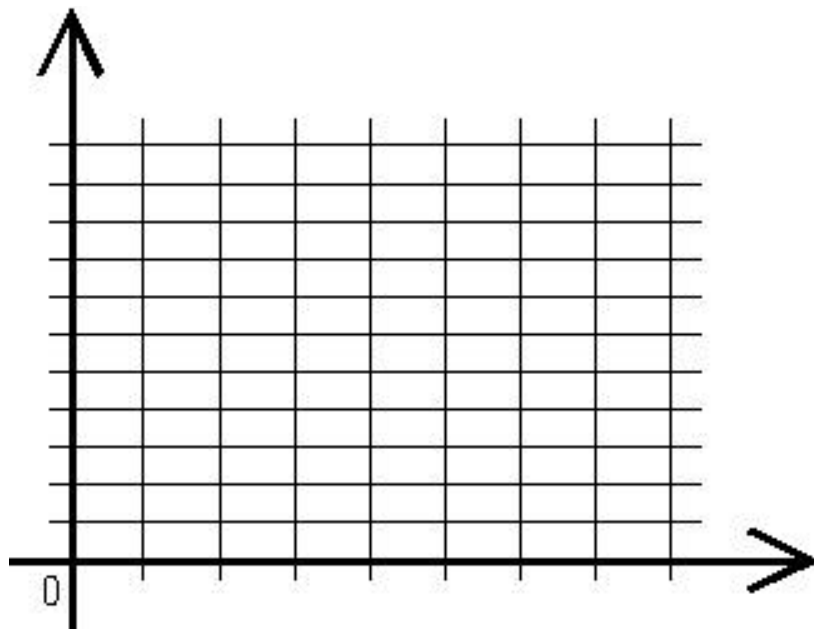
Grâce aux fonctionnements typiques examinés précédemment, on peut choisir le moteur à utiliser. Dans un premier temps, on remplira le tableau ci-après récapitulatif, pour chaque situation, la force, le couple et la puissance que doit fournir le moteur ainsi que sa vitesse de rotation.

Situation	Terrain plat et vitesse maximale	Terrain plat et vitesse de 50 km/h	Rampe de 8 % et vitesse de 50 km/h	Accélération en plat (arrêt à $48 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en 18 s)
Force de résistance au roulement (N)				
Force de résistance à la pénétration dans l'air (N)				
$m g \sin \alpha$ (N)				
Force d'accélération (N)				
Force totale (N)				
Couple à fournir par le moteur (Nm)				
Vitesse de rotation du moteur (tr/mn)				
Puissance à fournir par le moteur (kW)				

13/ Dessiner dans le plan puissance-vitesse les 4 points de fonctionnement correspondant aux données ci-dessus.



14/ Dessiner dans le plan couple-vitesse les 4 points de fonctionnement correspondant aux données ci-dessus.



15/ Quelle est la puissance maximale que doit fournir le moteur ? À quelle(s) vitesse(s) ?

16/ En supposant le moteur de type à courant continu (on sait que les commandes des autres types de machines sont fonctionnellement équivalentes), quels paramètres va-t-on choisir pour faire de la variation de vitesse ? Quelle sera la vitesse nominale du moteur avant "défluxage" ?

## **Dimensionnement de la source d'énergie**

Dans ce qui suit, on supposera que le rendement de l'ensemble convertisseur-machine reste toujours égal à 0,80, quelque soit le point de fonctionnement.

17/ Pour ce véhicule essentiellement à usage urbain, l'autonomie désirée est de 150 km à 50 km/h (vitesse stabilisée) et en palier (route horizontale). Le moteur devant alors fournir une puissance de 5,5 kW, quelle doit être l'énergie embarquée à bord du véhicule ?

18/ La batterie utilisée (accumulateurs Nickel-Cadmium) ayant une énergie massique de 60 Wh/kg, quelle doit être sa masse ?

19/ La batterie utilisée ayant une tension minimale de 108 V pour une tension nominale de 120 V, quel est le courant maximal appelé par le convertisseur à 50 km/h (vitesse stabilisée) et en palier ?

20/ Quel est le courant maximal appelé par le convertisseur à 50 km/h (vitesse stabilisée) et en rampe de 8 % ?

21/ Quel est le courant maximal appelé par le convertisseur à 75 km/h (vitesse stabilisée) et en palier ?

22/ Quelle est l'autonomie du véhicule (en distance et en temps) à 75 km/h (vitesse stabilisée) et en palier ?

## **Comparaison avec d'autres formes de stockage d'énergie**

23/ Pour la même autonomie (150 km à 50 km/h), quelle masse de SuperCarburant faut-il utiliser ? L'énergie massique du SP 98 est 12,33 kWh/kg. Discuter du résultat obtenu.

24/ Pour la même autonomie (150 km à 50 km/h), quelle masse d'hydrogène faut-il utiliser si l'on utilise une pile à combustible ? L'énergie massique de l'hydrogène est 40 kWh/kg.

## **Réflexions sur l'avenir du véhicule électrique**

25/ Que pensez-vous de l'avenir du véhicule électrique ? Qu'est-ce qui limite aujourd'hui son essor ? Quelles sont les solutions envisageables pour que le marché du véhicule électrique décolle dans l'avenir ?