

Toutes les réponses seront faites sur le document réponses joint au sujet. Le barème donné par exercice est approximatif et pourra être modifié.

Les exercices 1, 2 & 3 proposent d'étudier la définition des caractéristiques principales d'une voiturette électrique. Ne pas oublier de préciser les unités des valeurs que vous aurez calculées.

### Exercice 1 : (sur 19,5 points)

#### Données et hypothèses :

- On considère le problème plan (voir figure 1),
- $O$ : sol,
- $S$ : véhicule complet (avec roues) de masse  $m$ ,
- $G$ : centre de gravité de  $S$ ,
- $\vec{P}$ : action du poids de  $S$  avec  $\vec{g} = -g \cdot \vec{y}_0$  avec  $g$ : accélération de la pesanteur ( $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ),
- $\vec{A}_{(0 \rightarrow S)}$ : action du sol sur la roue motrice avant,
- $\vec{B}_{(0 \rightarrow S)}$ : action du sol sur la roue arrière,
- $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$  et  $R_r(O, \vec{x}_r, \vec{y}_r)$  sont liés à la terre,
- La direction  $\vec{x}_0$  est horizontale,
- $\theta$  est l'angle que fait la route avec l'horizontale.

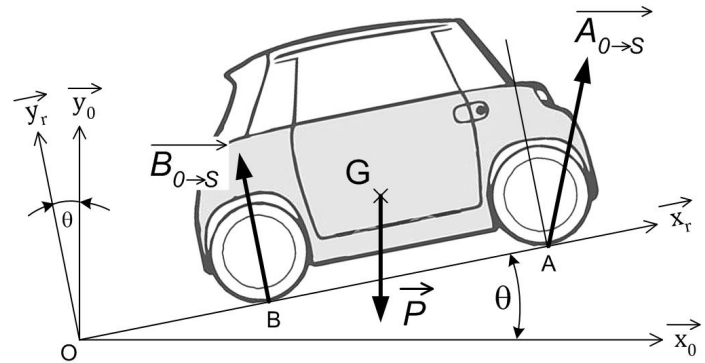


Fig. 1

#### Caractéristiques du véhicule :

- Puissance mécanique du moteur électrique : 9,6 HP soit 7 kW,
- Rendement de la transmission entre le moteur et les roues motrices :  $\eta = 0,9$
- Masse  $m$  de  $S$  : 480 kg.

#### Extrait des exigences du cahier des charges fonctionnel :

- En démarrage en côte, sur une pente de 15% le véhicule passera de 0 à 25 km.h<sup>-1</sup> en 20 s.

Pour dimensionner le moteur, on se place dans la phase qui nécessite de développer la puissance maximale. Dans cette phase, le véhicule démarre en ligne droite dans une montée, il est animé d'un mouvement de translation et accélère avec une accélération constante  $\vec{F}_{G,S/0} = a \cdot \vec{x}_r$  jusqu'à atteindre la vitesse  $\vec{V}_{G,S/0} = V \cdot \vec{x}_r$ .

#### Travail demandé :

Question 1 : Exprimer la valeur de la vitesse  $V$  en m.s<sup>-1</sup>.

Question 2 : Calculer la valeur de l'accélération  $a$  en m.s<sup>-2</sup>.

Question 3 : Exprimer la valeur de l'angle  $\theta$  en degré.

Question 4 :

- Écrire les composantes du vecteur  $\vec{P}$  en fonction de  $m$  et  $g$  dans le repère  $R_0$ .
  - Compléter les composantes du vecteur  $\vec{B}_{(0 \rightarrow S)}$  dans le repère  $R_r$ .
- Vous utiliserez le même type de notations que celles du vecteur  $\vec{A}_{(0 \rightarrow S)}$

Question 5 : Écrire les composantes du vecteur  $\vec{P}$  en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $\theta$  dans le repère  $R_r$ .

Question 6 :

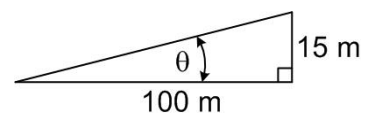
- Écrire l'équation vectorielle du théorème de la résultante dynamique appliqué à  $S$ .
- Écrire l'équation qui résulte de la projection sur  $\vec{x}_r$  de l'équation vectorielle précédente et en déduire l'expression de  $X_A$  en fonction des données du problème.

Question 7 : Déterminer l'expression littérale de la puissance mécanique maximale utile  $P_{max}$  pour déplacer  $S$  en fonction des données du problème.

Question 8 : Application numérique : calculer la puissance mécanique maximale  $P_{max}$

Question 9 : Calculer la puissance mécanique maximale que doit fournir le moteur électrique  $P_{mot max}$  en tenant compte du rendement  $\eta$  de la transmission.

Question 10 : Le moteur électrique du véhicule est-il correctement dimensionné ? Justifier la réponse.



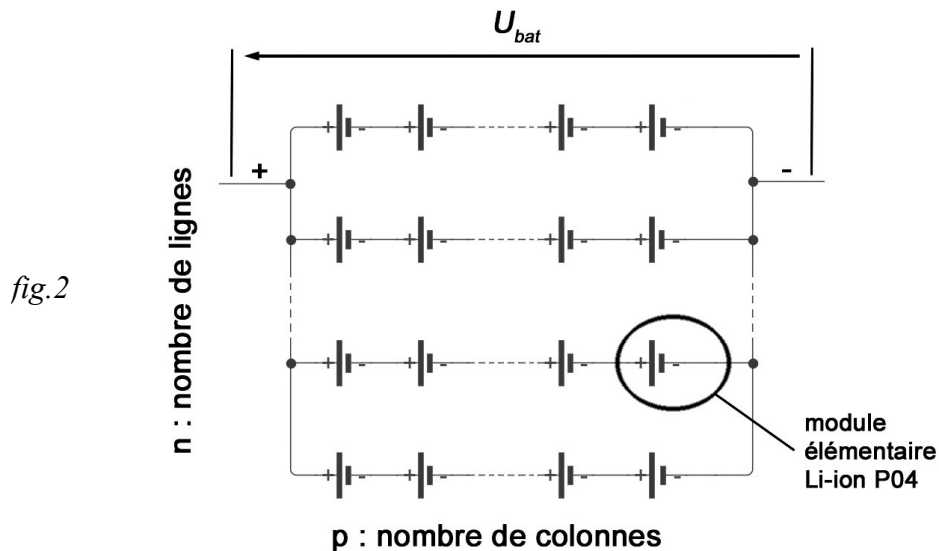
### Exercice 2 : (sur 9,5 points)

L'objectif est de dimensionner la batterie de la voiturette pour respecter les exigences du cahier des charges et les contraintes de conception qui sont détaillées ci-dessous :

- La tension aux bornes de la batterie  $U_{bat} = 48V$ ,
- L'énergie stockée par la batterie à pleine charge  $E_{bat} = 5,5 \text{ KWh}$ ,
- L'autonomie du véhicule est de 75 km sur terrain plat.

#### Caractéristiques d'un module élémentaire et du branchement :

- Module élémentaire : pile Li-ion P04 - tension  $U_p = 3,2 \text{ V}$  - capacité  $C_p = 1200 \text{ mAh}$ ,
- La batterie est composée de  $n$  lignes branchées en dérivation (fig. 2),
- Sur chaque ligne sont branchées  $p$  modules élémentaires en série.



#### Travail demandé :

**Question 11 :** On considère que pour parcourir un trajet sur terrain plat d'une distance de 75 km à la vitesse moyenne de  $35 \text{ km.h}^{-1}$ , la puissance moyenne électrique fournie par la batterie au moteur vaut 2,4 KW. Calculer l'énergie consommée par la batterie du véhicule  $E_{bat-moy}$  en KWh.

**Question 12 :** En fonction de la structure de la batterie schématisée sur la figure 2 et de  $U_{bat}$ , déterminer le nombre de colonnes  $p$  nécessaires.

**Question 13 :** Calculer la quantité d'énergie stockée dans la batterie à pleine charge  $E_{bat}$  en Joules.

**Question 14 :** Exprimer et calculer la capacité totale  $C_{bat}$  de la batterie en Ah compte tenu de la quantité d'énergie batterie  $E_{bat}$  imposée par le cahier des charges.

**Question 15 :** Déterminer le nombre de lignes  $n$  (arrondir à l'entier inférieur). En déduire le nombre (ou quantités) de piles (ou modules) élémentaires contenu(e)s dans la batterie.

### Exercice 3 : (sur 11 points)

Pour améliorer le confort de conduite, la voiturette comporte une fonction « régulateur de vitesse ». Cette fonction programmée est basée sur une structure de type régulation. La figure 3 présente le modèle simplifié de cette structure.

Afin de valider le fonctionnement de cette fonction de régulation de la vitesse, le véhicule est testé sur un parcours prédéfini (plat suivi d'une pente à 15%).

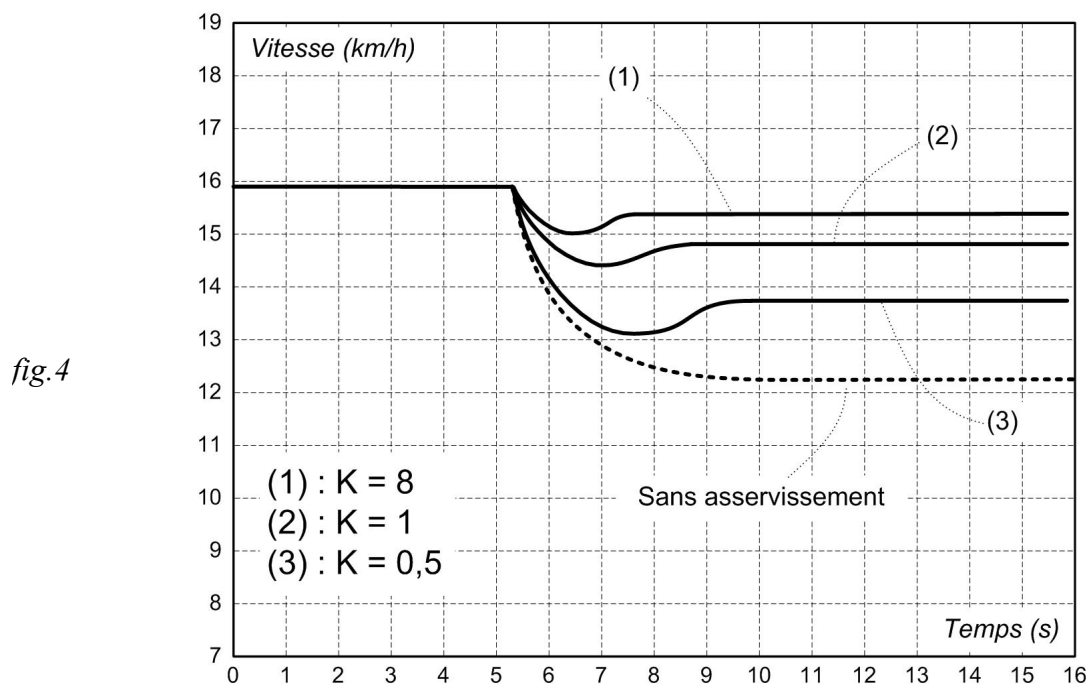
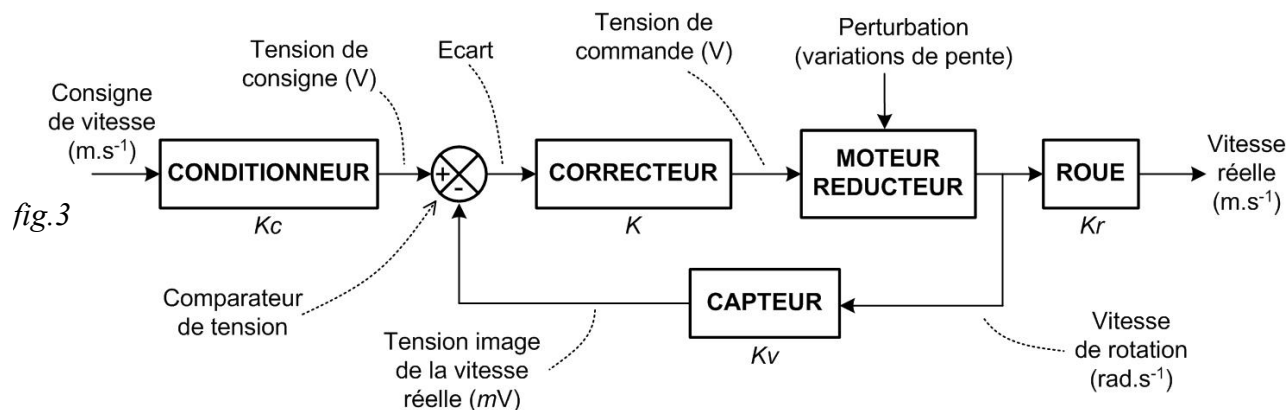
L'exigence de fonctionnement du cahier des charges pour le test est la suivante :

- pour une vitesse de consigne fixée à 16 km/h, quelques soient les variations du profil du parcours, le régulateur doit maintenir cette vitesse avec une précision de  $\pm 10\%$ .

Description du parcours de test :

- à  $t = 0s$  la voiturette roule à vitesse constante  $V = 16 \text{ km.h}^{-1}$  suivant une trajectoire horizontale.
- à  $t = 5,3s$  elle rencontre brusquement une pente à 15%.

La figure 4 présente les résultats des essais réalisés avec 3 paramétrages du correcteur différents.



### Travail demandé :

**Question 16 :** Préciser les éléments de la structure qui permettent un fonctionnement du système de régulation en « boucle fermée ».

**Question 17 :** Que vaut la valeur de l'écart si la vitesse réelle du véhicule est identique à la vitesse de consigne ? Définir la notion d'erreur statique.

**Question 18 :** Préciser la ou les bonnes valeurs  $K$  de paramétrage du correcteur qui permet de satisfaire l'exigence de fonctionnement. Justifiez en précisant les valeurs.

**Question 19 :** Déterminer la valeur du gain  $K_r$  du bloc ROUE sachant que le diamètre vaut 55,7 cm (référence pneu : 155/65/R14).

**Question 20 :** Déterminer la valeur du gain  $K_v$  correspondant à la sensibilité du CAPTEUR en mV/(rad.s<sup>-1</sup>) sachant que la plage de mesure de la vitesse  $V$  varie de 0 à 60 km/h et que la tension de sortie  $U_c$  doit varier de 0 à 5V.