

SY80 – EXAMEN AUTOMNE 2022

NOM :

PRENOM :

Une feuille A4 recto verso autorisée & fiches de synthèse – Calculatrice autorisée

1. Etude du véhicule électrique Tesla Model 3 Performance (10 points)

Remarque : plusieurs parties de ce problème sont indépendantes.

L'étude porte sur le véhicule électrique Tesla Model 3 Performance. Comme le montre la Figure 1, cette voiture est équipée de deux moteurs, un pour chaque essieu. Certaines hypothèses simplificatrices ont dû être prises impliquant de minimes modifications par rapport au véhicule réel.



Figure 1 : Tesla Model 3 Performance

| Features & Benefits | Specifications | Dimensions | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------|---------|-----------------|------|-----------------|-------|----------|------------------------------------|---------------|-----|-------------|---|-------------------------------|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• High energy density• Long stable power and long run time• Ideal for notebook PCs, boosters, portable devices, etc. | <table border="1"><tr><td>Rated capacity⁽¹⁾</td><td>4650mAh</td></tr><tr><td>Maximal Voltage</td><td>4.2V</td></tr><tr><td>Nominal voltage</td><td>3.65V</td></tr><tr><td>Charging</td><td>CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs</td></tr><tr><td>Weight (max.)</td><td>73g</td></tr><tr><td>Temperature</td><td>Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C</td></tr><tr><td>Energy density⁽³⁾</td><td>Volumetric: 686Wh/l Gravimetric: 247Wh/kg</td></tr></table> | Rated capacity ⁽¹⁾ | 4650mAh | Maximal Voltage | 4.2V | Nominal voltage | 3.65V | Charging | CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs | Weight (max.) | 73g | Temperature | Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C | Energy density ⁽³⁾ | Volumetric: 686Wh/l Gravimetric: 247Wh/kg | <p>Max. 21mm</p> <p>6.6 mm</p> <p>Max. 70mm</p> <p>For Reference Only</p> |
| Rated capacity ⁽¹⁾ | 4650mAh | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maximal Voltage | 4.2V | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nominal voltage | 3.65V | | | | | | | | | | | | | | | |
| Charging | CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs | | | | | | | | | | | | | | | |
| Weight (max.) | 73g | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperature | Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C | | | | | | | | | | | | | | | |
| Energy density ⁽³⁾ | Volumetric: 686Wh/l Gravimetric: 247Wh/kg | | | | | | | | | | | | | | | |

* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.

⁽¹⁾ At 20°C ⁽²⁾ At 25°C ⁽³⁾ Energy density based on bare cell dimensions

Figure 2 : caractéristiques cellules Panasonic

On donne les caractéristiques suivantes du véhicule :

- Masse : 1919 kg (avec batteries)
- 4416 cellules Li-Ion détaillées en Figure 2, organisées en (2*23 + 2*25) :
 - Energie maximale théorique utilisable de 82 kWh
 - Tension maximale (pleine charge) : 403,2 V
 - Rendement de la batterie : 100% en décharge, 100% en recharge
- Rayon des roues : 42,12 cm
- Surface frontale : 2,26 m²
- Coefficient de pénétration dans l'air : 0,23
- Coefficient de roulement : 0,02
- Réducteur entre les roues et le moteur
 - Rapport de réduction avant et arrière : K = 9,7

- Rendement de 100 %
- Rendement global des moteurs et de leur onduleur : $\eta_{\text{OND+MOT}} = 83 \%$
- Dans les phases de freinage, 60% de la puissance de freinage globale est assurée par les feins mécaniques avants et arrières.
- Caractéristiques des moteurs électriques (chaque moteur est contrôlé par son propre onduleur) :
 - Moteur arrière
 - Assure 2/3 de la puissance de traction (ou freinage)
 - Puissance maximale : 219 kW
 - Couple maximal : 450 Nm
 - Vitesse de rotation maximale : 15000 tr/min
 - Vitesse de base : 4200 tr/min.
 - Moteur avant
 - Assure 1/3 de la puissance de traction (ou freinage)
 - Puissance maximale : 148 kW
 - Couple maximal : 300 Nm
 - Vitesse de rotation maximale : 15000 tr/min
 - Vitesse de base : 4300 tr/min.
- Densité de l'air : $1,3 \text{ kg/m}^3$
- Constante d'accélération due à la pesanteur terrestre : $9,81 \text{ m/s}^2$

On rappelle l'équation du principe fondamental de la dynamique permettant de déterminer la puissance mécanique de traction globale du véhicule :

$$P_m = v \left(M_v \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} v^2 S C_x + M_v g \sin \alpha + M_v g C_r \cos \alpha \right)$$

La consommation électrique des équipements auxiliaires du véhicule est négligée.

Nous faisons l'hypothèse que le véhicule roule toujours sur le plat.

- 1.1 Réalisez proprement le schéma de principe du véhicule en faisant apparaître les différents éléments de la chaîne de traction du véhicule et leurs connexions (transmissions, réducteurs, moteurs, onduleurs, batterie).

1.2 En prenant en compte les caractéristiques de vitesse des moteurs, calculez la vitesse maximale théorique du véhicule en km/h.

1.3 On suppose que l'on peut consommer toute l'énergie théorique de la batterie. Quelle serait l'autonomie du véhicule en km pour des vitesses constantes de 50, 80 et 130 km/h ?

On donne un profil de vitesse suivi par le véhicule qui est divisé en 4 phases :

- Phase 1 : accélération constante de 0 km/h à 130 km/h en 8 s
- Phase 2 : vitesse constante à 130 km/h pendant 142 s
- Phase 3 : décélération constante de 130 km/h à 0 km/h en 10 s
- Phase 4 : arrêt pendant 10 s.

L'énergie consommé sur ce cycle est 2.051kWh

1.4 On fait l'hypothèse que la batterie peut se décharger totalement.

1.4.1. On suppose que le véhicule réalise toujours le même cycle. Calculez l'autonomie en km du véhicule.

1.4.2. La batterie est composée de cellules en série et en parallèle. En prenant en compte la tension maximale des cellules, déterminez le nombre de cellules en série et le nombre de branches parallèles. Remarque : attention au calcul de l'énergie d'une cellule qui se fait en considérant la tension nominale de la cellule.

1.5 La Figure 3 présente les caractéristiques de puissance mécanique maximale et de couple maximal des deux moteurs électriques. Complétez la figure en traçant :

- l'allure de la courbe de puissance maximale du moteur arrière en fonction de la vitesse
- l'allure de la courbe de couple maximal du moteur avant en fonction de la vitesse

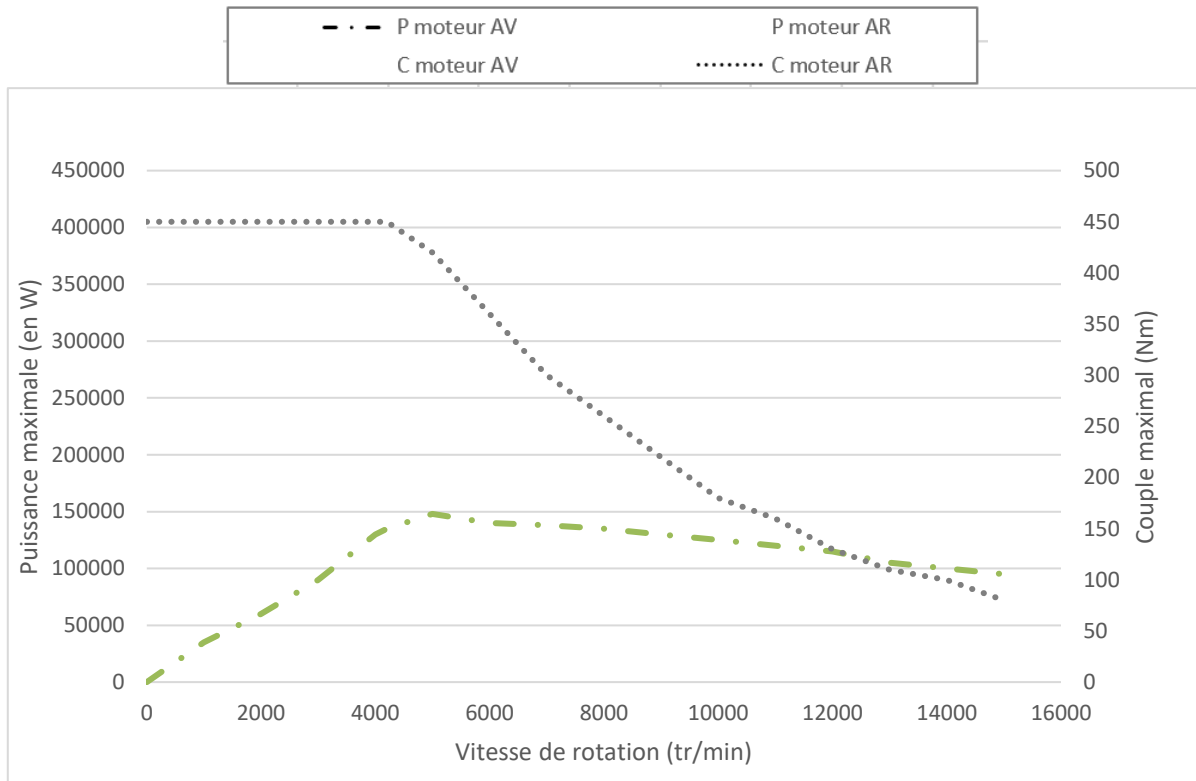


Figure 3 : caractéristiques de puissance mécanique maximales et couple maximal des deux moteurs électriques

2. Questions de cours (5 points).

Complétez le tableau suivant en cochant soit la case OUI ou la case NON en fonction de l'affirmation proposée.

- Réponse correcte : + 0,25 point
- Réponse fausse : - 0,125 point
- Pas de réponse : 0 point

| N° | Affirmation | OUI | NON |
|----|---|-----|-----|
| 1 | Un des avantages du moteur électrique pour l'automobile est de pouvoir se passer d'embrayage et de boîte de vitesse à plusieurs rapports. | | |
| 2 | La puissance massique des moteurs thermiques est plus importante que celle des moteurs électriques synchrones à aimants permanents. | | |
| 3 | Les moteurs électriques peuvent atteindre des rendements de l'ordre de 95 à 98%. | | |
| 4 | Certains moteurs électriques peuvent avoir un couple maximal transitoire de près du double de leur couple nominal. | | |

| | | | |
|----|---|--|--|
| 5 | Les moteurs électriques sont techniquement beaucoup plus complexes et moins fiables que les moteurs thermiques utilisés dans le domaine automobile. | | |
| 6 | Le contrôleur de puissance permet de piloter le couple, la puissance et le sens de rotation du moteur électrique auquel il est associé. | | |
| 7 | L'énergie est le transfert de puissance divisé par une unité de temps. | | |
| 8 | Dans un véhicule électrique, la batterie d'accumulateurs est le système le plus complexe et le plus sensible aux conditions environnementales. | | |
| 9 | La décharge profonde des accumulateurs à base de lithium ne présente aucun risque. | | |
| 10 | Les accumulateurs Lithium sont tolérants aux surcharges. | | |
| 11 | L'ordre de grandeur de l'énergie massique des meilleures cellules Li-Ion est de d'environ 3000 Wh/kg. | | |
| 12 | La tension nominale d'un accumulateur Li-ion standard est d'environ de 3,2 à 3,6 V. | | |
| 13 | La durée de vie d'un accumulateur dépend fortement de la profondeur de décharge à laquelle il est soumis. | | |
| 14 | Dans le futur, la majorité de la production d'hydrogène mondiale n'émet pas de gaz à effet de serre. | | |
| 15 | La molécule de dihydrogène est présente telle quelle, sans être combinée à d'autres atomes, en abondance dans l'environnement terrestre. | | |
| 16 | L'hydrogène est le combustible qui dispose de la plus grande densité massique d'énergie. | | |
| 17 | L'hydrogène est le combustible qui dispose de la plus grande densité volumique d'énergie. | | |
| 18 | Une pile à combustible est un système qui produit de l'électricité, de la chaleur et du CO ₂ . | | |
| 19 | Le rendement électrique maximal d'une pile à combustible PEM est de l'ordre de 80%. | | |
| 20 | Les systèmes à pile à combustibles pour l'automobile sont beaucoup plus compacts et légers que les accumulateurs Li-Ion à autonomie équivalente. | | |

3. Questions sur les projets (5 points).

Complétez le tableau suivant en cochant soit la case OUI ou la case NON en fonction de l'affirmation proposée.

- Réponse correcte : + 0,25 point
- Réponse fausse : - 0,125 point
- Pas de réponse : 0 point

Pour rappel, voici le détail des projets présentés ainsi que leurs dénominations #1 ou #2 en fonction de l'ordre de passage suivant. Les étudiants impliqués dans chacun des projets sont également rappelés.

8h15 - 8h50 : **Projet KARBIKES#1** - DUPONT, LE BRETON, AUDUC

8h55 - 9h30 : **Projet NESSY#1** - BARATHON, VAUTRIN, ZELLER, TRAPET

9h35 - 10h05 : **Projet ALPAZUR#1** - RAOUL, BAOUAB, TERKI

10h20 - 10h55 : **Projet NESSY#2** - FLEURY, GAUTHIER, GOMES

11h00 - 11h35 : **Projet KARBIKES#2** : BOIS, ROUSIER, DRECQ, COURTIAU

11h40 - 12h15 : **Projet ALPAZUR#2** - NICOLLE, DEROSSES, HECTOR

| N° | Affirmation | OUI | NON |
|----|--|-----|-----|
| 1 | Le premier VAE de Yamaha est commercialisé en 1993. | | |
| 2 | Le projet KARBIKES vise au développement d'un quadricycle monoplace à propulsion musculaire avec une assistance électrique. | | |
| 3 | Les membres des deux projets KARBIKES ont réalisés des missions « type » en vélo pour réaliser le dimensionnement de leurs chaînes de traction. | | |
| 4 | Les membres du projet KARBIKES#2 ont étudié différents scénarios de trajet possible en VAE avec des pentes à 5%. | | |
| 5 | Les moteurs pédaaliers ($P \leq 250W$) n'ont pas répondu au cahier des charges fixés par les membres des groupes de projets KARBIKES#1 & KARBIKES#2. | | |
| 6 | Le KARBIKES présente de nombreuses contraintes pour une utilisation optimale sur piste cyclable. | | |
| 7 | La norme sur les VAE concerne uniquement la limitation de vitesse, qui est fixée inférieure ou égale à 25 km/h. | | |
| 8 | Les membres du projet NESSY#2 ont réalisé une maquette simplifiée à l'échelle 1/100 au cours du projet. | | |
| 9 | Le projet NESSY est l'étude d'une flotte de 10 navires luxueux faisant la traversée du Lac Léman 6 heures par jour. | | |
| 10 | Les membres du groupe NESSY#1 ont réalisé des simulations du comportement aérodynamique et hydrodynamique du bateau. | | |
| 11 | Les membres du groupe NESSY#1 ont présenté une étude de stabilité du bateau. | | |

| | | | |
|----|--|--|--|
| 12 | La masse totale du bateau a été revue à la baisse pour les deux groupes de projet NESSY#1 & NESSY#2. | | |
| 13 | Une étude de l'existant et un benchmark des hydrojets existants ont été présentés seulement par le groupe NESSY#2 | | |
| 14 | Le projet ALPAZUR étudie la remise en service d'un autorail reliant Genève à Nice existant dans les années 80. | | |
| 15 | Pour leur dimensionnement, les deux groupes ayant travaillé sur le projet ALPAZUR ont étudiés le train hydrogène d'Alstom (Coradia iLint). | | |
| 16 | Les piles à combustible et réservoirs H2 seront placés sur le toit dans le cadre du projet ALPAZUR#2. | | |
| 17 | Les membres du projet ALPAZUR#2 ont étudié un cas de figure où seule la batterie fournit l'énergie et un second cas de figure où la pile à combustible fonctionne la plupart du temps (seule 2 accélérations sont fournies par la batterie). | | |
| 18 | Des profils de mission de type trapézoïdal ont été choisis pour les projets ALPAZUR#1 et ALPAZUR#2. | | |
| 19 | Les membres du projet ALPAZUR#1 ont fait une estimation du coût de la chaîne de traction de l'autorail s'élevant à plusieurs millions d'euros. | | |
| 20 | Les auxiliaires de l'espace cuisine n'ont pas été pris en compte dans le dimensionnement du projet ALPAZUR#1. | | |