

SY80 – EXAMEN AUTOMNE 2020

NOM :

PRENOM :

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée

1. Etude du véhicule électrique Tesla P90D (15 points)

Remarque : plusieurs parties de ce problème sont indépendantes.

L'étude porte sur le véhicule électrique Tesla P90D. 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.

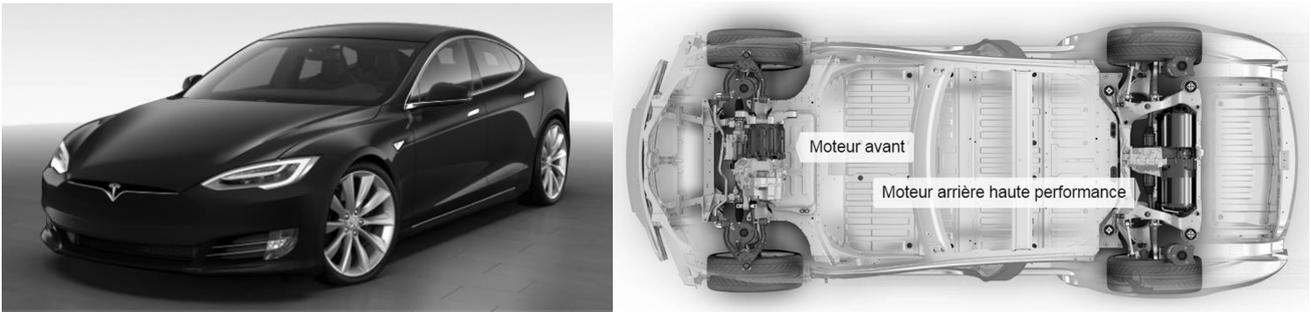


Figure 1 : Tesla P90D

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. <p>* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.</p>	<table border="1"><tr><td>Rated capacity⁽¹⁾</td><td>3176mAh</td></tr><tr><td>Maximal Voltage</td><td>4.2V</td></tr><tr><td>Nominal voltage</td><td>3.6V</td></tr><tr><td>Charging</td><td>CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs</td></tr><tr><td>Weight (max.)</td><td>48.5 g</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: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg</td></tr></table>	Rated capacity ⁽¹⁾	3176mAh	Maximal Voltage	4.2V	Nominal voltage	3.6V	Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs	Weight (max.)	48.5 g	Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C	Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg	<p>Max. 18.5 mm 6.6 mm Max. 65.3 mm For Reference Only</p>
	Rated capacity ⁽¹⁾	3176mAh														
	Maximal Voltage	4.2V														
	Nominal voltage	3.6V														
	Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs														
	Weight (max.)	48.5 g														
	Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C														
Energy density ⁽³⁾	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg															
<p>⁽¹⁾ At 20°C ⁽²⁾ At 25°C ⁽³⁾ Energy density based on bare cell dimensions</p>																

Figure 2 : caractéristiques cellules Panasonic

On donne les caractéristiques suivantes du véhicule :

- Masse : 2 328 kg (avec batteries)
- Un seul pack batterie à base de cellules Li-Ion détaillées en Figure 2 :
 - Energie maximale théorique utilisable de 90 kWh
 - Tension maximale (pleine charge) : 403,2 V
 - Rendement de la batterie : 100% en décharge, 100% en recharge
- Rayon des roues : 35,95 cm
- Surface frontale : 2,4 m²
- Coefficient de pénétration dans l'air : 0,24
- 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 : 300 kW
 - Couple maximal : 716 Nm
 - Vitesse de rotation maximale : 16 900 tr/min
 - Vitesse de base : 3 920 tr/min.
 - Moteur avant
 - Assure 1/3 de la puissance de traction (ou freinage)
 - Puissance maximale : 150 kW
 - Couple maximal : 358 Nm
 - Vitesse de rotation maximale : 16 900 tr/min
 - Vitesse de base : 4000 tr/min.
- Densité de l'air : $1,3 \text{ kg/m}^3$
- Constante d'accélération due à la pesanteur terrestre : $9,81 \text{ m/s}^2$

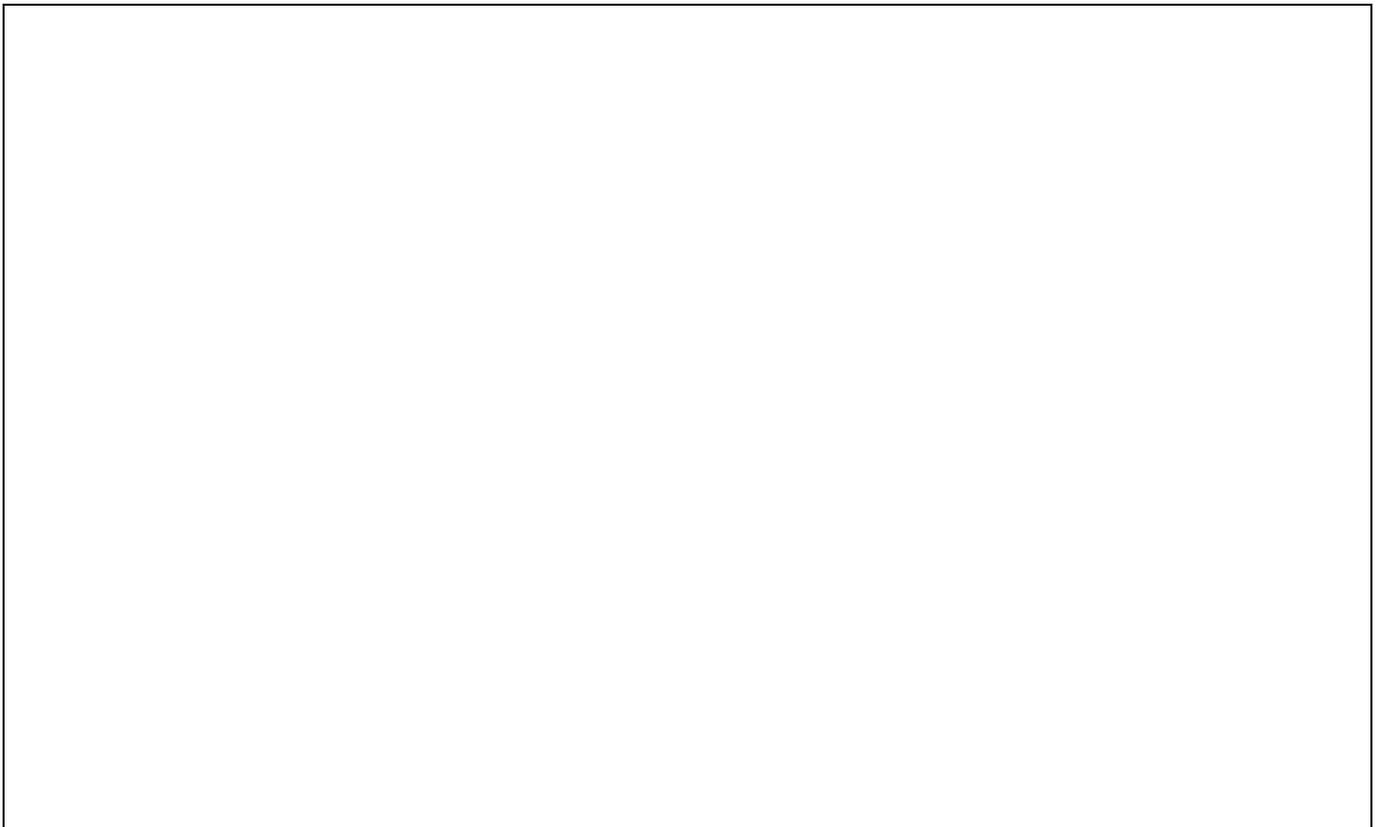
On rappelle l'équation du principe fondamental de la dynamique permettant de déterminer la puissance mécanique de traction globale du véhicule :

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

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.

1.4 Complétez le tableau ci-dessous (la phase 4 est volontairement omise).

Phase	Temps (s)	Vitesse (m/s)	Puissance mécanique moteur avant (W)	Puissance mécanique moteur arrière (W)	Puissance dissipée dans les freins (W)	Puissance batterie (W)
Début phase 1	0	0.0				
Fin phase 1	8					
Début phase 2	8					
Fin phase 2						
Début phase 3						
Fin phase 3						

1.5 Calculez l'énergie en Wh que devra fournir la batterie sur le cycle complet. On suppose que la puissance à la roue varie linéairement dans les phases d'accélération et de freinage.

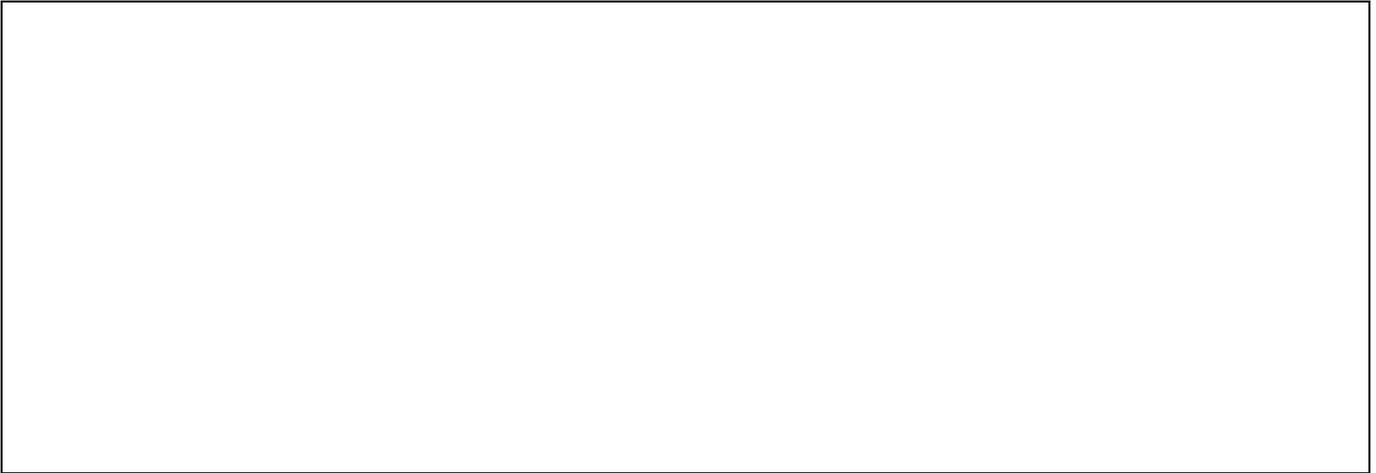
1.6 Calculez la distance parcourue sur un cycle ainsi que la vitesse moyenne sur le cycle.

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

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

1.7.2. 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.



1.8 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

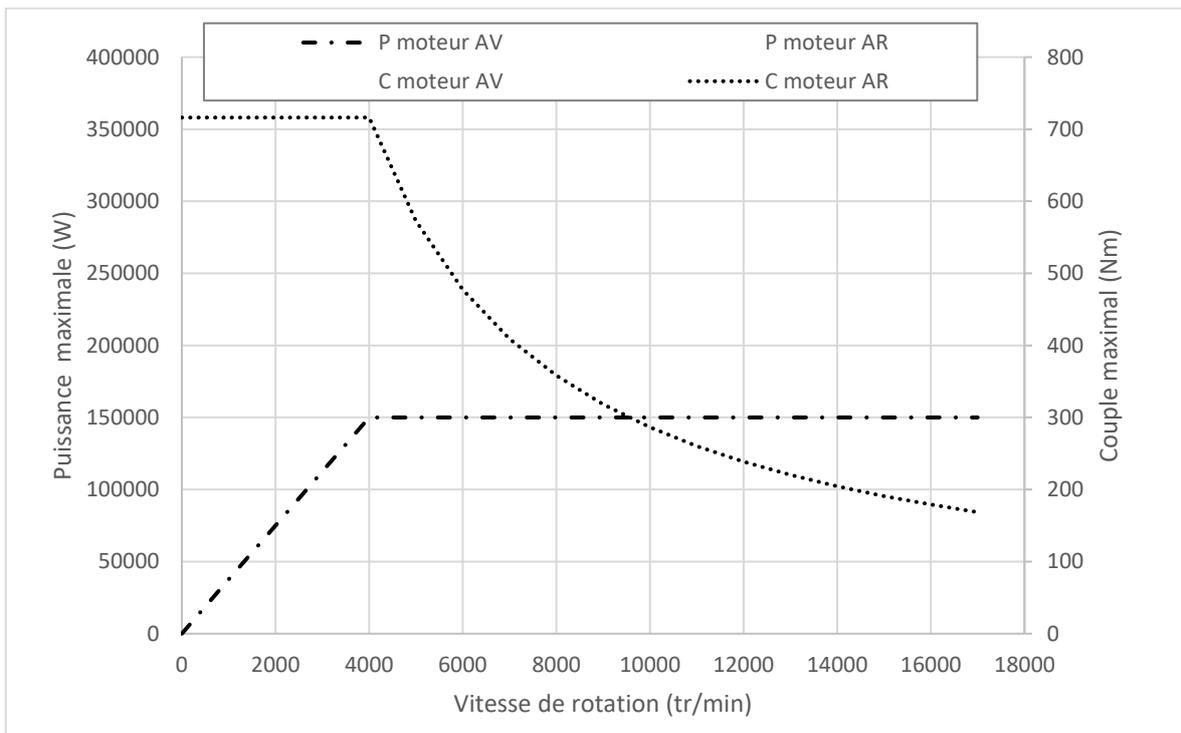


Figure 3 : caractéristiques de puissance mécanique maximales et couple maximal des deux moteurs électriques

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.

Règles du jeu pour les deux parties :

- 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 et 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.		
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	A l'heure actuelle, 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.		