

SM 58 – FINAL P14

NOM :

PRENOM :

Calculatrice, documents de cours et TD autorisés - Dictionnaires numériques interdits
SUJET A RENDRE AVEC LA COPIE

1. Exercice 1 (8 points).

L'étude propose de montrer l'intérêt de l'hybridation d'un moteur thermique pour une application automobile.

Hypothèses retenues pour cette étude :

- Le véhicule roule à 80 km/h à vitesse stabilisée sur route horizontale.
- Véhicule
 - Masse totale : 1300 kg
 - Coefficient $S.Cx = 0,55 \text{ m}^2$
 - Coefficient de résistance au roulement : 0,015
 - Densité de l'air : $1,25 \text{ kg/m}^3$
 - On considérera un rendement unitaire pour la transmission
- Moteur thermique :
 - Essence sans-plomb 95, 4 cylindres, 16 soupapes, cycle ATKINSON
 - Puissance maximum : 52 kW (70 CV)
 - Cylindrée : 1,5 litre
 - Courbe d'iso-consommation donnée en figure 1.

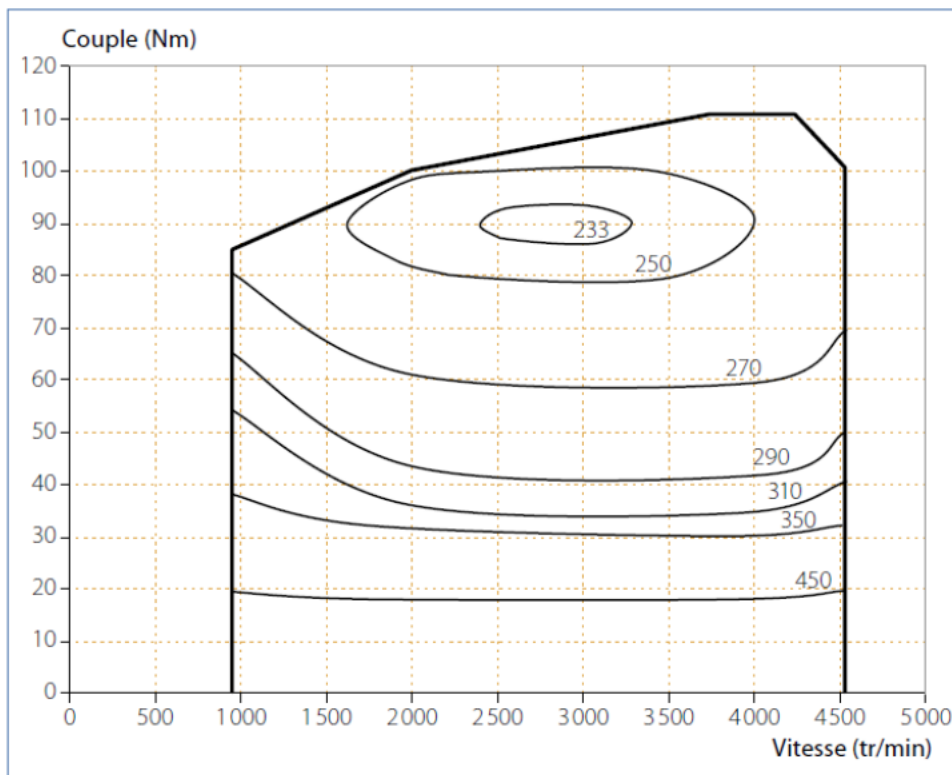


Figure 1 : consommation spécifique (g/kWh)

- Moteur électrique :
 - Puissance utile max = 33 kW
- Batterie d'accumulateurs

- Pmax durant la charge : 15 kW
- Energie utilisable : 720 Wh
- Carburant
 - Essence sans plomb 95
 - Energie massique : 42,7 MJ/kg
 - Emissions de CO₂ : 3,17 kg CO₂/kg essence
 - Densité : 0,745 kg/litre

1.1 Point de fonctionnement du moteur thermique seul à la vitesse stabilisée de 80 km/h (V₈₀)

- 1.1.1. Calculer la force de résistance à l'avancement totale du véhicule pour V₈₀
- 1.1.2. Calculer la puissance correspondante P₈₀ que doit fournir le moteur thermique pour la vitesse V₈₀.
- 1.1.3. Pour la puissance P₈₀, représenter sur la figure 1 les valeurs du couple Cr pour les valeurs de vitesse du moteur thermique comprises entre 1500 tr/min et 4500 tr/min.
- 1.1.4. Toujours pour la puissance P₈₀, calculer les rejets de CO₂ en gCO₂/km dans le cas le plus favorable parmi la gamme de vitesses comprise entre 1500 tr/min et 4500 tr/min.

1.2 Mise en évidence de l'intérêt d'une hybridation thermique-électrique pour les points de fonctionnement à la vitesse V₈₀

- Phase 1 : Le véhicule roule à 80 km/h avec le moteur thermique réglé sur son meilleur point de fonctionnement. Le moteur thermique entraîne le véhicule et recharge la batterie.
 - 1.2.1. Calculer la puissance que délivre le moteur thermique.
 - 1.2.2. En déduire la puissance disponible pour charger la batterie.
 - 1.2.3. La batterie étant déchargée, calculer le temps de charge en minutes pour ce régime de fonctionnement.
 - 1.2.4. Calculer la consommation de carburant en kg ainsi que la distance parcourue durant cette phase 1.
- Phase 2 : La batterie d'accumulateurs est chargée, le véhicule roule à 80 km/h avec le moteur thermique éteint. Seul le moteur électrique entraîne le véhicule.
 - 1.2.5. Calculer le temps de décharge en minutes de la batterie pour ce régime de fonctionnement ainsi que la distance parcourue par le véhicule.
- Conclusion
 - 1.2.6. Calculer les rejets de CO₂ en gCO₂/km pour cette motorisation. Conclure sur l'intérêt de l'hybridation.

2. Exercice 2 (7 points)

Les 14 et 15 juin 2014 ont eu lieu la célèbre course des 24 heures du Mans. Trois équipes étaient présentes dans la catégorie la plus performante (LMP1-H), Audi, Toyota et Porsche. Ces 3 équipes présentaient des véhicules hybrides avec diverses architectures.



Figure 2: les 3 voitures LMP1-H des 24h du Mans : Audi, Porsche et Toyota

- Architecture du véhicule Audi R18 e-tron quattro:
 - Le moteur diesel turbocompressé V6 TDI de 510 ch (37 kW) et 850 Nm transmet sa puissance aux roues arrière via une boîte de vitesse. Une génératrice électrique est connectée au turbocompresseur du moteur diesel afin de récupérer l'énergie cinétique des gaz d'échappement pour la convertir en électricité. Cette énergie électrique est ensuite envoyée vers un système de stockage à volant d'inertie électrique capable de stocker 2 MJ par tour.
 - Les deux roues avant sont reliées chacune à un moteur électrique de 80 kW via un réducteur. Cela permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique du véhicule au freinage, de la transformer en énergie électrique et de la stocker dans le volant d'inertie (un seul volant d'inertie pour la voiture). Les moteurs avant fournissent ensuite un surplus de puissance lors des phases d'accélération en consommant l'énergie du volant d'inertie.
- Architecture du véhicule Toyota TS040
 - Le Moteur essence V8 turbo de 520 ch transmet sa puissance aux roues arrière via une boîte de vitesse.
 - Deux machines électriques avec une puissance cumulée de 480 cv (353 kW) :
 - Un moteur électrique est connecté au vilebrequin du moteur thermique. Il permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique du véhicule au freinage, de la transformer en énergie électrique et de la stocker dans un pack de supercondensateurs de 6,2 MJ utiles par tour. Le moteur électrique fournit ensuite un surplus de puissance lors des phases d'accélération en consommant l'énergie du pack de supercondensateurs.
 - Les roues avant sont reliées à un seul moteur électrique via un réducteur. Cela permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique du véhicule au freinage, de la transformer en énergie électrique et de la stocker dans les supercondensateurs (les mêmes que ci-dessus). Le moteur électrique fournit ensuite un surplus de puissance lors des phases d'accélération en consommant l'énergie du pack de supercondensateurs.
- Architecture du véhicule Porsche 919 hybrid :
 - Le moteur essence V4 turbocompressé de 500 ch transmet sa puissance aux roues arrière via une boîte de vitesse. Une génératrice électrique est entraînée par une turbine installée dans la ligne d'échappement du moteur thermique afin de récupérer l'énergie cinétique des gaz d'échappement pour la convertir en électricité. Cette énergie électrique est

ensuite envoyée vers un système de stockage à base de batteries Li-Ion capable de stocker 6,2 MJ par tour.

- Les deux roues avant sont reliées à un seul moteur électrique de 250 ch (184 kW) via un réducteur. Cela permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique du véhicule au freinage, de la transformer en énergie électrique et de la stocker dans la batterie (la même que ci-dessus). Les moteurs fournissent ensuite un surplus de puissance lors des phases d'accélération en consommant l'énergie de la batterie. La batterie fixe la tension du bus DC.

2.1 Sur les figures 3, 4 et 5, réaliser un schéma de principe propre et détaillé (moteur thermique, machines électriques, convertisseurs de puissance, stockage, etc.) de l'architecture de la chaîne de traction des trois véhicules.

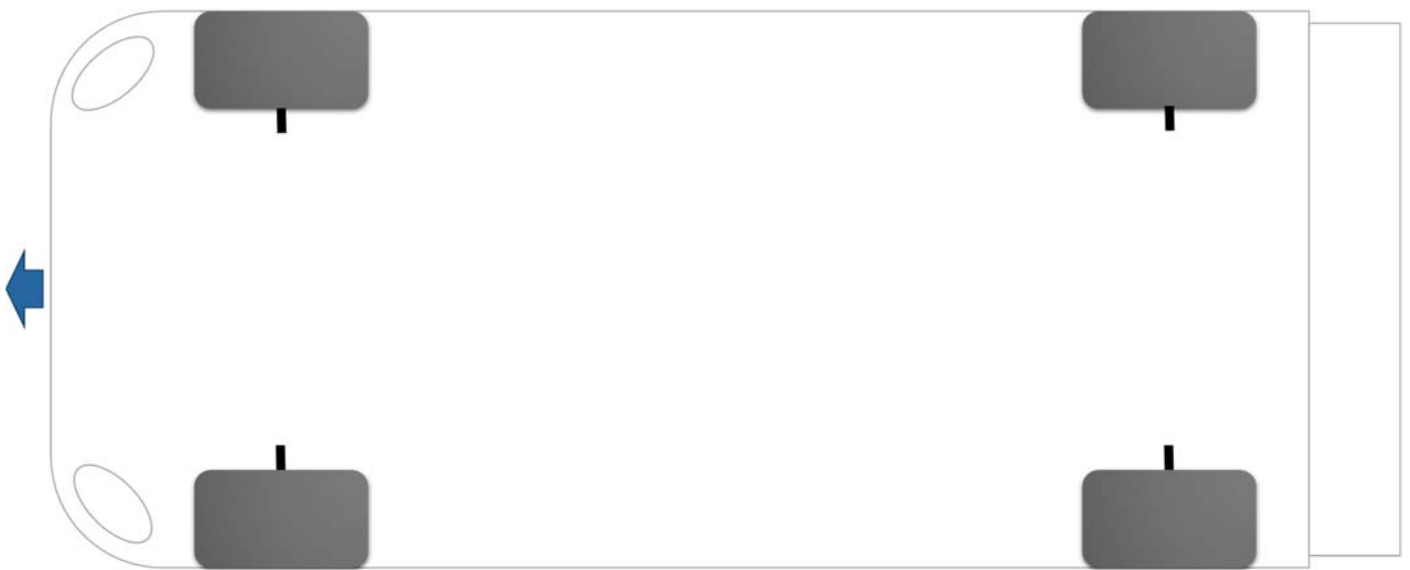


Figure 3 : Audi R18 e-tron

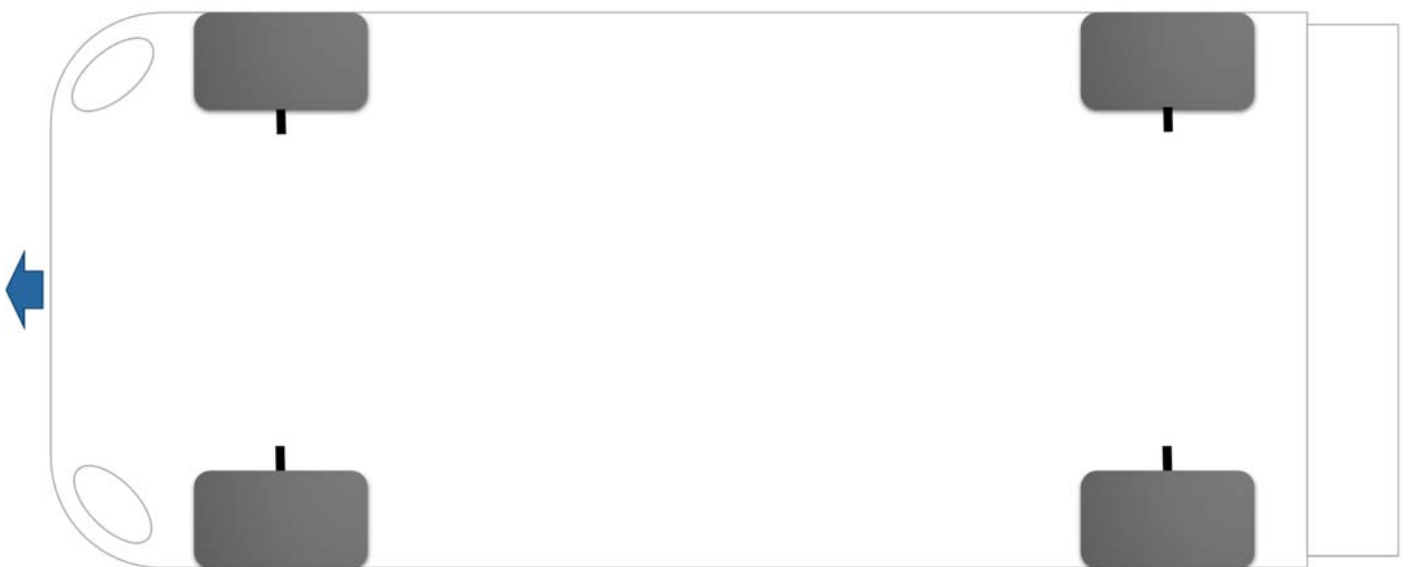


Figure 4 : Toyota TS040

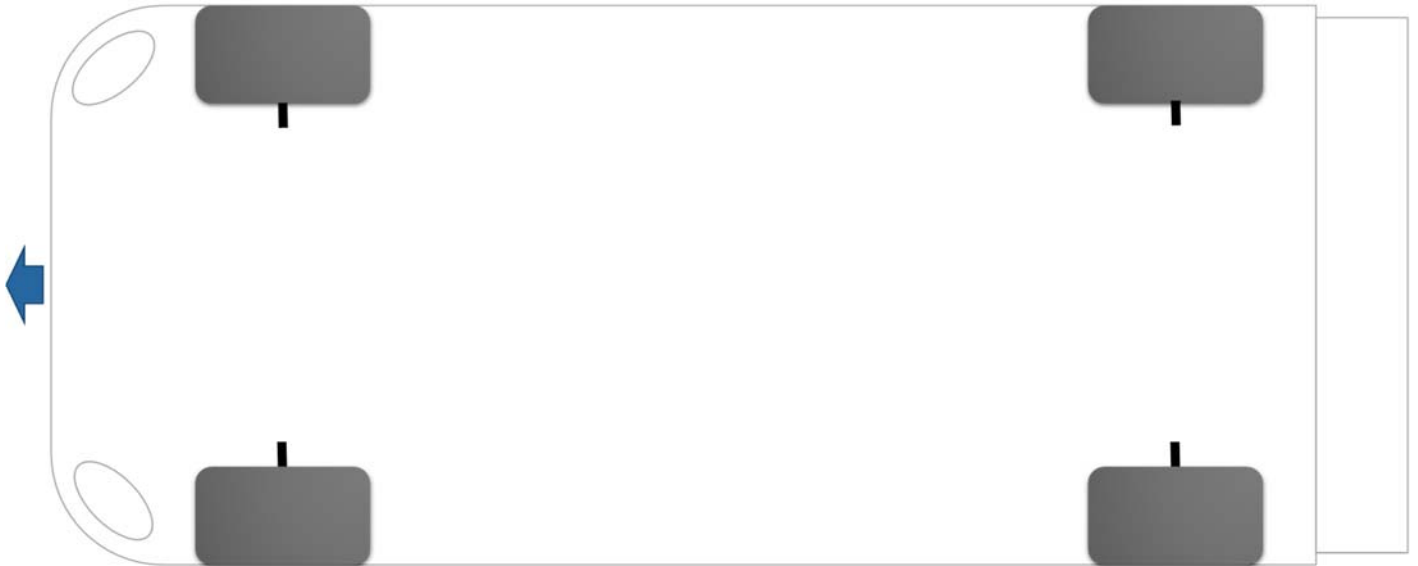


Figure 5 : Porsche 919 hybrid

2.2 Dimensionnement du système de stockage de la Porsche 919 hybrid

La batterie est composée de 2 branches en parallèle. Chaque branche est composée de 67 cellules en série. On utilisera pour les calculs la tension nominale de la cellule.

Les cellules utilisées sont des A123, LiFePO₄ 20Ah avec les caractéristiques suivantes :

- Tension nominale : 3.3 V
- Capacité C : 19.5 Ah
- Tension décharge max : 2.5 V
- Tension charge max : 3.8 V
- Courant de décharge optimal : <10 A ou 0.5C
- Courant décharge max : <400 A ou 20C
- Courant décharge pic : <600 A ou 30C (5 sec)
- Courant charge optimum : <10 A ou 0.5C
- Courant charge Maximum : <20 A ou 1C
- Durée de vie: 3000 cycles à 100% décharge profonde et 85% de la capacité initiale
- Température de travail Max : 55 °C
- Dimensions : 7.25 x 160 x 227 mm
- Poids : 496 g

2.2.1. Calculer la densité d'énergie nominale d'une cellule (Wh/kg).

2.2.2. Connaissant les caractéristiques de la voiture, quelle sera la variation d'état de charge en % de la batterie pour un tour ? On suppose que les rendements de la chaîne de traction électrique sont unitaires.

2.2.3. En phase d'accélération maximale, quel sera le courant délivré par une cellule ? Est-ce que la batterie fonctionnera selon les préconisations de A123 ? Justifiez.

3. QCM - 5 points

Règles du jeu : réponse correcte : +0,5 point ; réponse fausse : - 0,5 point ; pas de réponse : 0 point

Questions	OUI	NON
Les véhicules électriques ne rejettent aucun gaz à effet de serre lorsqu'ils sont en fonctionnement.		
L'impact sur la production d'énergie électrique annuelle en France de la recharge d'un million de véhicule électrique serait négligeable.		
Aujourd'hui, un moteur électrique est beaucoup moins cher à fabriquer qu'un moteur thermique à performances égales.		
Le véhicule hybride rechargeable semble être aujourd'hui le véhicule qui est le plus efficace d'un point de vue consommation de carburant, performances et autonomie.		
L'hydrogène est le carburant qui a la meilleure densité d'énergie volumique.		
Un véhicule à pile à combustible est en général équipé d'un système complémentaire de stockage d'énergie électrochimique.		
La fabrication d'électricité à partir d'une centrale nucléaire émet beaucoup de gaz à effet de serre.		
D'un point de vue environnemental, il est préférable de rouler en véhicule diesel hybride en Pologne plutôt qu'en véhicule électrique.		
Le système hybride à dérivation de puissance est aujourd'hui la technologie la plus simple pour un véhicule hybride.		
Le concept du véhicule hybride a été inventé il y a quelques années.		