

FINAL ER63 – PRINTEMPS 2017

NOM :

SIGNATURE :

PRÉNOM :

Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée
Dictionnaire numérique interdit – Ne pas dégrafer le document

1. Volant d'inertie – 4 points

Une alimentation de secours utilise un volant d'inertie comme unité de stockage d'énergie. Le volant d'inertie étudié permet de stocker une énergie maximale de 2 kWh à une vitesse de rotation maximale de 40 000 tr/min.

1.1 Calculer le moment d'inertie J du volant d'inertie.

1.2 Le moment d'inertie J d'un cylindre plein tournant autour d'un axe est donné par la relation $J = \frac{1}{2}mR^2$ avec m la masse du cylindre et R son rayon. Calculer la masse m du cylindre du volant d'inertie en question pour un rayon égal à 10 cm.

Le volant d'inertie fonctionne en pratique pour une vitesse de rotation comprise entre 15 000 et 40 000 tr/min. Cette plage de vitesse correspondra donc à l'énergie utile disponible qui sera à prendre en considération pour les calculs suivants.

1.3 Calculer la durée pendant laquelle le volant d'inertie restitue l'énergie emmagasinée si la puissance débitée est égale à 100 W et tracer sur la Figure 1 la caractéristique liant la puissance au temps de décharge.

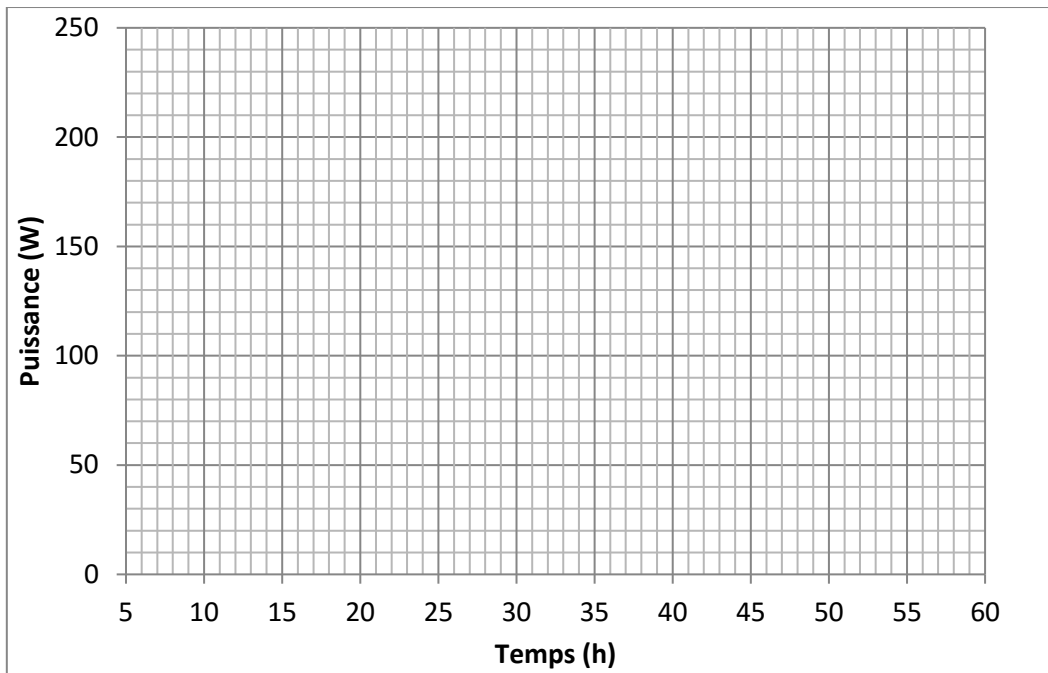


Figure 1 : variation puissance volant d'inertie

2. Questions de cours – 5 points

Pour chaque question, cochez la case OUI ou NON.

Bonne réponse : + 0,25 point. Mauvaise réponse : – 0,25 point. Pas de réponse : 0 point.

Question	OUI	NON
Le gaz butane n'est pas un hydrocarbure		
Les biocarburants ne rejettent aucun polluant lors de leur combustion		
Il est possible de faire des recharges rapides avec des accumulateurs au plomb		
La durée de vie de l'accumulateur dépend très fortement du DoD		
Les supercondensateurs sont basés sur le principe de l'oxydoréduction		
La capacité d'un supercondensateur s'exprime en ampère heure		
Les batteries Ni-Mh sont influencées par l'effet mémoire		
Les batteries NI-Cd dégagent de la chaleur sur tout le cycle de charge		
Les accumulateurs au lithium sont basés sur le principe de l'intercalation		
Les accumulateurs Lithium sont tolérants aux surcharges		
Le BMS est nécessaire pour assurer l'équilibrage des cellules d'un pack d'accumulateur Lithium		
La technologie Lithium est celle aujourd'hui privilégiée par de nombreux constructeurs d'avions civils pour leur système de secours		
Les accumulateurs à base de sodium-chlorure de nickel sont insensibles à la température ambiante		

Les véhicules hybrides non rechargeables nécessitent des batteries de très grande capacité		
Les supercondensateurs disposent d'une énergie massique comparable aux accumulateurs Ni-MH		
Le domaine d'application des volants d'inertie peut être identique à celui des supercondensateurs		
L'énergie disponible dans une STEP dépend du diamètre de la canalisation reliant les deux retenues d'eau		
L'énergie disponible dans les batteries stationnaires à circulation « redox flow » dépend du volume des deux réservoirs d'électrolytes		
Les systèmes de stockage d'énergie utilisant de l'hydrogène ont des rendements élevés		
La STEP est aujourd'hui un des systèmes de stockage d'énergie le plus économique en €/kWh		

3. Problème (11 points)

L'objectif de l'étude consiste en un dimensionnement d'une chaîne de traction hybride pour automobile. On propose d'associer au moteur thermique essence (SP 95) dans un premier temps un moteur électrique associé à un pack de batteries Ni-Mh, puis à un pack de supercondensateurs.

L'architecture est de type hybride parallèle. Le moteur électrique est placé sur l'essieu de roues après la transmission du moteur thermique. Le moteur électrique est utilisé en complément de puissance lors des phases d'accélération (**50 %** de la puissance totale à la roue) et récupère **70 %** de l'énergie cinétique lors des phases de freinage à la roue. À vitesse constante, seul le moteur thermique est utilisé pour la traction et une part de sa puissance est utilisée pour recharger en partie l'élément de stockage.

On donne le cycle de référence sur la Figure 2, d'une durée de 60 s, représentant la vitesse du véhicule en fonction du temps.

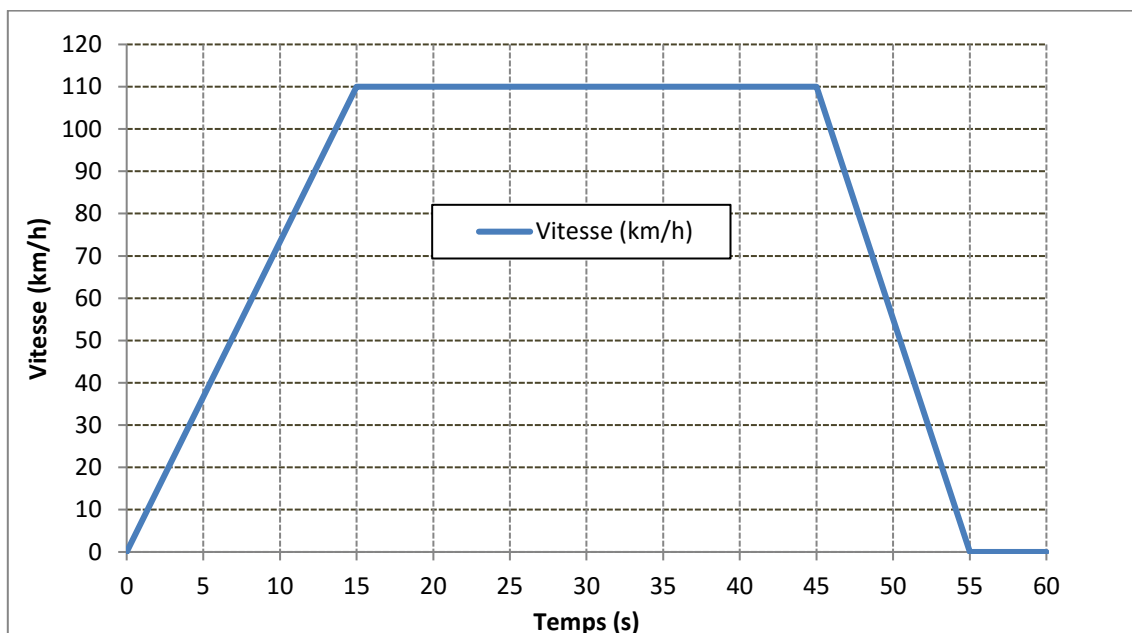


Figure 2 : cycle de vitesse

On donne sur la Figure 3 le cycle de puissance à la roue en fonction du temps ainsi que l'apport de puissance du moteur électrique à la roue.

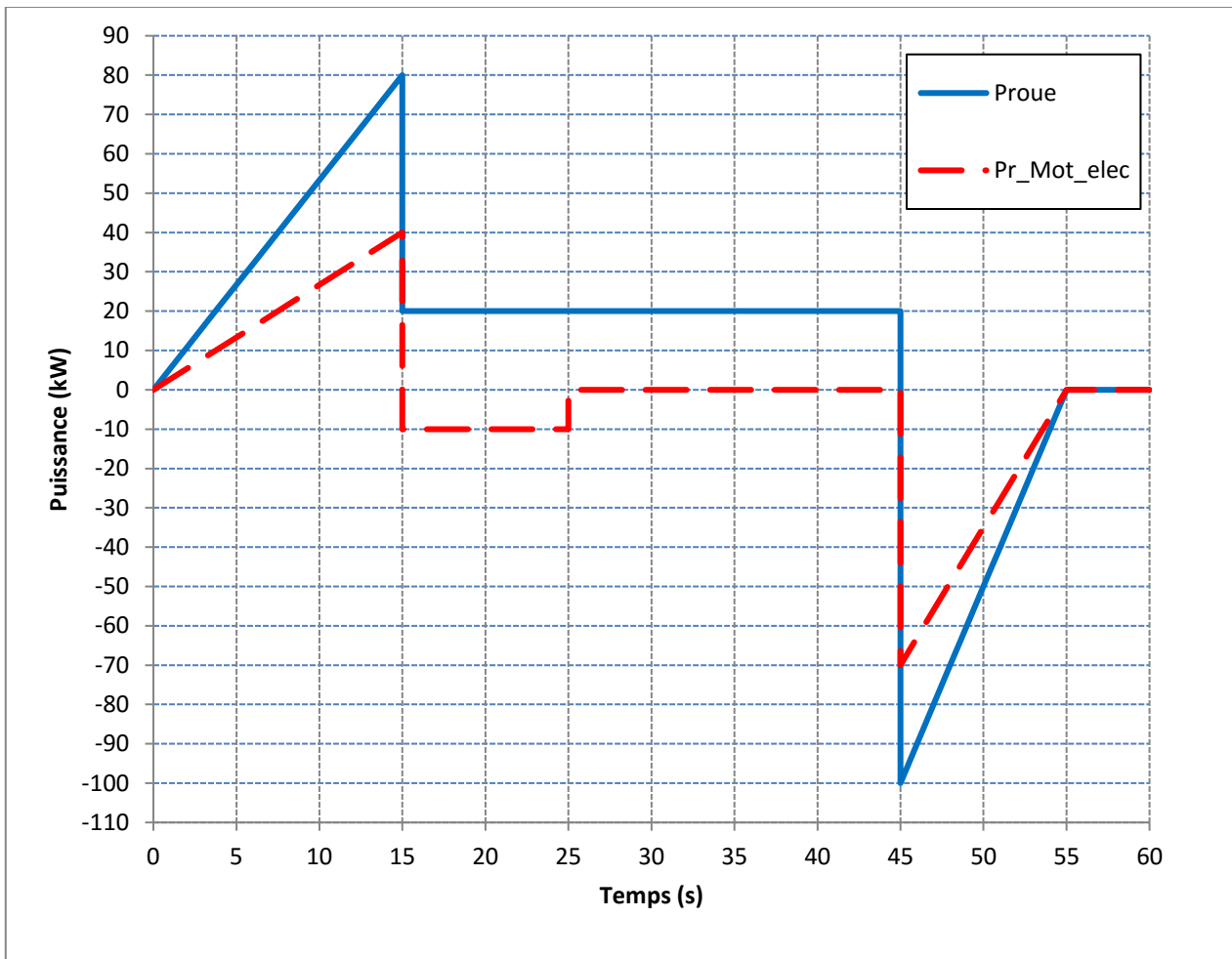


Figure 3 : puissances

3.1 Questions générales

3.1.1. Quelle est la distance parcourue par le véhicule ?

3.1.2. Quelle est la vitesse moyenne du véhicule en km/h ?

3.1.3. Quel est l'intérêt d'utiliser ce type d'architecture hybride pour une voiture ?

3.1.4. Tracer sur la Figure 3 l'allure de la variation de puissance apportée par le moteur thermique au niveau de la roue P_{R_Mth} .

3.2 Hybridation par batteries Ni-Mh

Le schéma de principe de la chaine de traction est donné sur la Figure 4.

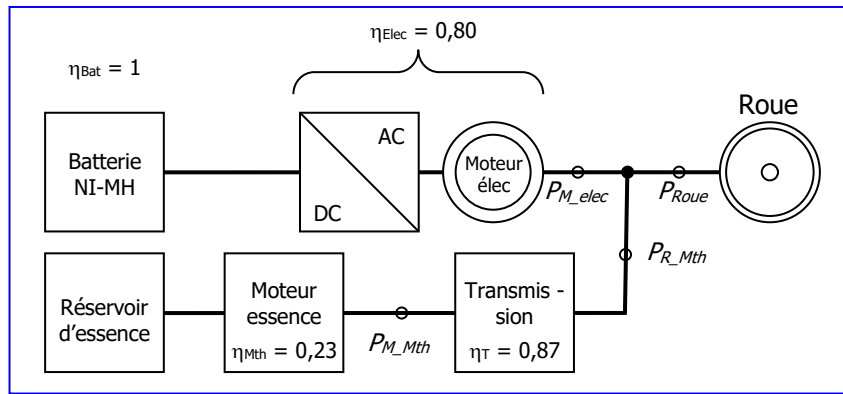


Figure 4 : schéma de principe de la chaîne de traction

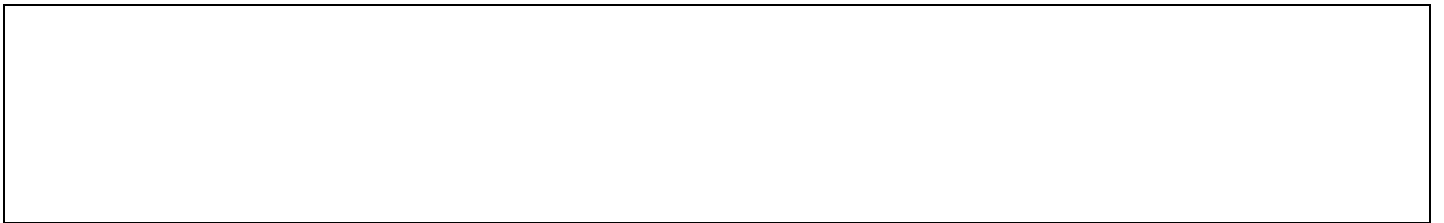
Données

- Moteur thermique
 - Rendement du moteur : 23 %
 - Rendement de la transmission du moteur thermique jusqu'à la roue : 87 %
 - PCI essence = 42,7 MJ/kg, densité volumique essence = 745 kg/m³
- Chaîne de traction électrique
 - Batterie
 - Rendement la batterie : 100 % (charge et décharge)
 - Tension nominale cellule : 1,2 V
 - Capacité nominale : 45 Ah
 - Énergie spécifique : 60 Wh/kg
 - Densité d'énergie : 115 Wh/l
 - Puissance spécifique : 2 000 W/kg
 - Variation tolérée du SOC sur le cycle : 5 %
 - Rendement du moteur électrique et du convertisseur associé : 80 %
 - La tension du bus continu est imposée par la batterie.

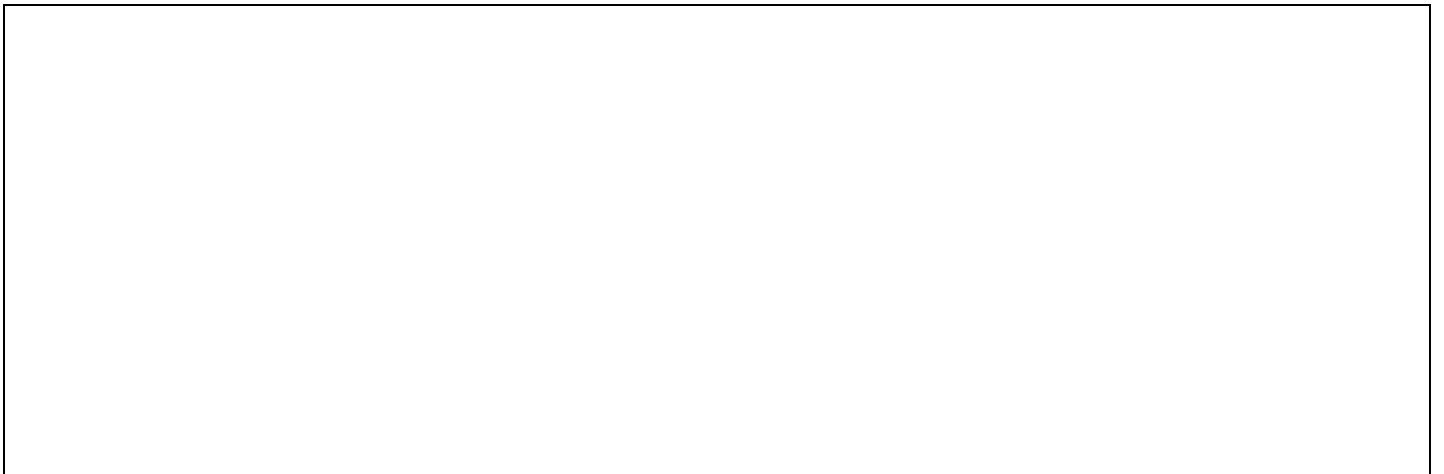
3.2.1. Quelle est l'économie de carburant réalisée (en litres pour 100 km) par l'utilisation de l'architecture hybride par rapport à l'utilisation d'un véhicule essence conventionnel sur le même cycle ?
 Remarques : on considère que le poids du véhicule ne change pas. Si vous n'avez pas répondu à la question 3.1.1, prenez en compte une distance parcourue de 1300 m sur le cycle.



3.2.2. Tracer sur la Figure 3 l'allure de la puissance aux bornes de la batterie et donner ci-dessous la valeur de la puissance batterie pour $t = 15$ s (fin phase accélération), $t = 20$ s, $t = 45$ s (début phase de freinage).



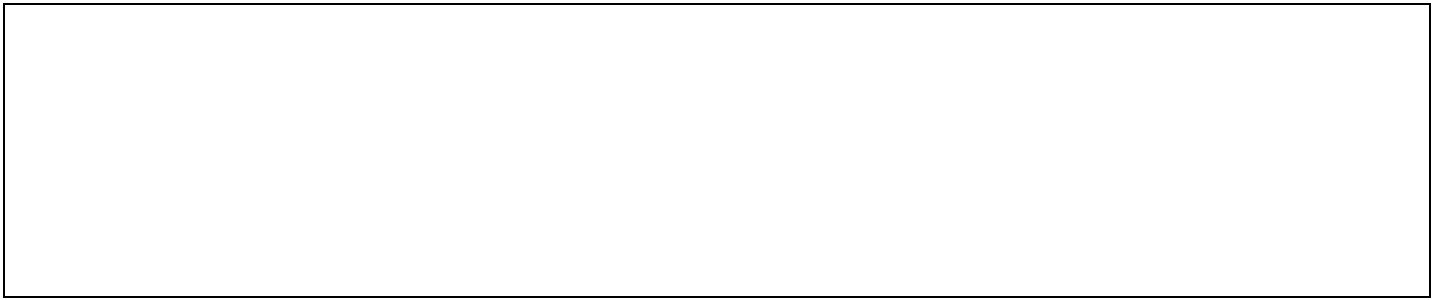
3.2.1. Déterminer l'énergie fournie par la batterie à l'accélération sur le bus DC et l'énergie récupérée par la batterie au freinage. Que peut-on remarquer ?



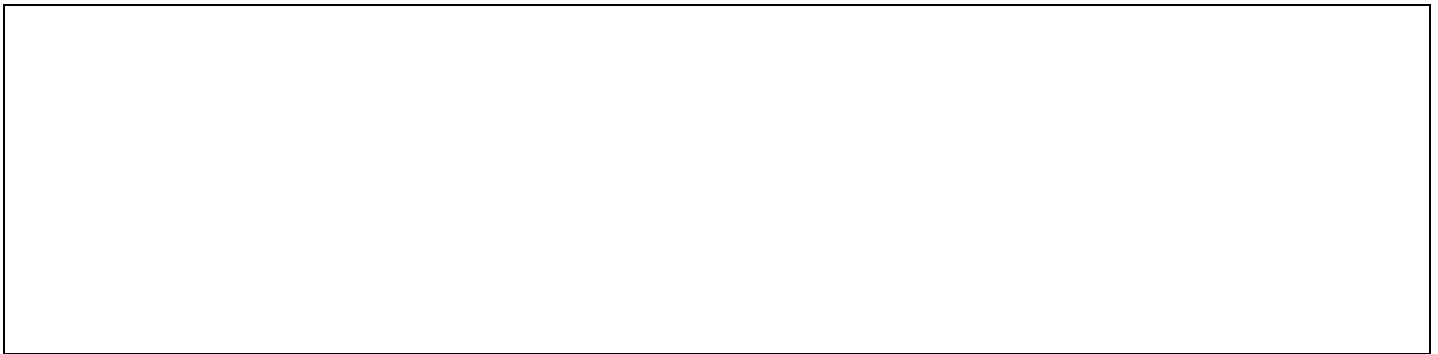
3.2.2. Quel est l'intérêt d'avoir une si faible variation du SOC tolérée sur la batterie ?



3.2.3. Calculer la masse et le volume de la batterie (attention à la variation tolérée du SOC sur le cycle).



3.2.4. Calculer le nombre de cellules à mettre en série dans le pack (pas de branches en parallèle).



3.3 Hybridation par supercondensateurs

On souhaite remplacer la batterie par un pack de supercondensateurs associé au convertisseur de puissance adéquat (même cycle de puissance).

La Figure 5 présente le nouveau schéma détaillé du système

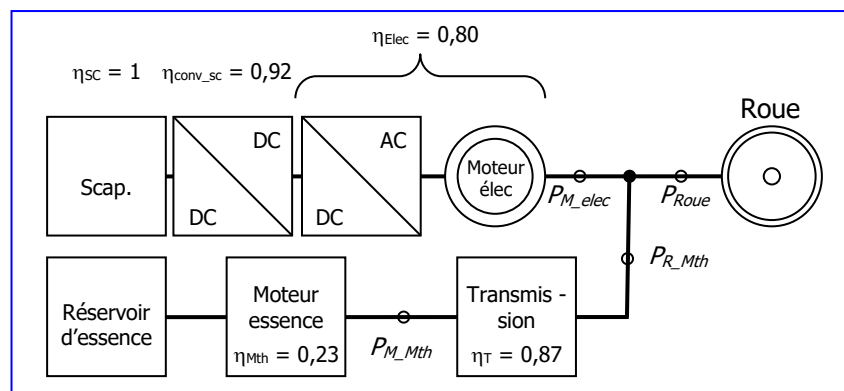


Figure 5 : hybridation par supercondensateurs

Données :

- Rendement convertisseur Scap : 92 %
- Cellules supercondensateurs à disposition
 - Capacité cellule : $C_{sc} = 650 \text{ F}$
 - Tension max cellule : $U_{sc_max} = 2,7 \text{ V}$
 - Tension min cellule : $U_{sc_min} = 1,35 \text{ V}$
 - Résistance série : $R_s = 0.6 \text{ m}\Omega$
 - Cellule cylindrique : longueur 55 mm, diamètre 61 mm, poids : 160 g
 - La tension d'utilisation maximale du module de supercondensateurs est de 351 V.
 - Le module de supercondensateurs est constitué de cellules en série et de plusieurs branches en parallèle.

On néglige les pertes dans la résistance interne des supercondensateurs. Le pack est entièrement chargé au début du cycle.

3.3.1. Déterminer l'énergie nécessaire à fournir par le pack de supercondensateurs lors de la phase d'accélération.

3.3.2. Déterminer le nombre de cellules de supercondensateurs à utiliser et leur configuration (série + branches en parallèle) pour alimenter le véhicule lors de la phase d'accélération. Quelle est l'énergie maximale disponible dans le module ?

3.3.3. Quelle est la valeur de la résistance équivalente du module de supercondensateurs ?

3.3.4. Calculer la masse (kg) et le volume (litre) du pack de supercondensateurs.