

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION 2014

U22 - SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures - Coefficient : 2

SUJET

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet est composé de 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

Matériel autorisé

Une calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans moyen de transmission, à l'exclusion de tout autre élément matériel ou documentaire. (Circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999 ; BOEN n°42).

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

CODE EPREUVE : 1406MOE2SC	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPECIALITE : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION : 2014	SUJET	EPREUVE : U22 - SCIENCES PHYSIQUES	
Durée : 2 h	Coefficient : 2	SUJET N° : 17ED14	Page : 1/8

Voiture électrique à autonomie étendue

L'étude porte sur l'Opel Ampera munie de la technologie E-REV (Extended- Range Electric Vehicle).

Cette voiture est équipée d'un moteur électrique (111 kW – 150 ch) alimenté par une batterie haute tension HT lithium-ion (16 kWh – 360 V). Elle peut fonctionner en mode 100 % électrique sur un parcours de 40 à 80 km.

Lorsque la charge de la batterie devient faible, la voiture passe en mode extension d'autonomie : un moteur thermique essence (1,4 L- 86 ch) alimente alors un générateur qui produit du courant pour maintenir un niveau de charge suffisant de la batterie. L'autonomie de la voiture est alors augmentée d'environ 500 km.

La batterie peut également être branchée sur n'importe quelle prise domestique 230 V pour être rechargée. C'est le mode " recharge batterie ".

Quelle que soit la situation ou la vitesse, les roues de la voiture sont entraînées en permanence par le moteur électrique.

Schéma de principe de fonctionnement :

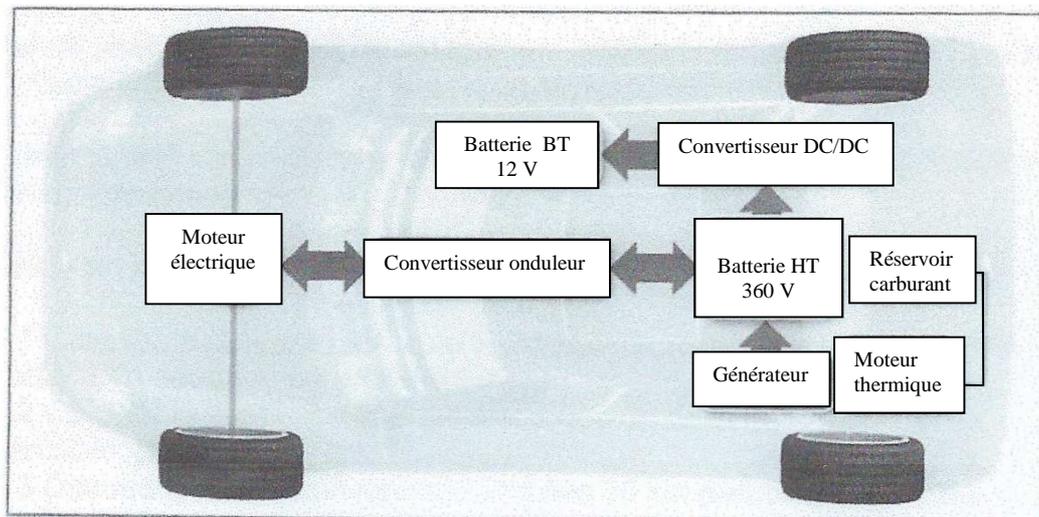


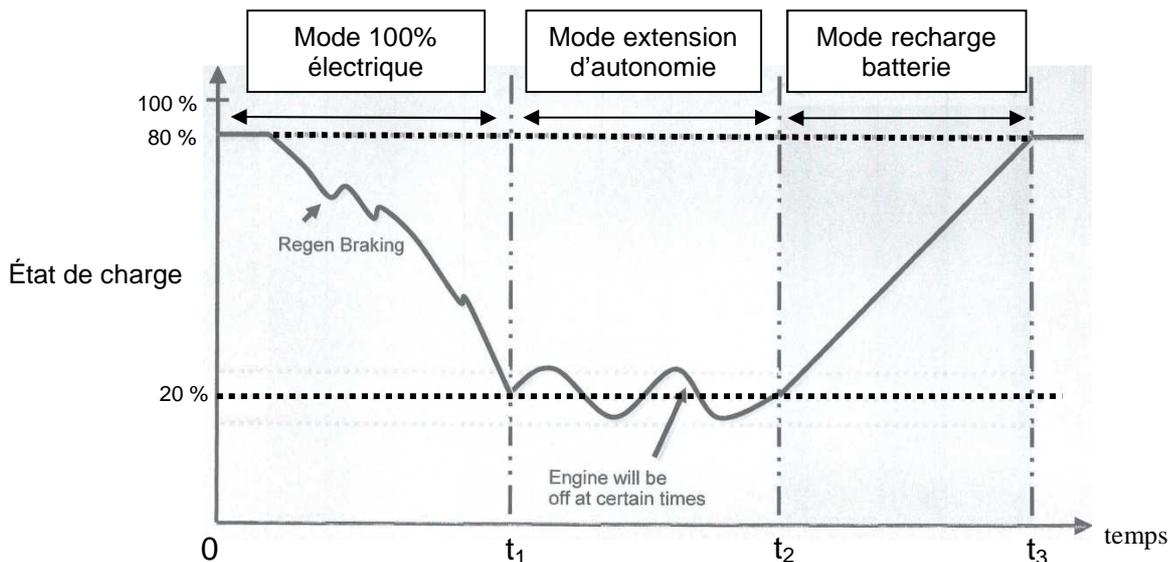
Figure 1

Le sujet comporte 3 parties : les parties A et B sont indépendantes, la partie C est une synthèse des parties A et B.

Partie A : Électricité (8,5 points)

A - I. Étude énergétique

La courbe ci-dessous (document constructeur) représente l'état de charge de la batterie HT au cours d'un trajet à vitesse constante et égale à 110 km.h^{-1} . Le niveau de charge de la batterie est maintenu entre 80 % et 20 % de sa capacité totale (16 kWh).



Le trajet est de 215 km : 50 km en mode 100 % électrique suivi de 165 km en extension d'autonomie.

1. Étude en mode 100 % électrique.

1.1 D'après le graphe, calculer l'énergie électrique E_0 (exprimée en kWh) disponible au niveau de la batterie en début de parcours (à $t = 0 \text{ s}$).

1.2 Calculer l'énergie électrique E_1 restante en fin de parcours (à $t = t_1$).

1.3 Déduire la variation d'énergie électrique $\Delta E = E_0 - E_1$ en mode 100 % électrique.

1.4 Vérifier que la consommation d'énergie électrique est :
 $E_{\text{elec}} = 0,19 \text{ kWh} \cdot (\text{km})^{-1}$.

2. Étude en mode extension d'autonomie

2.1 Déterminer la durée $\Delta t = t_2 - t_1$ du parcours en mode extension d'autonomie.

2.2 La puissance utile du moteur thermique étant $P_u = 32 \text{ kW}$ à $V = 110 \text{ km.h}^{-1}$, calculer l'énergie mécanique W fournie par le moteur thermique entre t_1 et t_2 .

2.3 Montrer que l'énergie mécanique fournie par le moteur thermique est :
 $W_M = 0,29 \text{ kWh} \cdot (\text{km})^{-1}$.

2.4 En exploitant la figure 1 page 2/8 et en utilisant les résultats précédents, expliquer la différence énergétique entre W_M et E_{elec} .

3. Étude en mode recharge batterie

On recharge la batterie sur le réseau électrique.

Données : - Intensité du courant de charge de la batterie : $I = 4,4 \text{ A}$
- Tension aux bornes de la batterie : $U = 360 \text{ V}$
- Énergie récupérée pendant la recharge : $\Delta E = 9,6 \text{ kWh}$.

3.1 Déterminer la puissance électrique P_a absorbée par la batterie.

3.2 Déterminer la durée $\Delta t = t_3 - t_2$ nécessaire à la recharge de la batterie.

A - II. Recharge de la batterie BT

La batterie HT ne sert pas simplement à alimenter le moteur électrique mais permet également, par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/DC, de charger la batterie basse tension BT 12 V servant à l'électronique embarquée.

Pour éviter les problèmes de surtension, un système permet la coupure automatique de la charge de la batterie BT suivant le schéma de principe ci-dessous.

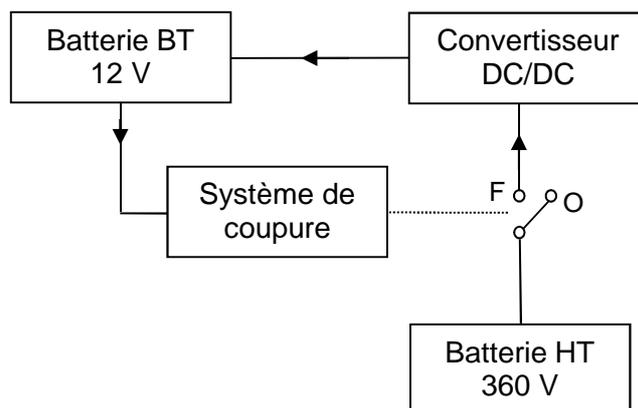


Figure 2

Le schéma complet du système de coupure est donné sur la page suivante 5/8 (figure 3).

Propriétés des composants figurant sur le schéma complet :

- L'amplificateur opérationnel est considéré comme parfait, il est alimenté entre 0 V et 12 V (l'alimentation ne figure pas sur le schéma de la figure 3 page 5/8). Les tensions de saturation seront respectivement $V_{sb} = 0 \text{ V}$ et $V_{sh} = 12 \text{ V}$.
- La valeur de la résistance R permet le fonctionnement du transistor T en commutation.
- K est un relais inductif. Lorsqu'il est alimenté en courant, le contacteur est en position " F ". Dans le cas contraire, il est en position " O ".

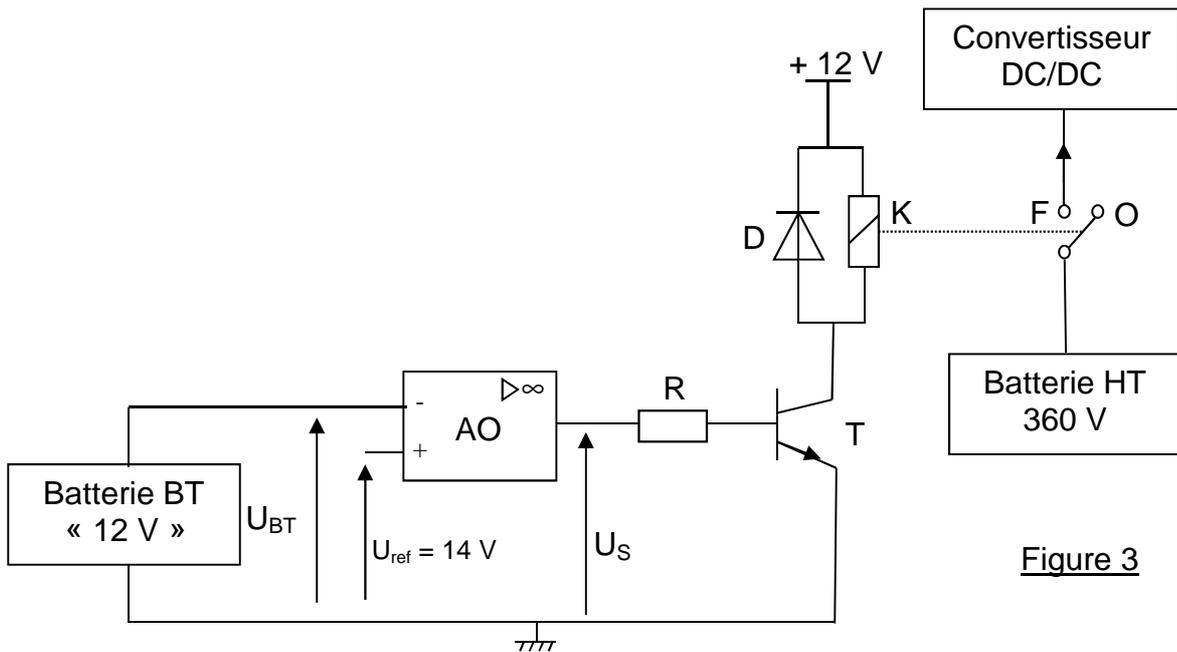


Figure 3

1. Étude des composants

- 1.1 Justifier le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel.
- 1.2 Quelles sont les valeurs possibles de la tension de sortie U_S ?
- 1.3 Quel est le type du transistor T ?
- 1.4 Quel est le rôle de la diode D ?

2. Étude pour $U_{BT} = 11\text{ V}$

- 2.1 Déterminer la valeur de la tension de sortie U_S .
- 2.2 Justifier l'état du transistor T.
- 2.3 En déduire l'état du contacteur du relais.
- 2.4 En exploitant la figure 2 page 4/8, que peut-on dire de la batterie BT ?

3. Étude pour $U_{BT} = 14,5\text{ V}$

3.1 Recopier et compléter le tableau suivant :

Valeur de U_{BT}	Valeur de U_S	État de T	État du contacteur du relais K
14,5 V			

3.2 En exploitant la figure 2 page 4/8, que peut-on dire au sujet de la batterie BT ?

Partie B : Thermochimie et Thermodynamique (9 points)

Pendant la phase d'extension d'autonomie, le moteur thermique sollicité est un moteur à essence. On assimile l'essence à de l'octane de formule brute C_8H_{18} .

Essence	Masse molaire	Masse volumique
C_8H_{18}	$M = 114 \text{ g.mol}^{-1}$	$\rho = 720 \text{ g.L}^{-1}$

B - I. Calcul du pouvoir calorifique de l'octane

1. Écrire la réaction de combustion complète de l'octane gazeux dans le dioxygène. On précise que l'eau obtenue est à l'état gazeux.
2. Exprimer puis calculer l'enthalpie standard $\Delta_r H^0$ de la réaction de combustion de l'octane à partir des enthalpies standard de formation données dans le tableau ci-dessous.

Corps composé	$C_8H_{18}(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(g)$
$\Delta_f H^0 \text{ (kJ.mol}^{-1}\text{)}$	- 220	- 393	- 242

3. Déterminer la quantité de matière n_{oct} contenue dans 1 L d'octane.
4. Rappeler la définition du pouvoir calorifique volumique inférieur PCI d'un carburant.
5. Montrer que le pouvoir calorifique volumique inférieur de l'octane est $PCI_{\text{oct}} = 32,2 \text{ MJ. L}^{-1}$.

B - II. Calcul de la consommation d'essence du véhicule

Le moteur fonctionne suivant le cycle de Beau de Rochas.

Le cycle comprend les transformations réversibles suivantes :

- 1 \rightarrow 2 : compression adiabatique
- 2 \rightarrow 3 : combustion isochore
- 3 \rightarrow 4 : détente adiabatique
- 4 \rightarrow 1 : détente isochore

Données : Coefficient adiabatique : $\gamma = 1,4$; rapport volumétrique : $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 10,5$.

1. Représenter l'allure du cycle dans le diagramme (P, V).
2. Le rendement thermodynamique théorique du cycle a pour expression : $\eta = 1 - \varepsilon^{1-\gamma}$. Calculer le rendement.

3. Pendant la phase extension d'autonomie, la vitesse du véhicule est supposée constante et égale à 110 km/h. On donne les indications suivantes :

Régime moteur	3360 tr.min ⁻¹
Puissance	32 kW à 3360 tr.min ⁻¹
Cylindrée : 4 cylindres 16 soupapes 4 temps	1398 cm ³

- 3.1 a. Montrer que le nombre de cycles par seconde est égal à 28.
b. En déduire la durée t_{cycle} d'un cycle ;
c. Calculer la valeur absolue $|W_{\text{cycle}}|$ du travail échangé au cours d'un cycle ;
d. Montrer que la distance d_{cycle} parcourue par le véhicule durant un cycle vaut 1,09 m.

3.2 Exprimer le rendement thermodynamique théorique η du cycle en fonction du travail W_{cycle} et de l'énergie Q_{23} libérée par la combustion de l'octane. Le rendement thermodynamique étant de 61%, montrer que $Q_{23} = 1,87$ kJ.

3.3 Quel est le volume d'octane V_{cycle} consommé durant un cycle ?
Rappel : $PCI_{\text{Oct}} = 32,2$ MJ.L⁻¹

3.4 Quelle est la consommation C d'essence pour 100 km ?

B - III. Calcul du taux d'émission de dioxyde de carbone

Dans cette partie, on considère que la voiture consomme 5,3 L/100 km.

1. Quelle est la masse d'octane m_{Oct} consommée pour 100 km ?
2. Quelle est la quantité de matière d'octane n_{Oct} consommée correspondante ?
3. Montrer que la quantité de matière de dioxyde de carbone produite par la combustion de l'octane est : $n(\text{CO}_2) = 268$ mol.
4. On donne la masse molaire : $M(\text{CO}_2) = 44$ g.mol⁻¹, calculer la masse de CO_2 produite. En déduire le taux d'émission de CO_2 en g.(km)⁻¹.

Partie C : Synthèse (2,5 points)

On considère un trajet total de 215 km dont 50 km sont parcourus en mode 100% électrique suivis de 165 km en mode extension d'autonomie.

- En mode extension d'autonomie, le taux d'émission de CO_2 produit par la combustion de l'octane est 118 g.(km)⁻¹.

- En mode 100% électrique, la consommation d'énergie électrique de la batterie HT est de $0,19 \text{ kWh} \cdot (\text{km})^{-1}$. L'émission de CO_2 moyenne équivalente donnée par le fournisseur d'électricité pour la recharge de la batterie est $45 \text{ g} \cdot (\text{kWh})^{-1}$.

1. Le tableau ci-dessous reprend les données du trajet précisé au A.1 dans l'étude énergétique.

Mode	mode 100% électrique	mode extension d'autonomie
Distance parcourue	50 km	165 km
Volume d'essence consommé pendant le trajet	v	8,75 L
masse de CO_2	m	19,5 kg

On désigne par :

- v le volume d'essence consommé pendant le trajet en mode 100 % électrique ;
- m la masse de CO_2 équivalente émise pour recharger la batterie à l'issue de son fonctionnement en mode 100 % électrique.

Déterminer les valeurs de v et m.

2. Pour l'ensemble du trajet, exploiter les données du tableau ci-dessus ainsi que les valeurs de v et m afin de calculer, entre les instants $t = 0$ et t_2 :

- la consommation moyenne en essence exprimée en L/100 km ;
- le taux d'émission moyen de CO_2 (en $\text{g} \cdot (\text{km})^{-1}$).

3. Le classement des véhicules en fonction des émissions de CO_2 est présenté dans le tableau ci-dessous (figure 4).

Émissions de CO_2 faibles

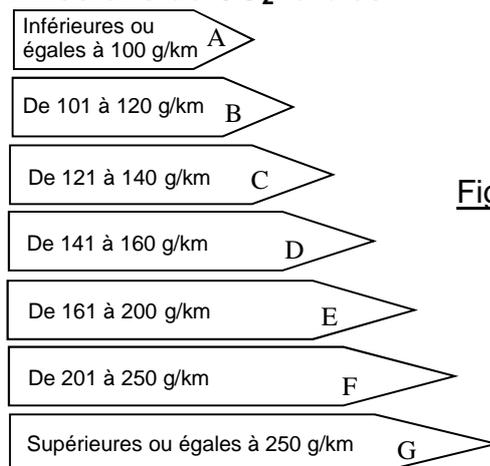


Figure 4

Émissions de CO_2 élevées

Justifier le classement de l'Opel Ampera dans la catégorie A.