

BTS AVA 2009 : sciences physiques

On souhaite montrer que dans l'état actuel des technologies, il n'est pas réaliste de concevoir un véhicule électrique ayant la même autonomie qu'un véhicule à essence. Pour cela, on se propose de comparer le volume d'un réservoir d'essence au volume de batterie nécessaire pour faire fonctionner un véhicule électrique dans les mêmes conditions.

Les 6 parties sont liées mais sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

A - Combustion du carburant

L'essence étudiée est composée principalement d'octane de formule C_8H_{18} .

1° question : Écrire et équilibrer l'équation de la réaction de combustion complète de l'octane dans le dioxygène, en la ramenant à deux moles d'octane.

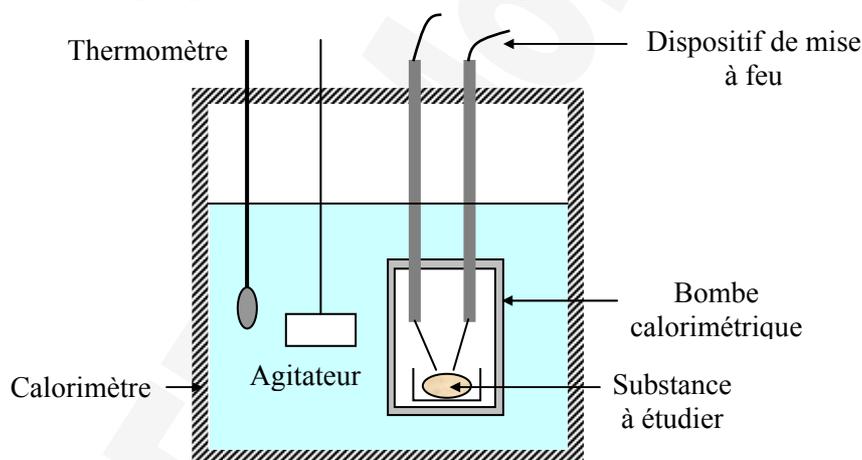
2° question : Expliquer l'expression « combustion complète ».

B - Étude du pouvoir calorifique de l'essence

On souhaite déterminer le pouvoir calorifique de l'octane.

On rappelle que, pour mesurer le pouvoir calorifique de cette essence, il faut déterminer la chaleur dégagée par cette substance lors d'une réaction de combustion complète, rapide et unique. Pour ceci, on utilise une bombe calorimétrique dont le fonctionnement remplit ces trois conditions.

Il s'agit d'un cylindre en acier, bon conducteur de chaleur et très résistant à la pression. On dispose au fond de ce cylindre un creuset dans lequel sera déposée la substance à étudier. Le cylindre est alors rempli de dioxygène sous une pression de quelques dizaines de bars. Le dispositif de mise à feu est électrique.



La bombe est placée dans un calorimètre comprenant une grande quantité d'eau distillée. Elle est munie d'un système d'agitation et d'un thermomètre de précision. Après avoir mesuré la température initiale, on déclenche la mise à feu et on mesure la température en fin de combustion lorsque l'équilibre du calorimètre est atteint.

Une bombe calorimétrique doit être étalonnée avant chaque mesure. L'étalonnage s'effectue en réalisant la combustion d'un corps dont le pouvoir calorifique est connu. On utilise généralement l'acide benzoïque dont le pouvoir calorifique est de $26453 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

Pour différentes masses d'octane, on a relevé l'élévation de température au sein du calorimètre. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-après :

Masse d'octane (g)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Élévation de température ($^{\circ}\text{C}$)	0,89	1,77	2,66	3,54	4,42

1° question : Tracer, sur le document réponse n°1, la courbe de l'élévation de température en fonction de la masse d'octane introduite dans la bombe calorimétrique.

2° question : Sachant que la combustion de 1 g d'acide benzoïque fournit une élévation de température de $2,61^{\circ}\text{C}$, déterminer la masse d'octane correspondante à partir de la courbe.

3° question : Par comparaison, déterminer le pouvoir calorifique de l'octane.

C - Rendement énergétique du véhicule thermique

Dans cette partie, on considère une voiture ayant un réservoir d'un volume de 40 L et roulant à 100 km/h sur une route plane. Dans ces conditions, on va déterminer le rendement énergétique de cette voiture.

On considère que le pouvoir calorifique de l'essence est de $44 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

1° question : Sachant que la masse volumique de l'essence est de $0,8 \text{ kg/L}$, déterminer la masse des 40 L d'essence contenus dans le réservoir.

2° question : Calculer en kJ la quantité d'énergie thermique W_{th} que peuvent fournir ces 40 L d'essence.

3° question : Exprimer cette énergie W_{th} en kWh.

Afin de déterminer le rendement du moteur, on le fait tourner à 3000 tr/min sur un banc d'essai jusqu'à consommation totale de l'essence du réservoir. Le moteur tourne ainsi pendant 5 h avant de s'arrêter. On donne la courbe de la puissance mécanique fournie par l'arbre moteur en fonction de la vitesse de rotation de ce moteur (annexe 1).

4° question : Déterminer graphiquement la puissance mécanique P_{mec} développée par ce moteur lorsqu'il tourne à 3000 tr/min.

5° question : En déduire l'énergie mécanique W_{mec} produite pendant les 5 h de fonctionnement. On exprimera cette énergie en kWh.

6° question : Déduire des questions précédentes le rendement η_{mth} de ce moteur thermique.

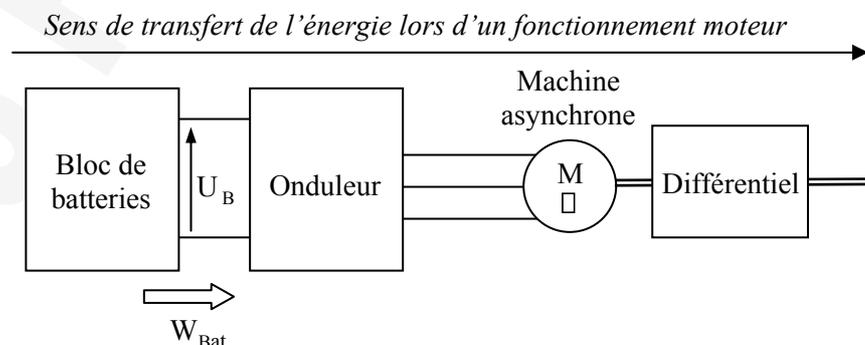
En réalité, le rendement réel de la voiture est nettement plus faible que cela. En effet, il convient de prendre en compte les pertes du système de transmission (boîte de vitesse, différentiel, etc...).

On considérera que le rendement réel global est de 18 %.

7° question : Déterminer alors la valeur en kWh de l'énergie mécanique $W_{\text{m-utile}}$ réellement utilisée par la voiture lors de la consommation de 40 L d'essence.

D - Détermination de la masse des batteries

Le schéma de principe de la chaîne énergétique d'un véhicule électrique est représenté ci-après :



Les véhicules électriques ne possèdent pas de boîte de vitesse. Le moteur asynchrone alimente directement le différentiel.

On supposera que le rendement global de l'ensemble « onduleur - machine asynchrone – différentiel » est égal à 75 %.

1° question : Calculer en kWh, l'énergie W_{Bat} que le bloc batterie doit fournir à cet ensemble pour fournir aux roues une énergie de 70 kWh proche de $W_{\text{m-utile}}$ calculée à la question 3.7.

On utilise des batteries Lithium Ion Polymère (LIPO)

Densité massique énergétique de 100 Wh/kg

Densité volumique énergétique de 120 Wh/L.

On précise que la densité énergétique massique correspond au rapport de l'énergie stockée par la masse du produit ou du dispositif et que la densité énergétique volumique correspond au rapport de l'énergie stockée par son volume.

2° question : Calculer la masse m_{Bat} et le volume Vol_{Bat} de batterie nécessaire pour fournir cette énergie. Comparer ces résultats à la masse et au volume du réservoir d'essence du véhicule traditionnel.

E - Propriétés de l'onduleur

Pour deux fonctionnements, on relève les courbes d'une des tensions simples à l'entrée de la machine asynchrone (annexe 2).

La tension est visualisée à l'aide d'une sonde différentielle atténuatrice 1/100.

Pour les fonctionnements n°1 et n°2

1° question : Mesurer les périodes T_1 et T_2 puis en déduire les fréquences f_1 et f_2 .

2° question : Mesurer les valeurs maximales des tensions v_1 et v_2 que l'on notera V_{m1} et V_{m2} .

3° question : Calculer les rapports (V_1/f_1) et (V_2/f_2) ; V étant la valeur efficace d'une tension simple et f la fréquence de cette tension. Comparer ces deux rapports.

On précise que la valeur efficace d'un signal carré alternatif est égale à sa valeur maximale.

E - Etude du chargeur de batterie

Le bloc batterie est rechargé par un convertisseur à découpage qui se comporte comme un générateur de courant continu jusqu'à une tension maximale : il fournit un courant continu d'intensité I constante quelque soit la charge placée à ses bornes à condition que cette dernière n'impose pas une tension supérieure à cette valeur maximale.

On se propose de tracer la caractéristique de sortie de ce chargeur. Pour ce faire, on le fait débiter sur une résistance variable.

1° question : Placer sur le schéma représenté, sur le document réponse n°2, les appareils de mesures nécessaires pour tracer la caractéristique $U = f(I)$ du chargeur, U étant la tension aux bornes du chargeur et I l'intensité du courant fourni.

La caractéristique obtenue est représentée sur l'annexe 3.

2° question : Calculer P_{450} : la puissance délivrée par le chargeur lorsque la tension de sortie est égale à 450 V.

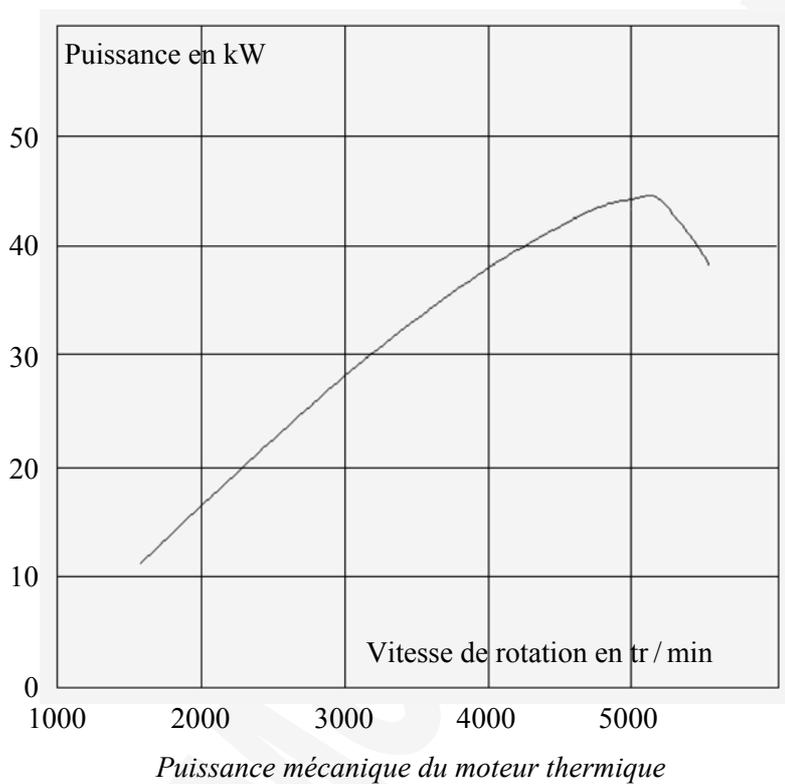
3° question : Calculer P_{max} la puissance maximale que peut délivrer le chargeur.

4° question : La notice du constructeur indique que la charge des batteries doit se faire dans un local aéré. Pourquoi ?

5° question : Déterminer la durée Δt nécessaire pour charger complètement le bloc batterie sous une tension de 450 V dont la capacité est supposée égale à 155 Ah.

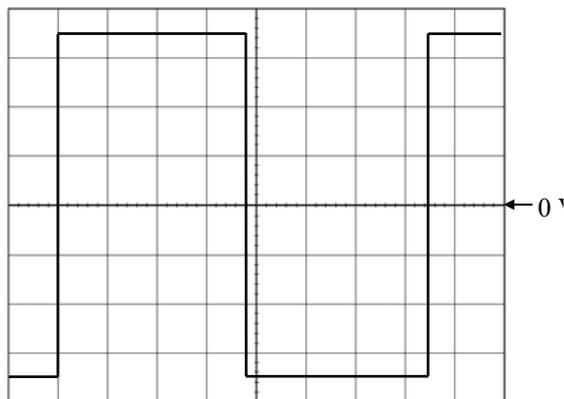
Vous remarquerez que cette durée est très différente de celle nécessaire pour faire le plein d'un véhicule à essence.

Annexe 1



Annexe 2

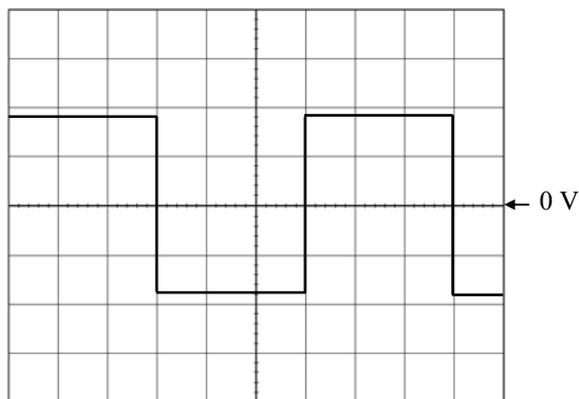
Oscillogramme n° 1



Base de temps : 2 ms / div

Voie 1 : 1 V / div

Oscillogramme n° 2



Base de temps : 5 ms / div

Voie 1 : 1 V / div

Annexe 3

Caractéristique $U = f(I)$ du chargeur

