

Corrigé de l'épreuve de Sciences Physiques du BTS Maintenance des Véhicules options A, B et C 2018

Partie 1 : Freinage et pollution

1. Le cuivre entrant dans la composition des plaquettes de frein est en partie responsable d'une pollution aux particules fines (PS).

2.

2.1. Une fonte est un alliage contenant en particulier du carbone, du silicium.

2.2. $R_{\text{ext}} = 124 \text{ mm}$; $R_{\text{int}} = 80 \text{ mm}$; $e = 11 \text{ mm}$ et $\rho = 7,2 \text{ g.cm}^{-3} = 7200 \text{ kg.m}^{-3}$.

La masse m de ce disque de frein est : $m = \rho \times V = \rho \times [e \pi (R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2)]$

On obtient : $m = 2,23 \text{ kg}$

3. La référence B0986 correspond à une fonte FT25 AL contenant 0,25 % en masse de cuivre.

La masse de cuivre cherchée est : $m_{\text{Cu}} = \frac{0,25}{100} \times m$ $m_{\text{Cu}} = 5,58 \times 10^{-3} \text{ kg}$

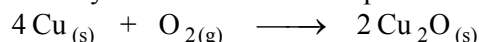
4. Une oxydation correspond à une libération d'électrons. Ici, le cuivre se combine avec l'oxydant (le dioxygène de l'air) afin de donner un oxyde de cuivre dans lequel l'élément cuivre a cédé des électrons en faveur de l'oxydant.

5.

5.1. On exploite le document 5.

Pour une durée de freinage d'une seconde et pour un disque de frein d'épaisseur 11 mm, on constate que la température est supérieure à 150 °C.

5.2. L'équation de la réaction d'oxydation du cuivre est équilibrée :



6. Lors d'un freinage sur une distance de 100 m, la masse de particules fines rejetées est estimée à environ 1,5 mg.

La norme « Euro 6 » indique la valeur maximale de la masse de particules fines que peuvent émettre les véhicules neufs pour parcourir une distance donnée dans des conditions de circulation standard. Elle est de 5 mg.km⁻¹ pour les véhicules équipés de moteur diesel et de 4,5 mg.km⁻¹ pour les véhicules équipés de moteur à essence.

6.1. Soit une voiture effectuant 15000 km par an ; si l'on admet que le nombre de freinages sur 100 m est de l'ordre de 200 sur un an (15000 km), on obtient $200 \times 1,5 \text{ mg} = 300 \text{ mg}$ de particules fines. Ceci correspond à 0,2 mg.km⁻¹ pour ce type de freinage (sur 100 m). Le nombre de freinages sur une plus courte distance est bien supérieur à 200 de sorte que l'émission des particules fines due au freinage ne peut être négligée dans la prise en compte de la pollution produite par les véhicules.

6.2. Le freinage se faisant dans les mêmes conditions, la pollution demeure.

Partie 2 : Energie dissipée lors du freinage, échauffement des disques de freins

1. L'énergie cinétique E_{CI} du véhicule avant le freinage s'écrit : $E_{\text{CI}} = \frac{1}{2} M v_I^2$ avec : $v_I = 23,6 \text{ m.s}^{-1}$?

On obtient : $E_{\text{CI}} = 5,85 \times 10^5 \text{ J}$

L'énergie cinétique E_{CF} du véhicule avant le freinage s'écrit : $E_{\text{CF}} = \frac{1}{2} M v_F^2$ avec : $v_F = 16,7 \text{ m.s}^{-1}$?

On obtient : $E_{\text{CF}} = 2,92 \times 10^5 \text{ J}$

2. La variation ΔE_C de l'énergie cinétique de la voiture lors du freinage est donc : $\Delta E_C = E_{\text{CF}} - E_{\text{CI}}$

$$\Delta E_C = -2,94 \times 10^5 \text{ J} = -294 \text{ kJ}$$

3. La variation d'énergie cinétique de la voiture se traduit par un important échauffement des disques de frein. L'énergie thermique dissipée par les quatre disques, dans le cas présent, représente environ 50 % de la variation d'énergie cinétique du véhicule.
4. Pour un freinage d'une durée de 3 s et pour un disque de freins d'épaisseur 11 mm, on atteint la température de 210 °C.
5. L'exploitation du document 5 indique que l'échauffement est moindre pour une épaisseur de disque plus importante.
6. Les voitures électriques ou hybrides, équipées d'un Système de Récupération de l'Energie Cinétique (SREC), ne dissipent dans le système de freinage qu'une partie de la variation d'énergie cinétique du véhicule lors du freinage. L'élévation de température des disques de frein étant moindre, l'oxydation du cuivre sera plus limitée.

Partie 3 : Système de récupération des microparticules

1. Le volume V d'air aspiré par le système d'une roue lors d'un freinage d'une durée de 2 s est : $V = 40 \text{ L}$.

2. La masse m d'air aspiré par un aspirateur d'une roue lors de ce freinage est : $m = \frac{P V}{r T}$

Calcul numérique : $m = \frac{10^5 \text{ Pa} \times 40 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \times 473 \text{ K}} = 2,95 \times 10^{-2} \text{ kg}$ soit environ 29 g.

3. Le rendement du système de récupération est de 95 % ; la densité de particules fines aspirées par l'aspirateur est donc de : $\frac{95}{100} \times 3 \times 10^{-6} \text{ g}$ de particules fines par gramme d'air. La masse m_{PF} de particules fines récupérée au cours de ce freinage pour les 4 roues s'écrit donc :

$$4 \times 29 \times \frac{95}{100} \times 3 \times 10^{-6} \text{ g} \text{ soit : } m_{\text{PF}} = 3,36 \times 10^{-4} \text{ g ou } 336 \mu\text{g}$$

4. Pour le parc automobile mondial, estimé à 1,7 milliard de voitures et en supposant que le nombre moyen de freinage (supposé identique à celui étudié ci-dessous) pour une voiture est de cinquante freinages par jour, la masse de particules fines non rejetées M grâce à ce système en une année s'écrit : $M = m_{\text{PF}} \times 50 \times 365 \times 1,7 \times 10^9$ $M = 1,04 \times 10^7 \text{ kg}$

$m_{\text{PF}} \times 50$: masse de particules fines récupérée en un jour pour une automobile

$m_{\text{PF}} \times 50 \times 365$: : masse de particules fines récupérée en un an pour une automobile

Partie 4 : Système de récupération de l'énergie cinétique (SREC)

1. 2. Sur l'annexe 1, on a :

- (a) : electric only
- (b) : hybrid/electric assist
- (c) : regenerative braking
- (d) : battery charging

La batterie fonctionne comme un générateur durant les phases (a) et (b).

Cette voiture hybride est plus économique en carburant puisque pendant certaines phases de fonctionnement, la batterie prend le relais du moteur thermique (en totalité pour la phase (a) et partiellement pour la phase (b)).

3. Sur l'annexe 2, de bas en haut, on trouve :

Batteries, Onduleur, Moteur Synchrone, Transmission Mécanique, Roues.

Les batteries transforment de l'énergie chimique en énergie électrique

L'onduleur transmet de l'énergie électrique

Le moteur synchrone transforme l'énergie électrique en énergie mécanique

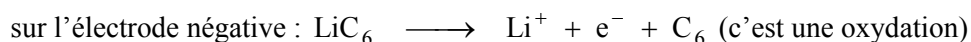
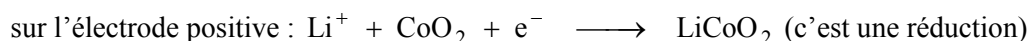
La transmission d'énergie entre la transmission et les roues se fait sous forme d'énergie mécanique.

4. Les rendements des différents convertisseurs sont les suivants :

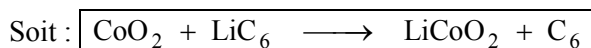
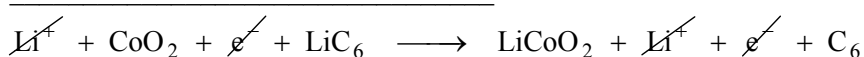
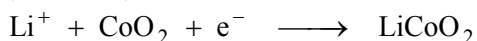
- moteur synchrone : $\eta_1 = 95 \%$
- transmission mécanique : $\eta_2 = 65 \%$
- onduleur : $\eta_3 = 93 \%$

Le rendement total η_{tot} de la chaîne de conversion d'énergie entre les batteries et les roues du véhicule s'écrit : $\eta_{\text{tot}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$ $\eta_{\text{tot}} = 57\%$

5. Les deux demi-équations qui ont lieu lors de la décharge des batteries sont :



5.1. L'équation équivalente de la réaction chimique lors de la décharge des batteries est une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle il y a autant d'électrons libérés (oxydation) que d'électrons captés (réduction).



5.2. L'équation équivalente de la réaction chimique se déroulant lors de la charge des batteries correspond à la réaction inverse : $\text{LiCoO}_2 + \text{C}_6 \longrightarrow \text{CoO}_2 + \text{LiC}_6$

6. Sur l'annexe 3 (à rendre avec la copie), compléter le schéma simplifié en plaçant les appareils de mesure nécessaires pour déterminer les valeurs de la tension aux bornes de la batterie et de l'intensité du courant qu'elle débite lors de sa décharge.

7. L'énergie maximale E qu'il est possible de stocker dans les batteries étudiées est : $E = 0,8 \times 10^6 \text{ J} \times 30 = 24 \times 10^6 \text{ J}$

Le volume cherché $V_{\text{bat}} = \frac{E}{1900 \text{ J.cm}^{-3}} = 1,26 \times 10^4 \text{ cm}^3$ soit : $V_{\text{bat}} = 12,6 \text{ L}$

Le volume des batteries utilisées est inférieur au volume habituel d'un réservoir à essence. La place ainsi « libérée » permet d'obtenir un véhicule plus logeable.

8. Les batteries Li-Ion précédentes ont été initialement totalement chargées ; l'énergie utilisable E_{utile} pour le

trajet est donc égale à : $E_{\text{utile}} = \frac{90}{100} \times E \times \frac{55}{100}$

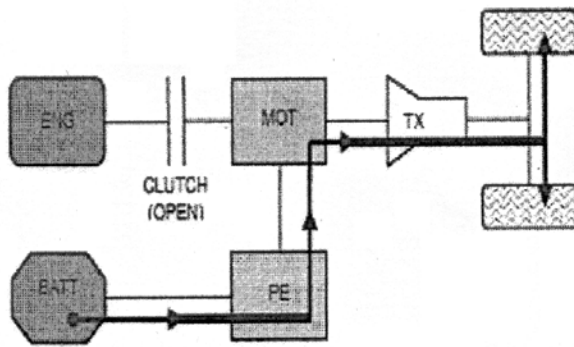
Lors d'un déplacement en ville, le véhicule électrique fonctionne en mode « tout électrique » et les batteries se déchargent alors de 90 %.

Le volume d'essence V_{ess} (en L) qu'il faudrait utiliser avec le véhicule à moteur thermique pour parcourir le même trajet que celui parcouru avec le véhicule hybride en mode « tout électrique » est donc tel que :

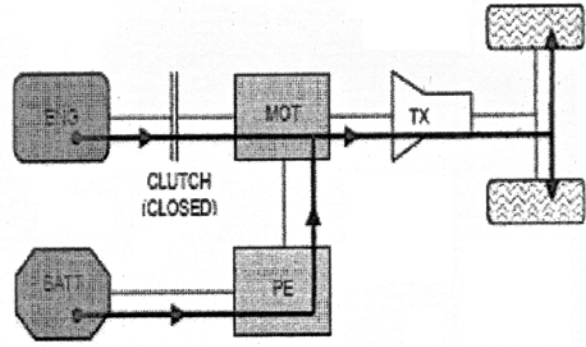
$$E_{\text{utile}} = \frac{13}{100} \times V_{\text{ess}} (\text{en L}) \times 35 \times 10^6 \text{ J}$$

On obtient : $V_{\text{ess}} (\text{en L}) = \frac{90}{13 \times 35 \times 10^6 \text{ J}} \times E (\text{en J}) \times \frac{55}{100}$ soit : $V_{\text{ess}} (\text{en L}) = 2,6 \text{ L}$

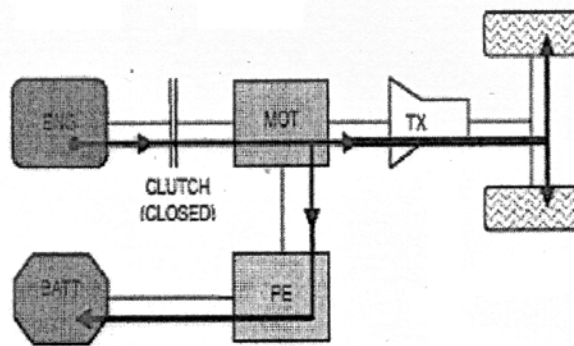
Annexe 1 : Modes de fonctionnement



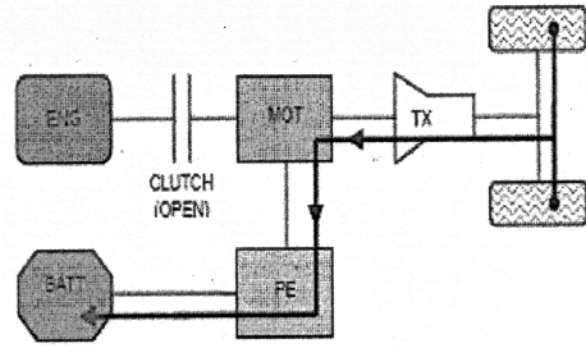
(a): Electric only



(b): Hybrid/electric assist



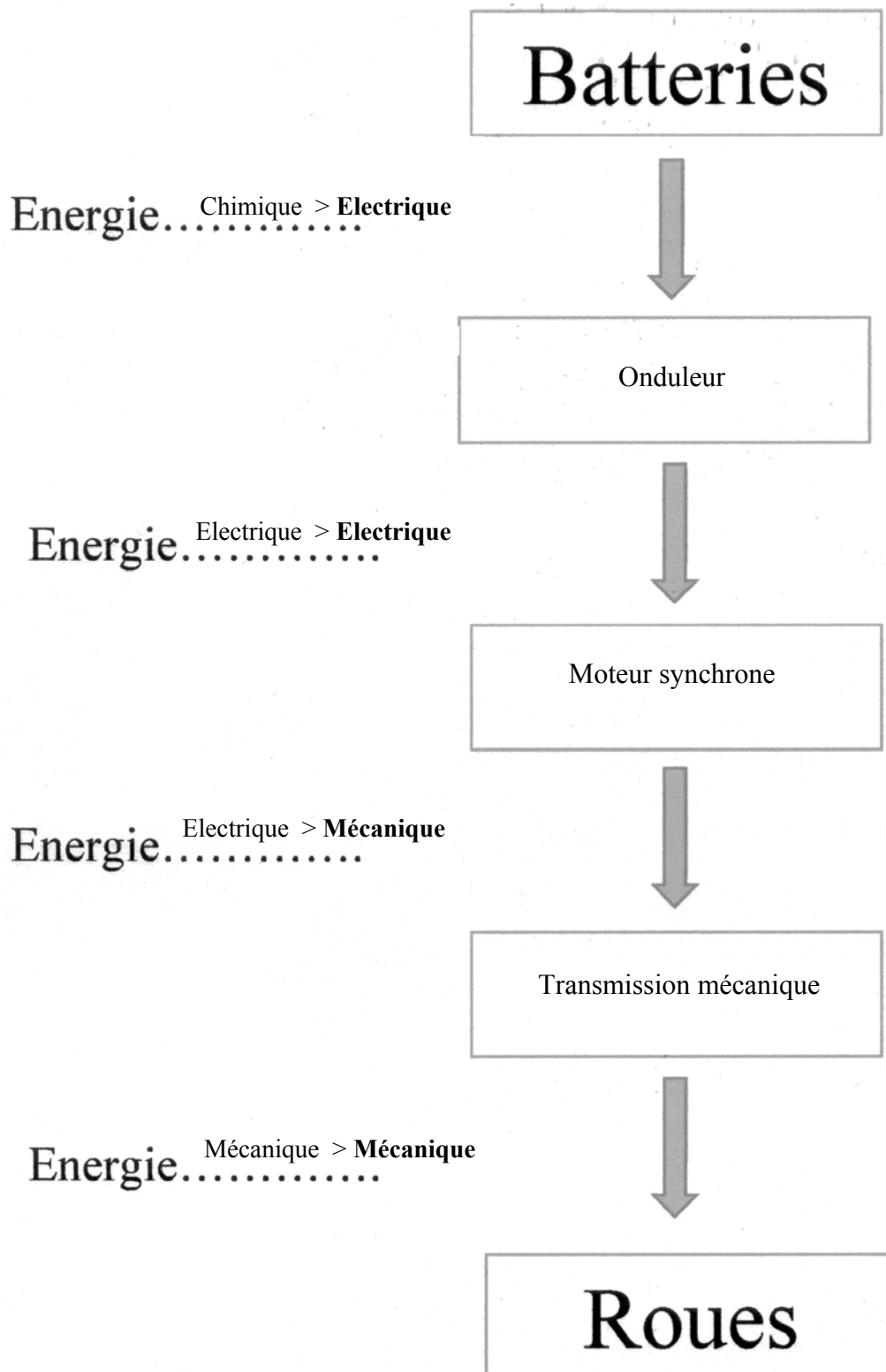
(c): Regenerative braking



(d): Battery charging

ENG : moteur thermique (engine)
MOT : moteur électrique
PE : onduleur (partie électronique de puissance)
BATT : batterie
TX : transmission mécanique

Annexe 2 : Chaîne énergétique



Annexe 3 : Batterie Li-Ion

Mecanisme de la decharge d'une batterie Lithium-ion

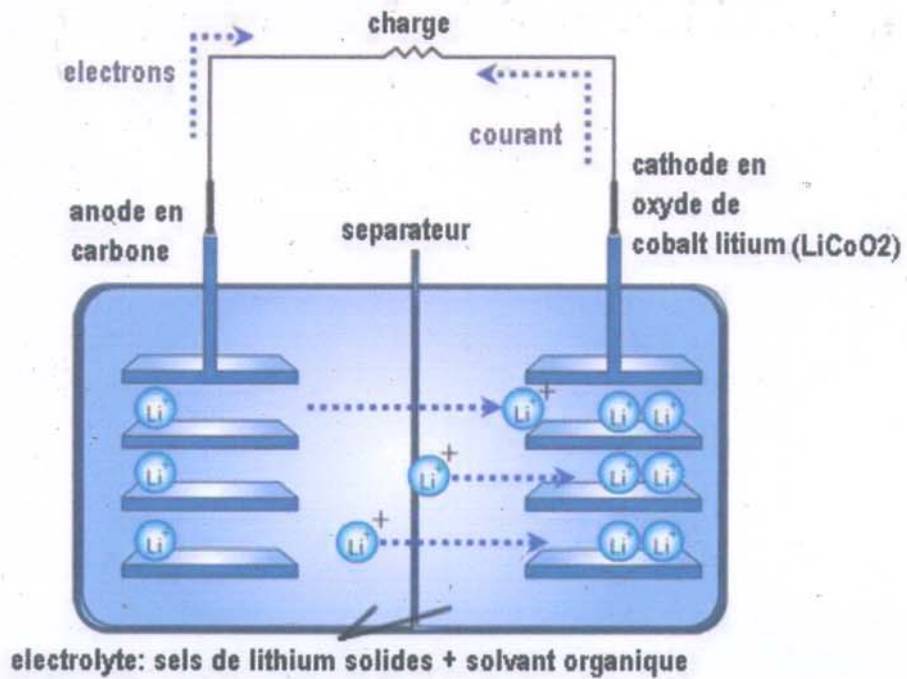


Schéma simplifié à compléter

