Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

SESSION 2018

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MAINTENANCE DES VÉHICULES

Option A : Voitures particulières
Option B : Véhicules de transport routier
Option C : Motocycles

Durée : 2 heures
Coefficient : 2

ET

DIPLÔME D'EXPERT EN AUTOMOBILE

Durée : 2 heures
Coefficient : 1

U32 : Physique - Chimie

Matériel autorisé :
L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Ce sujet comporte cinq parties, les quatre premières parties sont indépendantes.

Le barème est sur *20 points.*

Partie 1 : *4,5 points*
Partie 2 : *5 points*
Partie 3 : *3 points*
Partie 4 : *6 points*
Partie 5 : *1,5 point*

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 11 pages, numérotées de 1/11 à 11/11.

Les pages 9/11, 10/11 et 11/11 sont à compléter et à joindre impérativement à la copie.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Ce sujet porte sur l'étude du système de freinage d'un véhicule, sur son impact sanitaire et environnemental ainsi que son aspect énergétique.

Partie 1 : Freinage et pollution

Dans cette partie, l'étude portera sur l'impact sanitaire et environnemental de l'utilisation du système de freinage d'une automobile.
Vous trouverez ci-après les documents nécessaires à cette étude.

Document 1 : Extrait du journal « Le Parisien » du 8 février 2014

20 % de la pollution automobile est émise lors du freinage. L'Europe pourrait bientôt imposer de nouvelles règles. Une loi pourrait changer la composition de nos plaquettes de frein. Première étape, les Etats-Unis ont commencé à prendre le problème en main et pas moins de cinq Etats, dont le Texas et la Californie, ont voté une loi qui limitera dès 2020 à 5 % maximum le taux de cuivre dans les plaquettes, et programme sa disparition définitive en 2025.
En cause, les particules émises lors de chaque coup de frein. Car paradoxalement, si avoir de bons freins est un gage indéniable de sécurité, il peut aussi avoir des effets nocifs sur votre santé. En effet, à chaque fois que vous pressez votre pédale de frein, les frottements entre les plaquettes et le disque rejettent une importante quantité de particules fines, qui contribuent de fait à la pollution générale de l'atmosphère. Ainsi, 20 % de la pollution émise directement par les voitures est causée par les systèmes de freinage.
Les dangers du cuivre sont réels pour la santé humaine. En s'oxydant dans l'air, ses particules de cuivre peuvent déclencher à long terme des cancers.

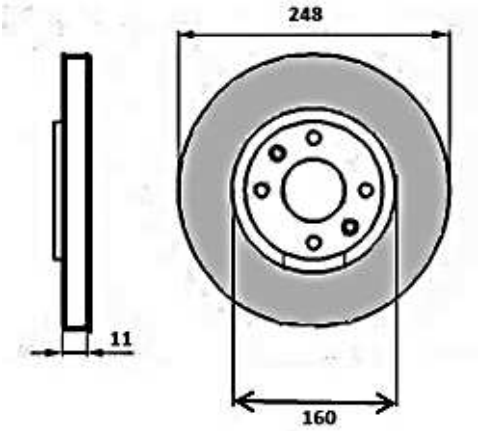
Document 2 : Les catégories des principaux polluants

source : http://www.avem.fr/index.php?page=pollution&cat=polluants

Gaz carbonique CO_2	Non nocif, mais actif dans l'effet de serre.
Monoxyde de carbone CO	Toxique, mais de durée de vie courte.
Oxydes d'azote NOx	Très nocifs et précurseurs de l'ozone. Ils produisent des composés acides au contact de l'humidité.
Composés Organiques Volatiles (COV)	Hydrocarbures qui peuvent être cancérigènes (cas du benzène) et participent à la formation de l'ozone.
Méthane CH_4	Non nocif et de courte durée de vie, mais très actif dans l'effet de serre.
Particules fines en Suspension (PS)	Suspectées d'effets cancérigènes, les plus fines étant les plus nocives.
Oxyde de soufre SO_2	Produit des composés acides au contact de l'humidité.
Ozone O_3	Très nocif pour le système respiratoire. Produit indirectement en zone urbaine par l'action du rayonnement ultraviolet solaire sur les NOx et les COV.

Banque nationale de sujets d'examen de l'enseignement professionnel

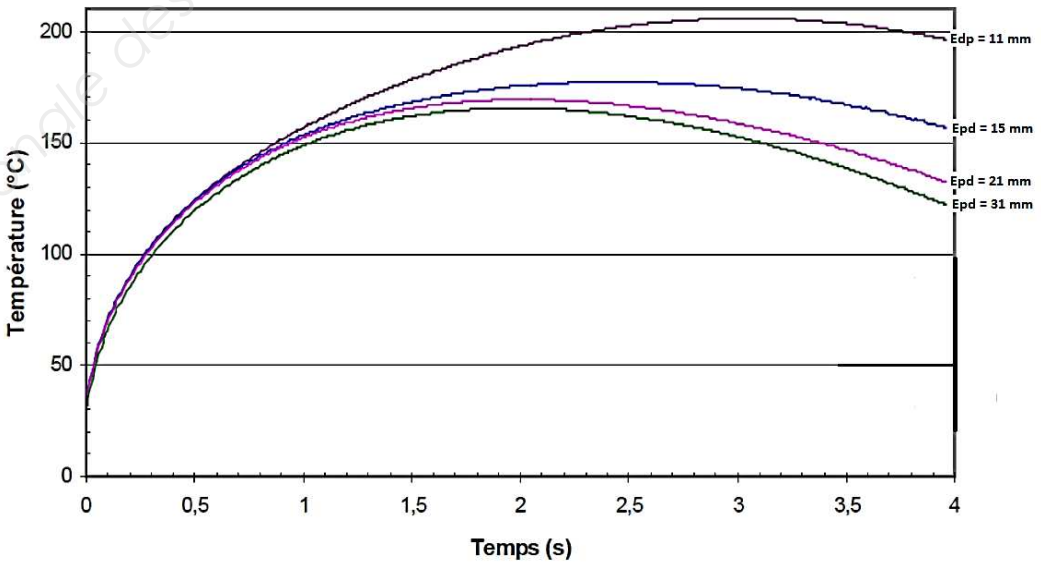
Document 3 : Vues de face et de droite du disque de frein de référence B0986



Document 4 : Composition (pourcentage en masse) et caractéristiques physiques de la fonte

	TYPES DE FONTE	
Composition	Fonte FT 25 AL	Fonte FT 20 HC
Carbone	3 %	3,8 %
Silicium	1,9 %	2 %
Manganèse	0,8 %	0,7 %
Chrome	0,3 %	0,1 %
Cuivre	0,25 %	0,35 %
Titane	-	0,04 %
Capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)	920	1020

Document 5 : Modélisation de l'évolution de la température de la surface de disques d'épaisseurs E_{dp} différentes, lors d'un freinage



Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1.1. À quelle catégorie de polluants appartient la pollution émise lors du freinage ?

1.2. Les disques de freins sont généralement composés de fonte. Le fer est l'élément de base de la fonte mais elle contient également beaucoup d'autres éléments.

1.2.1. Indiquer le nom de ce type de matériaux ?

Un disque de frein de référence B0986 peut être assimilé à une couronne en fonte FT 25 AL de masse volumique $\rho = 7{,}2$ g.cm^{-3}.
Cette couronne est représentée par la partie grisée sur le schéma du **document 3**.
Pour une couronne, le volume V est donné par la relation :

$$V = e.\pi.(R_{ext}^2 - R_{int}^2)$$

Avec : e l'épaisseur du disque,
R_{int} le rayon intérieur de la couronne,
R_{ext} le rayon extérieur de la couronne.

1.2.2. Montrer que la masse de ce disque de frein est de 2,2 kg.

1.3. La composition de différentes fontes utilisées est donnée dans le **document 4**. Déterminer la masse de cuivre contenue dans un disque de frein de référence B0986.

1.4. Il est précisé, dans le **document 1**, que les particules de cuivre émises lors du freinage subissent une oxydation. Qu'est-ce qu'une oxydation ?

1.5. La réaction d'oxydation du cuivre par le dioxygène de l'air n'est pas observable à température ambiante, elle ne se produit que pour une température supérieure à 120°C.

1.5.1. En exploitant les documents fournis, expliquer pourquoi cette réaction d'oxydation peut avoir lieu lors d'un freinage d'une durée supérieure à une seconde.

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

$$\ldots Cu_{(s)} + \ldots O_{2(g)} \rightarrow \ldots Cu_2O_{(s)}$$

Recopier cette équation sur votre copie et ajuster les coefficients stœchiométriques de cette réaction chimique pour l'équilibrer.

1.6. 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.

1.6.1. Justifier 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.
1.6.2. Le passage aux véhicules avec motorisation électrique permet-il d'éliminer cette pollution ? Justifier votre réponse.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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

Une voiture de masse M de 2,1 tonnes circule à la vitesse initiale v_i de 85 km/h.
Le conducteur freine pour amener son véhicule à la vitesse finale v_F de 60 km/h.
La durée du freinage est de 3 s.
Dans cette partie, on s'intéressera à l'échauffement des disques de freins de référence B0986. Sur le **document 5**, une modélisation de l'évolution de la température de la surface d'un disque de frein en fonte FT 25 AL est représentée lors de ce freinage.

Rappel : L'expression de l'énergie cinétique d'un système exprimée en joules est :

$$Ec = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

avec : m la masse du système en kg
v la vitesse du système en $m.s^{-1}$

2.1. Quelle est l'énergie cinétique Ec_i du véhicule avant le freinage ?
Quelle est l'énergie cinétique Ec_F du véhicule après le freinage ?

2.2. En déduire la variation de l'énergie cinétique de la voiture lors du freinage.

2.3. Sachant que l'énergie thermique dissipée par les quatre disques est E_{TH} = 150 kJ, comparer cette valeur à celle trouvée à la question précédente et conclure.

2.4. En considérant que la température du disque de frein est égale à la température de surface, déterminer, à l'aide du **document 5**, l'élévation de température d'un des quatre disques de frein utilisé lors de ce freinage.

2.5. En exploitant le **document 5** et en utilisant vos connaissances personnelles, donner deux méthodes permettant au constructeur de limiter l'élévation de température lors du freinage.

2.6. Citer un avantage que possèdent les voitures électriques ou hybrides équipées d'un Système de Récupération de l'Énergie Cinétique (SREC) par rapport aux voitures à moteurs thermiques quant à la quantité d'énergie dissipée dans les freins pour un même freinage.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Partie 3 : Système de récupération des microparticules



Selon une étude de l'Institut National de Sciences Appliquées de Lyon (INSA), l'usure des plaquettes de freins émet environ vingt mille tonnes de particules fines chaque année dans le monde. Il est estimé que neuf mille tonnes de ces particules fines se retrouvent alors en suspension dans notre atmosphère. La taille de ces particules fines peut être inférieure à deux cents nanomètres. Une société a eu l'idée d'installer un aspirateur à poussières de freins. L'objectif initial de la société est d'empêcher les poussières émises par l'abrasion des plaquettes de freins de salir les jantes des voitures. Ce n'est que durant la conception de l'aspirateur à poussières de freins que la société a pris conscience de l'impact bénéfique au niveau sanitaire que son système pourrait avoir en diminuant l'émission de particules fines dans l'atmosphère.

Document 6 : Quelques données utiles concernant l'aspirateur

- Densité des particules fines libérées par le freinage : 3 microgrammes par gramme d'air
- Débit d'aspiration d'air d'un aspirateur à poussières de freins d'une roue : 20 $L.s^{-1}$
- Température moyenne de l'air ayant refroidi les freins : 200 °C
- Pression de l'air ayant refroidi les freins : 1×10^5 Pa
- Relation des gaz parfaits applicable à l'air de refroidissement : $P \times V = m \times r \times T$
  avec : m la masse d'air en kg
  r la constante thermodynamique de l'air $r = 287$ $J.kg^{-1}.K^{-1}$
  P la pression de l'air en pascal
  T la température de l'air en kelvin
  V le volume de l'air en m^3
- $T = \Theta + 273$ où Θ est la température en degrés celsius et T la température en kelvin

3.1. Calculer le volume V d'air aspiré par le système d'une roue lors d'un freinage d'une durée de 2 s.

3.2. À l'aide de la relation des gaz parfaits, montrer que la masse m d'air aspiré par un aspirateur d'une roue lors de ce freinage est d'environ 29 g.

3.3. Le rendement du système de récupération des particules fines est d'environ 95 %. En déduire la masse m_{PF} de particules fines récupérée au cours de ce freinage pour les 4 roues.

3.4. 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, calculer quelle pourrait être la masse de particules fines non rejetées grâce à ce système en une année.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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

Dans cette partie, nous allons nous intéresser au mode de stockage de l'énergie dans les batteries d'un véhicule équipé d'un Système de Récupération de l'Énergie Cinétique (SREC). Les batteries Lithium-Ion (Li-Ion) permettent le stockage de l'énergie cinétique récupérée lors du freinage pour les véhicules hybrides et/ou électriques.

Document 7 : Le principe du SREC

Le **SREC**, acronyme de **Système de récupération de l'énergie cinétique** est un système de freinage qui récupère une partie de l'énergie cinétique du véhicule lors du freinage au lieu de la dissiper sous forme d'énergie thermique dans les freins.
Cette énergie peut être stockée dans des batteries.
L'énergie ainsi récupérée peut alors être réutilisée, soit pour la propulsion du véhicule, soit comme source d'énergie pour toute autre fonction mécanique du véhicule.
La technologie « *mild hybrid* » est le niveau d'hybridation minimal. Sauf à l'arrêt, le moteur thermique tourne en permanence. Une machine électrique est accouplée au moteur thermique.
Pendant les phases de freinage ou de descente, la machine électrique fonctionne en génératrice et fournit un couple résistant s'ajoutant au frein moteur. L'énergie cinétique du véhicule est récupérée et stockée dans des batteries.
Lors des phases d'accélération, la machine électrique fonctionne en moteur et fournit un couple moteur apportant un appoint de puissance au véhicule.

Document 8 : Caractéristiques des batteries utilisées

Technologie des batteries	Lithium-ion (Li-Ion)
Énergie massique	0,8 $MJ.kg^{-1}$
Énergie volumique	1 900 $J.cm^{-3}$
Masse	30 kg

4.1. Sur l'**ANNEXE 1** (**page 9 à rendre avec la copie**), légender les schémas en indiquant les différents modes de fonctionnement du véhicule hybride : *« electric only » ; « regenerative braking » ; « hybrid/electric assist » ; « battery charging »* correspondant à 4 phases différentes de fonctionnement lors d'un trajet.

4.2. Sur l'**ANNEXE 1** (**page 9 à rendre avec la copie**), entourer la (les) phase(s) durant laquelle (lesquelles) la batterie fonctionne comme un générateur.
En déduire si cette voiture hybride est plus économique en carburant pour des parcours sur autoroute ou en ville.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

4.3. Sur l'**ANNEXE 2** (**page 10 à rendre avec la copie**), compléter les éléments de la chaîne énergétique modélisant le véhicule en utilisant les noms des convertisseurs suivants : « *moteur synchrone », « transmission mécanique » et « onduleur »*.
Préciser à chaque fois la forme de l'énergie transmise entre chacun des convertisseurs.

4.4. Les rendements des différents convertisseurs sont les suivants :

- moteur synchrone : 95 %
- transmission mécanique : 65 %
- onduleur : 93 %

Calculer le rendement total de la chaîne de conversion d'énergie entre les batteries et les roues du véhicule.

4.5. Le mécanisme de décharge d'une batterie lithium-ion est représenté en annexe 3 page 11. Les deux demi-équations qui ont lieu lors de la décharge des batteries sont :

- sur l'électrode positive : $Li^+ + CoO_2 + e^- \rightarrow LiCoO_2$
- sur l'électrode négative : $LiC_6 \rightarrow Li^+ + e^- + C_6$

4.5.1. En déduire l'équation équivalente de la réaction chimique lors de la décharge des batteries.

4.5.2. En déduire l'équation équivalente de la réaction chimique se déroulant lors de la charge des batteries.

4.6. Sur l'**ANNEXE 3** (**page 11 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.

4.7. À partir des caractéristiques des batteries données sur le **document 8**, déterminer l'énergie maximale qu'il est possible de stocker dans les batteries étudiées.
En déduire le volume des batteries utilisées et le comparer au volume habituel d'un réservoir à essence. Conclure.

4.8. Les batteries Li-Ion précédentes ont été initialement totalement chargées.
Lors d'un déplacement en ville, le véhicule électrique fonctionne en mode « tout électrique » et les batteries se déchargent alors de 90 %.
Le rendement de la chaîne énergétique du véhicule hybride en mode « tout électrique » est de 55 %.
Sur le même trajet, le rendement d'un véhicule à moteur thermique de masse équivalente à celle du véhicule hybride est estimé à 13 %.
Sachant que le pouvoir calorifique de l'essence est de 35 $MJ.L^{-1}$, calculer le volume d'essence 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 ».

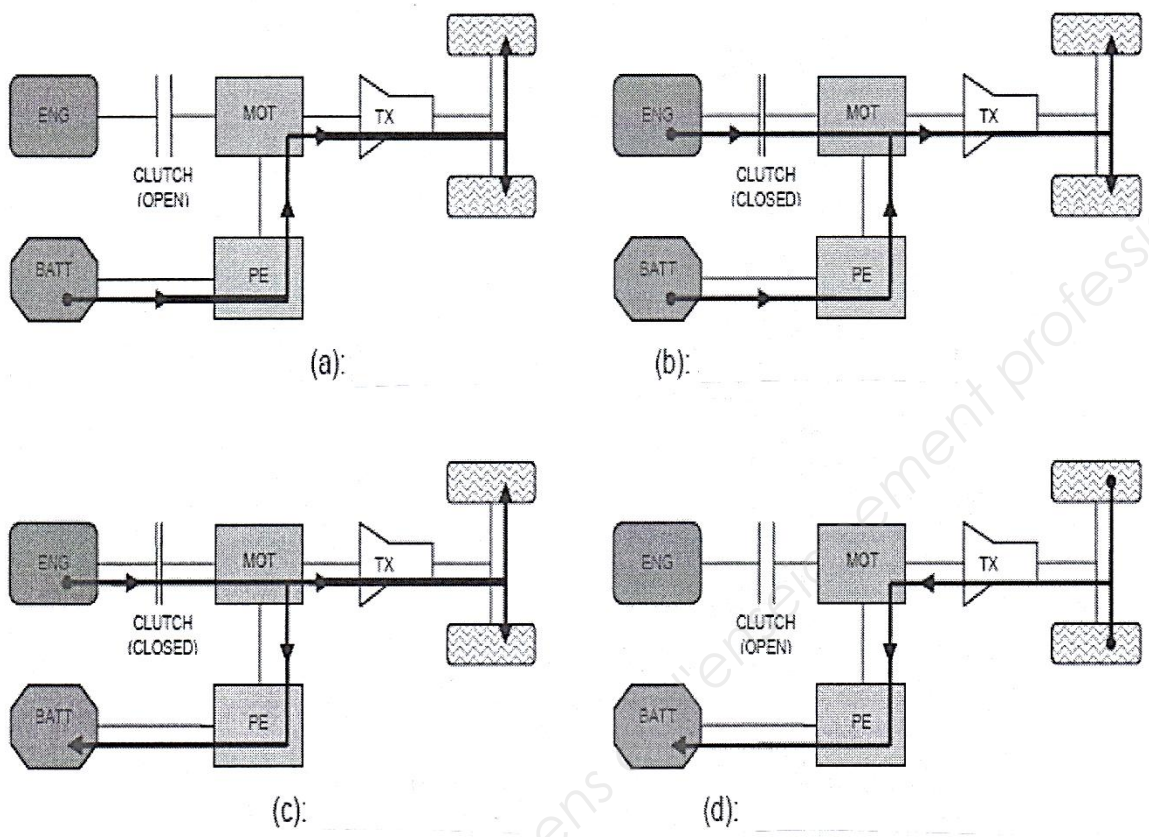
Partie 5 : Synthèse

Au sein de votre entreprise, chaque mois est publiée une revue technique destinée à l'ensemble du personnel. En utilisant les résultats obtenus dans les différentes parties de ce sujet ainsi que vos connaissances, rédiger pour cette revue un texte d'une dizaine de lignes présentant comment l'évolution des technologies permet de répondre aux enjeux sanitaires et énergétiques, liés au freinage.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXES À RENDRE IMPÉRATIVEMENT AVEC LA COPIE

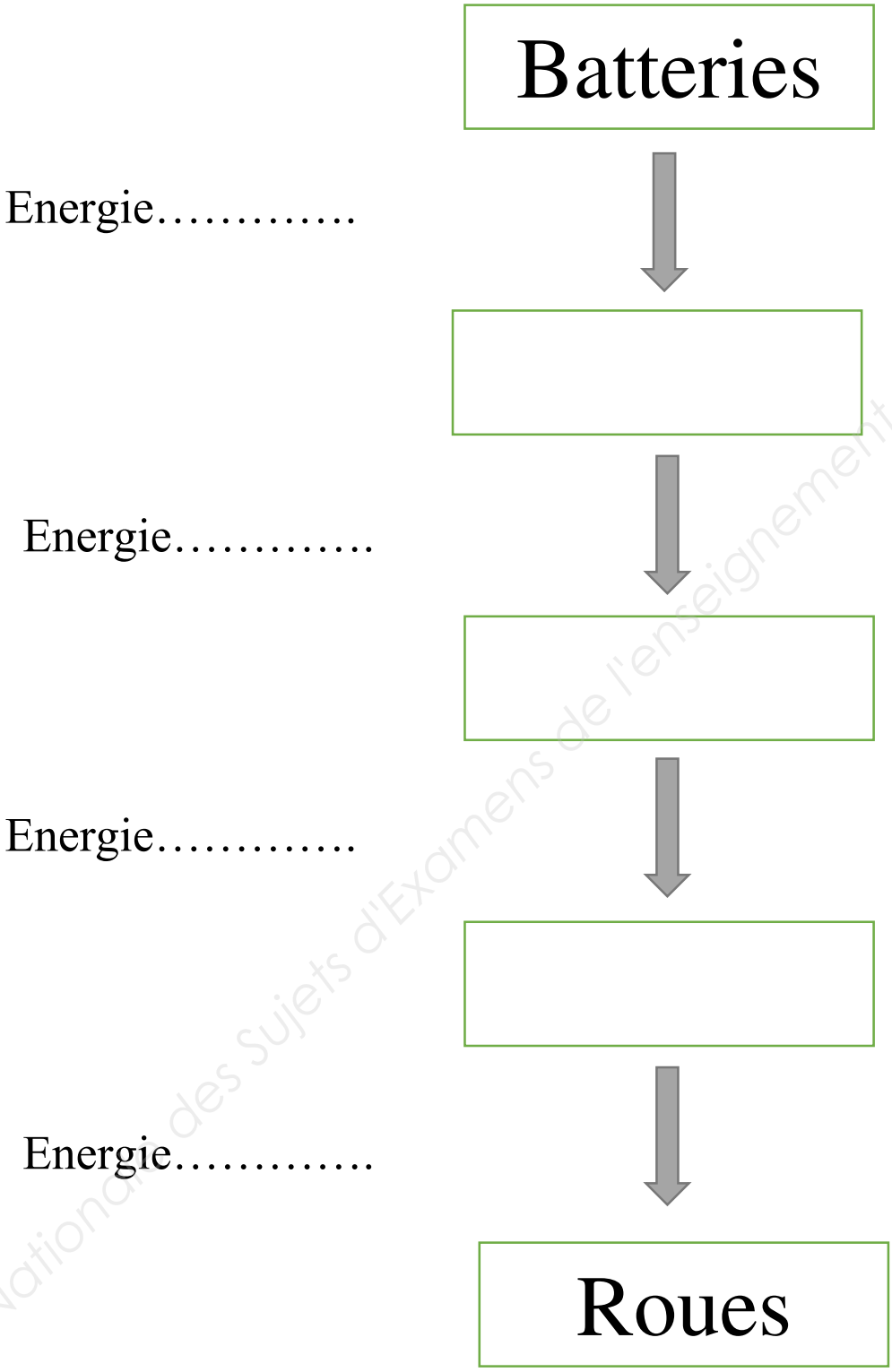
Annexe 1 : Modes de fonctionnement



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

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 2 : Chaîne énergétique



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 3 : Batterie Li-Ion

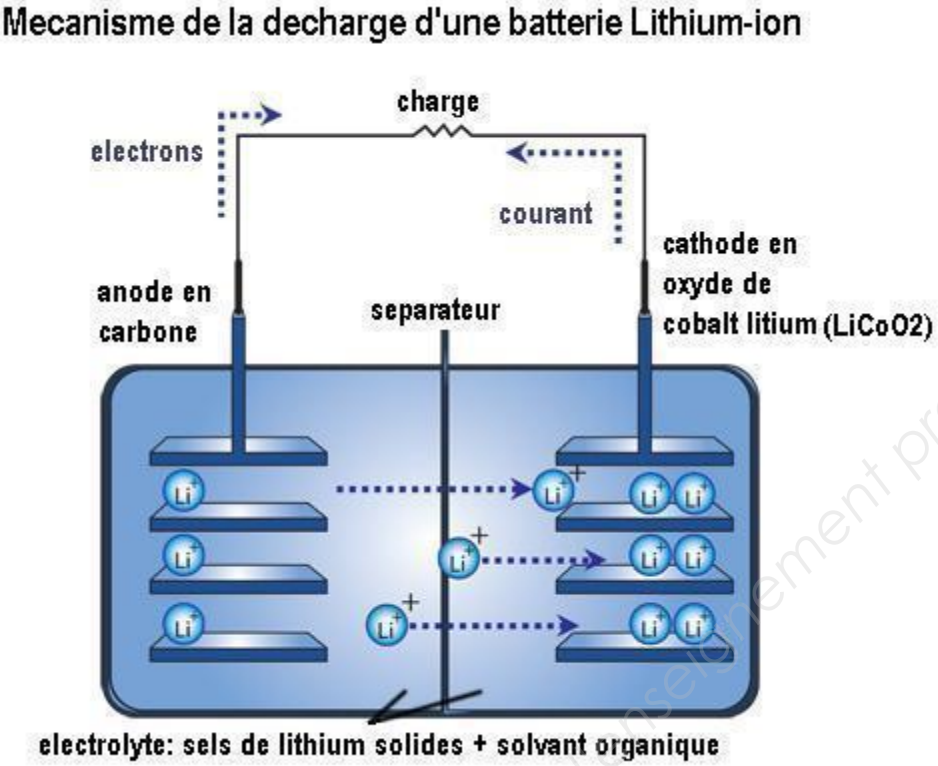
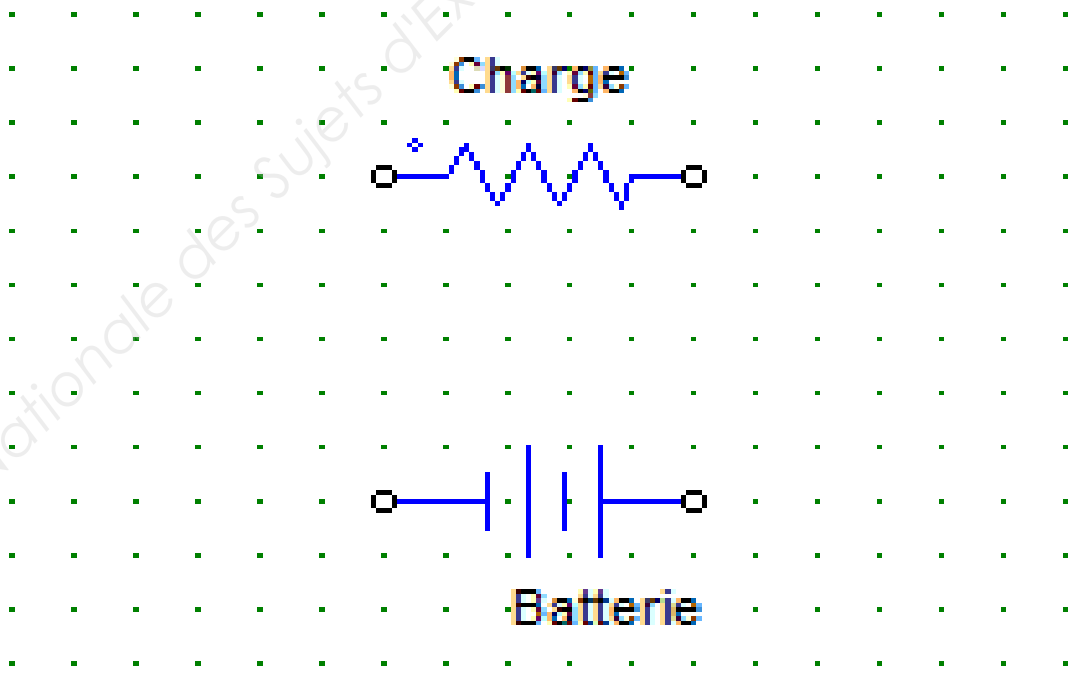


Schéma simplifié à compléter



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.