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

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
AÉRONAUTIQUE

ÉPREUVE E3 - MATHÉMATIQUES - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SOUS-ÉPREUVE U32 - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SESSION 2019

_____

Durée : 2 heures
Coefficient : 2

_____

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

Documents à rendre et à agrafer avec la copie :

- Documents réponses n^{os} 1 & 2 ..... page 7/7

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.

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

Le sujet comporte 3 exercices indépendants.

EXERCICE 1 : FREINS À DISQUES DE CARBONE (7,5 points)
EXERCICE 2 : PILE À COMBUSTIBLE (7 points)
EXERCICE 3 : L'ONDULEUR AUTONOME DE TENSION (5,5 points)

EXERCICE 1 : FREINS À DISQUES DE CARBONE (7,5 points)

Le freinage d'un aéronef une fois posé à terre, est assuré grâce à l'inversion de la poussée des réacteurs, à des aérofreins ainsi qu'à des freins à disques au niveau de deux roues. Ce dernier système de freinage n'est pas à négliger puisque c'est le seul qui permet l'immobilisation complète de l'appareil. Chacune des deux roues concernées est équipée d'un système de huit disques de carbone cylindriques pesant chacun m = 4,5 kg. Le freinage est alors assuré grâce au frottement de plaquettes contre les disques.

Données :

- intensité de la pesanteur : g = 9,8 N·kg^{-1} ;
- capacité thermique massique du carbone solide : c_c = 720 J·kg^{-1}·K^{-1} ;
- capacité thermique massique de l'air dans les conditions du problème : c_{air} = 1000 J·kg^{-1}·K^{-1} ;
- masse volumique de l'air dans les conditions du problème : ρ_{air} = 1,2 kg·m^{-3} ;
- température de fusion du carbone : T_F = 3827 °C.

On considère un avion monocouloir d'une masse m = 80 tonnes arrivant sur le tarmac à la vitesse V = 300 km·h^{-1}. Le freinage se fait sur une distance D = 2000 m et dure Δt = 50 s. On considère que durant cette phase de freinage, la contribution des freins à disques au freinage total est de 35 % en moyenne (ils dissipent 35 % de l'énergie totale dissipée).

Les forces de frottements, de résultante $\vec{F}$, existant sur la voilure et apparaissant grâce aux aérofreins assurent quant à elles 30 % du freinage total en moyenne. La valeur moyenne de la composante horizontale de la résultante de ces forces sera notée F.

Q.1 - Calculer l'énergie cinétique E_C de l'avion en début d'atterrissage.

Contribution des forces de frottement au freinage

Q.2 - Quel est le signe du travail de $\vec{F}$? Justifier.

Q.3 - Calculer ce travail $W_{\vec{F}}$.

Q.4 - En déduire la valeur F de $\vec{F}$.

Q.5 - Calculer la norme P du poids $\vec{P}$ de l'appareil et comparer la à la valeur F.

Contribution des freins à disque

Q.6 - Vérifier que l'énergie à dissiper par les freins à disques vaut ΔE = 9,7 × 10^7 J.

Q.7 - Calculer la puissance moyenne de freinage correspondante.

Q.8 - Si l'on considère que toute l'énergie dissipée par ce freinage est transmise uniquement aux disques, calculer l'élévation de température subie par un disque.

Q.9 - Cette valeur vous parait-elle acceptable au regard des données. Justifier.

Refroidissement des disques

Q.10 - En réalité, l'énergie dissipée par les disques provoque une élévation de température moitié moindre car ils sont refroidis en partie par l'air. Calculer la masse d'air m_{air} responsable de la différence constatée, on admet que cet air se réchauffe de 100 °C au contact des disques.

Q.11 - En déduire le débit volumique moyen D_{Vair} de cet air pendant la phase de freinage.
On donne $D_{Vair} = V / \Delta t$. V désigne le volume d'air correspondant à la masse m_{air} et Δt est la durée du freinage.

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

EXERCICE 2 : PILE À COMBUSTIBLE (7 points)

Airbus a récemment mis au point son A320 Néo qui permet de consommer 15 % de kérosène en moins par un allègement des carlingues et des sièges, ainsi que par l'optimisation de la consommation du carburant. Il semble également possible de gagner 15 % supplémentaire grâce à une technologie jusque-là plus utilisée dans le domaine automobile : la pile à combustible, qui permettrait également de limiter l'émission des gaz à effet de serre.
C'est ce à quoi ont pensé Airbus et le Centre allemand de recherche aérospatiale (DLR), qui se sont associés à l'américain Parker Aerospace pour concevoir le premier A320 d'un genre nouveau, équipé de moteurs classiques mais aussi d'une pile à combustible. Le but n'est pas pour le moment de faire voler l'avion grâce à cette technologie qui permet, en recombinant du dihydrogène avec du dioxygène, d'alimenter des batteries et des moteurs électriques. Il s'agit plutôt d'utiliser la pile à combustible pour combler les besoins en énergie des circuits électriques de l'avion, des éléments multimédias pour le divertissement à bord ou bien encore des systèmes de surveillance. C'est-à-dire, tout ce qui ne sert pas à faire avancer l'avion mais demande de l'électricité, qui était jusque-là fournie, le plus souvent, à partir de kérosène.

D'après un article de Futura-Sciences du 21/08/2012

On cherche dans cet exercice à évaluer la faisabilité d'un tel projet à travers quelques calculs simples d'ordres de grandeurs.

Données relatives à la pile à combustible :

couples rédox mis en jeu dans la réaction : $H^+_{(aq)}/H_{2(g)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$;
équation de la transformation chimique mise en jeu : $2\ H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2\ H_2O_{(l)}$;
énergie libérée pour une mole de H_2 consommée : $E_m = 237\ kJ \cdot mol^{-1}$;
rendement η_{pile} pour la conversion énergie chimique - énergie électrique : $\eta_{pile} = 50\ \%$.

Données thermochimiques :

constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$;
volume molaire des gaz parfaits dans les conditions normales de température et de pression (0°C sous 1 atm) : $V_m = 22{,}4\ L \cdot mol^{-1}$;
1 bar = 10^5 Pa ;
0 K = - 273,15 °C ;
masse molaire atomique : $M(H) = 1{,}0\ g \cdot mol^{-1}$;
masse molaire moléculaire du dodécane : $M(C_{12}H_{26}) = 170\ g \cdot mol^{-1}$;
masse volumique du kérosène à 15 °C : $\rho_{kér} = 0{,}80\ kg \cdot L^{-1}$;
pouvoir calorifique du kérosène : $45\ MJ \cdot kg^{-1}$.

Fonctionnement de la pile.

Le schéma sur le **document réponse n° 1 à rendre avec la copie** récapitule le fonctionnement d'une pile à combustible : celle-ci utilise du dihydrogène et le dioxygène de l'air pour produire de l'électricité, en ne rejetant que de l'eau (water) et de la chaleur (heat).

Répondre aux questions **Q.12**, **Q.13 et Q.14** sur le **document réponse n° 2 à rendre avec la copie :**

Q.12 - Écrire les demi-équations électroniques des réactions à la cathode puis à l'anode quand la pile débite.

Q.13 - Indiquer pour chaque demi-équation s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.

Q.14 - Retrouver l'équation de la transformation chimique mise en jeu lors du fonctionnement de cette pile.

Q.15 - Sur le schéma du **document réponse n° 1 à rendre avec la copie** indiquer :

- la polarité de chaque électrode ;
- le sens de circulation des électrons à l'extérieur de la pile ;
- le sens conventionnel du courant ;
- le sens de circulation des protons H^+ dans l'électrolyte.

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

Estimation du volume de H_2 nécessaire pour un aller Paris - New York.

Un A320 a besoin au total d'une énergie E_{tot} environ égale à $1{,}0 \times 10^{12}$ J pour effectuer un aller Paris - New York. On estime que 6 % de cette énergie est utilisée pour les sources secondaires non propulsives (hydrauliques, pneumatiques, électriques).

Q.16 - Montrer que la quantité de dihydrogène permettant d'alimenter toutes les sources non propulsives par piles à combustible pour ce voyage vaut $n(H_2) = 5{,}1 \times 10^5$ mol.

Q.17 - Cette quantité de dihydrogène doit pouvoir être stockée à température de 15°C et à une pression de 700 bar. Calculer le volume $V(H_2)$ occupé par ce gaz en le considérant parfait.

Q.18 - Calculer la masse $m(H_2)$ correspondante.

Obtention du dihydrogène.

Le dihydrogène ne se trouve pas dans la nature, il faut donc le produire. Un des modes de production utilisés est le vapo-reformage du gaz naturel $CH_{4(g)}$: on fait réagir celui-ci avec de la vapeur d'eau. Du dihydrogène ainsi que du dioxyde de carbone gazeux sont alors produits.

Q.19 - Écrire l'équation de la transformation chimique correspondante à ce vapo-reformage.

Q.20 - Calculer la quantité de matière $n(CO_2)$ de dioxyde de carbone libérée lors de la synthèse de $5{,}1 \times 10^5$ mol de dihydrogène.

Q.21 - En déduire le volume $V(CO_2)$ correspondant, dans les conditions normales de température et de pression.

Bilan carbone.

Le volume de kérosène nécessaire pour alimenter les sources secondaires non propulsives noté, $V_{kérosène,np}$, correspond à 6 % du volume total, soit $V_{kérosène,np}$ = 1700 L. On rappelle que le kérosène est un mélange d'hydrocarbures contenant des alcanes C_nH_{2n+2} de formule chimique allant de $C_{10}H_{22}$ à $C_{14}H_{30}$. Pour simplifier, on considèrera que le kérosène est constitué uniquement de dodécane de formule $C_{12}H_{26}$.

Q.22 - Quel est le principal gaz à effet de serre évoqué indirectement dans l'article encadré en début d'**exercice 2**, et dont on cherche à réduire l'émission grâce, entre autre, à l'utilisation de la pile à combustible ?

Q.23 - Écrire l'équation chimique de la combustion complète du dodécane.

Q.24 - Calculer la quantité de matière n_{dod} de dodécane en mol, contenue dans 1700 L de kérosène.

Q.25 - En déduire la quantité de matière de dioxyde de carbone $n(CO_2)$ produite lors de la combustion de 1700 L de kérosène.

Q.26 - Comparer cette valeur avec celle trouvée à la question **Q.20** et conclure en 2 lignes maximum sur la pertinence de produire du dihydrogène de cette façon.

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

EXERCICE 3 : L'ONDULEUR AUTONOME DE TENSION
(5,5 points)

Une batterie alimente un onduleur autonome de tension. Cette batterie peut être rechargée par une association de plusieurs piles à combustible.

Q.27 - L'onduleur est un convertisseur statique. Quel type de conversion effectue-t-il ?

Q.28 - On peut réaliser une commande symétrique ou une commande décalée pour l'onduleur. Déterminer la période et la fréquence de chacun des signaux dont les chronogrammes sont donnés ci-dessous (les tensions sont en volts et les durées en ms).

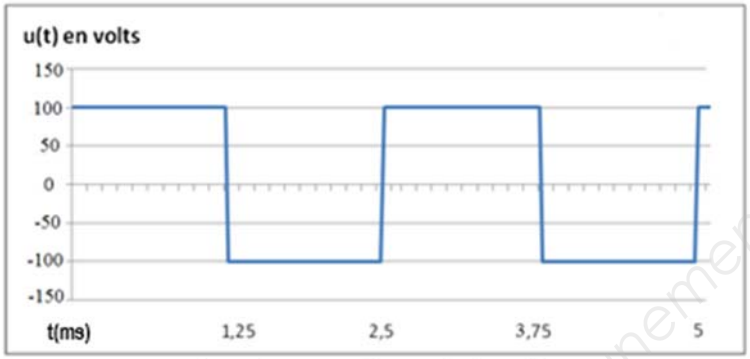


Figure 1 : commande symmétrique u(t)

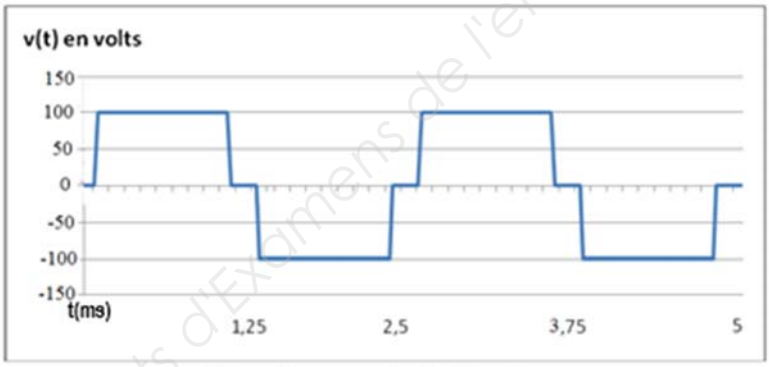
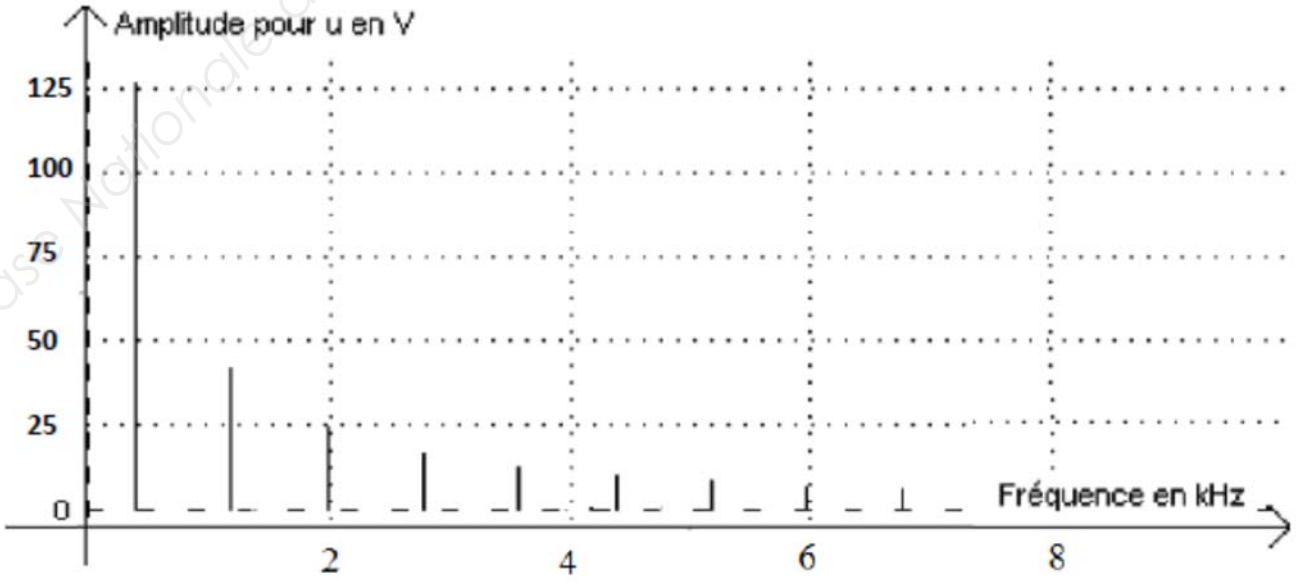
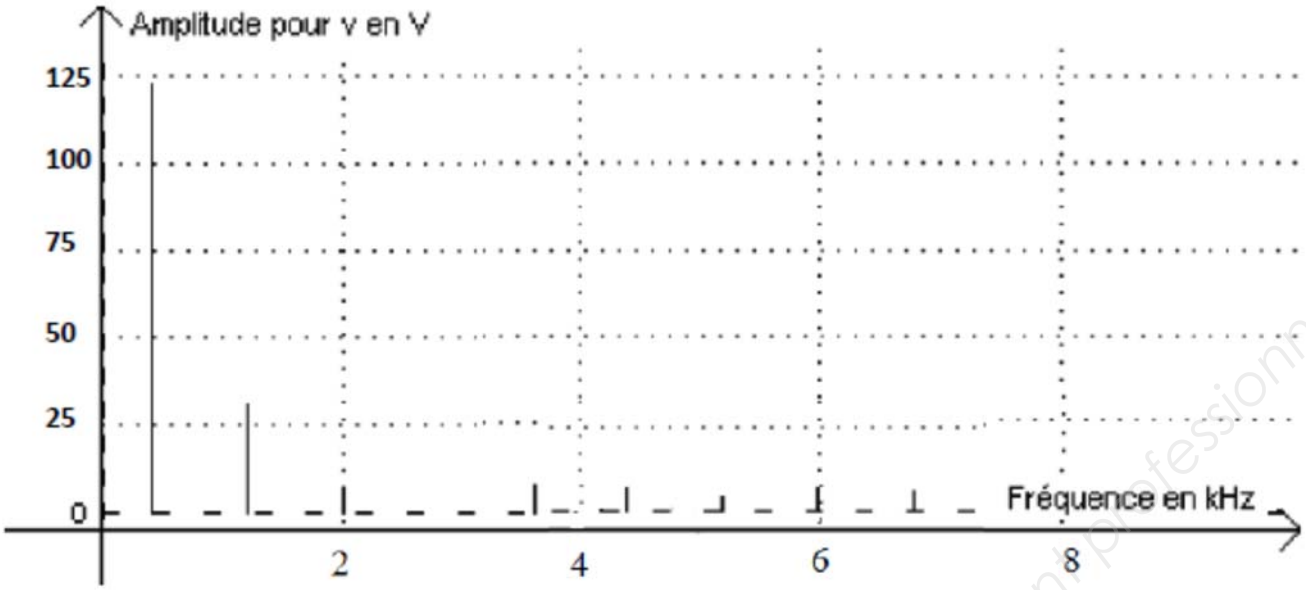


Figure 2 : commande décalée v(t)

L'analyse spectrale respective de ces deux tensions de sortie est donnée ci-dessous :



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



Q.29 - Laquelle de ces deux tensions est la plus proche d'une tension sinusoïdale ? Justifier.

Q.30 - Déterminer pour chaque tension la fréquence f_1 du fondamental (ou harmonique de rang 1).

Q.31 - Montrer la cohérence avec la réponse de la question **Q.28**.

Q.32 - Ces tensions présentent-elles des harmoniques pairs ou impairs ?

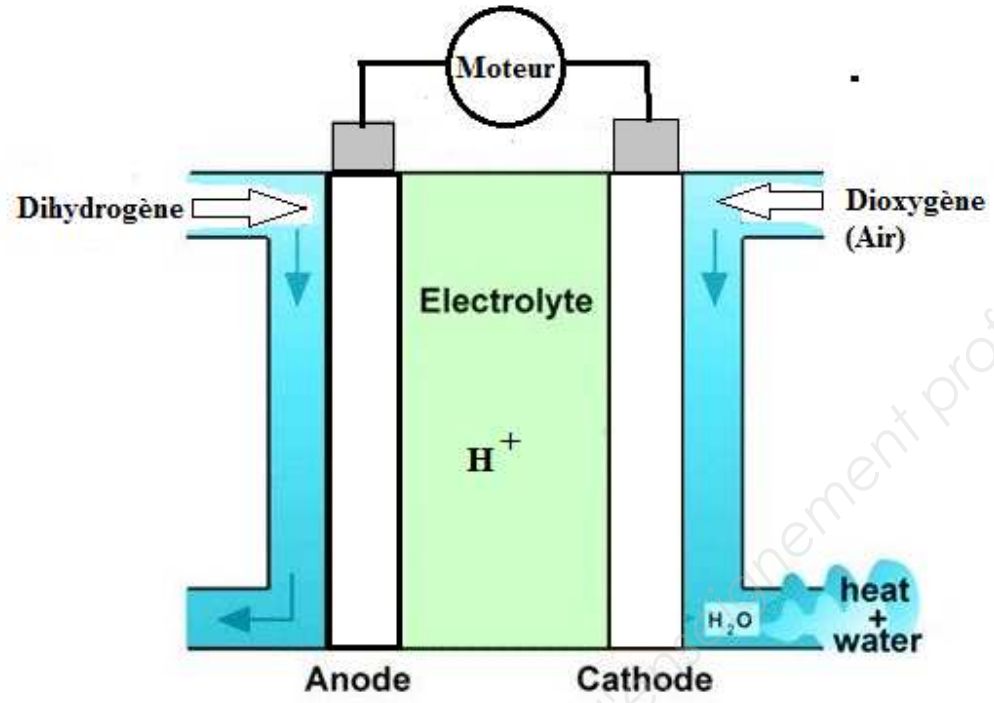
Q.33 - Donner l'amplitude et la fréquence de l'harmonique de rang 3 de la tension $u(t)$.

Pour alimenter un moteur, on souhaite avoir une tension sinusoïdale ayant la fréquence du fondamental.

Q.34 - Quel dispositif peut-on utiliser pour recupérer ce signal sinusoïdal ? Préciser la nature et la valeur de fréquence de coupure de ce dispositif.

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

DOCUMENT RÉPONSE N° 1
(à rendre avec la copie)



DOCUMENT RÉPONSE N° 2
(à rendre avec la copie)

		Nature de la réaction
Demi-équation électronique anode		
Demi-équation électronique cathode		
Équation complète		

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.