

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR AÉRONAUTIQUE

ÉPREUVE E3 - MATHÉMATIQUES - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SOUS-ÉPREUVE U32 - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SESSION 2022

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

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.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 1/7

Un avion-école est un avion utilisé pour la formation des pilotes civils ou la formation de base des pilotes militaires. Les avions-écoles utilisés pour l'entraînement de base sont des biplaces, dans lequel l'élève et son instructeur sont généralement assis côte à côte.

L'objectif du sujet est d'étudier un avion électrique qui vient de recevoir une certification. Ce biplace, conçu principalement pour l'apprentissage, est entièrement approuvé pour des vols d'instruction.

Toutes les parties et sous-parties peuvent être traitées séparément.

Un barème « temps », lecture comprise, est donné à titre indicatif pour chacune d'elles.

<u>PARTIE 1</u> : ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE DU VOL DE L'AÉRONEF ÉLECTRIQUE	50 minutes
<u>PARTIE 2</u> : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX D'UN AVION-ÉCOLE	40 minutes
<u>PARTIE 3</u> : ÉTUDE DE LA CHARGE DES BATTERIES DE L'AÉRONEF	30 minutes

PARTIE 1 : ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE DU VOL DE L'AÉRONEF ÉLECTRIQUE (8 points)

L'objectif de cette partie est de déterminer les valeurs des énergies et des puissances mises en jeu lors du vol de l'aéronef électrique lorsqu'il est à l'altitude de croisière h_c , à sa vitesse de croisière V_c et à sa masse maximale m_{max} supposées constantes durant le vol.

On utilisera pour répondre aux questions les données techniques de l'aéronef électrique ci-dessous :

Moteur	
Puissance maximale P_{max}	67,6 kW
Masse	
Masse maximale m_{max}	600 kg
Performances pour m_{max}	
Vitesse de croisière V_c	108 kt
Finesse aérodynamique f	15,0
Altitude de croisière h_c	4 000 pieds
Distance maximale parcourable d_{max}	200 km
Batterie	
Énergie totale E stockée	24,8 kW·h
Tension nominale U_{nom}	330 V

Énergie cinétique et énergie potentielle.

Donnée : 1 knot (nœud), noté kt, est égal à $1,852 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Q.1 - Vérifier que la valeur de la vitesse de croisière V_c est égale à $55,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Q.2 - Donner l'expression de l'énergie cinétique E_c que possède l'aéronef électrique en vol de croisière.

Q.3 - Calculer la valeur de cette énergie cinétique E_c .

Q.4 - Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur E_p que possède l'aéronef électrique à l'altitude de croisière h_c .

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 2/7

Données : Valeur de l'intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $1 \text{ pied} = 0,305 \text{ m}$.

Q.5 - Calculer la valeur de cette énergie potentielle de pesanteur E_p .

Travail de la force de traction.

On s'intéresse maintenant au travail W_T de la force de traction \vec{T} nécessaire à l'avion pour parcourir, horizontalement et à la vitesse de croisière V_C , une distance d_{max} correspondant à son autonomie.

On modélise sans souci d'échelle, figure 1 ci-après, les actions s'exerçant sur un avion en vol par trois forces :

- Son poids \vec{P} .
- La traction \vec{T} exercée par l'hélice, la ligne d'action de \vec{T} est supposée parallèle à la trajectoire de l'avion.
- La résultante aérodynamique \vec{R}_a , qui est la somme des actions aérodynamiques s'exerçant sur l'avion (ailes, fuselage, etc). Cette résultante aérodynamique peut être décomposée vectoriellement en une composante \vec{R}_x nommée traînée, parallèle à la trajectoire de l'avion et dirigée vers l'arrière, et une composante \vec{R}_z , nommée portance, verticale et dirigée vers le haut. On a donc vectoriellement : $\vec{R}_a = \vec{R}_x + \vec{R}_z$.

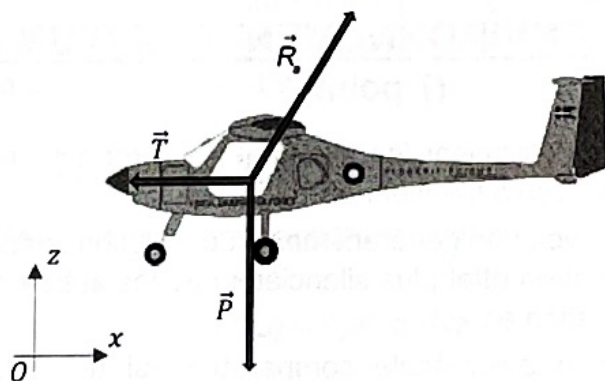


Figure 1. Représentation des forces sans souci d'échelle

Q.6 - Le mouvement étant rectiligne et uniforme, écrire, en la justifiant, la relation vectorielle entre les trois vecteurs \vec{P} , \vec{T} et \vec{R}_a représentant les forces qui s'exercent sur l'avion.

Q.7 - Le mouvement étant horizontal et uniforme, donner la relation entre les normes T et R_x des forces \vec{T} et \vec{R}_x .

Q.8 - Le mouvement étant horizontal et uniforme, donner la relation entre les normes P et R_z des forces \vec{P} et \vec{R}_z .

Donnée : La finesse aérodynamique f est le rapport des normes de la portance et de la traînée.

On a donc : $f = \frac{R_z}{R_x}$.

Q.9 - Montrer alors que la norme T de la force de traction nécessaire au vol horizontal, peut s'exprimer par la relation : $T = \frac{m_{max} \times g}{f}$.

Q.10 - Calculer la valeur de la norme T de la force de traction.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 3/7

- Q.11** - Donner l'expression du travail W_T développé par cette force de traction \vec{T} , durant un vol horizontal sur une distance d_{max} égale à 200 km.
- Q.12** - Calculer la valeur du travail W_T développé par cette force de traction \vec{T} .
- Q.13** - Comparer les valeurs de E_c , E_p et W_T (Q.3, Q.5 et Q.12) et vérifier que la valeur W_T est prépondérante par rapport aux valeurs de E_c et E_p .
- Q.14** - Vérifier alors que l'énergie E_{bat} contenue dans les batteries (capacité totale) est suffisante pour assurer un vol de distance d_{max} à la vitesse de croisière V_c .

Pour que l'aéronef puisse décoller, la puissance de son moteur doit être environ trois fois supérieure à la puissance propulsive P_p développée par la force de traction en vol de croisière horizontal.

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

- Q.15** - Vérifier que la puissance maximale P_{max} que peut fournir le moteur est suffisante pour le décollage de l'aéronef.

PARTIE 2 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX D'UN AVION-ÉCOLE (7 points)

L'objectif de cette partie est de déterminer les avantages environnementaux d'un avion-école électrique par rapport à un avion-école traditionnel.

Un aéronef électrique permet de voler en générant moins de pollution sonore et également moins de pollution atmosphérique. Il est en effet plus silencieux que les autres avions, mais surtout, il ne produit aucun gaz de combustion en vol.

Nous allons étudier le vol d'un avion-école comparable qui utilise un moteur thermique consommant en vitesse de croisière un volume de carburant $V_{carburant}$ égal à 13,6 L par heure de vol.

En aviation civile, le carburant le plus répandu est le Jet A-1.

Rejet de dioxyde de carbone d'un avion thermique.

Donnée : La masse volumique du carburant $\rho_{carburant}$ est égale à 750 g·L⁻¹.

- Q.16** - Calculer la valeur de la masse $m_{carburant}$ de carburant consommé par heure de vol.

Donnée : La masse molaire $M_{carburant}$ du carburant est égale à 170 g·mol⁻¹.

- Q.17** - En déduire la valeur de la quantité de matière $n_{carburant}$ de carburant consommé en une heure.

Nous considérerons pour la suite que ce carburant, le Jet A-1, ne contient que du dodécane dont la formule brute de la molécule est C₁₂H₂₆.

- Q.18** - La combustion complète du dodécane avec le dioxygène produit du dioxyde de carbone et de l'eau. Écrire et équilibrer l'équation de la réaction permettant de modéliser la combustion de ce carburant.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 4/7

Q.19 - À partir de cette équation de combustion, vérifier que la valeur de la quantité de matière n_{CO_2} de dioxyde de carbone rejeté par heure de vol est égale à 720 mol.

Données : Masses molaires atomiques : $M(C) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M(O) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q.20 - Calculer la valeur de la masse m_{CO_2} de dioxyde de carbone émise lors de cette heure de vol.

L'autonomie de l'avion électrique est d'une heure de vol à vitesse et altitude de croisière. Pendant cette heure de vol, la batterie se décharge. Il est nécessaire de procéder à la charge de celle-ci. L'ensemble, charge et décharge, correspond à un cycle.

Q.21 - Calculer la valeur de la masse totale m_{CO_2T} de dioxyde de carbone non rejeté grâce à l'utilisation des batteries après 2000 cycles qui correspondent à une durée de vie moyenne de la batterie.

Quantité de lithium dans les batteries de l'aéronef électrique.

Cet avion permet d'éviter le rejet d'une quantité de dioxyde de carbone non négligeable à chaque vol. L'utilisation d'une batterie au lithium n'est pas sans effet environnemental. Il est donc nécessaire de prévoir son recyclage. Avant de la recycler, il est primordial de connaître la masse totale de lithium m_{Li} contenue dans la batterie.

Lors de la décharge, les atomes de lithium Li se transforment en cations lithium Li^+ .

Q.22 - Écrire la demi-équation électronique correspondante.

Donnée : Masse molaire atomique : $M(Li) = 6,90 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Q.23 - Calculer la valeur de la quantité de matière n_e d'électrons alors libérés par gramme de lithium.

On appelle Q la charge électrique libérée par gramme de lithium.

Donnée : La valeur de la constante de Faraday F est égale à $96485 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

Q.24 - Donner l'expression de Q en fonction de n_e puis vérifier que sa valeur est égale à $1,40 \times 10^4 \text{ C}$.

La batterie de l'aéronef est constituée d'un nombre important de cellules reliées entre elles afin de fournir une grande quantité d'énergie. Chaque cellule est constituée, entre autres, de deux électrodes et d'un électrolyte liquide contenant un composé ionique comportant des cations lithium Li^+ . On supposera que chaque cellule contient une masse égale à un gramme de lithium.

La valeur de la tension U aux bornes d'une cellule de la batterie est égale à 3,6 V et l'énergie totale E stockée dans la batterie vaut 24,8 kW·h.

Donnée : Un kilowatt-heure (kW·h) est égal à $3,6 \times 10^6$ joules (J).

Q.25 – Calculer la valeur de la masse totale m_{Li} de lithium présente dans la batterie.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 5/7

PARTIE 3 : ÉTUDE DE LA CHARGE DES BATTERIES DE L'AÉRONEF (5 points)

Alors qu'une prise murale ordinaire monophasée 230 V peut être utilisée pour les charges, le fabricant recommande une connexion triphasée 400 V afin de permettre une charge rapide. Dans cette partie, nous allons étudier le dispositif permettant la charge de la batterie de l'avion. Ce dispositif est schématisé figure 2 ci-dessous :

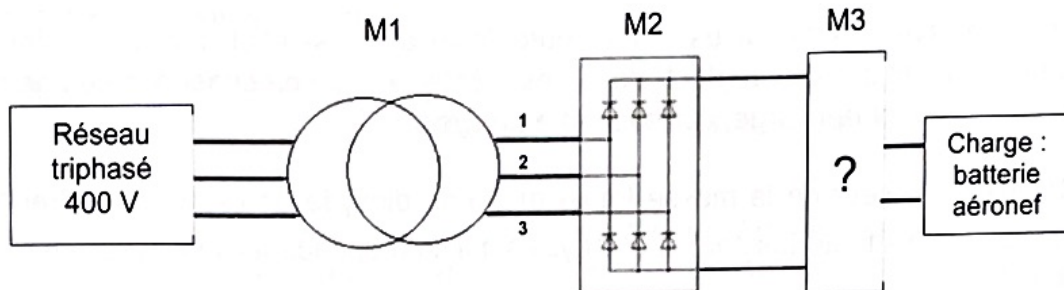


Figure 2. Dispositif de charge des batteries

Étude structurelle du dispositif.

Q.26 - Nommer le module M1 de la figure 2 et indiquer sa fonction.

Q.27 - Nommer le module M2 de la figure 2 et indiquer sa fonction.

Q.28 - Nommer le dipôle du module M3 de la figure 2 qui permet de lisser la tension.

Étude des tensions.

On a relevé, à l'aide d'un oscilloscope, les tensions composées en entrée du module M2 et on obtient l'oscillogramme représenté sur la figure 3.

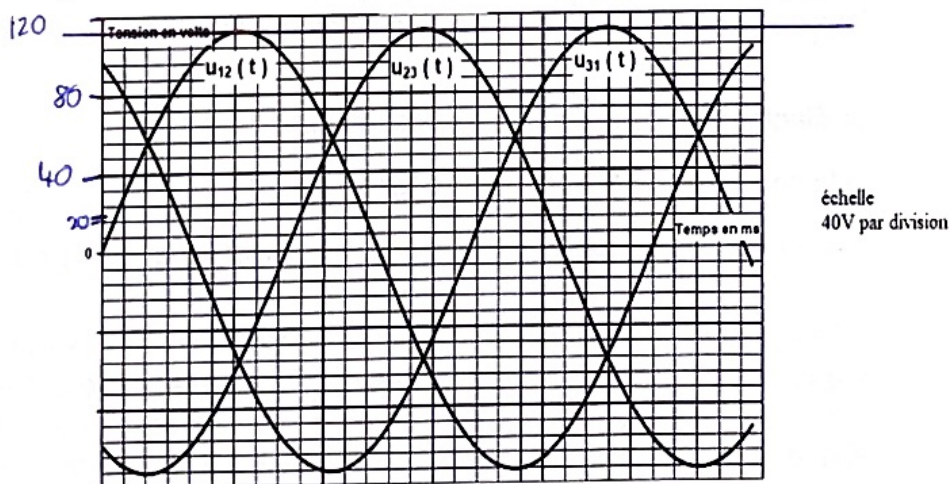


Figure 3. Chronogramme des tensions composées en entrée du module M2

Q.29 - En utilisant la figure 3, déterminer la valeur U_{max} des tensions composées, tensions prises entre deux phases.

Q.30 - En déduire la valeur efficace U des tensions composées.

Donnée : Le module M1 permet une isolation électrique de rapport 1.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2022
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 22AE3SCPC	Page : 6/7

Q.31 - Vérifier la valeur de ce rapport en comparant vos résultats précédents avec la tension d'alimentation du réseau triphasé.

On a relevé à l'aide d'un oscilloscope la tension à la sortie du module M2 en l'absence du module M3 et de la charge. On obtient la tension représentée sur la figure 4.

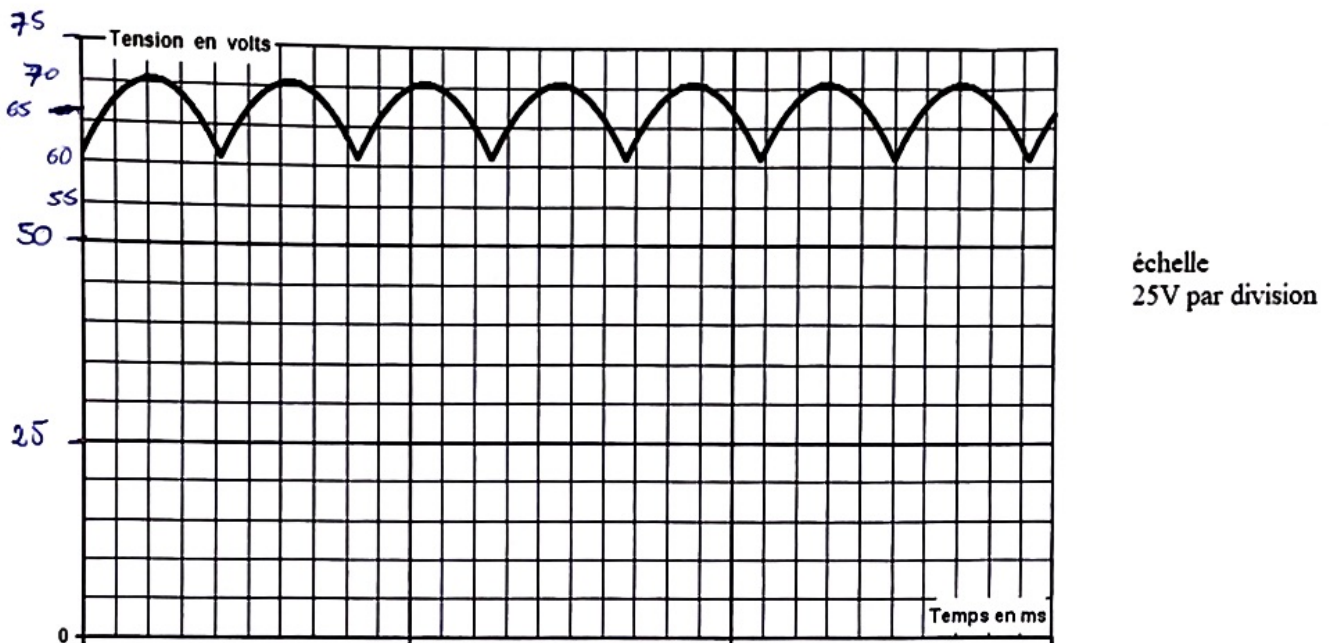


Figure 4. Chronogramme de la tension à la sortie du module M2

Q.32 - En utilisant la figure 4, estimer en justifiant brièvement, la valeur moyenne U_{moy} de cette tension.

Q.33 - Nommer l'appareil permettant de mesurer cette valeur moyenne et préciser son mode d'utilisation (AC ou DC). *Oscilloscope AC.*

Q.34 - Comparer la valeur U_{moy} avec la valeur de la tension nominale U_{nom} de la batterie égale à 330 V. Conclure.