

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR AÉRONAUTIQUE

## ÉPREUVE E3 - MATHÉMATIQUES - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

### SOUS-ÉPREUVE U32 - SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

SESSION 2023

Durée : 2 heures  
Coefficient : 2

1/ Passage du 115<sup>V</sup> alternatif  
au 230<sup>V</sup> continue : Elec, électrom

2/ rôle de l'empennage  
horizontal : Energie méca.  
moment, fluides

3/ Carburants du futur : chimie

#### Matériel autorisé :

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

**Les documents réponses seront à rendre non agrafés (même vierges) avec les copies.**  
Il vous appartient de compléter le bandeau au verso des documents réponses.

- Document réponse 1 ..... page 8/9
- Document réponse 2 ..... page 9/9

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9.

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 2023	
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 23AE3SCPC	Page : 1/9

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DIVISION OF THE PHYSICAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

---

REPORT OF THE  
COMMISSION ON THE ORGANIZATION  
OF THE DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
AND THE DIVISION OF THE PHYSICAL SCIENCES  
AT THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
FOR THE YEAR 1964-1965

L'association internationale du transport aérien a annoncé viser « zéro émission nette » de carbone d'ici 2050.

Afin d'alléger les avions, des progrès ont été réalisés en substituant le circuit hydraulique et le circuit pneumatique par des circuits électriques. Le centre de gravité de l'avion peut alors changer de place et des solutions sont utilisées pour maintenir l'avion stable horizontalement lors d'un vol, à l'aide de l'empennage arrière.

La majeure partie de l'énergie consommée par un avion est utilisée pour sa propulsion. Ainsi un enjeu majeur pour l'avenir sera de trouver des substituants au kérosène : les carburants dits « drop-in », qui permettent d'utiliser les réacteurs actuels ou avec des modifications mineures. Également, on peut envisager comme carburant le dihydrogène qui nécessitera des adaptations plus conséquentes sur les avions.

Toutes les parties peuvent être traitées séparément.

Un barème temps (lecture comprise) est donné à titre indicatif.

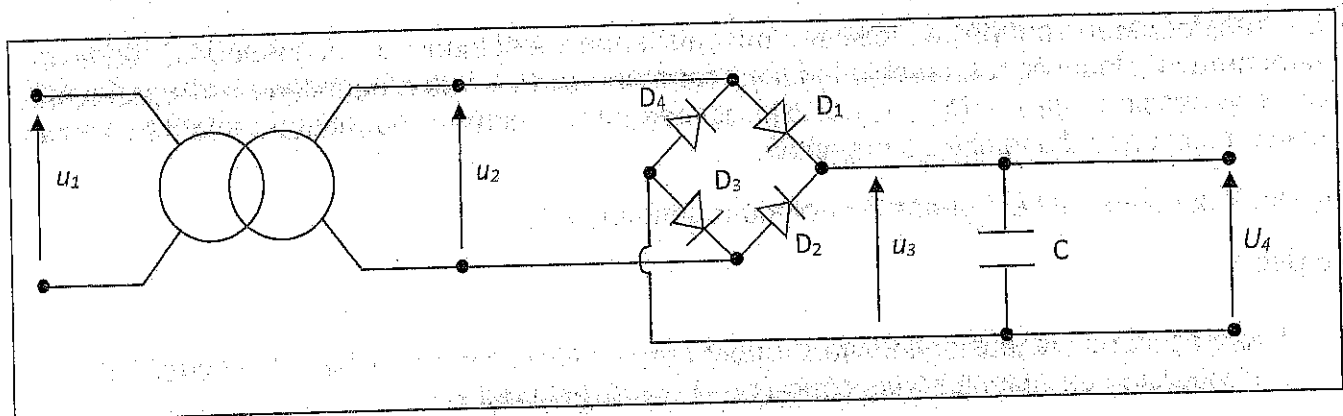
**PARTIE 1 : PASSAGE DU 115 V ALTERNATIF AU 28 V CONTINU (9 points) 50 minutes**

**PARTIE 2 : RÔLE DE L'EMPENNAGE HORIZONTAL (5 points) 30 minutes**

**PARTIE 3 : CARBURANTS DU FUTUR (6 points) 40 minutes**

### PARTIE 1 : PASSAGE DU 115 V ALTERNATIF AU 28 V CONTINU (9 points)

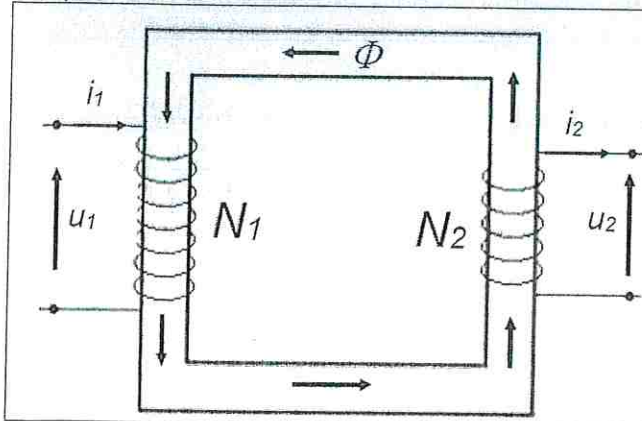
Le schéma électrique ci-dessous (figure 1), présente les principaux composants permettant de passer d'une tension électrique  $u_1$  alternative sinusoïdale, de valeur efficace  $U_1$  égale à 115 V et de valeur de fréquence  $f$  égale à 400 Hz, à une tension continue  $U_4 = 28$  V. La tension intermédiaire  $u_2$  a une valeur efficace  $U_2$  égale à 20 V et une fréquence  $f$  de valeur égale à 400 Hz.



**Figure 1 :** Schéma électrique

## Étude du transformateur.

Le transformateur monophasé standard est formé de deux bobines électriques fortement couplées.



Les grandeurs indicées « 1 » sont relatives au primaire du transformateur qui est relié à la source d'énergie, les grandeurs indicées « 2 » sont relatives au secondaire relié à la charge par l'intermédiaire d'autres composants.

$N_1$  et  $N_2$  désignent le nombre de spires de chaque bobine.

$\Phi$  correspond au flux du champ magnétique  $B$  créé par la bobine du primaire.

**Figure 2** : Transformateur monophasé

**Q.1** - Indiquer le dispositif qui permet de produire la tension  $u_1$  dans un aéronef.

**Q.2** - Indiquer la forme de la tension  $u_2$  en sortie du transformateur.

**Données :**

- Le transformateur parfait présente un rapport de transformation  $m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$  (équation 1).
- Les lettres en majuscule pour les tensions indiquent les valeurs efficaces de ces grandeurs.
- La bobine primaire est composée de  $N_1 = 100$  spires.

**Q.3** - Calculer le nombre  $N_2$  de spires au secondaire du transformateur afin de respecter les valeurs des tensions données en début d'exercice. Donner le résultat à l'unité près.

**Donnée :**

- Le transformateur permet de délivrer une puissance électrique au secondaire à partir du phénomène d'induction. La tension induite est notée  $u_2(t)$ . Le flux magnétique  $\Phi(t)$  est donné par l'expression :  $\Phi(t) = B(t) \times s$  où  $B(t)$  représente le champ magnétique variable et  $s$  la section moyenne d'une spire de la bobine.

**Q.4** - Indiquer comment est généré le champ magnétique  $B(t)$ .

**Données :**

- L'expression de la tension induite  $u_2(t)$  est :  $u_2(t) = N_2 \times 2 \times \pi \times f \times B_{max} \times s \times \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$ .
- La fréquence de l'intensité des courants  $i_1(t)$  et  $i_2(t)$  est notée  $f$ .

**Q.5** - Justifier alors qu'augmenter la fréquence  $f$  permet de réduire le nombre de spires  $N_2$  et la section  $s$  des bobines, donc la masse du transformateur.

La puissance apparente  $S$  permet de dimensionner le diamètre des câbles transportant le courant électrique.

**Donnée :**

- On suppose que la valeur efficace de l'intensité du courant  $I_1$  est égale à 10 A.

**Q.6** - Calculer la valeur de la puissance apparente  $S_1$  au primaire du transformateur.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2023
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 23AE3SCPC	Page : 3/9



Le transformateur sera considéré parfait avec un rendement égal à 1.

**Q.7** - En déduire la valeur de la puissance apparente  $S_2$  au secondaire du transformateur et montrer que la valeur efficace de l'intensité  $I_2$  au secondaire est proche de 60 A.

**Q.8** - Indiquer alors l'intérêt de transporter l'énergie électrique sous une tension de valeur 115 V plutôt que sous une tension de valeur 20 V.

### Étude du redresseur.

Pour obtenir une tension continue  $U_4$  de valeur égale à 28 V, on place à la sortie du transformateur un redresseur double-alternance (voir figure 1) suivi d'un composant noté C.

Sur le document 1 du document réponse 1 à rendre avec la copie page 8/9, on a représenté la tension  $u_2$  en entrée du redresseur en fonction du temps.

**Q.9** - Déterminer la valeur de la fréquence  $f$  et la valeur efficace  $U_2$  de la tension  $u_2$  à partir du document 1 sur le document réponse 1 à rendre avec la copie et comparer avec les valeurs données en introduction.

**Q.10** - En supposant les diodes du redresseur parfaites, compléter le document 2 du document réponse 1 à rendre avec la copie en remplaçant chaque diode, selon son état passant ou bloqué, par un interrupteur respectivement fermé ou ouvert.

**Q.11** - Montrer que  $u_3(t) = u_2(t)$  lorsque  $u_2(t) > 0$  et que  $u_3(t) = -u_2(t)$  lorsque  $u_2(t) < 0$ .

**Q.12** - Représenter l'allure de  $u_3(t)$  sur le document 1 du document réponse 1 à rendre avec la copie en l'absence du composant désigné par la lettre C sur la figure 1.

**Q.13** - Indiquer le nom et l'utilité du composant désigné par la lettre C.

**Q.14** - Indiquer l'appareil qui permet de mesurer la valeur de la tension  $U_4$  et le type de couplage à utiliser (AC ou DC).

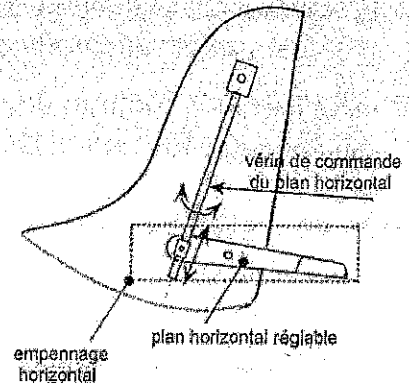
BTS AÉRONAUTIQUE		Session 2023
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : 23AE3SCPC	Page : 4/9

## PARTIE 2 : RÔLE DE L'EMPENNAGE HORIZONTAL (5 points)

L'empennage correspond à la partie horizontale située à l'arrière de l'avion et qui, de par sa taille, sa surface et sa distance au centre de gravité, va « régler » la stabilité autour de l'axe de tangage.

Si, au cours du vol, il y a modification de la puissance (régime moteur) ou si l'avion se trouve dans une masse d'air ascendante, il faudra modifier la position de l'empennage afin de rétablir la stabilité longitudinale de l'avion.

On considérera par la suite un avion de ligne en vol horizontal à vitesse de croisière  $v$  égale à  $1000 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . La valeur de sa masse  $m$  en vol sera prise égale à  $410 \text{ t}$ .



**Figure 3 :** L'empennage horizontal

### Données :

- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
- Masse volumique de l'air à l'altitude de croisière :  $\rho = 0,40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;
- Coefficient aérodynamique de portance :  $C_z = 0,32$  ;
- Surface alaire :  $S = 845 \text{ m}^2$  ;
- Expression d'une force de portance :  $F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_z \cdot v^2$ .

**Q.15** - Donner l'expression du poids  $P$  de l'avion en vol puis calculer la valeur.

Le document 3 du document réponse 1 à rendre avec la copie permet de visualiser les trois points G, Cp et Cd qui seront étudiés dans la suite. On considère l'axe  $\Delta_G$  passant par le centre de gravité G et perpendiculaire au plan de la figure du document 3.

**Q.16** - Montrer que la valeur du moment du poids  $M(\vec{P})$  par rapport à l'axe  $\Delta_G$  de l'avion est nulle.

**Q.17** - Montrer que la valeur du moment  $M(\vec{F}_z)$  de la force de portance par rapport à l'axe  $\Delta_G$  est égale à  $5,4 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

**Q.18** - En déduire l'intensité de la force de déportance  $F_d$  que doit appliquer l'empennage horizontal afin que l'avion reste à l'horizontale.

**Q.19** - Représenter les forces précédentes  $\vec{P}$ ,  $\vec{F}_z$  et  $\vec{F}_d$ , sans souci d'échelle, sur le document 3 du document réponse 1 à rendre avec la copie.

Au cours du vol, le centre de gravité G se rapproche du centre Cp de la force de portance du fait de la consommation de carburant.

**Q.20** - En étudiant l'évolution de la valeur de la force de déportance  $F_d$  dans ce cas, expliquer comment maintenir l'avion stable horizontalement au cours du vol.

### PARTIE 3 : CARBURANTS DU FUTUR (6 points)

Le transport aérien représente 2,5 % des émissions de CO<sub>2</sub>. Les questions environnementales sont classées en deux catégories : impact sur le climat, impact sur la qualité de l'air au sol. Pour cela, deux types de nouveaux carburants sont envisagés :

- les carburants dits « Drop-In » pouvant se substituer au Jet Fuel conventionnel, en partie ou en totalité, avec le minimum de modifications des avions et des moteurs existants ;
- le dihydrogène utilisé pour alimenter des piles à combustibles entraînant des moteurs électriques.

#### Comparaison entre les carburants Drop-In.

Les biocarburants de deuxième génération utilisent des déchets agricoles ou forestiers. On fabrique alors les carburants de synthèse tels le BTL (Biomass To Liquid) de formule brute C<sub>12</sub>H<sub>26</sub> ou de l'éthanol de formule brute C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O.

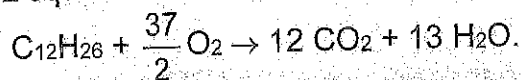
Données :

	Masse volumique (g·mL <sup>-1</sup> )	PCI (MJ·kg <sup>-1</sup> )
BTL	0,800	42,80
Éthanol	0,789	28,87

PCI désigne le pouvoir calorifique inférieur soit l'énergie disponible par unité de masse lors de la combustion.

Document extrait de la conférence CNAM de mars 2011.

- Masses molaires atomiques :  $M(\text{C}) = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{O}) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- L'équation de la réaction modélisant la combustion complète du BTL s'écrit :



- Un volume V égal à 1,0 L de BTL correspond à une quantité de matière  $n_1$  égale à 4,7 mol.

Q.21 - Écrire l'équation de la réaction modélisant la combustion complète de l'éthanol.

Q.22 - Calculer la valeur de la quantité de matière  $n_2$  d'éthanol présente dans un volume V de valeur égale à 1,0 L en utilisant les données.

Q.23 - Montrer que le BTL produit environ 1,6 fois plus de CO<sub>2</sub> par litre que l'éthanol.

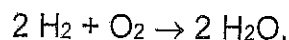
Q.24 - En utilisant les données, expliquer pourquoi l'éthanol est peu intéressant en aéronautique, excepté pour des lignes court-courriers.

## Utilisation du dihydrogène comme combustible.

L'objectif fixé par le plan de relance français pour le secteur de l'aéronautique, est de faire voler des avions « propres », alimentés au dihydrogène, à l'horizon 2035.

Le principe de fonctionnement est simple : la cellule de réaction est composée de deux électrodes séparées par un électrolyte (exemple : l'acide phosphorique ( $3\text{H}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Elle est alimentée en dihydrogène et en dioxygène en continu, document 4 du document réponse 2.

Le fonctionnement de la pile repose sur une réaction d'oxydoréduction d'équation :



**Données :** Couples oxydant-réducteur :  $\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}$  et  $\text{H}^+ / \text{H}_2$ .

**Q.25 -** Écrire les demi-équations des réactions ayant lieu à chaque électrode de la pile à combustible.

**Q.26 -** Sur le document 4 du document réponse 2 à rendre avec la copie, indiquer le sens des électrons à l'extérieur de la pile et celle des ions  $\text{H}^+$  dans l'électrolyte.

**Q.27 -** Donner alors l'intérêt de la pile à combustible par rapport aux carburants alternatifs étudiés précédemment.

**Donnée :** L'avion équipé de la pile à combustible a besoin de 300 MJ par passager pour effectuer un trajet de 100 km.

**Q.28 -** Compléter les valeurs des énergies manquantes de la chaîne énergétique simplifiée du document 5 du document réponse 2 à rendre avec la copie.

**Donnée :** Le pouvoir calorifique du dihydrogène  $PCI$  est égal à  $243 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

**Q.29 -** Calculer la valeur de la quantité de matière de dihydrogène  $n(\text{H}_2)$  par passager, nécessaire pour effectuer le trajet de 100 km.

**Donnée :** La valeur du volume molaire  $V_m$  des gaz est égal à  $24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$  à  $20^\circ\text{C}$  et sous une pression de 1 bar.

**Q.30 -** Calculer la valeur du volume de dihydrogène  $V(\text{H}_2)$  nécessaire par passager pour effectuer un trajet de 100 km. Commenter le résultat obtenu.

**Q.31 -** Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits. Indiquer sur quels paramètres et dans quel sens il est possible d'agir pour réduire la valeur du volume de dihydrogène  $V(\text{H}_2)$  nécessaire par passager.