



**LE RÉSEAU DE CRÉATION  
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé  
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR AÉRONAUTIQUE

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

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

SESSION 2017

\_\_\_\_\_

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

\_\_\_\_\_

#### Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n°99-186, 16/11/1999).

#### Documents à rendre et àagrafer avec la copie :

- Document réponse n° 1 ..... page 6/7
- Document réponse n° 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.

BTS AÉRONAUTIQUE	Session 2017
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : AE3SCPC
	Page : 1/7

# ÉTUDE D'UN DISPOSITIF DE TAXIAGE ÉLECTRIQUE POUR AVION MOYEN COURRIER

L'étude proposée concerne un avion mono-couloir moyen courrier d'environ 180 places.

L'objectif du dispositif étudié est de permettre le déplacement autonome de l'avion au sol, sans utiliser ses moteurs principaux (réacteurs).

Les intérêts du dispositif sont multiples :

- Diminuer la consommation de carburant durant les phases de roulage ;
- Diminuer les quantités de gaz polluants émises lors du roulage ;
- Diminuer les nuisances sonores aux abords des aéroports ;
- Diminuer les risques d'ingestion de corps étrangers par les réacteurs sur le tarmac ;
- Permettre à l'avion de reculer de façon entièrement autonome.

La solution étudiée consiste en une motorisation électrique des deux trains principaux de l'avion (un moteur électrique par train). Lors des phases de roulage au sol, l'avion est propulsé par ses moteurs électriques, au lieu de ses réacteurs. L'énergie électrique nécessaire est alors fournie par l'APU (1) (voir document 1 page 2/7) de l'avion.

La modulation de la puissance motrice de chaque moteur électrique est assurée par un convertisseur statique, logé dans une soute voisine du moteur concerné.

Ce sujet comporte trois parties indépendantes, pouvant être traitées dans un ordre différent de celui proposé par l'énoncé.

## PARTIE 1 : ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE

L'objectif de cette partie est de déterminer la puissance motrice nécessaire pour respecter le cahier des charges, puis la puissance électrique absorbée par le dispositif.

Le cahier des charges du dispositif impose que l'avion, chargé à sa MTOW (2) (voir document 1 page 2/7), doit être capable :

- ♦ de maintenir une vitesse égale à 10 nœuds (3) (voir document 1 page 2/7) sur une pente montante de 1,5 % (4) (voir document 1 page 2/7) ;
- ♦ d'atteindre une vitesse de 10 nœuds en 20 secondes sur un sol horizontal, depuis une vitesse nulle (départ arrêté).

### Document 1 :

(1) APU = Auxilliary Power Unit, groupe auxiliaire de puissance GAP (à l'arrière de l'avion).

(2) MTOW = Maximum Take Off Weight, masse maximale au décollage de l'avion.

(3) Une vitesse de un nœud correspond à une distance parcourue de un mille nautique par heure (1 mille nautique = 1852 m).

(4) Le taux d'une pente correspond au rapport du dénivelé sur la distance horizontale parcourue ; ainsi, sur une pente montante à 1,5 %, on s'élève de 1,5 m lorsqu'on parcourt 100 m horizontalement.

### Données :

- MTOW de l'avion :  $m_a = 77$  tonnes
- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$
- Pour simplifier, tous les frottements et toutes les forces dissipatives sont négligés.

### 1 - Démarrage depuis une vitesse nulle sur sol horizontal

L'avion, initialement à l'arrêt ( $v_0 = 0$  nœud), démarre sur un sol horizontal et atteint une vitesse  $v_2 = 10$  nœuds en un temps  $\Delta t_2 = 20$  s.

Pour simplifier, on suppose que la puissance mécanique  $P_2$  fournie par le dispositif de taxiage est constante pendant toute la phase d'accélération, de durée  $\Delta t_2$ .

**Q.1** - Montrer que  $v_2 = 5,1$  mètres par seconde (poser et expliquer le calcul réalisé).

BTS AÉRONAUTIQUE	Session 2017
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : AE3SCPC
	Page : 2/7

- Q.2** - Exprimer puis calculer l'énergie cinétique  $E_{c2}$  de l'avion à la vitesse  $v_2$ .
- Q.3** - Énoncer le théorème de l'énergie cinétique. En déduire le travail  $W_2$  des forces engendrées par le dispositif de taxiage.
- Q.4** - En déduire que le dispositif doit fournir une puissance mécanique  $P_2$  voisine de 50 kW.

## 2 - Pente montante à 1,5 %

Dans ce paragraphe, l'avion, mû par le dispositif, monte une pente à 1,5 %.  
La vitesse horizontale de l'avion est constante et vaut  $v_1 = 10$  nœuds.

- Q.5** - Calculer la variation de hauteur  $\Delta h$  de l'avion pendant la durée  $\Delta t_1 = 10$  s.
- Q.6** - On appelle  $\Delta E_{pp_1}$  la variation de l'énergie potentielle de pesanteur correspondante. Exprimer  $\Delta E_{pp_1}$  en fonction de  $\Delta h$ , puis calculer sa valeur numérique.
- Q.7** - Montrer que, dans cette situation, le dispositif de taxiage doit fournir une puissance mécanique  $P_1 = 58$  kW.

## 3 - Puissance électrique nécessaire

Deux moteurs électriques sont utilisés (un par jambe du train principal), chacun associé à une transmission mécanique chargée d'adapter les vitesses de rotation entre le moteur et la roue de l'avion.

Le rendement mécanique de la transmission vaut  $\eta_t = 0,96$ .

Le rendement des moteurs électriques vaut  $\eta_m = 0,94$ .

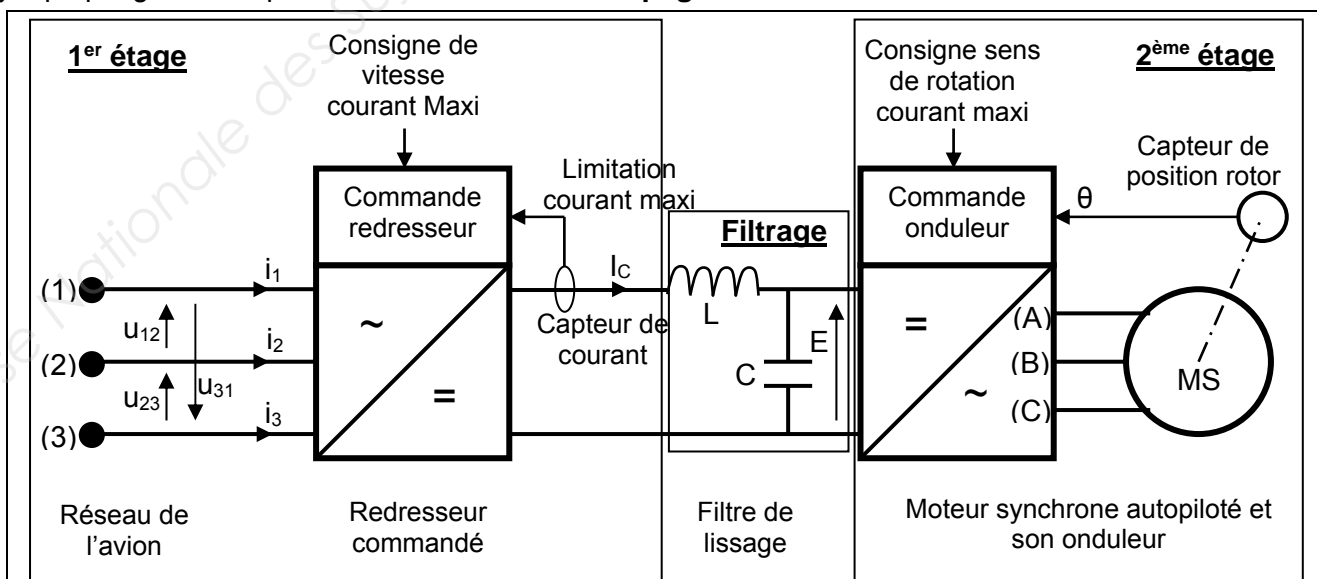
Le rendement électrique des deux convertisseurs statiques associés aux deux moteurs vaut  $\eta_c = 0,92$ .

- Q.8** - En fonction du cahier des charges, laquelle des deux puissances  $P_1$  ou  $P_2$ , calculées précédemment, convient-il de choisir afin de déterminer la puissance mécanique minimale que le dispositif de taxiage doit fournir ?
- Q.9** - Quelle est alors la puissance électrique totale absorbée par les deux convertisseurs ensemble ?

## PARTIE 2 : ÉTUDE ÉLECTRIQUE

Chaque moteur électrique est un moteur synchrone autopiloté (moteur "brushless"), dont le rotor est constitué d'aimants permanents à haute performance, et dont le stator est constitué de trois enroulements, chargés de créer un champ magnétique tournant entraînant le rotor.

Chaque moteur est associé à un convertisseur statique constitué de deux étages, dont le schéma synoptique global est présenté sur le **document 2 page 3/7**.



**Document 2 :**  
**Schéma synoptique**

BTS AÉRONAUTIQUE	Session 2017
Nom de l'épreuve : Sciences physiques et chimiques appliquées	Code : AE3SCPC
	Page : 3/7

Le premier étage du convertisseur est chargé d'opérer, à partir du réseau de l'avion, une conversion alternatif → continu. Cette conversion, réalisée par redressement commandé, fournit une tension redressée réglable en fonction de la vitesse désirée du moteur (consigne de vitesse).

Le second étage est un onduleur triphasé, chargé d'élaborer les tensions appliquées aux trois enroulements statoriques du moteur. Un capteur de position angulaire du rotor assure le pilotage de l'onduleur.

Entre les deux étages se trouve un filtre (L et C), dont le rôle est de lisser la tension fournie par le redresseur commandé, et de lisser également le courant consommé par l'onduleur.

## 1 - Étude du 1<sup>er</sup> étage : conversion alternatif → continu

L'APU de l'avion alimente le réseau électrique triphasé 115/200 V - 400 Hz de l'appareil. Les tensions simples  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  et les tensions composées  $u_{12}$ ,  $u_{23}$  et  $u_{31}$  de ce réseau sont représentées en fonction du temps sur le **document réponse n° 1 page 6/7**.

**Q.10** - Sur le **document réponse n° 1 page 6/7 à rendre avec la copie**, dans les deux cases prévues à cet effet, indiquer les valeurs numériques des tensions correspondant aux ordonnées représentées en pointillés.

Le redresseur commandé est alimenté par le réseau électrique de l'avion. Ce redresseur commandé se comporte vis-à-vis du réseau comme une charge résistive équilibrée.

Lorsque le dispositif est utilisé à sa puissance maximale, le redresseur commandé consomme une puissance active  $P_C = 35$  kW.

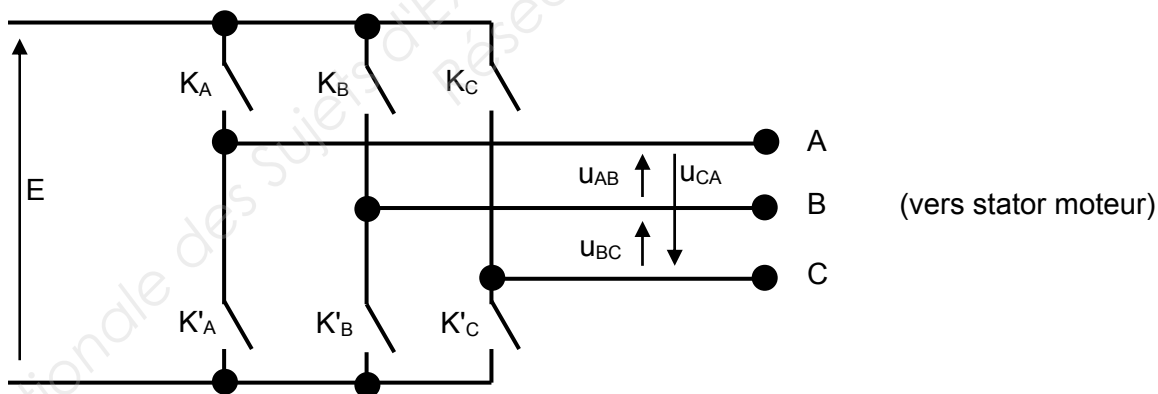
**Q.11** - Quelle est la valeur du facteur de puissance du redresseur commandé ? (Justifier).

**Q.12** - Exprimer puis calculer la valeur efficace  $I_1$  de l'intensité du courant  $i_1$  appelé sur la phase 1.

**Q.13** - Compléter le second graphe du **document réponse n° 1 page 6/7 à rendre avec la copie** en représentant l'allure de l'intensité du courant  $i_1$ , en concordance de temps avec le premier graphe.

**Q.14** - La cellule LC doit-elle réaliser un filtrage passe-bande, passe-bas, ou passe-haut ?

## 2 - Étude du 2<sup>ème</sup> étage : conversion continu → alternatif



L'onduleur triphasé comprend trois voies (A, B et C), chacune constituée de deux interrupteurs électroniques K et K', commandés de façon complémentaire : lorsque K est fermé, K' est ouvert, et inversement.

La séquence de commande des six interrupteurs est déroulée en fonction de la position angulaire de l'axe du moteur. Le stator engendre alors un champ magnétique tournant qui entretient la rotation du rotor.

Cette séquence de commande figure sur le **document réponse n° 2 page 7/7 à rendre avec la copie**, ainsi que la forme d'onde de la tension composée  $u_{AB}(\theta)$  engendrée.

**Q.15** - Compléter les diagrammes du **document réponse n° 2 page 7/7 à rendre avec la copie** en y représentant les formes d'onde des tensions composées  $u_{BC}(\theta)$  et  $u_{CA}(\theta)$ .

**Q.16** - Pour un régime de fonctionnement donné, la tension continue  $E$  vaut :  $E = 150 \text{ V}$ . Montrer que la valeur efficace de la tension  $u_{AB}$  a pour expression :  $U_{AB} = E \times \sqrt{\frac{2}{3}}$ , puis faire l'application numérique.

### **PARTIE 3 : ÉTUDE CHIMIQUE**

Pour faire la promotion de son produit, le constructeur du dispositif prétend qu'au point de vue émission de dioxyde de carbone, équiper un avion équivaut à « retirer 400 voitures des routes européennes ».

On peut considérer qu'une voiture citadine moderne émet en moyenne 120 g de dioxyde de carbone par km, et parcourt en moyenne 12000 km par an.

L'objectif de cette partie est de vérifier les chiffres avancés par le fabricant du dispositif pour promouvoir son produit.

#### **1 - Combustion du kérosène**

Le carburant JET A1 utilisé par les avions de ligne est un mélange d'hydrocarbures. Pour simplifier, on considère dans cette partie que ce carburant est constitué uniquement de décane  $C_{10}H_{22}$ .

##### **Données :**

- Masse molaire atomique de l'hydrogène :  $M_H = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique du carbone :  $M_C = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'azote :  $M_N = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'oxygène :  $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

**Q.17** - Quel constituant de l'air intervient dans la combustion du kérosène ?

**Q.18** - Sachant que la combustion complète du kérosène dans l'air produit du dioxyde de carbone et de l'eau, écrire et équilibrer l'équation chimique modélisant cette combustion.

**Q.19** - En expliquant la démarche suivie, montrer que la combustion d'un kilogramme de kérosène rejette environ 3,1 kg de dioxyde de carbone.

#### **2 - Bilan de consommation**

L'utilisation du dispositif permet, sur chaque vol, d'utiliser l'APU au lieu des 2 réacteurs pendant une durée moyenne de 14 minutes (taxiage).

Pendant le taxiage :

- Pour un avion non équipé du dispositif, chaque réacteur consomme  $324 \text{ kg.h}^{-1}$  de kérosène.
- Pour un avion équipé du dispositif, l'APU consomme  $121 \text{ kg.h}^{-1}$  de kérosène.

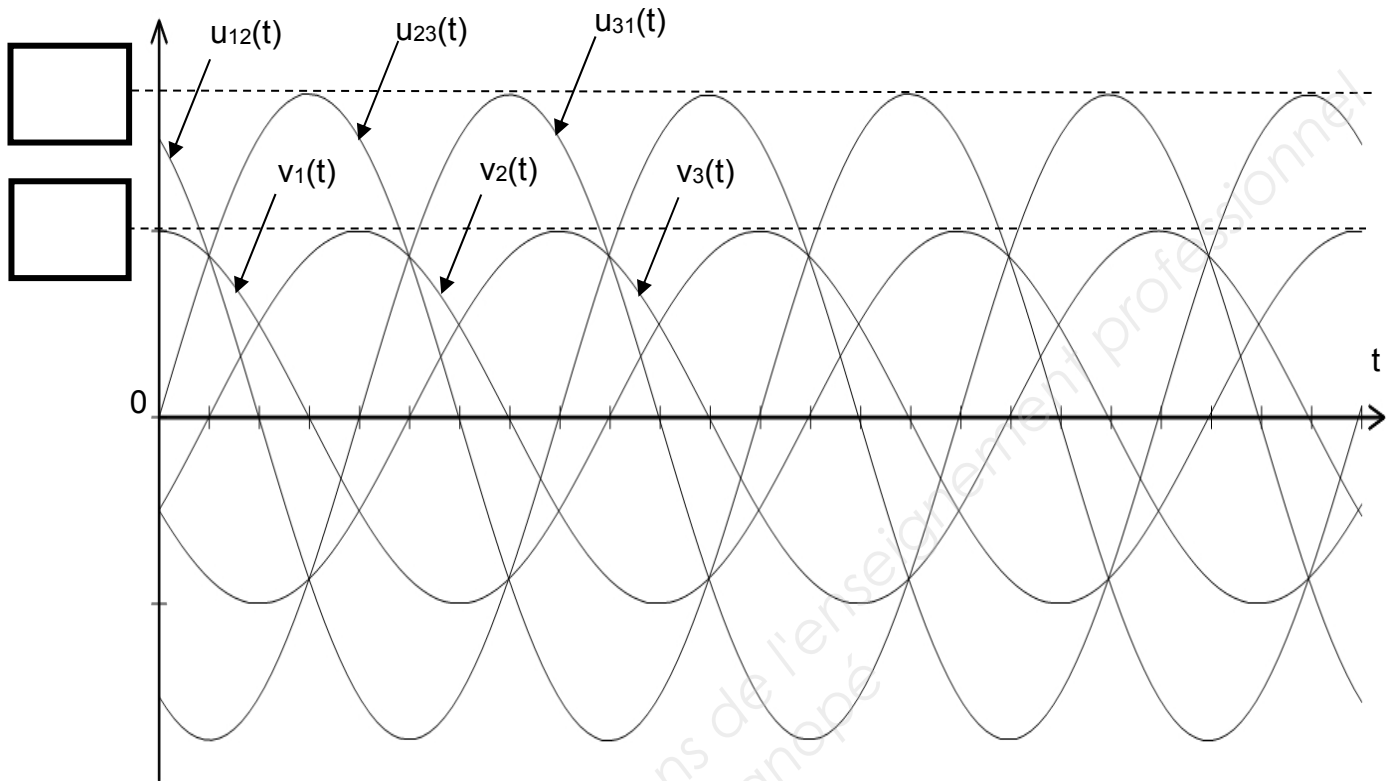
**Q.20** - Montrer que le dispositif permet d'économiser en moyenne 123 kg de kérosène à chaque vol.

**Q.21** - Combien l'avion doit-il effectuer de vols annuellement pour que le chiffre annoncé dans la promotion soit atteint ?

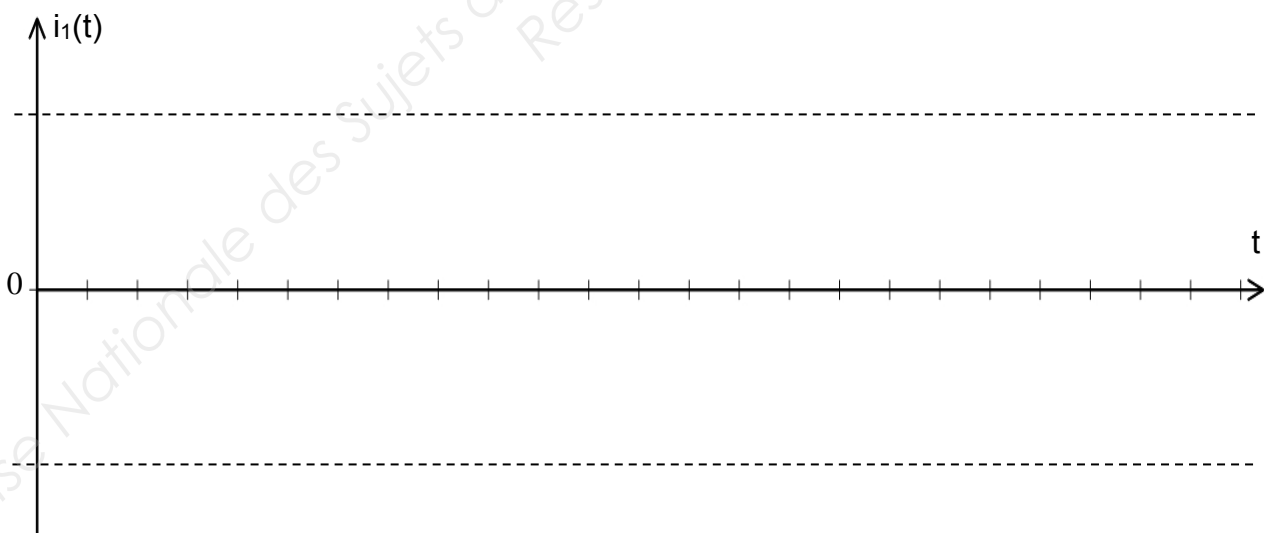
À combien de vols par jour en moyenne cela correspond-il ? Commenter.

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

**Partie 2 - Q10 : Valeurs numériques des ordonnées.**



**Partie 2 - Q13 : Allure du courant  $i_1(t)$  dans la phase 1.**



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

### Partie 2 - Q15 : Représentation de $u_{BC}(\theta)$ et de $u_{CA}(\theta)$ .

#### Séquence de commande des interrupteurs :

$\theta$ (rad)	0	$\pi/3$	$2\pi/3$	$\pi$	$4\pi/3$	$5\pi/3$	$2\pi$	$7\pi/3$
$K_A$	Ouvert	Fermé			Ouvert			Fermé
$K'_A$	Fermé	Ouvert			Fermé			Ouvert
$K_B$	Ouvert		Fermé			Ouvert		Fermé
$K'_B$	Fermé		Ouvert			Fermé		Ouvert
$K_C$	Fermé	Ouvert			Fermé		Ouvert	
$K'_C$	Ouvert	Fermé			Ouvert		Fermé	

#### Diagrammes :

