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 2017

_____

Durée : 2 heures
Coefficient : 2

_____

Base Nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

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 (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

Documents à rendre et à agrafer 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.

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 $N.kg^{-1}$
- 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 Δt_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 Δt_2.

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

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

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 Δh de l'avion pendant la durée Δt_1 = 10 s.

Q.6 - On appelle ΔE_{pp_1} la variation de l'énergie potentielle de pesanteur correspondante. Exprimer ΔE_{pp_1} en fonction de Δh, 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

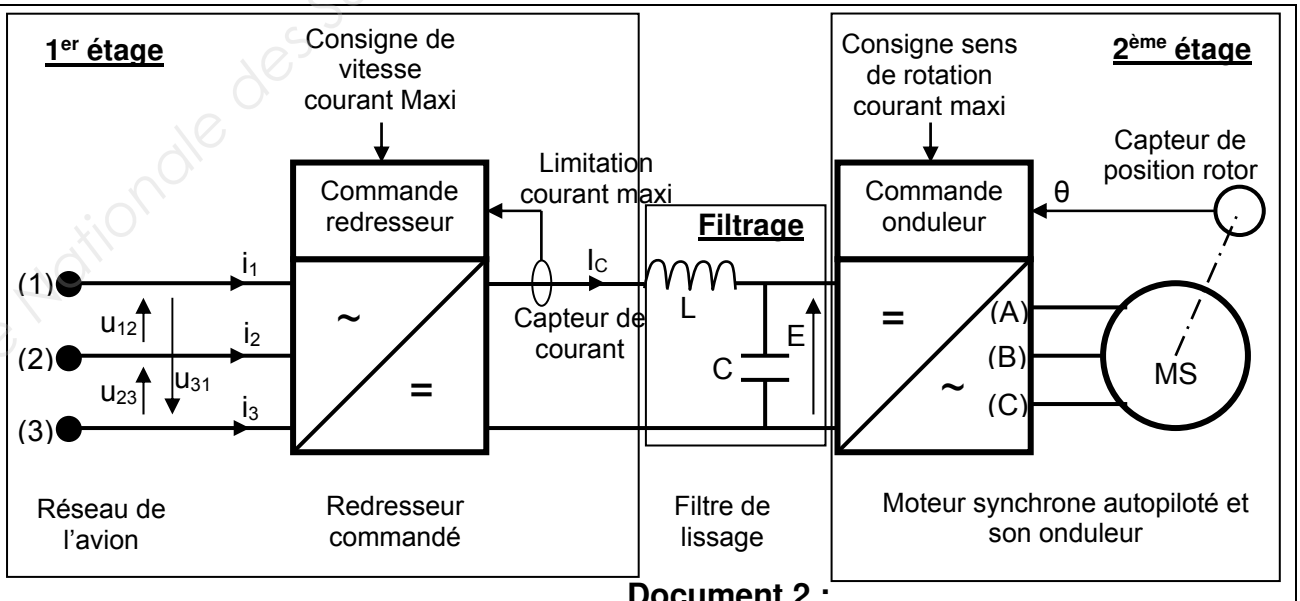
Deux moteurs électriques sont utilisés (un par jambe du train principal), chacun associé à une transmission mécanique chargée d'adapter les vitesses de rotation entre le moteur et la roue de l'avion.
Le rendement mécanique de la transmission vaut η_t = 0,96.
Le rendement des moteurs électriques vaut η_m = 0,94.
Le rendement électrique des deux convertisseurs statiques associés aux deux moteurs vaut η_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

Base nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

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 1er 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.

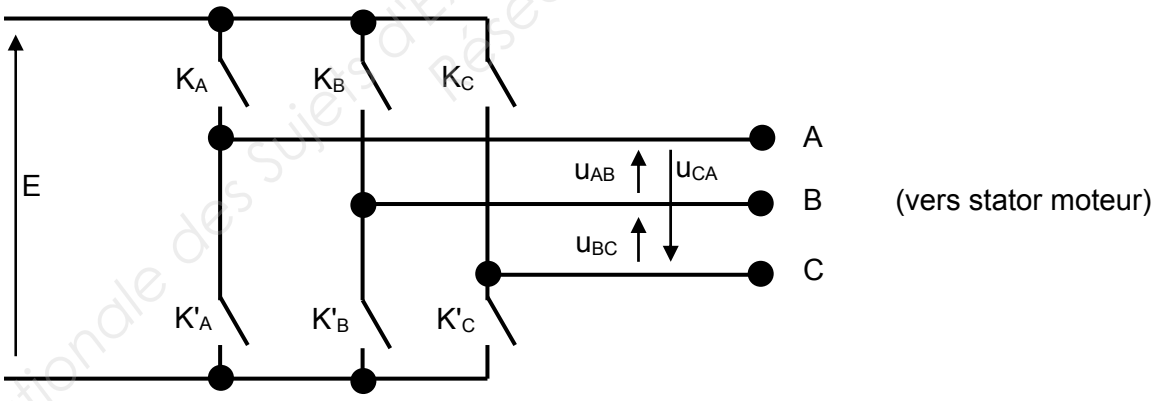
Q.11 - Quelle est la valeur du facteur de puissance du redresseur commandé ? (Justifier).

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 2ème 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 $u_{CA}(\theta)$.

Base nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q.16 - Pour un régime de fonctionnement donné, la tension continue E vaut : E = 150 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 : $M_H = 1{,}00\ g.mol^{-1}$
- Masse molaire atomique du carbone : $M_C = 12{,}0\ g.mol^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'azote : $M_N = 14{,}0\ g.mol^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'oxygène : $M_O = 16{,}0\ g.mol^{-1}$

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 $kg.h^{-1}$ de kérosène.
- Pour un avion équipé du dispositif, l'APU consomme 121 $kg.h^{-1}$ de kérosène.

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

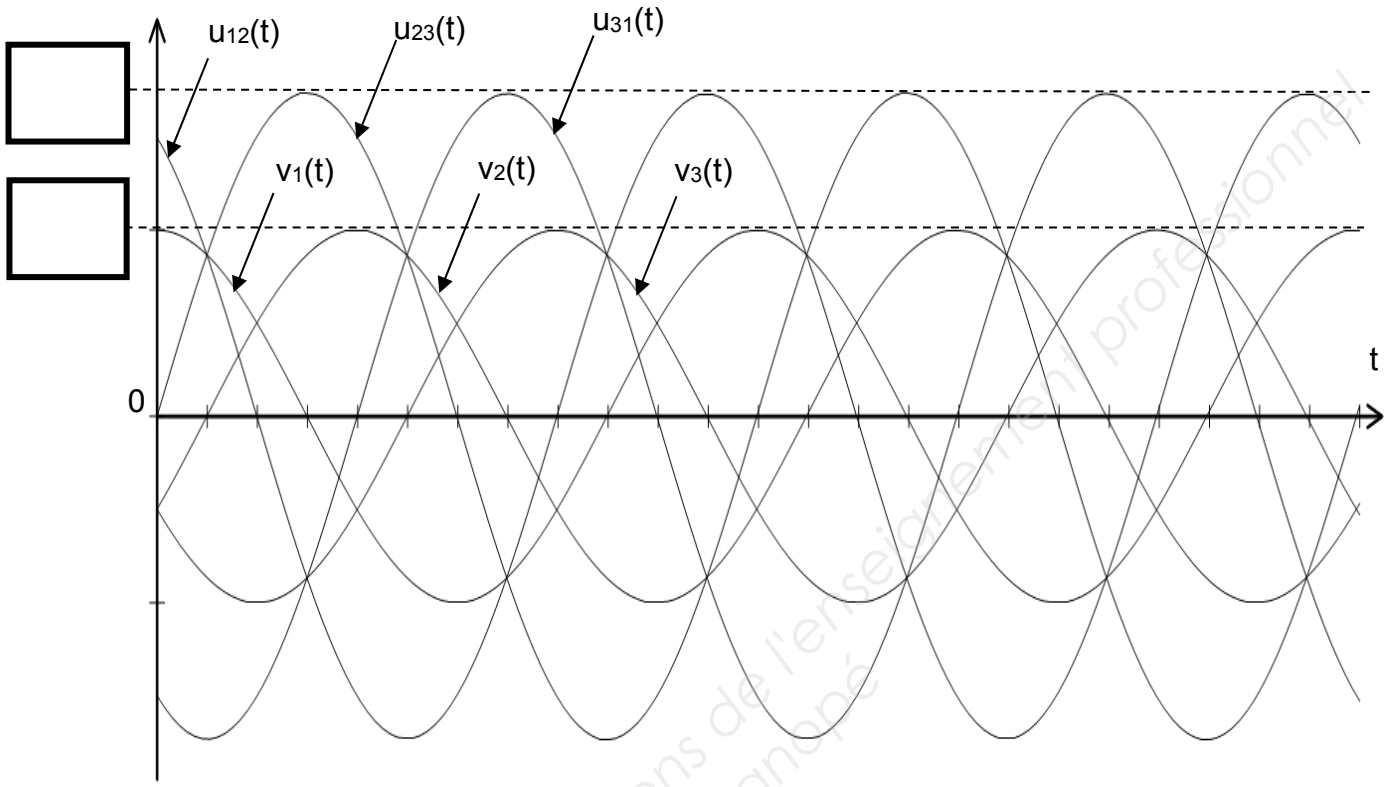
Q.21 - Combien l'avion doit-il effectuer de vols annuellement pour que le chiffre annoncé dans la promotion soit atteint ?

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

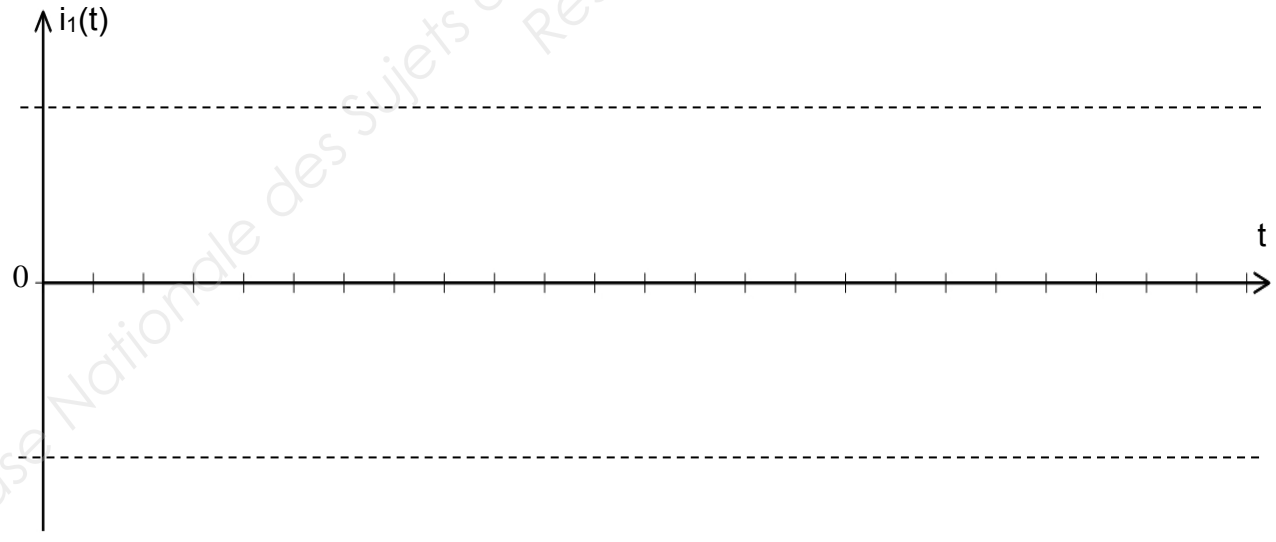
Base Nationale de Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Scolaire

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.



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

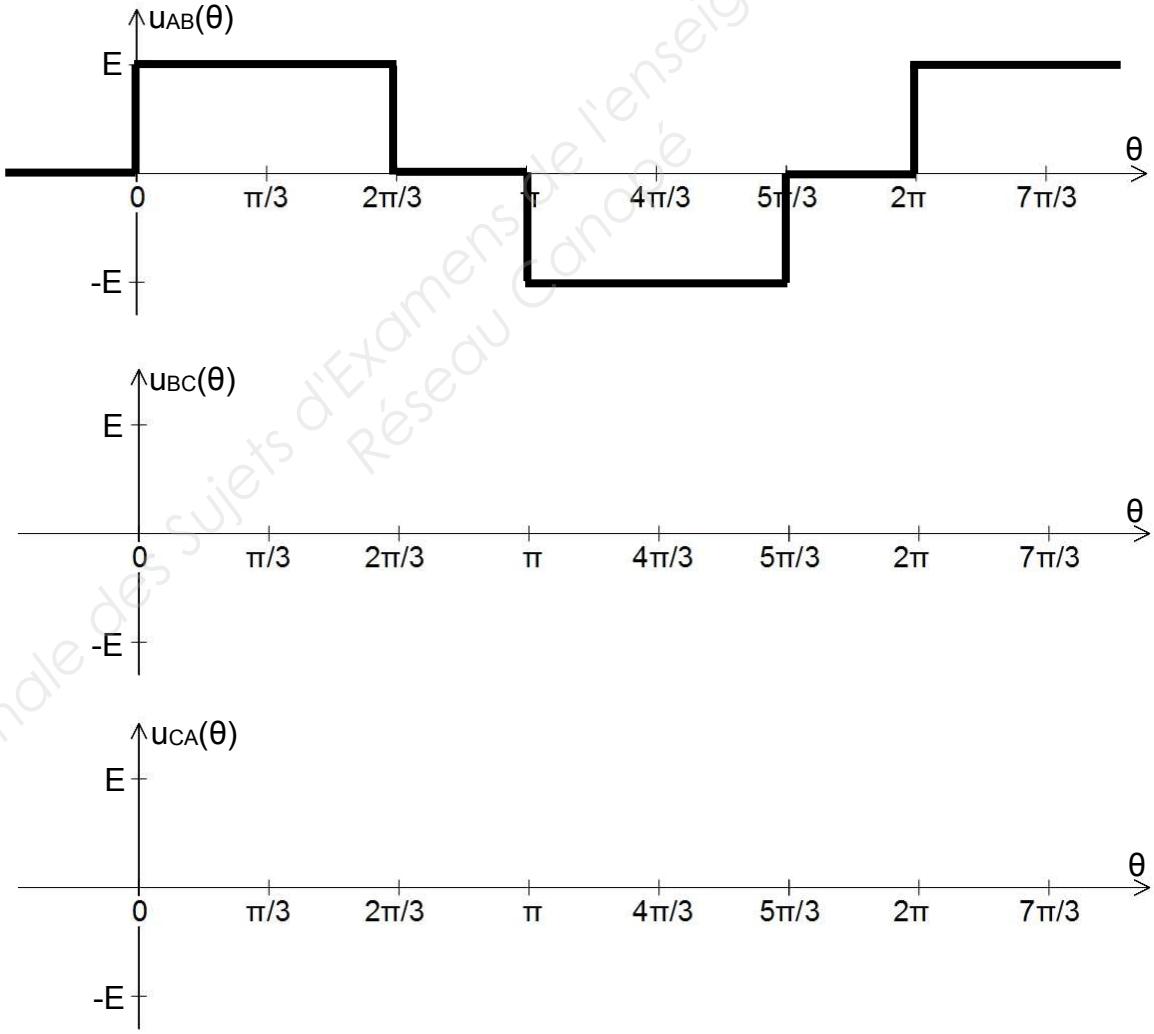
DOCUMENT RÉPONSE N° 2
(à rendre avec la copie)

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

Séquence de commande des interrupteurs :

θ (rad)	0	π/3	2π/3	π	4π/3	5π/3	2π	7π/3
K_A	Ouvert	Fermé		Ouvert			Fermé	
K'_A	Fermé	Ouvert		Fermé			Ouvert	
K_B	Ouvert		Fermé		Ouvert			
K'_B	Fermé		Ouvert		Fermé			
K_C	Fermé		Ouvert		Fermé		Ouvert	
K'_C	Ouvert		Fermé		Ouvert		Fermé	

Diagrammes :



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

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.