

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

« Génie Électronique »

Session 2010

Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 5

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

ORIENTATION DES PALES D'UNE EOLIENNE

Une éolienne est un générateur qui convertit l'énergie du vent en énergie électrique. Elle se compose d'un mât sur lequel est installée une nacelle renfermant la génératrice électrique entraînée par un rotor à 3 pales (voir figure 1 ci-contre).

La force exercée par le vent sur les pales n'étant pas constante, ni en direction et ni en intensité, il faut constamment orienter la nacelle face au vent et modifier l'angle d'inclinaison des pales pour adapter la puissance fournie par l'éolienne à la vitesse du vent, ce qui rend nécessaire une mesure de la vitesse du vent.

Elle est effectuée par un anémomètre placé à l'arrière de la nacelle.

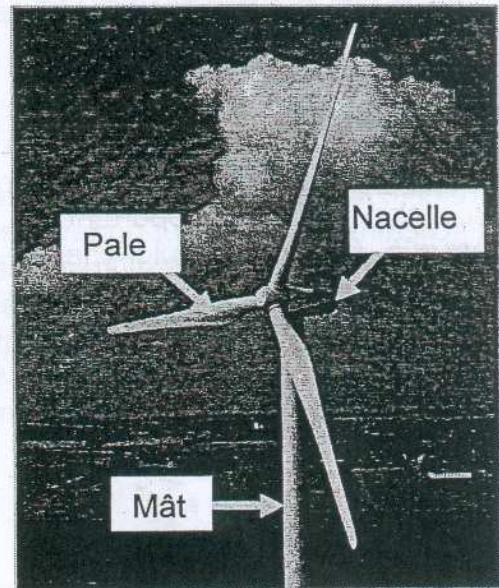


Figure 1

L'étude porte sur la mesure de la vitesse du vent par un anémomètre et sur le système d'inclinaison des pales, deux fonctions situées en amont et en aval d'un micro-contrôleur, comme indiqué figure 2.

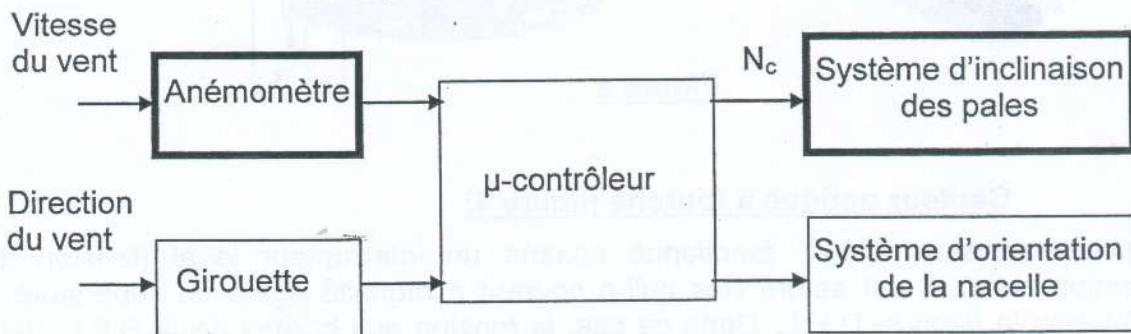


Figure2

Informations générales :

Tous les composants sont considérés comme parfaits.

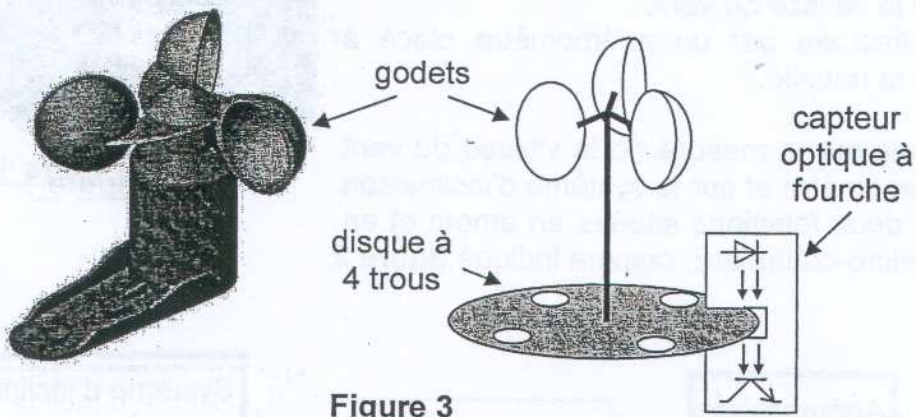
Les amplificateurs opérationnels (ou AO) sont alimentés sous des tensions $+V_{cc} = +12V$ et $-V_{cc} = -12V$. Ils ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. Les tensions de saturation sont égales à $-12V$ ou à $+12V$.

Toutes les parties sont indépendantes sauf certaines questions de la synthèse (partie C).

Les documents réponses 1 à 4 en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

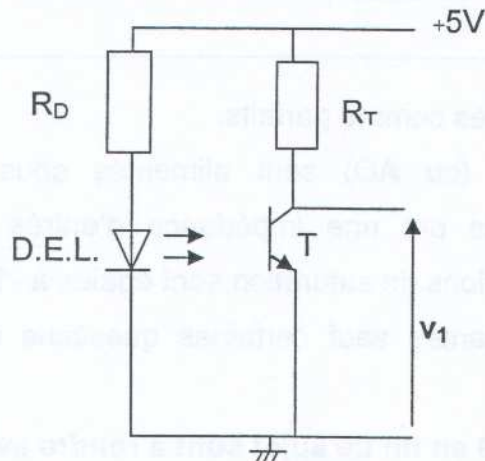
PARTIE A : MESURE DE LA VITESSE DU VENT

La mesure de la vitesse du vent est réalisée à l'aide d'un anémomètre à godets fixés sur un axe mis en rotation par le souffle du vent. L'anémomètre délivre un signal électrique dont la fréquence dépend de la vitesse du vent. Un disque à trous, solidaire de l'axe supportant les godets, tourne entre les broches d'une fourche optique (diode électroluminescente associée à un phototransistor). Le faisceau lumineux émis par la diode électroluminescente (D.E.L.) est ainsi transmis au phototransistor à chaque fois qu'un trou passe dans la fourche. La fréquence du signal v_1 , représentative de la vitesse du vent, est convertie en tension continue variable puis, après numérisation, traitée par le microcontrôleur.



A.1. Capteur optique à fourche (figure 4)

Le phototransistor noté T fonctionne comme un interrupteur idéal (tension de saturation nulle). Il est saturé dès qu'un courant d'intensité égale ou supérieure à 20 mA circule dans la D.E.L. Dans ce cas, la tension aux bornes de la D.E.L. vaut 2 V.



A.1.1 Quelles sont les deux valeurs possibles de la tension v_1 ? Préciser l'état du phototransistor T pour chacune de ces deux valeurs.

A.1.2 Un technicien propose pour R_D une valeur de 1500Ω . Ce choix est-il correct ? Justifier la réponse.

A.1.3 Déterminer la fréquence électrique f en hertz de la tension v_1 lorsque le disque solidaire de l'axe de rotation de l'anémomètre tourne à une vitesse de rotation de 25 tours par seconde (on rappelle que le disque est percé de 4 trous).

A.2. Conversion fréquence / tension (figures 5 et 6)

La tension v_1 est mise en forme par un circuit monostable dont la tension de sortie v_2 est filtrée afin d'obtenir une tension continue v_3 image de la vitesse du vent.

A.2.1 Mise en forme

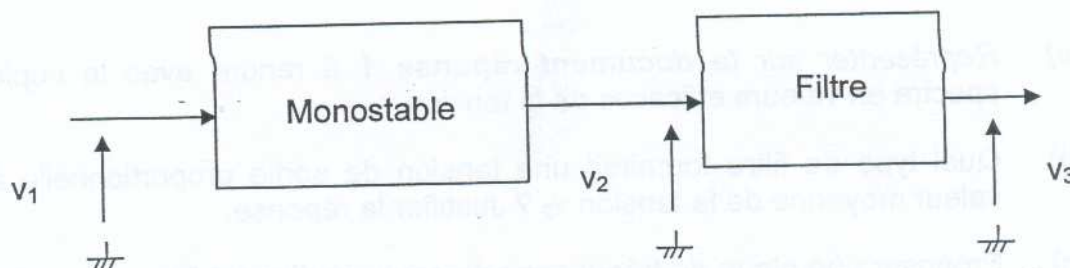


Figure 5

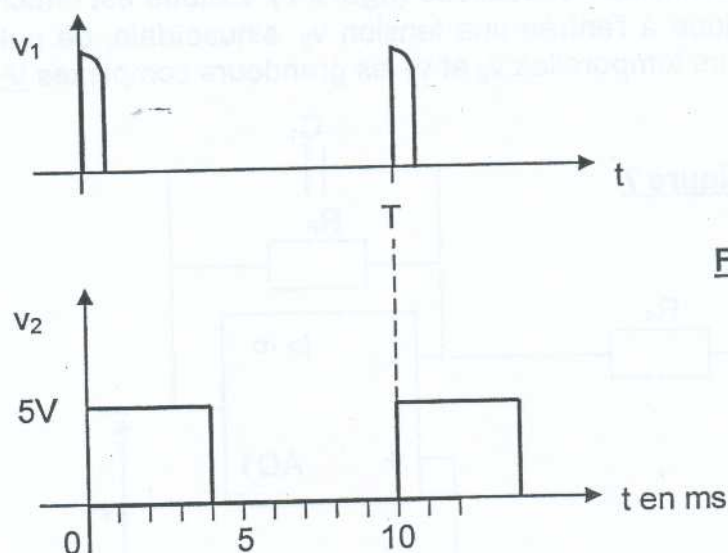


Figure 6

a) L'état instable du monostable est-il déclenché par un front montant ou descendant de la tension v_1 ?

- b) Pour une période T égale à 10 ms de la tension v_1 , quelles sont les durées Δt_s et Δt_i des états stable et instable de la tension de sortie du monostable?
- c) La fréquence de rotation des godets et la période T de la tension v_1 dépendent de la vitesse du vent. Comment sont modifiées les durées des états stable et instable si la période T augmente ?

A.2.2 Filtrage

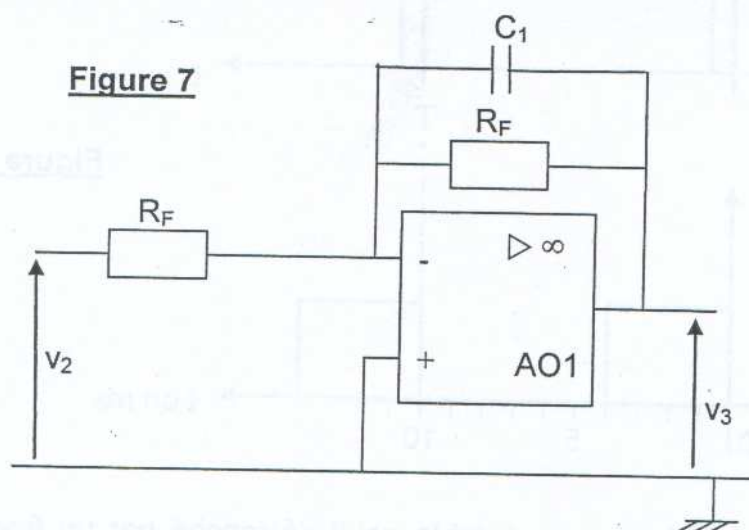
Le filtre est conçu pour extraire la valeur moyenne de la tension v_2 . La période T de celle-ci peut varier de 7 ms à 20 ms selon la vitesse du vent.

Pour une valeur de T de 10 ms, la tension d'entrée du filtre est périodique et peut s'écrire :

$$v_2(t) = 2 + 2\sqrt{2} \sin(628t + \varphi_1) + \sqrt{2} \sin(1256t + \varphi_2) + 0,7\sqrt{2} \sin(1884t + \varphi_3)$$

- a) Représenter sur le **document réponse 1** à rendre avec la copie le spectre en valeurs efficaces de la tension v_2 .
- b) Quel type de filtre fournirait une tension de sortie proportionnelle à la valeur moyenne de la tension v_2 ? Justifier la réponse.
- c) Proposer une plage de fréquences de coupure d'un tel filtre pour extraire la valeur moyenne de v_2 compte tenu des valeurs possibles de la période T .

Le filtre utilisé est schématisé ci-dessous (**figure 7**). L'étude est effectuée en régime sinusoïdal : on applique à l'entrée une tension v_2 , sinusoïdale, de pulsation ω et on associe aux grandeurs temporelles v_2 et v_3 les grandeurs complexes \underline{V}_2 et \underline{V}_3 .



- d) Vérifier en faisant tendre la fréquence de la tension d'entrée vers 0 puis vers l'infini que le montage proposé peut effectivement remplir la fonction d'extraction de valeur moyenne. **Une réponse complètement rédigée est attendue.**
- e) Les deux courbes données sur le **document réponse 2** à rendre avec la copie représentent la variation du gain en dB en fonction de la fréquence en Hz de deux filtres différents. Quelle est celle représentant la réponse fréquentielle du filtre étudié précédemment ? Justifier la réponse.
- f) Déterminer graphiquement la valeur de la fréquence de coupure à partir du **document réponse 2** à rendre avec la copie.
Les tracés graphiques utiles pour la détermination de la fréquence de coupure seront portés sur le document réponse.

PARTIE B : INCLINAISON DES PALES

Le dispositif étudié doit asservir la position angulaire des pales à la valeur numérique N_c délivrée par le micro-contrôleur. En fonction de la vitesse du vent, le dispositif reçoit une consigne angulaire d'inclinaison des pales, sous la forme d'une information numérique N_c , codée sur 4 bits. Un moteur à courant continu oriente les pales dans la position attendue θ . Une vue d'ensemble de l'asservissement est donnée **figure 8**.

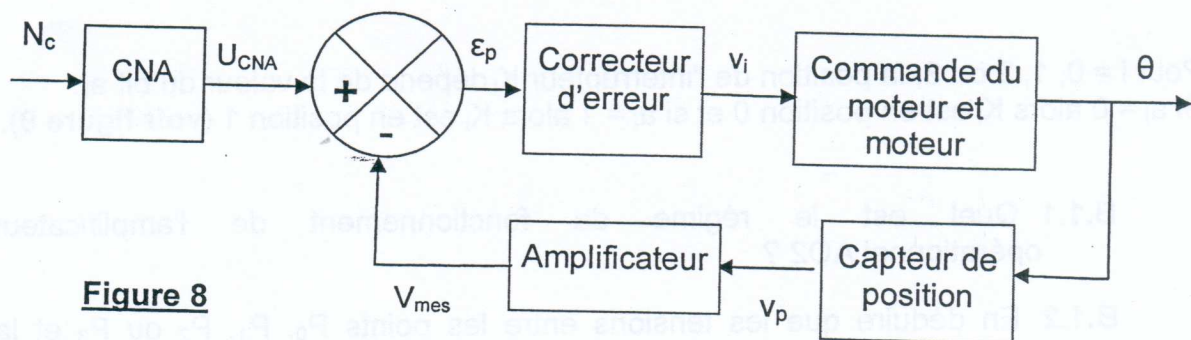


Figure 8

B.1. Conversion Numérique-Analogique

Cette fonction est réalisée par le circuit schématisé sur la **figure 9**. La consigne angulaire N_c codée sur 4 bits (a_3, a_2, a_1, a_0) est convertie en une tension analogique U_{CNA} .

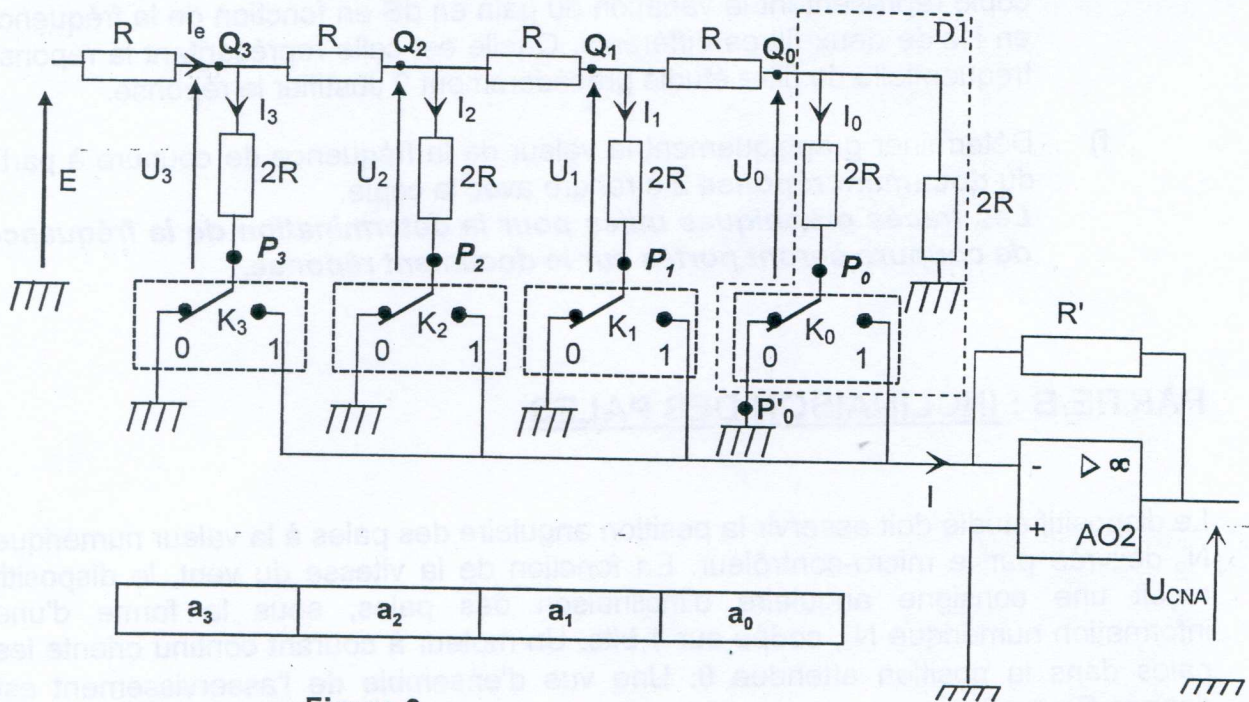


Figure 9

Pour $i = 0, 1, 2$ ou 3 , la position de l'interrupteur K_i dépend de la valeur du bit a_i :
Si $a_i = 0$ alors K_i est en position 0 et si $a_i = 1$ alors K_i est en position 1 (voir figure 9).

- B.1.1 Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel AO2 ?
- B.1.2 En déduire que les tensions entre les points P_0, P_1, P_2 ou P_3 et la masse du montage peuvent être considérées comme nulles quelles que soient les positions des interrupteurs K_i .
- B.1.3 Exprimer la tension U_{CNA} en fonction de l'intensité I .
- B.1.4 Justifier que l'intensité I puisse s'écrire: $I = a_3 \cdot I_3 + a_2 \cdot I_2 + a_1 \cdot I_1 + a_0 \cdot I_0$.
- B.1.5 Déterminer la résistance équivalente R_e au dipôle passif D1 situé à droite des bornes Q_0 et P'_0 et en déduire l'expression de U_0 en fonction de U_1 .
- B.1.6 Appliquer le même raisonnement pour exprimer U_1 en fonction de U_2 puis U_2 en fonction de U_3 et enfin U_3 en fonction de E .

B.1.7 Montrer que l'intensité I_3 peut s'écrire : $I_3 = \frac{E}{4R}$. En déduire l'expression de I_2 , I_1 et I_0 .

B.1.8 En remplaçant les intensités des courants par les expressions déterminées ci-dessus, exprimer U_{CNA} en fonction de E , R , R' et les valeurs des bits a_0 , a_1 , a_2 et a_3 .

B.1.9 En déduire que l'on peut écrire $U_{CNA} = q.N_C$. Préciser l'expression de q .

B.1.10 Compléter les 3 cases vides du tableau du **document réponse 3** à rendre avec la copie.

On donne $E = -10\text{ V}$ et $R = R' = 27\text{ k}\Omega$.

B.1.11 En déduire la valeur numérique du quantum q .

B.1.12 Tracer sur le **document réponse 3** à rendre avec la copie la caractéristique de transfert du CNA.

B.2. Capteur de position

Le capteur de position est un potentiomètre dont le curseur est solidaire de l'axe de rotation de la pale. Il délivre une tension V_p proportionnelle à la position angulaire θ de la pale, avec $0^\circ < \theta < 340^\circ$ (**figures 10 et 11**). La tension V_p vaut V_{DD} lorsque $\theta = 340^\circ$.

Le potentiomètre est utilisé seulement dans une plage angulaire comprise entre 0 et 91° : $0^\circ < \theta < 91^\circ$ (**figure 10**).

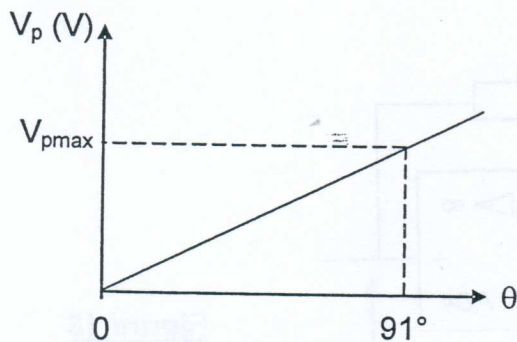


Figure 10

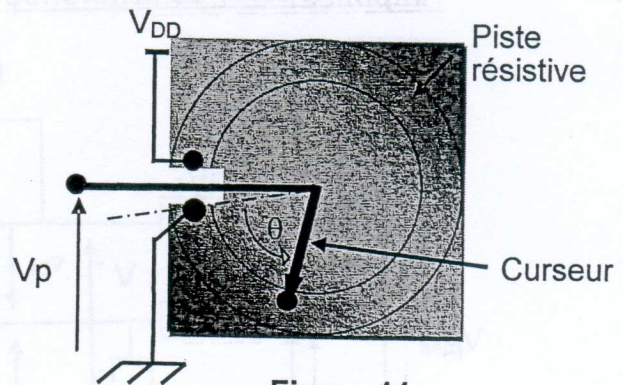


Figure 11

B.2.1 Montrer que $V_p = \frac{V_{DD}}{340} \times \theta$

B.2.2 Déterminer la plage de variation de V_p pour $V_{DD} = 5\text{ V}$.

B.3. Etude de l'amplificateur (figure 12)

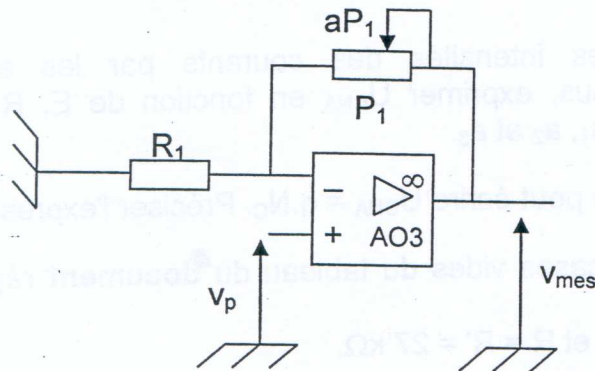


Figure 12

B.3.1 Quel est le nom du montage réalisé autour de l'amplificateur opérationnel AO3 ?

aP_1 représente la valeur de la résistance du potentiomètre P_1 intervenant dans le montage : a est un coefficient compris entre 0 et 1.

B.3.2 Exprimer la tension V_{mes} en fonction de θ , a , P_1 , R_1 et V_{DD} .

B.3.3 Calculer la valeur de a pour obtenir $V_{mes} = 4,69$ V lorsque $\theta = 91^\circ$.
On donne $P_1 = 10R_1 = 10$ k Ω .

B.4. Amplificateur de différence (figure 13)

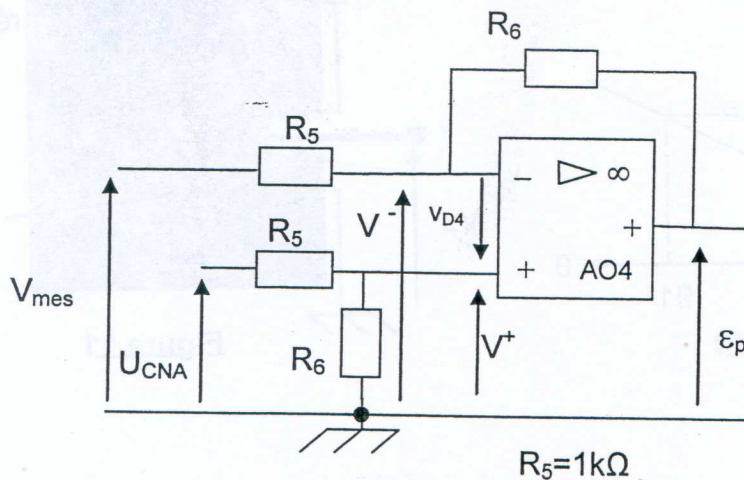


Figure 13

B.4.1 Quel est le mode de fonctionnement l'amplificateur opérationnel AO4 ?

B.4.2 En déduire la valeur de la tension v_{D4} et la relation entre les tensions V^+ et V^- .

B.4.3 Exprimer la tension V^* en fonction de la tension U_{CNA} et des résistances R_5 et R_6 .

B.4.4 Exprimer la tension V en fonction des tensions V_{mes} et ε_p et des résistances R_5 et R_6 .

B.4.5 En déduire l'expression de ε_p en fonction de U_{CNA} et V_{mes} et des résistances R_5 et R_6 .

B.4.6 $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$. Calculer la valeur de la résistance R_6 pour obtenir $\varepsilon_p = (U_{CNA} - V_{mes})$.

B.4.7 En déduire la valeur maximale que peut atteindre la tension d'erreur ε_p .

Le correcteur d'erreur, non étudié, est un amplificateur de tension non inverseur de coefficient d'amplification $A_V = V_i / \varepsilon_p$.

B.5. Etude de la commande du moteur à courant continu

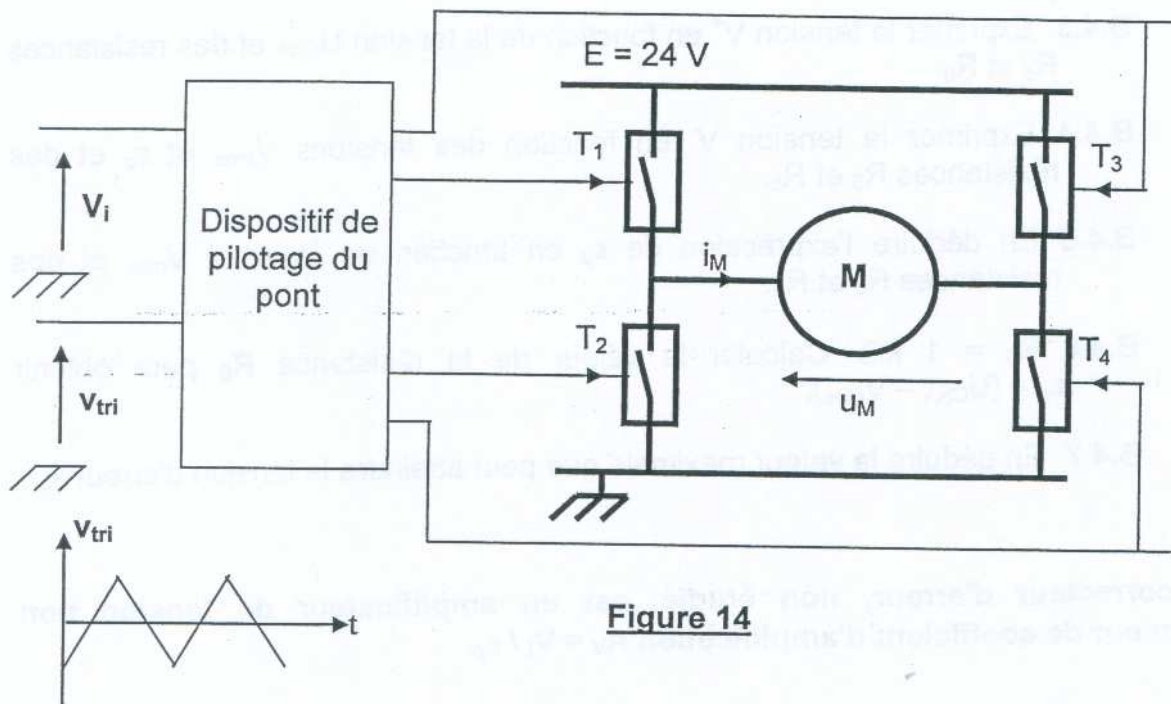
L'alimentation du moteur est assurée par un pont en H, alimenté entre 0 et $E = 24 \text{ V}$, dans lequel les transistors T_1 à T_4 se comportent comme des interrupteurs idéaux (voir **figure 14**).

Le dispositif de pilotage du pont compare la tension V_i continue à une tension triangulaire v_{tri} variant de -4 V à $+4 \text{ V}$, de fréquence 10 kHz , et génère la commande des transistors de la façon suivante :

Lorsque $v_{tri} > v_i$ les transistors T_1 et T_4 conduisent, T_2 et T_3 sont bloqués.

Lorsque $v_{tri} < v_i$ les transistors T_2 et T_3 conduisent, T_1 et T_4 sont bloqués.





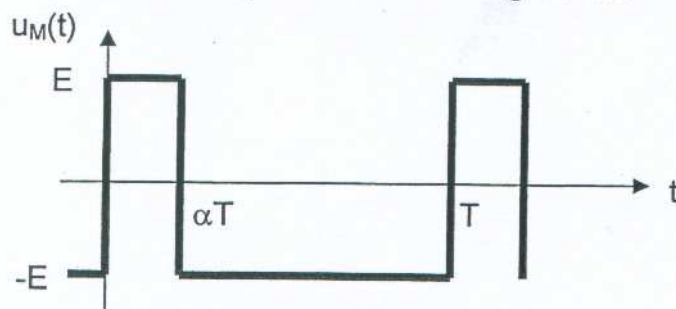
La tension v_{tri} est représentée sur le **document réponse 4** à rendre avec la copie.

B.5.1 Représenter sur le **document réponse 4** à rendre avec la copie la tension $u_M(t)$ aux bornes du moteur pour les trois valeurs de la tension V_i données dans le **document réponse 4**. Graduer les axes des ordonnées pour trois représentations graphiques.

B.5.2 Indiquer clairement les intervalles de conduction des interrupteurs dans le cas N°1 ($V_i = 0$ V).

B.5.3 Pour le cas N°2 ($V_i = 3$ V), déterminer la valeur moyenne de $u_M(t)$.

B.5.4 Pour certaines valeurs de V_i la tension $u_M(t)$ aux bornes du moteur peut avoir l'allure représentée sur la **figure 15**.



- Déterminer l'expression littérale de la valeur moyenne de $u_M(t)$ en fonction de E et α (rapport cyclique).
- La valeur moyenne de $u_M(t)$ peut être positive, nulle ou négative selon les différentes valeurs de V_i . Quelle est la conséquence pour le moteur ?

B.6. Etude du moteur à courant continu

On utilise un moteur à courant continu à aimants permanents. On donne :

$R_M = 1 \Omega$, résistance de l'induit du moteur.

$U_M = 24 \text{ V}$, tension nominale d'induit.

$I_M = 2 \text{ A}$, intensité nominale du courant d'induit.

$n = 750 \text{ tr/min}$, vitesse nominale de rotation du rotor.

E_M : force électromotrice (f.é.m) du moteur.

Pour les questions suivantes, le moteur fonctionne en **régime nominal**.

- B.6.1** Donner le schéma électrique équivalent de l'induit du moteur.
- B.6.2** Calculer la f.é.m E_M .
- B.6.3** Calculer la puissance P_j dissipée par effet Joule au niveau de l'induit.
- B.6.4** Calculer la puissance utile P_U fournie par le moteur, sachant que les pertes totales P_t incluant les pertes par effet Joule s'élèvent à 8 W .
- B.6.5** Calculer le rendement η du moteur.

PARTIE C : SYNTHESE

Le schéma fonctionnel de principe de l'asservissement de position est rappelé figure 16.

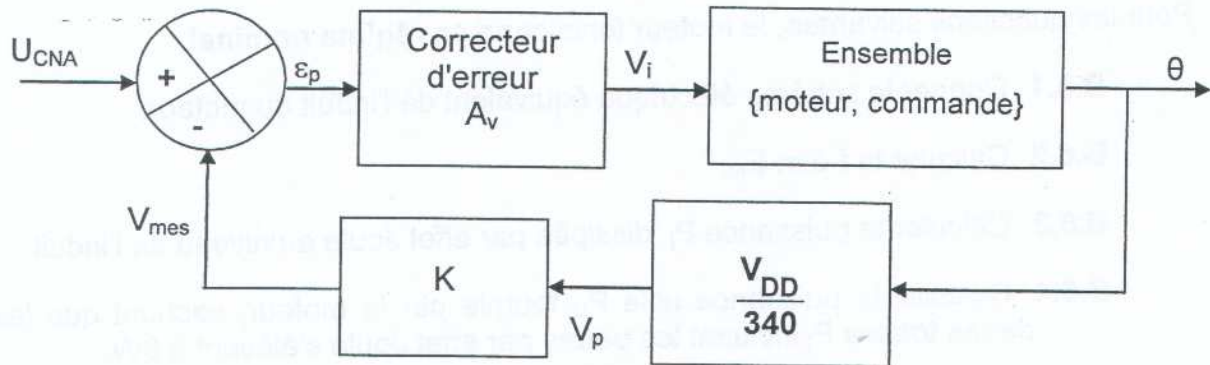
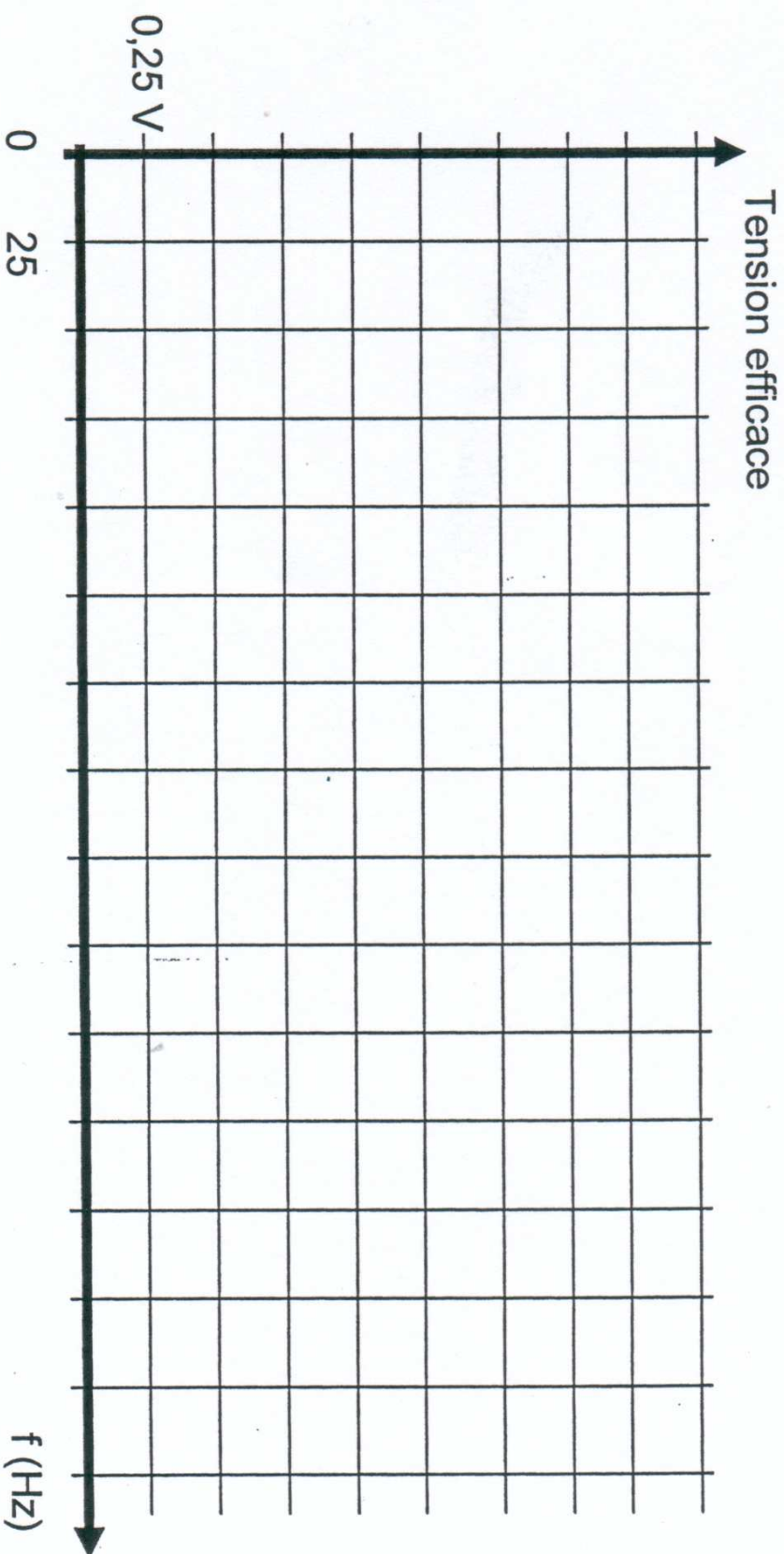


Figure 16

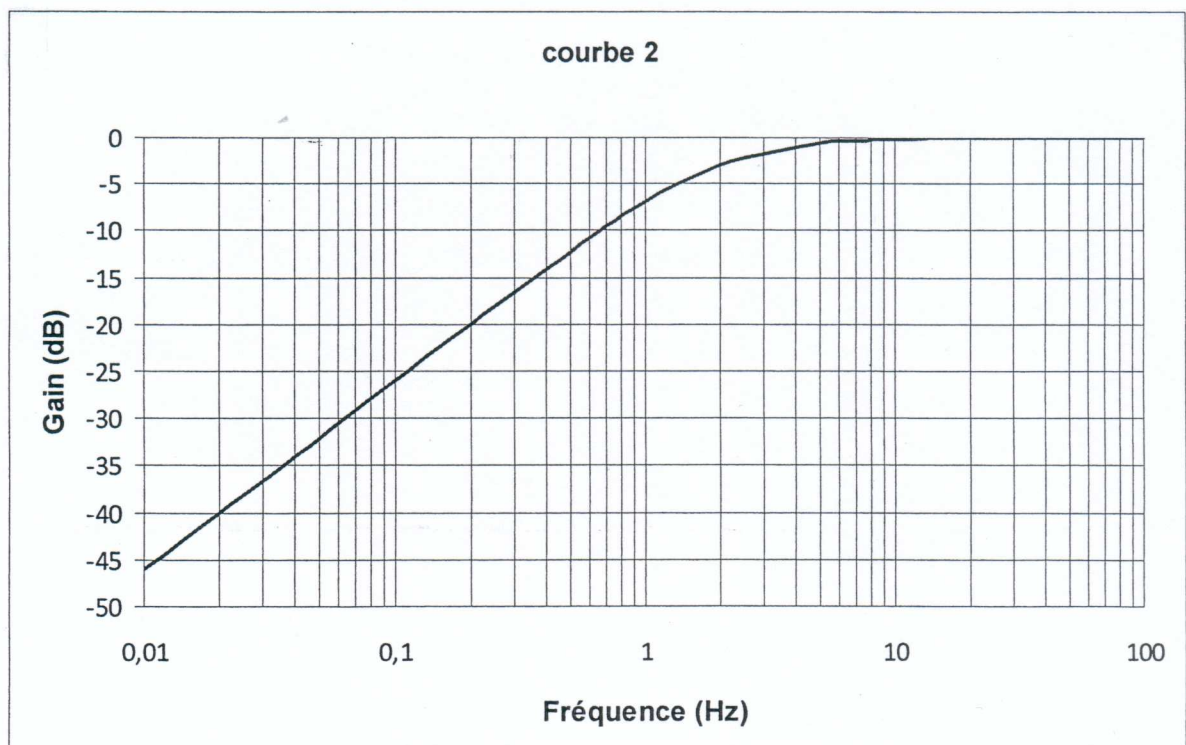
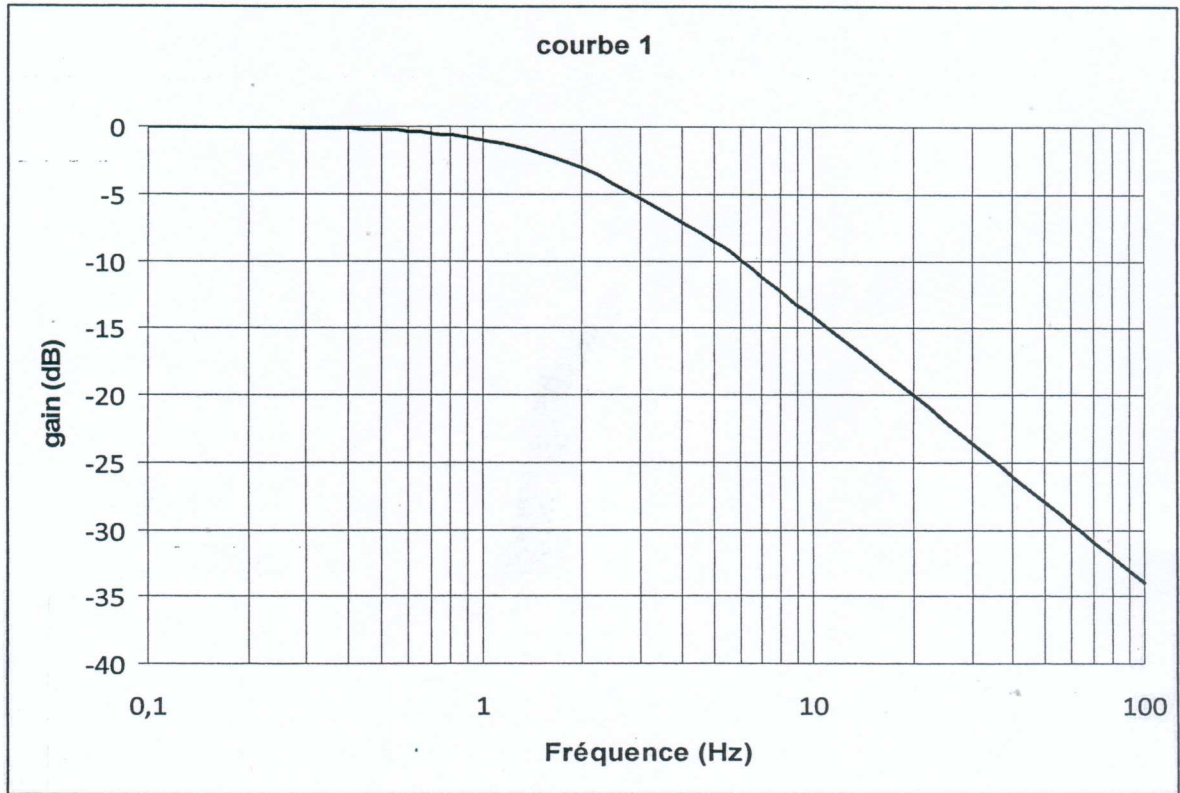
- C.1. Donner l'expression de la fonction de transfert T_R de la chaîne de retour.
- C.2. Exprimer la tension d'erreur ε_p en fonction de U_{CNA} , θ et des éléments de la chaîne de retour.
- C.3. A l'aide du **document réponse n°3** à rendre avec la copie et de la question B.3, calculer la valeur numérique de la tension d'erreur ε_p pour $\theta = 18,2^\circ$ puis pour $\theta = 72,8^\circ$.
- C.4. Interpréter physiquement les résultats obtenus à la question C.3.
- C.5. Quelle serait la conséquence d'une augmentation du coefficient d'amplification K sur l'asservissement puis sur l'ensemble du dispositif d'orientation des pales ?

Document Réponse N°1 à rendre avec la copie

Specre en valeurs efficaces de v_2



Document Réponse N°2 à rendre avec la copie



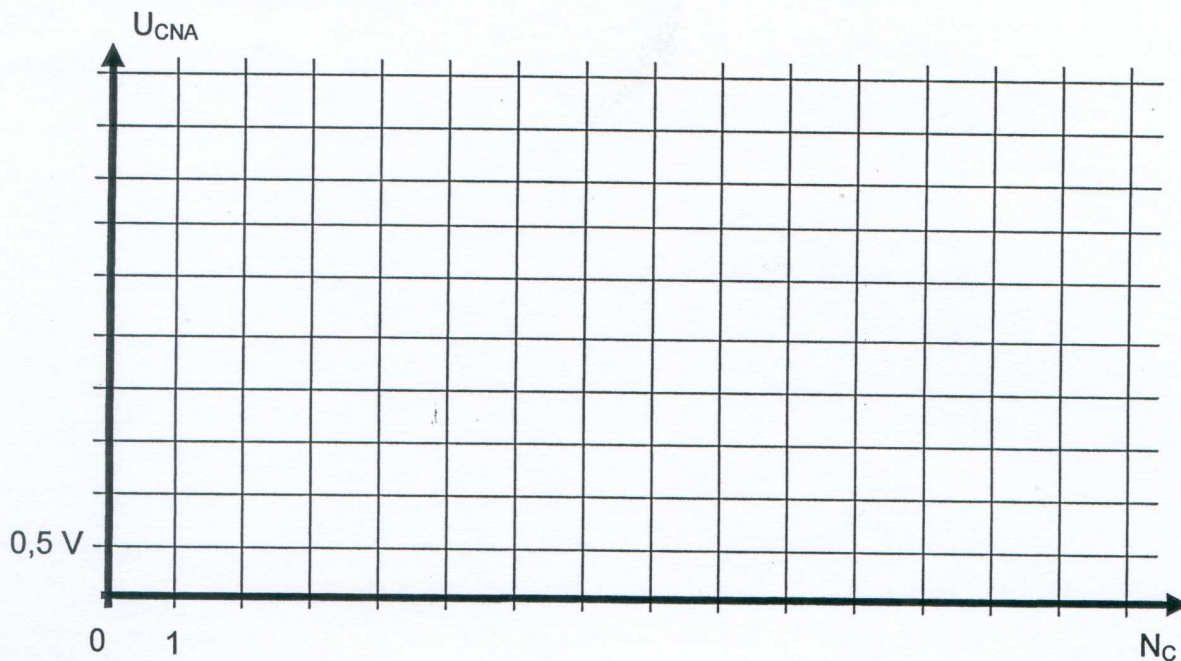
Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Document Réponse N°3 à rendre avec la copie

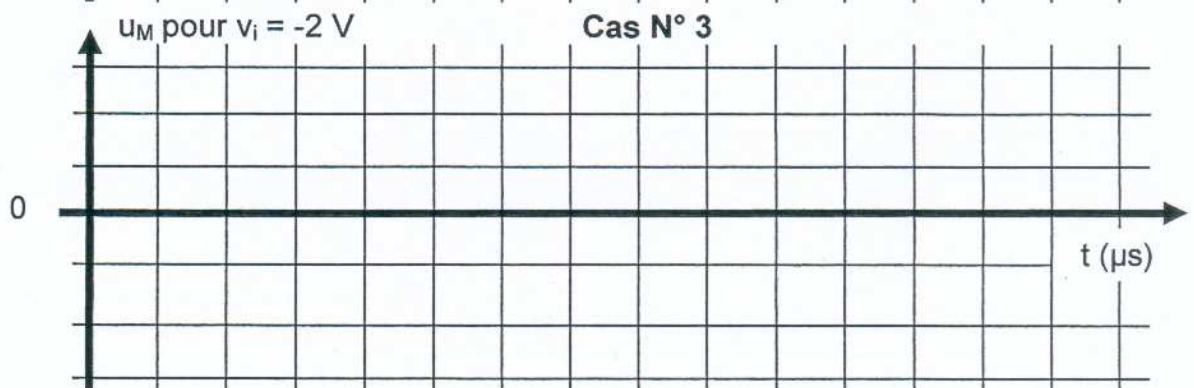
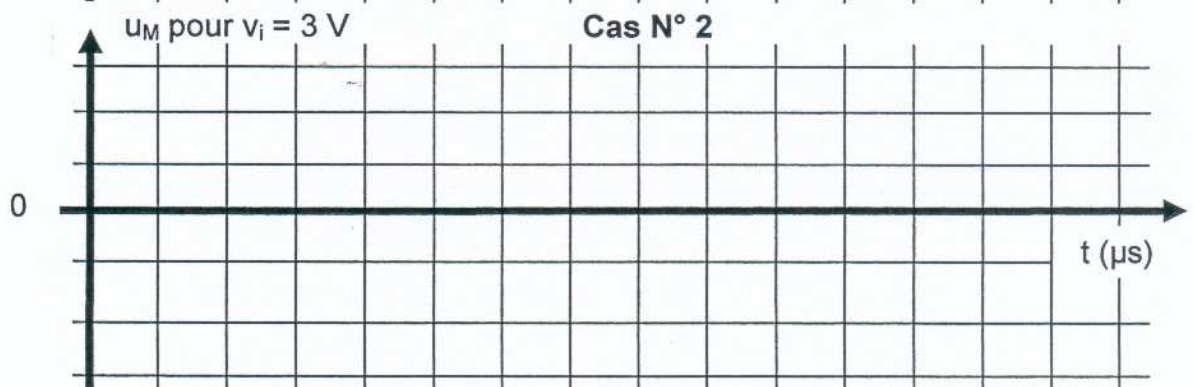
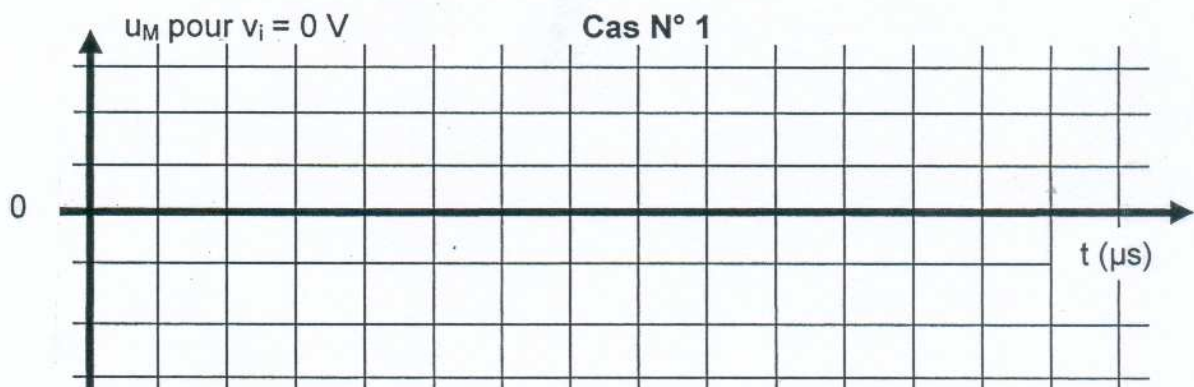
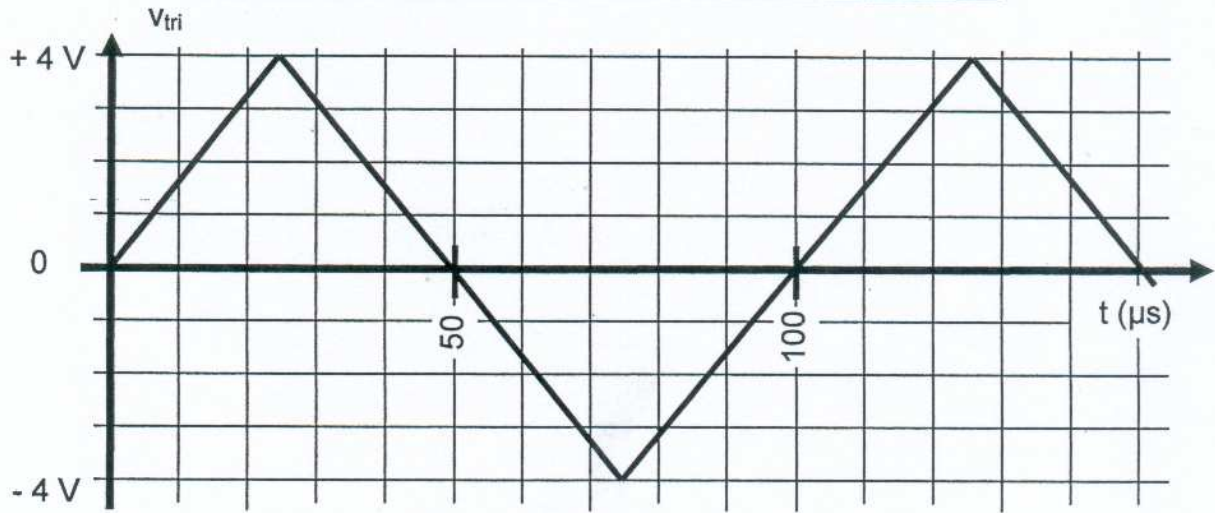
Tableau de données

θ (en degré)	$a_3 a_2 a_1 a_0$	N_c (décimal)	U_{CNA} (V)
0	0000	0	0
6,06	0001	1	0,312
12,13	0010	2	
18,2	0011	3	0,938
24,27	0100	4	1,250
30,33	0101	5	1,563
36,44	0110	6	1,875
42,46	0111	7	
48,53	1000	8	2,5
54,6	1001	9	2,813
60,67	1010	10	3,125
66,73	1011	11	3,438
72,8	1100	12	3,75
78,87	1101	13	4,063
84,93	1110	14	4,375
91	1111	15	

Caractéristique du CNA



Document Réponse N°4 à rendre avec la copie



Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.