

Orientation des pales d'une éolienne

Partie A : Mesure de la vitesse du vent

A.1 Capteur optique à fourche

A.1.1 valeurs possibles de la tension v_1 :

Quand le transistor T est saturé (interrupteur idéal fermé) $\Rightarrow v_1 = 0 \text{ V}$

Quand le transistor T est bloqué (interrupteur idéal ouvert) $\Rightarrow v_1 = + 5 \text{ V}$

A.1.2 pour atteindre 20 mA l'intensité du courant dans la DEL nécessaire pour saturer le transistor, il faut choisir une résistance R_d de valeur maximale telle que :

★ loi de la branche : $5 = R_d \cdot I_{led} + 2 \Rightarrow R_d = (5 - 2)/I_{led} = 3/0,02 = 150 \Omega$. Une résistance de valeur plus grande ne convient pas, le courant dans la DEL serait insuffisant pour que le transistor puisse se saturer.

A.1.3 Valeur de la fréquence f

Cette fréquence correspond au nombre de « flashes » reçus par le transistor en une seconde soit $f = 25 \times 4 = 100 \text{ Hz}$

A.2 Conversion fréquence/tension

A.2.1 Mise en forme

a) en observant la figure 6 le signal v_2 passe de 0 V à 5 V (état instable) lors du front montant de v_1

b) état instable (+ 5 V) $\Rightarrow \Delta t_i = 4 \text{ ms}$

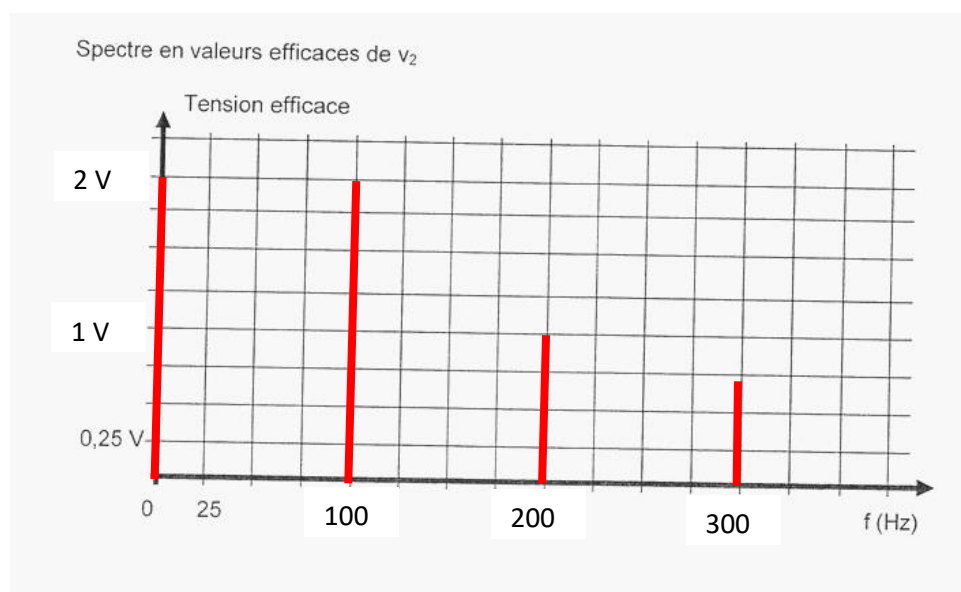
état stable (0 V) $\Rightarrow \Delta t_s = 6 \text{ ms}$

c) l'état instable correspond à une constante attachée au monostable, la vitesse du vent n'a aucun effet.

Si la période augmente (vitesse du vent qui diminue) c'est la durée de l'état stable qui augmente puisque $T = \Delta t_i + \Delta t_s$

A.2.2 Filtrage

a) spectre en fréquence (valeurs efficaces) de la tension v_2



b) pour retrouver la valeur moyenne de la tension d'entrée en sortie, il faut que le filtre élimine le fondamental et tous les harmoniques et laisse passer la composante constante $\Rightarrow$ le filtre qui convient est un filtre passe bas.

c) la période T maximale étant de 20 ms (elle correspond à la vitesse minimale du vent), la fréquence du signal est de $f=1/T=1/0,02 = 50$ Hz. La fréquence de coupure doit être au moins 10 fois plus petite soit

$$f_{c,max} = 0,5 \text{ Hz}$$

d) comportement du filtre

- ★ si la fréquence tend vers zéro le condensateur équivaut à un interrupteur ouvert et nous avons un amplificateur inverseur qui laisse passer toutes les fréquences (AOP parfait)

- ★ si la fréquence du signal tend vers l'infini, le condensateur équivaut à un interrupteur fermé court-circuitant la résistance en parallèle et le signal de sortie est nul.

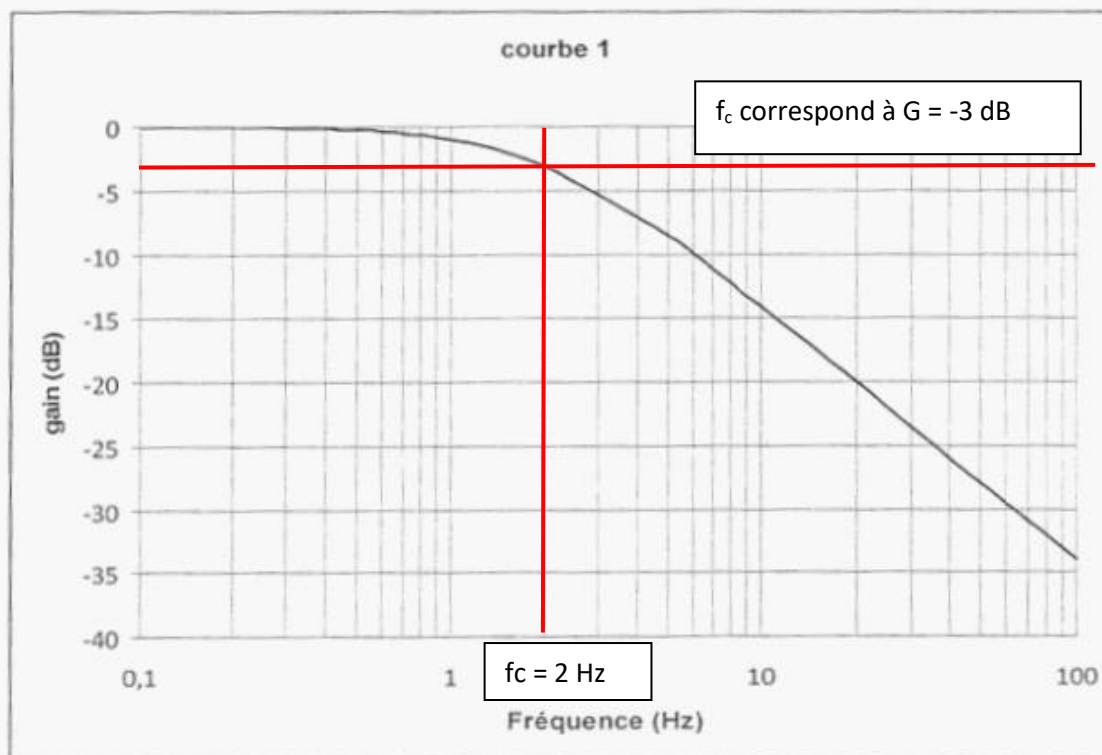
- ★ les fréquences élevées sont donc arrêtées le filtre est bien un passe bas

e) les courbes présentées correspondent à :

- ★ courbe haut de page : filtre passe bas (atténuation du signal lorsque la fréquence augmente). C'est la courbe qui convient au cas étudié.

- ★ courbe bas de page : filtre passe haut (atténuation du signal pour les basses fréquences), ne convient pas.

f) valeur de la fréquence de coupure du filtre :



Partie B : Inclinaison des pales

B.1.1 l'amplificateur opérationnel AO2 fonctionne en **régime linéaire** puisqu'il existe une réaction négative

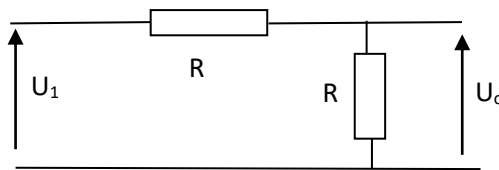
B.1.2 le régime linéaire implique $e^- = e^+ = 0 \text{ V}$ et les points «1» des interrupteurs K sont à un potentiel nul. Les points P_0, P_1, P_2, P_3 sont donc toujours à un potentiel nul quelque soit la position des interrupteurs.

B.1.3 loi de la maille $U_{CNA} + R' \cdot I = 0 \Rightarrow U_{CNA} = -R' \cdot I$

B.1.4 loi des nœuds :

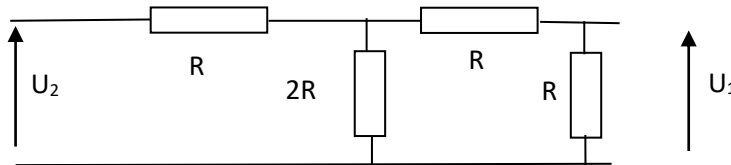
$I = a_3 I_3 + a_2 I_2 + a_1 I_1 + a_0 I_0$ (a_i donnant l'état de l'interrupteur K_i)

B.1.5 pour le dipôle D_1 il y a deux résistances identiques de valeur $2R$ en parallèle, la résistance équivalente est donc de moitié donc $R_e = R$.



Le diviseur de tension entre R et $R_e = R$ donne $U_0 = U_1/2$

B.1.6 le schéma est le suivant à droite du point Q_2 :



On se retrouve avec la même configuration qu'à la question précédente et donc la relation entre les tensions est $U_1 = U_2/2$

Le même raisonnement conduit à $U_2 = U_3/2$ et $U_3 = E/2$

B.1.7 on a $U_3 = 2R \cdot I_3 \Rightarrow I_3 = U_3/2R = E/4R$
de même $I_2 = U_2/2R = U_3/4R = E/8R$
 $I_1 = U_1/2R = U_2/4R = U_3/8R = E/16R$
 $I_0 = U_0/2R = U_1/4R = U_2/8R = U_1/16R = E/32R$

B.1.8 Expression de U_{CNA}

$$U_{CNA} = -R' \cdot I = -R' \cdot (a_3 I_3 + a_2 I_2 + a_1 I_1 + a_0 I_0)$$

$$U_{CNA} = -R' \cdot (a_3 E/4R + a_2 E/8R + a_1 E/16R + a_0 E/32R)$$

$$U_{CNA} = -R' \cdot E/32R \cdot (8a_3 + 4a_2 + 2a_1 + 1a_0)$$

$$U_{CNA} = -R' \cdot E/32R \cdot (2^3 a_3 + 2^2 a_2 + 2^1 a_1 + 2^0 a_0)$$

B.1.9 en posant $q = -R' \cdot E/32R$ et $N_c = (2^3 a_3 + 2^2 a_2 + 2^1 a_1 + 2^0 a_0)$ il vient

$$U_{CNA} = q \cdot N_c$$

B.1.10

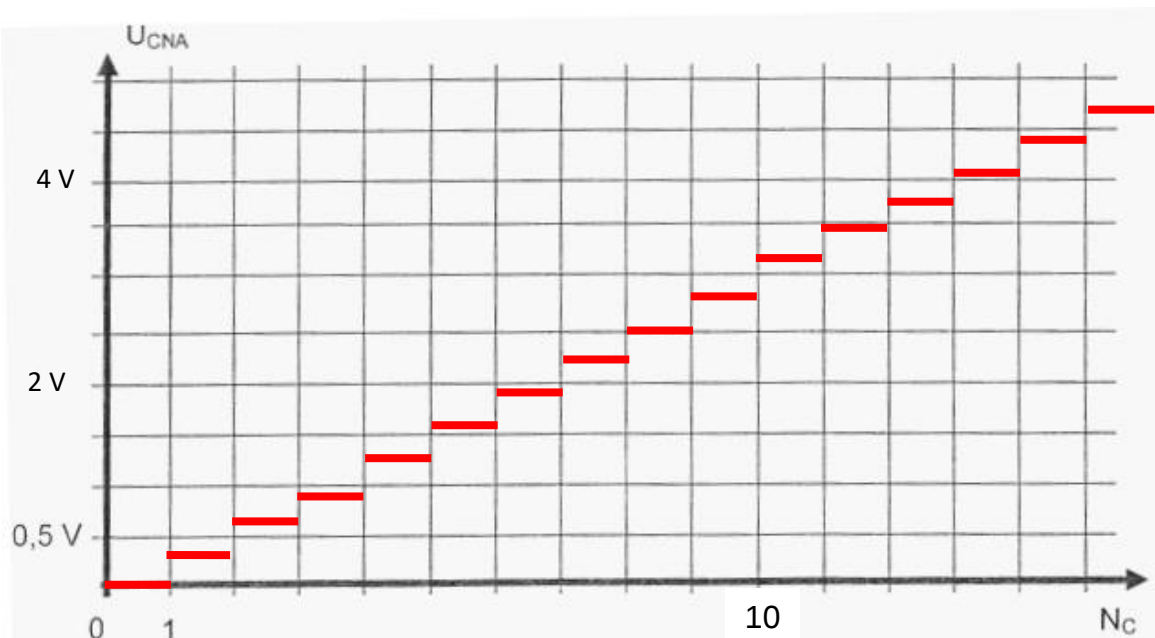
Tableau de données

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	$0,3125 \times 2 = 0,625$
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	$0,3125 \times 7 = 2,187$
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	$0,3125 \times 15 = 4,687$

Avec $q = 4,375/14 = 0,3125 \text{ V}$

B.1.11 Calcul de la valeur numérique du quantum : $q = -(-10)/32 = 0,3215 \text{ V}$
 même valeur que celle calculée à partir des données du tableau précédent

B.1.12 caractéristique de transfert du CNA



B.2 Capteur de position

B.2.1 l'énoncé nous dit que $V_p = k.\theta$ (proportionnalité)

Pour $\theta = 340^\circ$ $V_p = V_{DD} = k.340 \Rightarrow k = V_{DD}/340$ et $V_p = (V_{DD}/340).\theta$

B.2.2 Si $V_{DD} = 5\text{ V}$ pour $\theta = 0 \Rightarrow V_p = 0\text{ V}$

pour $\theta = 91^\circ \Rightarrow V_p = (5/340).91 = 1,34\text{ V}$

B.3 Étude de l'amplificateur

B.3.1 le montage réalisé est un **amplificateur non inverseur**

B.3.2 expression de V_{mes}

l'AO3 fonctionne en régime linéaire ($e^+ = e^-$) puisqu'il existe une réaction négative

diviseur de tension $\Rightarrow V_p = e^- = V_{mes} \cdot [R_1/(R_1 + aP_1)]$

$V_{mes} = V_p \cdot [(R_1 + aP_1)/R_1] = (V_{DD}/340).\theta \cdot [(R_1 + aP_1)/R_1]$

$$V_{mes} = [V_{DD} \cdot (R_1 + aP_1) / 340 \cdot R_1] \cdot \theta$$

B.3.3 valeur de a

$$4,69 = [5 \cdot (1 + a \cdot 10) 10^3] / 340 \cdot 10^3 \cdot 91 \Rightarrow a = 0,25$$

B.4 Amplificateur de différence

B.4.1 pour avoir un amplificateur il est nécessaire d'avoir un **régime linéaire** (l'effet de la réaction négative l'emporte sur la réaction positive)

B.4.2 alors $\Rightarrow V_{D4} = 0 \Rightarrow V^+ = V^-$

B.4.3 diviseur de tension $\Rightarrow V^+ = U_{CNA} \cdot [R_6/(R_6 + R_5)]$

B.4.4 le théorème de superposition donne :

$$\Rightarrow V^- = V_{mes} \cdot R_6/(R_6 + R_5) + \varepsilon_p \cdot R_5/(R_5 + R_6)$$

B.4.5 comme $V^+ = V^-$

$$\Rightarrow U_{CNA} \cdot [R_6/(R_6 + R_5)] = V_{mes} \cdot R_6/(R_6 + R_5) + \varepsilon_p \cdot R_5/(R_5 + R_6)$$

$$\Rightarrow U_{CNA} \cdot R_6 = V_{mes} \cdot R_6 + \varepsilon_p \cdot R_5$$

$$\Rightarrow \varepsilon_p = (R_6/R_5) \cdot (U_{CNA} - V_{mes})$$

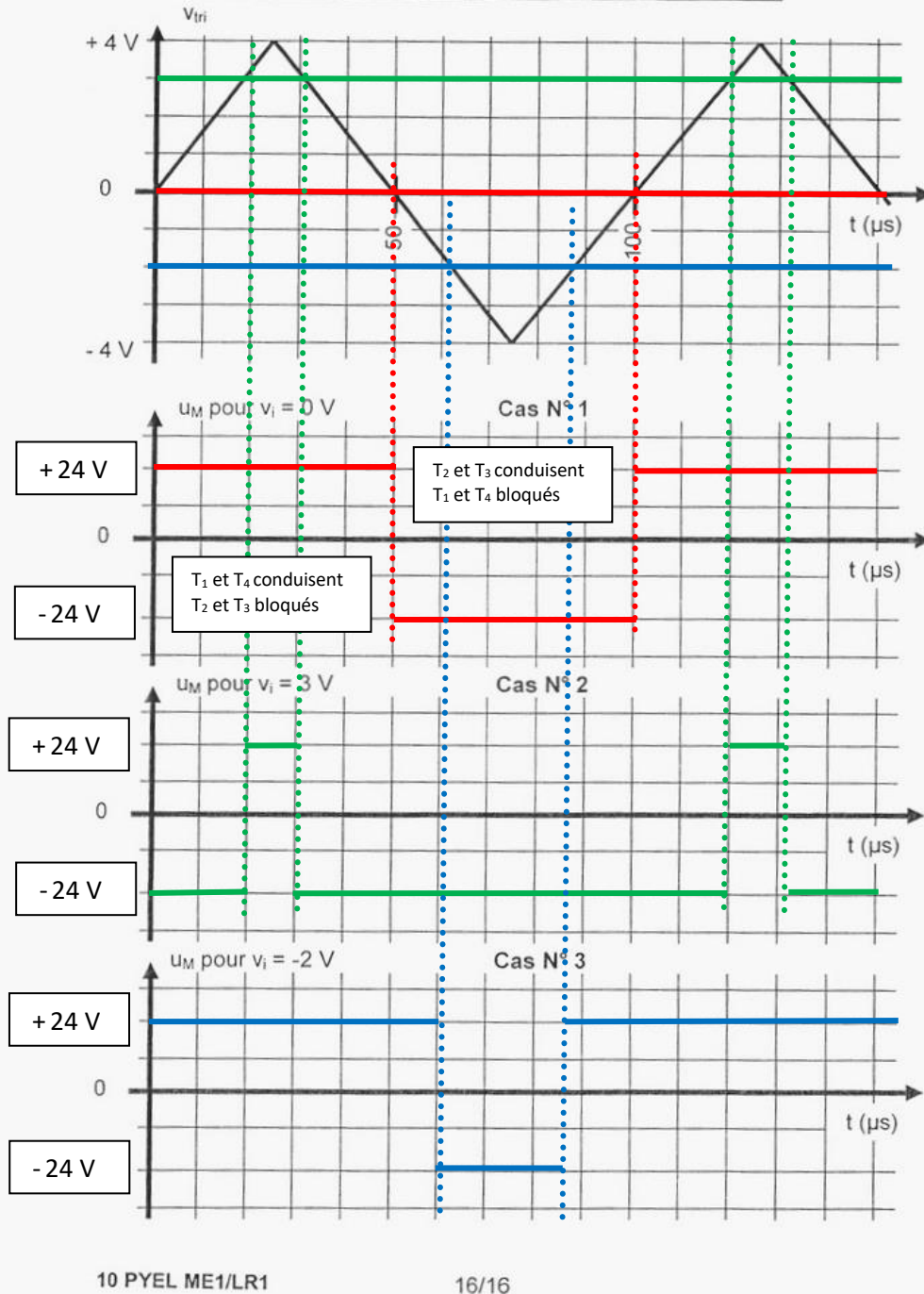
B.4.6 pour avoir la relation $\varepsilon_p = (U_{CNA} - V_{mes})$ il faut que $R_5 = R_6 = 1\text{ k}\Omega$

B.4.7 la tension d'erreur est maximale quand U_{CNA} est minimum (V_{mes} constante) $\Rightarrow \varepsilon_{p\text{ max}} = 0 - 4,69 = -4,69\text{ V}$

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

B.5.1 tension aux bornes du moteur dans différents cas

Document Réponse N°4 à rendre avec la copie



B.5.2 cas où $V_i = 0$ V

T₁ et T₄ conduisent quand $V_{tri} > 0$ V

T₂ et T₃ conduisent quand $V_{tri} < 0$ V

B.5.3 cas n°2 calcul de la valeur moyenne de u_M

$$\langle u_M \rangle = \text{Aire}/T = [(24 \times 1) - (24 \times 9)]/10 = -19,2 \text{ V}$$

B.5.4

a) valeur littérale de la valeur moyenne de la tension u_M :

$$\langle u_M \rangle = \text{Aire}/T = [E \cdot \alpha T - E \cdot (T - \alpha T)]/T = E \cdot (2\alpha - 1)$$

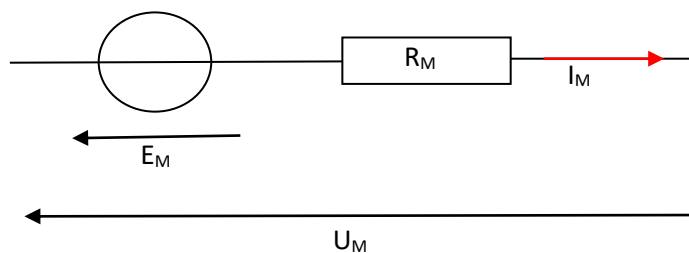
b) ★ si la valeur moyenne de la tension appliquée au moteur est positive, le moteur tourne dans un certain sens.

★ si la tension est nulle le moteur est à l'arrêt

★ si la valeur moyenne devient négative, le sens de rotation du moteur s'inverse par rapport au premier cas

B.6 Étude du moteur à courant continu

B.6.1 schéma électrique équivalent de l'induit du moteur :



B.6.2 calcul de la f.é.m.

La loi de la branche appliquée au schéma précédent donne :

$$U_M = E_M + R_M \cdot I_M \Rightarrow E_M = U_M - R_M \cdot I_M = 24 - 1 \times 2 = 22 \text{ V}$$

B.6.3 puissance dissipée dans l'induit par effet Joule : =

$$P_J = R_M \cdot I_M^2 = 1 \times 2^2 = 4 \text{ W}$$

B.6.4 puissance utile du moteur :

$$P_u = P_a - \text{pertes} = 24 \times 2 - 8 = 40 \text{ W}$$

B.6.5 rendement du moteur :

$$\eta = P_u / P_a = 40/48 = 83,3 \%$$

Partie C : Synthèse

C.1 fonction de transfert de la chaîne de retour :

$$T_R = V_{\text{mes}} / \theta = K \cdot V_{DD}/340 \quad (\text{produit des fonctions de transfert pour les dipôles en cascade})$$

C.2 tension d'erreur :

$$\varepsilon_p = U_{CNA} - V_{\text{mes}} = U_{CNA} - (K \cdot V_{DD}/340) \cdot \theta$$

C.3 valeur de la tension d'erreur :

★ pour $\theta = 18,2^\circ \Rightarrow U_{CNA} = 0,938 \text{ V}$ (tableau)

$$\text{et } V_{\text{mes}} = [V_{DD} \cdot (R_1 + aP_1)/340 \cdot R_1] \cdot \theta = [5(1 + 0,25 \cdot 10)/340] \cdot \theta$$

$$V_{\text{mes}} = 0,0515 \cdot \theta = 0,0515 \cdot 18,2 = 0,938 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_p = 0 \text{ V}$$

★ pour $\theta = 72,8^\circ \Rightarrow U_{CNA} = 3,75 \text{ V}$ (tableau)
et $V_{mes} = 0,0515 \times 72,8 = 3,75 \text{ V}$
 $\Rightarrow \epsilon_p = 0 \text{ V}$

C.4 Pour une valeur de U_{CNA} la pale de l'éolienne doit faire un angle θ donné
Si une cause vient modifier cette valeur de l'angle alors la chaîne de retour
donne une tension différente de U_{CNA} , ϵ_p n'est pas nul et il y a correction de
l'écart qui revient progressivement vers zéro. L'angle retrouve sa valeur .

C.5 si le coefficient K de la chaîne de retour augmente, le système réagit
plus vite (ϵ_p est plus important) mais il risque de devenir instable (oscillations
autour de la position attendue).