

Proposition de corrigé

Concours : Concours Commun Polytechniques

Année : 2010

Filière : TSI

Épreuve : Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : corrigesconcours@upsti.fr.

Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : www.upsti.fr

L'équipe UPSTI

CORRIGE

MESURE DE CAVITÉ SOUTERRAINE

Sujet :

- Partie I :*** ***Présentation du système (page 2 à 5)***
Partie II : ***Étude fonctionnelle du système (page 6 à 7)***
Partie III : ***Enrouler le câble (page 8)***
Partie IV : ***Réguler la tension d'alimentation (page 9 à 12)***
Partie V : ***Produire un mouvement de rotation (page 13 à 15)***
Partie VI : ***Mesurer la position (page 16 et 17)***
Partie VII : ***Mesurer avec une sonde (page 18 à 20)***

Documents techniques : DT1 à DT9

Documents réponses : DR1 à DR6

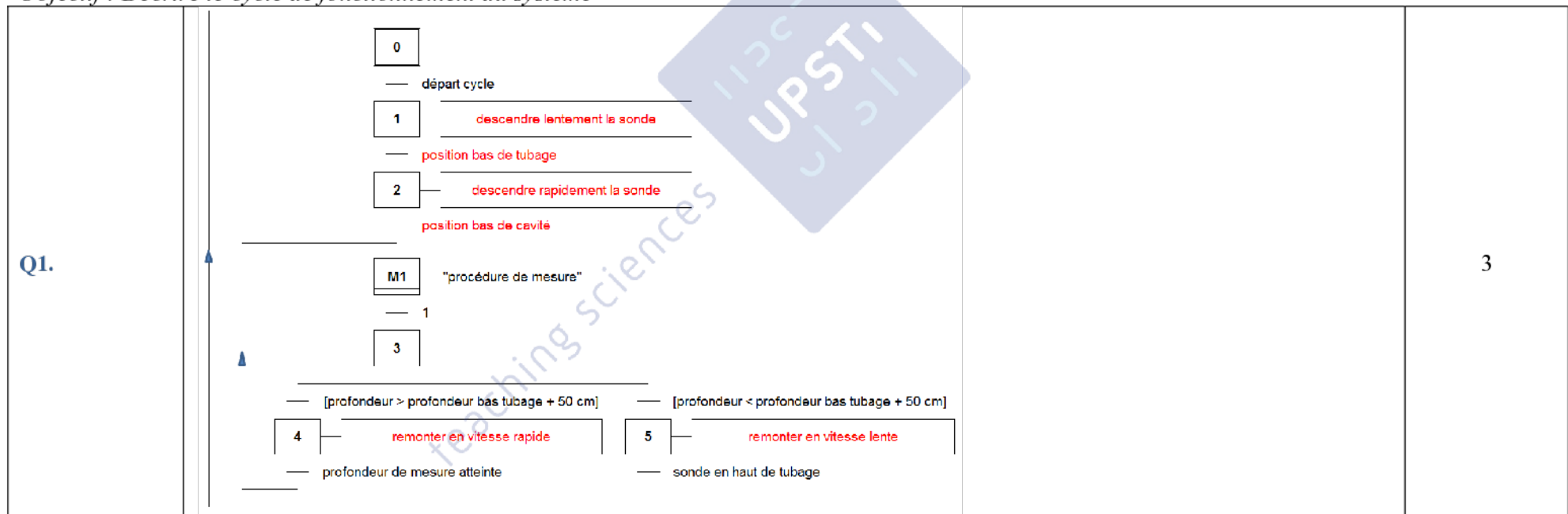
PARTIE I : Présentation du système

1. Contexte de l'étude
2. Positionnement de la sonde
3. Principe de mesure

PARTIE II : Étude fonctionnelle du système

1. Expression fonctionnelle du besoin
2. Diagramme FAST
3. Description séquentielle du cycle de mesure

Objectif : Décrire le cycle de fonctionnement du système



Partie III : FT233 Enrouler le câble

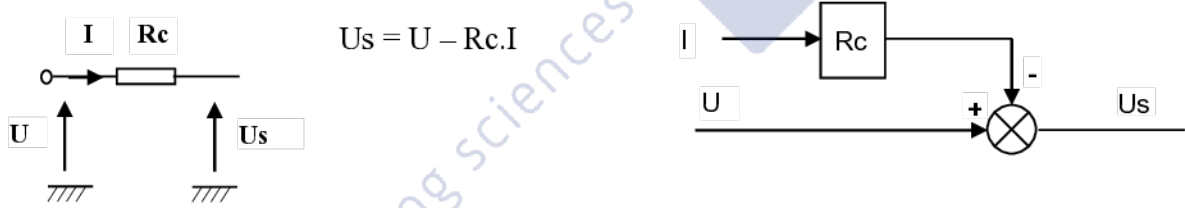
Objectif : Détermination du diamètre minimum du tambour pour enrouler le câble choisi.

Q2.	$\begin{cases} L - \Delta L = \alpha R \\ L + \Delta L = \alpha(R + 2r) \end{cases}$	2
Q3.	$\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon = \frac{r}{R+r}; \quad R > \frac{E}{R_e} \cdot r - r; \quad \text{A.N : } R > 167 \text{ mm}$	2
Q4.	Diamètre du tambour 400mm => supérieur au Rmini .	1

Partie IV : FT22 Réguler la tension d'alimentation.

Objectif : Régulation de l'alimentation de la sonde à $U_s = 24V$ (+/- 5%) pour compenser les chutes de tension et permettre le bon fonctionnement des différents constituants de la sonde.

Etude de la partie « Câble »

Q5.		1
-----	---	---

Etude de la chaîne de retour et du comparateur d'entrée de la chaîne de régulation.

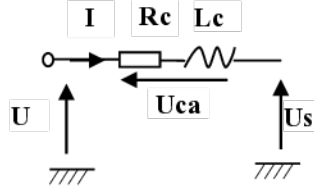
Q6.	La résistance du câble de mesure est au maximum de l'ordre de qqs 10Ω . Elle est donc négligeable devant $R7(10K\Omega)$ et $R8(47K\Omega)$. Montage suiveur donc $V_r = V7$ et $V7 = U_s \cdot R7 / (R7 + R8)$ donc $k = R7 / (R7 + R8) = 10/57 = 0,175 \Rightarrow k = 0,175$ si $U_s = 24 \text{ V} \Rightarrow V_r = 4,21 \text{ V}$	2
-----	---	---

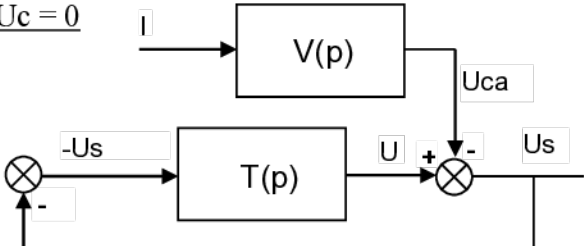
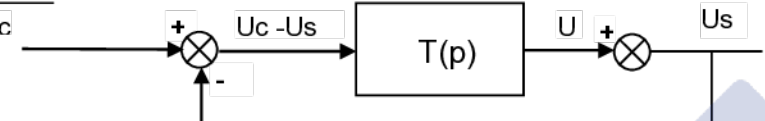
Q7.	A5 est parfait et fonctionne en linéaire donc $V^+ = V^-$ $V^+ = V_c.R_6 / (R_6 + R_5)$ et $V^- = (V_r/R_5 + V_3/R_6) / (1/R_5 + 1/R_6) = (V_r.R_6 + V_3.R_5) / (R_6 + R_5)$ Donc $V_c.R_6 = V_r.R_6 + V_3.R_5 \Rightarrow V_3 = R_6/R_5(V_c - V_r)$ avec $A = R_6/R_5 = 22 \Rightarrow A = 22$	2
-----	---	---

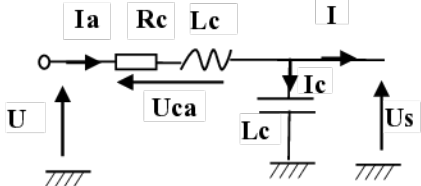
Etude de l'ensemble en régime établi.

Q8.	$U_s = 24 \text{ V}$; fonctionnement à vide donc $I = 0$ alors $U = U_s = 24 \text{ V}$ en régime établi $H(p) = H_0 = 100$ donc $\alpha = 24/100 = 0,24 \Rightarrow \alpha = 0,24$ $V_3 = \alpha / W = 0,24 * 8 = 1,92$ $V_c - V_r = V_3 / A = 1,92 / 22 = 87,3 \text{ mV}$ d'où $V_c = 87,3 \cdot 10^{-3} + 4,21 = 4,297 \text{ V}$ alors $U_C = V_c / K = 4,297 / (10/57) = 24,50 \Rightarrow U_C = 24,50 \text{ V}$	2
Q9.	$V_3 = A(V_c - kU_s)$ donc $U = H_0.W.A(V_c - k.U_s)$ $U_s = U - R_c.I \Rightarrow U_s = H_0.W.A(V_c - k.U_s) - R_c.I \Rightarrow U_s(1 + H_0.W.A.k) = H_0.W.A.V_c - R_c.I$ $\Rightarrow U_s = (H_0.W.A.V_c - R_c.I) / (1 + H_0.W.A.k)$ donc $U_s = (100 * 1/8 * 22 * 4,297 - 3,5 * 3) / (1 + 100 * 1/8 * 22 * 10/57) = 23,78 \text{ V} \Rightarrow U_s = 23,78 \text{ V}$ La tension U_s est comprise dans l'intervalle de tolérance de la tension ($24 \text{ V} \pm 5\%$) donc tout va bien en régime établi ! Pour diminuer l'écart il suffit d'augmenter le gain de la chaîne direct c.a.d. qu'il faut que A soit plus grand.	3

Étude de la régulation en régime dynamique.

Q10.	 $U_{ca} = R_c I + L_c.p.I$ donc $U_{ca} / I = R_c + L_c.p \Rightarrow V(p) = R_c + L_c.p$ Comme $K = k$ la régulation peut être ramenée à un retour unitaire. Avec $U = A.W.H(p).(V_c - V_r) = A.W.H(p).(K.U_c - kU_s) = A.W.H(p).k.(U_c - U_s)$ Avec $T(p) = U / (U_c - U_s) = k.A.W.H(p) \Rightarrow T(p) = k.A.W.H(p)$	2
------	--	---

Q11.	On applique le théorème de superposition <u>Si $U_c = 0$</u>  Alors $U_s(p) = -T(p).U_s(p) - V(p).I(p)$ donc $U_s(p) = -V(p).I(p) / (1 + T(p))$ <u>Si $I = 0$</u>  Alors $U_s(p) = T(p).(U_c(p) - U_s(p))$ donc $U_s(p) = T(p).U_c(p) / (1 + T(p))$ <u>Conclusion</u> $U_s(p) = T(p).U_c(p) / (1 + T(p)) - V(p).I(p) / (1 + T(p))$	2
Q12.	La consigne reste constante donc $\Delta U_c(p) = 0$ $\Delta U_s(p) = -\frac{V(p)}{1+T(p)} I(p) = -\frac{Rc+Lc.p}{1+\frac{k.A.W.H0}{1+\tau1.p}} \cdot \frac{\Delta I}{p} = -\frac{(Rc+Lc.p).(1+\tau1.p)}{1+k.A.W.H0+\tau1.p} \cdot \frac{\Delta I}{p} = -\Delta I \cdot \frac{Rc.(1+\frac{Lc}{Rc}p).(1+\tau1.p)}{(1+k.A.W.H0)(1+\frac{\tau1.p}{1+k.A.W.H0})p}$ $\Delta U_s(p) = -\Delta I . Ro \frac{(1+\tau c.p)(1+\tau1.p)}{(1+\tau2.p)p}$ Avec : $Ro = \frac{Rc}{(1+k.A.W.H0)} = \frac{3,5}{(1+\frac{10}{57} \cdot 22 \cdot \frac{1}{8} \cdot 100)} = 0,071 \Omega$; $\tau c = \frac{Lc}{Rc} = \frac{2.10^{-3}}{3,5} = 570 \mu s$; $\tau1 = 800 \mu s$ et $\tau2 = \frac{\tau1}{1+k.A.W.H0} = \frac{0,8.10^{-3}}{(1+\frac{10}{57} \cdot 22 \cdot \frac{1}{8} \cdot 100)} = 16,2 \mu s$ Théorème de la valeur finale : $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta U_s(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p . \Delta U_s(p) = -\Delta I . Ro = -2 * 0,071 = 142 mV$ Théorème de la valeur initiale : $\lim_{t \rightarrow 0} \Delta U_s(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} p . \Delta U_s(p) = -\infty$ Il y a donc apparition d'un creux de tension qui provoquera la mise en défaut des différents éléments de la sonde et en	3

	particulier le moteur pas à pas.	
Q13.	 $I_c = C.dV_s / dt \rightarrow I_c(p) = C.p.U_s(p) \rightarrow F(p) = C.p$ $I_a = I + I_c$ U_c reste constant donc U_s ne dépend que de I $U_s = -U_s.T(p) - (R_c + L_c.p)(I + C.p.U_s)$ $U_s.[1 + T(p) + (R_c + L_c.p).C.p] = -(R_c + L_c.p).I$ $U_s = -\frac{(R_c + L_c.p)}{[1 + T(p) + (R_c + L_c.p).C.p]} \cdot I = -\frac{(R_c + L_c.p)}{\left[1 + \frac{k.A.W.H_0}{1 + \tau_1.p} + (R_c + L_c.p).C.p\right]} \cdot I = -\frac{(R_c + L_c.p).(1 + \tau_1.p)}{(1 + \tau_1.p).(1 + R_c.C.p + L_c.C.p^2) + k.A.W.H_0} \cdot I$ D'où $U_s = \frac{R_c + (L_c + R_c.\tau_1).p + L_c.\tau_1.p^2}{(1 + k.A.W.H_0) + (\tau_1 + R_c.C).p + (R_c.C.\tau_1 + L_c.C).p^2 + L_c.C.\tau_1.p^3}$ Donc ΔU_s sera de la forme : $\Delta U_s = \frac{\dots + \dots p^2}{\dots + \dots p^3} \cdot \frac{\Delta I}{p}$ donc $\lim_{t \rightarrow 0} \Delta U_s(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} p.\Delta U_s(p) = 0$ On peut dire que le problème est résolu !	2

Partie V : FT232 Produire un mouvement de rotation

Objectif : choix d'un ensemble moto-variateur et de sa configuration pour respecter le cahier des charges.

Calcul du couple et de la puissance moteur.

Q14.	<u>On isole l'ensemble</u> { arbre moteur, arbre réducteur, tambour, câble (enroulé + déroulé), sonde } <u>Bilan des actions mécaniques extérieures :</u> - Cm le couple moteur => puissance $P_m = C_m \cdot \omega_m$ - Poids de l'ensemble Câble déroulé + sonde => Puissance : $P_{poids} = - (M_s + L_c.\rho_l) \cdot g \cdot V_{câble} = - (M_s + L_c.\rho_l) \cdot g \cdot \frac{d}{2.r} \omega_m$ - Liaisons parfaites => Puissance nulle : liaison parfaite <u>Bilan des actions internes :</u> - Liaisons parfaites => Puissance nulle : liaison parfaite - Dissipation de puissance dans le réducteur : $P_{red} = - (1 - \eta) \cdot C_m \cdot \omega_m$	7
------	---	---

	<u>Energie cinétique de l'ensemble</u> : $E_c = 1/2 J_m. \omega_m^2 + 1/2 (J_{red} + J_t + J_c). \omega_{red}^2 + 1/2 (M_s + L_c. \rho l). V_{câble}^2$ Ramené sur l'axe moteur : $E_c = 1/2 [J_m + \frac{(J_{red} + J_t + J_c)}{r^2} + \frac{(M_s + L_c. \rho l)}{4.r^2} . d^2] . \omega_m^2$ <u>Théorème de l'énergie cinétique</u> : $\frac{dE_c}{dt} = P_{ext \rightarrow S / R_g} + P_{int} \text{ soit}$ $[J_m + \frac{(J_{red} + J_t + J_c)}{r^2} + \frac{(M_s + L_c. \rho l)}{4.r^2} . d^2] . \omega_m. \dot{\omega}_m = C_m. \omega_m - (1 - \eta). C_m. \omega_m - (M_s + L_c. \rho l). g. \frac{d}{2.r} \omega_m$ Donc: $J_{eq} \times \frac{d\omega_m}{dt} = \eta C_m - C_{req}$ avec $J_{eq} = [J_m + \frac{(J_{red} + J_t + J_c)}{r^2} + \frac{(M_s + L_c. \rho l)}{4.r^2} . d^2]$ $C_{req} = (M_s + L_c. \rho l). g. \frac{d}{2.r}$	
--	--	--

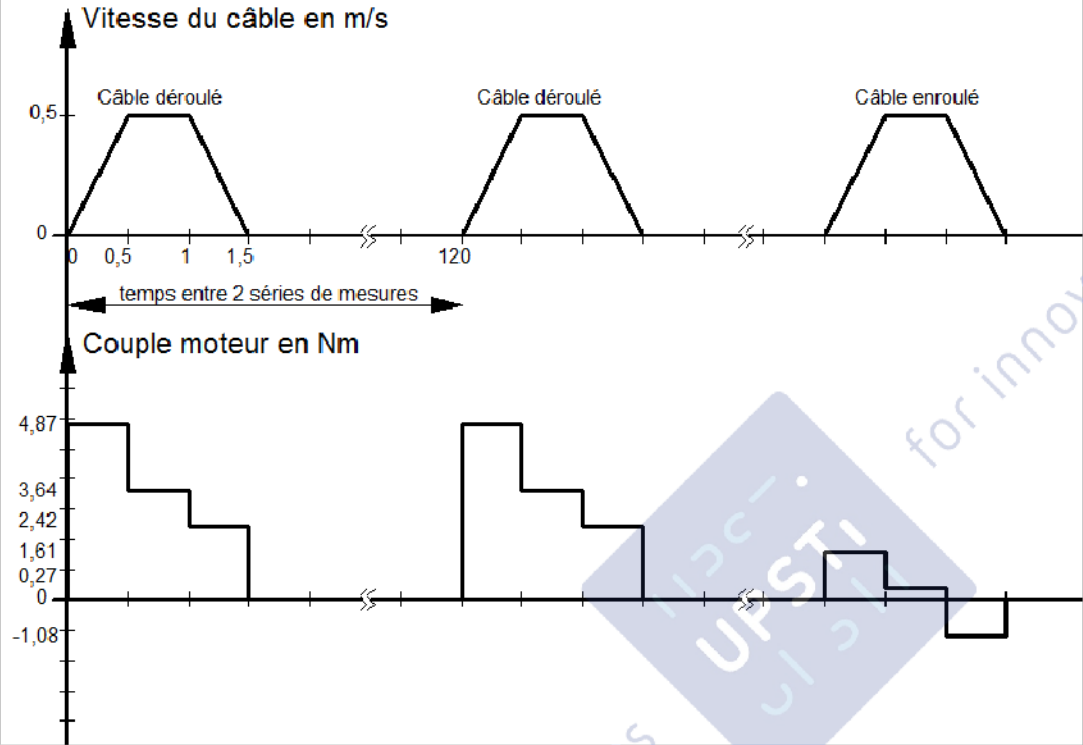
Choix du moteur

Q15.	$\omega_t = \frac{V_{max}}{R} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5 \text{ rd}^{-1}$ $\omega_m = r \times \omega_t = 58,6 \times 2,5 = 146,5 \text{ rd}^{-1}$ $n_m = \frac{146,5}{2 \times \pi} = 23,3 \text{ tr. min}^{-1}$ soit 1400 tr. min⁻¹ Moteur 2 paires de pôles Câble déroulé $P_m = \frac{P_t}{\eta} = \frac{F \times V}{\eta} = \frac{m \times g}{\eta} = \frac{(L_c \times \rho l + M_s) \times g \times V}{\eta} = \frac{(200 \times 0,368 + 5,6) \times 9,81 \times 0,5}{0,74} = 525 \text{ W}$ Câble enroulé $P_m = \frac{P_t}{\eta} = \frac{F \times V}{\eta} = \frac{m \times g}{\eta} = \frac{M_s \times g \times V}{\eta} = \frac{5,6 \times 9,81 \times 0,5}{0,74} = 37 \text{ W}$	2
Q16.	2 paires de pôles $P > 525 \text{ W}$ soit un moteur 0,55 kW Choix moteur LSMV 80L 0,55 kW $\omega_n = \frac{2 \times \pi \times n_n}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1420}{60} = 148,7 \text{ rd}^{-1}$ $C_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{550}{148,7} = 3,7 \text{ Nm}$	2

	$g_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} \times 100 = \frac{1500 - 1420}{1500} \times 100 = 5,33 \%$	
Q17.	Alimentation monophasé 230 V Moteur 550W Variateur ATV 31 H 055M2	1

Validation de l'ensemble moto-variateur

Q18.	$C_m = (Jeq \times \frac{d\omega_m}{dt} + C_{req}) \times \frac{1}{\eta}$ Câble enroulé accélération $C_{md} = \left(0,0034 \times \frac{146,5}{0,5} + 0,2\right) \times \frac{1}{0,74} = 1,61 Nm$ permanent $C_m = (0,2) \times \frac{1}{0,74} = 0,27 Nm$ décélération $C_{mf} = \left(0,0034 \times \frac{146,5}{-0,5} + 0,2\right) \times \frac{1}{0,74} = -1,08 Nm$ Câble déroulé accélération $C_{md} = \left(0,0031 \times \frac{146,5}{0,5} + 2,7\right) \times \frac{1}{0,74} = 4,87 Nm$ permanent $C_m = (2,7) \times \frac{1}{0,74} = 3,64 Nm$ Décélération $C_{mf} = \left(0,0031 \times \frac{146,5}{-0,5} + 2,7\right) \times \frac{1}{0,74} = 2,42 Nm$	2
-------------	--	---

Q19.	 $\frac{C_{md}}{C_n} = \frac{4,87}{3,7} = 1,31$ soit un surcouple de 131% pendant la phase de d'accélération câble déroulé ce qui est compatible avec le surcouple que peut fournir le variateur (150%).	1
Q20.	Couple thermique équivalent pendant la phase de déplacement câble déroulé $C_{th}^2 = \frac{1}{1,5} \times (4,87^2 \times 0,5 + 3,64^2 \times 0,5 + 2,42^2 \times 0,5)$ $C_{th} = 3,78 \text{ Nm}$ Le moteur est très légèrement en surcharge $C_n = 3,7 \text{ Nm}$ mais à largement le temps de refroidir pendant la phase d'arrêt (mesures)	1

Effectuer la configuration partielle du variateur

Q21.	Vitesse de rotation du moteur nécessaire pour obtenir une vitesse linéaire de $0,5 \text{ m.S}^{-1}$ est 1400 tr.min^{-1} Vitesse nominale du moteur 1420 tr.min^{-1} sous 50 Hz $F_{max} = \frac{1400 \times 50}{1420} = 49,3 \text{ Hz}$ soit environ 50 Hz $F_{min} = \frac{F_{max}}{5} = 9,9 \text{ Hz}$ soit environ 10 Hz						1
Q22.	Temps d'accélération et décélération défini pour la fréquence nominale $t = \frac{0,5 \times 49,3}{50} = 0,493 \text{ s}$ soit 0,5 s						1
Q23.	Code	Description	Plage de réglage	Réglage usine	Justification	Valeur de réglage	2
	FrS	Fréquence nominale moteur lue sur la plaque	10 à 500 Hz	50	Fréquence nominale moteur	50 Hz	
	ACC	Temps de rampe d'accélération	0,2 à 60 s	3 s	Cycle déplacement	0,5 s	
	DEC	Temps de rampe de décélération	0,2 à 60 s	3 s	Cycle déplacement	0,5 s	
	Définis pour accélérer et décélérer entre 0 et la fréquence nominale FrS						
	LSP	Petite vitesse	0 à HSP	0 Hz		10 Hz	
		Fréquence moteur à consigne mini					
	HSP	Grande Vitesse	LSP à 60 Hz	50 Hz		50 Hz	
		Fréquence moteur à consigne maxi, s'assurer que ce réglage convient au moteur et à l'application					
	ITH	Protection thermique du moteur - courant thermique maxi	0 à 1,5 In	Selon calibre variateur	Courant Nominal moteur	1,65 A	
		Régler ITH à l'intensité nominale lue sur la plaque signalétique moteur					

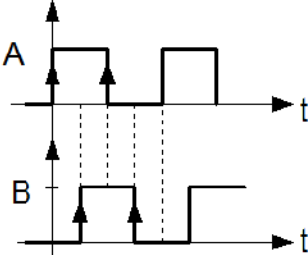
Partie VI : FT24 Mesurer la position

Objectif : Choisir un codeur, le mettre en œuvre et l'implanter afin de mesurer précisément la position de la sonde.

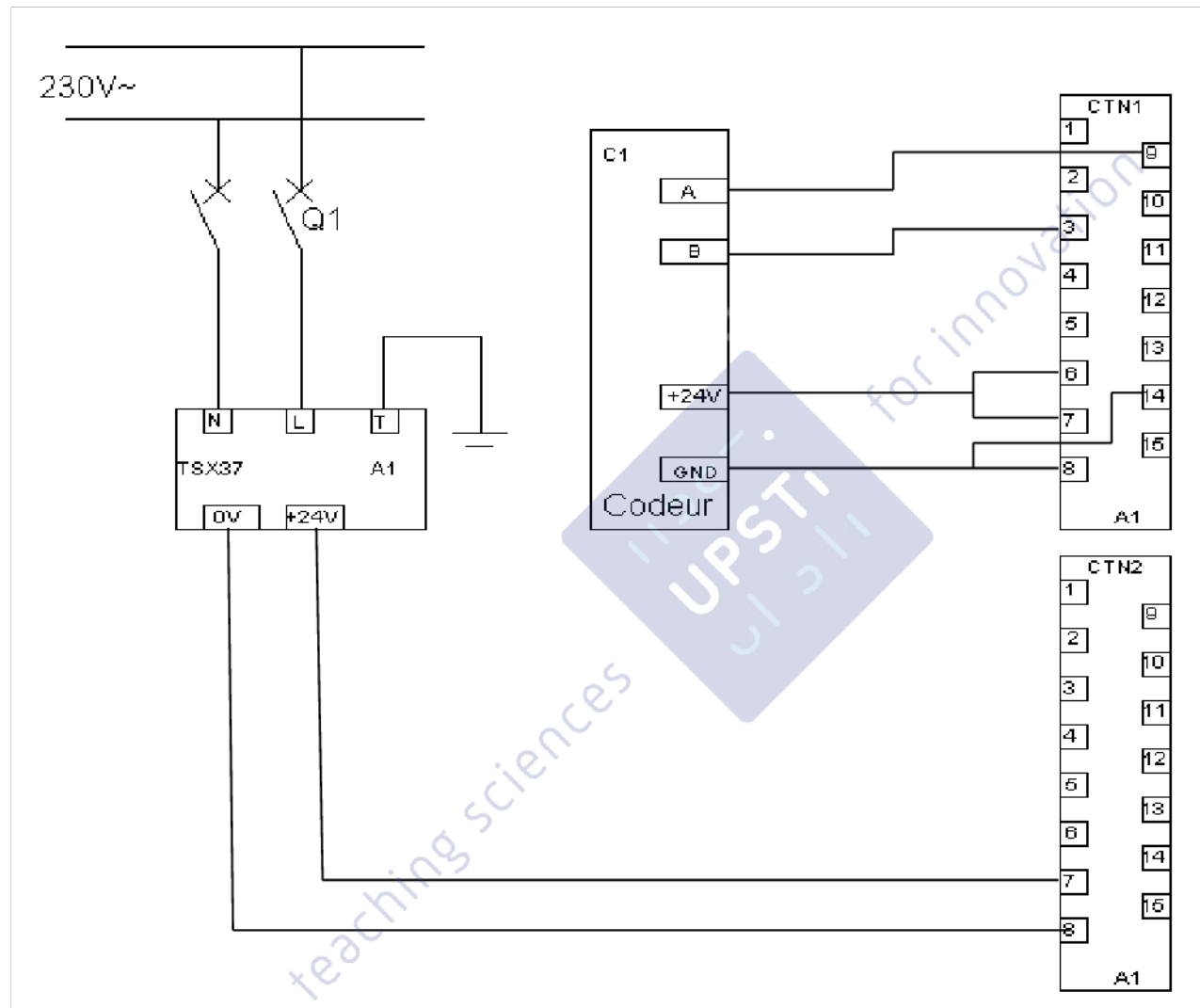
Choix de l'implantation avec mise en évidence de la variation de vitesse du câble liée à son enroulement.

Q24.	Une couche d'enroulement = 40 tours de câble => $40 \cdot 0,4 \cdot \pi \text{ mm} = 50,24 \text{ mm}$ Il faut 4 couches pour enrouler le câble.	1
Q25.	Calcul approximatif : $V_1 = (R+r) \cdot \omega$; $V_4 = (R+7r) \cdot \omega$ $\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_n - V_1}{V_1} = \frac{6r}{R+r} \quad A. N \frac{\Delta V}{V} = 0,15 \text{ soit } 15\%$ Calcul exact : $V_1 = (R+r) \cdot \omega$; $V_4 = (R+r+6r \cdot \cos(30^\circ)) \cdot \omega$ $\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_n - V_1}{V_1} = \frac{6r \cos(30^\circ)}{R+r} \quad A. N \frac{\Delta V}{V} = 0,13 \text{ soit } 13\%$	2
Q26.	A la vue de la variation de vitesse, il est préférable de mesurer directement la position de la sonde grâce au déroulement du câble.	1

Choix du codeur

Q27.	 Le comptage des fronts montant et descendant des signaux A et B permet de diviser par 4 le nombre de points codeur Nombre de point codeur $N = \frac{D_m \times \pi}{\text{précision} \times 4} = 50 \text{ points}$	2
Q28.	Entrées API à logique positive il faut donc utiliser une sortie codeur de type NPN ou totem pôle Vitesse de rotation du codeur $= \frac{V_{Max}}{D_m \times \pi} = \frac{0,5}{0,6662 \times \pi} = 2,5 \text{ tr. min}^{-1}$ $F_{Max} = 2,5 \times 50 = 125 \text{ Hz} \ll 10 \text{ kHz}$ fréquence maximum des entrées de comptage automate Référence 14 405-0050 ou 14 401-00 50	2

Q29.



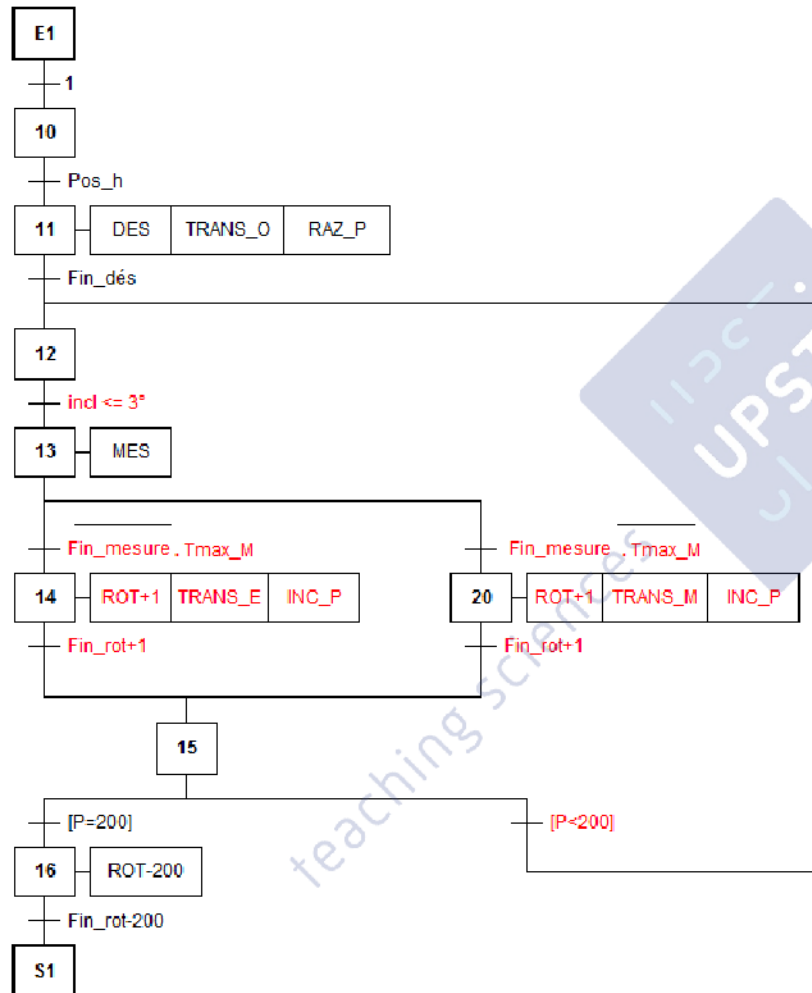
2

Partie VII : FT1 Mesurer avec une sonde

Objectif : Optimiser la fiabilité de la mesure.

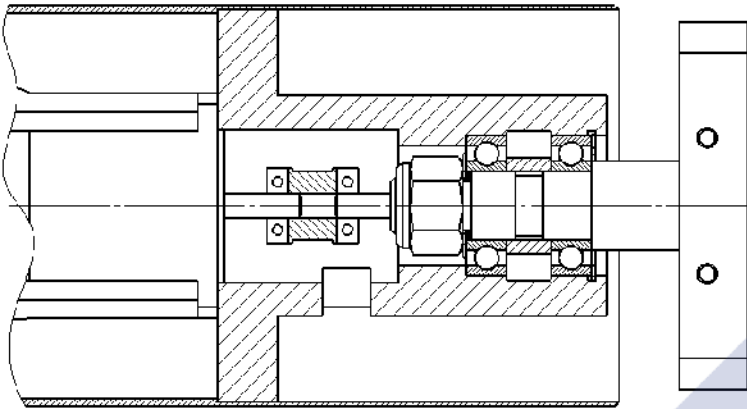
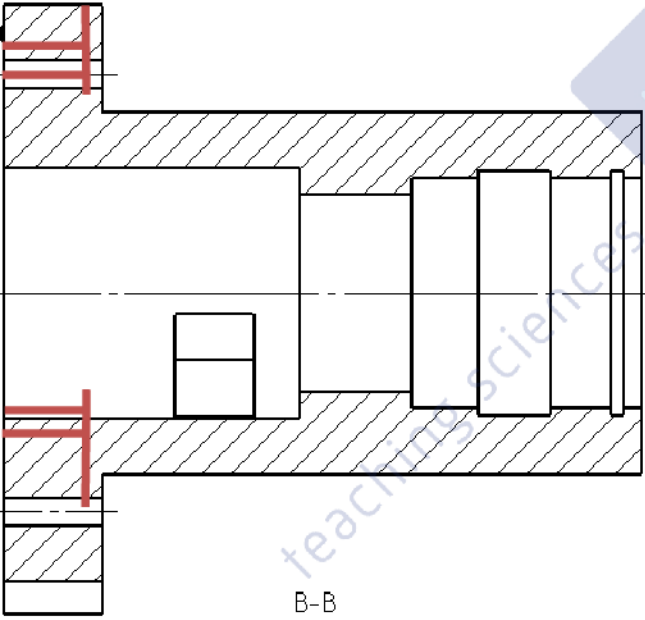
Effectuer une mesure fiable.

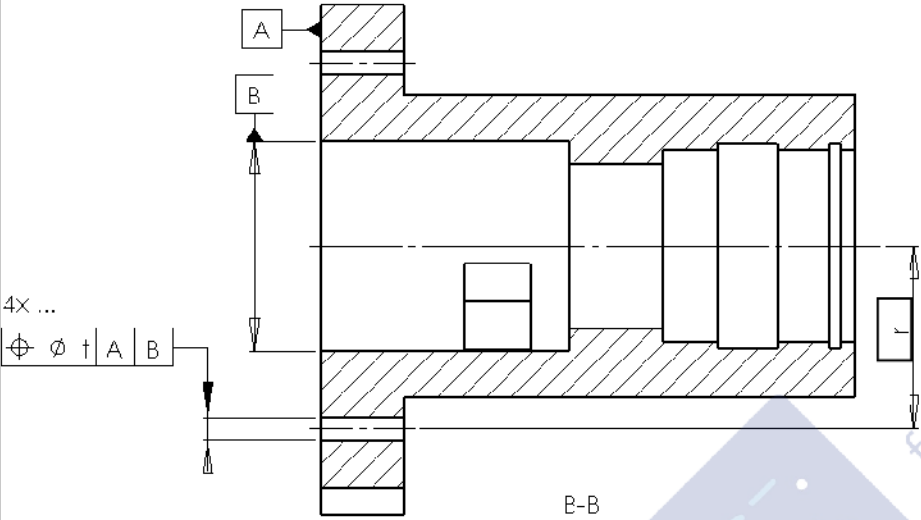
Q30.



4

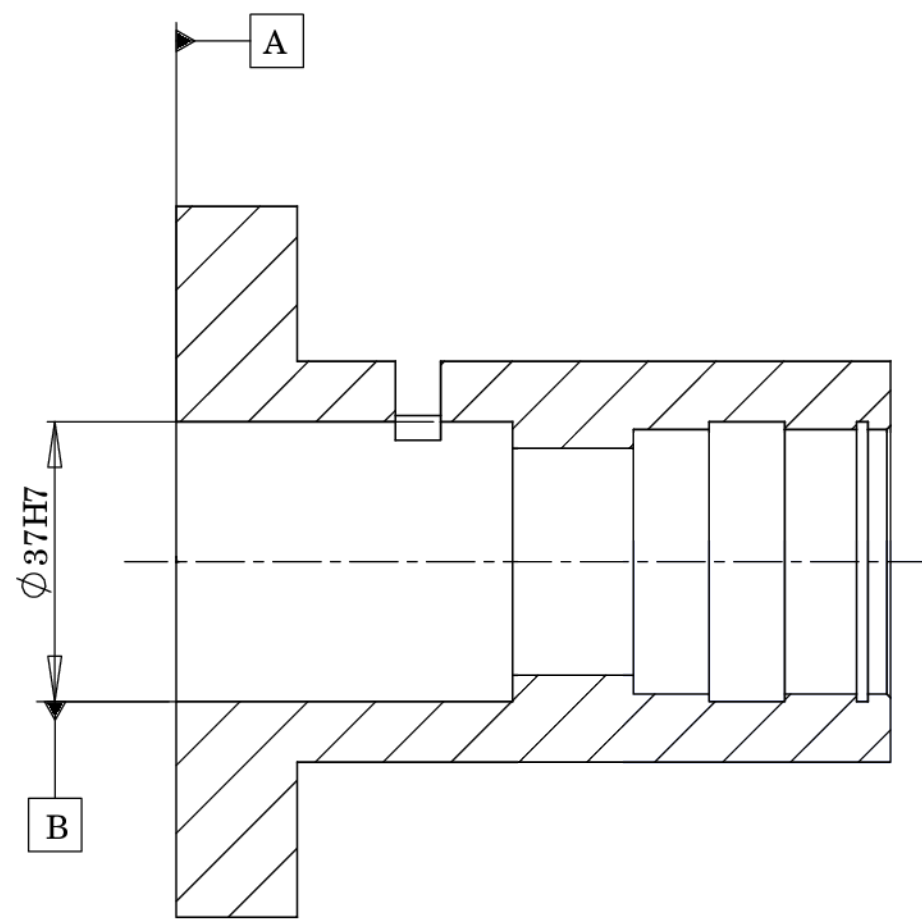
Guider en rotation la partie tournante de la sonde

Q31.			3
Q32.			2
Q33.	Il doit y avoir coaxialité entre les axes des trous de passage des vis du moteur.		1

Q34.		3
Q35.	réels : Elts tolérancés multiples : 4 axes réels Elts de références multiples : surf nominale plane / surf nominale cylindrique Idéaux : Ref spécifiée en système : prim : plan A tangt extérieur matière minimisant écart secondaire : axe B du plus grand cylindre extérieur matière perpendiculaire à la référence primaire ZT : groupe de 4 cylindres de diamètre t Contrainte : axe de ZT perpendiculaire a A et sur un cylindre de rayon r d'axe B	4

Equilibrer la sonde

Q36.	Réaliser des mesures fiables et éviter d'attendre la fin d'un éventuel balancement en fin de rotation.	1
------	--	---



A-A

