



EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE TSI

PROJET de Sciences Industrielles pour l'ingénieur**Durée : 6 heures**

Calculatrice autorisée

N.B. : Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

(Début du sujet)

MESURE DE CAVITÉ SOUTERRAINE

Sujet :

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

Documents techniques : DT1 à DT9

Documents réponses : DR1 à DR6

Partie I : Présentation du système

1. Contexte de l'étude

Le sous-sol français possède de nombreuses cavités soit naturelles (coulées de lave...) soit liées à des activités humaines (mines...).

Les terrains constructibles se faisant de plus en plus rares, on est amené à construire dans des zones où les sous-sols sont médiocres.

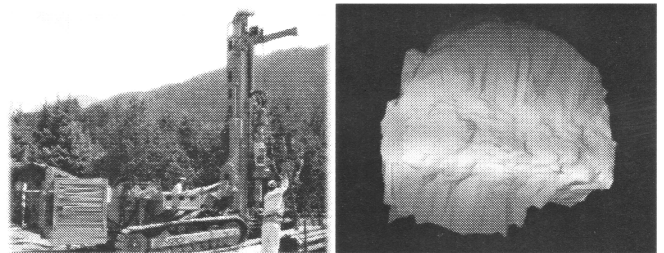
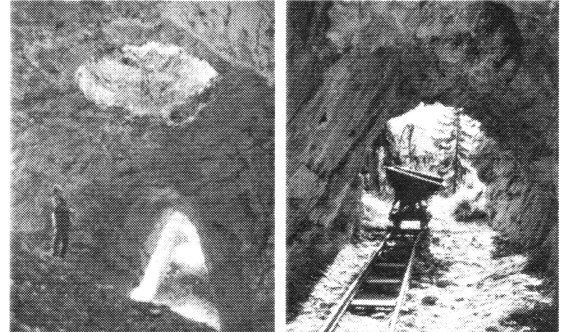
Afin de limiter le risque d'effondrement et de connaître l'extension des cavités, des études de terrains sont réalisées.

Actuellement, la présence d'une cavité est détectée en surface à l'aide de moyens électromagnétiques mais son volume et sa position exacte ne sont pas mesurables par ces moyens externes.

Le Centre d'Expertise du Bâtiment des Travaux Publics (CEBTP) utilise une mesure par télémètre laser.

Un forage vertical est réalisé jusqu'à la cavité et un outil « sonde » est introduit. Il transmet les mesures en surface.

Le volume de la cavité est alors calculé et une visualisation 3D peut être générée.



Le système étudié peut se décomposer en deux parties (**figure 1**) :

- le treuil, composé d'un motoréducteur et d'un variateur permettant la montée et la descente de la sonde dans le trou de forage
- la sonde (document technique **DT1**) permettant l'acquisition de la forme de la cavité :

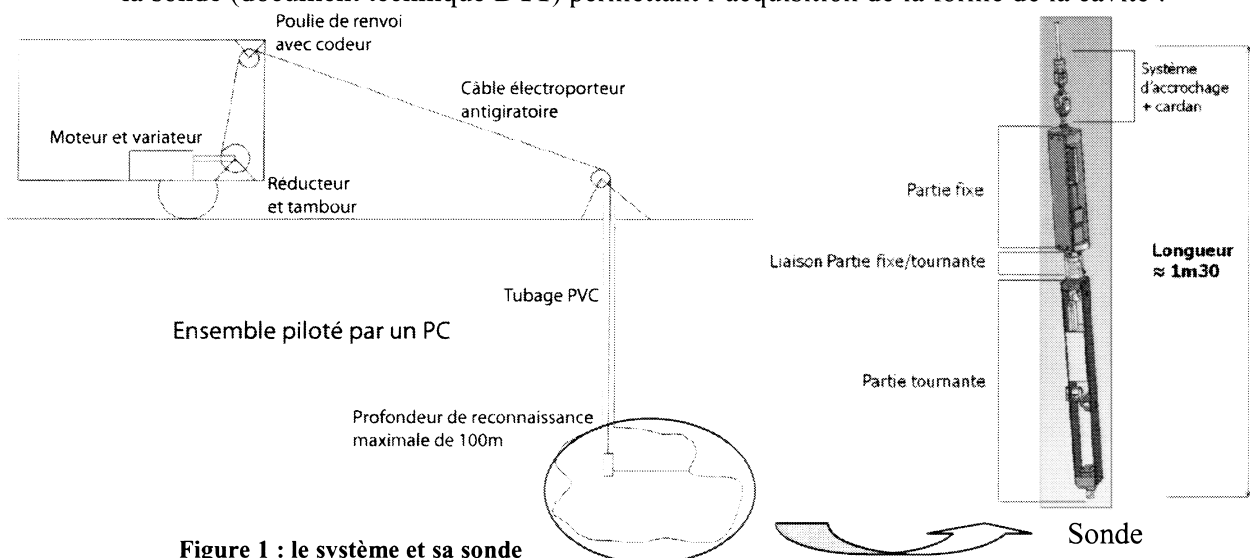


Figure 1 : le système et sa sonde

2. Positionnement de la sonde

Une fois la cavité décelée (**figure 2**), le CEBTP fait intervenir le système de mesure de volume de cavité.

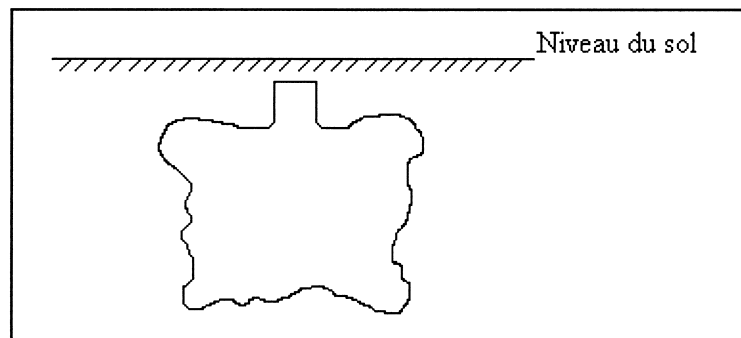


Figure 2 : une cavité souterraine est décelée

Pour commencer on procède à un forage en profondeur d'un diamètre de 104 mm pour atteindre la cavité (**figure 3**).

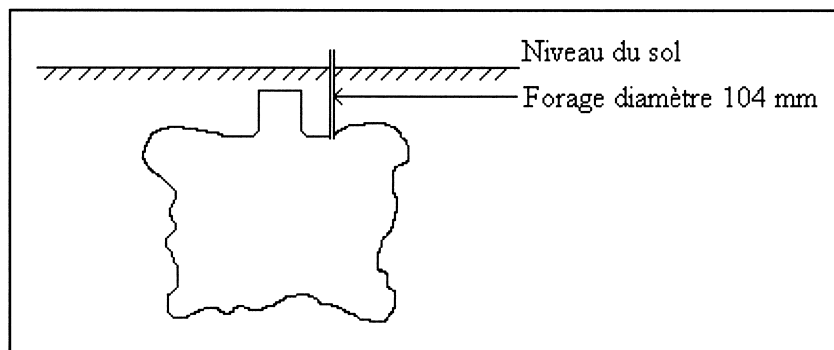


Figure 3 : un forage en profondeur est nécessaire pour atteindre la cavité

Ensuite la sonde de mesure est descendue en vitesse lente (0,1 m/s) jusqu'au bas du tubage et en vitesse rapide (0,5 m/s) jusqu'au fond de la cavité. Elle réalise sa première mesure de distance par rapport à la paroi de la cavité (**figure 4**). Cette mesure utilise le principe de réflectométrie laser.

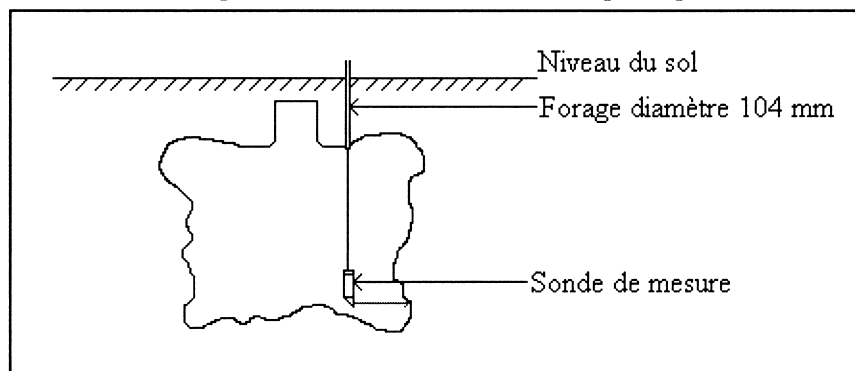


Figure 4 : la sonde effectue sa 1^{ère} mesure

La sonde dispose d'une partie mobile qui est mise en mouvement grâce à un moteur pas à pas (**figure 5**) : cela lui permet d'effectuer une série de mesures sur 360 ° à une hauteur donnée.

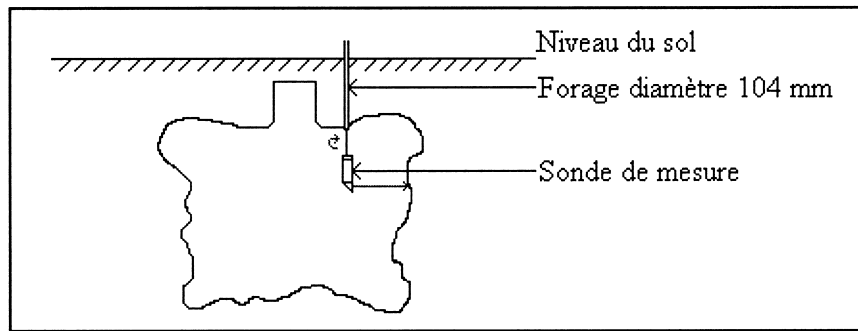


Figure 5 : la sonde dispose d'une partie mobile

Une fois cette série de mesures effectuée, la sonde remonte en vitesse rapide d'une hauteur donnée (50 cm) et effectue de nouveau une série de mesures, ces opérations étant répétées jusqu'à atteindre le haut de la cavité. La dernière mesure s'effectue entre 0 et 50 cm du bas du tubage.

La sonde remonte ensuite en vitesse lente jusqu'en haut du tubage.

3. Principe de mesure

En surface, on utilise un micro-ordinateur pour réaliser les mesures et collecter les résultats. La descente des appareillages dans la cavité est réalisée par un ensemble moteur-treuil. La position de la sonde est mesurée par un codeur. La position zéro correspond au haut du forage.

La sonde comporte un télémètre laser qui mesure la distance entre l'axe vertical du câble et le bord de la paroi (**figure 6** page 5/20).

Le principe de la mesure consiste à remonter la sonde par paliers successifs. Pour chacun de ces paliers, on effectue une série de mesures :

- une résistance chauffante « tapis chauffant » est alimentée avant chaque série de mesure pour éviter toute formation de buée sur le miroir de renvoi du télémètre ;
- un moteur pas à pas de 200 pas/tour va permettre de faire tourner le télémètre par pas de 1,8°. Ainsi on pourra réaliser 200 points de mesure pour une profondeur donnée, le faisceau laser de mesure sera horizontal alors que l'axe du télémètre est vertical, ceci sera réalisé grâce à un miroir à 45° fixé sur le télémètre ;
- afin de ne pas torsader les fils électriques, il faut revenir en position initiale (rotation de 360° dans le sens opposé) avant la série de mesures suivante ;
- une boussole électronique permet de contrôler l'orientation de la sonde et son inclinaison.

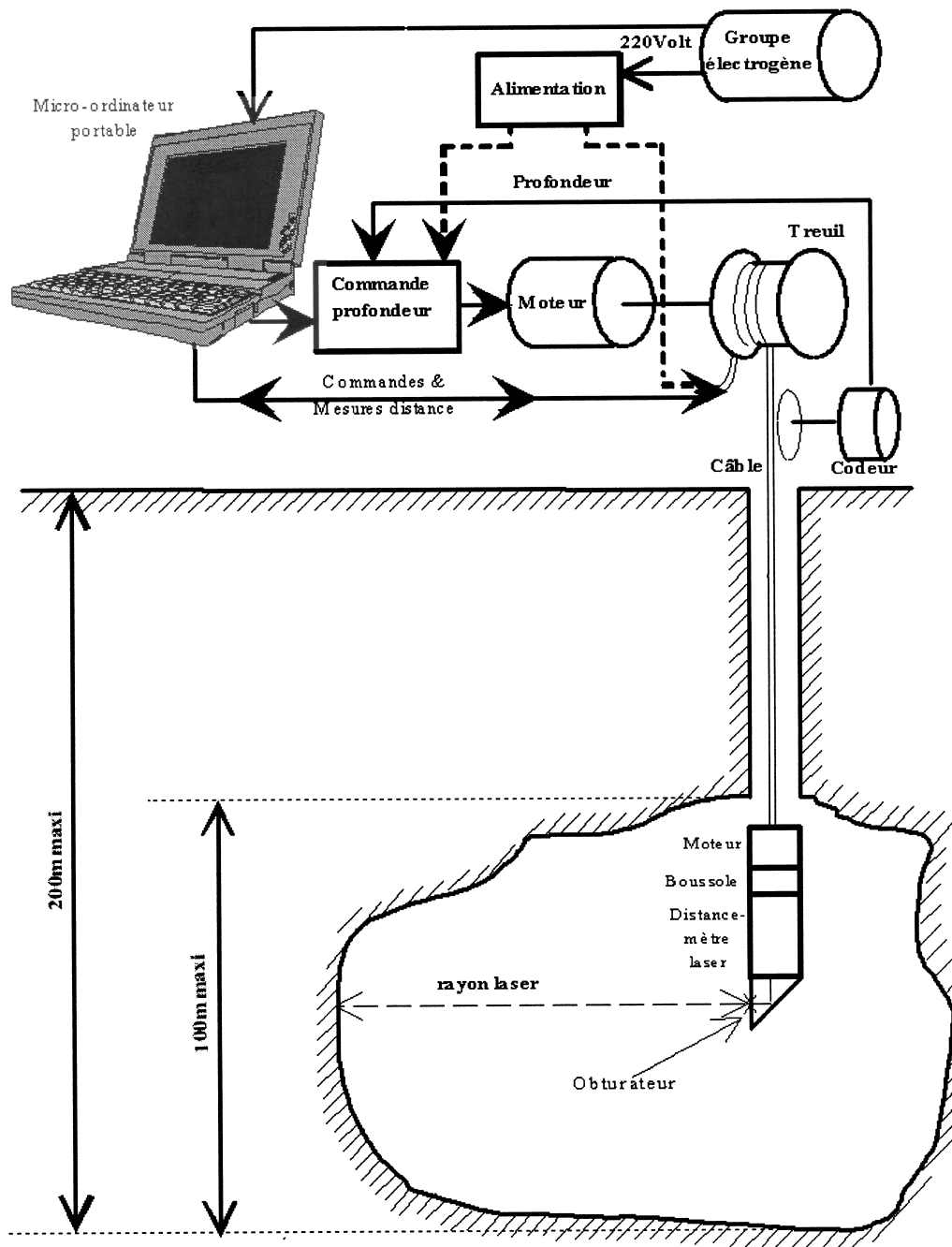


Figure 6 : schéma fonctionnel du mesureur de cavité

Dans un premier temps, l'étude fonctionnelle permettra d'appréhender le système dans son ensemble.

On s'intéressera ensuite au dimensionnement du tambour du treuil et à l'alimentation de la sonde.

On choisira ensuite l'ensemble moto-variateur.

Enfin, on s'intéressera dans les deux dernières parties aux mesures réalisées par la sonde et à son positionnement vertical.

Partie II : Étude fonctionnelle du système

1. Expression fonctionnelle du besoin

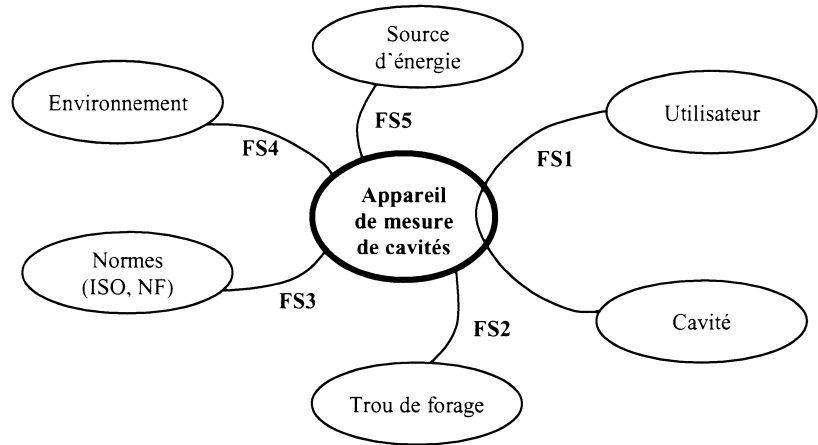


Figure 7 : diagramme des interacteurs

FS1 : permettre à l'utilisateur de mesurer une cavité

FS2 : passer dans un trou de forage standard

FS3 : respecter les normes en vigueur

FS4 : résister à l'environnement extérieur

FS5 : être adapté à l'alimentation électrique

Fonction FS1	Critères	Niveaux
FT1: mesurer avec une sonde	Angle entre deux mesures	1,8°
	Variation d'angle perpendiculaire à l'axe de rotation	nulle
FT21 : maintenir, alimenter la sonde	Coût du câble	< à 15 € / m
	Nombre de conducteurs	7
FT22 : réguler la tension d'alimentation	Limiter la chute de tension	< 5 %
FT232 : produire un mouvement de rotation	Puissance moteur	à définir
	Réglage fréquence du variateur	
	Réglage accélération	
FT233 : enrouler le câble	Pas de déformation plastique du câble	Re = 700 MPa E = 220 000 MPa
FT24 : mesurer la position	Précision de mesure	ordre du mm
	Compatibilité automate	tension 24 V logique positive
FT32 : transmettre les informations	Nombre de conducteurs	7

2. Diagramme FAST

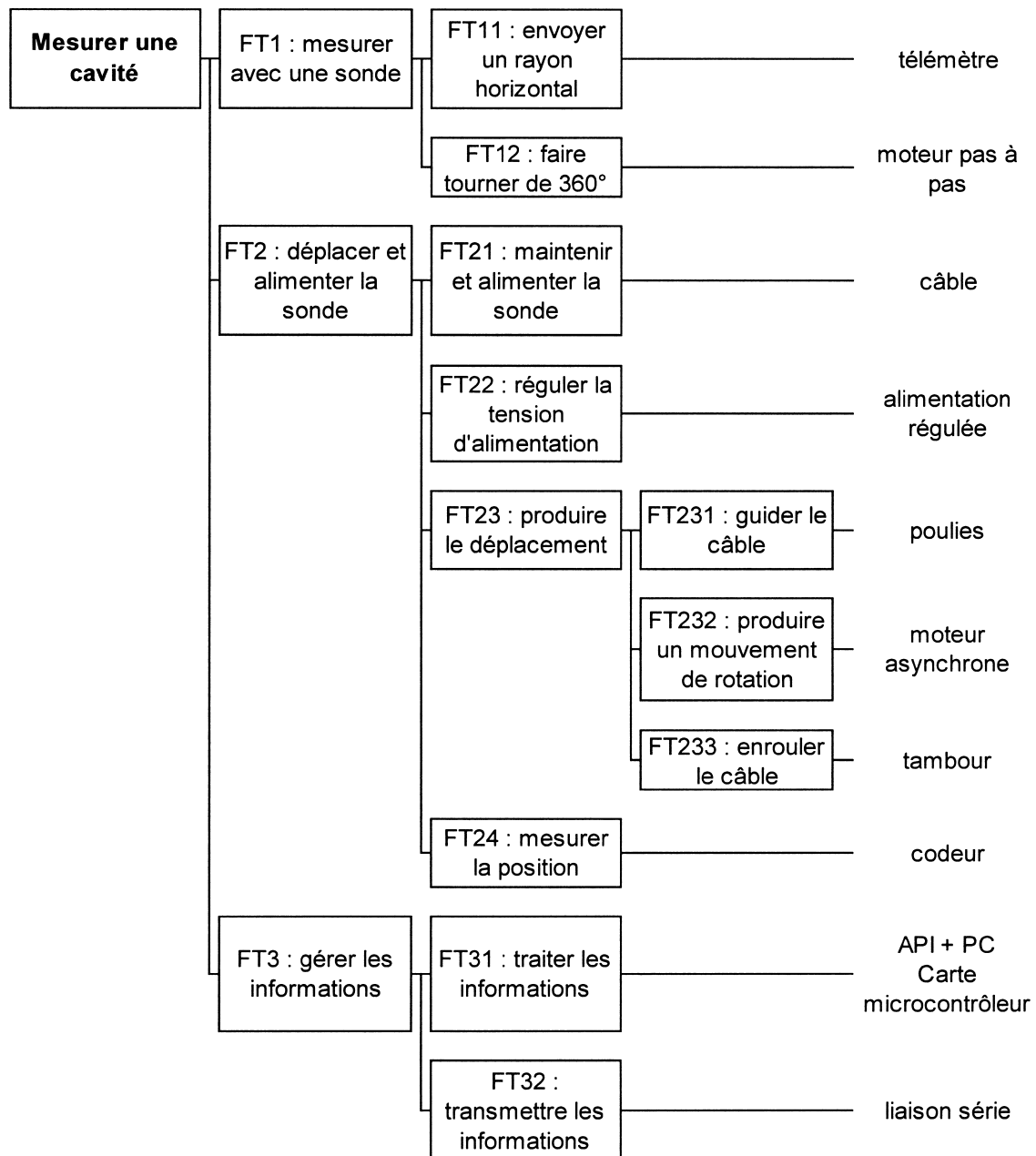


Figure 8 : diagramme FAST

3. Description séquentielle du cycle de mesure

Objectif : décrire le cycle de fonctionnement du système.

- Q1.** En vous aidant de la description du pilotage de la sonde (partie 1), compléter le GRAFCET fonctionnel « positionnement de la sonde » point de vue système sur le document réponse **DR1**.

Ce GRAFCET est utilisé pour la compréhension du système et n'a pas vocation à être implanté dans un Automate Programmable Industriel (API).

Partie III : FT233 Enrouler le câble

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

Le câble aura deux fonctions : maintenir la sonde et permettre le passage de conducteurs électriques pour alimenter la sonde et pour transmettre des informations entre la sonde et le micro-ordinateur. Le type de câble choisi est représenté **figure 9**. Le câble d'un diamètre de 10 mm est creux dans sa partie centrale et comporte des fils conducteurs. La partie extérieure est formée de 48 « brins » d'acier. Chaque brin a pour diamètre environ 1 mm.

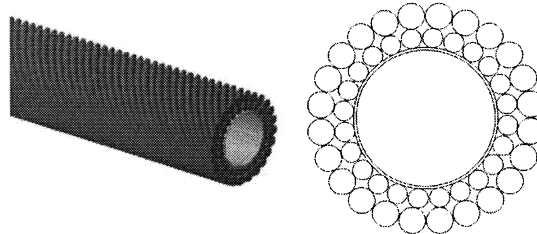


Figure 9 : câble

Le calcul sera effectué sur un brin de câble de diamètre 1 mm. L'étude portera sur une longueur L de ce brin. Le but est de rechercher le rayon R , pour une déformation élastique maximum de cette portion de brin (**figure 10**).

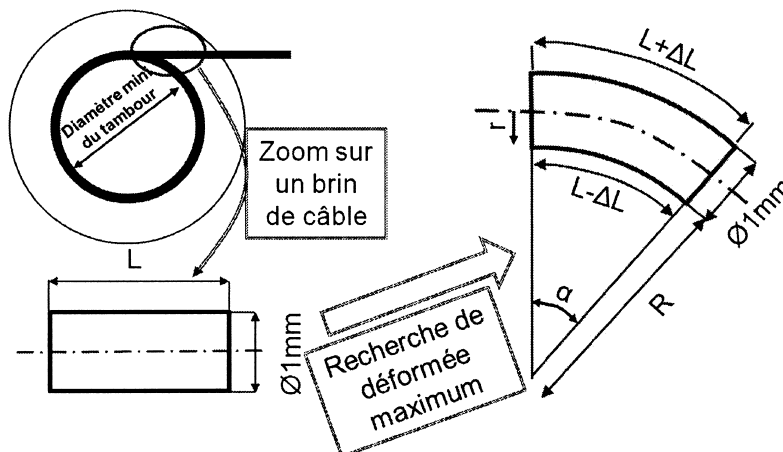


Figure 10 : modélisation d'un brin de câble

En première approximation les déformations dues au câble torsadé seront négligées.

Le matériau d'un brin est un acier de résistance élastique $Re = 700 \text{ MPa}$ et de module d'Young (module d'élasticité) $E = 220\,000 \text{ MPa}$.

Q2. Trouver deux relations géométriques entre : r , R , α , $L+\Delta L$ et $L-\Delta L$

On rappelle la loi de Hooke et la relation liant la déformation ε , la longueur L et l'allongement ΔL .

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Q3. Déterminer la relation entre R , r et ε . En déduire le rayon R minimum à choisir pour que chaque brin de câble reste dans son domaine élastique lors de l'enroulement.

Q4. Le diamètre de tambour finalement choisi est de 400 mm, justifier ce choix à partir des hypothèses.

Partie IV : FT22 Réguler la tension d'alimentation.

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

De la surface, on doit pouvoir alimenter, commander et recevoir des informations de la sonde pour les constituants suivants :

- le moteur pas à pas ;
- le télémètre laser ;
- la boussole électronique ;
- l'obturateur ;
- le tapis chauffant adhésif.

Pour réduire au maximum le nombre de conducteurs, seule la tension + 24 VDC est envoyée depuis la surface, les autres tensions sont réalisées au niveau de la sonde. On utilise aussi une liaison série de type RS485 pour communiquer avec l'ensemble des constituants. Une carte micro-programmée déportée dans la sonde permet d'envoyer et de recevoir tous les signaux.

Pour maintenir la tension U_s constante aux bornes de la sonde, on utilise une alimentation régulée. Celle-ci comporte un hacheur afin de faire varier la valeur moyenne de la tension.

Deux conducteurs supplémentaires permettent de mesurer la tension U_s aux bornes de la sonde, pour effectuer la régulation.

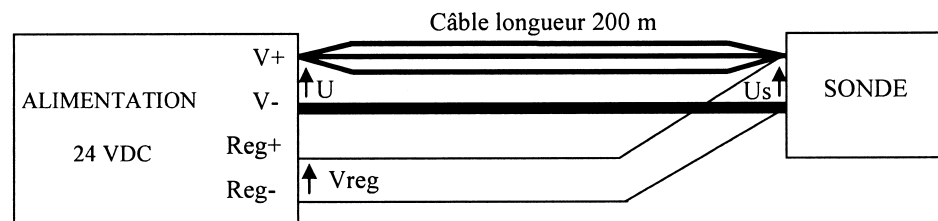


Figure 11 : branchement de l'alimentation

Schéma de principe de la régulation :

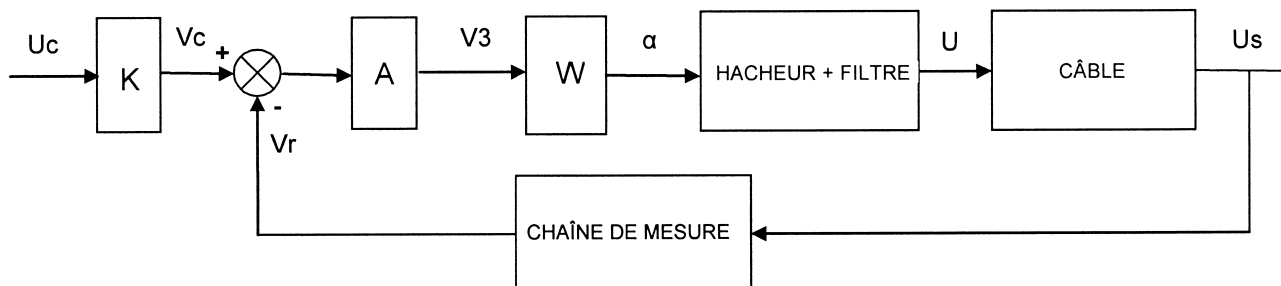


Figure 12 : boucle de régulation

A et K sont des gains purs.

α représente le rapport cyclique du hacheur avec $W = 1/8$.

Précision sur l'ensemble « Hacheur + Filtre »

La fonction de transfert $H(p)$ de l'ensemble « Hacheur + Filtre » est équivalente à une fonction de type : $H(p) = H_0 / (1 + \tau_1 p)$ où $H_0 = 100$ et $\tau_1 = 8.10^{-4}$ s.

Etude de la partie « Câble »

Soit R_c la résistance totale de la boucle d'alimentation +24 VDC de la sonde.

On souhaite faire apparaître une perturbation de courant I dans le schéma fonctionnel de la **figure 12** page 9.

- Q5.** Montrer que le schéma fonctionnel de la partie « Câble » peut se mettre sous la forme de la **figure 13**. Déterminer les grandeurs manquantes.

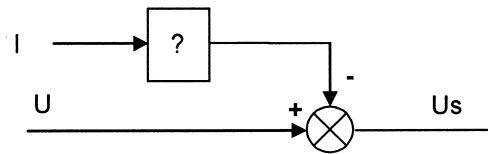


Figure 13 : câle

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

Tous les amplificateurs opérationnels utilisés dans le montage suivant (**figure 14**) sont considérés comme parfaits. Ils sont alimentés sous les tensions +12 V et -12 V. Leurs tensions de saturation valent respectivement $+V_{sat} = +12$ V et $-V_{sat} = -12$ V.

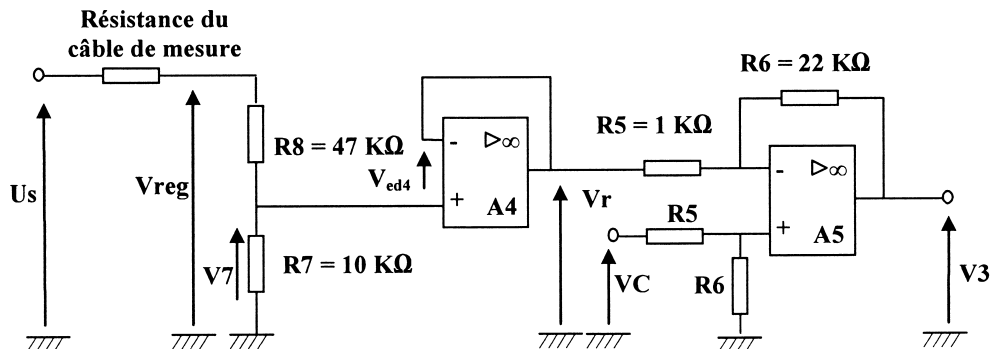


Figure 14 : chaîne de retour et comparateur

- Q6.** Justifier pourquoi on peut négliger la chute de tension dans les conducteurs de mesure. Montrer que V_r peut s'exprimer de la façon suivante : $V_r = k.U_s$. Déterminer alors k en fonction de R_7 , R_8 . En déduire V_r quand $U_s = 24$ V.
- Q7.** Déterminer l'expression de V_3 en fonction de V_c , V_r , R_6 et R_5 . En déduire la valeur de A .

Etude de l'ensemble en régime établi

On rappelle que l'objectif est de réguler la tension aux bornes de la sonde à $U_s = 24 \text{ V}$ (+/- 5 %).

- Q8.** Sachant que $K = k$, déterminer la valeur de la tension U_c et du rapport cyclique α pour obtenir une tension $U_s = 24 \text{ V}$ en fonctionnement à vide.
- Q9.** Pour la même tension U_c mais avec un courant $I \neq 0$, déterminer l'expression littérale de U_s en fonction de A , W , H_0 , U_c , R_c , I et k .
Effectuer l'application numérique de U_s pour la charge maximale de la sonde $I = 3 \text{ A}$ sachant que la résistance du câble est : $R_c = 3,5 \Omega$; conclure.
Sur quelle grandeur pourrait-on intervenir pour diminuer cette erreur ?

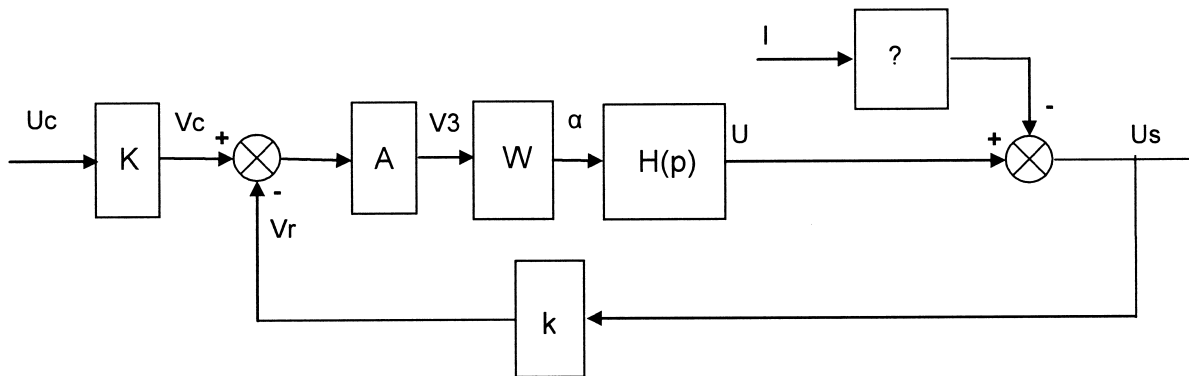


Figure 15 : boucle de régulation

Étude de la régulation en régime dynamique

En réalité la charge ne peut être assimilée à une résistance. En effet, le moteur pas à pas crée un échelon de courant Δi de 2 A à chaque fois que la sonde se déplace d'un pas. De plus, le câble présente une inductance équivalente que l'on ne pourra plus négliger. On aura alors l'impédance du câble $Z_c = R_c + L_c.p$ avec $L_c = 2 \text{ mH}$.

- Q10.** Montrer que l'on peut ramener la boucle de régulation de la **figure 15** au schéma bloc de la **figure 16**.
 U_{ca} représente la chute de tension dans le câble. Déterminer $T(p)$ et $V(p)$.

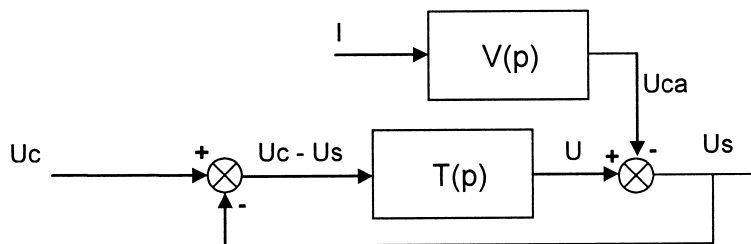


Figure 16 : boucle de régulation avec la perturbation

Q11. Exprimer $U_s(p)$ en fonction de $U_c(p)$ et $I(p)$.

La sonde est en régime établi avec $I = \text{constante} = 1 \text{ A}$.

La consigne U_c est toujours réglée à 24 V .

Q12. Si on applique un échelon de courant $\Delta I = 2 \text{ A}$ sur l'entrée courant, montrer que $\Delta U_s(p)$ peut se mettre sous la forme suivante :

$$\Delta U_s(p) = -\Delta I \cdot R_o \frac{(1 + \tau_c \cdot p)(1 + \tau_1 \cdot p)}{(1 + \tau_2 \cdot p)p}$$

Déterminer les expressions de R_o , τ_c et τ_2 et faire l'application numérique.

En utilisant le théorème de la valeur finale, déterminer la chute de tension ΔU_s en régime établi.

En utilisant le théorème de la valeur initiale, calculer la valeur théorique de $\Delta U_s(t)$ à $t = 0$.

Un essai a montré qu'en réalité la tension chute de 14 V au moment de l'apparition de l'échelon de courant (déplacement d'un pas) provoquant ainsi la mise en défaut de la carte de commande du moteur pas à pas.

Q13. Pour éviter ce creux de tension, on place un condensateur C aux bornes de la sonde. Soit I_c le courant dans ce condensateur.

Déterminer la fonction de transfert (**figure 17**) $F(p) = I_c(p)/U_s(p)$.

En déduire $U_s(p)$ en fonction de $I(p)$ en considérant toujours $U_c = \text{constante}$.

Déterminer $\Delta U_s(p)$ si on applique un échelon de courant $\Delta I = 2 \text{ A}$.

Montrer alors qu'il n'y a plus de creux de tension.

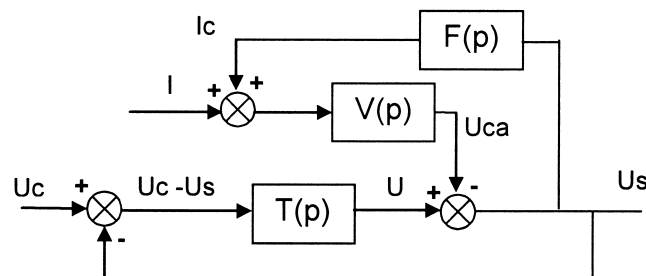


Figure 17 : boucle de régulation avec la perturbation et condensateur

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.

La chaîne d'énergie nécessaire au choix de l'ensemble moto-variateur vous est présentée **figure 19**.

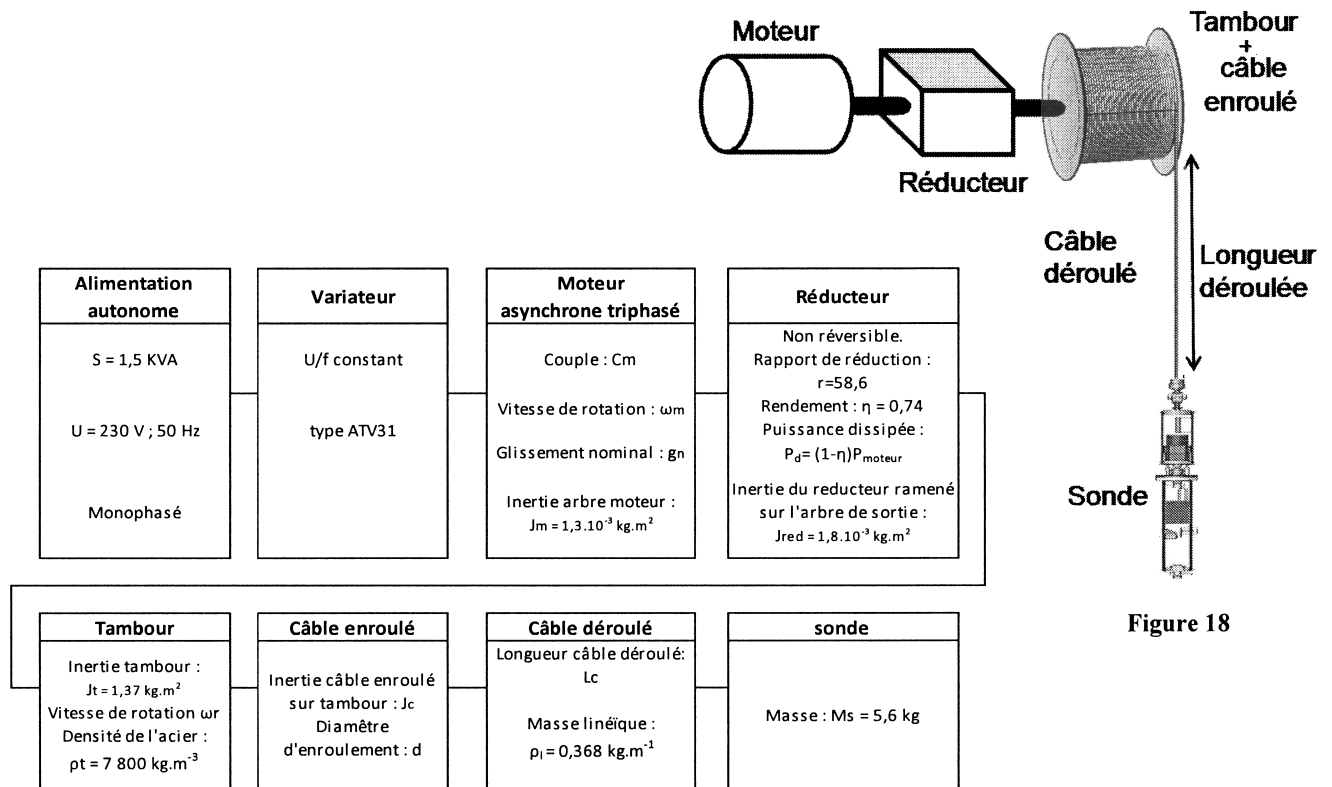
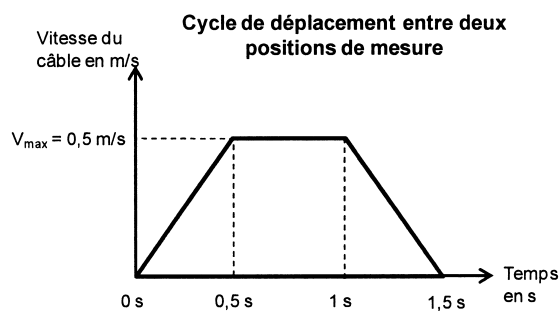


Figure 18

Figure 19 : chaîne d'énergie

Calcul du couple et de la puissance moteur



(Déplacement de 50 cm)

Figure 20

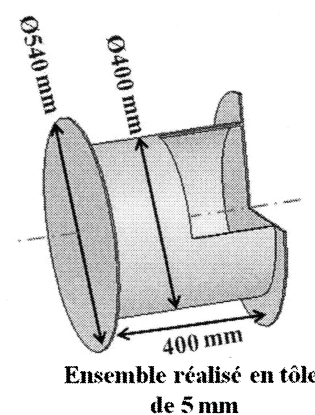


Figure 21 : géométrie du tambour

Hypothèses :

- diamètre d'enroulement du câble constant et égal à 0,4 m pour toute cette partie du sujet ;
- liaisons parfaites.

Q14. A l'aide du théorème de l'énergie cinétique appliqué à un système qui sera clairement identifié, déterminer l'équation faisant intervenir le couple moteur nécessaire à la remontée de la sonde. Mettre la relation sous la forme :

$$J_{eq} \times \frac{d\omega_m}{dt} = \eta C_m - C_{req}$$

Avec J_{eq} l'inertie équivalente ramenée sur l'axe moteur et C_{req} le couple résistant équivalent ramené sur l'axe moteur.

J_{eq} sera exprimé en fonction de $J_m, J_{red}, J_t, J_c, L_c, M_s, \rho_l, r, d$.

C_{req} sera exprimé en fonction de $L_c, M_s, \rho_l, r, d, g$ et des données numériques nécessaires.

g est l'accélération de la pesanteur ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Les valeurs de J_{eq} et C_{req} varient suivant l'enroulement du câble.

Le tableau ci-dessous fournit leurs valeurs pour le câble enroulé et déroulé.

	J_{eq} (en kg.m^2)	C_{req} (en N.m)
Câble enroulé	0,0034	0,2
Câble déroulé	0,0031	2,7

Choix du moteur

Q15. Déterminer le nombre de paires de pôles du moteur.

A partir de l'expression trouvée **Q14**, déterminer la puissance du moteur nécessaire en régime permanent pour l'entraînement du treuil. Faire le calcul « câble enroulé » et « câble déroulé ».

Q16. En vous appuyant sur le document technique **DT2**, choisir le moteur et déterminer sa vitesse nominale ω_n , son couple nominal C_n et son glissement nominal g_n .

Q17. A l'aide du document technique **DT3**, Choisir la référence du variateur nécessaire à l'entraînement du moteur. Indiquer les critères de choix.

Validation de l'ensemble moto-variateur

L'ensemble du système est alimenté par un groupe électrogène (alimentation autonome), il n'est donc pas possible de surdimensionner le moteur.

Le constructeur indique que le variateur peut fournir de façon transitoire 150 % du couple nominal moteur.

On précise que le réducteur n'est pas réversible.

On souhaite vérifier que l'ensemble moto-variateur permet les accélérations imposées par le cahier des charges dans tous les cas (**figure 20**, page 13/20).

Q18. Calculer le couple moteur nécessaire pour assurer le démarrage C_{md} et le freinage C_{mf} dans les cas « câble enroulé » et « câble déroulé ».

Q19. Tracer sur le document réponse **DR2** l'allure du couple moteur lors de la montée en fonction du temps pour les différentes phases de fonctionnement. Vérifier que le variateur permet au moteur de fournir les couples transitoires nécessaires.

Q20. A partir des tracés de la question précédente, calculer le couple thermique équivalent pendant la phase de déplacement de la sonde et conclure sur l'échauffement du moteur.

$$\text{On rappelle que : } C_{TH}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T C^2(t).dt$$

Effectuer la configuration partielle du variateur

Q21. Déterminer les fréquences extrêmes envoyées par le variateur afin de respecter les vitesses linéaires lentes $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ et rapide $0,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Q22. Déterminer les temps de rampe à configurer dans le variateur pour atteindre la vitesse rapide en $0,5 \text{ s}$ sachant que le temps de rampe est défini pour une accélération de 0 à la fréquence nominale du moteur.

Q23. Compléter le tableau partiel de configuration du variateur sur le document réponse **DR2**.

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.

Pour exploiter les mesures, on doit connaître en permanence la position de la sonde par rapport à la surface. On utilise un codeur pour obtenir cette position.

Deux implantations de codeurs sont envisageables :

- sur l'axe du tambour ;
- en friction sur le câble à l'aide d'une roue de mesure.

En premier lieu, on choisira l'emplacement adapté à la mesure souhaitée puis on déterminera les caractéristiques du codeur.

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

Afin de faciliter l'étude on s'intéresse à la variation de vitesse qui est proportionnelle à la variation de position.

Q24. A partir des **figures 22 et 23**, déterminer le nombre de couches nécessaires à l'enroulement du câble sur le tambour.

Q25. En vous aidant de la **figure 23**, calculer la variation relative (en %) de vitesse due à l'enroulement. Pour cela, en considérant que le treuil tourne à vitesse constante, vous exprimerez la vitesse V_1 du centre du câble du premier enroulement et la vitesse V_n du centre du câble du dernier enroulement en fonction de la vitesse de rotation ω du treuil.

La variation relative de vitesse vaut $\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_n - V_1}{V_1}$.

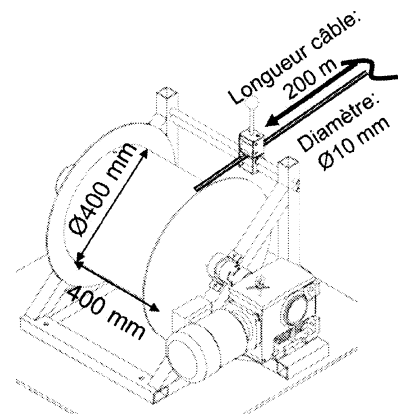


Figure 22 : dimensions du tambour

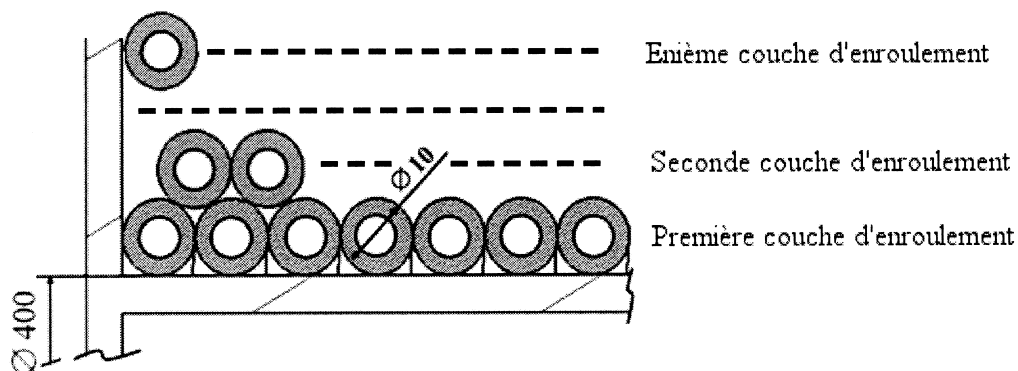


Figure 23 : enroulement du câble
(dimensions en mm)

Le choix s'est porté sur la solution « roue de mesure en friction sur le câble ».

Q26. En vous aidant de la question précédente, justifier ce choix en quelques mots.

Choix du codeur

On utilise un codeur de type incrémental :

- sans TOP 0 ;
- permettant la détection des 2 sens de rotation ;
- alimenté en 24 VDC.

La roue de mesure a un diamètre de $D_m = 63,662 \text{ mm}$.

La précision de positionnement de la sonde est de l'ordre de 1 mm.

La longueur maximum du câble est de 200 m.

Q27. Donner l'allure en fonction du temps des signaux de sortie du codeur nécessaires pour détecter les 2 sens de rotation.

Expliquer comment une exploitation judicieuse de ces signaux permet de diviser par 4 le nombre de points du codeur.

Déterminer le nombre minimum de points nécessaires pour le codeur.

A partir des documentations techniques sur les différents étages de sortie des codeurs (**DT4 et DT5**) et sur les entrées de comptage de l'automate programmable (**DT6 à DT8**) :

Q28. Indiquer les types de sortie codeur compatibles avec l'entrée de comptage de l'automate. Cette entrée est à logique positive, c'est-à-dire qu'elle est validée lorsqu'on lui applique le +24 V de l'alimentation. Justifier votre réponse.

Vérifier que la fréquence des entrées est compatible avec le codeur.

Compléter la référence du codeur sur le document réponse **DR3**.

Q29. Compléter le schéma de raccordement du codeur sur l'entrée de comptage de l'API (document réponse **DR3**) :

- les sorties A et B du codeur sont connectées directement sur la prise comptage rapide de l'API ;
- la validation du comptage se fait en reliant Ipres1 1+ et Ipres1 1- à l'alimentation.

Partie VII : FT1 Mesurer avec une sonde

Objectif : optimiser la fiabilité de la mesure.

La boussole de référence HMR3300 de la société Honeywell est de technologie trois axes compensés en inclinaison. Elle utilise un accéléromètre deux axes (roulis et tangage) pour permettre des performances améliorées jusqu'à des pentes de $\pm 60^\circ$.

Elle comporte les caractéristiques suivantes :

- ⇒ précision de 1° sur l'orientation (si boussole de niveau),
- ⇒ précision de 3° (si inclinaison de 0 à $\pm 30^\circ$).

Le télémètre DIMETIX DLS-B permet de réaliser des mesures de grande précision sans contact grâce à un principe de réflectométrie laser.

Le télémètre laser n'effectue des mesures que lorsque la sonde est parfaitement stabilisée.

Le temps de mesure donné par le constructeur est compris entre 0,15 s et 4 s.

Effectuer une mesure fiable

Pour effectuer des mesures cohérentes à l'aide du télémètre laser, il faut garantir la verticalité de la sonde. Cette verticalité est contrôlée par une mesure d'inclinaison sur la boussole. On admet une erreur de $\pm 3^\circ$. Pour lancer la mesure, on attend que la mesure d'inclinaison soit inférieure à 3° .

Si la mesure du télémètre dure plus de 4 s, la sonde envoie un signal d'erreur et la mesure n'est pas prise en compte.

Quand la mesure est effectuée, le télémètre envoie un signal « fin de mesure » et transmet en surface les données.

On autorise alors la rotation d'un pas que la mesure soit prise en compte ou non.

La durée de rotation d'un pas ($1,8^\circ$) est inférieure à 0,5 s.

A chaque palier n , le nombre de pas p est incrémenté.

Q30. En utilisant la description du principe de mesure (partie 1) et les mnémoniques données, compléter sur le document réponse **DR4** l'expansion de la macro étape M1 afin d'intégrer le contrôle de la verticalité et la prise en compte des erreurs de mesures.

Guider en rotation la partie tournante de la sonde

On constate l'importance du positionnement vertical de la sonde pour que la mesure du volume soit fiable. Pour cette raison, nous allons étudier la liaison entre la partie fixe et la partie tournante de la sonde ainsi que l'équilibrage de la partie tournante.

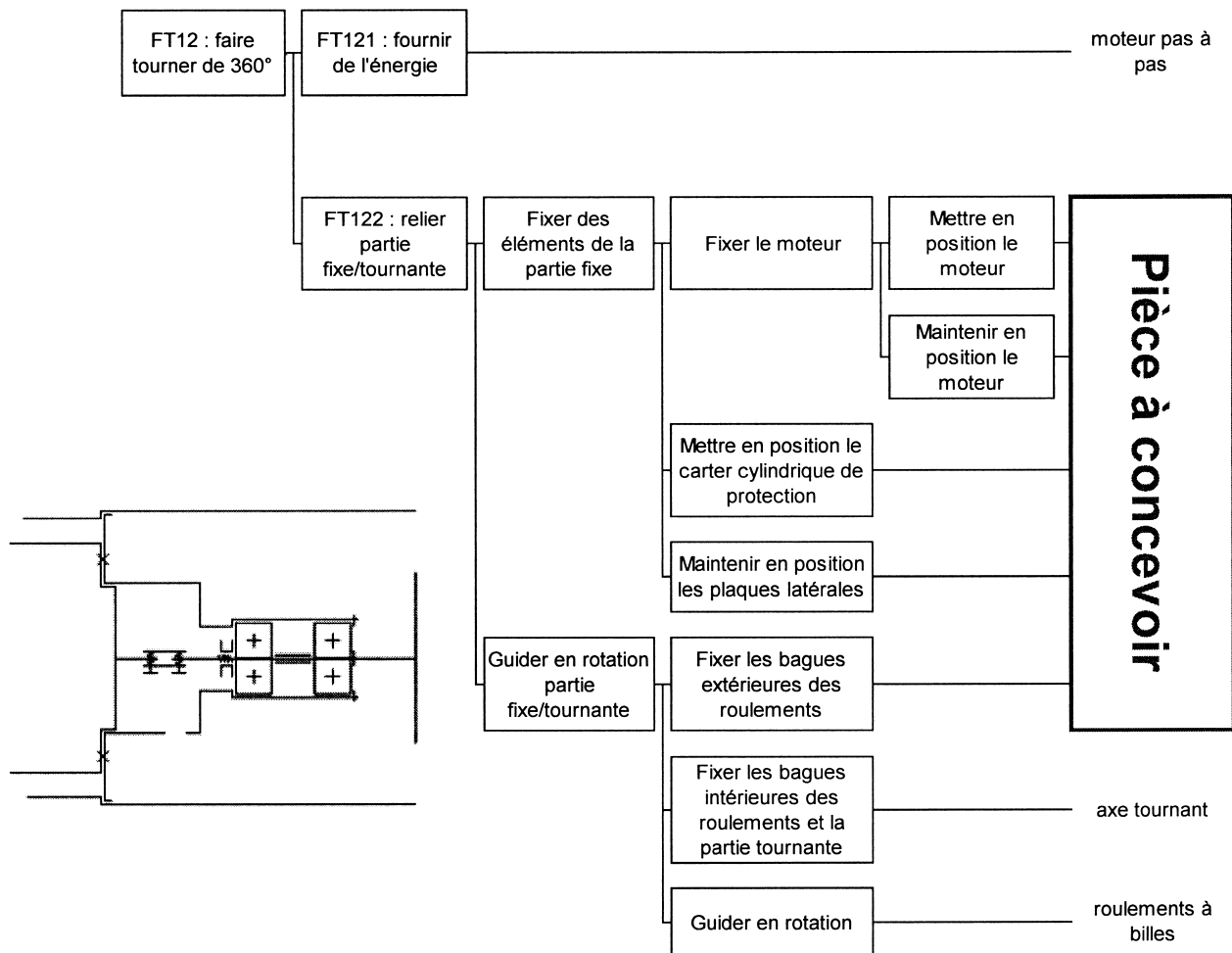


Figure 24 : diagramme FAST de conception et schéma technologique

- Q31.** A partir du diagramme FAST qui donne les fonctions techniques assurées par la pièce à concevoir, du schéma technologique de la **figure 24**, du document technique **DT9**, terminer à main levée la conception du « boîtier accouplement n° 9 » sur le document réponse **DR5** coupe A-A.
- Q32.** Dessiner en coupe B-B sur le document réponse **DR5**, à main levée, uniquement le « boîtier accouplement n° 9 » en faisant apparaître les surfaces fonctionnelles participant à la fonction technique « maintenir en position le moteur ».
- Q33.** Quelle condition géométrique fonctionnelle doit-on assurer, pour permettre le passage des vis de maintien en position du moteur, entre les axes des trous de passage des vis du moteur et de la pièce que vous venez de concevoir ?

Ces conditions géométriques fonctionnelles (issues de l'analyse de l'ensemble du mécanisme) sont à l'origine des spécifications géométriques fonctionnelles retrouvées sur les dessins de définition des différentes pièces d'un mécanisme.

Dans notre cas, la condition géométrique déterminée **Q33** engendre une spécification géométrique fonctionnelle de localisation des axes des trous taraudés par rapport aux surfaces de mise en position du moteur comme le montre le schéma de la **figure 25** page 20/20.

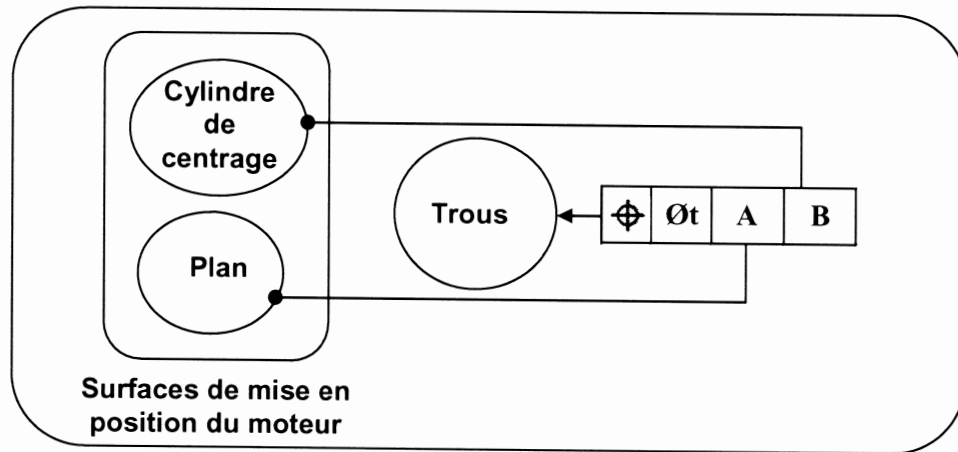


Figure 25 : surfaces répondant à la fonction : fixer le moteur

Q34. Mettre en place la spécification géométrique fonctionnelle de localisation sur la coupe B-B du document **DR5**.

Q35. Décrire cette spécification géométrique fonctionnelle sur le document réponse **DR6**.

Equilibrer la sonde

Il est nécessaire de réaliser un équilibrage statique de la sonde afin de garantir sa verticalité parfaite.

Le passage d'une position de mesure à une autre est assez rapide ($t < 0,5$ s). Nous voulons éviter que le temps d'attente correspondant au retour en position d'équilibre de la sonde ne soit trop long. Il faut alors envisager un équilibrage dynamique.

La solution technique d'équilibrage vous est présentée **figure 26**.

Elle est réalisée par quatre masses dont la position est réglable par rapport à l'axe de rotation.

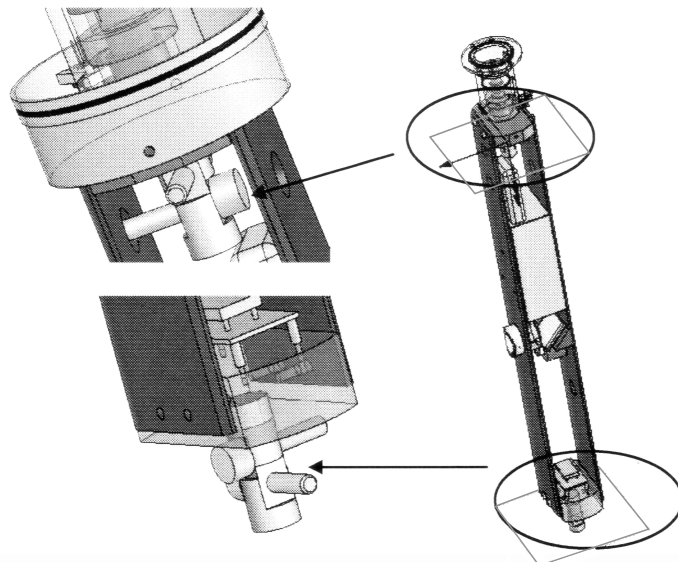


Figure 26 : solution technique d'équilibrage

Q36. Quel est l'intérêt de garantir la verticalité de la sonde pendant sa rotation ?

Fin de l'énoncé