

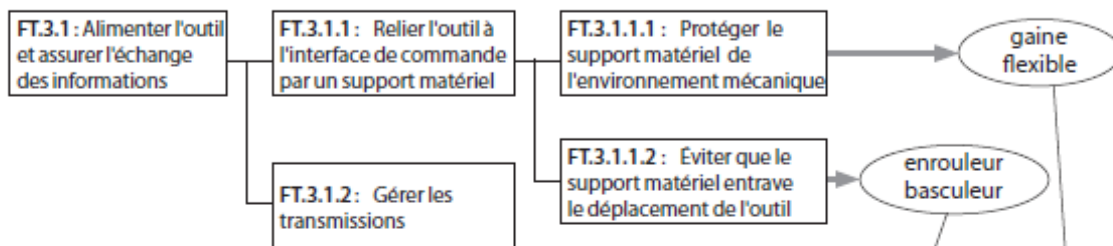
## Epreuve de Sciences Industrielles A

# SYSTÈME D'INSPECTION POUR TUBES DE GUIDAGE Ou SYSTÈME ÉCLIPSE

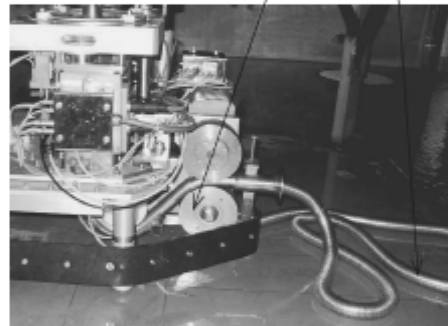
### Partie D

## VALIDATION DU SYSTÈME DE MAINTIEN EN TENSION DE LA GAINÉ FLEXIBLE

Quand on poursuit l'analyse fonctionnelle interne de la fonction FT 3.1 avec l'outil de description FAST, on obtient :



Fonctions techniques	Critères d'appréciation	Niveau
FT.3.1.1.1 Protéger le support matériel de l'environnement mécanique	• contact avec les parois du tube de guidage	0
FT.3.1.1.2 Éviter que le support matériel entrave le déplacement de l'outil d'inspection	• contact avec les parois du tube de guidage	0



Les **solutions adoptées** (voir figure 9 de l'Annexe 5) pour satisfaire ces critères sont :

- **Regrouper** dans une **gaine flexible** mais radialement rigide, tous les câbles assurant l'alimentation en énergie électrique et les transmissions de l'information. Ainsi l'outil d'inspection est relié au robot chenillé par un faisceau de câbles contenus dans la gaine flexible. Quand l'outil est au niveau le plus bas, la gaine flexible est sur le sol de la piscine dans sa presque totalité. Sa longueur est légèrement supérieure à la course de l'outil d'inspection, soit 3000 mm.
- **Adapter** le diamètre de la gaine flexible **aux dimensions** du passage dans le tube de guidage. Ce diamètre est fixé à 40 mm.
- **Assurer** une **tension toujours positive** de la gaine afin d'éviter le contact de celle-ci avec le tube de guidage pendant les déplacements de l'outil. Ainsi un système motorisé à galets, dit "**enrouleur**", accompagne le mouvement de la gaine quand elle suit la montée ou la descente de l'outil. Le moteur de l'enrouleur entraîne la gaine, par adhérence avec le galet d'entraînement ou galet moteur, à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de l'outil, imposée par le palan, dans la phase de montée et légèrement supérieure dans la phase de descente afin de maintenir la gaine continuellement en tension.
- **Éviter** une **surtension mécanique** de la gaine pouvant endommager sa fixation à l'outil d'inspection. Ainsi un système commandé par ressort, dit "**basculeur**" et composé du balancier avec les galets presseur et de renvoi, permet de limiter la tension à une valeur maximale acceptable, fixée à 100N, en autorisant un glissement au contact entre le galet moteur et la gaine.

Le **principe** de la solution est donc :

- une mise en tension de la gaine progressive et continue grâce à une légère différence de vitesses entre l'avant et l'arrière de la gaine. Cette différence étant imposée par la différence des vitesses d'entraînement du palan et de l'enrouleur ;
- un relâchement brusque de la tension à sa valeur minimale quand elle atteint un seuil maximal fixé au préalable. Ceci étant réalisé par le basculeur.

### Objectif de l'étude proposée

On se propose dans cette partie de valider le système de maintien en tension de la gaine par la **validation du critère de tension maximale** supportée par la gaine.

Les **notations** adoptées, **en complément de la partie C**, sont les suivantes :

Les torseurs cinétique et dynamique du mouvement d'un solide  $j$  par rapport à un solide  $i$  (ou par rapport au référentiel  $R_i$  lié à celui-ci), réduits en  $A$ , seront notés respectivement :

$$C_{(j/i)} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \overline{R}_C(j/i) \\ \vec{\sigma}_{(A, j/i)} \end{array} \right\}_A \quad \mathcal{D}_{(j/i)} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \overline{R}_D(j/i) \\ \vec{\delta}_{(A, j/i)} \end{array} \right\}_A$$

Les dérivées première et seconde d'une quantité  $x(t)$  par rapport au temps seront notées :

$$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad \text{et} \quad \ddot{x}(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2}.$$

L'opérateur d'inertie du solide  $i$  en un point  $Q$  du solide sera noté  $I(Q,i)$  et la matrice d'inertie associée dans une base  $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$  sera notée :

$$\begin{bmatrix} A_i & -F_i & -E_i \\ -F_i & B_i & -D_i \\ -E_i & -D_i & C_i \end{bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$$

## D1 - PRÉSENTATION DU SYSTÈME DE MAINTIEN EN TENSION DE LA GAINE FLEXIBLE

L'**architecture générale** du système de maintien en tension est illustrée sur l'Annexe 5.

Lors de la phase de montée, la gaine accrochée à l'outil d'inspection est tractée avec celui-ci par le palan à une vitesse  $v$ . Afin de garantir une tension minimale dans la gaine introduite dans le tube et d'éviter son coincement entre le stockage au sol et son entrée dans le tube, un galet moteur entraîne celle-ci, dans la partie basse, à une vitesse  $v - \Delta v$ . La quantité  $\Delta v$  représente le léger écart de vitesse entre les deux extrémités de la portion de gaine entraînée.

L'entraînement de la gaine par le galet moteur est assuré par un contact avec frottement. L'effort normal au contact, ou effort presseur, est exercé grâce un ressort de traction agissant sur un ensemble basculeur composé :

- d'un balancier en liaison pivot avec le corps du robot ;
- d'un galet presseur en contact avec la gaine au droit du galet moteur ;
- d'un galet de renvoi ;

Les surfaces de contact des galets moteur et presseur sont réalisées en *Courbhane*, matériau souple garantissant notamment un coefficient de frottement important de la gaine sur le galet moteur.

La partie de la gaine se trouvant au sol n'est soumise à aucune tension. Elle est simplement tirée, au fur et à mesure des besoins lors de la montée de l'outil dans le tube, par le galet moteur du système de maintien en tension.

C'est le basculement progressif du balancier qui permet de relâcher la tension dans la gaine. En effet, il y a adhérence durant toute la phase de mise en tension, et c'est son basculement qui provoque, au moment où la tension devient trop importante, un brusque glissement au contact de la gaine avec le galet moteur. Suite à ce

brusque relâchement, le basculeur reprend sa position initiale et le cycle se poursuit.

C'est l'étude de la phase d'augmentation de la tension de la gaine provoquant la rotation du balancier jusqu'au brusque relâchement de la tension de celle-ci, qui fait l'objet de cette partie afin de vérifier que la tension dans la gaine ne dépasse pas un seuil maximal.

---

## D2 - MODÉLISATION DU SYSTÈME DE MAINTIEN EN TENSION DE LA GAINE FLEXIBLE

---

### D2.1 - Modèle structurel

#### D2.1.1 - Description géométrique et cinématique

On adopte un modèle du basculeur défini par le schéma cinématique de la *figure 11* de l'Annexe 6. On suppose plans, les mouvements des différents solides. Soit  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  le repère orthonormé, direct, lié au socle  $O$ . Les mouvements s'effectuent dans le plan  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0)$ , et  $\vec{y}_0$  est vertical descendant. Le repère  $R_0$  est supposé galiléen.

L'ensemble est constitué :

- d'un socle  $O$ ;
- d'un galet moteur  $4$  en liaison pivot d'axe  $(E, \vec{z}_0)$  avec le socle  $O$ ;
- d'un balancier  $1$  en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{z}_0)$  avec le socle  $O$ ;
- d'un galet de renvoi  $2$  et d'un galet presseur  $3$  respectivement en liaisons pivot d'axe  $(G_2, \vec{z}_0)$  et  $(G_3, \vec{z}_0)$  avec le balancier  $1$ ;
- d'un ressort de traction  $R$  fixé au socle  $O$  et accroché au balancier  $1$  au point  $H$ ;
- de la gaine représentée partiellement.

La *figure 12* de l'Annexe 6 représente la position du basculeur (hors galet moteur) à un instant  $t$  quelconque, définie par le paramètre géométrique  $\theta(t)$ , associé à la liaison pivot entre le balancier  $1$  et le socle  $O$ , tel que l'angle  $\theta(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ . Sur cette figure, la gaine est limitée à une portion comprise entre les points  $I$  et  $J$  tels que  $I$  est à l'horizontale du point  $G_2$  et  $J$  à la verticale du point  $G_3$ .

L'ensemble basculeur est représenté, sur le schéma de la *figure 11* de l'Annexe 6, dans sa position initiale dite position d'équilibre, pour laquelle l'angle  $\theta(t=0)$  vaut zéro.

L'angle  $\theta(t)$  restant faible et on pourra linéariser le comportement, autour de la position d'équilibre, en adoptant les approximations suivantes :  $\sin \theta(t) \approx \theta(t)$  et  $\cos \theta(t) \approx 1$ .

#### D2.1.2 - Caractéristiques d'inertie

Les galets  $2$  et  $3$  sont de masses identiques  $m_2$  et de centres d'inertie respectifs  $G_2$  et  $G_3$ . Le balancier  $1$  est de masse  $m_1$  et de centre d'inertie  $O$  (la tige de  $G_3H$  étant de masse négligeable). La géométrie simplifiée, adoptée pour la détermination préalable des caractéristiques d'inertie, est décrite sur la *figure 13* de l'Annexe 7. Les solides  $1$ ,  $2$  et  $3$  sont supposés homogènes.

##### QUESTION 21

Donner la forme de la matrice d'inertie du solide  $1$  au point  $O$  dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ . On justifiera la réponse.

##### QUESTION 22

Exprimer littéralement le moment d'inertie  $C_1$  du solide  $1$  par rapport à l'axe  $(O, \vec{z}_0)$ , en fonction de la masse  $m_1$  et de ses dimensions.

##### QUESTION 23

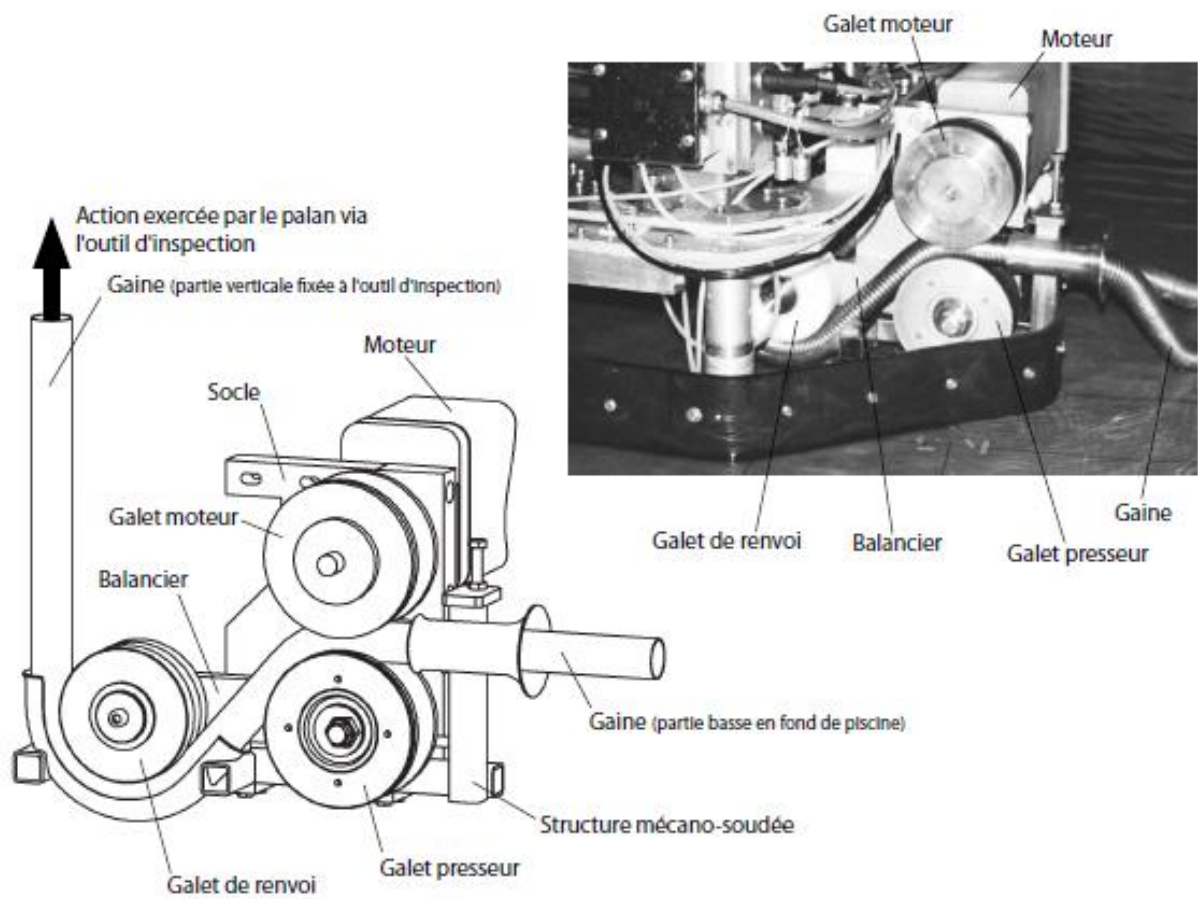
Donner la forme de la matrice d'inertie du solide  $2$  au point  $G_2$  dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ . On justifiera la réponse.

##### QUESTION 24

Exprimer littéralement le moment d'inertie  $C_2'$  du solide  $2$  par rapport à l'axe  $(G_2, \vec{z}_0)$ , en fonction de la masse  $m_2$  et de ses dimensions.

##### QUESTION 25

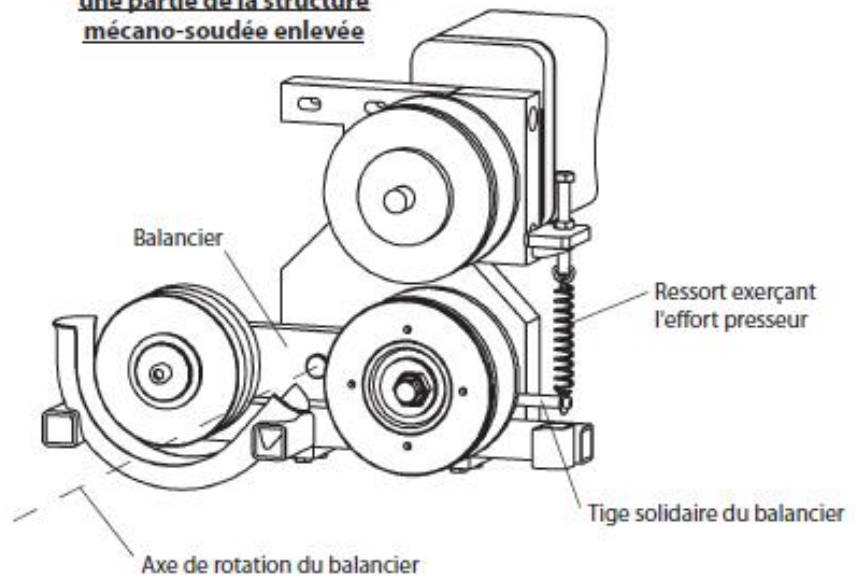
Exprimer littéralement le moment d'inertie  $C_2$  du solide  $2$  par rapport à l'axe  $(O, \vec{z}_0)$ , en fonction de la masse  $m_2$  et de ses dimensions.

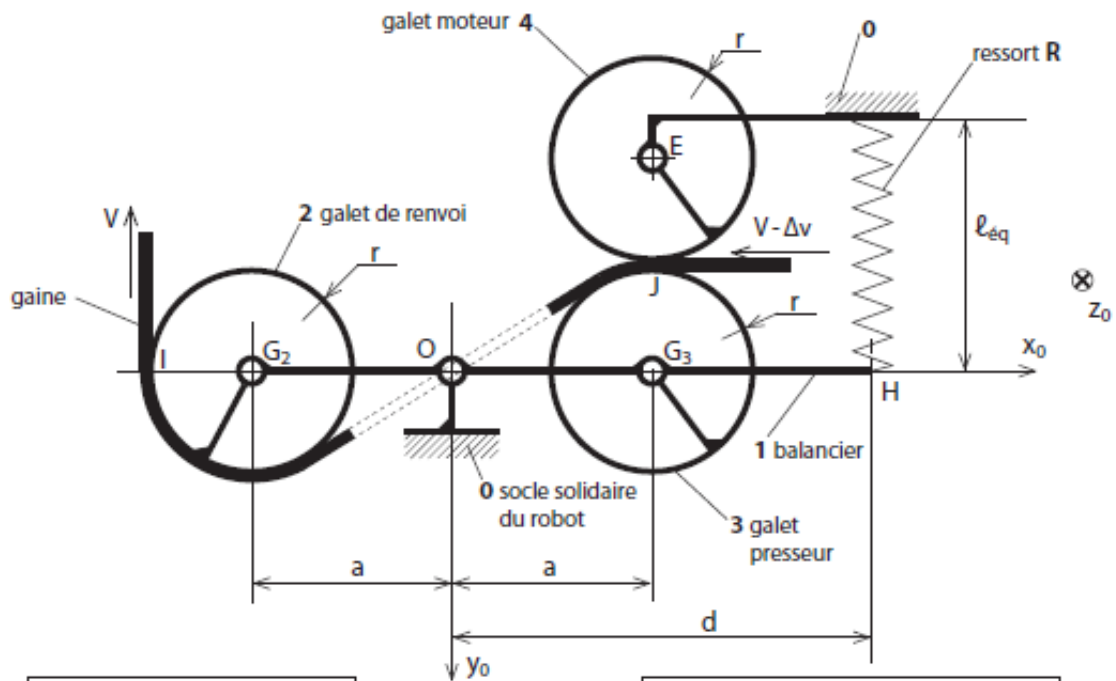


**figure 9**

**figure 10**

**Vue de l'ensemble sans la gaine**  
**une partie de la structure**  
**mécano-soudée enlevée**





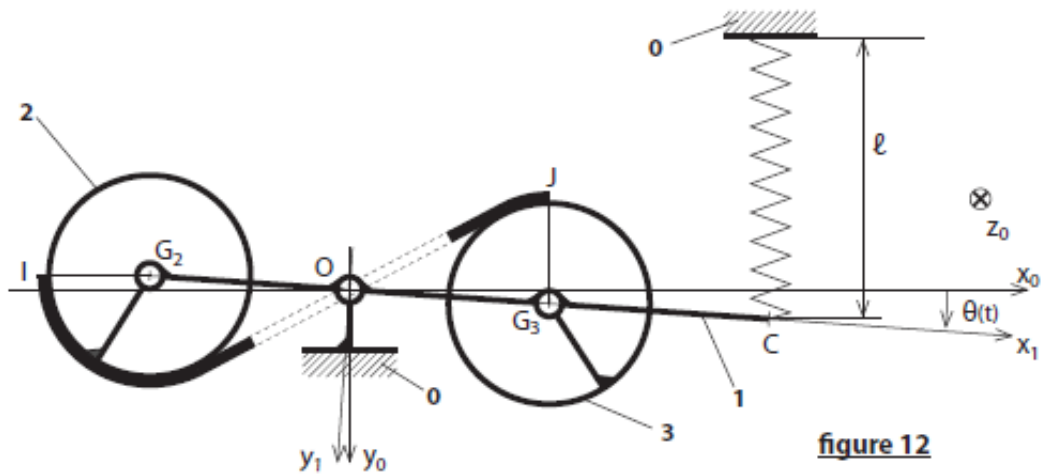
**Principales dimensions**

$a = 100 \text{ mm}$   
 $r = 80 \text{ mm}$   
 $d = 200 \text{ mm}$

**Caractéristiques ressort R**

raideur :  $k = 600 \text{ N/m}$   
 longueur à vide :  $\ell_0 = 50 \text{ mm}$   
 longueur à l'équilibre :  $\ell_{eq} = 150 \text{ mm}$

**figure 11**



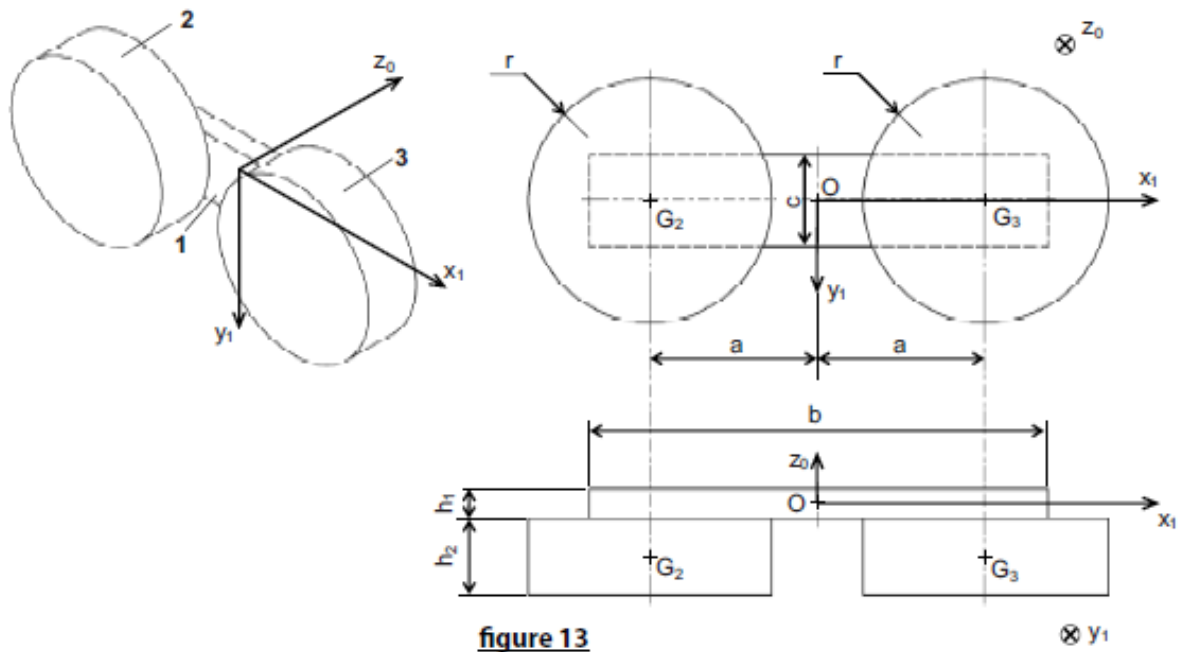
**figure 12**



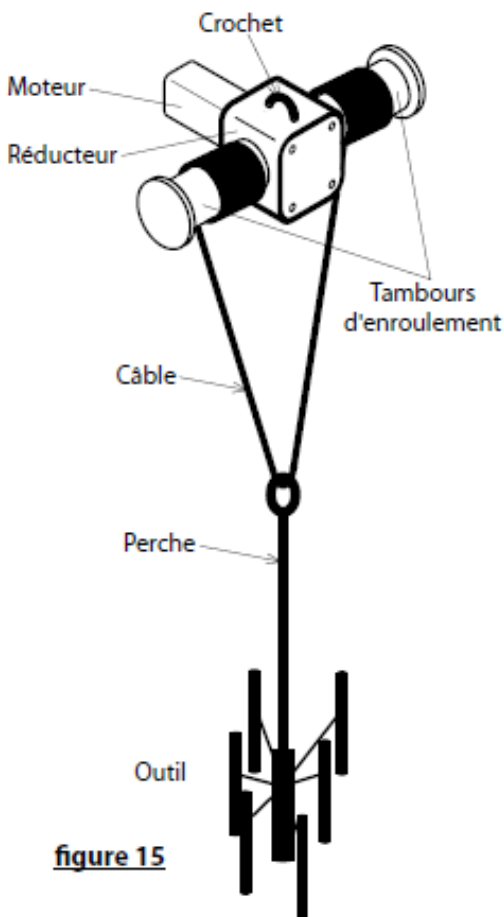
**figure 14**

**Caractéristiques de la gaine**

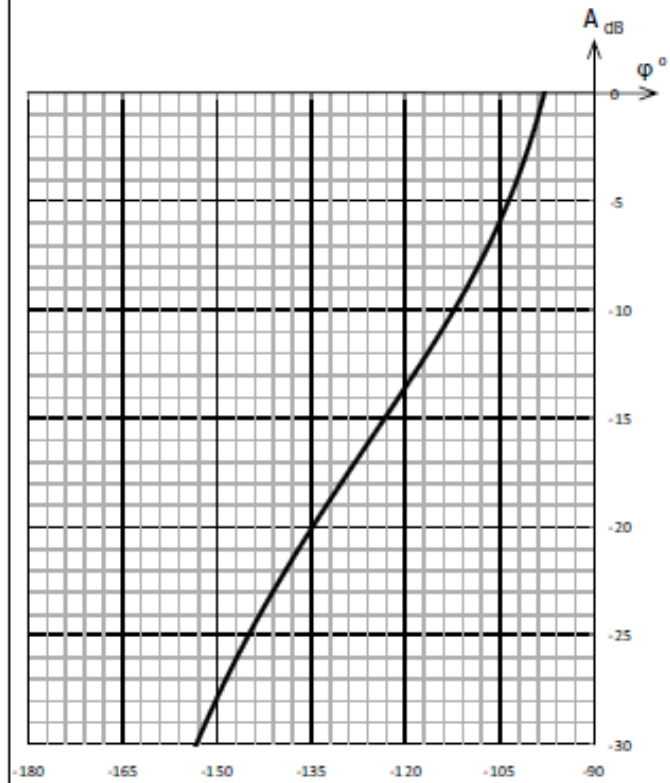
Section :  $S = 120 \text{ mm}^2$   
 Module de Young :  $E = 4500 \text{ MPa}$   
 Longueur (mm) :  $400 < L < 3000$



**figure 13**



**figure 15**



**figure 16**