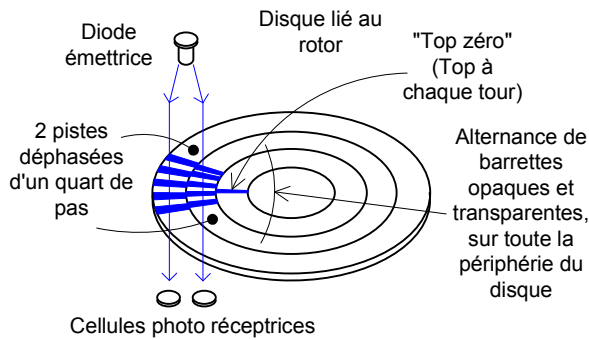


**Partie 1**

**Question 1 : Décrire le fonctionnement d'un codeur incrémental**



Disque :  
 - Zone opaque = "0"  
 - Zone transparente = "1"  
 déphasées d'un quart de pas pour détecter le sens de rotation.  
 un système photo émetteur + photo récepteur  
 une électronique comptant les signaux binaires, et/ou mesurant la fréquence (captage de vitesse)

**Question 2 : Justifier la phase d'initialisation**

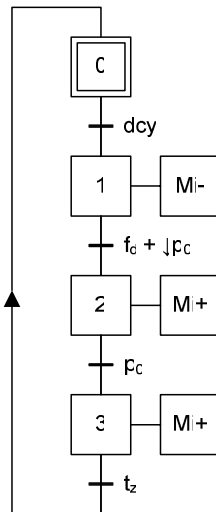
Le codeur incrémental est un codeur relatif.  
 Il faut que le mobile vienne sur une position de référence matérialisée par un capteur tout ou rien.  
 Le compteur est alors initialisé à zéro sur cette position de référence.

**Question 3 : Expliquer la procédure proposée pour la phase d'initialisation en justifiant les deux points suivants : « accoster le capteur po toujours du même côté » et « puis repérer le top zéro du codeur ».**

Le "top zéro" du codeur n'a quasiment aucune chance de se retrouver en face de la prise d'origine sur le capteur  $p_0$ . Dès que le capteur  $p_0$  donne son information, le mouvement de l'axe est poursuivi jusqu'à atteindre la position en face du top zéro du codeur.

*Rem : sur les machines outils à commandes numériques, le chariot concerné avance de quelques centimètres systématiquement au lancement de la prise d'origine, afin d'être sûr qu'il est dégagé de la zone du capteur  $p_0$  et du top zéro. Puis il recule pour accoster sur  $p_0$ , et enfin il accoste sur le top zéro qui est le plus proche angulairement.*

**Question 4 : Décrire, par un GRAFCET, l'initialisation de cet axe motorisé i.**



**Partie 2**

**Question 5 :** Ecrire l'égalité qui relie le volume sec total (volume hors eau plus volume des parois avant et arrière), noté  $V$ , à  $M$  et  $\rho$  pour assurer l'équilibre de flottaison ?

En appliquant le théorème de la résultante statique au planeur, on a 2 actions de type glisseur  $\vec{A}$  (poussée d'Archimède) et  $\vec{P}$  (poids) : (1)  $\vec{A} + \vec{P} = \vec{0}$

A l'équilibre ces 2 glisseurs sont directement opposés de support commun la verticale terrestre  $\vec{y}$ .

(1)  $\Rightarrow \rho \cdot V \cdot g = M \cdot g \Rightarrow \boxed{M = \rho \cdot V}$

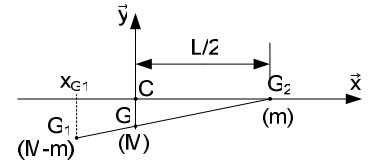
**Question 6 :** Exprimer en littéral, dans le repère  $(C, \vec{x}, \vec{y})$  la position longitudinale  $x_{G_1}$  du centre de gravité du planeur hors piston.

G est le centre de gravité du planeur complet :

- planeur sans piston  $\rightarrow G_1$
- piston  $\rightarrow G_2$

$\Rightarrow M \cdot \vec{CG} \cdot \vec{x} = (M - m) \cdot \vec{CG}_1 \cdot \vec{x} + m \cdot \vec{CG}_2 \cdot \vec{x}$   
 $0 = (M - m) \cdot x_{G_1} + m \cdot \frac{L}{2}$

$\Rightarrow \boxed{x_{G_1} = -\frac{m \cdot L}{2 \cdot (M - m)}}$



**Question 7 :** Soit  $C'$  le nouveau centre de carène. Donner l'expression algébrique du déplacement  $\epsilon = CC'$  en fonction du déplacement  $d$ , de  $V$  et des données géométriques du piston

$C'$  est le centre des 2 volumes ajoutés :

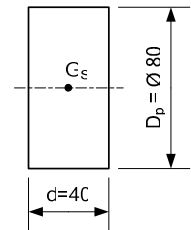
- volume de carène initial =  $V$
- volume supplémentaire du piston, dû à la sortie égale à la corse de plongée :  
 $V_s = \rho \cdot D_p^2 \cdot d / 4$  ( $D_p$  diamètre extérieur piston)

Et :  $(V + V_s) \cdot \vec{CC}' \cdot \vec{x} = V \cdot \vec{CC} \cdot \vec{x} + V_s \cdot \vec{CG}_s \cdot \vec{x}$  ( $G_s$  centre du volume supplémentaire)  
 $= 0$

On notera que  $C$ ,  $G_s$  et  $C'$  sont sur  $C\vec{x}$ .

$(V + V_s) \cdot \epsilon = V_s \cdot CG_s \Rightarrow \epsilon = \frac{V_s}{V + V_s} \cdot CG_s$

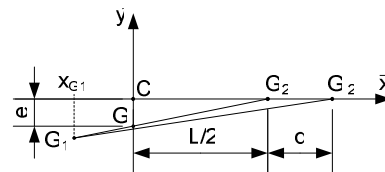
D'où :  $\epsilon = \frac{\frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot d}{V + \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot d} \cdot \left( \frac{L}{2} + d \right)$



**Question 8 :** Soit  $G'$  le nouveau centre de gravité. Donner l'expression algébrique du déplacement  $\delta = GG'$  en fonction du déplacement  $d$ , de  $x_{G_1}$ ,  $L$  et des caractéristiques de masse  $m$  et  $M$ .

$G'$  est le centre de gravité des 2 parties ajoutées :

- planeur sans piston (c.d.g.  $G_1$ )  $\rightarrow$  masse  $(M - m)$
- piston sorti de  $d = 40$  (c.d.g.  $G'_2$ )  $\rightarrow$  masse  $m$



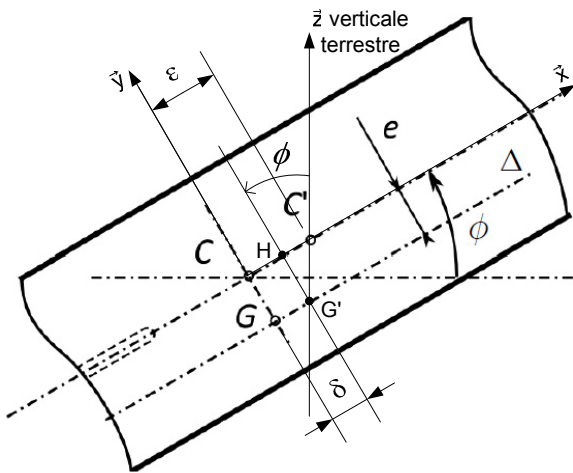
$M \cdot \vec{GG}' = (M - m) \cdot \vec{GG}'_1 + M \cdot \vec{GG}'_2$   
 $\left\{ \begin{array}{l} / \vec{x} : M \cdot \delta x = (M - m) \cdot (\vec{GC} + \vec{CG}'_1) \cdot \vec{x} + m \cdot (\vec{GC} + \vec{CG}'_2) \cdot \vec{x} \\ \hspace{10em} = (M - m) \cdot x_{G_1} + m \cdot \left( \frac{L}{2} + d \right) \\ / \vec{y} : M \cdot \delta y = (M - m) \cdot (e + y_{G_1}) \cdot \vec{x} + m \cdot e \\ \text{(Avec la question 6 ; projection sur } \vec{y} \text{ :)} \\ - M \cdot e = (M - m) \cdot y_{G_1} \cdot \vec{x} \text{ (} y_{G_1} \text{ altitude de } G_1 / C \text{)} \end{array} \right.$

$\Rightarrow \delta x = \frac{(M - m)}{M} \cdot x_{G_1} + \frac{m}{M} \cdot \left( \frac{L}{2} + d \right)$   
 $\Rightarrow \delta y = \frac{(M - m)}{M} \cdot \left( e - \frac{M}{(M - m)} \cdot e \right) + \frac{m}{M} \cdot e = e \cdot \left( \frac{M}{(M - m)} - 1 + \frac{m}{M} \right) = 0$

On vérifie que  $G$  et  $G'$  sont à la même altitude,  $G'_2$  n'ayant pas changé d'altitude.

D'où :  $\delta = \delta_x = \frac{1}{M} \cdot \left[ (M - m) \cdot x_{G_1} + m \cdot \left( \frac{L}{2} + d \right) \right]$

**Question 9 :** Placer, sur la figure, la position du centre de gravité  $G'$  en situation d'équilibre statique. Puis, déterminer l'expression de l'angle d'inclinaison  $\phi$  en fonction de  $\varepsilon$ ,  $\delta$  et  $e$ .



En situation d'équilibre, la poussée d'Archimède et le poids sont sur  $C'Z$  (Voir question 5).

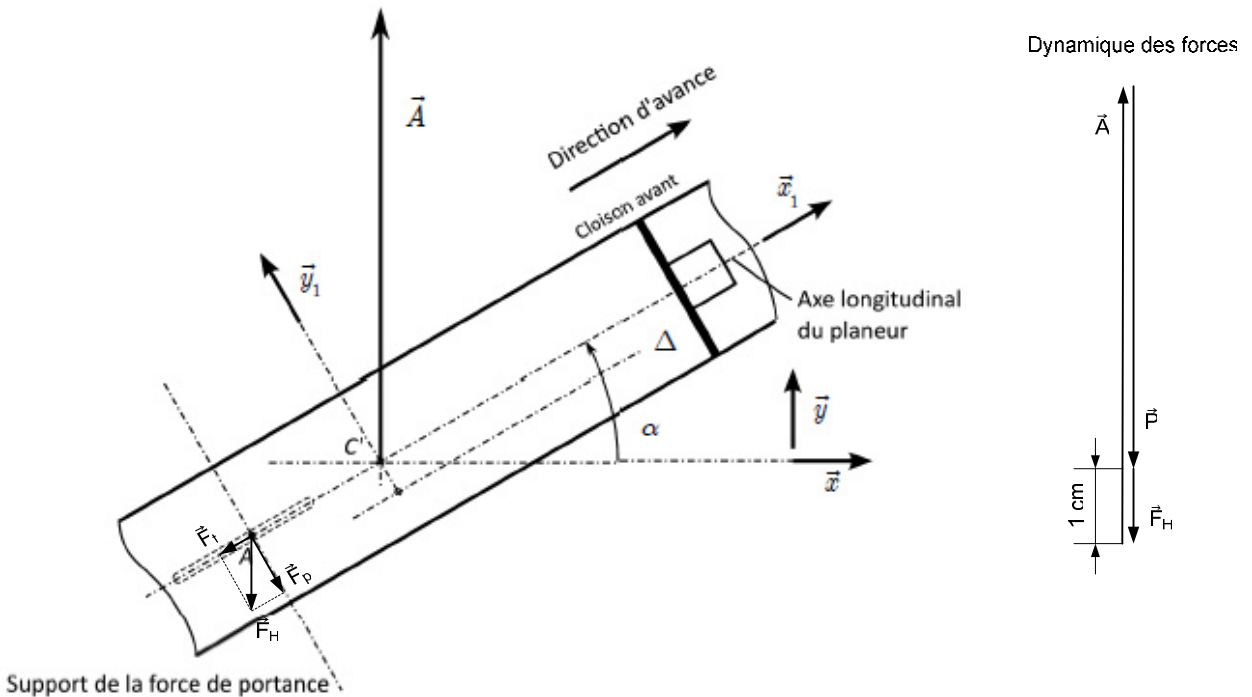
Or  $G'$  est sur  $G\bar{x}$  (Voir question 8).

← D'où le tracé de  $G'$

Dans le triangle  $HG'C'$  on a :

$$\tan \phi = \frac{HC'}{HG'} \Rightarrow \tan \phi = \frac{\varepsilon - \delta}{e}$$

**Question 10 :** Réaliser le tracé de la force hydrodynamique, puis des composantes de portance  $F_p$ , support  $(A, \vec{y}_1)$  et de trainée  $F_t$ , support  $(C, \vec{x}_1)$ . En déduire les expressions analytiques de  $F_p$  et  $F_t$  en fonction de  $A$ ,  $P$  et des caractéristiques de fonctionnement.



Les termes dynamiques sont négligés. Le processus de résolution est donc identique à celui d'un problème de statique.

Les actions appliquées au planeur sont :

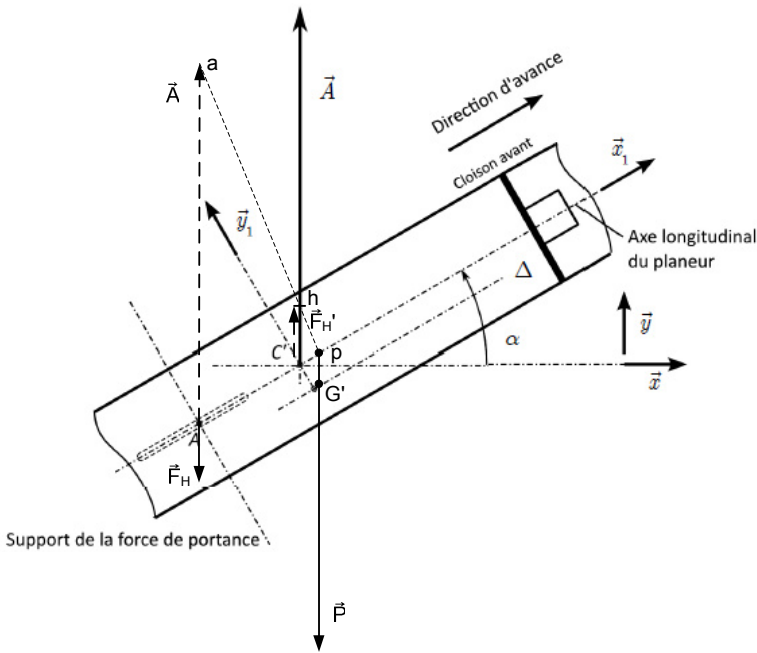
- le poids  $\vec{P}$ , porté par  $-\vec{y}$
- la poussée d'Archimède  $\vec{A}$ , portée par  $-\vec{y}$
- la force hydrodynamique  $\vec{F}_H$

Le planeur est dans la même situation que celle d'un équilibre sous 3 glisseurs, dont 2 sont parallèles ; le troisième est donc parallèle.

D'où le dynamique ci-dessus :  $\vec{F}_H$  est portée par  $-\vec{y}$ , de norme représentée à l'échelle par 1 cm. (on vérifie que la portance  $F_p$  est  $<0$ ).

$$\begin{cases} \vec{F}_p = -\|\vec{F}_H\| \cdot \cos \alpha \cdot \vec{y}_1 \\ \vec{F}_t = -\|\vec{F}_H\| \cdot \sin \alpha \cdot \vec{x}_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{F}_p = -\left[\|\vec{A}\| - \|\vec{P}\|\right] \cdot \cos \alpha \cdot \vec{y}_1 \\ \vec{F}_t = -\left[\|\vec{A}\| - \|\vec{P}\|\right] \cdot \sin \alpha \cdot \vec{x}_1 \end{cases}$$

**Question 11 :** Le centre de gravité  $G'$  du planeur est situé sur l'axe  $\Delta=(G_0, \vec{x}_1)$ . Déterminer sa position et tracer le poids sur l'esquisse. Vous préciserez le théorème utilisé pour déterminer sa position.



On connaît complètement (graphiquement)  $\vec{A}$  et  $\vec{F}_H$  ; il reste à trouver un point de passage du support de  $\vec{P}$ .

Par le théorème de la résultante statique on a :  
 $\vec{A} + \vec{F}_H = -\vec{P}$   
 ( $\vec{P}$  est l'opposé de la résultante de  $\vec{A}$  et  $\vec{F}_H$ )

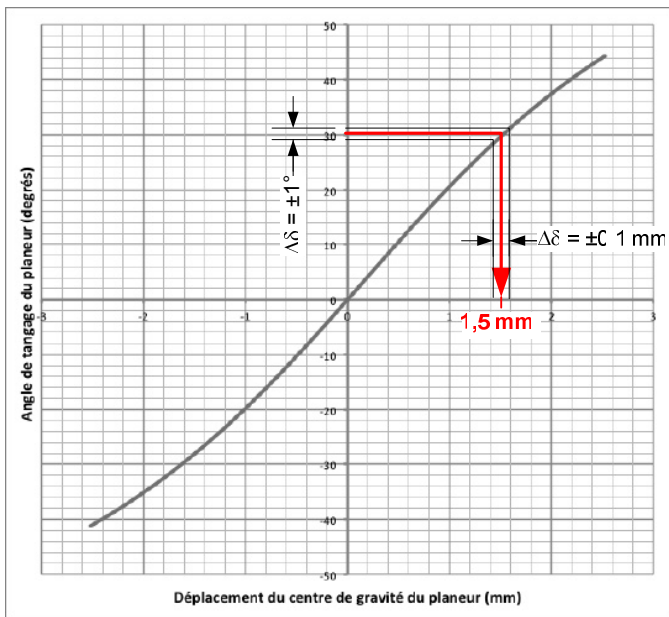
D'où le principe de construction issu du théorème du moment statique :

- $\vec{A}$  translaté en A  $\rightarrow \vec{A}'$
- $\vec{F}_H$  translaté en C' et opposée  $\rightarrow \vec{F}_H'$

La droite ah coupe AC' en p, et P passe par p

D'où  $G' \in \Delta$

**Question 12 :** Déterminer le déplacement du piston nécessaire pour obtenir un angle de tangage de 30°



Courbe  $\alpha = f(\delta)$

On lit sur le graphique :  $\delta = 1,5 \text{ mm}$

Question 8 : 
$$\delta = \frac{1}{M} \cdot \left[ (M - m) \cdot x_{G_1} + m \cdot \left( \frac{L}{2} + d \right) \right]$$
  

$$\Rightarrow d = \frac{M \cdot \delta - (M - m) \cdot x_{G_1}}{m} - \frac{L}{2}$$

Question 6 : 
$$x_{G_1} = \frac{-m \cdot L}{2 \cdot (M - m)}$$

$$\Rightarrow d = \frac{M \cdot \delta + m \cdot \frac{L}{2}}{m} - \frac{L}{2} \Rightarrow \boxed{d = \frac{M}{m} \cdot \delta}$$

$$d = \frac{50}{1,8} \cdot 1,5 = 50 \cdot \frac{5}{6} \Rightarrow \boxed{d = 41,7 \text{ mm}}$$

**Question 13 :** Estimer la précision nécessaire sur le déplacement du piston pour obtenir, autour de 30°, un contrôle de l'angle de tangage répondant au cahier des charges. Conclure.

On lit sur le graphique ci-dessus :

pour une précision de l'angle de tangage  $\Delta\delta = \pm 1^\circ$ , précision sur  $\delta$ ,  $\Delta\delta = \pm 0,1 \text{ mm}$

On a :  $d = \frac{M}{m} \cdot \delta \Rightarrow$  précision sur d :  $\Delta d = \pm \frac{M}{m} \cdot \Delta\delta \Rightarrow \Delta d = \pm \frac{50}{1,8} \cdot 0,1 = \pm 0,5 \cdot \frac{100}{18} \Rightarrow \boxed{\Delta d \approx \pm 2,75 \text{ mm}}$

Le cahier des charges impose :  $\pm 1^\circ$ . Cette précision de  $\pm 2,8 \text{ mm}$  devrait être facile à obtenir, sachant que l'on va utiliser un système vis-écrou de pas limité (voir calque).

**Question 14 :** En déduire, pour cet angle de 30°, l'intensité de  $\vec{F}_H$  et la composante de traînée  $F_t$ . Tracer le point de fonctionnement. En déduire la vitesse longitudinale du planeur.

Question 10 :

On a :  $\|\vec{F}_H\| = \|\vec{A}\| - \|\vec{P}\|$  avec :  $\|\vec{A}\| = \|\vec{A}_i\| + \|\vec{A}_s\|$

et :  $\|\vec{A}_i\| = \text{poussée d'Archimède initiale} = \|\vec{P}\|$

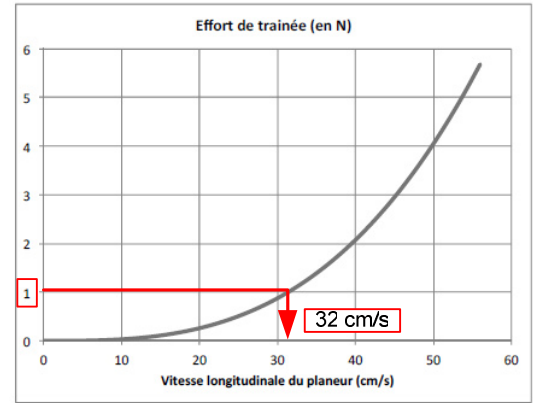
$\|\vec{A}_s\| = \text{poussée d'Archimède supplémentaire due à la sortie du piston de la valeur } d = 41,7 \text{ mm.}$

D'où :  $\|\vec{F}_H\| = \|\vec{A}_s\| = d \cdot \pi \cdot \frac{D_p^2}{4} \cdot \rho \cdot g$

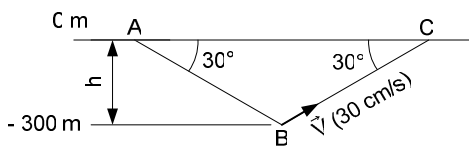
$\Rightarrow \|\vec{F}_H\| = 41,7 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 1020 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \approx 42,5 \cdot 10^{-2} = 2,1$

$\Rightarrow \|\vec{F}_H\| = 2,1 \text{ N} \Rightarrow \|\vec{F}_t\| = \|\vec{F}_H\| \cdot \sin 30^\circ \approx \boxed{1 \text{ N}}$

D'où la vitesse longitudinale du planeur :  $\boxed{32 \text{ cm/s}}$



**Question 15 :** Estimer la durée d'un cycle de montée-descente entre les profondeurs de 0 et 300 m



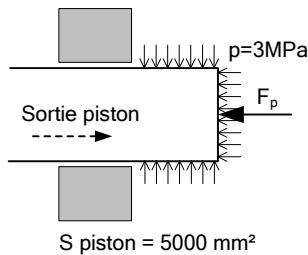
Soit T le temps de parcours pour un cycle de montée-descente.

$T = \frac{AB + BC}{\|\vec{v}\|} = \frac{4 \cdot h}{\|\vec{v}\|}$

$T = \frac{1200}{0,3}$

$\boxed{T \approx 4000 \text{ s} = 1 \text{ h } 6 \text{ min } 40 \text{ s}}$

**Question 16 :** Estimer l'énergie nécessaire pour sortir le piston de ballastage de 8 cm à 300 m de profondeur (soit à une pression de  $3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ ). La section du piston est de  $5000 \text{ mm}^2$ .



On suppose que les forces tangentielles dues aux actions de l'eau sur le piston sont négligées, ainsi que les frottements dans le guidage et l'étanchéité du piston.

Donc, seules les forces de pression  $\vec{F}_p$  en bout de piston effectuent un travail résistant, sur une distance  $d = 8 \text{ cm}$ .

Soit W ce travail :  $W = F_p \cdot d = p \cdot S_{\text{piston}} \cdot d = 3 \cdot 5000 \cdot 0,08 \Rightarrow \boxed{W = 1200 \text{ J}}$

**Question 17 :** Exprimer, en Joule, l'énergie disponible dans un accumulateur

Elle est de  $120 \text{ Wh} = 120 \cdot 3600 \text{ J} = \boxed{432 \cdot 10^3 \text{ J}}$

**Question 18 :** En déduire le nombre minimum d'accumulateurs à embarquer dans le planeur pour assurer une autonomie d'une semaine si 80% de l'énergie doit être disponible pour l'électronique de contrôle et de mesure.

Soit  $W_p$  l'énergie nécessaire à la propulsion pour une semaine de fonctionnement. Elle représente 20% de l'énergie totale embarquée  $W_e$  pour 200 cycles de montée-descente :  $W_e = 5 \cdot W_p$

En supposant que l'énergie nécessaire en phase de rentrée du piston avant la descente (il est probable que le moteur devra freiner la rentrée du piston, les frottements divers n'étant pas suffisants) est négligeable par rapport à celle nécessaire pour le sortir à la montée :  $W_e = 5 \cdot 200 \cdot W = 10^3 \cdot 1200$  (question 16)  $\boxed{W_e = 1200 \text{ KJ}}$

Nombre d'accumulateurs nécessaires :  $n \geq \frac{1200}{432} \Rightarrow \boxed{n = 3}$

**Question 19 :** Liaison encastrement écrou-piston et arrêt en rotation du piston/corps du vérin

⇒ Choix du vis-écrou à billes : pour que le système soit quasi irréversible il faut que l'angle d'hélice soit le plus faible possible. D'où le choix d'un rapport pas/diamètre de vis le plus faible possible (il faut cependant vérifier que le diamètre extérieur de l'écrou est inférieur au diamètre du piston) →  $\boxed{d = 28 ; p = 5}$

- ⇒ Encastrement de la pièce support d'écrou avec le tube du piston : solution similaire à celle proposée à droite [plan+centrage court+ maintien en position par soudure laser (minimum de déformation, et l'ensemble est usiné en finition)]

**Question 20 :** Liaison encastrement motoréducteur-carter du vérin de ballastage, accouplement arbre de réducteur-vis, butées à billes

- ⇒ Stratégie de conception :

- pourquoi le sujet ne parle que de butée à billes et pas d'autres types de composants "roulants" ?
  - ➔ le système vis-écrou est hyperstatique (*c'est dommage la chronologie du sujet fait traiter ce problème bien après*) et on peut considérer que le guidage de la vis par rapport au carter de vérin, pour supporter uniquement le poids de cette vis, est assuré par un empilage de guidages coaxiaux à droite et par le centrage de l'accouplement avec le motoréducteur à gauche.
  - ➔ donc, seul un appui axial bilatéral suffit, et pour supporter des efforts importants ⇒ appui plan bilatéral par butées à billes.
- inventaire des contraintes :
  - ➔ motoréducteur : mise en position [plan+centrage court] ; maintien en position [4 vis introduites côté droit ⇒ attention à l'accessibilité]
  - ➔ corps de vérin : le montage de l'ensemble vérin à travers la cloison avant, interdit une solution de type bride similaire à celle proposée à droite, et la faible épaisseur du tube du carter semble interdire le frettage ⇒ [solution possible par vissage dans un taraudage du carter + centrage précis indispensable. L'engagement dans le centrage doit se faire après une emprise sur 2 ou 3 filets afin de faciliter le montage ⇒ longueur de taraudage > longueur de centrage]
  - ➔ vis : diamètre imposé par la question précédente [Ø28 ⇒ alésage minimal des butées]
  - ➔ butées à billes : [centrage butée sur l'arbre, pas de centrage dans l'alésage + appui plan sur toute la largeur de la couronne des butées + jeu interne axial nul]
- identification :
  - ➔ des surfaces fonctionnelles à relier pour l'encastrement motoréducteur-carter
  - ➔ du nombre minimal de pièces pour créer le lien motoréducteur-carter et respecter la facilité de montage et l'accessibilité ⇒ graphe des contacts
- élaboration d'un schéma technologique (attention un schéma technologique ne tient pas compte des épaisseurs), avant de passer à un croquis à peu près à l'échelle.

- ⇒ Choix des dimensions des butées à billes :

- permettre le passage de la vis ( $\approx \text{Ø } 28$ )
- supporter la charge statique de 20000 N en phase sortie de piston pour celle de gauche
  - ➔ la butée de Ø 30, avec un  $C_0$  de 39900 N convient largement
  - ➔ pour la butée droite on choisit le même diamètre nominal qui doit laisser passer la vis.

- ⇒ Maintien en position pour l'encastrement motoréducteur/carter du vérin de ballastage :

- choix des 6 vis M5-50 :
  - en traction, compte tenu de l'effort de 20000 N on a une contrainte normale uniforme de 1600 MPa pour une seule vis, avec 6 vis on est à 265 MPa ➔ il faudra donc choisir une très bonne classe de qualité pour prendre en compte la concentration de contrainte et le coefficient de sécurité : classe 10.9 par exemple. Mais c'est peut-être limite, et il faudrait sans doute passer à des vis M6, et grossir légèrement la pièce d'implantation, ou passer à 8 vis M5. (à moins que l'effort de 20000 N donné soit surévalué afin de faciliter les calculs à la main)
  - au matage, avec une implantation de 13 mm, on a une pression de matage de 35 MPa pour 6 vis M5. c'est tout à fait acceptable.

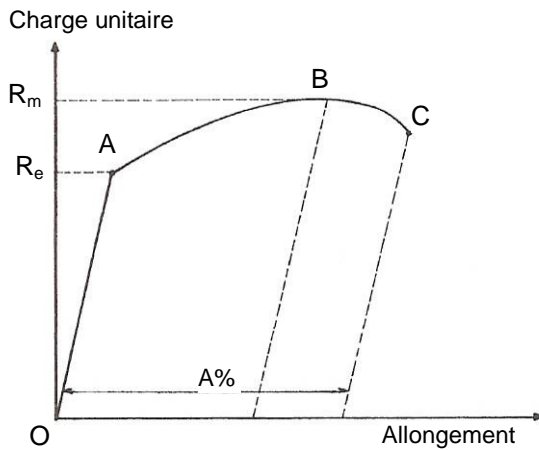
### Partie 3

**Question 21 :** Quelle est la composition de l'alliage proposé ?

Al Mg 1 Si Cu :

Alliage d'aluminium avec 1% de magnésium + du Silicium et du cuivre (le reste étant de l'aluminium)

**Question 22 :** Tracer, en positionnant les valeurs caractéristiques, l'allure de la courbe de traction pour cet alliage



Courbe de traction avec :

- En abscisse : l'allongement relatif à une longueur initiale.
- En ordonnée : la charge unitaire (effort / section initiale).

E : module d'Young : pente de la droite OA

$R_m = 310 \text{ MPa}$

**Question 23 :** Rappeler, en faisant un schéma, le principe de dépôt métallique par anodisation

L'anodisation dure consiste en une électrolyse en milieu acide afin d'obtenir la formation d'une couche superficielle d'alumine, sans apport de matière.

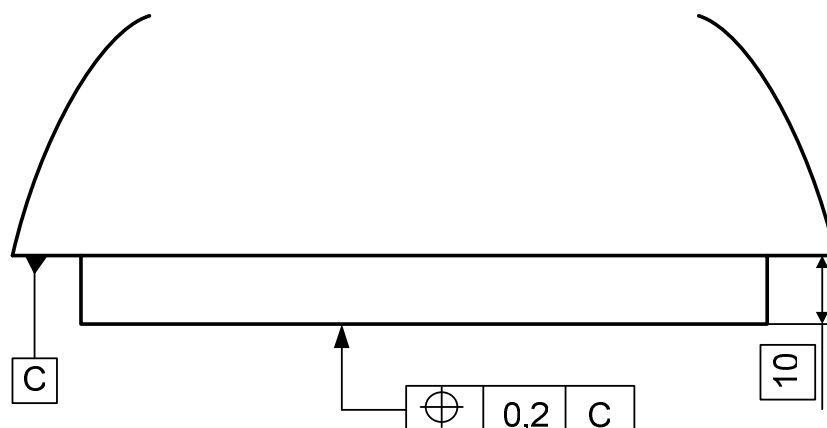
**Question 24 :** Expliquer les spécifications portées sur le dessin de définition document 6 :

$\varnothing 180 \text{ h7 } (0, -40\mu\text{m})$

La dimension locale, pour tout couple de points en vis-à-vis, doit être comprise entre 179,960 et 180 mm.

**Pour les grilles GPS voir à la fin**

**Question 25 :** Proposer une cotation normalisée entre les deux plans B et C qui permette de positionner les deux surfaces (voir document 6, valeur nominale 10 mm, IT = 0,2 mm).



**Question 26 :** Citer les opérations nécessaires à la réalisation d'un taraudage en proposant un outil par opération.

Pour réaliser un taraudage M6 :

- |                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| a) Pointage.               | Outil : pointeur en ARS              |
| b) Perçage $\varnothing 5$ | Outil : foret $\varnothing 5$ en ARS |
| c) Taraudage M6.           | Outil : taraud machine en ARS        |

**Question 27 :** Est-il possible de réaliser les 4 taraudages avec le tour 2 axes de l'entreprise ?  
Proposer une typologie de tour apte.

Sur un tour 2 axes le mouvement de coupe est la rotation de la pièce. On ne peut réaliser que des taraudages d'axe l'axe de révolution de la pièce.

Pour réaliser ces 4 taraudages on doit utiliser un tour 3 axes. Le troisième axe est l'axe C du mandrin qui devient un axe numérique (contrôle de la position angulaire et de la vitesse).

Les outils (pointeur, foret et taraud) seront montés dans des portes outils tournants : ils auront le mouvement de coupe.

- L'axe X permettra de se positionner sur le bon rayon (X95 pour les 4 trous)
- L'axe C permettra de positionner angulairement la pièce (C0 pour le premier trou puis C90 puis C180 puis C270).
- L'axe Z donnera le mouvement d'avance de l'outil / pièce (pénétration puis recul).

**Question 28 :** Proposer un brut en adéquation avec la série de 5 pièces.

Données :

- Série de 5 pièces en alliage d'aluminium.
- Le sujet ne propose pas de remettre en cause les formes de la pièce.
- Pièce extrêmement massive (pleine).

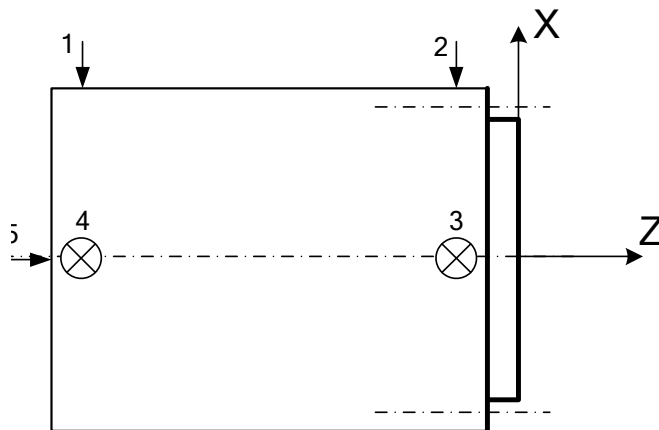
Choix : brut  $\varnothing 200$  (semble suffisant) longueur 145

**Question 29 :** Préciser le mode d'obtention du brut puis décrire ce procédé par un schéma

Brut laminé (l'auteur du sujet attend t-il une pièce obtenue en fonderie ?)

**Question 30 :** Proposer pour chacune des deux phases :  
- une symbolisation de la mise en position,  
- les surfaces usinées, - le repère machine.

**Phase 10 :** tournage commande numérique sur tour 3 axes

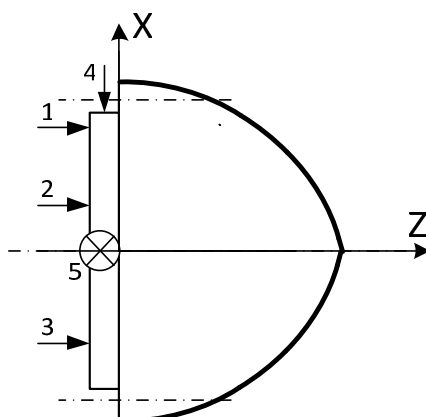


**Isostatisme**

Centrage long + ponctuelle

- a) Dressage de la face avant B
- b) Chariotage du  $\varnothing 180$  et de C
- c) Pointages des 4 trous
- d) Perçage  $\varnothing 5$  des 4 trous
- e) Taraudage des 4 M6

**Phase 20 :** tournage commande numérique sur tour 3 axes



**Isostatisme**

Appui plan + centrage court

- a) Ebauche de la forme
- b) Finition de la forme



**Question 31 :** A partir de la courbe finale tracée, et en vous aidant de la figure 5,  
 - dessiner la position de la surface usinée avant anodisation (en bleu)  
 - tracer ensuite les courbes limites délimitant la zone de tolérance de la surface usinée (en rouge)

La surépaisseur d'anodisation réelle par rapport à la surface usinée est de  $25 \mu\text{m}_0^{+7,5}$ .

On décale donc la surface usinée de  $25 \mu\text{m}$  vers l'intérieur → **courbe bleue continue**

La tolérance de position de la forme quelconque par rapport à C puis A, est de 0,10.

Tous les points de la surface réelle doivent donc être situés entre 2 courbes disposées à  $50 \mu\text{m}$  de part et d'autre de la courbe bleue.

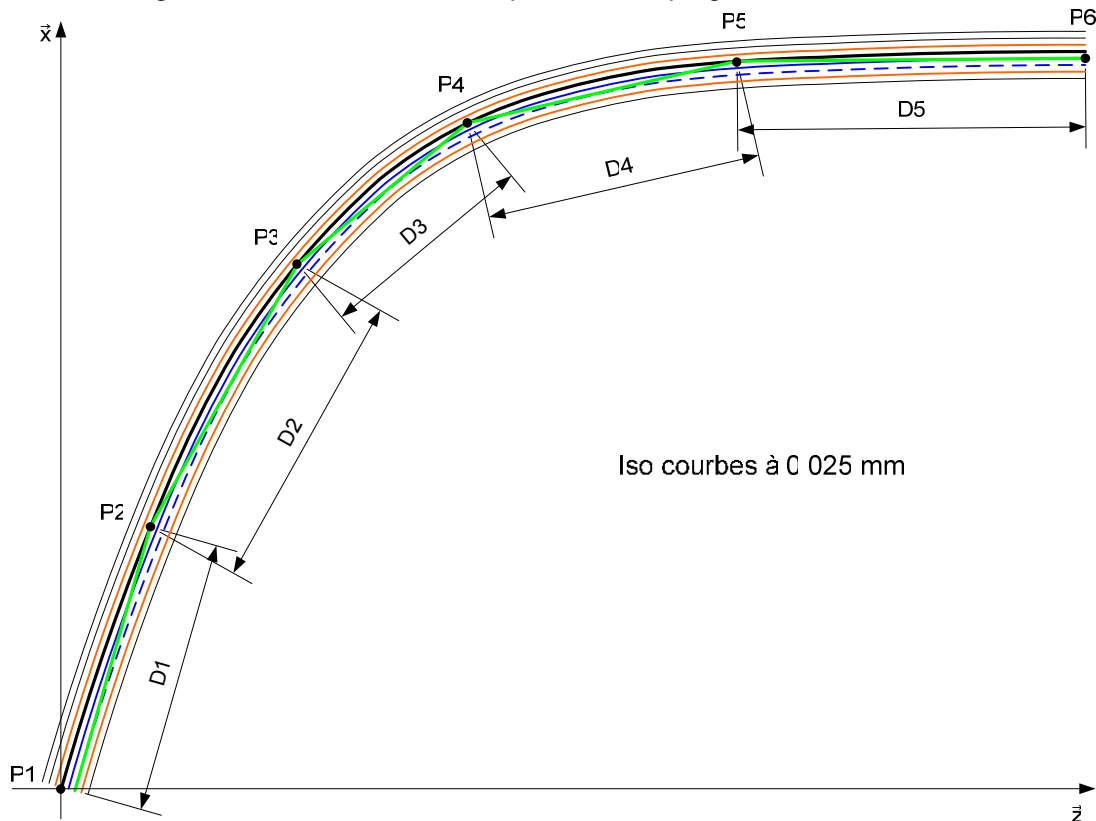
**Question 32 :** Dessiner les successions de droites (en vert), qui représentent la trajectoire de l'outil et qui respectent les tolérances spécifiées, en positionnant les points d'intersection de ces droites.

Arbitrairement on suppose que le défaut de forme "consomme" la moitié de la tolérance soit  $0,05 \text{ mm}$  ou  $50 \mu\text{m}$ .

On trace 2 courbes enveloppes disposées à  $25 \text{ microns}$  de part et d'autre de la courbe bleue (courbe extérieure = celle du profil théorique en noir ; courbe intérieure = pointillés bleus).

Les extrémités des segments de droites successifs sont sur la courbe enveloppe extérieure du défaut de forme (= profil théorique). Les segments de droites tangentent la courbe enveloppe intérieure (pointillés bleus).

5 segments de droites suffisent. 6 points sont à programmer, notés P1 à P5.



**Question 33 :** Exprimer deux origines des défauts d'usinage

Quelques origines de défauts d'usinage (non exhaustif).

- ⇒ Relatifs à la machine outil :
  - Précision des asservissements sur X et Z.
  - Erreurs de poursuite sur X et Z
- ⇒ Relatifs à la prise de pièce (mors doux) :
  - Dispersion de positionnement sur l'appui plan.
  - Dispersion de positionnement sur le centrage court.
- ⇒ Relatifs à l'outil :
  - Précision de mesure des jauges de l'outil (JX, JZ et R).
  - Usure de la plaquette.
  - Défaut de forme de l'arête de coupe (le point générateur se déplace).
- ⇒ Général : déformations, dilatations

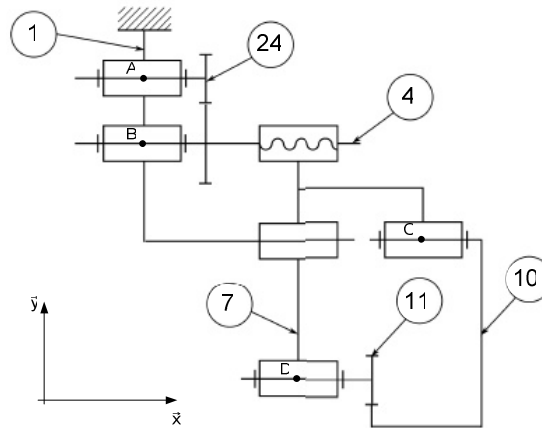
**Question 34 :** Votre trajectoire précédente est elle toujours valable ? Si besoin, proposer une modification de la trajectoire

Pour respecter la spécification malgré ces défauts il faut "resserrer" les deux courbes limites (noire et pointillés bleus de la figure précédente).

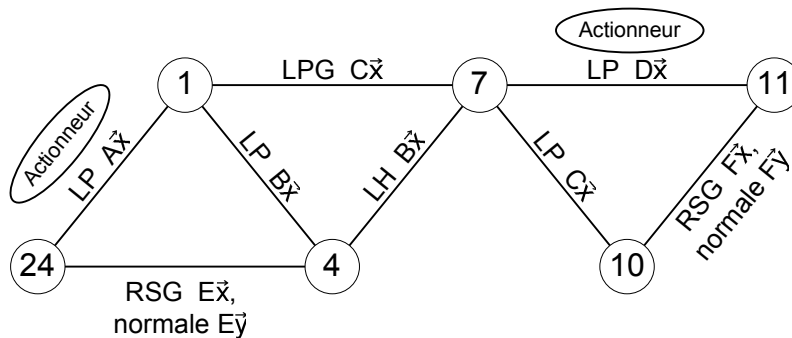
Conséquences : augmentation sensible du nombre de segments de droite, ce qui n'est pas problématique.

**Partie 4**

**Question 35 :** Identifier sur le schéma cinématique proposé une pièce principale (cf. documents 7 et 8) de chaque classe d'équivalence



**Question 36 :** Réaliser le graphe de liaison associé au schéma cinématique proposé et identifier dessus les mobilités contrôlées par un actionneur



Légende :

- LP = liaison pivot
- LPG = liaison pivot glissant
- LPH = liaison hélicoïdale
- RSG = liaison roulement sans glissement

**Question 37 :** Déterminer le degré d'hyperstatisme de ce modèle et, si celui-ci est non nul, indiquer la ou les contraintes géométriques associées.

On utilise une méthode statique :  $h = m + \sum S_i - 6(p-1)$

$h$  = degré d'hyperstatisme

$m$  = mobilité totale =  $m_u$  (mobilités utiles = 2 ; 2 actionneurs) +  $m_i$  (mobilités internes = 0)

$\sum S_i$  = nb d'inconnues statiques : (4xLP ; LH ; LPG ; 2xRSG)  $\rightarrow$  (4x5) + 5 + 4 + (2x1) = 31

$p$  = nb de pièces = 6

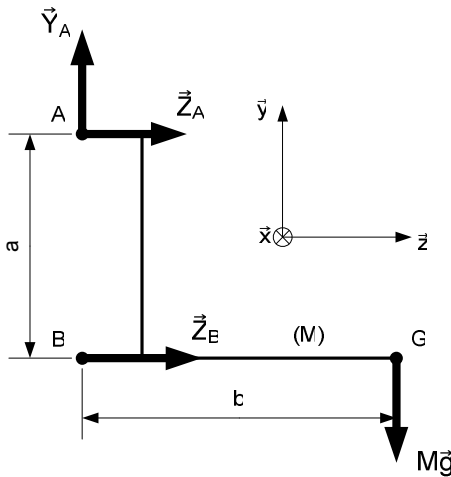
D'où :  $h = 2 + 31 - 30$       **$h = 3$**

Cet hyperstatisme est dû au système vis-écrou.

Il peut être résolu en imposant :

- le parallélisme de LH et LPG  $\rightarrow$  2 degrés résolus en orientation
- la cote d'entraxe B\_x/C\_x  $\rightarrow$  1 degré résolu en distance

**Question 38 :** Déterminer les expressions de  $Y_A$ ,  $Z_A$ ,  $Z_B$ , et en fonction de  $M$ ,  $a$ ,  $b$  et  $g$



Théorème du moment statique appliqué à (M) sur  $B\bar{x}$  :

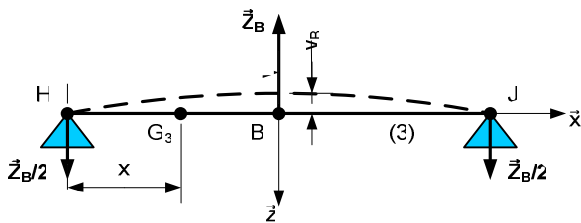
$$\overline{Z_A} = -M \cdot g \cdot \frac{b}{a}$$

Théorème de la résultante statique appliqué à (M) sur  $\bar{y}$  et  $\bar{z}$  :

$$\overline{Z_B} = -\overline{Z_A} \Rightarrow \overline{Z_B} = +M \cdot g \cdot \frac{b}{a}$$

$$\overline{Y_A} = +M \cdot g$$

**Question 39 :** Exprimer le déplacement  $v_B$ , du centre de section B, dans la direction  $\bar{z}$  induit par la déformation de la poutre (3) sous l'effet de la force  $Z_B \bar{z}$ .



Le déplacement  $v_B$  est la flèche au centre de la poutre (3).

Sa valeur est trouvée à partir de l'équation dérivée seconde de la déformée :  $E \cdot I \cdot z''(x) = -M_f(x)$

où :  $E$  = module d'Young du matériau

$I$  = moment quadratique de la section droite de poutre

$M_f$  = moment fléchissant dans une section droite

Entre H et B, dans une section  $G_3$  on a :  $M_f(x) = -x \cdot \frac{|Z_B|}{2}$

$$E \cdot I \cdot z''(x) = +x \cdot \frac{|Z_B|}{2}$$

$$\Rightarrow E \cdot I \cdot z'(x) = \frac{|Z_B|}{2} \cdot \frac{x^2}{2} + C1 \quad \text{avec : } z'\left(\frac{L}{2}\right) = 0 \quad \text{on a : } C1 = -\frac{|Z_B| \cdot L^2}{16}$$

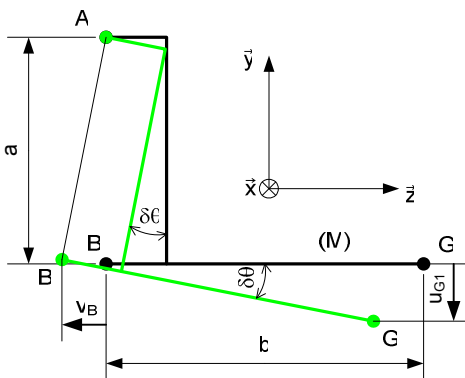
$$\Rightarrow E \cdot I \cdot z(x) = \frac{|Z_B|}{4} \cdot \frac{x^3}{3} - \frac{|Z_B| \cdot L^2}{16} \cdot x + C2 \quad \text{avec : } z(0) = 0 \quad \text{on a : } C2 = 0$$

D'où :  $z(x) = -\frac{|Z_B|}{E \cdot I} \cdot \left( \frac{L^2}{16} \cdot x - \frac{x^3}{12} \right)$

$$\overline{v_B} = z\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{1}{E \cdot I} \cdot |Z_B| \cdot \left( \frac{L^3}{32} - \frac{L^3}{96} \right)$$

$$\overline{v_B} = -\frac{|Z_B| \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

**Question 40 :** Exprimer, en fonction de  $v_B$  et de la géométrie de (M), le déplacement vertical du centre de gravité G (on supposera (4) non déformée).



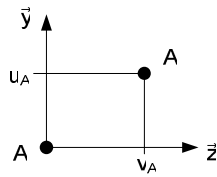
(M) est supposée indéformable

$\Rightarrow$  elle pivote autour de A d'un angle  $\delta\theta$  lorsque (3) fléchit de la valeur  $v_B$ .

Soit  $u_{G1}$  le déplacement vertical de G dû à la flexion de (3).  $\delta\theta$  est faible.

$$\Rightarrow \delta\theta = \frac{|v_B|}{a} = \frac{|u_{G1}|}{b} \Rightarrow \overline{u_{G1}} = \frac{b}{a} \cdot \overline{v_B}$$

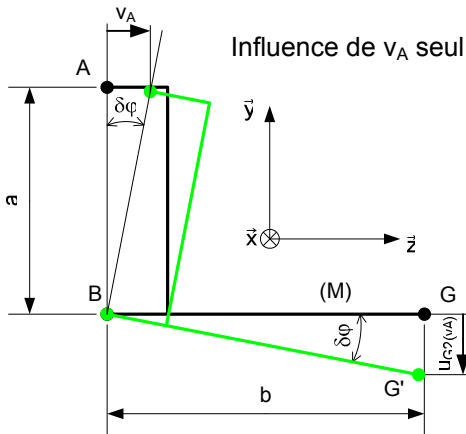
**Question 41 :** Exprimer les déplacements de A, notés  $u_A$  et  $v_A$  respectivement dans les directions  $y$  et  $z$ , sous l'action de  $Y_A$  et  $Z_A$ .



Ces actions  $Y_A$  et  $Z_A$  s'exercent au milieu de la poutre (4).  
On est donc dans la même configuration qu'à la question 39.

$$\Rightarrow \overline{u_A} = + \frac{|Y_A|L^3}{48.E.I} \quad \text{et} \quad \overline{v_A} = + \frac{|Z_A|L^3}{48.E.I}$$

**Question 42 :** En déduire l'expression du déplacement vertical du centre de gravité en fonction de  $M$ ,  $g$  et des caractéristiques géométriques et de matériau.



Soit  $u_{G2}$  le déplacement vertical de G dû à la rotation  $\delta\phi$  (conséquence de  $v_A$ ) et à la translation  $u_A$  :

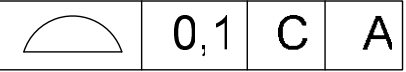
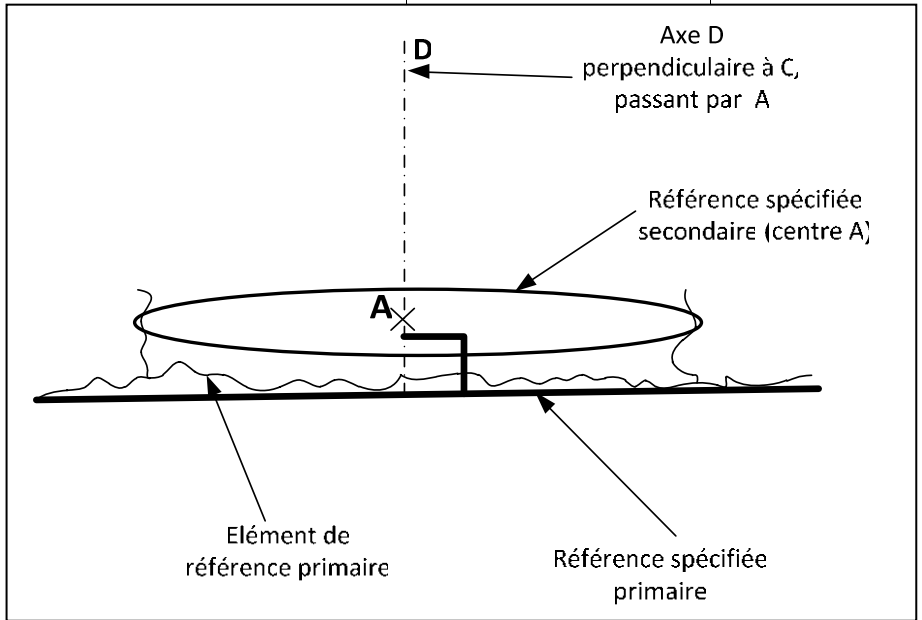
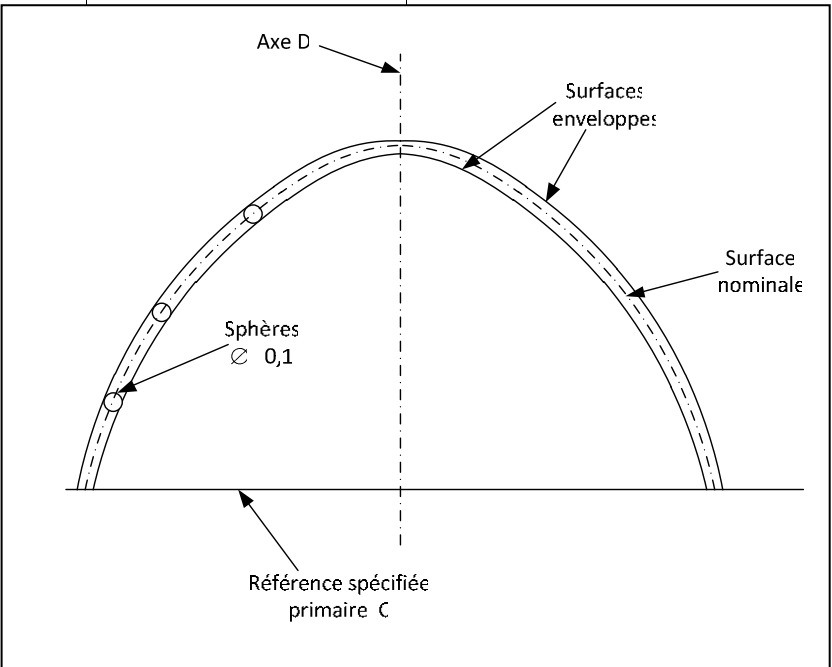
$$u_{G2} = u_{G2}(v_A) + u_{G2}(u_A) \Rightarrow \overline{u_{G2}} = -\frac{b}{a} \cdot \overline{v_A} + \overline{u_A}$$


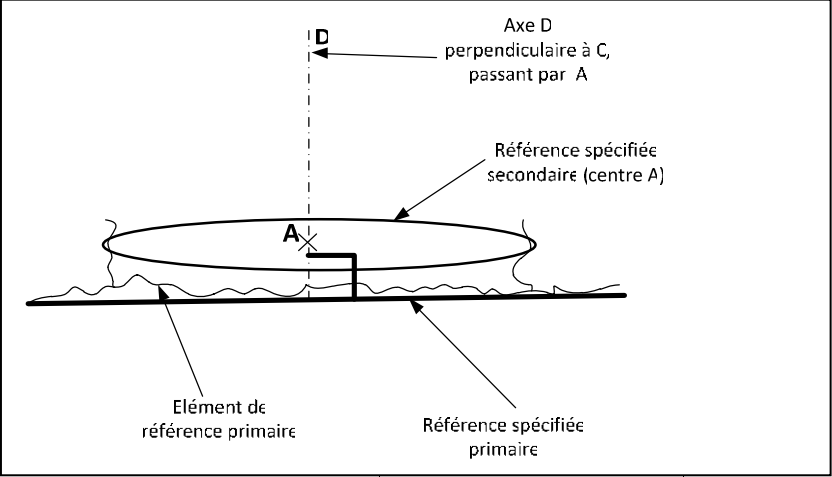
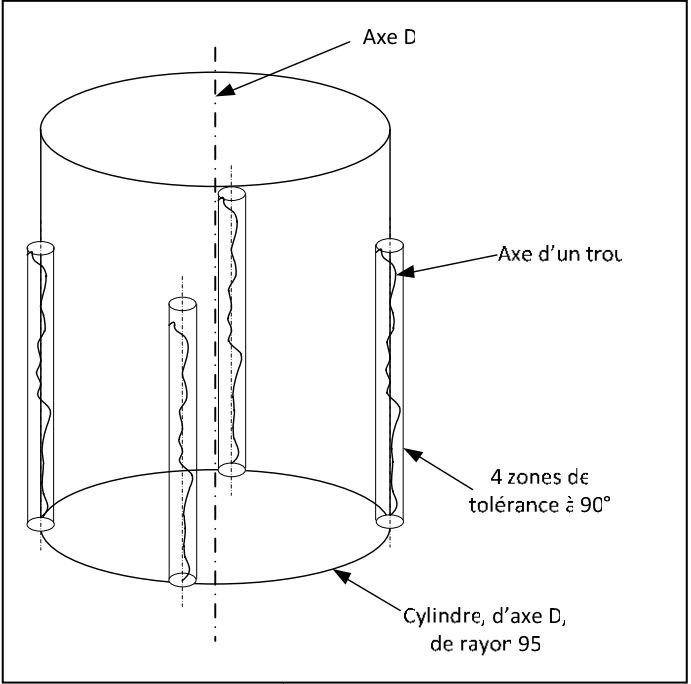
Soit  $u_G$  le déplacement vertical de G dû à la composition des différents déplacements consécutifs à la flexion de (3) et (4).

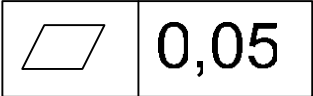
$$\overline{u_G} = \overline{u_{G1}} + \overline{u_{G2}} = \frac{b}{a} \cdot (\overline{v_B} - \overline{v_A}) + \overline{u_A}$$

**Question 43 :** Calcul fait, le déplacement vertical de l'axe est estimé à 5 mm. Est-ce que la contrainte de positionnement du centre de gravité du cahier des charges est vérifiée ?

Le cahier des charges impose une précision de position de 0,5 mm. On est largement en dehors de cette contrainte

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
	Eléments non idéaux (extraits du "skin modèle")		Eléments idéaux		
Type de spécification Forme Position Orientation Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit de situer tout entier dans la zone de tolérance	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
<b>Spécification :</b> Désignation extraite du dessin 	Forme quelconque	Pour <b>C</b> : surface réputée plane  Pour <b>A</b> : ligne réputée circulaire	Pour <b>C</b> : plan tangent du coté libre de la matière limitant les écarts  Pour <b>A</b> : centre du plus petit cercle (projeté dans C) tangent du coté libre de la matière limitant les écarts	Limitée par les 2 surfaces enveloppes des sphères, de $\varnothing 0,1$ dont les centres sont situés sur la surface nominale	La surface nominale (de révolution) est coaxiale à l'axe D, perpendiculaire à C passant par A, avec son sommet à 132 de C
					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
	Eléments non idéaux (extraits du "skin modèle")		Eléments idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit de situer tout entier dans la zone de tolérance	unique <b>groupe</b>	unique <b>multiples</b>	simple commune <b>système</b>	simple <b>composée</b>	<b>Contraintes</b> orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Spécification : Désignation extraite du dessin	4 surfaces réputées cylindriques (on palpera les sommets des filets)	Pour C : surface réputée plane  Pour A : ligne réputée circulaire	Pour C : plan tangent du coté libre de la matière limitant les écarts  Pour A : centre du plus petit cercle (projeté dans C) tangent du coté libre de la matière limitant les écarts	4 cylindres diamètre 0,1	4 cylindres Ø0,1 d'axes situés sur un cylindre de rayon 95, d'axe perpendiculaire à C. Ces 4 axes sont disposés à 90°
					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
	Eléments non idéaux (extraits du "skin modèle")		Eléments idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit de situer tout entier dans la zone de tolérance	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	<b>Contraintes</b> orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
<b>Spécification :</b> Désignation extraite du dessin 	Surface réputée plane	Aucun	Aucun	Volume limité par 2 plans distants de 0,05	Aucune contrainte
