

**CONCOURS ENSAM - ESTP - ARCHIMEDE****Épreuve de Sciences Industrielles PSI****durée 5 heures****L'usage de la calculatrice est autorisé****Dossier remis aux candidats:**

Un énoncé comportant 24 pages de texte en 5 parties :

**ANALYSE DES DIFFERENTES FONCTIONNALITES DU FAUTEUIL** (Partie I, page 4),

**ANALYSE DES FONCTIONS TECHNIQUES FT31 ET FT32** (Partie II, page 11),

**ANALYSE DES FONCTIONS TECHNIQUES FT11 ET FT12** (Partie III, page 15),

**PROPOSITION DE SOLUTION CONSTRUCTIVE** (Partie IV, page 21) et

**AMELIORATION DES PERFORMANCES** (Partie V, page 22)

Un dossier comportant 3 documents annexes et un cahier contenant 8 documents réponses à rendre obligatoirement.

**Nota :**

- Les 5 parties sont indépendantes ; il est néanmoins demandé de les rédiger impérativement dans l'ordre du sujet, en repérant le numéro des questions.
- Si au cours de l'épreuve le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives et hypothèses qu'il est amené à prendre.

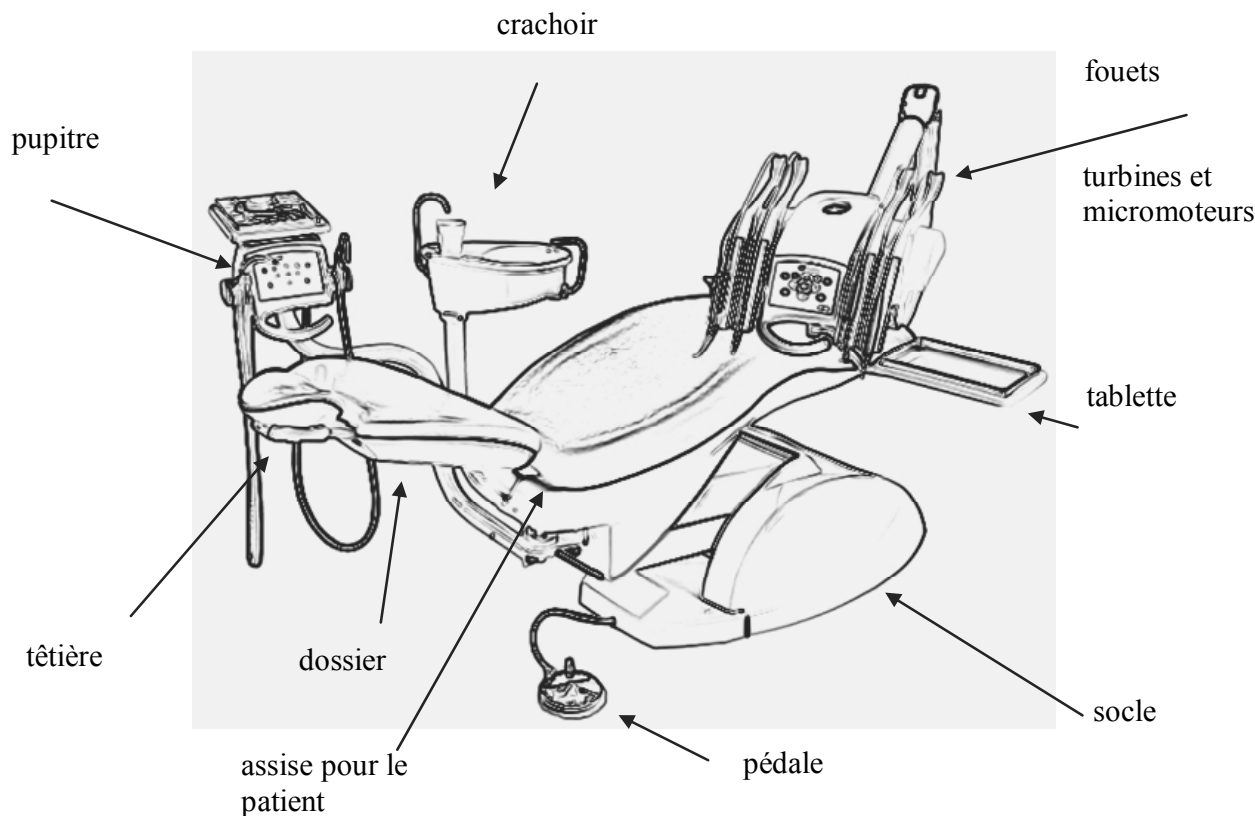
---

## ***UNITE DENTAIRE***

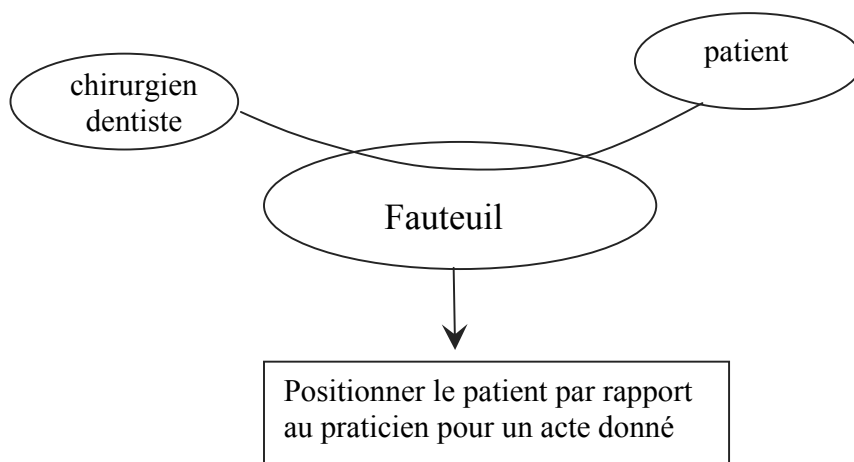


Le support de l'étude est une « unité dentaire ». Cet équipement a été conçu et réalisé dans le but d'une adaptabilité maximale aux différentes méthodes de travail des chirurgiens dentistes. Son ergonomie, sa maniabilité, son design, sa fiabilité en font une « unité universelle » qui n'impose jamais une quelconque position de travail. Sa conception est modulaire, avec une technologie avancée.

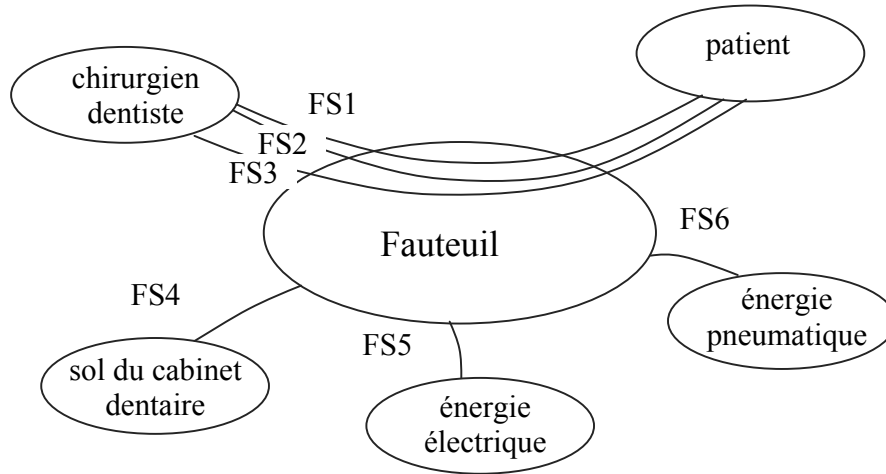
L'objet de cette étude est de valider partiellement les solutions constructives retenues sur cette unité dentaire, réalisée par la société **AIREL** et commercialisée dans le monde entier. Dans le but d'améliorer les performances, des modifications vont être envisagées à partir des deux dernières générations de fauteuil.



Dans un premier temps, l'étude porte sur le fauteuil dont le besoin peut être décrit par le diagramme :



Une analyse fonctionnelle partielle de l'environnement a permis de définir les fonctions de service principales :



FS1 : positionner le patient en hauteur

FS2 : orienter le buste du patient

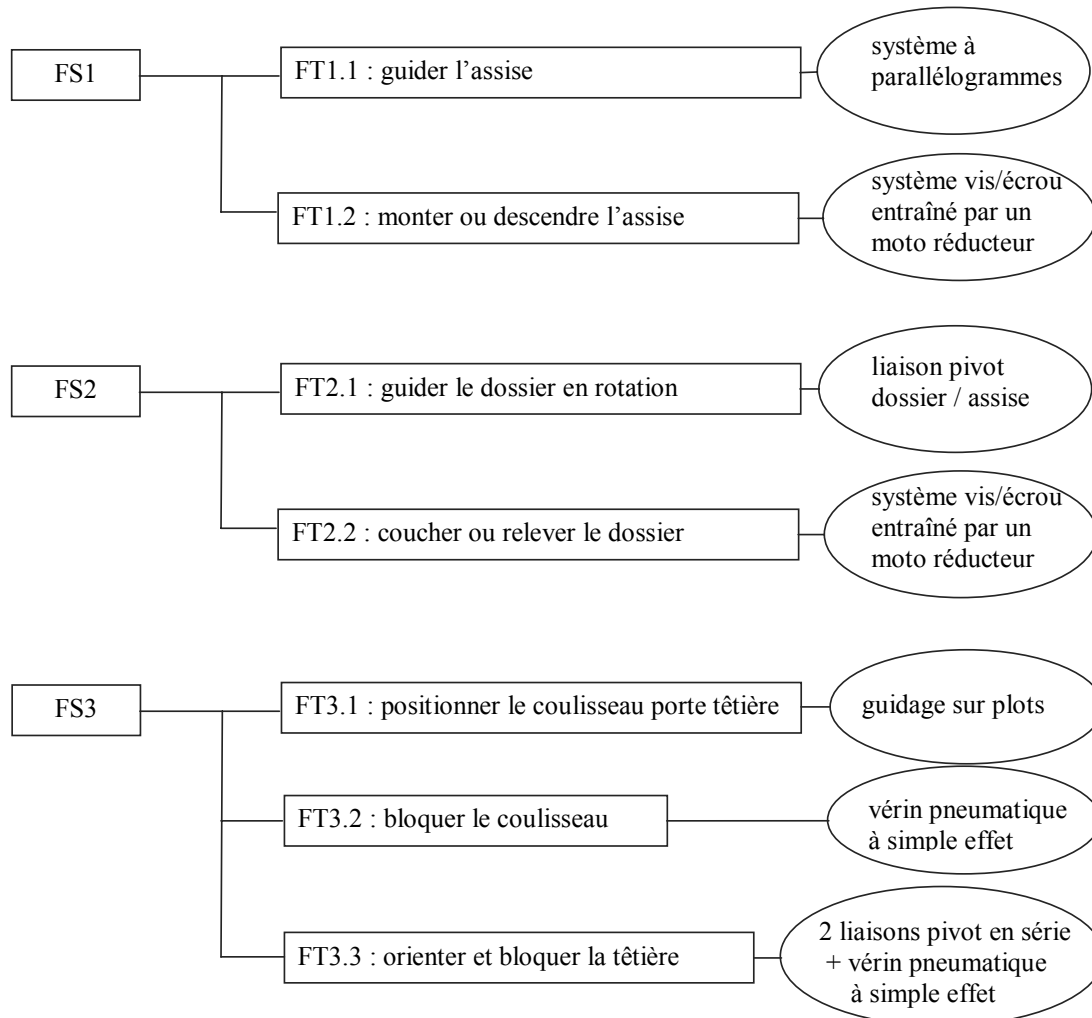
FS3 : positionner la tête du patient

FS4 : fixer le fauteuil sur le sol du cabinet

FS5 : alimenter en énergie électrique 220 V monophasé

FS6 : alimenter en énergie pneumatique ( $\Delta P = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ )

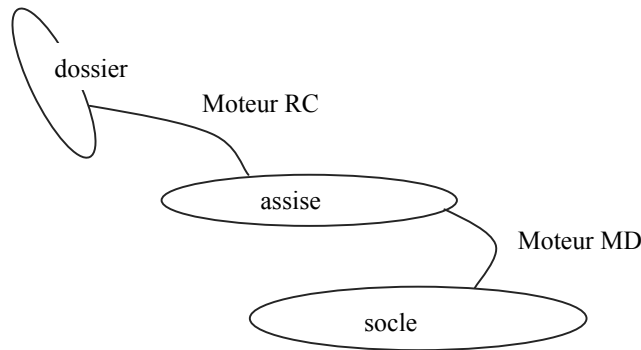
Les fonctions de service FS1, FS2 et FS3 peuvent être détaillées de la façon suivante :



## Partie I- Analyse des différentes fonctionnalités du fauteuil.

### Description succincte de la chaîne d'énergie du fauteuil :

L'ossature métallique de ce fauteuil est constituée d'un socle, d'une assise et d'un dossier. L'assise est en translation par rapport au socle, le dossier bascule par rapport à l'assise. Ces mouvements permettent de positionner le patient en vue d'un acte de chirurgie dentaire donné.



En plus des liaisons mécaniques assurant les mobilités entre ces trois parties, les mouvements sont donnés par deux « vérins linéaires électriques ».

Chaque vérin est constitué d'un moteur électrique asynchrone monophasé (MD ou RC) entraînant un réducteur à roue et vis sans fin et un système vis/écrou.

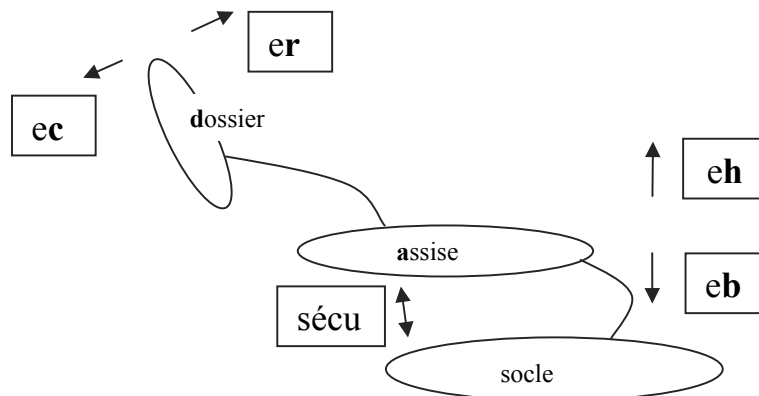
### Les quatre principales actions sont :

**M :** pour « montée de l'assise/socle »                      **D :** pour « descente de l'assise/socle »  
**R :** pour « relevage du dossier/assise »                      **C :** pour « couchage du dossier/assise »

La partie commande est de nature électrique.

### Description des informations issues des détecteurs et des capteurs :

5 détecteurs : (interrupteur fin de course sur came) placés dans l'ossature du fauteuil :



**eh :** informe que l'assise est en position **extrême haute**

**eb :** informe que l'assise est en position **extrême basse**

**er :** informe que le dossier est en position **extrême relevée** dite position crachoir

**ec :** informe que le dossier est en position **extrême couchée**

**sécu :** informe que le patient risque de se pincer un doigt, une main entre les coques d'habillage de l'embase du fauteuil.

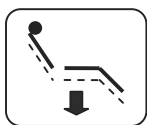
2 capteurs donnant une impulsion par tour de l'arbre du moteur (placés dans le carter) :

top\_Mot\_MD sur l'arbre (rotor) du moteur MD (pour l'assise/socle) et

top\_Mot\_RC sur l'arbre (rotor) du moteur RC (pour le dossier/assise).

**Description des consignes possibles données par le praticien :**  
6 boutons poussoirs avec pictogramme significatif placés sur le pupitre.

remarque : tout appui est considéré comme long s'il dure un temps  $t$ ,  $t > 0,5$  s.



**b**

appui long : déplace l'assise du fauteuil vers une position plus **basse**  
impulsion : place le fauteuil dans une configuration préétablie P1  
 (une position particulière de l'assise et du dossier)



**h**

appui long : déplace l'assise du fauteuil vers une position plus **haute**  
impulsion : place le fauteuil dans une configuration préétablie P2



**cr**

impulsion : place le fauteuil dans la position « **crachoir** »



**r**

appui long : déplace le dossier du fauteuil vers une position plus **relevée**  
impulsion : place le fauteuil dans une configuration préétablie P3



**c**

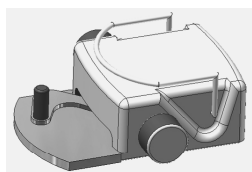
appui long : déplace le dossier du fauteuil vers une position plus **couchée**  
impulsion : place le fauteuil dans une configuration préétablie P4



**p**

associé aux boutons **b, h, r, c**, permet la mémorisation de 4 configurations du fauteuil

**ped** une consigne parmi plusieurs possibles, par appui du pied sur cette pédale (gestion des instruments)



Expansion de la macroétape M 600 (mémorisation d'une position):

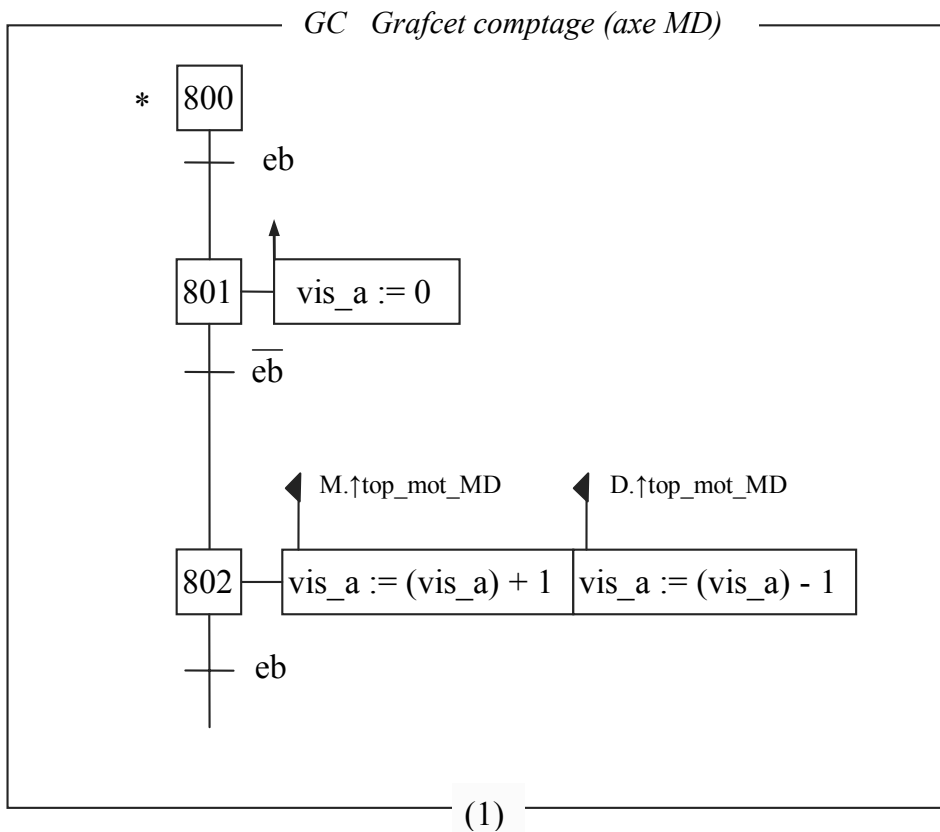
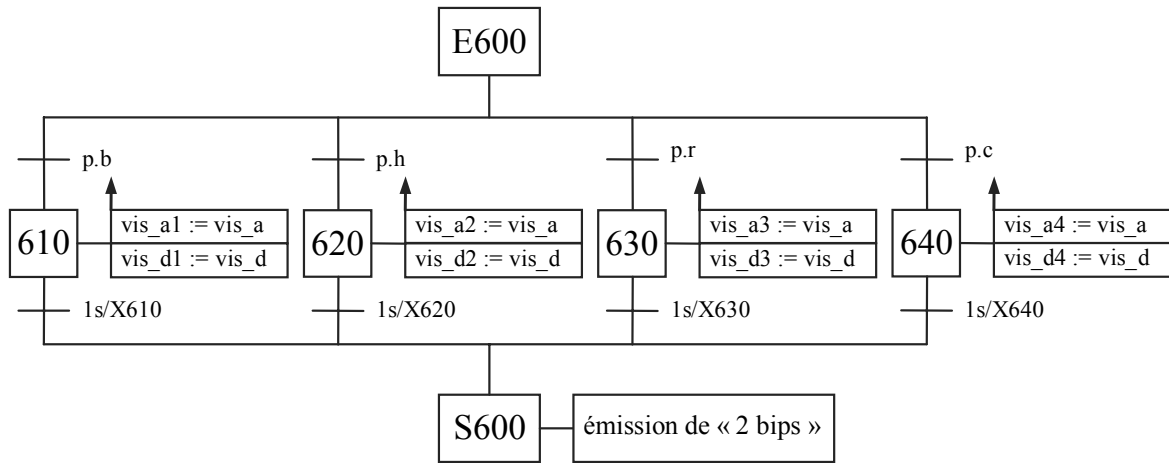
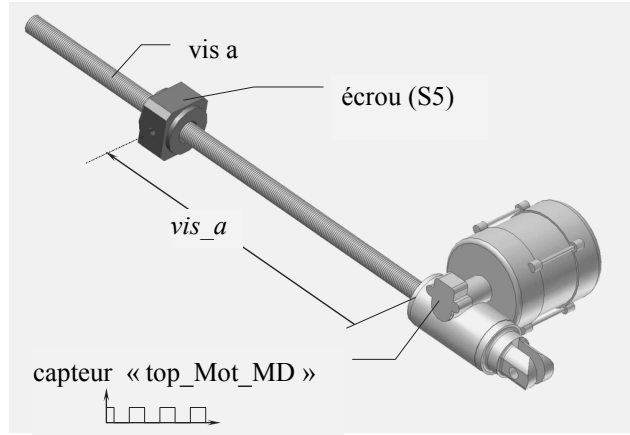


figure 1

Le modèle de commande du fauteuil est défini par les grafquets donnés en **annexe 1** et page 6 **figure 1**.

**Analyse des différents modes de fonctionnement du fauteuil**

La position en hauteur de l'assise du fauteuil est connue indirectement en fonction de la variable numérique notée **vis\_a**, qui repère dans le vérin électromécanique de montée-descente la position de l'écrou par rapport à la vis appelée vis a.



De même la position angulaire du dossier est connue indirectement en fonction de la variable **vis\_d**, qui repère dans le vérin d'inclinaison la position de l'écrou par rapport à la vis appelée vis d. A l'instant initial le fauteuil est immobile dans une configuration définie par les valeurs des variables **vis\_a** et **vis\_d** : avec  $vis_a > vis_{a1}$  et  $vis_d < vis_{d1}$ ,  $vis_{a1}$  et  $vis_{d1}$  étant deux valeurs numériques mémorisées. L'indice 1 signifie que ces deux paramètres interviennent comme paramètres de contrôle dans la séquence P1, qui place le fauteuil dans la configuration préétablie P1.

Le praticien enclenche l'interrupteur marche, puis quelques secondes plus tard donne une impulsion sur b (durée d'appui inférieure à 0,5 s)

□ **Question 1.1**

a) Décrire depuis l'instant initial les différentes situations caractérisant l'évolution du système, jusqu'au retour à la situation stable de départ.

Rappel : situation d'un ou de plusieurs grafquets = ensemble des étapes actives à un instant donné.

Notation : situation à l'instant  $t1$  :  $\{i, j, k, l\}$   $i, j, k, l$  étant les étapes actives à l'instant  $t1$ .

Les réponses seront écrites sur deux colonnes avec la description des évènements externes (variation d'état logique d'une variable d'entrée) dans la colonne de gauche et la description des évènements internes dans la colonne de droite (chaque changement de situation constitue un évènement interne). Ne pas faire figurer les étapes du *grafquet de comptage GC* dans les situations.

<i>Evènements externes</i>	<i>Situations</i>
	{ 0 }
<i>marche = 1</i>	{ 1, ..... }

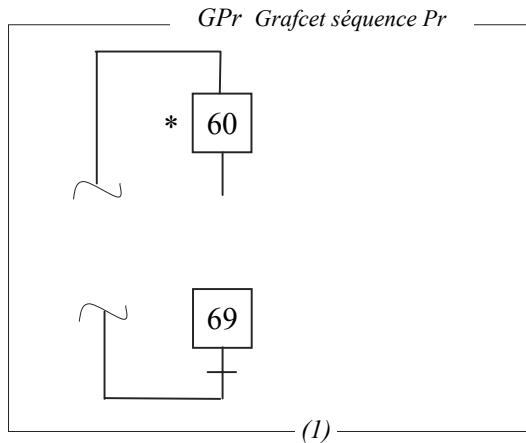
b) En partant de la même situation de départ que précédemment ( $vis_a > vis_{a1}$  et  $vis_d < vis_{d1}$ ), considérons la séquence d'évènements externes suivante : enclenchement de marche puis quelques secondes plus tard appui de façon continue sur b durant 4 secondes. Décrire en colonnes la suite des différentes situations montrant le comportement du système.

c) A un instant donné la situation des grafquets est la suivante : { 1, 50, 130, 13, 18 }. Le praticien donne alors une impulsion sur c (d'une durée inférieure à 0,5 s). Décrire la suite des différentes situations. Quel est l'intérêt de ce comportement ?

d) Le fauteuil étant immobile dans une position quelconque avec  $er = 0$  et  $ec = 0$ , la situation des grafquets étant  $\{ 1, 50, 10, 100 \}$ , décrire la suite des événements externes permettant d'atteindre la situation  $\{ 1, 50, 10, 532 \}$ .

La séquence Pr (retour à la position précédente) doit commander l'exécution des tâches suivantes :

- modifier l'inclinaison du dossier jusqu'à la position définie par  $vis\_d = vis\_dpr$ . (L'indice  $pr$  indique que  $vis\_dpr$  est un paramètre de contrôle de la séquence Pr)
- allumer l'éclairage central et simultanément rincer la cuvette pendant 5 secondes
- envoyer un signal logique SPC d'une durée de 4 secondes en fin de séquence (Ce signal permettant d'autoriser certaines fonctionnalités au niveau des instruments).



e) A quelle étape est mémorisée la valeur  $vis\_dpr$  ?

Compléter sur votre copie le grafquet séquence Pr représenté ci-contre.

Le numéro de la dernière étape (69), ne préjuge pas du nombre d'étapes de la séquence.

f) Prise en compte de la sécurité :

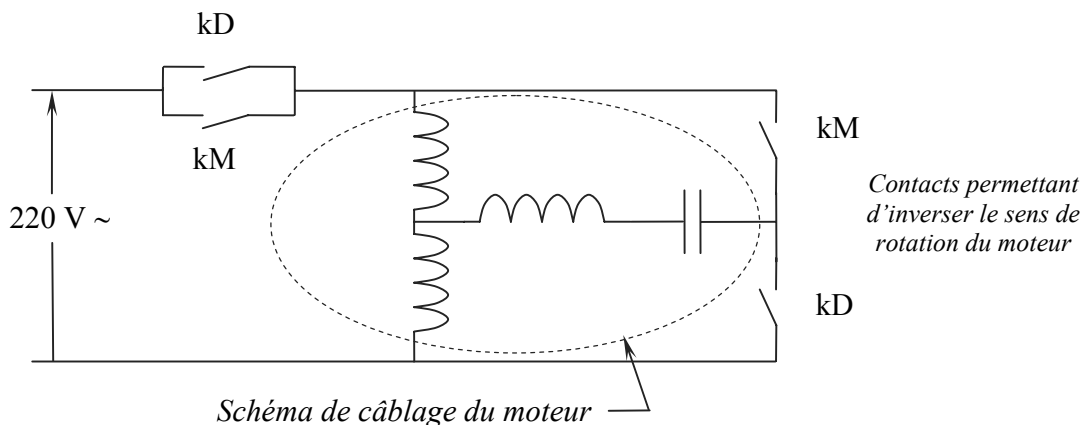
quelque soit le mode de marche, lorsque l'assise du fauteuil descend et si le capteur  $sécu$  est actionné ( $sécu = 1$ ) alors tous les mouvements sont stoppés, puis l'assise remonte pendant 2 secondes.

Ensuite le système revient en mode « marche normale ».

Proposer une modification simple du grafquet *GD de gestion des modes de marche* afin de satisfaire cette condition.

**Etude de la sous fonction technique de FT1.2 : commander le moteur entraînant la vis a de montée descente de l'assise :**

Le circuit d'alimentation en énergie du moteur est représenté ci-dessous. Ce moteur à trois phases est alimenté par une source de tension monophasée alternative. L'inversion du sens de rotation (montée ou descente) est obtenu en inversant le sens de circulation du courant électrique dans le moteur par l'intermédiaire des contacts  $kM$  et  $kD$  des contacteurs  $KM$  et  $KD$ .



Le circuit d'alimentation des contacteurs  $KM$  et  $KD$  est ébauché sur le **document réponse 1**.

Ces contacteurs, du type monostable, sont séparés, sans verrouillage mécanique interdisant de commander simultanément les deux mouvements.



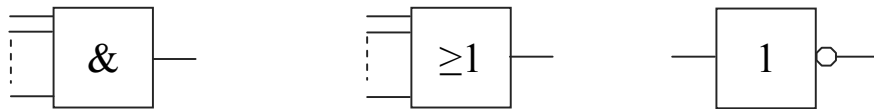
On note M et D les sorties binaires commandant les bobines KM et KD des contacteurs, (M provoquant la montée et D la descente).

Par sécurité, on désire que le circuit de commande interdise la possibilité d'alimenter simultanément les bobines KM et KD.

□ **Question 1.2**

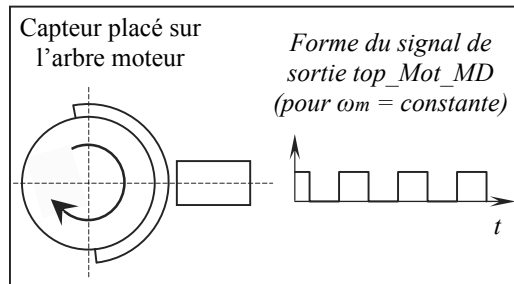
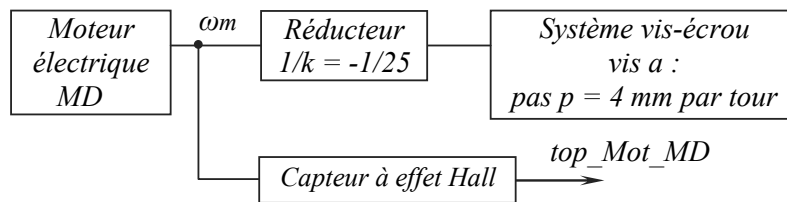
a) A partir des informations décrites dans les grafjets et de la condition de sécurité précédente, écrire les équations logiques des informations M et D commandant l'alimentation des bobines KM et KD des contacteurs.

b) Tracer sur le **document réponse 1** les logigrammes de commande des bobines KM et KD à l'aide des fonctions logiques ET, OU (à plusieurs entrées) et NON. Vous utiliserez les symboles logiques normalisés suivants :



**Etude de la sous fonction technique de FT1.2 : repérer la position angulaire du rotor du moteur de montée et descente de l'assise.**

Un capteur à effet Hall, placé au niveau de l'arbre (rotor) du moteur délivre un signal appelé *top\_Mot\_MD*. La course de l'écrou par rapport à la vis est égale à  $L_v = 155 \text{ mm}$



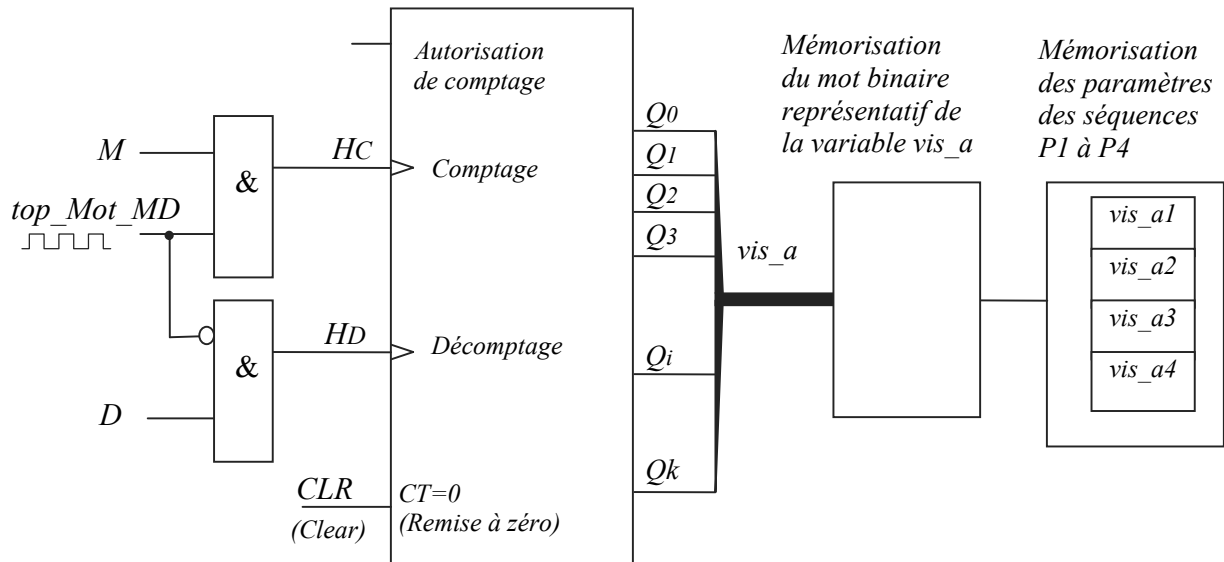
Objectif : Dans le cadre de la mise au point du système, on se propose d'étudier cette fonction en logique câblée.

□ **Question 1.3**

Le grafjet de comptage GC (axe MD) est représenté page 6, **figure 1**.

Déterminer le nombre d'impulsions délivrées par le capteur lorsque l'écrou se déplace d'une course  $L_v$  par rapport à la vis. Quelle est la résolution en mm avec laquelle est connue la position axiale de l'écrou par rapport à la vis ?

La fonction comptage-décomptage est assurée par des compteurs-décompteurs binaires. Ces derniers sont représentés globalement de façon simplifiée sur le schéma suivant.



Ce compteur-décompteur comporte deux entrées d'horloge, une de comptage ( $HC$ ) et une de décomptage ( $HD$ ).

La table de vérité est décrite ci-dessous.

$CLR$	$HC$	$HD$	$q_{n+1} = vis\_a$	
0	X	X	$q_{n+1} = q_n$	mémorisation
1	X	X	0	remise à zéro
0	$\uparrow$	0	$q_{n+1} = q_n + 1$	incrémentement
0	0	$\uparrow$	$q_{n+1} = q_n - 1$	décrémentement

$X$  : valeur logique quelconque

$q_n$  : état de la sortie avant la

modification d'une des variables

et  $q_{n+1}$  son état après cette

modification.

#### □ Question 1.4

a) D'après les graficets, comment obtenir l'information  $CLR$  ?

Les sorties du bloc de comptage  $Q_0$  (LSB : Least Significant Bit ou bit de poids faible) à  $Q_k$  (MSB Most Significant Bit ou bit de poids fort) constituent un mot binaire naturel  $Q_k Q_{k-1} \dots Q_i \dots Q_1 Q_0$ .

b) Donner la relation générale permettant de calculer la valeur décimale de la variable  $vis\_a$  en fonction de l'état des sorties.

c) Après une manœuvre, le mot binaire de sortie du compteur a pour valeur :

$Q_9 Q_8 Q_7 Q_6 Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 = 0011111010$

(toutes les sorties supérieures à  $Q_9$  sont à l'état 0)

Donner la valeur décimale de  $vis\_a$ .

En partant de la situation précédemment obtenue, on envisage la séquence de commande M ou D décrite sur le **document réponse 2**.

d) Compléter la feuille en traçant le signal  $top\_Mot\_MD$  et en indiquant la valeur décimale de la variable  $vis\_a$ . Après le relâchement du signal de commande D on constate que la durée des impulsions  $top\_Mot\_MD$  augmente.

Quelle en est la cause ?

Quel est l'état du compteur après le relâchement de D ?

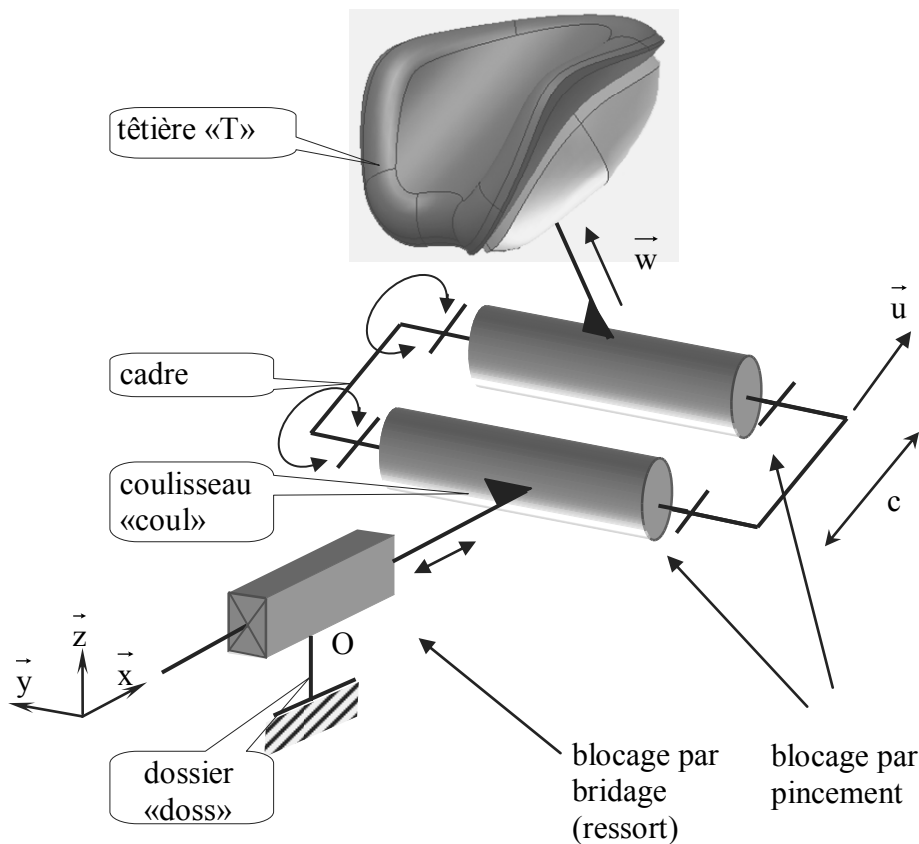
Quel défaut cela occasionne t-il ?

e) Proposer une solution pour éliminer ce défaut. Tracer le schéma logique du (ou des) composant(s) utilisé(s).

*Partie II- Analyse des fonctions techniques FT3.1 : positionner le coulisseau porte têtère, FT3.2 : bloquer le coulisseau et FT3.3 : orienter et bloquer la têtère.*

Afin d'assurer un acte dans les meilleures conditions, le praticien doit placer la tête du patient dans une position bien adaptée.

Dans un premier temps, ce n'est pas le cas. A deux mains, le praticien tient la têtère sur laquelle repose la tête du patient et appuie sur un bouton qui commande le déblocage. Tant qu'il appuie, les pièces de ce sous ensemble sont mobiles entre elles. Il relâche le bouton quand il juge que la position de la tête de son patient est adéquate. Cette position est ensuite conservée.



Le déblocage des liaisons est assuré par 2 petits vérins pneumatiques à simple effet.

La modélisation de la liaison coulisseau «coul» par rapport au dossier «doss» est une liaison glissière de direction  $\vec{x}$ .

On se propose d'analyser les solutions techniques retenues pour la réalisation du mouvement de translation du coulisseau « coul » par rapport au dossier «doss» et de son blocage.

□ **Question 2.1**

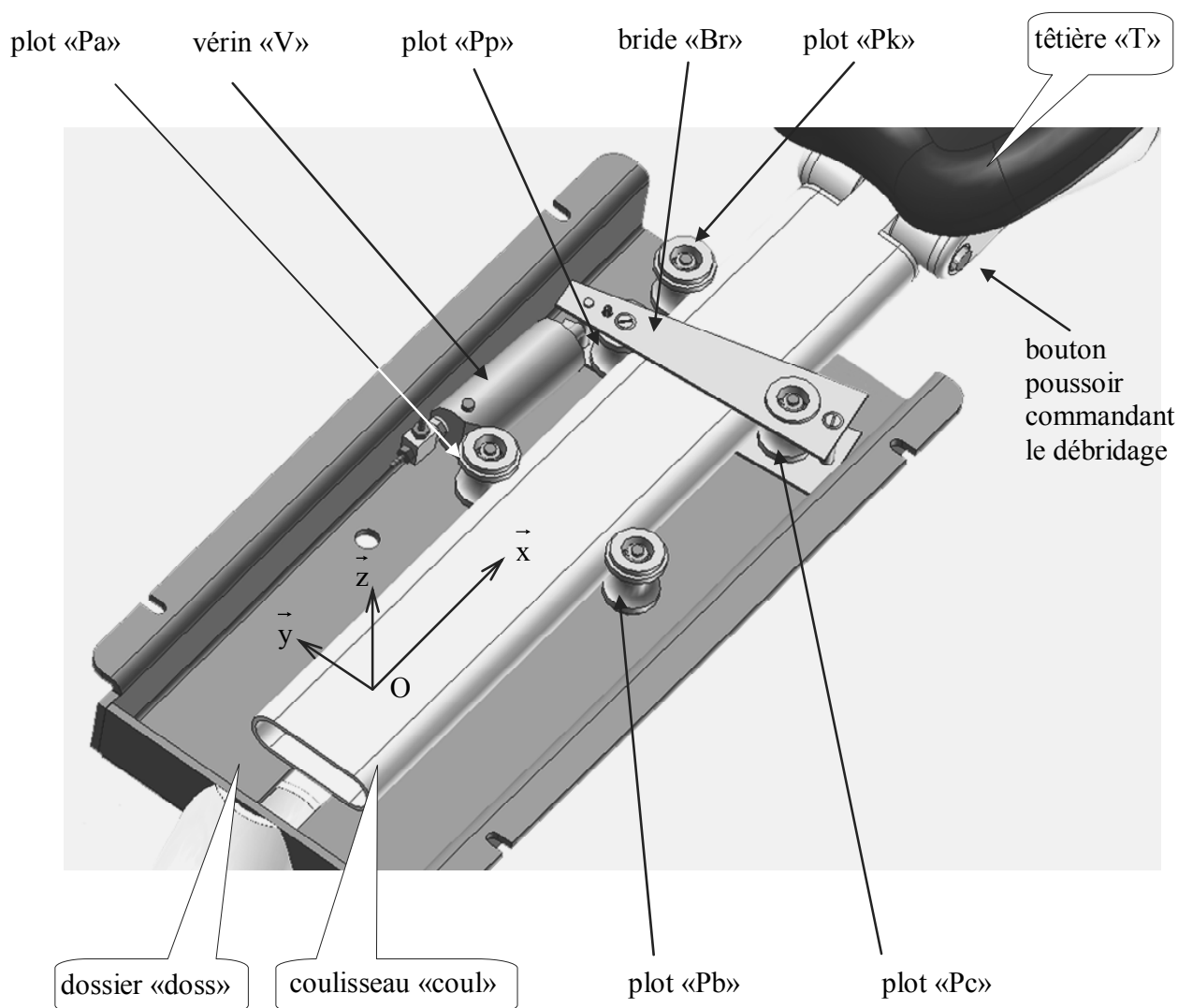
Lorsque aucun blocage n'est activé, quels sont les degrés de liberté que possède la têtère « T » par rapport au dossier « doss » ?

Quelle est la liaison équivalente réalisée par la mise en série des 3 liaisons ?

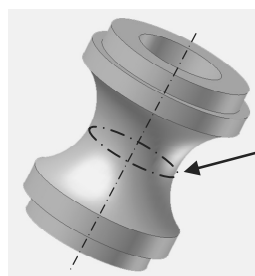
Lorsque le coulisseau n'est pas bridé, il peut évoluer entre les 4 plots Pa, Pb, Pc et Pk qui sont en liaison encastrement avec le dossier.

Lors du blocage, seuls les plots Pb, Pc et Pp sont en contact avec le coulisseau. Ces contacts sont assimilés à des contacts ponctuels en B, C et P. (voir **document réponse 3**)

Le plot Pp est alors le plot presseur. Ce plot Pp est en liaison encastrement avec la bride « Br ».



Forme d'un plot :



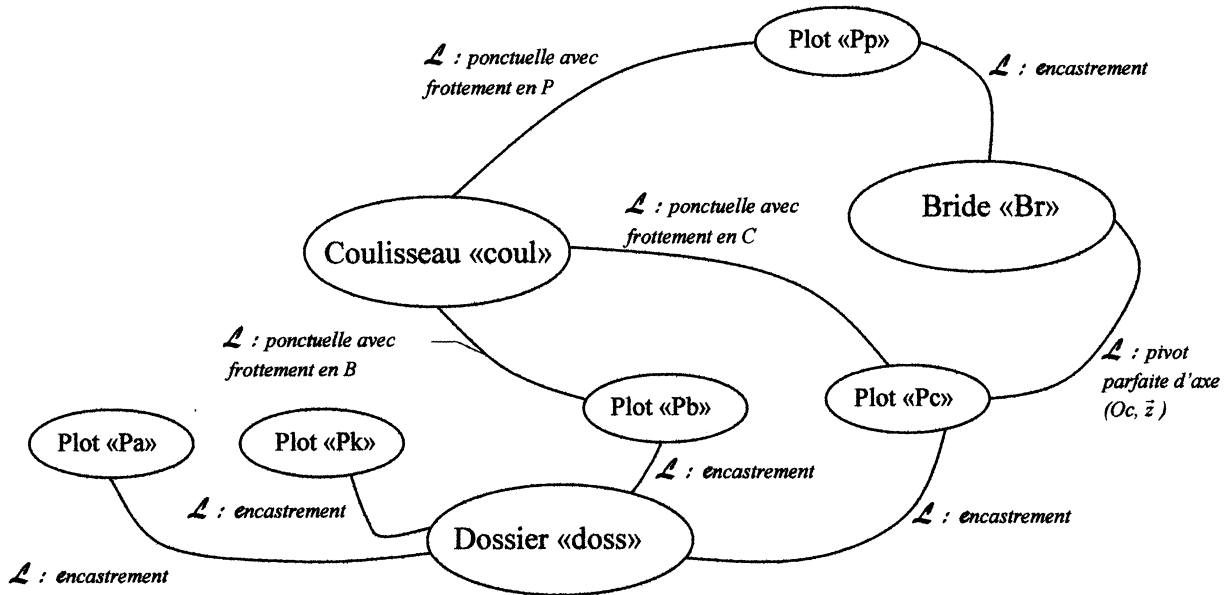
cercle de rayon « r » et de centres respectifs  $O_a$ ,  $O_b$ ,  $O_c$ ,  $O_p$  et  $O_k$

Objectifs dans cette étude :

Dans la phase de blocage du coulisseau par la bride, on veut s'assurer que sous l'effet d'un effort axial extérieur d'intensité  $E$  :

- l'orientation de la bride par rapport au coulisseau permet le blocage.
- l'effort créé par le ressort de rappel du vérin simple effet (voir la **figure** page suivante) est suffisant pour maintenir le coulisseau immobile par rapport au dossier.

Graphe de structure du mécanisme de translation :



(Les trois liaisons ponctuelles ont leur normale de contact suivant la direction  $\vec{y}$ ).

Hypothèses admises :

L'étude est ramenée à une étude plane, dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$ , plan médian du coulisseau, contenant les centres  $O_a, O_b, O_c, O_p$  et  $O_k$  des plots.

L'étude statique plane est conduite dans la position considérée de la bride sur les **documents réponse 3 et 4** et à la limite du glissement aux contacts entre les plots  $P_b, P_c, P_p$  et le coulisseau.

Prendre  $f = \tan \varphi$ ,  $f$  étant le facteur de frottement et  $\varphi$  l'angle de frottement.

$\alpha = (\vec{y}, \vec{u})$  permet de repérer l'orientation de la bride par rapport au coulisseau.

L'effet de la pesanteur sur les différentes pièces est négligé.

Notation :

On appelle  $S$  le sous ensemble, considéré comme rigide, tel que  $S = \{\text{coulisseau, cadre, tête}\}$

Les actions mécaniques (A.M.) sont modélisées par les torseurs suivants :

- actions mécaniques exercées par la tête sur  $S$  :  $\{tête \rightarrow S\}_O : \left\{ \begin{matrix} -E \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_O$  avec  $E > 0$
- actions mécaniques exercées par le vérin sur la bride :  $\{vérin \rightarrow bride\}_J : \left\{ \begin{matrix} J \cdot \vec{x}_1 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_J$  avec  $J > 0$
- actions mécaniques exercées par un plot  $P_i$  sur le coulisseau :

$$\left\{ P_i \rightarrow coul \right\}_i : \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_i = \pm X_i \cdot \vec{x} \pm Y_i \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_i \quad i \in \{B, C, P\}$$

avec  $X_i$  et  $Y_i$  les valeurs absolues des coordonnées cartésiennes du vecteur  $\vec{R}_i$

□ **Question 2.2**

Sur le **document réponse 3**, en tenant compte du phénomène de frottement, représenter par leurs projections normales et tangentielles, orientées correctement, les actions mécaniques s'exerçant sur le coulisseau.

□ **Question 2.3**

Sur le **document réponse 4**, représenter les actions mécaniques s'exerçant sur la bride.

□ **Question 2.4**

a) En décrivant la démarche suivie, donner l'expression littérale de l'effort  $J$  en fonction de  $E$ ,  $e$ ,  $r$ ,  $b$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$  et  $\beta$ .

b) Donner l'expression littérale de l'angle  $\alpha$  limite permettant le bridage du coulisseau.

c) En prenant  $\alpha = 8^\circ$ , calculer  $J$  avec les données numériques disponibles:

$E = 100\text{N}$	$\tan \varphi = 0,1$	$\beta = 2^\circ$		
$b = 16\text{ mm}$	$e = 60\text{ mm}$	$h = 100\text{ mm}$	$r = 7\text{ mm}$	

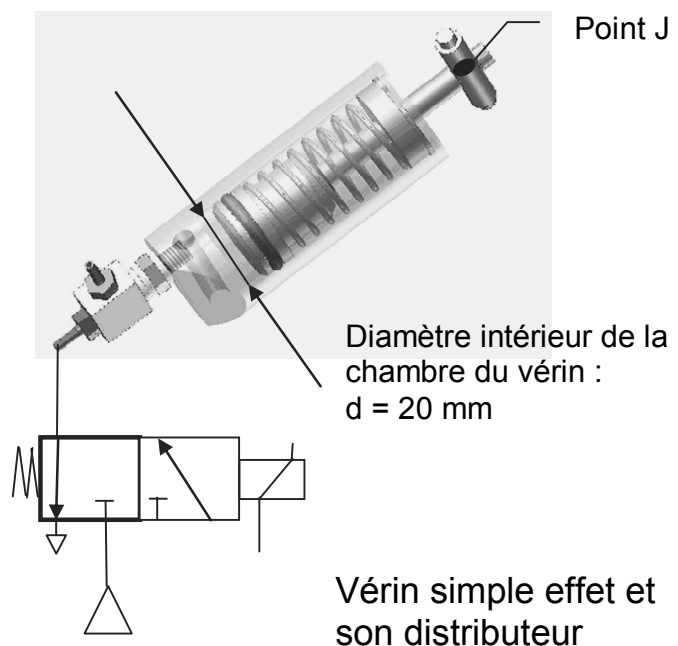
d) Le résultat de la question b) est-il remis en cause si le sens de  $\overrightarrow{E(\text{tête} \rightarrow S)}$  est inversé ? ( $E < 0$ ). Justifier.

Le vérin pneumatique simple effet est alimenté en air comprimé à la pression de  $6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

□ **Question 2.5**

On suppose que l'effort de bridage  $J$  est généré entièrement par le ressort hélicoïdal comprimé, contenu dans le vérin à simple effet.

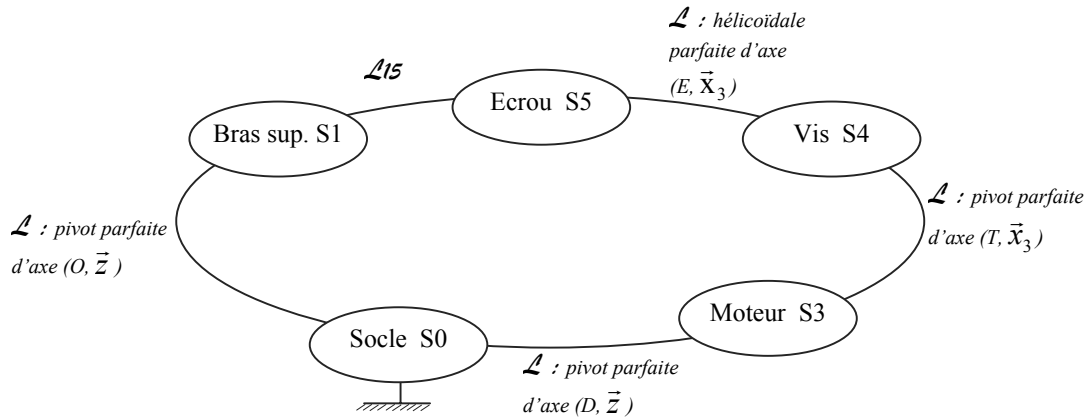
Afin de vérifier le dimensionnement du vérin, calculer la valeur de la pression minimale de l'air permettant le début du débridage du coulisseau, pour la valeur de  $J$  calculée à la question 2.4c.



*Partie III- Analyse des fonctions techniques FT1.1 : guider l'assise et FT1.2 : monter et descendre l'assise.*

**Etude de la chaîne de transmission de puissance permettant le mouvement de montée ou de descente de l'assise.**

L'annexe 2 représente une vue en plan du mécanisme de guidage de l'assise S2 et montre l'installation du vérin électromécanique actionnant la rotation du bras S1.



Paramétrage :  $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$  repère la position angulaire de S1 par rapport à S0.

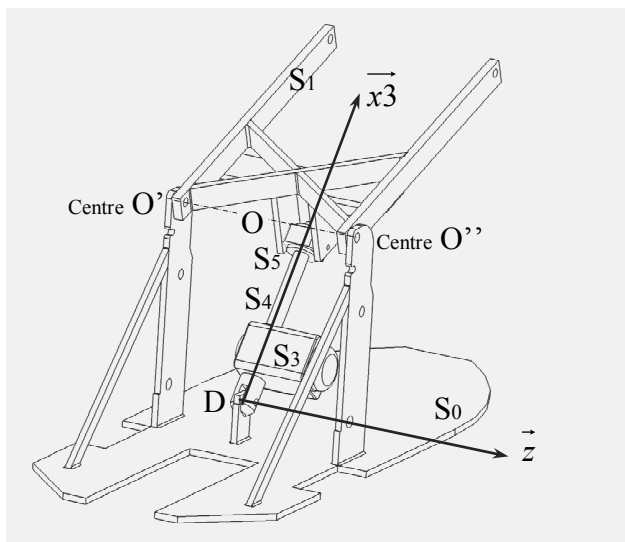
$\theta_3 = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$  repère la position angulaire de S3 par rapport à S0.

$x = DE$  repère la position axiale de l'écrou S5 par rapport à l'ensemble {vis S4-motoréducteur S3}. Les différents paramètres dimensionnels sont définis sur l'annexe 2.

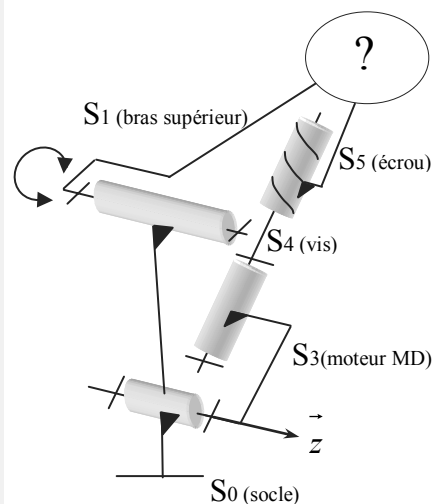
Le mouvement de rotation de la vis S4 par rapport au motoréducteur S3 provoque le mouvement de rotation du bras supérieur S1 par rapport au socle S0.

Ce mouvement correspond à la mobilité utile du système étudié.

Le point O est tel que  $\vec{O'O} = \vec{OO''} = a\vec{z}$



Système étudié



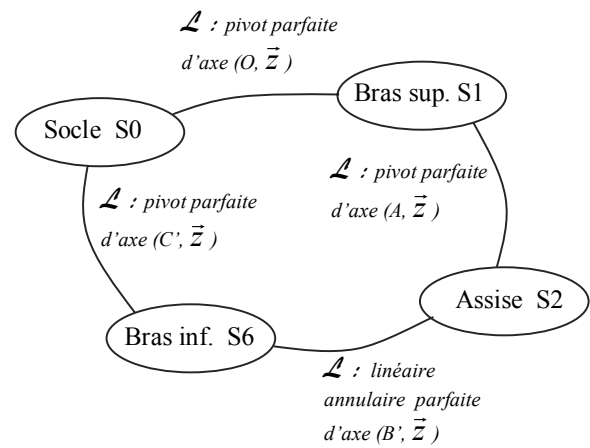
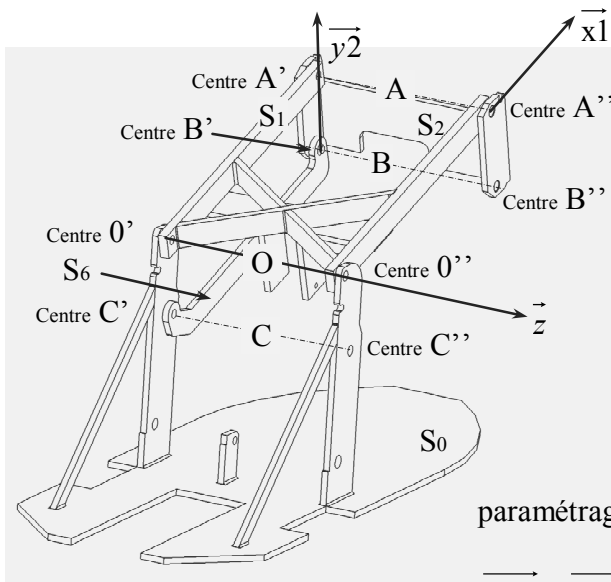
modélisation

□ **Question 3.1**

- a) En supposant l'absence de toute mobilité interne et sans écrire de fermeture de chaîne cinématique, rechercher la liaison (parmi les liaisons simples ou leur association en série ou en parallèle) qu'il faut installer entre l'écrou S5 et le bras supérieur S1 afin de garantir l'isostatisme du modèle.
- b) Représenter la solution retenue par un graphe de structure et sous forme d'un croquis ou d'un schéma cinématique spatial.

**Analyse du guidage de l'assise par rapport au socle.**

Par une étude de fermeture de chaîne cinématique, on va caractériser le mouvement de l'assise et analyser l'hyperstatisme du système à parallélogramme.



paramétrage géométrique :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{O'O} &= \overrightarrow{OO''} = \overrightarrow{A'A} = \overrightarrow{AA''} = \overrightarrow{C'C} = \overrightarrow{CC''} = \overrightarrow{B'B} = \overrightarrow{BB''} = a\vec{z} \\ \overrightarrow{O'A'} &= \overrightarrow{C'B'} = \overrightarrow{O''A''} = Lx\vec{1} \\ \overrightarrow{C'O'} &= \overrightarrow{B'A'} = \overrightarrow{B''A''} = \overrightarrow{C''O''} = \overrightarrow{CO} = c\vec{y}2 \end{aligned}$$

Le mouvement de rotation du bras supérieur S1 par rapport à S0, associé à la présence du bras inférieur arrière S6, provoque la montée ou la descente de l'assise S2 .

Notation : le torseur cinématique caractérisant le mouvement du solide *i* par rapport au solide *j* sera noté :

$$\{V_{i/j}\}_A = \left\{ \begin{array}{l} p_{ij} \\ q_{ij} \\ r_{ij} \end{array} \middle| \begin{array}{l} u_{ij} \\ v_{ij} \\ w_{ij} \end{array} \right\} ; \begin{array}{l} p_{ij} \\ q_{ij} \\ r_{ij} \end{array} \text{ correspondant à la résultante générale du torseur et } \begin{array}{l} u_{ij} \\ v_{ij} \\ w_{ij} \end{array} \text{ au moment du}$$

torseur, exprimé au point A, dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ . (Voir l'annexe 2).

Tous les résultats sont exprimés dans la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ .



□ **Question 3.2**

La fermeture cinématique au point O  $\{V_{0/0}\}_O = \{V_{0/6}\}_O + \{V_{6/2}\}_O + \{V_{2/1}\}_O + \{V_{1/0}\}_O$  en projection sur la base  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$  permet d'écrire les 6 équations scalaires suivantes :

$$p_{62} = 0 \quad \text{éq (1)}$$

$$q_{62} = 0 \quad \text{éq (2)}$$

$$r_{06} + r_{62} + r_{21} + r_{10} = 0 \quad \text{éq (3)}$$

$$-r_{06} \cdot c \cdot \cos(\theta_1 - \alpha_0) + q_{62} \cdot a - r_{62} \cdot c \cdot \cos(\theta_1 - \alpha_0) = 0 \quad \text{éq (4)}$$

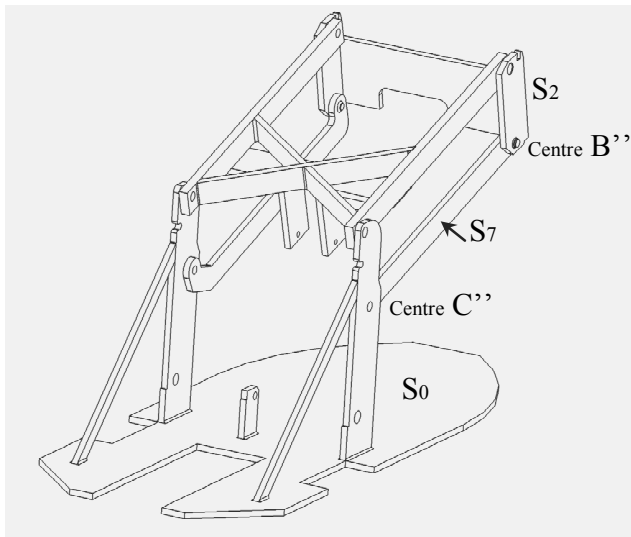
$$r_{06} \cdot c \cdot \sin(\theta_1 - \alpha_0) + r_{62} \cdot (c \cdot \sin(\theta_1 - \alpha_0) - L) - p_{62} \cdot a - r_{21} \cdot L = 0 \quad \text{éq (5)}$$

$$+ w_{62} + p_{62} \cdot c \cdot \cos(\theta_1 - \alpha_0) - q_{62} \cdot (c \cdot \sin(\theta_1 - \alpha_0) - L) = 0 \quad \text{éq (6)}$$

- Analyser ce système d'équations afin de déterminer le degré d'hyperstatisme de la chaîne.
- En déduire le torseur cinématique caractérisant le mouvement de l'assise S2 par rapport au socle S0.
- Préciser la nature de ce mouvement. Quelle est la trajectoire, dans S0, du centre de gravité G de l'assise ?
- Exprimer vectoriellement l'accélération de ce point G en mouvement par rapport au socle en fonction de  $(L, \dot{\theta}_1 \text{ et } \ddot{\theta}_1)$  et donner sa norme.

Pour le confort du patient, cette accélération est limitée à 0.4g.

Sur le système réel, un bras S7 est inséré comme le bras S6 mais d'entraxe  $C''B'' = L^*$ .



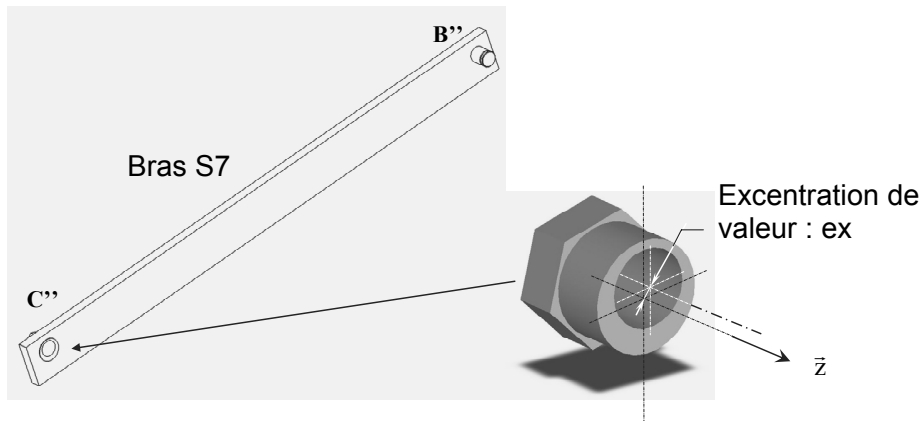
□ **Question 3.3**

a) Sans refaire tous les calculs, indiquer quel est l'intérêt d'installer ce bras S7 entre S2 et S0. Cela représente t-il un inconvénient ?

b) Préciser la condition géométrique que  $L^*$  doit respecter pour que le système reste globalement mobile.

c) Proposer sous forme d'un croquis ou d'un schéma une solution technologique permettant de satisfaire la condition précédente.

d) le concepteur a adopté la solution technologique suivante :  
 Insertion d'un excentrique entre le socle S0 et le bras S7 au niveau de la liaison en C''.

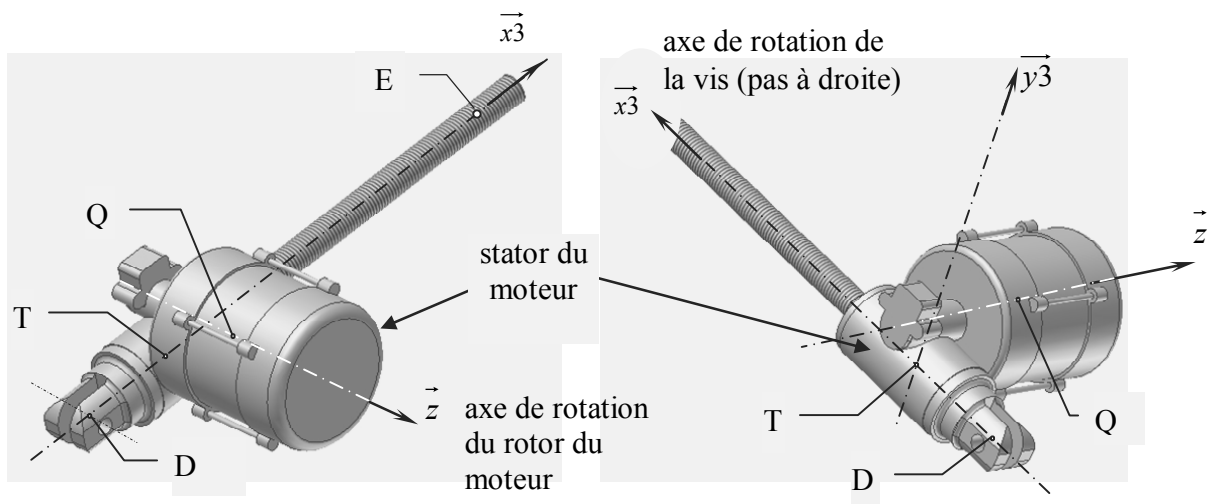


Expliquer en quoi cette solution permet de satisfaire la condition b).

### ***Etude dynamique en vue de dimensionner le moteur***

(Voir l'annexe 2).

L'objectif de cette étude dynamique est de déterminer le couple moteur que le stator exerce sur le rotor lors de phase de démarrage de montée de l'assise, cette valeur étant un des éléments de choix de la motorisation retenue pour l'amélioration des performances, étudiée en partie V.



Le modèle d'étude est simple : on admet que les liaisons internes à ce système sont toutes parfaites et on modélise les solides de la façon suivante :

solide	nom	masse	Autres particularités
S0	Socle	m0	Repère lié à S0 considéré comme galiléen
S1	Bras supérieur	négligée	
S2+S2'	Assise avec le patient	m2	$\vec{OA} = L\vec{x}_1$ (L constante)
S3	Stator du moteur	négligée	
S3'	Rotor du moteur, vis sans fin	m3'	Effet de la pesanteur négligé. Centre d'inertie : Q Le moment d'inertie du rotor du moteur par rapport à l'axe $Q\vec{z}$ est noté $J_m$ $\vec{DT} = u\vec{x}_3 \quad \vec{TQ} = q\vec{y}_3 + q'\vec{z}$ (u, q et q' constantes positives) $\omega_m$ : vitesse angulaire du rotor / stator du moteur (lorsque $\omega_m > 0$ , $\dot{\theta}_3 > 0$ )  $\overrightarrow{\omega_m(\text{rotor/stator})} = \omega_m \vec{z}$
S4	Vis, roue du réducteur	négligée	$\omega_v$ : vitesse angulaire de la vis de sortie du motoréducteur / stator du moteur $\overrightarrow{\omega_v(\text{vis/stator})} = \omega_v \vec{x}_3$ avec $k = \omega_m / \omega_v$ pas de la vis : p (pas à droite)
S5	Ecrou	négligée	
S6	Bras inférieur	négligée	

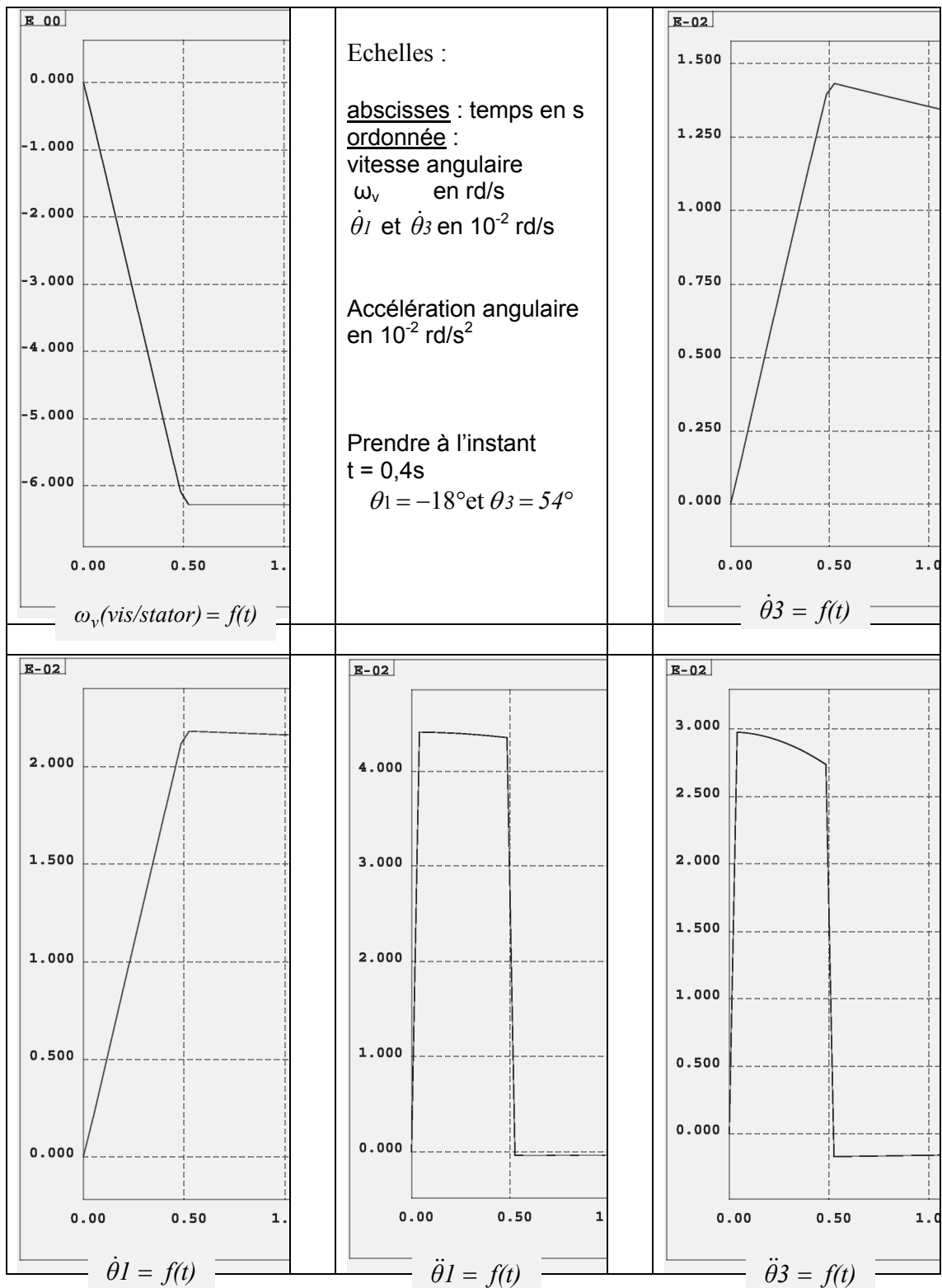
### □ Question 3.4

a) La performance d'un vérin électrique est liée à l'effort axial qu'il peut produire. Soit  $\vec{F}_v = F_v \vec{x}_3$  cet effort exercé par la vis du vérin électrique S4, au point E, sur l'écrou S5.

En exposant brièvement la méthode retenue, établir la relation littérale donnant  $F_v$  en fonction de  $\theta_1$  des paramètres cinématiques  $\omega_v$ ,  $\dot{\theta}_1$  et  $\ddot{\theta}_1$  et des paramètres présentés ci-dessus.

b) En déduire la relation littérale donnant le couple moteur  $C_m$  (couple électromagnétique exercé par le stator sur le rotor du moteur électrique), en fonction de  $\theta_1$ , des paramètres cinématiques  $\omega_m$ ,  $\dot{\omega}_m$ ,  $\dot{\theta}_1$ ,  $\dot{\theta}_3$ ,  $\ddot{\theta}_1$  et  $\ddot{\theta}_3$ . et des paramètres présentés ci-dessus.

b) Faire l'application numérique de  $C_m$  à l'instant  $t = 0,4$  s avec les valeurs des paramètres cinématiques à relever sur les courbes suivantes (représentant leurs évolutions temporelles) et les données en bas de page.



$J_m = 0,0004 \text{ kgm}^2$   
 $u = 85 \text{ mm}$   
 $q = 30 \text{ mm}$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$k = -25$   
 $L = 480 \text{ mm}$   
 $q' = 60 \text{ mm}$

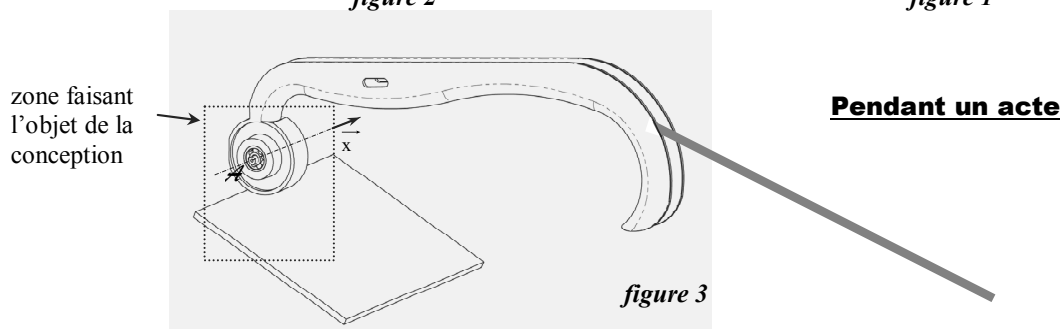
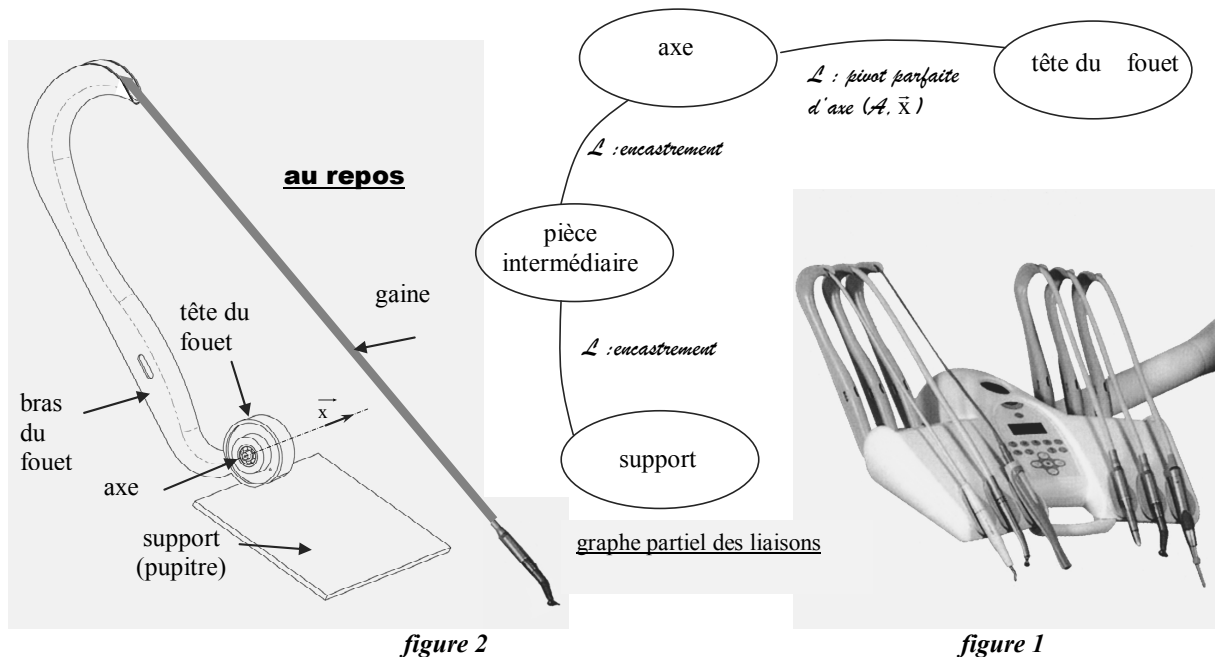
$m_2 = 146 \text{ kg}$   
 $m_3 = 1,3 \text{ kg}$   
 $p = 4 \text{ mm (par tour)}$

## Partie IV- Proposition de solution constructive : rappel élastique des fouets.

Les différents conduits amenant les énergies aux instruments – tels les turbines et micromoteurs – sont regroupés à l'intérieur d'une gaine souple. Elle contient les arrivées d'air, les fils électriques etc. A une extrémité, cette gaine est attachée à l'intérieur du bras du fouet et, l'instrument est branché à l'autre.

Lors d'un acte : au niveau de l'instrument, le praticien ne doit pas sentir de traction due à cette gaine (**figure 3**).

En revanche, à la fin d'un acte : le rappel à la position repos (**figure 2**) du bras du fouet doit être assisté.



La liaison pivot entre la tête du fouet et son axe est assurée par un jeu de 2 roulements à billes. (Voir les **documents réponse 5 et 6**). L'amplitude de la rotation utile est de  $100^\circ$ .

### □ Question 4.1

L'**objectif** est de concevoir les compléments permettant de :

- lier l'axe au support (liaison encastrement démontable) en créant une pièce intermédiaire.
- créer un dispositif compact de rappel élastique (peu variable en intensité), avec un réglage simple, accessible et continu de façon à adapter la tension de rappel de la gaine en fonction de la masse de l'instrument placé à son extrémité.

Toutes les initiatives de modifications et d'ajouts de pièces sont acceptées.

Cette solution sera représentée **au choix** sous la forme :

- d'un schéma cinématique spatial sur la copie.
- d'un schéma cinématique en 2 vues planes sur la copie.
- d'un croquis directement sur le ou les **documents réponse 5 et 6**.

## Partie V- Mise au point et amélioration des performances.

Afin d'améliorer les performances de rapidité d'élévation du fauteuil, l'utilisation d'un vérin avec moteur électrique à vitesse variable est retenue. Le choix de la motorisation de la chaîne d'énergie du mouvement d'élévation de l'assise se porte dans un premier temps sur un moteur à courant continu à commande d'induit.

Le schéma de la commande du moteur à courant continu est représenté sur l'**annexe 3**. Cette structure est organisée autour de deux boucles, une boucle interne portant sur le courant moteur et une boucle externe portant sur la vitesse angulaire de rotation de l'arbre moteur.

Chaque chaîne de mesure comporte un capteur associé à un filtre, noté  $M(p)$  pour la boucle de courant et  $V(p)$  pour la boucle de vitesse.

On se place dans le cas d'un mode de marche spécifique faisant appel à l'une des séquences P1, P2, P3 ou P4 dans laquelle la position de départ est connue et la position d'arrivée mémorisée (lors de l'activation de la macroétape M600).

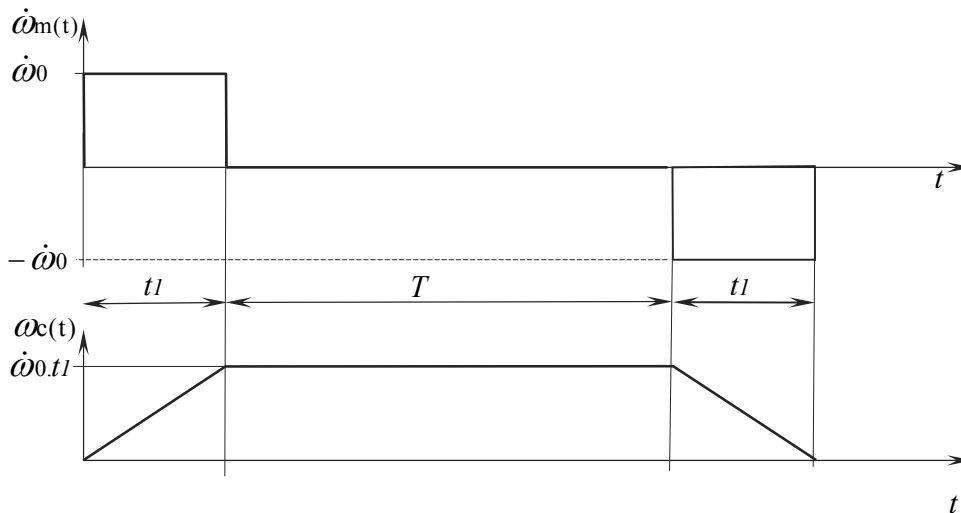
### Génération de la consigne de vitesse :

Le confort des patients impose de limiter l'accélération supportée à  $4 \text{ m.s}^{-2}$ .

Ceci a pour conséquence de limiter l'accélération angulaire  $\frac{d\dot{\omega}_m}{dt} = \dot{\omega}_m$  de l'arbre moteur.

Pour chaque mouvement de celui-ci on adopte la stratégie de commande suivante :

première phase d'accélération constante d'intensité  $\dot{\omega}_0$ , de durée  $t_1 = 0,5 \text{ s}$ , suivie d'une phase d'accélération nulle de durée  $T$  variable, et terminée par une phase de décélération constante  $-\dot{\omega}_0$  de durée  $t_1$ . La consigne de vitesse correspondante  $\omega_c(t)$  est donc de forme trapézoïdale.



### Identification du moteur :

On supposera sans justification que la fonction de transfert du moteur entre le courant d'induit et la tension d'alimentation est égale à :  $H(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{K.p}{(1+T_1.p)(1+T_2.p)}$  avec  $1 > T_1 > T_2$ .

Un relevé expérimental a permis de déterminer le diagramme de Bode de  $H(p)$  en amplitude et en phase.

Les résultats sont représentés sur le **document réponse 7**.

### □ Question 5.1

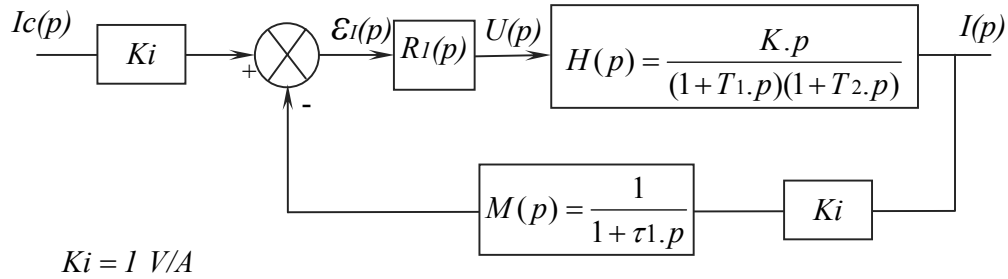
a) Représenter sur le **document réponse 7** les tracés asymptotiques.

On admettra une incertitude sur les brisures, mais on veillera à une bonne cohérence dans le comportement en hautes et basses fréquences.

b) Proposer un jeu de valeurs pour les paramètres  $K$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .

Quels noms donner aux paramètres  $T_1$  et  $T_2$  ?

**Etude de la boucle de courant**



□ **Question 5.2**

On considère que le couple résistant  $C_r$  est constant.

Justifier, en argumentant votre réponse, que le contrôle de l'accélération angulaire peut être obtenu par la régulation du courant d'induit  $I(t)$ .

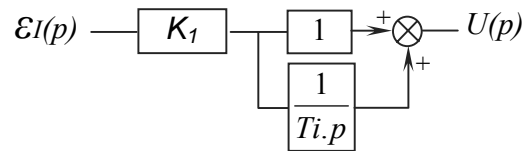
Etude du régulateur  $R_I(p)$  de la boucle de courant.

On souhaite qu'en réponse à une variation en échelon de la consigne de courant  $I_c(t) = I_{c0}.u(t)$  avec  $u(t) =$  échelon unité, l'écart  $E_I(t)$  en régime permanent soit borné par  $I_{c0}.(5/100)$  soit  $\lim_{t \rightarrow \infty} (E_I(t)) \leq 0,05.I_{c0}$

□ **Question 5.3**

a) Montrer qu'un correcteur proportionnel  $R_I(p) = K_1$  ne permet pas de satisfaire la condition précédente.

On envisage ensuite un correcteur dont la structure est décrite ci-contre.



b) De quel type de correcteur s'agit-il ?

Exprimer la condition liant  $K_1$  et  $T_i$  permettant de satisfaire le cahier des charges.

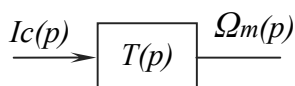
c) Pour  $T_i = T_2$  (valeur trouvée à la question **Q5.1**), calculer la valeur de  $K_1$ .

d) Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de courant.

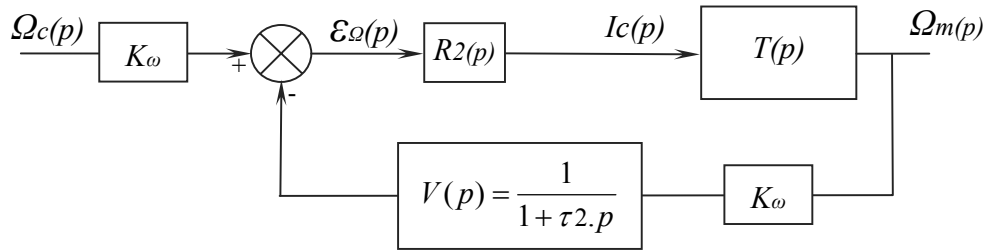
Pour la valeur de  $K_1$  calculée à la question précédente, et en prenant  $T_i = \tau_1 = T_2$  tracer sur le **document réponse 7** le diagramme asymptotique et donner les marges de stabilité : marge de phase  $\Delta\phi$  et marge de gain  $\Delta G$ .

e) En supposant  $C_r = 0$  (couple résistant nul) et  $T_i = T_2$ , donner la forme générale de la fonction

de transfert  $T(p) = \frac{\Omega_m(p)}{I_c(p)}$  (ne pas développer le dénominateur).



**Etude de la boucle de vitesse :**



Le diagramme de Bode de la fonction de transfert  $T(p).V(p).K_w$  est représenté sur le **document réponse 8** avec la valeur du gain  $K_1$  calculée à la question précédente.  
Le correcteur  $R_2(p)$  est un correcteur proportionnel  $R_2(p) = K_2$ .

□ **Question 5.4**

a) En utilisant la fonction de transfert déterminée à la question **Q5.3-e)**

et en admettant  $T_i = \tau_1 = \tau_2 = T_2$  compléter ce diagramme par le tracé asymptotique.

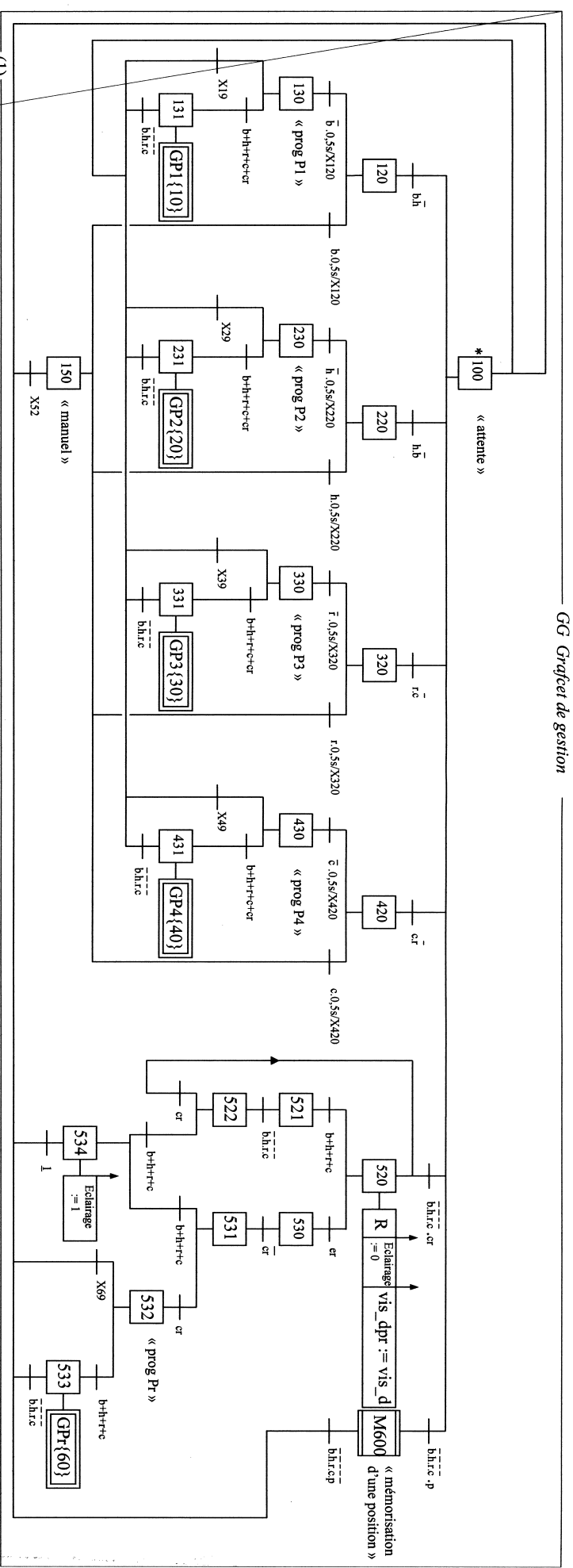
Par la suite on pourra utiliser ce diagramme sans aucune justification.

b) Déterminer la valeur du gain  $K_2$  assurant une marge de phase  $\Delta\varphi = 45^\circ$ .

c) Pour cette valeur de gain  $K_2$  préciser la valeur de la marge de gain obtenue et conclure quand à la stabilité du système bouclé.

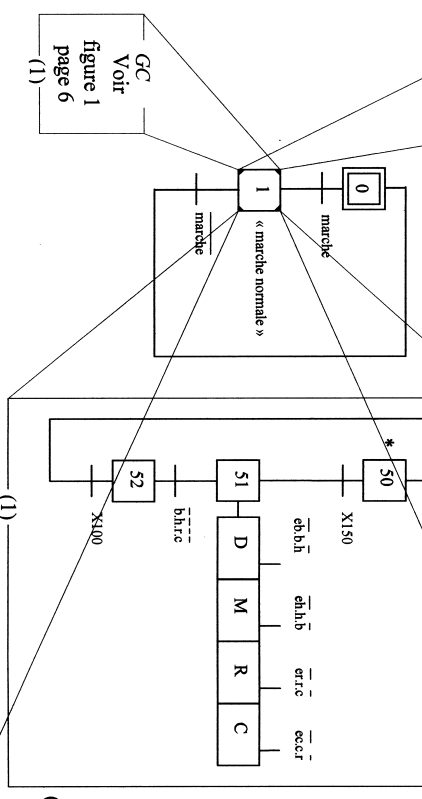
\_\_\_\_\_ fin \_\_\_\_\_





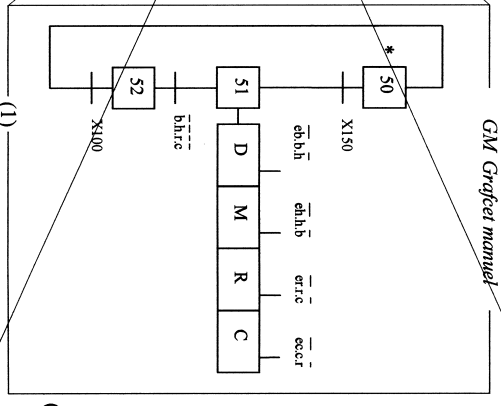
(1)

GD Grafcet de gestion des modes de marche



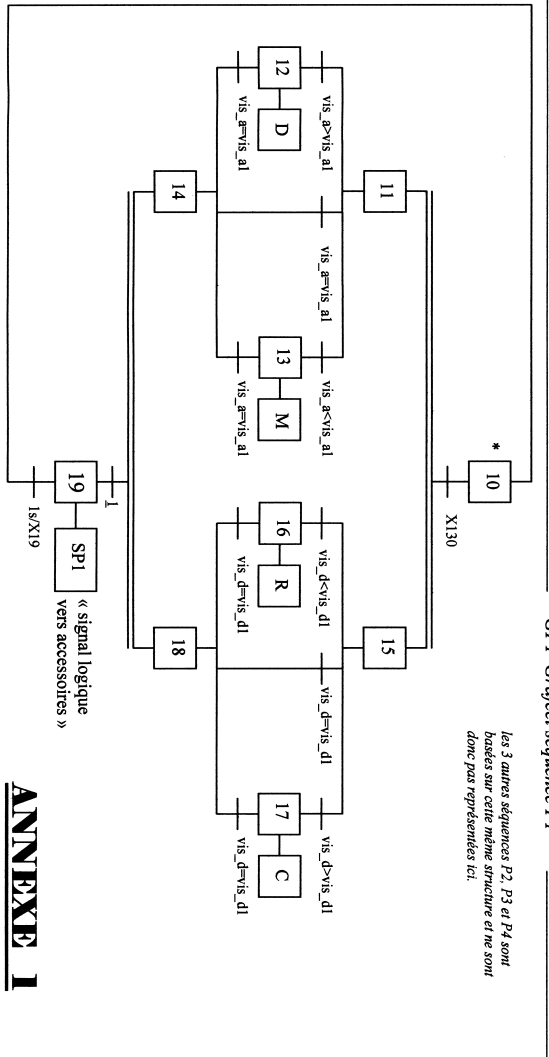
(1)

GM Grafcet manuel



(1)

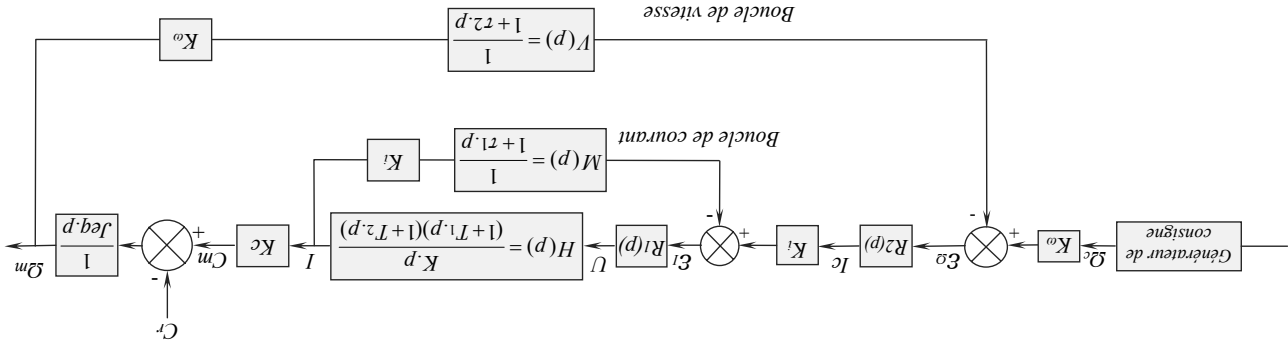
GPI Grafcet séquence P1



les 3 autres séquences P2, P3 et P4 sont basées sur cette même structure et ne sont donc pas représentées ici.

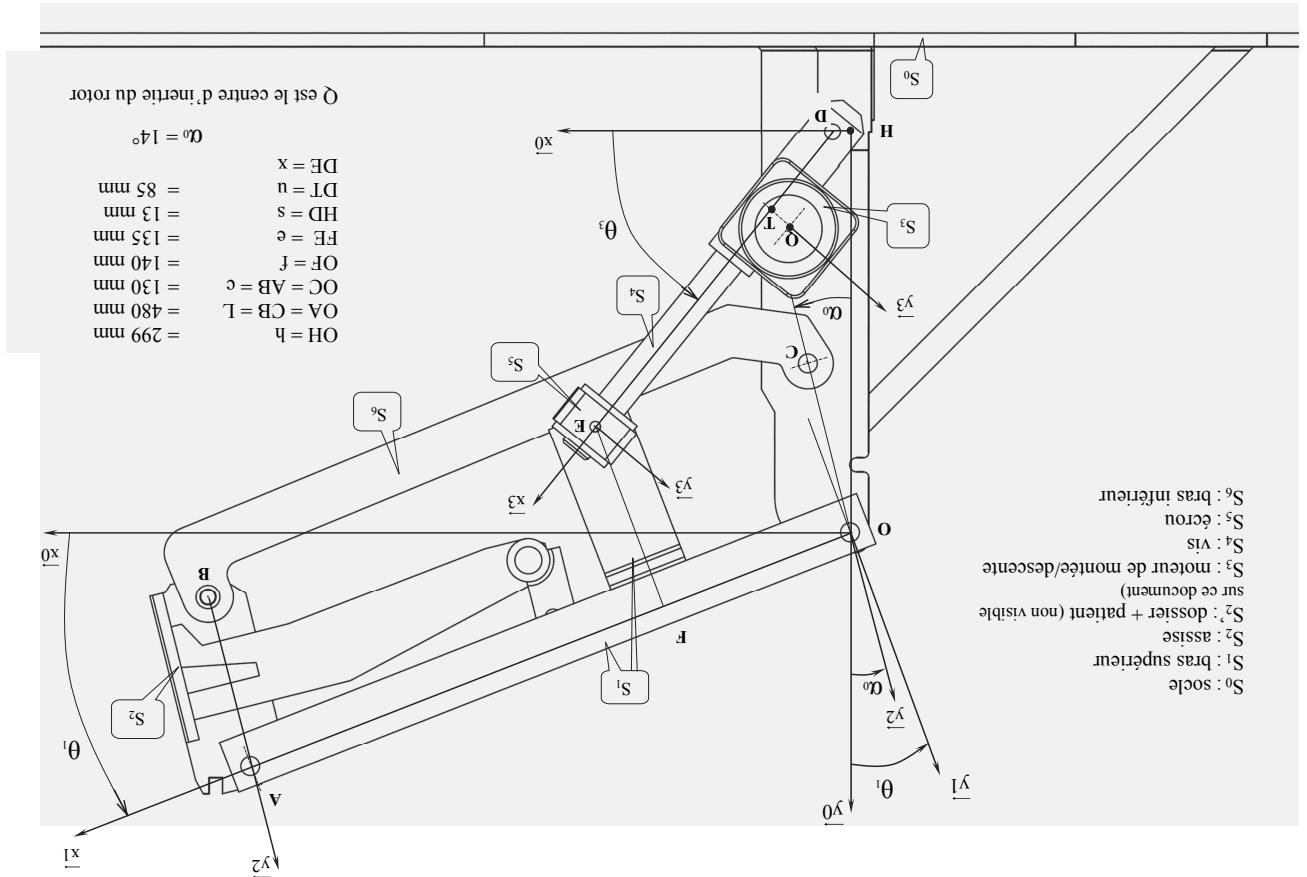
**ANNEXE 1**

## ANNEXE 3



Schema de commande du moteur électrique à courant continu de Montée-Descente de l'assise

## ANNEXE 2



~~NE RIEN ÉCRIRE~~

~~DANS LA PARTIE BARRÉE~~

~~NE RIEN ÉCRIRE~~ ~~DANS CE CADRE~~

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_ Modèle EN

Examen ou Concours \_\_\_\_\_ Série\* : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Épreuve/sous-épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

Né(e) le : \_\_\_\_\_ (le numéro est écrit, qu'il figure sur le

Document réponse

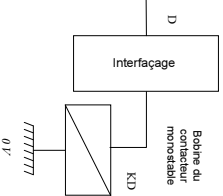
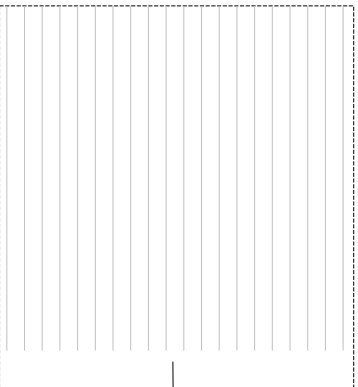
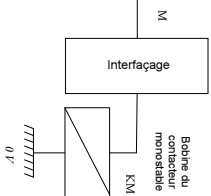
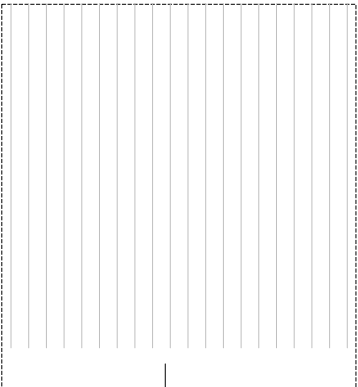
NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

*Circuit d'alimentation des bobines KM et KD des contacteurs du moteur entraînant la vis a :* M (Montée) ou D (Descente)



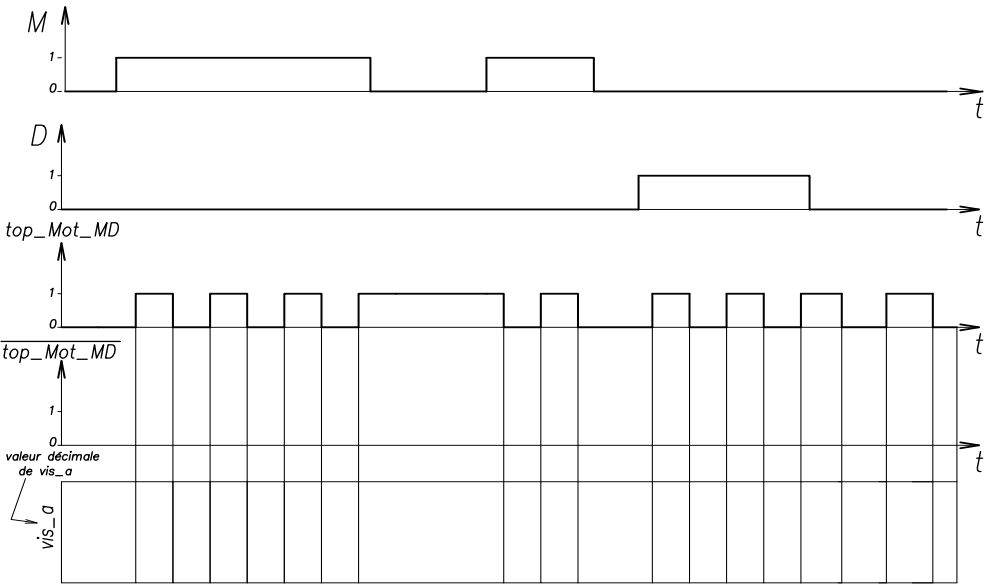
**Document réponse 1**  
**A rendre obligatoirement avec la copie**

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE



Document réponse 2

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

coulisseau : (échelle 1:1)

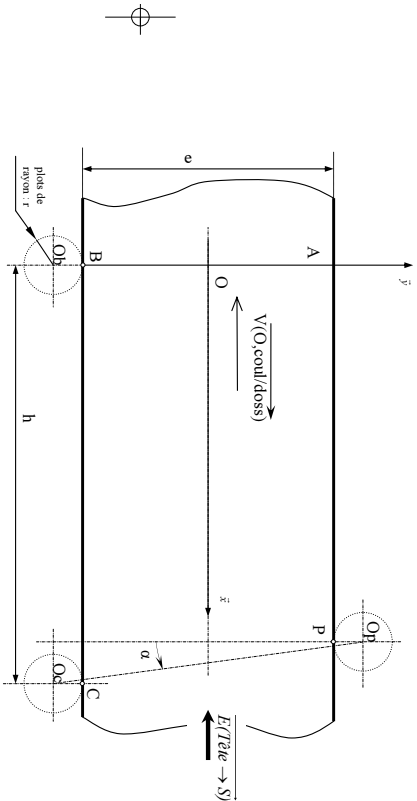
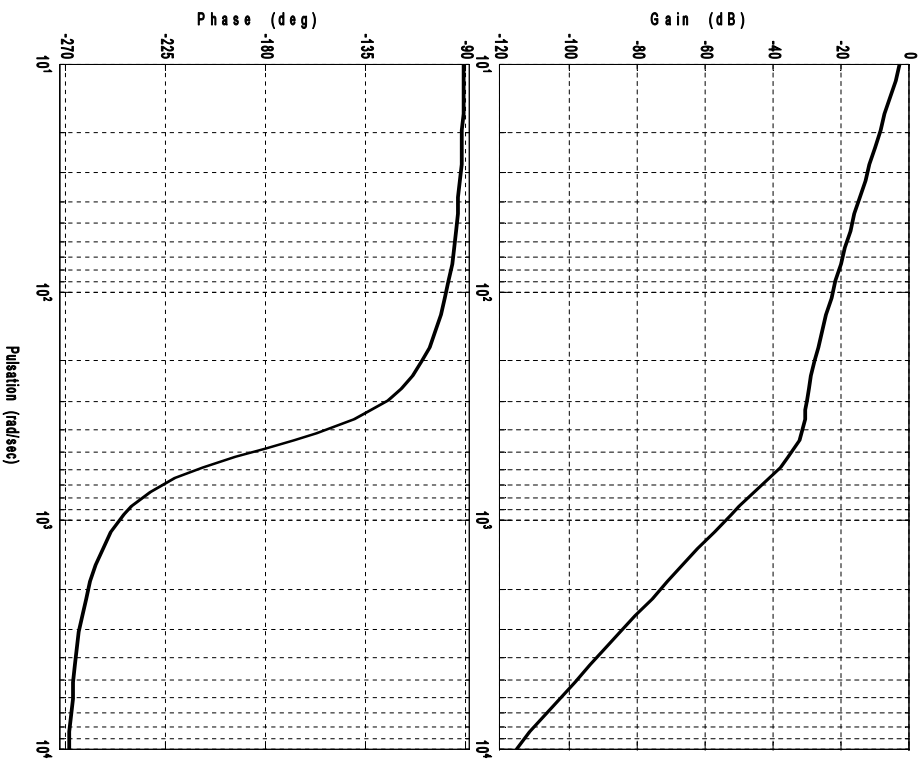


Diagramme de Bode de  $T(\omega) * V(\omega) * K_{\omega}$



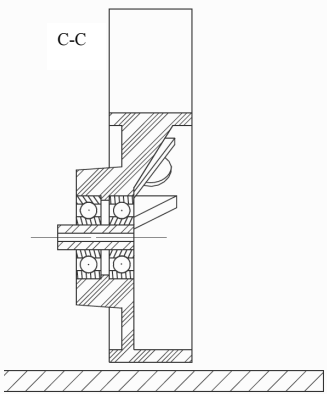
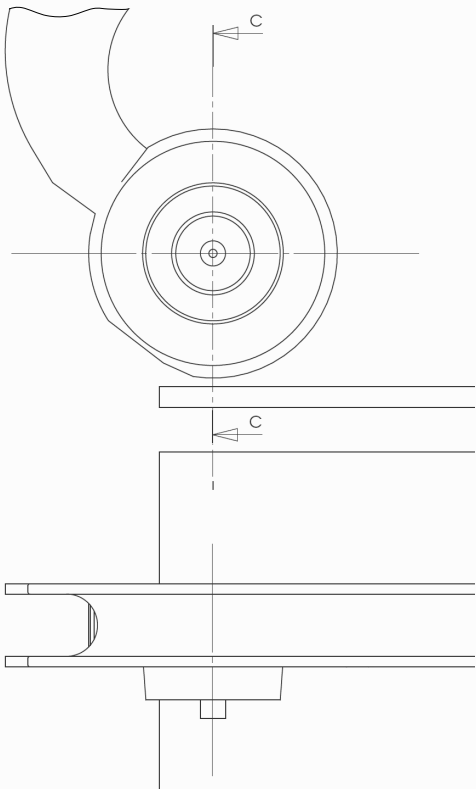
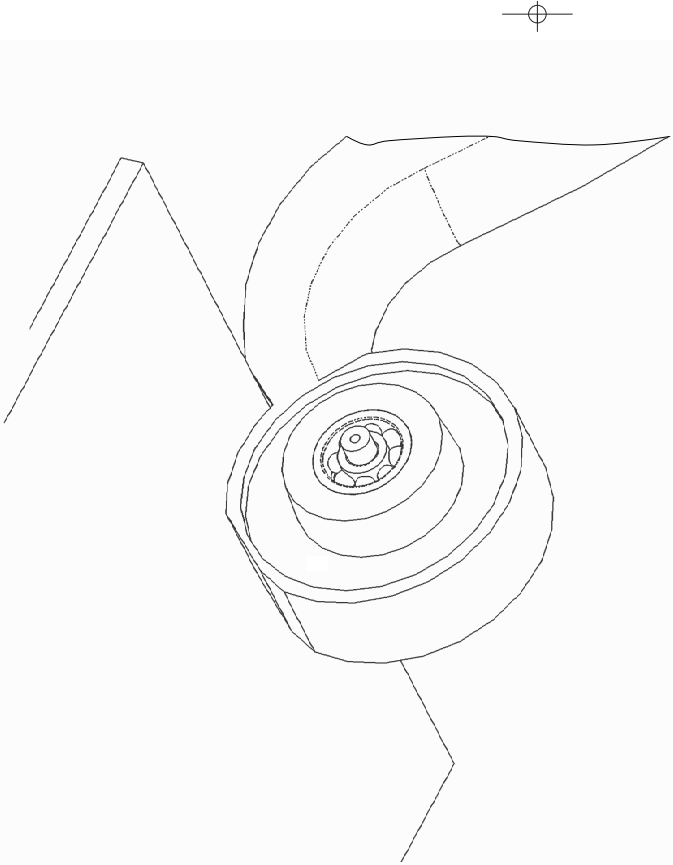
Document réponse 3

Document réponse 8



NE RIEN ÉCRIRE  
DANS LA PARTIE BARRÉE

NE RIEN ÉCRIRE  
DANS LA PARTIE BARRÉE



Echelle 1 : 1

Document réponse 5

Document réponse 6