

DS 05- Cabine de soudage

PTSI

Lundi 7 juin 2021

Table des matières

- I Exigence « Faire tourner le siège »
- II Exigence « Brider le siège et les fils »
- III Exigence « Positionner en hauteur »

5

7

10

Cabine de soudage

Présentation générale Le sujet porte sur l'étude d'une cabine de soudage (annexe 1 et figure 1) qui permet l'assemblage d'une partie de l'armature d'assise de sièges automobiles.

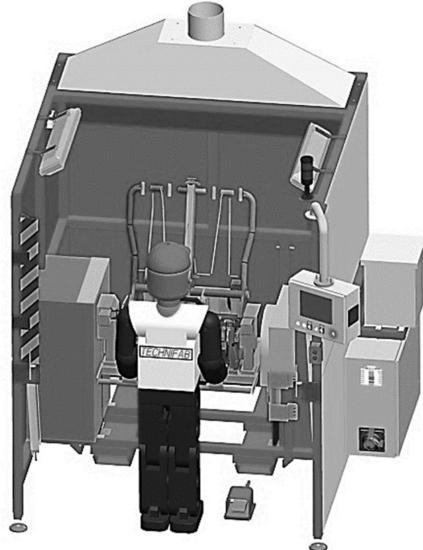


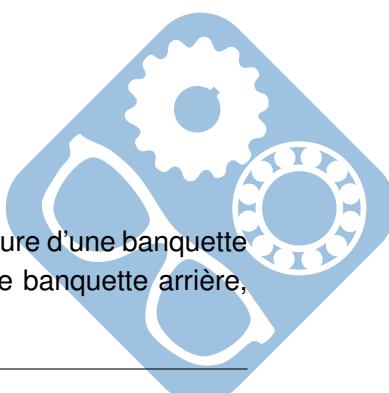
Figure 1 – Cabine de soudage

Le siège d'une automobile est composé d'une armature d'assise et d'un dossier, d'une mousse et d'une coiffe (figure 2).



Figure 2 – Composition d'un siège automobile

La cabine de soudage permet la mise en place et le soudage de 4 fils sur l'armature d'une banquette arrière de véhicule de tourisme lors de sa fabrication (figure 3). Dans le cas d'une banquette arrière, l'armature d'assise et l'armature de dossier ne font qu'une.



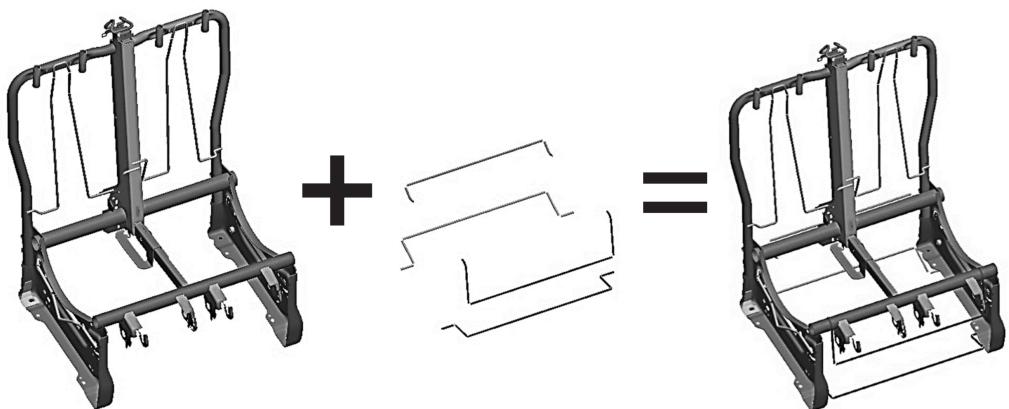


Figure 3 – Armature et fils à assembler

La cabine de soudage permet d'assurer une ergonomie optimale du poste de travail en s'adaptant à la taille de l'opérateur et en l'assistant dans les tâches de bridage et de retournement de l'ensemble armature et fils (figure 4).

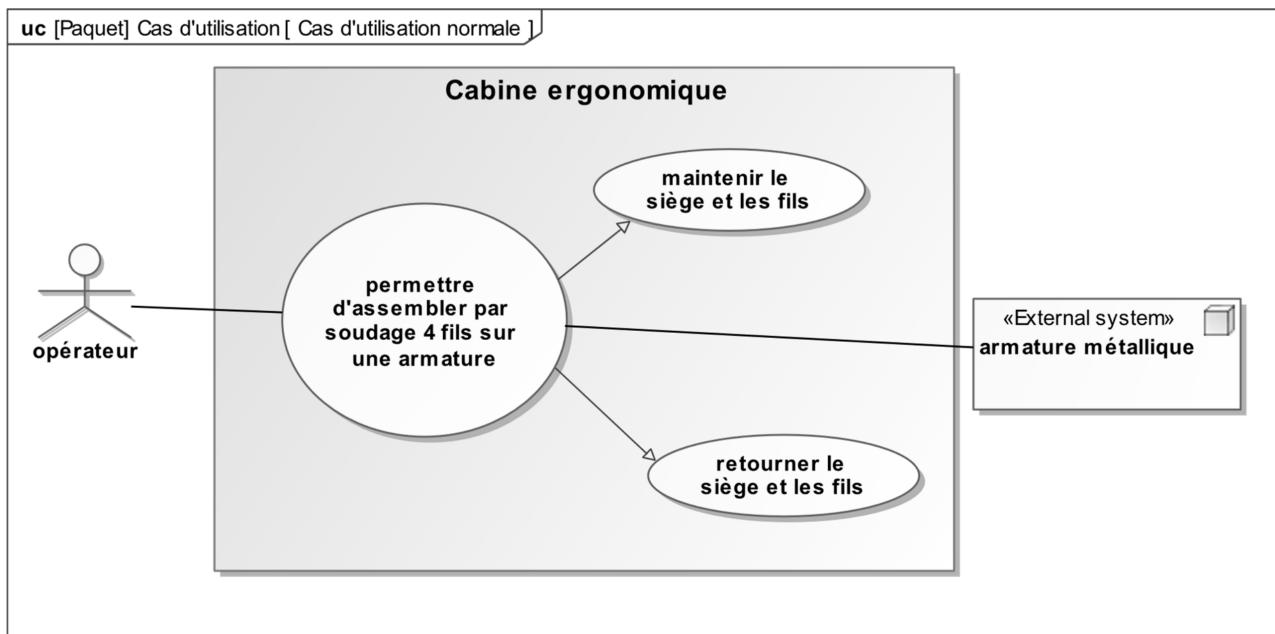
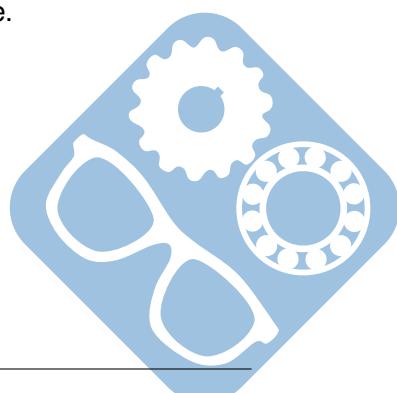


Figure 4 – Diagramme des cas d'utilisation

En fin de processus de soudage, l'armature du siège est prête à être habillée.

Le cahier des charges partiel est donné et présente les acteurs en relation avec le système (figure 5) ainsi que certaines exigences fonctionnelles (figure 6) étudiées dans cette étude.



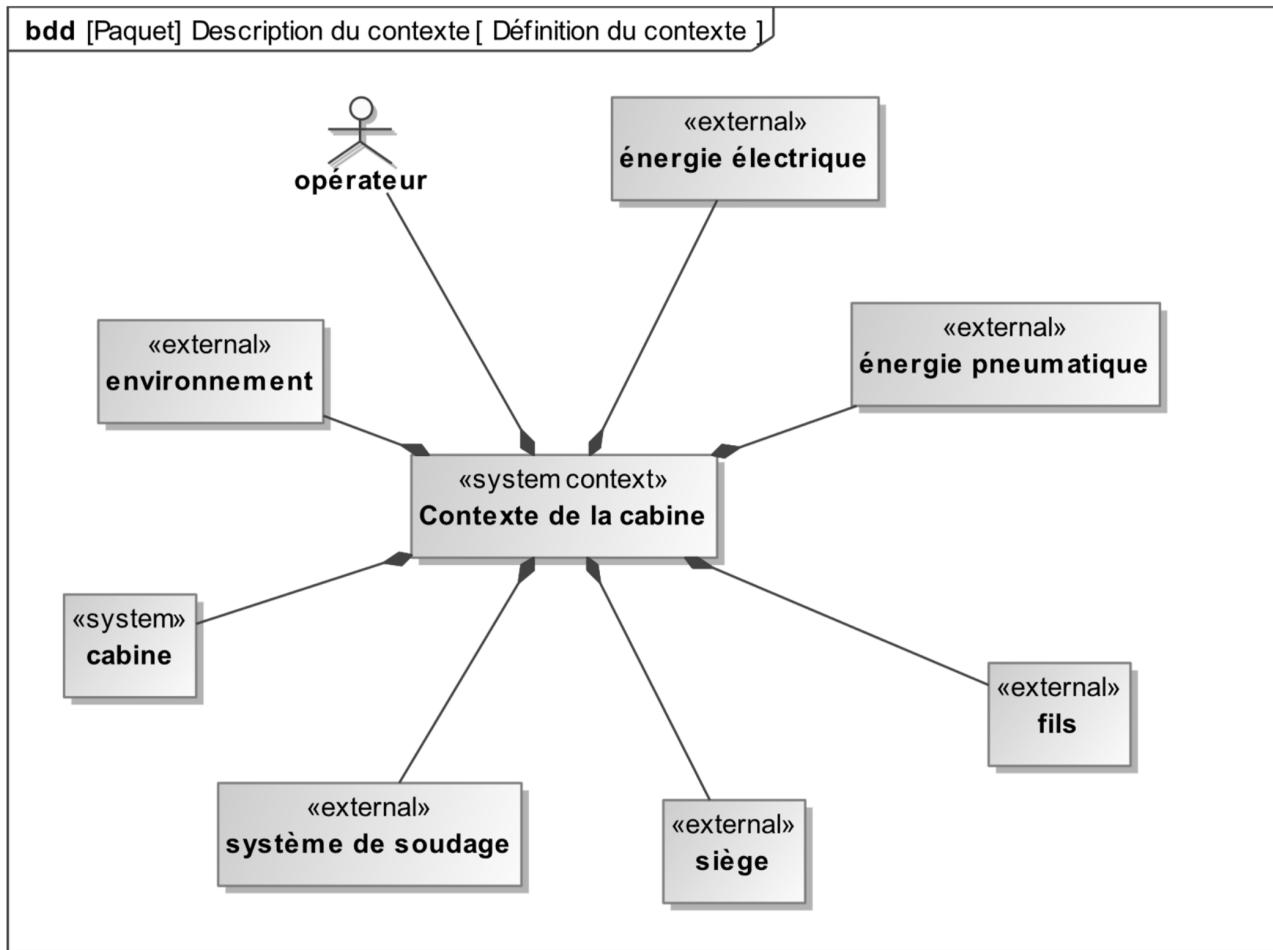


Figure 5 – Définition du contexte

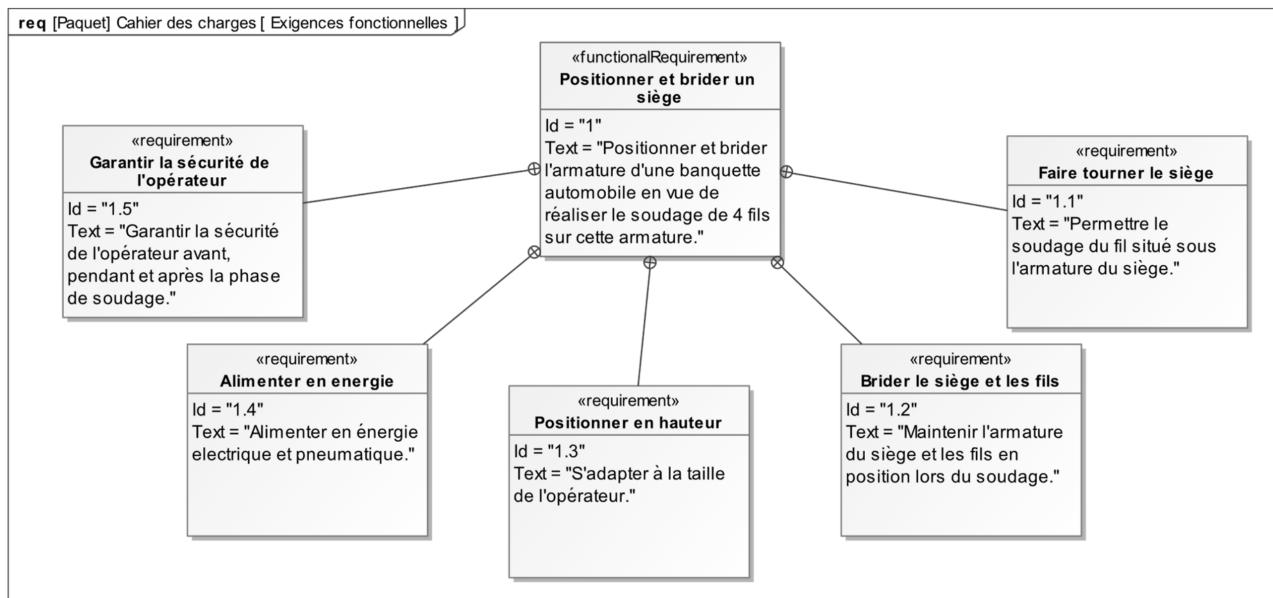


Figure 6 – Exigences fonctionnelles

I Exigence « Faire tourner le siège »

Afin de faciliter la tâche de soudage à l'opérateur, il est possible de basculer l'ensemble du berceau dans deux positions de travail, permettant de souder par le dessus ou par le dessous.

Afin de s'adapter à la taille de l'opérateur, le système peut être réglé en hauteur. Ce réglage ne peut s'effectuer que si le berceau est en position horizontale. Un système d'indexage est présent dans la partie gauche de la machine. Cette position est captée par un détecteur de position tout ou rien actionné par une came placée sur l'axe de rotation (figure 7).

I.1 Étude de l'indexage de l'axe de rotation

L'objectif de cette sous-partie est de concevoir la liaison encastrement de la came avec l'axe de rotation.

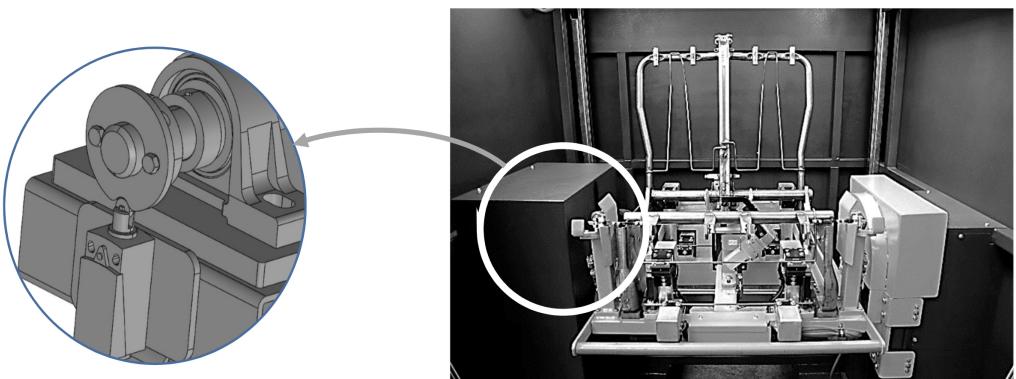


Figure 7 – Détail de la zone étudiée

On donne le schéma technologique de la solution retenue :

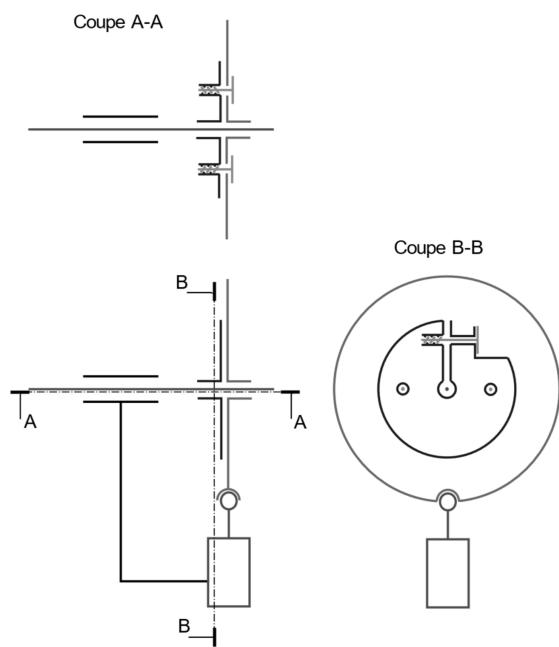


Figure 8 – Schéma technologique

Question 1 Compléter sur le document réponse DR1 les coupes A-A et B-B en définissant la solution d'encastrement retenue, présentée dans le schéma technologique (figure 8).

Question 2 Proposer un ajustement entre la came et l'axe au niveau de l'encastrement réalisé.

I.2 Étude de l'équilibrage de l'ensemble tournant

Afin de limiter au maximum les efforts fournis par l'opérateur lors de la phase de retournement, il est nécessaire d'équilibrer statiquement l'ensemble tournant composé du berceau et du siège en positionnant une masse d'équilibrage M_A (figure 9).

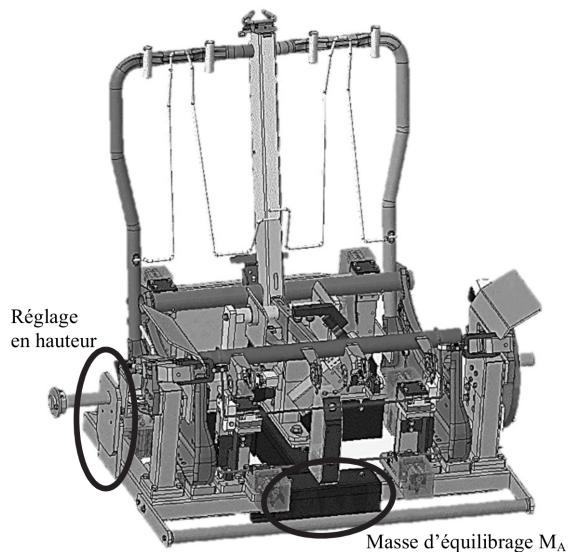


Figure 9 – Ensemble tournant à équilibrer

Question 3 Pour équilibrer statiquement un ensemble tournant, où doit se trouver le centre de gravité de l'ensemble ?

On propose un modèle simplifié d'étude pour lequel on connaît la masse M_G et la position du centre de gravité G de l'ensemble tournant E_T (berceau + siège) avant équilibrage statique.

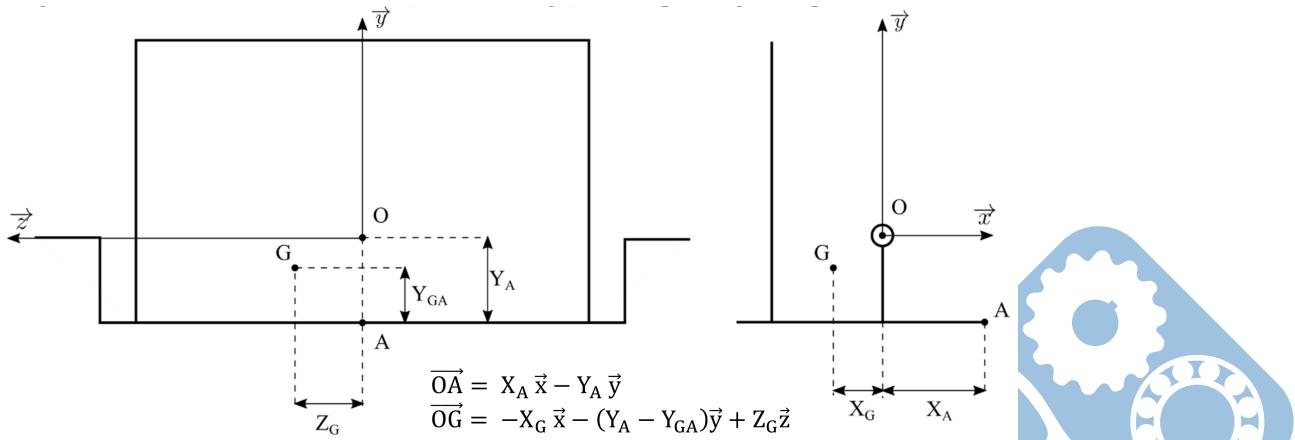


Figure 10 – Modèle simplifié pour l'étude de l'équilibrage

La solution retenue consiste à :

- ajouter une masse d'équilibrage M_A au point A, afin de positionner le centre de gravité G dans le plan (O, \vec{y}, \vec{z}) ,
- régler Y_A , hauteur suivant \vec{y} du vecteur \overrightarrow{OA} , afin de positionner le centre de gravité sur l'axe (O, \vec{z}) .

On considère l'ensemble tournant dans sa position horizontale (figure 10). Dans cette position particulière, la pesanteur est portée par la direction \vec{y} .

On donne la formule du barycentre : $\overrightarrow{OG} = \frac{\sum m_i \cdot \overrightarrow{OG_i}}{\sum m_i}$

Question 4 En utilisant la méthode barycentrique permettant de déterminer un centre de gravité, établir les deux équations en projection sur \vec{x} et \vec{y} liant respectivement X_A, X_G, M_A, M_G et Y_A, Y_G, M_A, M_G .

Question 5 En déduire l'expression de M_A en fonction de X_A, X_G et M_G puis l'expression de Y_A en fonction de X_A, X_G et Y_{GA} .

On note M_{GT} la nouvelle masse et G_T le nouveau centre de gravité de l'ensemble E_T .

Question 6 Donner l'expression de M_{GT} en fonction de M_G et de M_A . Donner les coordonnées $(X_{GT}; Y_{GT}; Z_{GT})$ du nouveau centre de gravité G_T de l'ensemble tournant E_T .

II Exigence « Brider le siège et les fils »

II.1 Étude de la genouillère de bridage

La genouillère de bridage permet de maintenir en position le siège sur le berceau de soudage (figure 11 et 12).

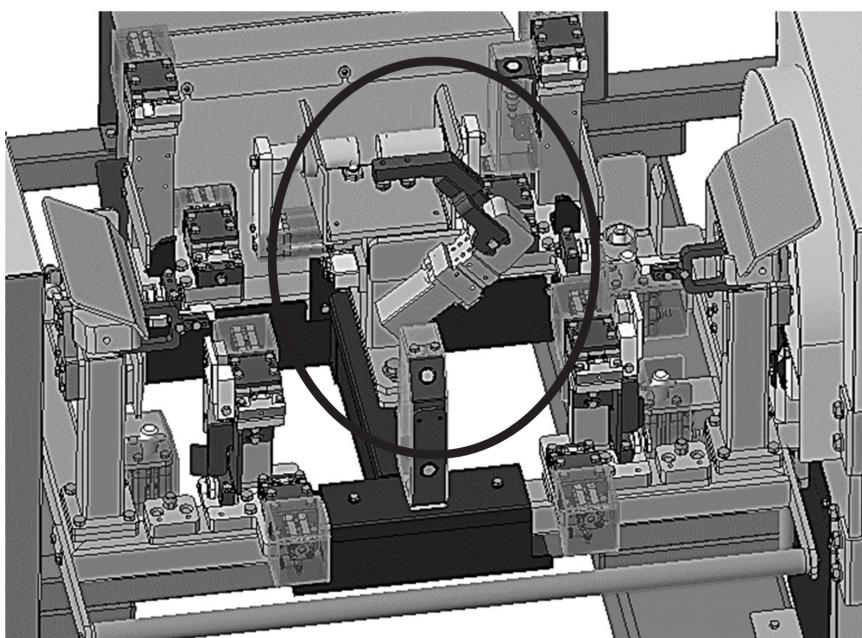


Figure 11 – Genouillère en situation

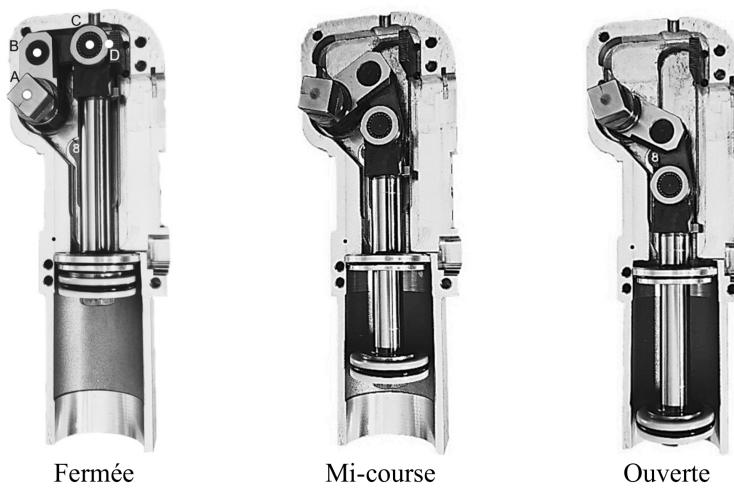


Figure 12 – Positions de la genouillère

Le schéma cinématique plan de la genouillère de bridage utilisée dans le système est donné figure 13.

Le paramétrage décrit ci-dessous sera utilisé :

- le solide **1** est en translation de direction \vec{y}_0 ,
 - le solide **2** est en rotation d'axe (E, \vec{z}) avec le solide **1**. On pose : $\alpha = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$,
 - le solide **3** est en rotation d'axe (D, \vec{z}) avec le solide **2**,
 - le solide **3** est en rotation d'axe (C, \vec{z}) avec le solide **0**. On pose : $\beta = (\vec{x}_1, \vec{x}_3)$,
 - $\overrightarrow{CD} = l_3 \cdot \vec{x}_3$, $\overrightarrow{DE} = -l_2 \cdot \vec{y}_2$, $\overrightarrow{EF} = l_1 \cdot \vec{x}_1$, $\overrightarrow{OE} = \lambda \cdot \vec{y}_0$ et $\overrightarrow{OC} = l_x \cdot \vec{x}_0 + l_y \cdot \vec{y}_0$.

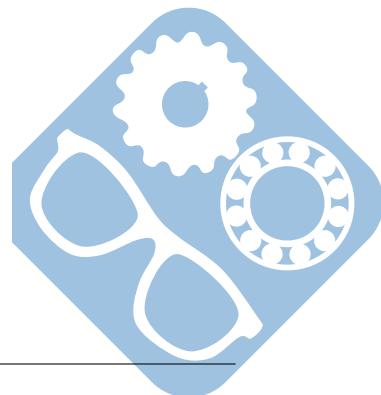
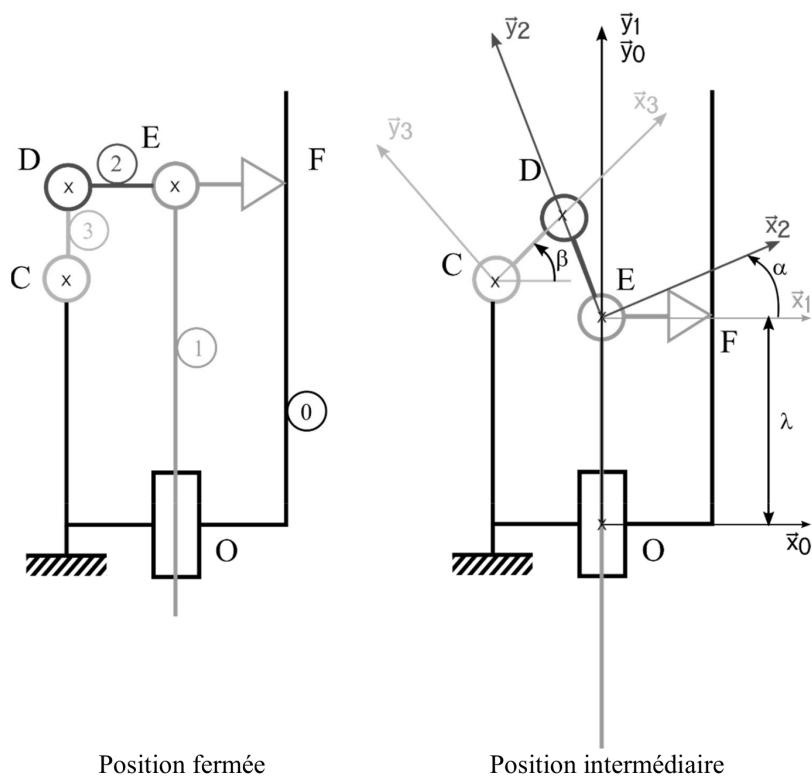


Figure 13 – Schéma cinématique de la genouillère

Question 7 Écrire la fermeture géométrique permettant de déterminer la loi entrée/sortie de la genouillère.

Question 8 Projeter cette équation vectorielle dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

Question 9 En déduire une relation entre β et λ .

Afin de garantir un bridage irréversible, il faut que les 3 points D, E, F soient alignés, comme le montrent les positions fermées des figures 12 et 13. Dans cette configuration particulière, le piston n'est soumis à aucune action mécanique verticale.

Question 10 En réalisant une étude statique simple, justifier que dans le cas où les 3 points D, E et F sont alignés, le piston 1 n'est soumis à aucune action mécanique extérieure selon la direction \vec{y}_0 .

II.2 Étude pneumatique

La cabine de soudure dispose d'une genouillère de bridage, de différents vérins d'indexation et d'une alimentation pneumatique. Tous ces dispositifs utilisent le même type de distributeur.

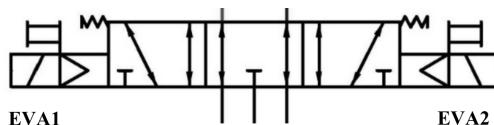


Figure 14 – Distributeur utilisé pour le bridage

Question 11 Donner la désignation normalisée de ce distributeur (figure 14).

Question 12 Compléter le schéma pneumatique des deux ensembles brides A et B sur le DR2. Le distributeur A permet d'actionner la bride A1 et les 2 brides A2.

Le distributeur B permet d'actionner les deux brides B1.

II.3 Étude électrique

On souhaite dimensionner l'alimentation électrique de la cabine de soudure. Le schéma électrique unifilaire d'alimentation de la cabine de soudage est fourni en annexe 2.

Question 13 Pour quelle raison est-il nécessaire d'utiliser le transformateur T0508 ? D'autres solutions seraient-elles possibles ?

On souhaite dimensionner ce transformateur. Pour cela, il est nécessaire de faire un bilan des puissances consommées par l'ensemble des récepteurs. On considérera le facteur de puissance de chaque récepteur « $\cos\varphi$ » et les rendements des convertisseurs égaux à 1.

La puissance et les courants maximums de tous les récepteurs sont indiqués sur le schéma électrique en annexe 2.

On tiendra compte d'une prévision d'évolution de l'ensemble des charges de + 20%.

Question 14 Déterminer la puissance apparente S, en VA, du transformateur à installer.

II.4 Étude de la partie commande

On donne en annexe 3 le graphe d'état de fonctionnement normal du système.

Question 15 Compléter les chronogrammes d'évolution du système sur le DR3.

On souhaite ajouter un état « défaut de bridage » lorsque le bridage A, B, ou C n'est pas validé.

Pour sortir de l'état « défaut de bridage », il sera nécessaire d'appuyer sur DCY afin de passer dans l'état « Remise à l'état initial ».

Question 16 Compléter, sur le DR6, le graphe d'état « fonctionnement » en ajoutant l'état « défaut de bridage » et les transitions associées.

III Exigence « Positionner en hauteur »

Le réglage en hauteur du berceau permet d'adapter le poste de travail à la morphologie de chaque opérateur (figure 15).

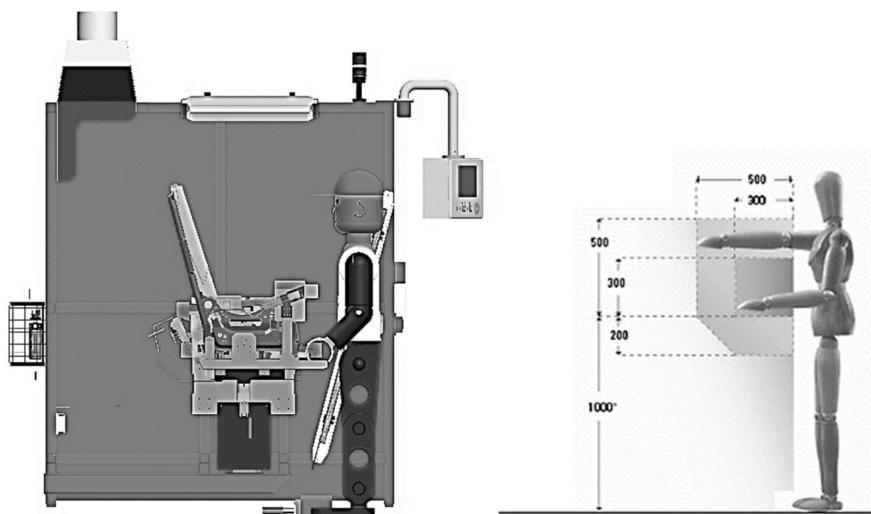


Figure 15 – Position préconisée

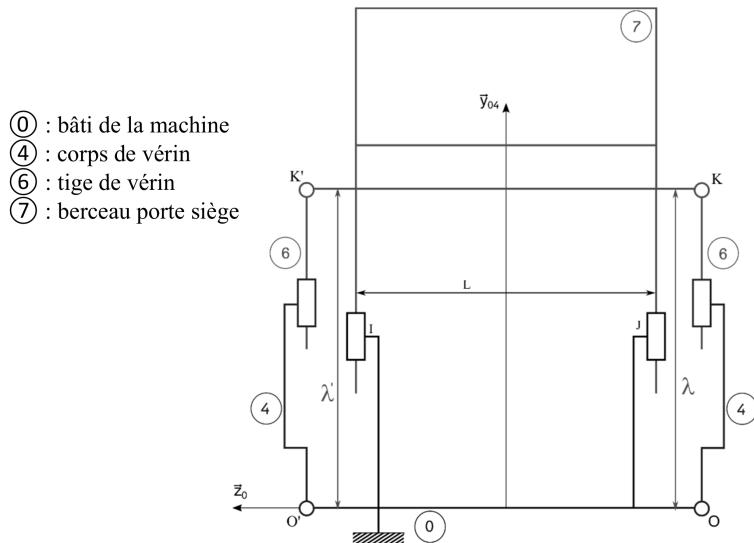
L'opérateur règle la hauteur de son poste de travail en appuyant sur les boutons « haut » ou « bas » positionnés à sa droite.

Le réglage de cette hauteur est réalisé par deux vérins linéaires électriques dont les positions sont asservies l'une par rapport à l'autre.

III.1 Horizontalité du poste de travail

Pendant toute la phase de mouvement, le poste de travail doit rester horizontal afin de ne pas forcer sur les deux liaisons glissières, droite et gauche et sur les vérins linéaires électriques.

La hauteur de chaque vérin est notée λ et λ' (figure 16). On notera $\Delta\lambda = (\lambda - \lambda')$ l'écart de longueur de sortie des tiges des vérins droit et gauche. La distance entre les centres I et J des guidages verticaux, notée L , est égale à 1000mm.



Question 17 Déterminer l'écart de longueur maximum $\Delta\lambda_{max}$ acceptable pour que la table garde un angle d'inclinaison inférieur à $0,1^\circ$ qui sera absorbé par le jeu existant dans les liaisons glissières.

Afin d'assurer un écart de longueur entre les deux vérins compatibles avec l'inclinaison maximum tolérée, il faudra garantir un positionnement des vérins aux alentours du millimètre.

III.2 Étude structurelle

On souhaite étudier la structure du système mécanique.

Il est donc nécessaire de modéliser l'ensemble « vérins + (berceau + siège + fils) » pour obtenir une commande optimale.

Soit le schéma simplifié de cet ensemble :

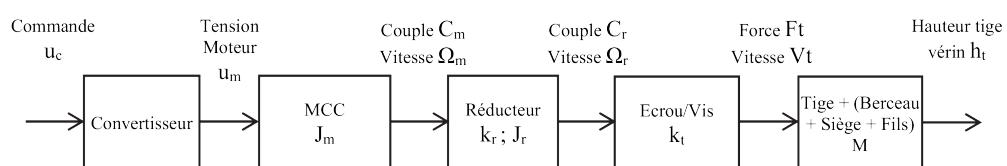


Figure 17 – Schéma fonctionnel d'un vérin linéaire et de sa charge

On définit les grandeurs caractéristiques suivantes :

- u_c : tension de commande,
- u_m : tension d'alimentation du moteur,
- C_m : couple moteur,
- Ω_m : vitesse angulaire moteur,
- C_r : couple en sortie de réducteur,
- Ω_r : vitesse angulaire réducteur,
- F_t : force de poussée du vérin,
- V_t : vitesse de sortie du vérin,

- J_m : inertie moteur,
- k_r : rapport de réduction,
- J_r : inertie du réducteur sur son arbre de sortie,
- k_t : rapport de transmission écrou/vis,
- M : masse de l'ensemble tige + (berceau + siège + fils).

Nous allons étudier le mouvement de la masse mobile (berceau + siège + fils) et déterminer son degré d'hyperstatisme afin d'anticiper d'éventuels problèmes d'assemblage.

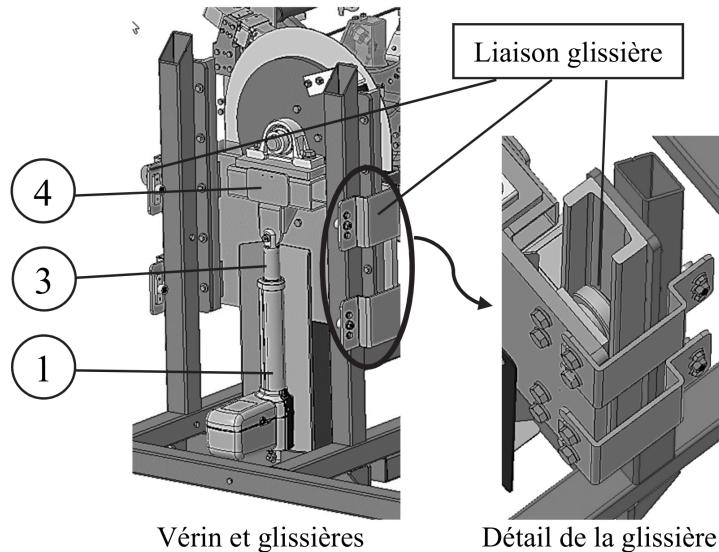


Figure 18 – Système de levage

Le berceau ayant été équilibré statiquement afin de faciliter sa rotation, on choisit de simplifier l'étude en se ramenant à un mécanisme plan composé de deux liaisons glissières et d'un vérin (figures 18 et 19).

On fera l'hypothèse que toutes les liaisons sont parfaites.

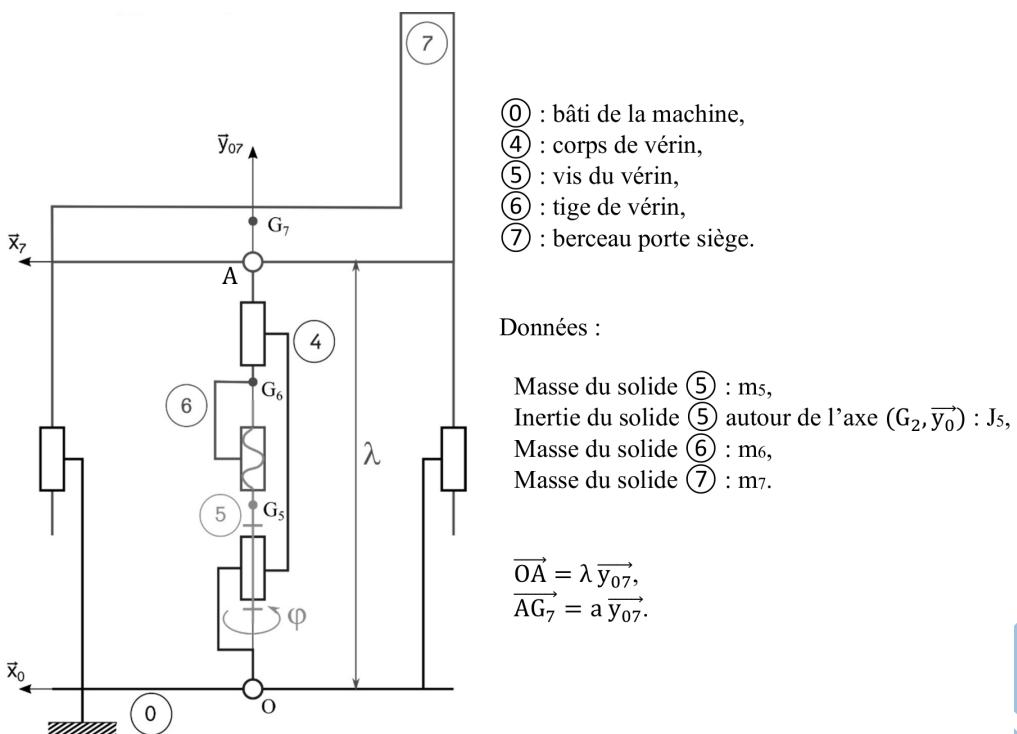


Figure 19 – Schéma cinématique simplifié du réglage de hauteur

Question 18 Réaliser le graphe de liaison complet de ce modèle incluant les numéros de pièces, le nom des liaisons, leurs directions/axes...

Question 19 Déterminer le degré d'hyperstatisme du modèle cinématique présenté à la figure 19.

Question 20 Proposer une modification de modèle permettant de diminuer ce degré d'hyperstatisme sans ajouter de mobilité.

III.3 Modélisation du moteur à courant continu du vérin.

Question 21 Proposer un schéma électrique de l'induit du Moteur à Courant Continu (M.C.C.) en faisant apparaître :

- R : résistance de l'induit [Ω],
- L : inductance de l'induit [H],
- $e(t)$: la force contre électromotrice [V],
- $u_m(t)$: tension aux bornes de l'induit [V],
- $i_m(t)$: courant induit du moteur [A].

Question 22 Donner l'équation électrique des grandeurs instantanées de ce moteur : tension $u_m(t)$ en fonction du courant $i_m(t)$ et $e(t)$. En déduire l'équation dans le domaine de Laplace reliant : $U_M(p)$, $I_M(p)$ et $E(p)$.

Pour la suite de l'étude, les grandeurs suivantes sont introduites :

- $C_{mr}(t)$: couple résistant [$N \cdot m$],
- $\Omega_m(t)$: vitesse angulaire moteur [$rad \cdot s^{-1}$],
- $u_m(t)$: tension moteur [V],
- $i_m(t)$: courant induit du moteur [A],
- J_T : moment d'inertie total du système mobile ramené sur l'axe moteur [$kg \cdot m^2$],
- K : constante de couple [$N \cdot m \cdot A^{-1}$] ou constante de force contre électromotrice [$V \cdot rad^{-1} \cdot s$].

On considère le couple résistant $C_{mr}(t)$ ramené sur l'axe moteur constant.

Question 23 Exprimer la relation entre $C_m(t)$, $C_{mr}(t)$, $\Omega_m(t)$ et J . En déduire l'équation reliant : $C_M(p)$ et $\Omega_M(p)$ dans le domaine de Laplace.

On propose le schéma bloc suivant pour modéliser le moteur :

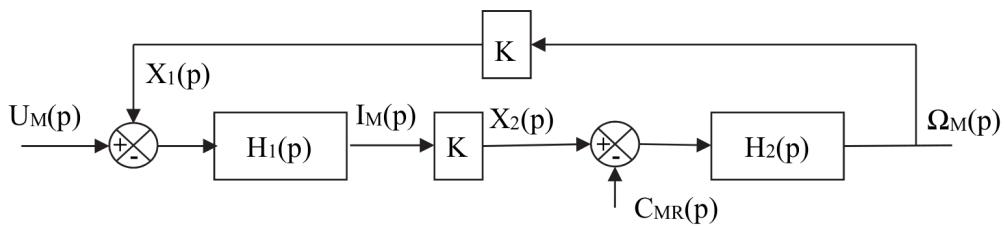


Figure 20 – Schéma bloc du moteur

Question 24 Donner le nom et l'unité des deux grandeurs physiques $x_1(t)$, $x_2(t)$ dont les transformées de Laplace sont notées respectivement $X_1(p)$, $X_2(p)$ (figure 20).

Question 25 À partir des équations de fonctionnement du M.C.C., retrouver l'expression des deux fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ (figure 20).

On néglige maintenant le couple résistant $C_{mr}(t)$ ainsi que l'inductance L du moteur.

Question 26 Déterminer alors le schéma bloc simplifié ayant pour entrée $U_M(p)$ et pour sortie $\Omega_M(p)$.

En déduire la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega_M(p)}{U_M(p)}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme $H(p) = \frac{K'}{1+\tau_m \cdot p}$. Exprimer alors K' et τ_m .

III.4 Étude du positionnement

On souhaite d'abord étudier le positionnement de la tige du vérin. Les performances attendues concernant la précision sont : écart par rapport à la consigne $< 1\text{mm}$.

Un codeur incrémental à 2 voies en quadrature est placé sur l'axe de rotation moteur.

Question 27 Donner le principe de fonctionnement d'un tel codeur. Qualifier les signaux des deux voies du codeur en proposant un chronogramme.

On donne ci-dessous le schéma de principe d'un vérin électrique.

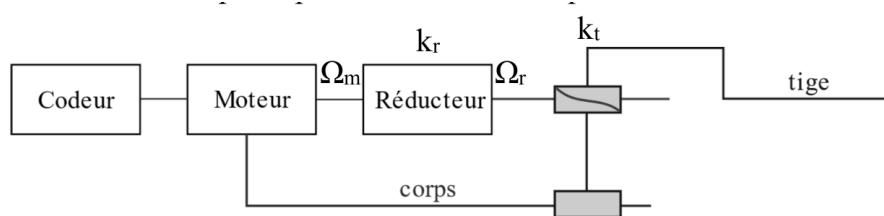


Figure 21 – Schéma de principe du schéma électrique

Avec $k_r = \frac{1}{3,5}$ (rapport de réduction du réducteur) ; $k_t = 12,7\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$ (rapport de transmission écrou/vis).

Question 28 En vous aidant de la figure 21, déterminer la résolution (nombre d'impulsions par tour) du codeur nécessaire pour obtenir une mesure du déplacement de la tige du vérin avec une précision minimale de 1 mm.

Le schéma bloc de l'asservissement en position est le suivant :

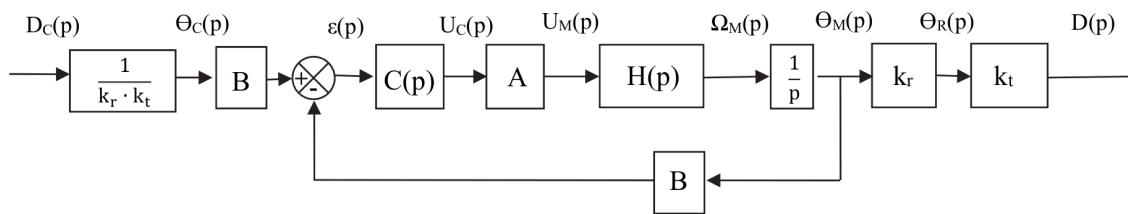
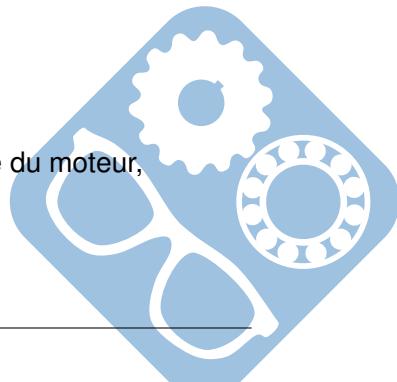


Figure 22 – Schéma bloc de la régulation de position

Avec :

- D_C : consigne de position [mm],
- θ_C : consigne d'angle demandée [$^\circ$],
- B : gain de la chaîne de mesure de la position angulaire de l'arbre de sortie du moteur,
- $\varepsilon(p)$: erreur,
- $C(p)$: correcteur,
- $U_C(p)$: tension de commande du variateur [V],



- A : gain du variateur de commande du M.C.C.,
- Ω_M : vitesse de rotation de l'arbre de sortie du moteur [$^\circ \cdot s^{-1}$],
- θ_M : angle de l'arbre de sortie du moteur [$^\circ$],
- k_r : rapport de réduction du réducteur,
- θ_R : angle de l'arbre de sortie du réducteur [$^\circ$],
- k_t : rapport de transmission vis/écrou [$mm \cdot tr^{-1}$],
- D : position réelle de la tige du vérin [mm].

On souhaite vérifier la nécessité de placer un correcteur et définir le réglage de celui-ci.
En première approche, le correcteur utilisé sera un correcteur proportionnel, tel que $C(p) = C$.

Question 29 Donner l'expression de B' pour que le schéma bloc de l'asservissement puisse se mettre sous la forme du schéma bloc de la figure 23. Proposer un schéma bloc équivalent avec un retour unitaire.

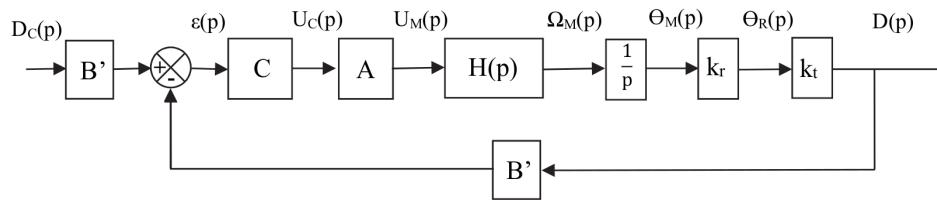


Figure 23 – Schéma bloc modifié de la régulation de position

Question 30 Déterminer alors la fonction de transfert en boucle ouverte, $G(p)$ (figure 24) ; montrer qu'elle peut se mettre sous la forme : $G(p) = \frac{A_0}{(1+\tau_m \cdot p) \cdot p}$. Déterminer l'expression du gain A_0 en fonction de A , B et K' .

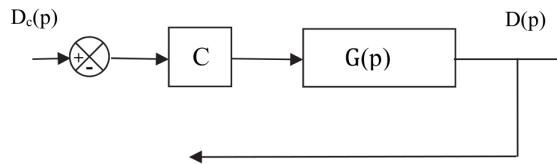


Figure 24 – Schéma bloc de la FTBO : $G(p)$

Question 31 Tracer l'allure des diagrammes asymptotiques de Bode (phase et gain) de la fonction de transfert $C \cdot G(p)$ sur le DR5.

Un essai indiciel, que vous trouverez sur le DR4, a été effectué sur le système décrit par la figure 25. Cette schématisation est à relier avec la figure 22.

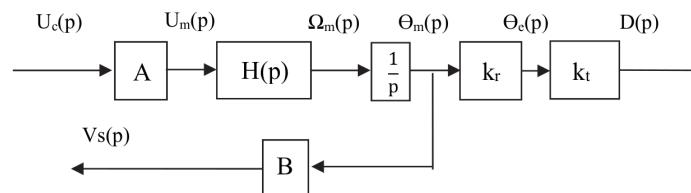
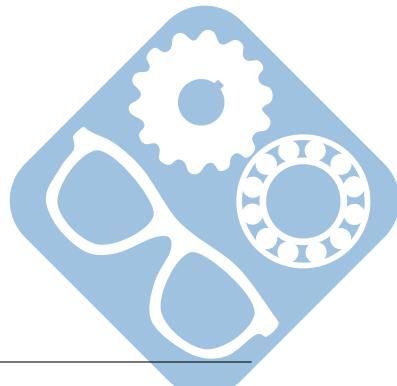


Figure 25 – Schéma bloc de l'essai indiciel



Les courbes suivantes ont été relevées.

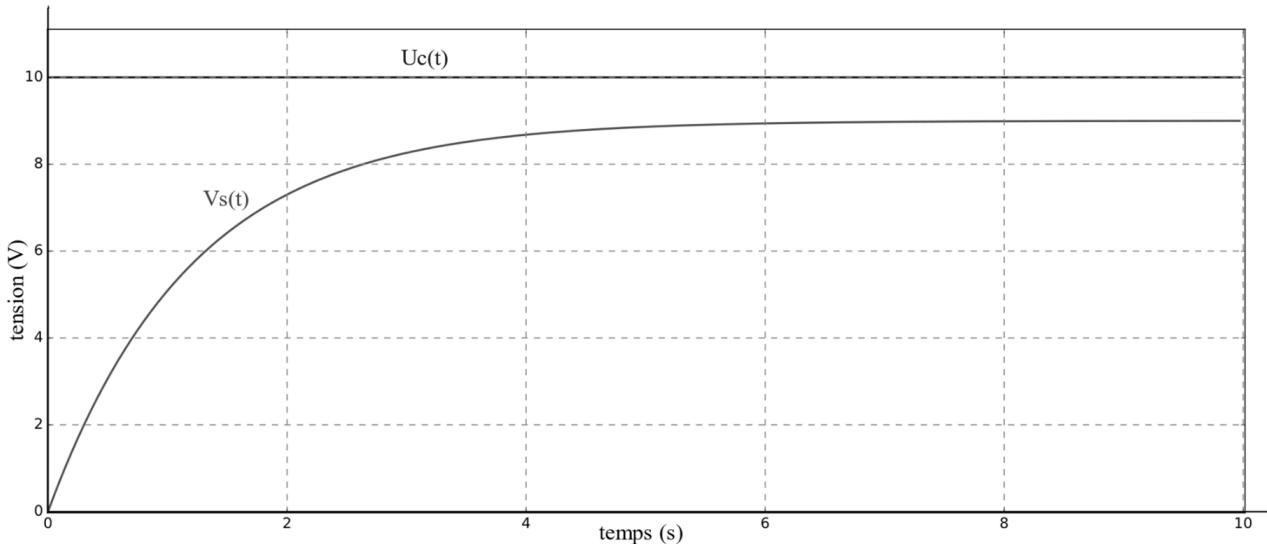


Figure 26 – Consigne et réponse indicielle du système présenté à la figure 25

Question 32 Déduire graphiquement, à partir du DR4, la constante de temps τ_m et le gain A_0 définis à la question Q33. Indiquer sur le DR4 les grandeurs utiles.

III.5 Commande du moteur à courant continu du vérin

On utilise la structure suivante pour commander le M.C.C.

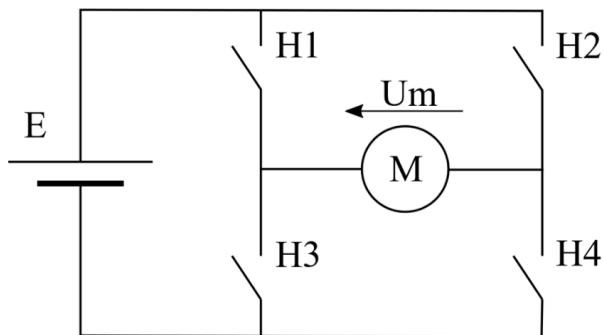


Figure 27 – Schéma de principe de commande du M.C.C.

Question 33 Dans quels quadrants de fonctionnement, dans le plan couple-vitesse, le moteur M.C.C. doit-il pouvoir fonctionner ? Justifier votre réponse.

Donner le nom du convertisseur statique de la figure 27.

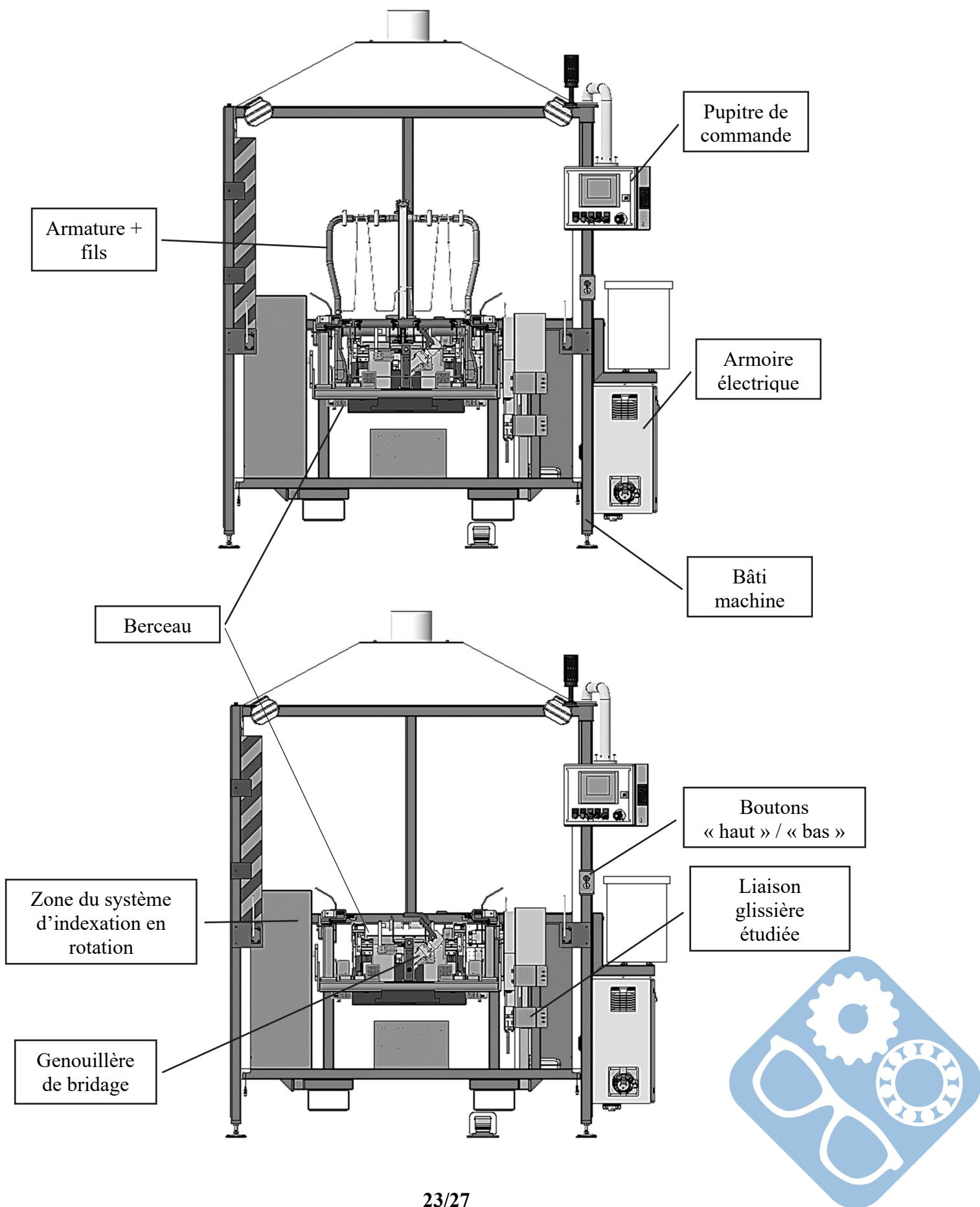
Question 34 Proposer un chronogramme de commande des interrupteurs H1, H2, H3 et H4 permettant de faire varier la vitesse du moteur, dans le cas où le berceau monte ($U_m > 0$).

Préciser le type d'interrupteurs à utiliser pour permettre ce fonctionnement.

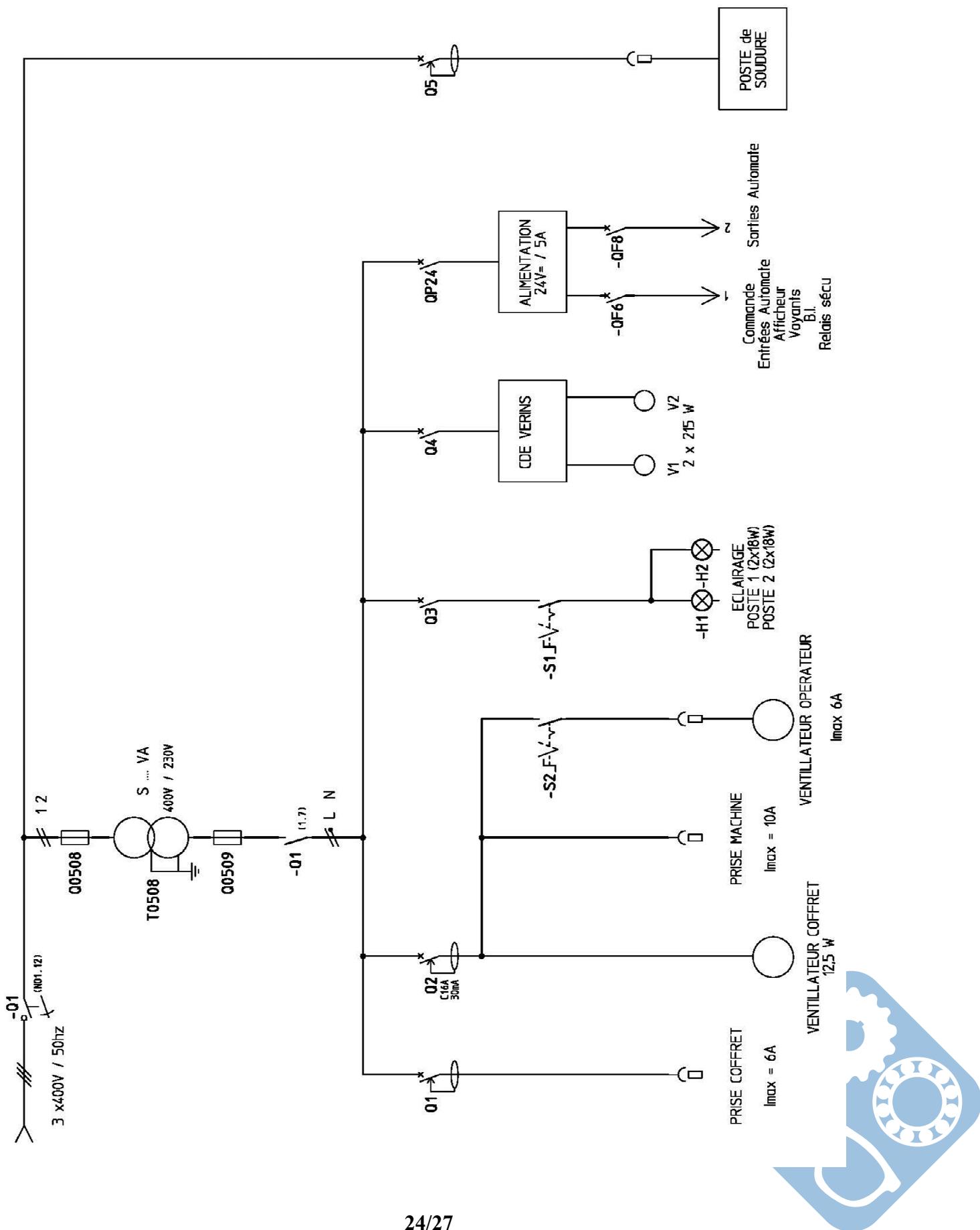
— Fin du sujet —

Annexe 1

Structure de la cabine de soudage

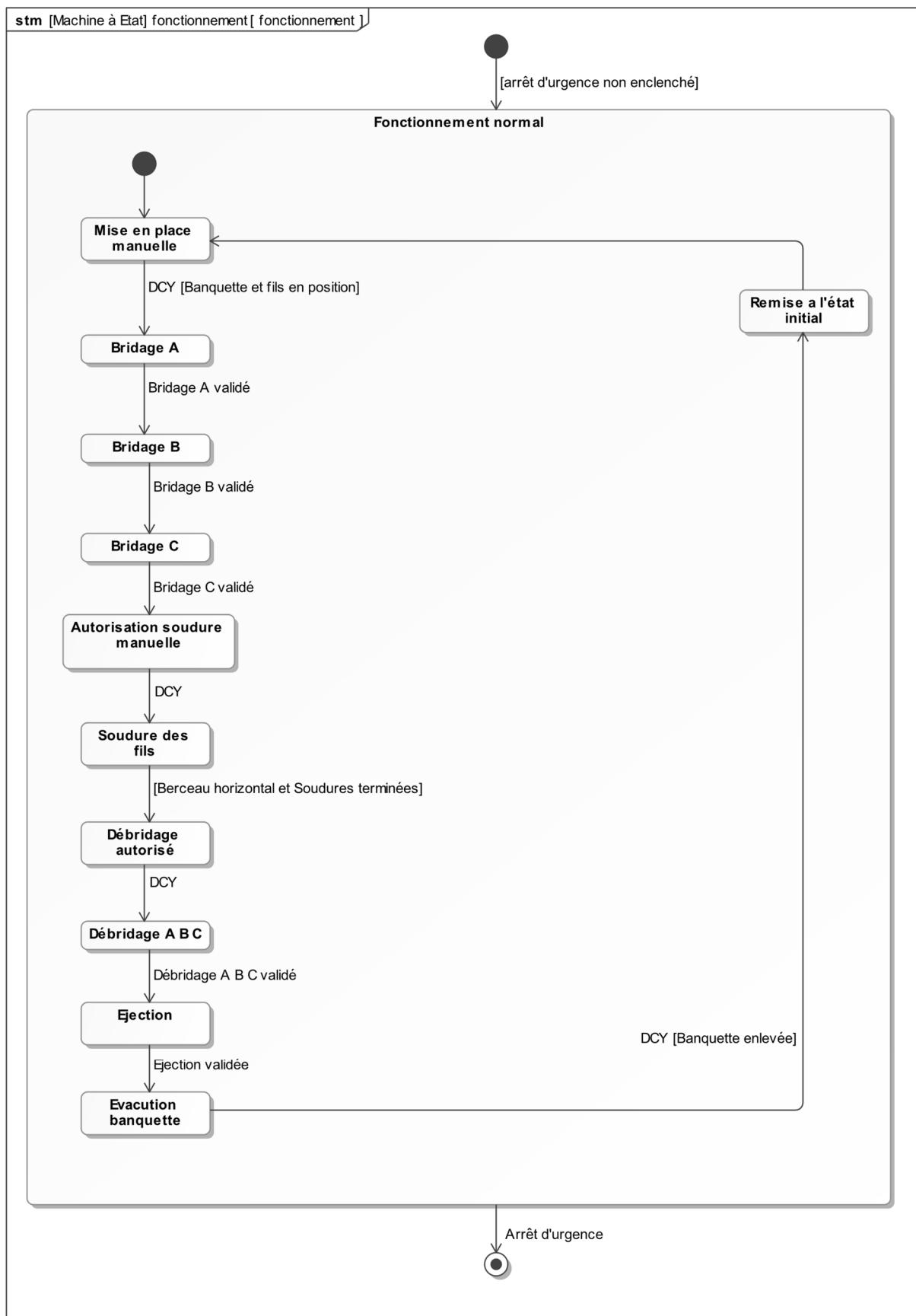


Annexe 2
Schéma électrique unifilaire



Annexe 3

Graphe d'état du fonctionnement normal



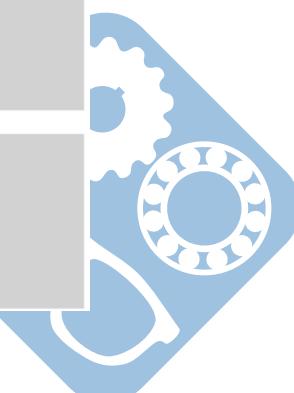
Annexe 5

Caractéristiques des catégories selon la norme NF EN ISO 13849-1

Catégories	Exigences du système de commande	Comportement en cas de défaut	Structure typique d'un circuit de sécurité en cas de défaut	Exemples pratiques de circuits de sécurité	
				Commentaires	Exemples pratiques de circuits de sécurité
B	Par la sélection de composants conformes aux normes pertinentes	Perte possible de la fonction de sécurité.		-	-
1	Par la sélection de composants et de principes de sécurité	Perte possible de la fonction de sécurité avec une probabilité plus faible qu'en B.		<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de redondance sur l'entrée (commande). ■ Pas de redondance interne assurée par le relais à contacts électriques. ■ Pas de redondance sur la sortie. 	-
2	Par la sélection de composants et de principes de sécurité	Défaut détecté à chaque test.		<ul style="list-style-type: none"> ■ Redondance ou pas de redondance sur les entrées. ■ La boucle de retour permet d'assurer un test cyclique sur la sortie (périodicité à définir selon l'application). 	
3	Par la structure des circuits de sécurité	Fonction de sécurité garantie, sauf en cas d'accumulation de défauts.		<ul style="list-style-type: none"> ■ Redondance sur les sorties. ■ Redondance sur les sorties. 	
4	Par la structure des circuits de sécurité	Fonction de sécurité toujours garantie.		<ul style="list-style-type: none"> ■ Redondance sur les entrées. ■ Redondance sur les sorties. ■ La boucle de retour permet d'assurer un test cyclique sur les sorties. 	

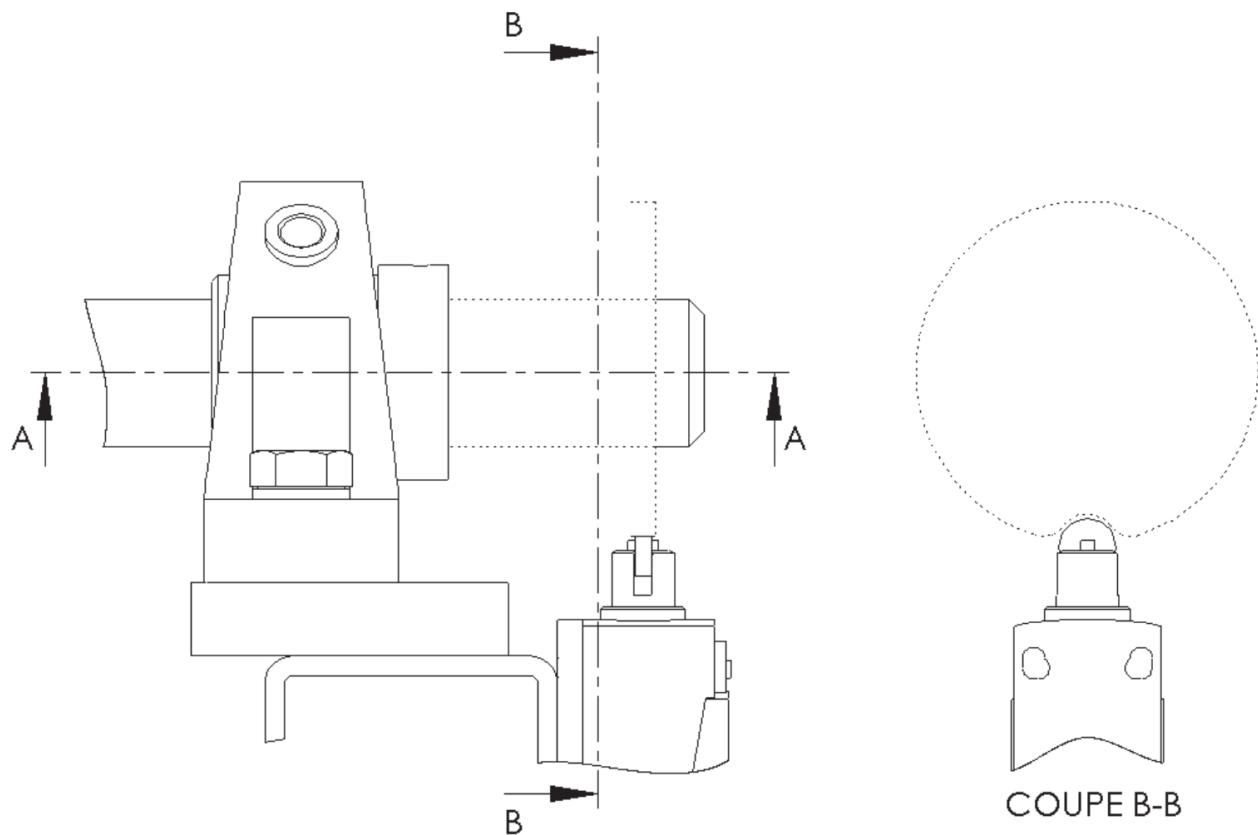
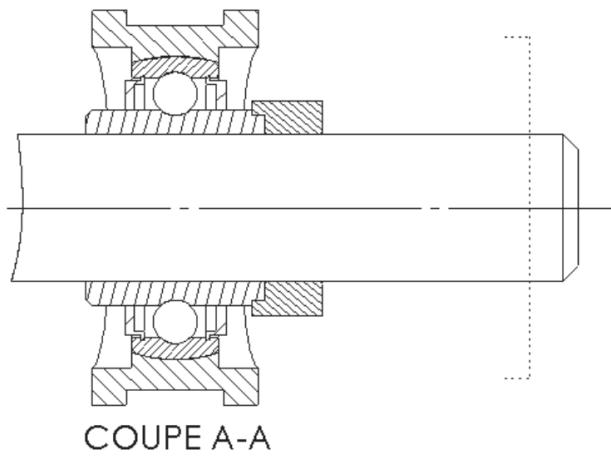
FIN

27/27



Nom: Prénom:

Question 1:



Question 2:

Réponse sur le document de la question 1.

Question 3:

Question 4:

Question 5:

Question 6:



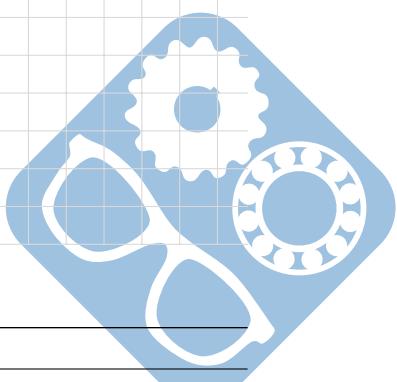
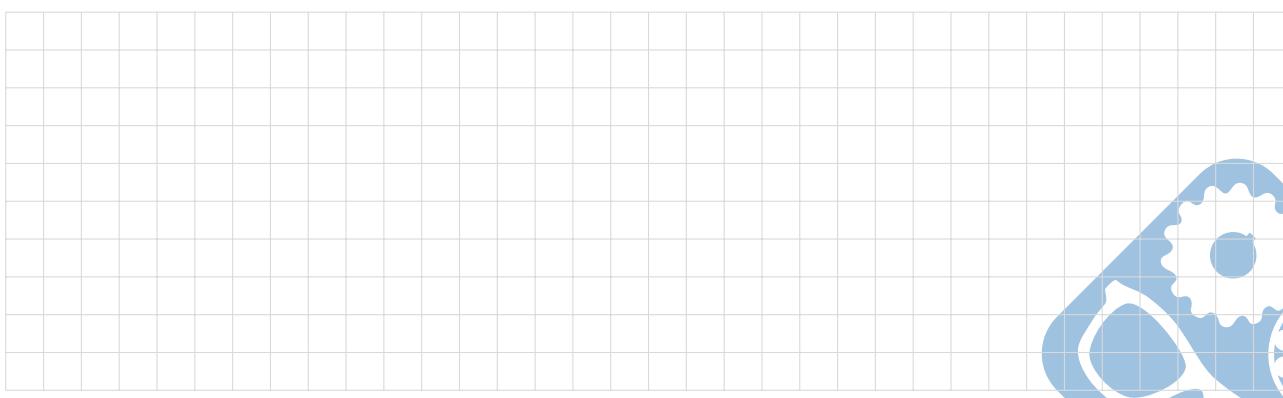
Nom: Prénom:

Question 7:

Question 8:

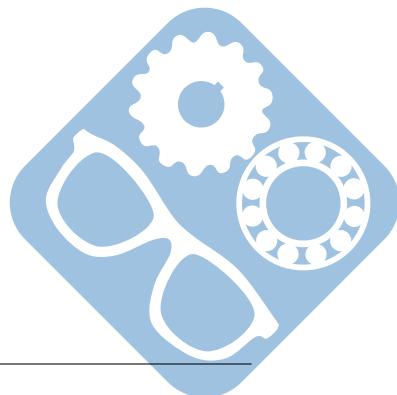
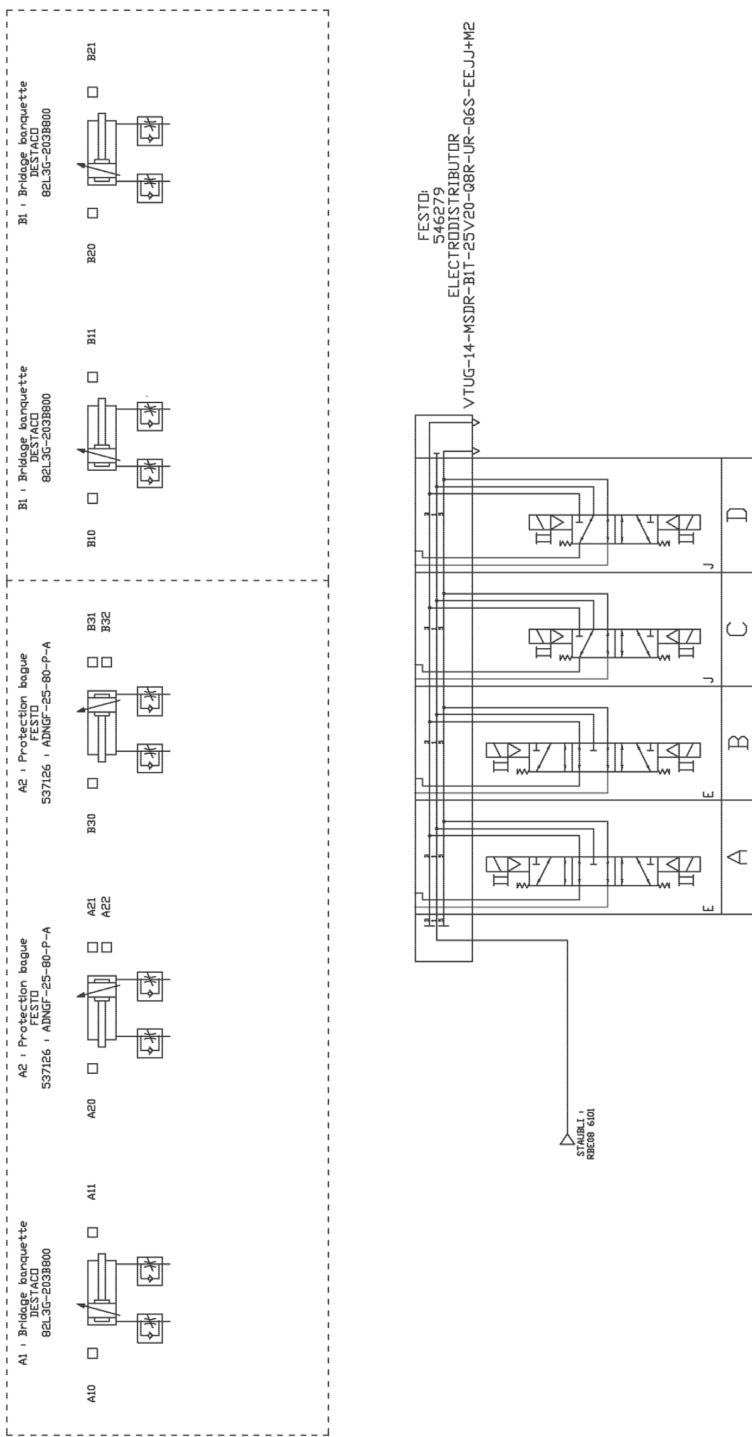
Question 9:

Question 10:



Question 11:

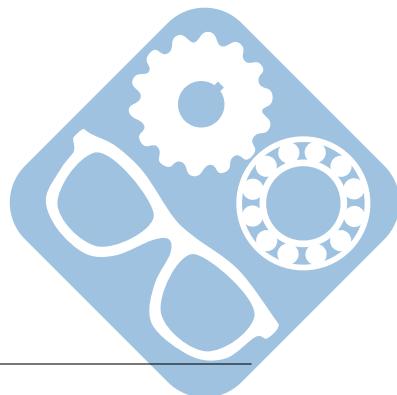
Question 12:



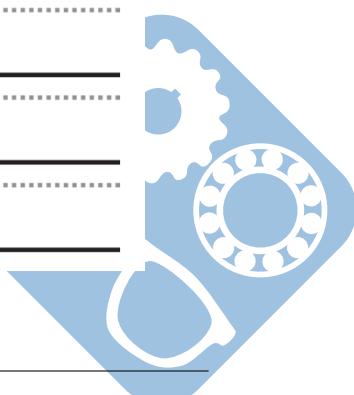
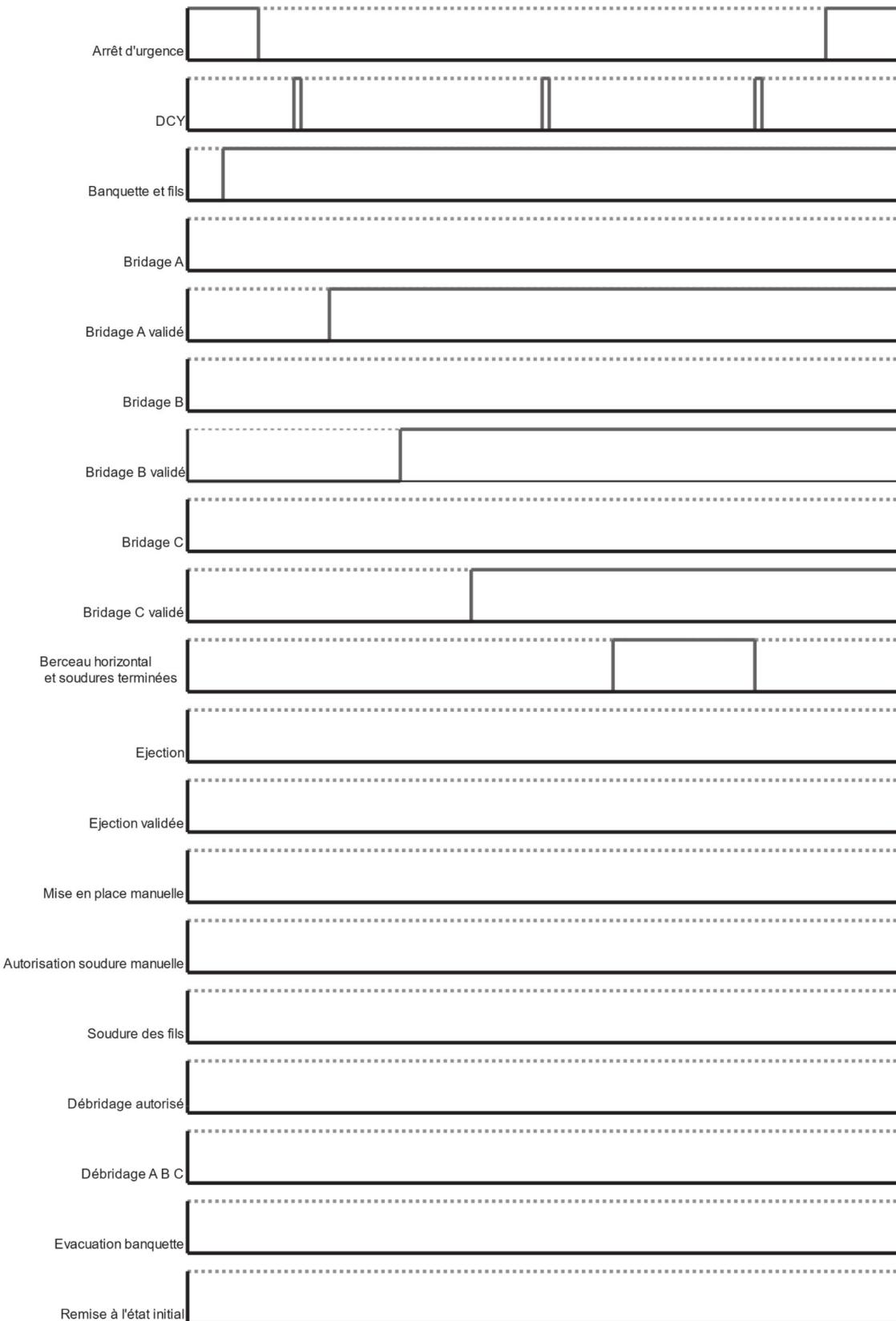
Nom: Prénom:

Question 13:

Question 14:

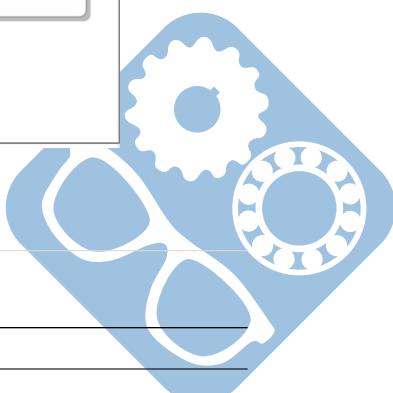
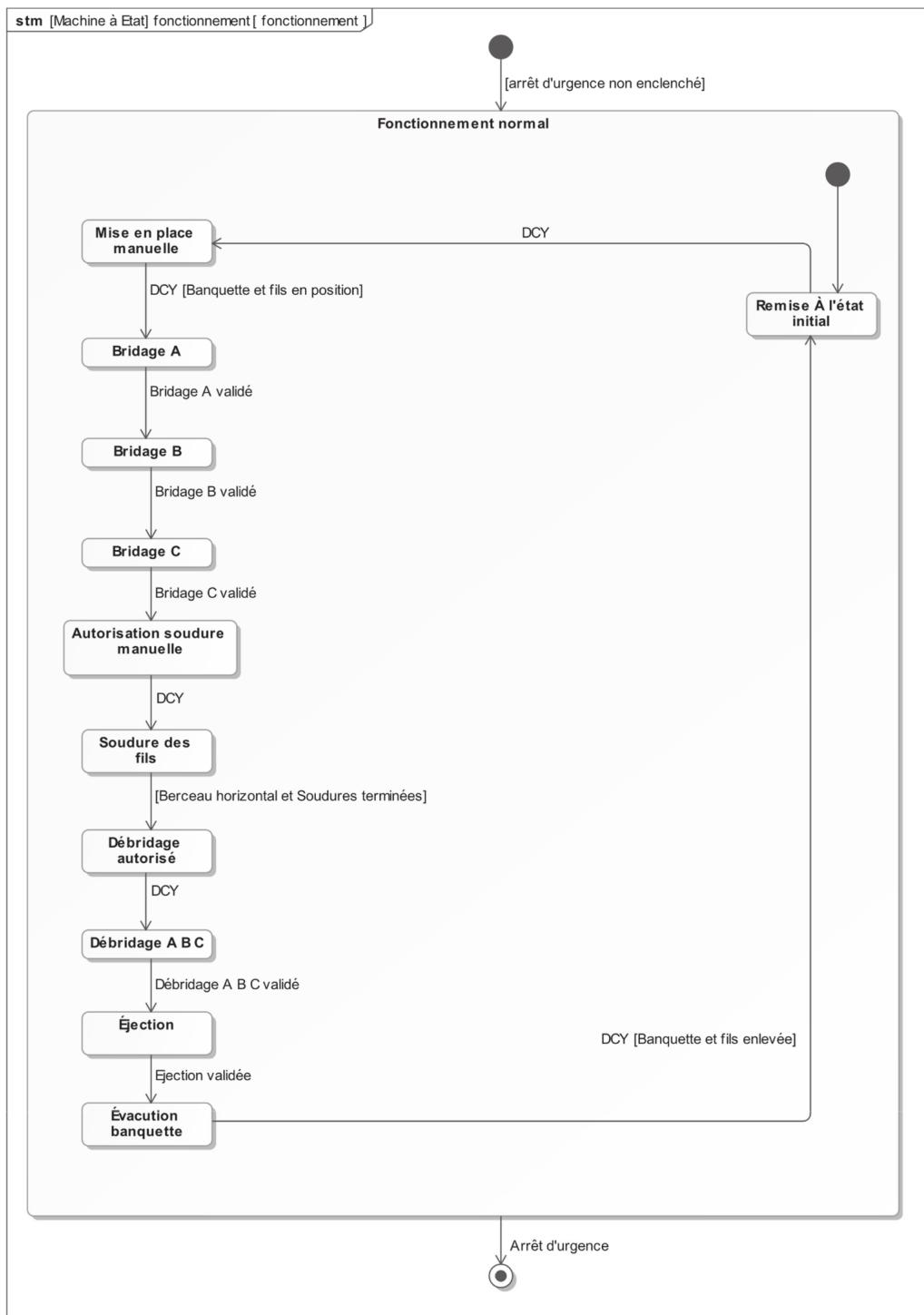


Question 15:



Nom: Prénom:

Question 16:

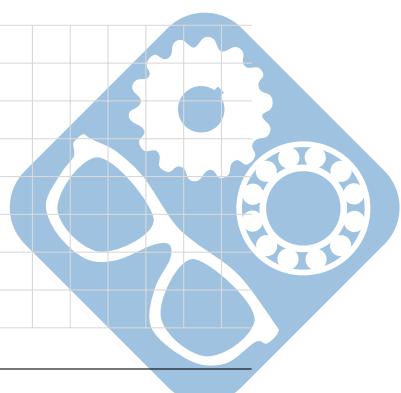


Question 17:

Question 18:

Question 19:

Question 20:



Nom: Prénom:

Question 21:



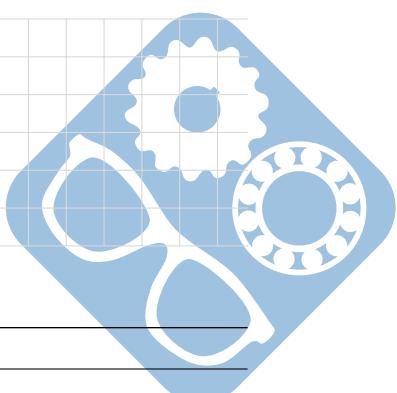
Question 22:



Question 23:



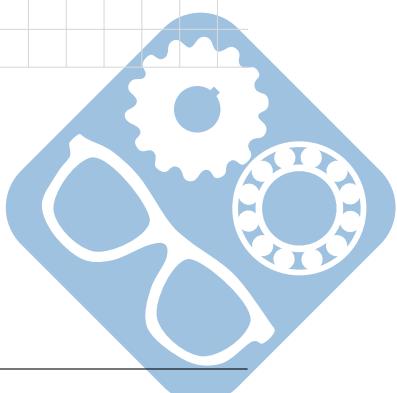
Question 24:



Question 25:

Question 26:

Question 27:

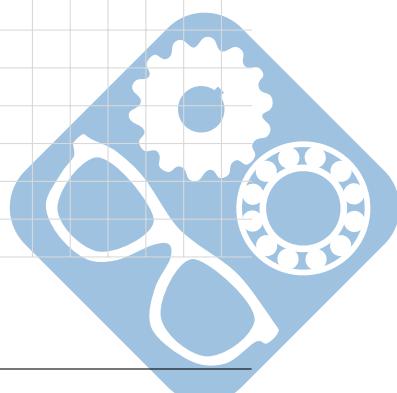


Nom: Prénom:

Question 28:

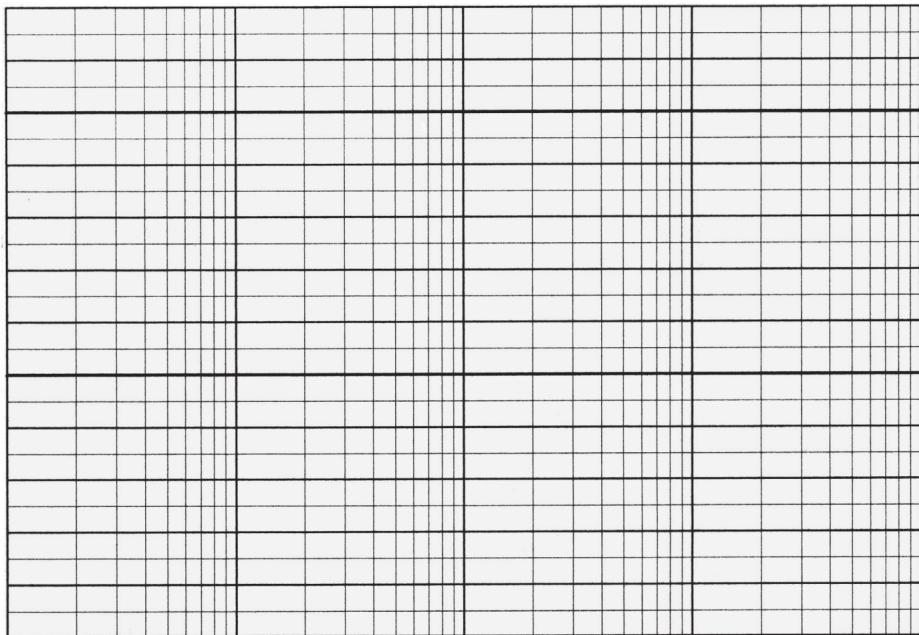
Question 29:

Question 30:



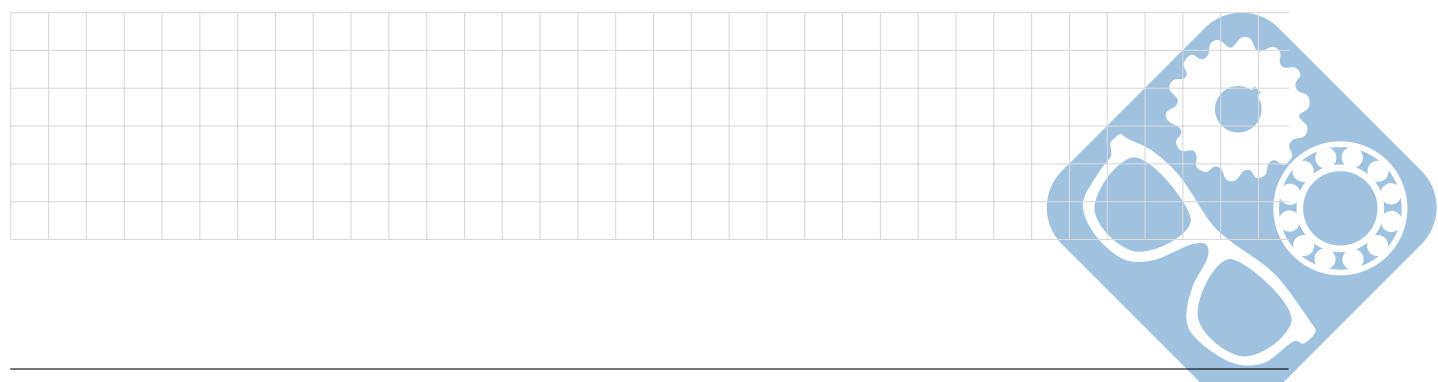
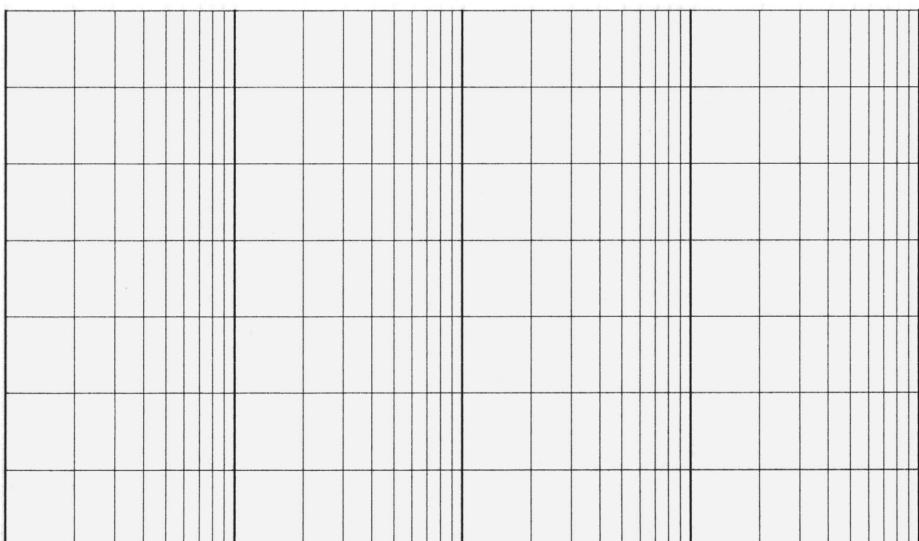
Question 31:

Diagramme de Gain en Db



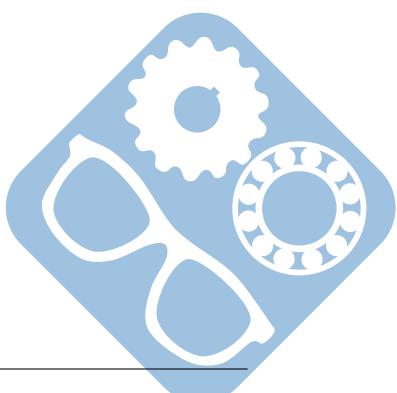
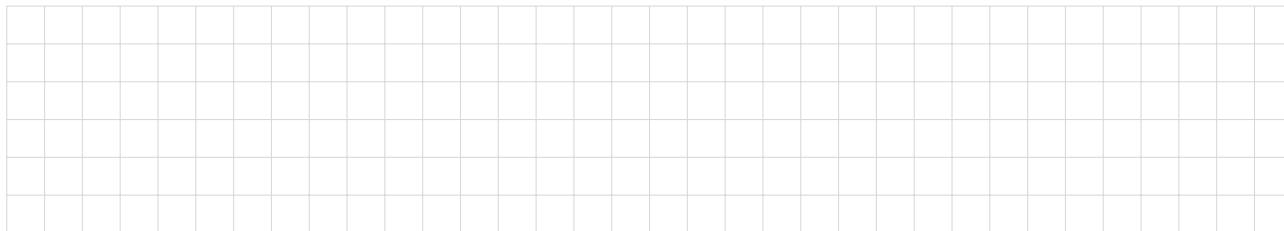
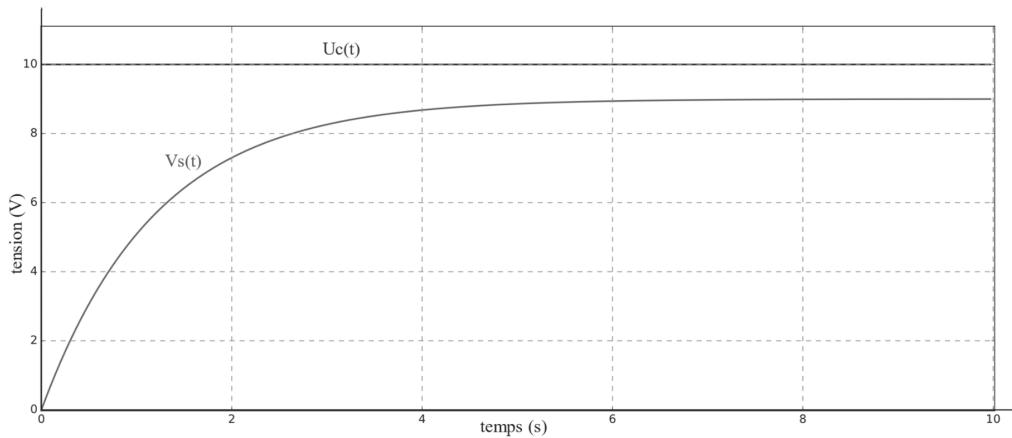
Pulsation en rad/s

Diagramme de Phase en degrés

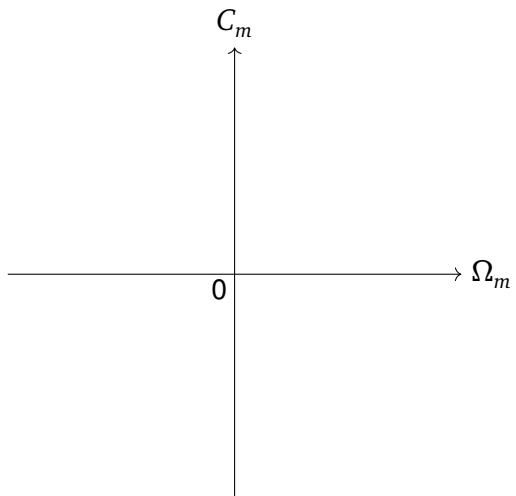


Nom: Prénom:

Question 32:



Question 33:



Question 34:

