

COMPOSITION DE SCIENCES INDUSTRIELLES

(Durée : 4 heures)

L'utilisation des calculatrices est autorisée pour cette épreuve.

SYSTEME DE SOUDAGE PAR FRICTION INERTIELLE

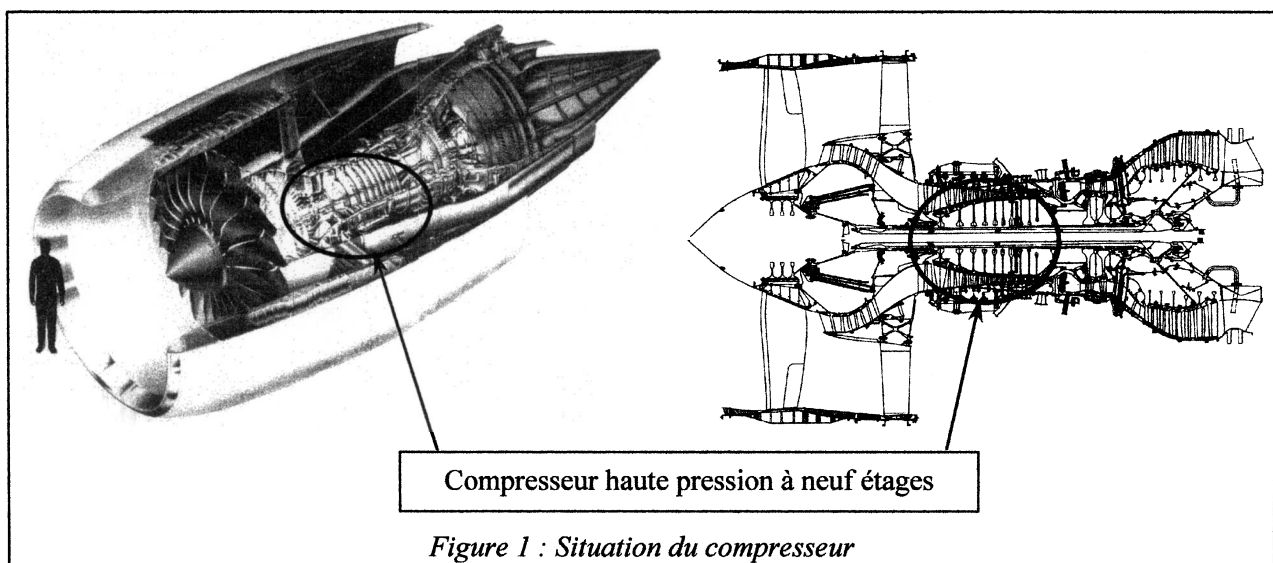
COMPOSITION DU SUJET :

- UN DOSSIER DE 14 PAGES NUMEROTEES DE 1 à 14.
- UN DOSSIER "DOCUMENTS RESSOURCES" (DR1 à DR4).

1. Présentation du problème

1.1. Le moteur GE 90

La Société Nationale d'Etudes et de Construction des Moteurs d'Avions (S.N.E.C.M.A.) produit des moteurs d'avions civils et militaires. Elle développe, entre autres, le GE 90, un moteur de forte poussée pour avions gros porteurs qui équipe depuis 1995 les Boeing B777. Le compresseur du GE90 est réalisé en étages (tronçons cylindriques) qu'il faut assembler par soudure.



1.2. Le soudage par friction inertielle

Le soudage par fusion permet d'assembler deux pièces en dépassant localement la température de fusion des matériaux. Il modifie les caractéristiques de ces matériaux et, en particulier, fait chuter de façon significative la durabilité des pièces en fatigue. Ce procédé ne permet pas, en particulier, de satisfaire la durée de vie des moteurs imposée par la Société Boeing.

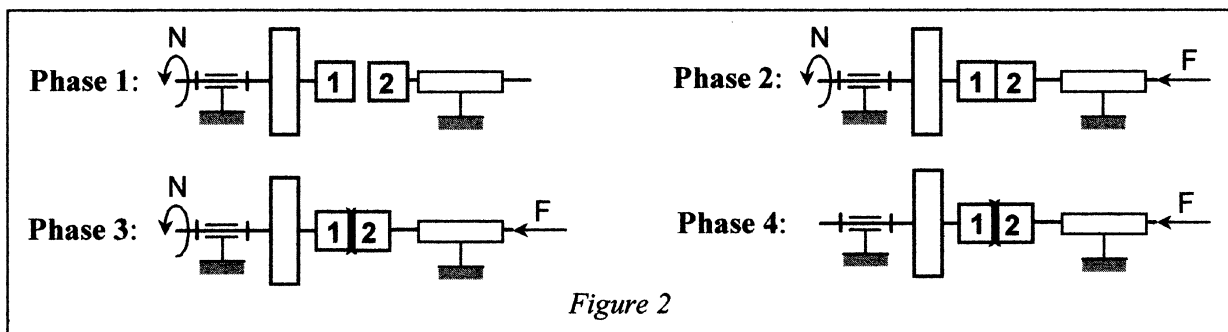
Le soudage par friction inertielle permet l'assemblage sans atteindre la température de fusion. Il altère peu la qualité métallurgique des matériaux. De plus, la rapidité d'exécution de l'opération de soudage entraîne une réduction des coûts de production et il est possible de souder des matériaux très différents.

Le but de cette étude est de valider les performances du système de soudage par friction inertielle utilisé par la SNECMA pour souder les différents éléments du rotor du moteur GE 90.

Question 1 : Quels sont les critères retenus pour le choix de ce type de soudage ? Identifier la fonction globale et la matière d'œuvre du système de soudage par friction inertielle.

1.3. Le principe du soudage par friction inertielle

Le principe du soudage de deux pièces (notées 1 et 2) peut être décrit en quatre phases:



Phase 1 ($t \leq t_0$) : La pièce à souder n° 1, solidaire d'un ensemble de volants d'inertie, est mise en rotation grâce à un moteur hydraulique. Quand la vitesse de rotation N a atteint la vitesse de soudage N_s désirée, l'alimentation du moteur hydraulique est coupée. La pièce à souder n°1 est alors libre en rotation.

Phase 2 ($t_0 < t \leq t_1$) : Un vérin hydraulique de poussée amène la pièce à souder n°2 en contact avec la pièce n°1 et exerce l'effort F nécessaire au soudage.

Phase 3 ($t_1 < t \leq t_2$) : Les conditions thermo-mécaniques du soudage sont réalisées: le vérin de poussée avance sous effort contrôlé. Cette phase cesse avec la rotation de la broche. L'énergie cinétique s'est alors transformée intégralement en énergie thermique permettant la soudure des deux pièces.

Phase 4 ($t_2 < t \leq t_3$) : L'effort F est maintenu pendant une dizaine de secondes (phase de forgeage).

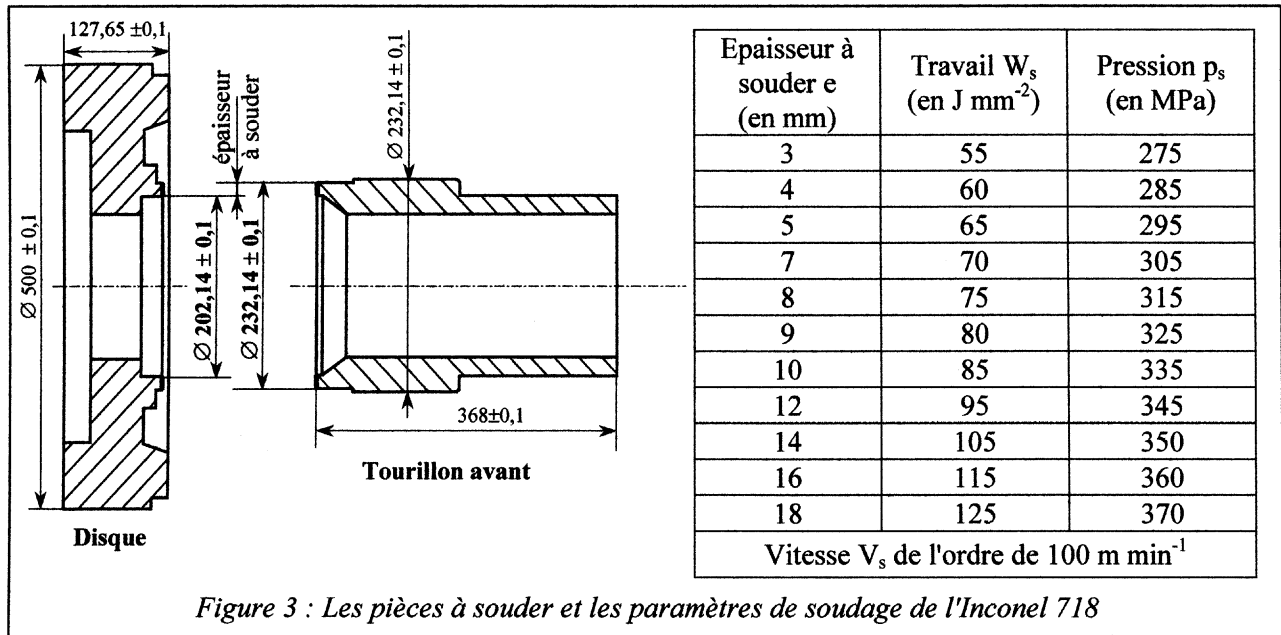
Pour choisir et mettre en œuvre la machine à souder, il faut connaître, pour chaque soudure, l'inertie I de l'ensemble en rotation, la vitesse de rotation N_s et l'effort F .

Afin de déterminer ces valeurs, plusieurs essais ont été réalisés sur des éprouvettes constituées de deux tubes coaxiaux 1 et 2 de diamètres extérieur D et intérieur d . Ces essais permettent de mettre en évidence et de quantifier les paramètres nécessaires à la réalisation d'une soudure :

- la vitesse au début du soudage $V_s = \left\| \vec{V}(M \in 1/2) \right\|$, M étant un point des surfaces en contact sur le rayon moyen,
- le travail W_s des actions de contact au cours du soudage entre les pièces 1 et 2 (proportionnel à la surface à souder),
- la pression de contact p_s entre les pièces.

Ces paramètres dépendent des matériaux et de l'épaisseur e à souder : $e = \frac{D - d}{2}$

On désire souder le tourillon avant du compresseur (pièce 2) sur le disque (pièce 1), pièces en Inconel 718 (alliage de Nickel) dont les caractéristiques de soudage (tolérances de $\pm 10\%$) et les cotes sont données ci-dessous:

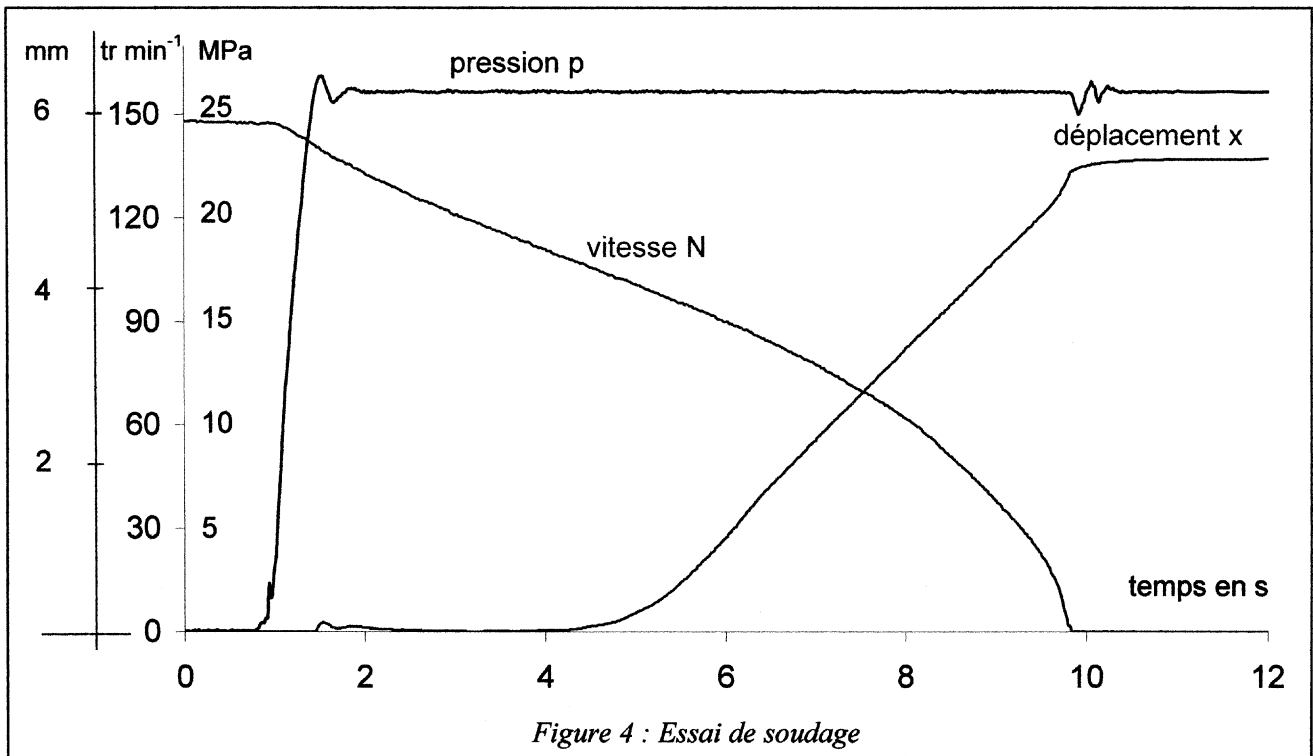


Question 2 : Déterminer la vitesse de rotation N_s , l'effort F et l'inertie I de l'ensemble en rotation.

Au cours d'un essai de soudage, les évolutions des paramètres suivants ont été mesurés :

- la vitesse de rotation $N(t)$ de la broche,
- la pression $p(t)$ dans le vérin hydraulique de poussée, de section $0,137\ m^2$,
- le déplacement $x(t)$ du vérin de poussée.

L'enregistrement de ces trois grandeurs est donné ci dessous :



Question 3 : A partir de cet enregistrement, déterminer les temps t_0 , t_1 et t_2 des phases de soudage et valider la vitesse N_s et l'effort F trouvés à la question 2.

Question 4 : En supposant que l'inertie en rotation est constituée principalement par celle du volant d'inertie constitué d'un cylindre de diamètre extérieur égal à 2,08m et de diamètre intérieur égal à 0,6m, donner l'ordre de grandeur de la masse de ce volant.

La S.N.E.C.M.A. dispose de trois machines de soudage par friction inertielle dont les capacités maximales sont les suivantes :

Machine	Effort de poussée F	Vitesse de rotation N	Inertie en rotation I
MTI M1	660 kN	4000 tr min ⁻¹	26 kg m ²
MTI M2	1200 kN	2000 tr min ⁻¹	310 kg m ²
MTI M3	4070 kN	600 tr min ⁻¹	12000 kg m ²

Question 5 : Quelle machine doit-on choisir pour réaliser cette soudure ?

2. Le système de soudage par friction inertielle

2.1. Présentation du système

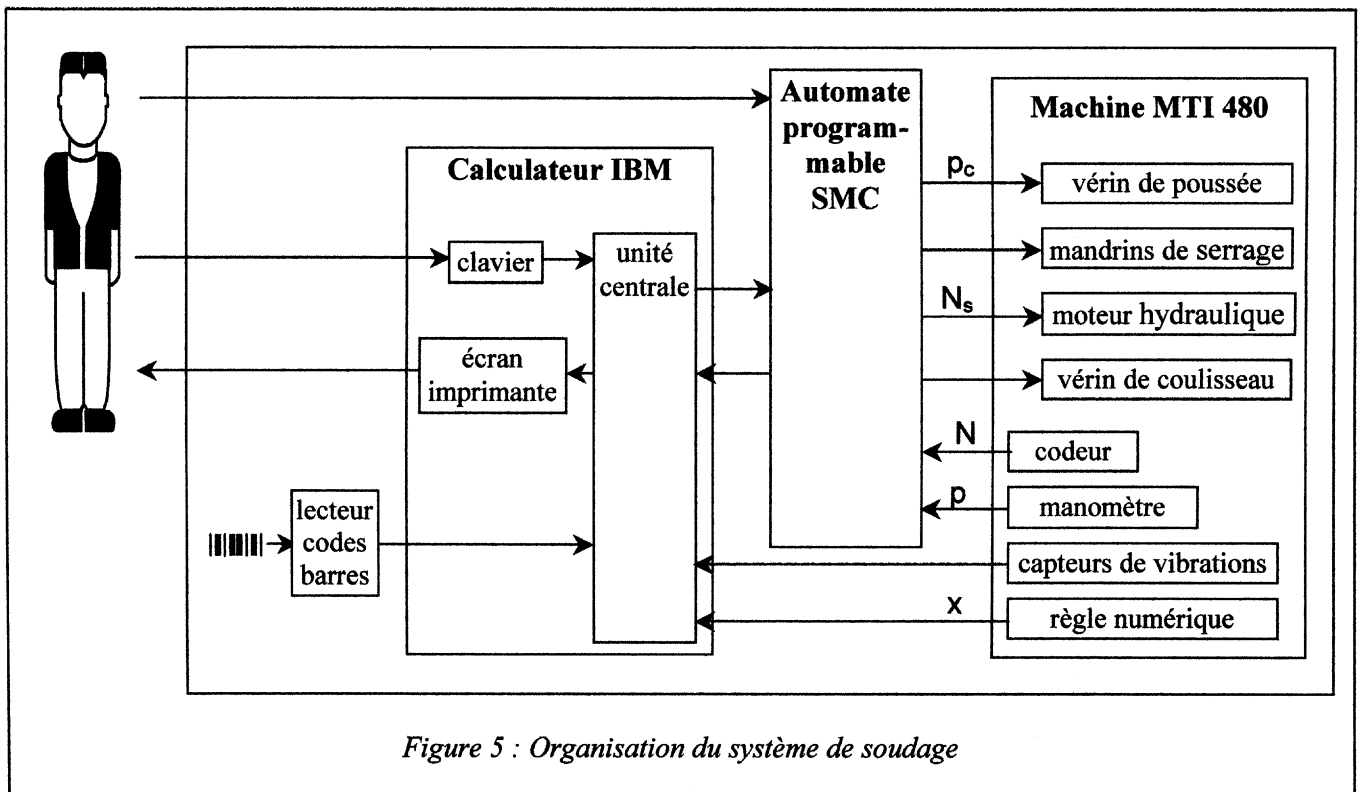


Figure 5 : Organisation du système de soudage

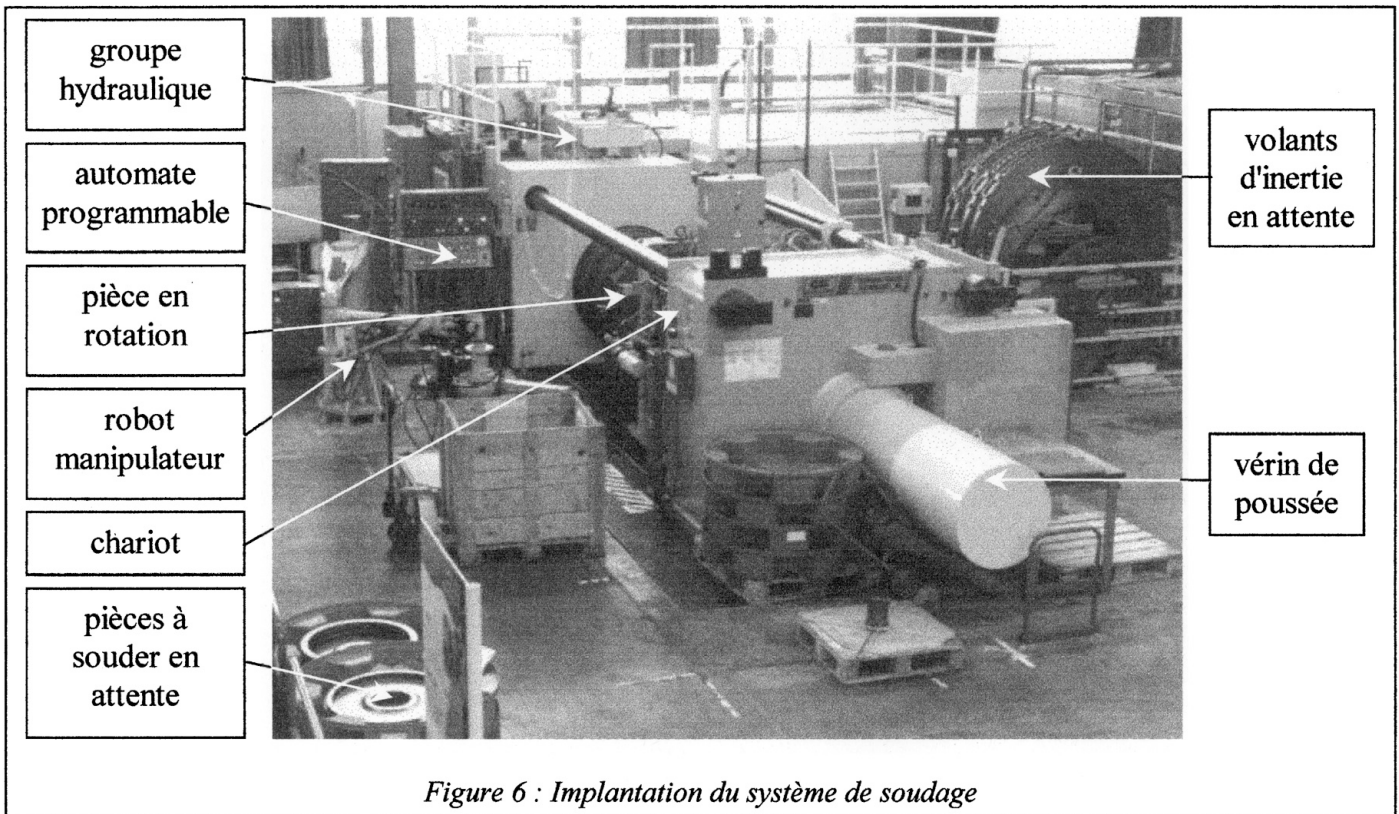


Figure 6 : Implantation du système de soudage

2.2. Identification des pièces

Le calculateur est équipé d'un lecteur optique de codes à barres capable de lire le code 2/5 INTERLEAVED ("2 parmi 5 entrelacé") permettant d'identifier automatiquement les pièces à souder. Chaque pièce est identifiée par un nombre de quatre chiffres décimaux C_3 , C_2 , C_1 et C_0 .

Le code 2/5 INTERLEAVED utilise 5 bits (2 valent 1 et 3 valent 0) pour coder un chiffre décimal. Les chiffres de rang impair (C_3 et C_1) sont codés sur les barres noires, les chiffres de rang pair (C_2 et C_0) sont codés sur les espaces entre les barres noires. Les 1 sont codés par les barres ou espaces "larges" (utilisant deux largeurs de base), les 0 sont codés par les barres ou espaces "étroits" (utilisant une largeur de base).

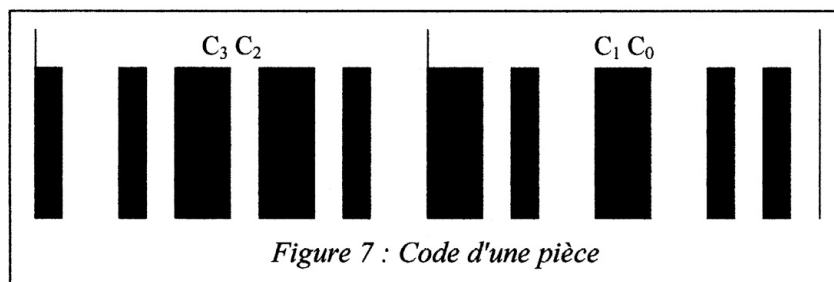


Figure 7 : Code d'une pièce

Chaque chiffre de 0 à 9 est codé sur 4 bits a, b, c et d de poids respectifs 1, 2, 4 et 7. Le code est complété par un bit de contrôle de parité e.

Question 6 : Déterminer les codes des chiffres de 1 à 9 en présentant le résultat sous forme de tableau. En déduire le code du chiffre 0 en justifiant son unicité. Déterminer le nombre correspondant au code de la figure 7.

Poids	1	2	4	7	0
	a	b	c	d	e
0					
1					
...					
9					

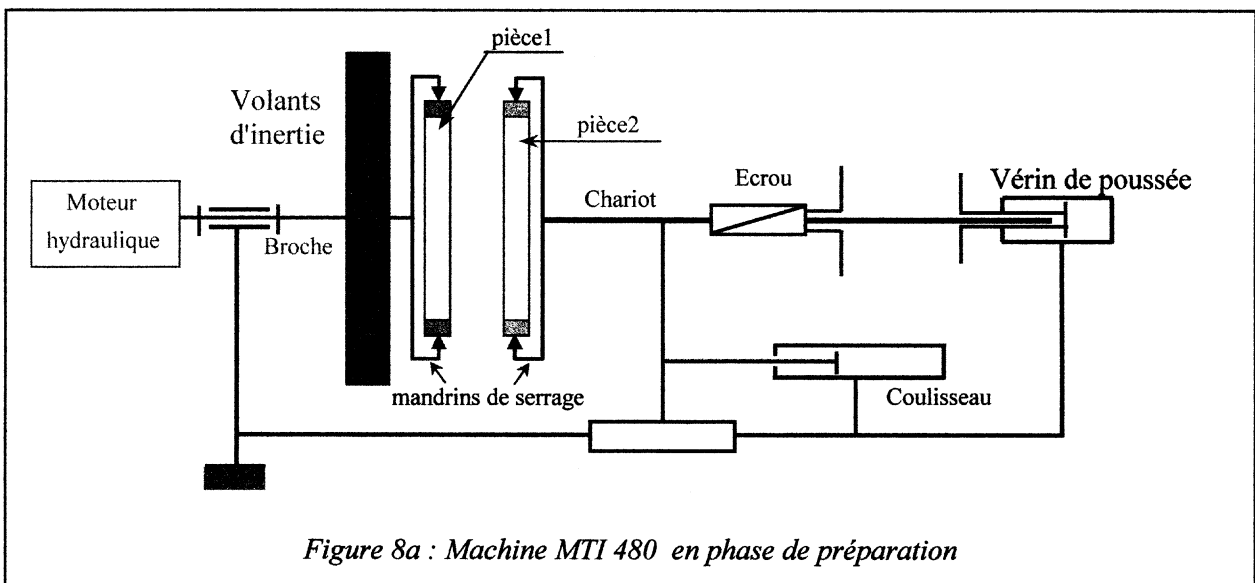
Le calculateur traduit chaque chiffre de ce code à barres en un nombre binaire codé sur les quatre bits s_3, s_2, s_1 et s_0 (le poids du bit s_i vaut 2^i).

Question 7 : Etablir la table de vérité des sorties s_i en fonction des entrées a, b, c, d et e . En déduire l'équation simplifiée de la sortie s_0 .

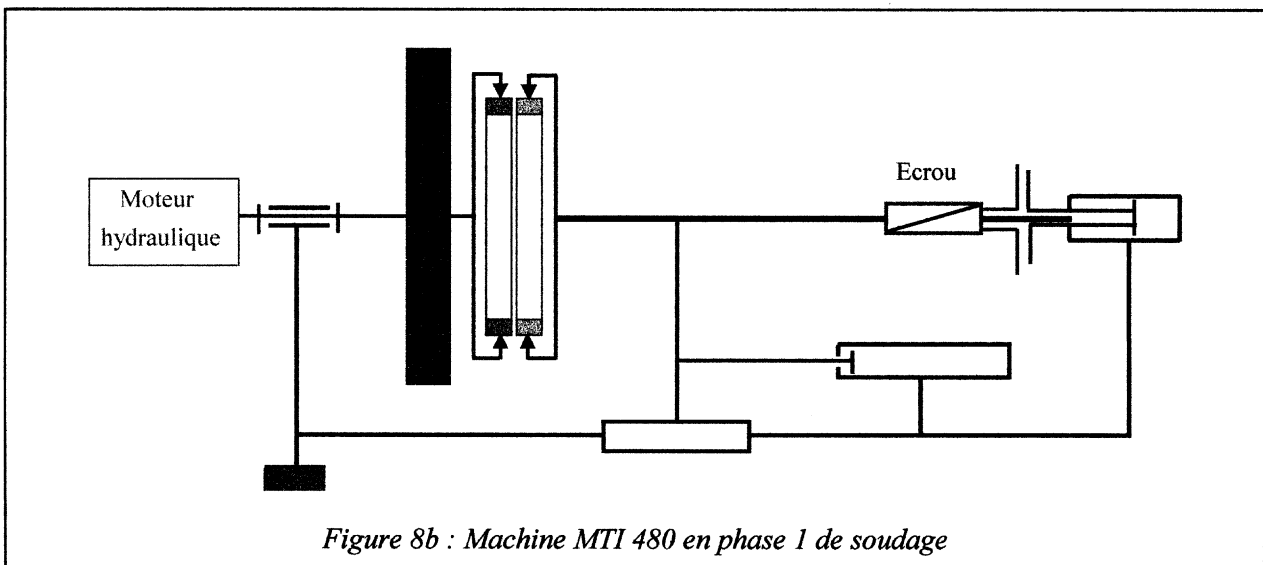
2.3. Phase de préparation du système

L'opérateur fixe les volants d'inertie adéquats sur la broche et les deux pièces dans les mandrins de serrage. Il déplace le chariot (en commandant l'automate) à l'aide du vérin de coulisseau jusqu'à ce que les pièces soient distantes de quelques millimètres.

Un robot manipulateur aide l'opérateur au chargement des volants d'inertie et des pièces à souder.



L'opérateur ramène alors manuellement l'érou en butée sur le piston du vérin de poussée et ferme la porte coulissante de sécurité.



Question 8 : A partir des figures 5 et 6, identifier les éléments du milieu extérieur de la machine MTI 480 pendant la phase de préparation et proposer un diagramme pieuvre mettant en évidence les fonctions de service à satisfaire pendant cette phase.

2.4. Validation des solutions constructives de la machine MTI 480

Le document ressource DR1 décrit les fonctions techniques associées à la fonction de service "Assurer le soudage de la pièce 1 et de la pièce 2".

Question 9 : Indiquer sur la copie les solutions constructives assurant les fonctions techniques FT11, FT12, FT13, FT14, FT164 et FT172.

3. Etude de FT 161 "Réaliser la liaison broche-bâti"

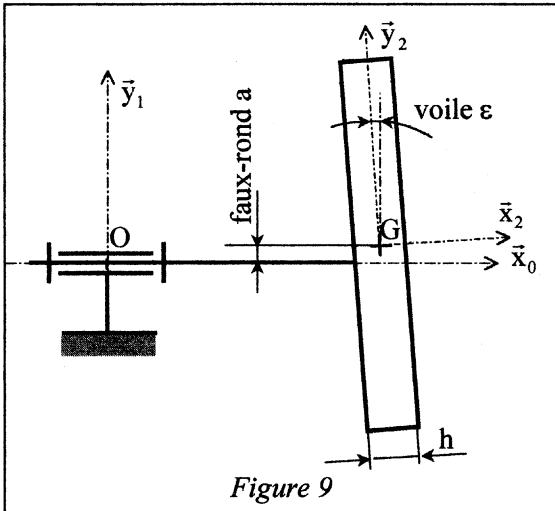
3.1. Objectifs de l'étude

L'objet de cette étude est de vérifier certaines performances de la liaison broche-bâti.

Pour garantir les propriétés attendues de la soudure, la pression de contact entre les deux pièces à souder doit être uniforme. Le cahier des charges partiel impose les valeurs ci-dessous:

	Fonction technique	Critères	Niveaux
FT161	Réaliser la liaison broche-bâti.	<ul style="list-style-type: none"> Faux rond de la broche Voile de broche 	<ul style="list-style-type: none"> < 0,05 mm < 0,25 10⁻⁴ rad

3.2. Modèles retenus



Les volants d'inertie sont équilibrés par perçage de trous à la périphérie. Ils sont modélisés par un cylindre homogène d'axe principal d'inertie (G, \vec{x}_2), de diamètre D et de hauteur h.

L'inertie de l'ensemble {broche + mandrin + pièce} est supposée négligeable par rapport à celle des volants d'inertie.

Le repère $R_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié au bâti 0 avec \vec{y}_0 vertical ascendant.

Les repères $R_1 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ et $R_2 = (G, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_1)$ sont liés à l'ensemble en rotation 1, de masse m.

On donne : $\vec{OG} = L\vec{x}_0 + a\vec{y}_1$ (avec a = faux-rond de broche)
 $(\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1) = \theta$ et $(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = \varepsilon =$ voile de broche

Diamètre D = 2,08 m et hauteur h = 0,64 m

Matrice d'inertie de 1 en G notée $\mathcal{G}(G,1) = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & B \end{pmatrix}_{R_2}$

On note :

$$\mathcal{T}_{(0 \rightarrow 1)} = \begin{Bmatrix} X \bar{x}_0 + Y \bar{y}_0 + Z \bar{z}_0 \\ M \bar{y}_1 + N \bar{z}_1 \end{Bmatrix} \text{ le torseur en O des actions mécaniques exercées par le bâti } 0 \text{ sur } 1$$

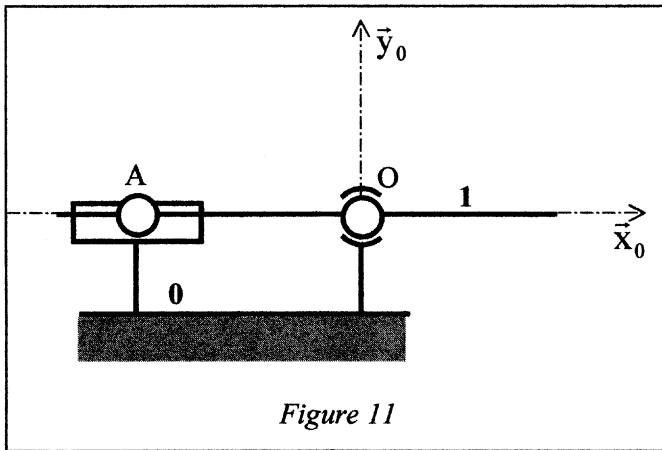
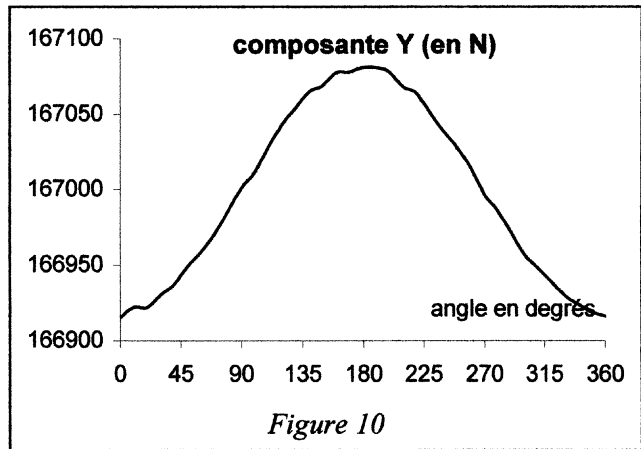
$$\mathcal{T}_{(2 \rightarrow 1)} = \begin{Bmatrix} -F \bar{x}_0 \\ C \bar{x}_0 \end{Bmatrix} \text{ le torseur en O des actions mécaniques exercées par la pièce } 2 \text{ sur } 1$$

Question 10 : Calculer les composantes des actions du bâti 0 sur l'ensemble 1 et le couple C en fonction des caractéristiques du système (on tiendra compte du fait que ε est un angle faible).

Question 11 : A partir de la figure 4, donner l'ordre de grandeur du couple C (exercé par la pièce 2 sur l'ensemble 1) maximal au cours du soudage.

Un capteur d'effort enregistre la composante Y de l'action du bâti sur la broche pendant la phase 1, au moment où la vitesse de rotation est constante et égale à 148 tr min^{-1} .

Question 12 : Déterminer la masse m et le faux rond a de la broche. Le cahier des charges est-il respecté ?



L'ensemble en rotation est guidé par deux roulements en O et en A. On adopte la modélisation de la figure 11 avec :

$$\overrightarrow{AO} = l \bar{x}_0$$

$$l = 0,7 \text{ m et } L = 0,9 \text{ m}$$

On note :

$$\mathcal{T}_{M(0 \rightarrow 1)} = \begin{Bmatrix} X_M \bar{x}_0 + Y_M \bar{y}_0 + Z_M \bar{z}_0 \\ L_M \bar{x}_0 + M_M \bar{y}_0 + N_M \bar{z}_0 \end{Bmatrix}$$

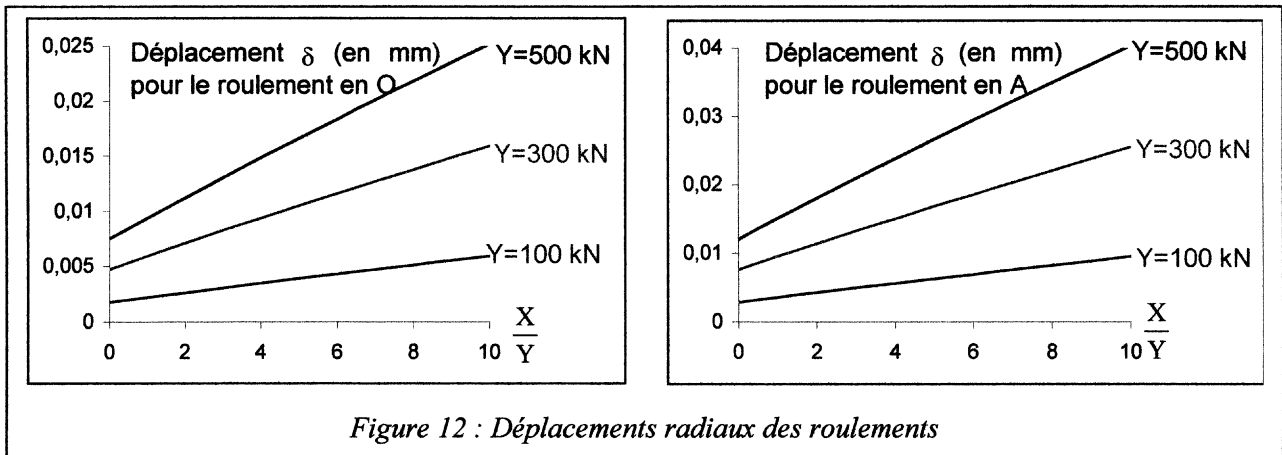
le torseur des actions mécaniques exercées par le bâti 0 sur 1 au point M.

Question 13 : Déterminer les composantes des torseurs des actions mécaniques du bâti sur 1 en O et A en projection dans le repère R_0 . Calculer les moments d'inertie A et B et montrer que Z_O et Z_A sont négligeables devant Y_O et Y_A .

On se place dans le cas le plus défavorable: effort axial $F_{\text{MAXI}} = 4070 \text{ kN}$ et $m_{\text{MAXI}} = 20000 \text{ kg}$

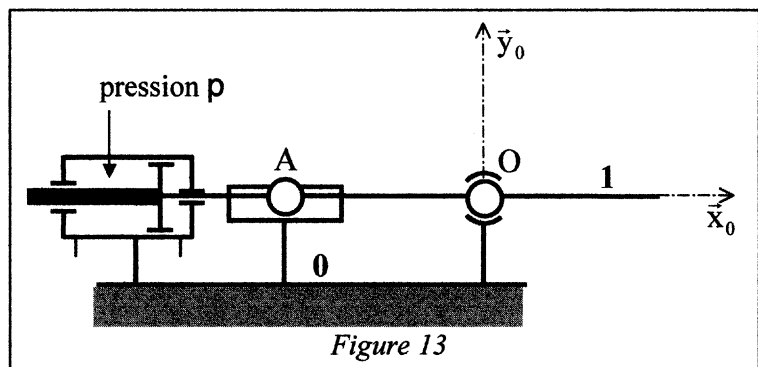
Question 14 : Donner l'ordre de grandeur de Y_O et Y_A .

Les roulements choisis sont de type à rouleaux coniques à deux rangées de rouleaux pour lesquels les actions mécaniques provoquent un déplacement radial δ dépendant du rapport entre l'effort axial X et l'effort radial Y :



Question 15 : Evaluer les déplacements radiaux de chaque roulement. En déduire l'amplitude du faux rond et du voile de broche ? Le cahier des charges est-il respecté ?

Pour limiter les déplacements radiaux, le constructeur a choisi d'implanter un vérin (diamètre de piston = 477 mm et diamètre de tige = 230 mm), alimenté par la même pression p que le vérin de poussée (voir figure 13).



Question 16 : Justifier et valider numériquement cette solution.

4. Etude de FT 162 "Transmettre l'énergie électrique à la broche"

4.1. Objectifs de l'étude

L'objet de cette étude est d'analyser le fonctionnement de la machine MTI 480 concernant la mise en rotation de la broche durant la phase 1.

4.2. Contexte de l'étude

Le document ressource DR2 décrit, sous forme de schéma hydraulique, la solution industrielle utilisée. Le principe retenu est d'alimenter, en chaîne directe, le moteur hydraulique afin d'accélérer la broche. Durant la phase d'accélération, la pompe hydraulique fonctionne à débit variable.

Question 17 : Indiquer sur la copie les numéros des composants qui permettent d'assurer l'accélération angulaire de la broche. Parmi les commandes a, b, c et d, lesquelles doit on activer ?

Question 18 : Construire le schéma hydraulique correspondant en positionnant correctement les tiroirs des différents distributeurs utilisés.

Question 19 : Quelle est la conséquence sur la partie opérative d'une action impulsionnelle de l'opérateur sur la commande a du distributeur 9 ?

5. Etude de FT17 : "Assurer l'effort de soudage nécessaire"

5.1. Objectifs de l'étude

L'objet de cette étude est de vérifier les performances de la machine MTI 480 concernant l'application de l'effort de poussée. Le cahier des charges partiel impose les valeurs ci dessous :

	Fonction technique	Critères	Niveaux
FT17	Appliquer l'effort de soudage nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stabilité ▪ Précision ▪ Rapidité ▪ Amortissement ▪ Régulation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marge de phase $M\Phi \geq 60^\circ$. ▪ Ecart statique nul en poursuite. ▪ Pulsation de coupure à 0 dB : $\omega_C = 40 \text{ rad s}^{-1}$ ▪ Pression maximale $p_{\text{MAX}} = 3 \times 10^7 \text{ Pa}$ ▪ Dépassement maximal $D = 10\%$ ▪ Insensibilité en régime permanent aux perturbations.

5.2. Contexte de l'étude

Le document DR2 décrit, sous forme de schéma hydraulique, la solution industrielle utilisée. La chaîne fonctionnelle qui décrit l'application de l'effort de poussée est représentée ci-dessous :

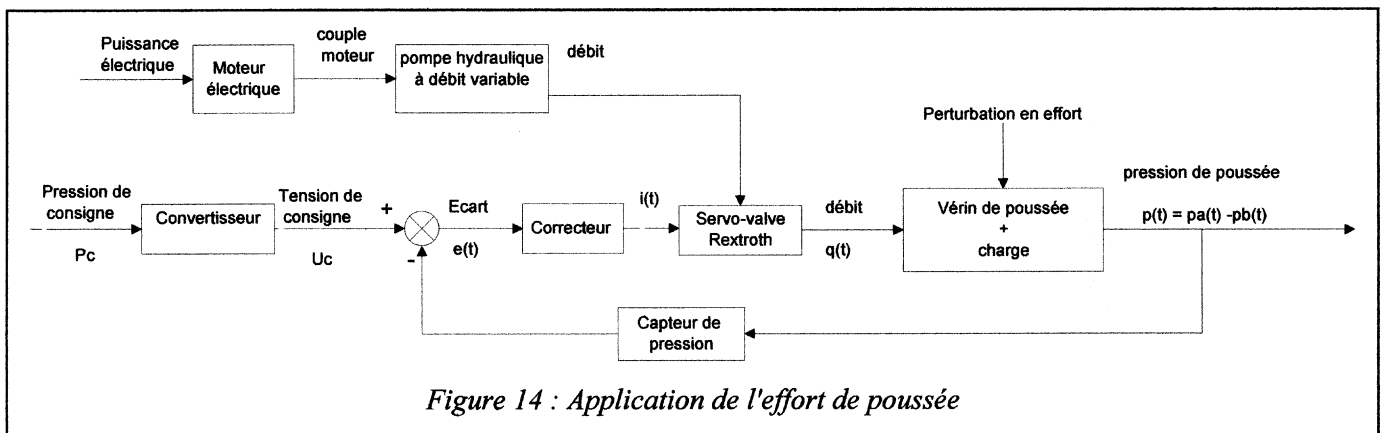


Figure 14 : Application de l'effort de poussée

Durant la phase 2, le vérin hydraulique de poussée amène la pièce à souder n° 2 en contact avec la pièce n° 1 et exerce l'effort F nécessaire au soudage. L'énergie cinétique se transforme alors en énergie thermique sans avancement notable du vérin de poussée. Pendant cette phase, le déplacement du piston de poussée est limité par la raideur de la machine. La servo-valve REXROTH a un débit faible (compensation des déplacements). Le système fonctionne en poursuite.

Durant la phase 3, les conditions thermo-mécaniques du soudage sont réalisées. Il y a soudage des deux pièces et avancement du vérin de poussée sous effort contrôlé. Cette phase cesse avec la rotation de la broche. La servo-valve REXROTH a un débit important (compensation du phénomène de fusion).

Au début de la phase 4, l'arrêt de la rotation de la broche provoque une diminution de l'effort résistant donc de la pression de soudage. Le système fonctionne alors en régulation.

Le principe retenu est de piloter la différence de pression entre les deux chambres du vérin de poussée afin de contrôler l'effort appliqué pour effectuer le soudage. Bien que la raideur du système soit différente pendant les phases 2 et 3, le modèle de calcul proposé retient une raideur équivalente constante pendant ces deux phases.

5.3. Modèles retenus

5.3.1. Paramétrage et notations

Notation	Désignation	Valeur numérique
U_C	Tension de consigne	
$I(t) = I_0 + i(t)$	Courant de commande de la servo-valve	
$Q_V(t) = Q_{V0} + q_V(t)$	Débit volumique sortant de la servo-valve	
$Q_M(t) = Q_{M0} + q_M(t)$	Débit massique sortant de la servo-valve	
$P_A(t) = P_{A0} + p_A(t)$	Pression dans la chambre A du vérin	
$P_B(t) = P_{B0} = P_{ATM}$	Pression dans la chambre B du vérin	
$V(t) = V_0 + v(t)$	Volume dans la chambre A du vérin	
$X(t) = X_0 + x(t)$	Position du vérin de poussée	
ρ	Masse volumique de l'huile	
P_C	Pression de soudage de consigne	$261 \times 10^5 \text{ Pa}$
λ	Coefficient de frottement visqueux de l'huile	$2,8 \times 10^3 \text{ N m}^{-1} \text{ s}$
r	Coefficient de raideur équivalente	$3,1 \times 10^8 \text{ N m}^{-1}$
$B = \rho \frac{dp}{d\rho}$	Module de compressibilité de l'huile (supposé constant)	1500 MPa
V_0	Volume initial dans la chambre A du vérin	$0,1028 \text{ m}^3$
M	Masse de l'équipage mobile	10^3 kg
S	Section du piston du vérin de poussée	$0,137 \text{ m}^2$
K_S	Gain statique de la servo-valve	$37,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ A}^{-1}$
T_S	Constante de temps de la servo-valve	$0,04 \text{ s}$
K_C	Gain statique du capteur de pression	$1,25 \times 10^{-7} \text{ V Pa}^{-1}$

Le vérin de poussée est symétrique et le point de fonctionnement est défini ainsi par les conditions initiales sont les suivantes :

L'instant initial est l'instant du contact entre les pièces 1 et 2. A l'instant $t = 0$, on peut donc considérer que :

$$Q_A(0) = Q_{A0} = 0 ; P_A(0) = P_{A0} = P_{ATM} ; P_B(0) = P_{B0} = P_{ATM} ; \\ I(0) = I_0 = 0 ; V(0) = V_0 ; X(0) = X_0$$

On retiendra la notation p pour la variable de Laplace. On note donc $L[U_C(t)] = U_C(p)$;

$L[p_A(t) - p_B(t)] = P(p)$; $L[q(t)] = Q(p)$; $L[i(t)] = I(p)$; $L[x(t)] = X(p)$; etc.

Le schéma bloc de l'asservissement de pression est donné ci-dessous :

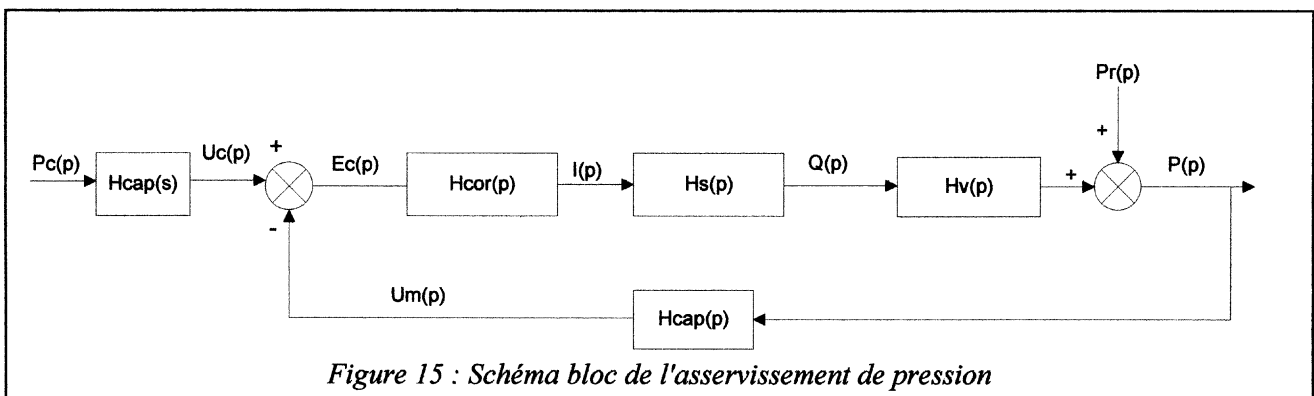


Figure 15 : Schéma bloc de l'asservissement de pression

5.3.2. Modélisation du comportement de la servo-valve

Le comportement retenu est celui d'un modèle du premier ordre de gain statique K_S et de constante de temps T_S .

Question 20 : Ecrire la fonction de transfert de la servo-valve notée $H_S(p) = \frac{Q(p)}{I(p)}$ en fonction de K_S et de la constante de temps T_S .

5.3.3. Modélisation du comportement du capteur de pression

Le comportement retenu est celui d'un modèle proportionnel du type : $H_{CAP}(p) = K_C$

5.3.4. Modélisation du comportement du système {vérin + charge}

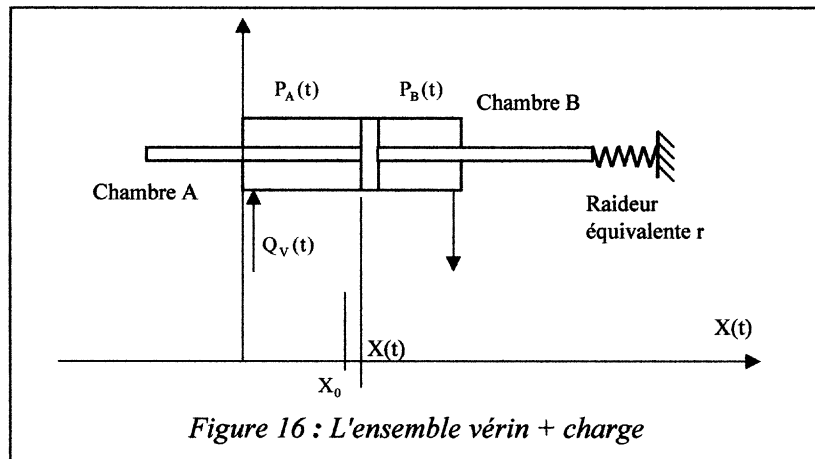


Figure 16 : L'ensemble vérin + charge

Question 21 : En appliquant le principe de conservation de la masse du fluide du vérin hydraulique, démontrer que :

$$q(t) = S \frac{dx(t)}{dt} + \frac{V_0}{B} \frac{d[p_A(t) - p_B(t)]}{dt}$$

Question 22 : Déterminer l'équation différentielle liant $x(t)$, $\dot{x}(t)$, $\ddot{x}(t)$, $[p_A(t) - p_B(t)]$, M , λ , r et S .

L'ensemble vérin + charge est modélisé sur la figure 17.

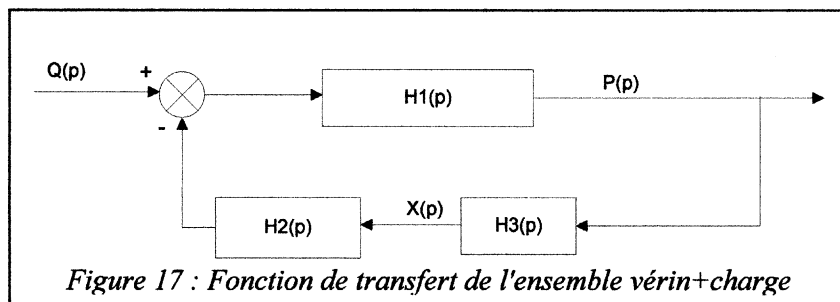


Figure 17 : Fonction de transfert de l'ensemble vérin+charge

Question 23 : Déterminer les fonctions de transfert $H_1(p)$, $H_2(p)$ et $H_3(p)$ où $P(p)$ désigne la transformée de Laplace de $[p_A(t) - p_B(t)]$.

Question 24 : Déterminer la fonction de transfert $H_V(p) = \frac{P(p)}{Q(p)}$. Mettre $H_V(p)$ sous la forme

$$H_V(p) = \frac{K_V}{p} \frac{1 + a_1 p + a_2 p^2}{1 + b_1 p + b_2 p^2}. \text{ Effectuer les applications numériques.}$$

Question 25 : Déterminer l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle ouverte

$$H_{BO}(p) = \frac{U_m(p)}{E_C(p)}$$

5.4. Performances en poursuite du système de poussée sans correction

Dans une première approche, il n'y a pas de correcteur donc $H_{COR}(p) = 1$

Question 26 : En utilisant le document ressource DR3, conclure quant à la stabilité de l'asservissement étudié. Justifier la réponse. Le Cahier des Charges Fonctionnel est-il vérifié ?

5.5. Performances en poursuite du système de poussée avec correction proportionnelle

Dans une seconde approche, la correction proposée est proportionnelle donc $H_{COR}(p) = K_{COR}$

Question 27 : Calculer la valeur de K_{COR} qui assure une pulsation de coupure à 0 dB $\omega_C = 40 \text{ rad s}^{-1}$. Calculer alors la marge de phase du système ? En utilisant le document ressource DR3, retrouver ces résultats.

Question 28 : Si $p_C(t) = P_C u(t)$ où $u(t)$ désigne l'échelon unitaire, déterminer la valeur de l'écart statique ε_S .

Question 29 : En utilisant le document ressource DR3, déterminer le temps de réponse à 5% ainsi que le dépassement obtenu.

Question 30 : Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $H_{BF}(p) = \frac{P(p)}{P_C(p)}$.

Mettre $H_{BF}(p)$ sous la forme suivante:
$$H_{BF}(p) = K \frac{1 + a_1'p + a_2'p^2}{1 + b_1'p + b_2'p^2 + b_3'p^3 + b_4'p^4}$$

Déterminer numériquement les coefficients $a_1', a_2', b_1', b_2', b_3'$ et b_4' .

Les pôles de la fonction de transfert $H_{BF}(p) = \frac{P(p)}{P_C(p)}$ sont donnés ci dessous :

p_1	$-12,44 + 21,60j$
p_2	$-12,44 - 21,60j$
p_3	$-1,40 + 764j$
p_4	$-1,40 - 764j$

Question 31 : Conclure quant à la stabilité de l'asservissement étudié. Quel modèle simplifié peut-on associer au comportement de l'asservissement étudié en régime établi ? Justifier la réponse. Conclure conformément au Cahier des Charges Fonctionnel.

5.6. Performances en poursuite du système de poussée avec correction proportionnelle et dérivée

Dans une troisième approche, la correction proposée est la suivante :

$$H_{COR}(p) = K_{COR} \left[\frac{1 + Tp}{1 + aTp} \right] \text{ avec } a < 1$$

Question 32 : Dans le plan de Bode, tracer les diagrammes asymptotiques de gain et de phase de ce correcteur. Donner l'allure des courbes en précisant la phase maxi φ_m de ce correcteur ainsi que la pulsation ω_m correspondante. Exprimer $\tan \varphi_m$ et ω_m en fonction de a et T . Justifier l'intérêt de l'emploi d'un tel correcteur.

Question 33 : En plaçant le correcteur tel que $\omega_m = \omega_C = 40 \text{ rad s}^{-1}$, déterminer a , T et K_{COR} pour que le système étudié possède une marge de phase conforme au Cahier des Charges Fonctionnel.

Question 34 : En utilisant le document ressource DR4, déterminer la marge de phase du système corrigé, le temps de réponse à 5% ainsi que la valeur du dépassement en %. Conclure conformément au Cahier des Charges Fonctionnel.

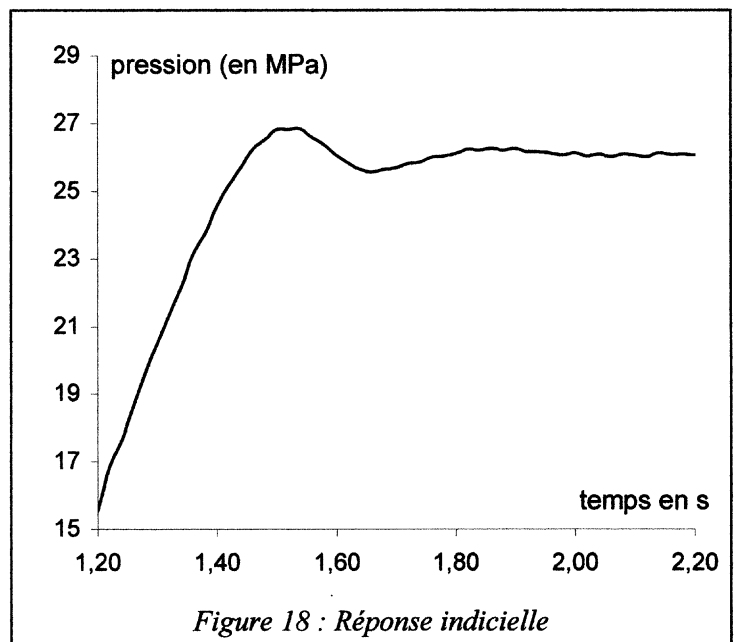
5.7. Performances en régulation du système de poussée

Question 35 : L'essai de soudage figure 4 montre qu'une chute de pression intervient lorsque la broche cesse de tourner. Justifier que l'influence de cette perturbation est effacée comme demandé par le Cahier des Charges Fonctionnel.

5.8. Validation du modèle

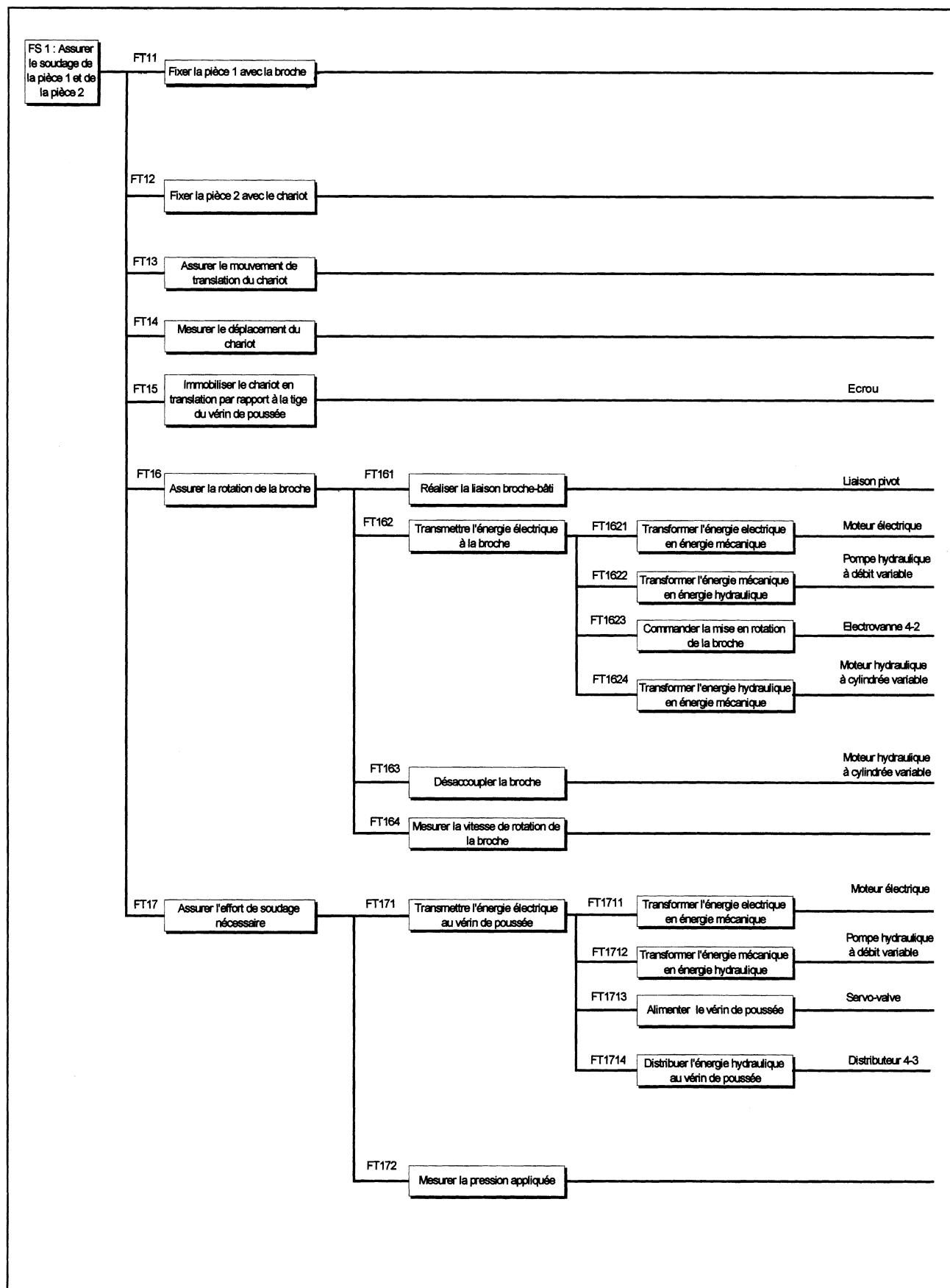
Un essai a été réalisé sur la machine MTI 480. La pression de consigne p_C est égale à 261 bars. La courbe donnant l'évolution de la pression $p_B(t) - p_A(t)$ est donnée ci-contre:

Question 36 : Comparer ce résultat d'essai avec celui obtenu par le modèle de calcul. Commenter la validité des modèles de comportement utilisés dans cette étude.

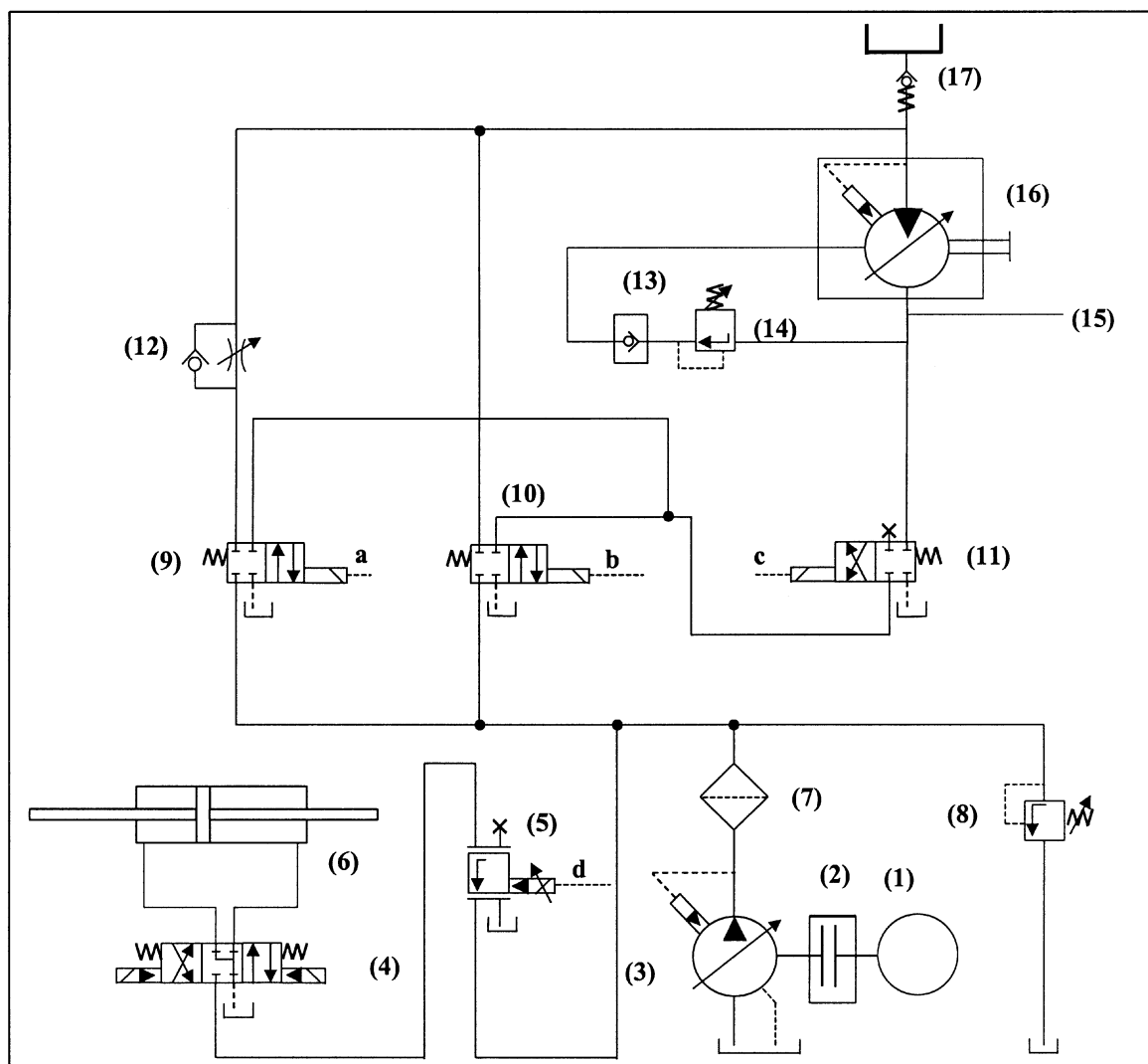


Question 37 : Le modèle de calcul utilisé a retenu une raideur r du système constante. Proposer une modélisation de cette raideur r plus conforme à l'essai de soudage de la figure 4.

DR 1 : F.A.S.T. PARTIEL DU SYSTEME MTI 480

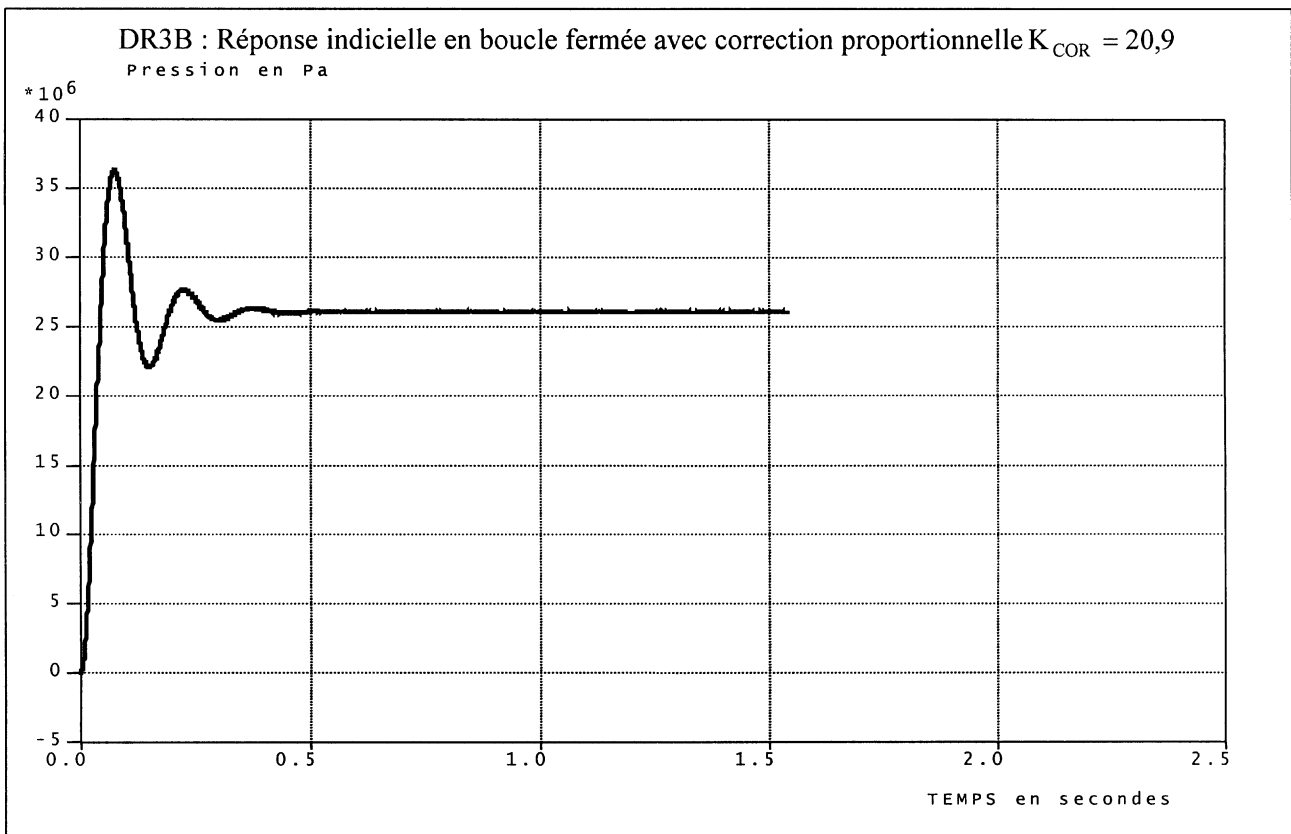
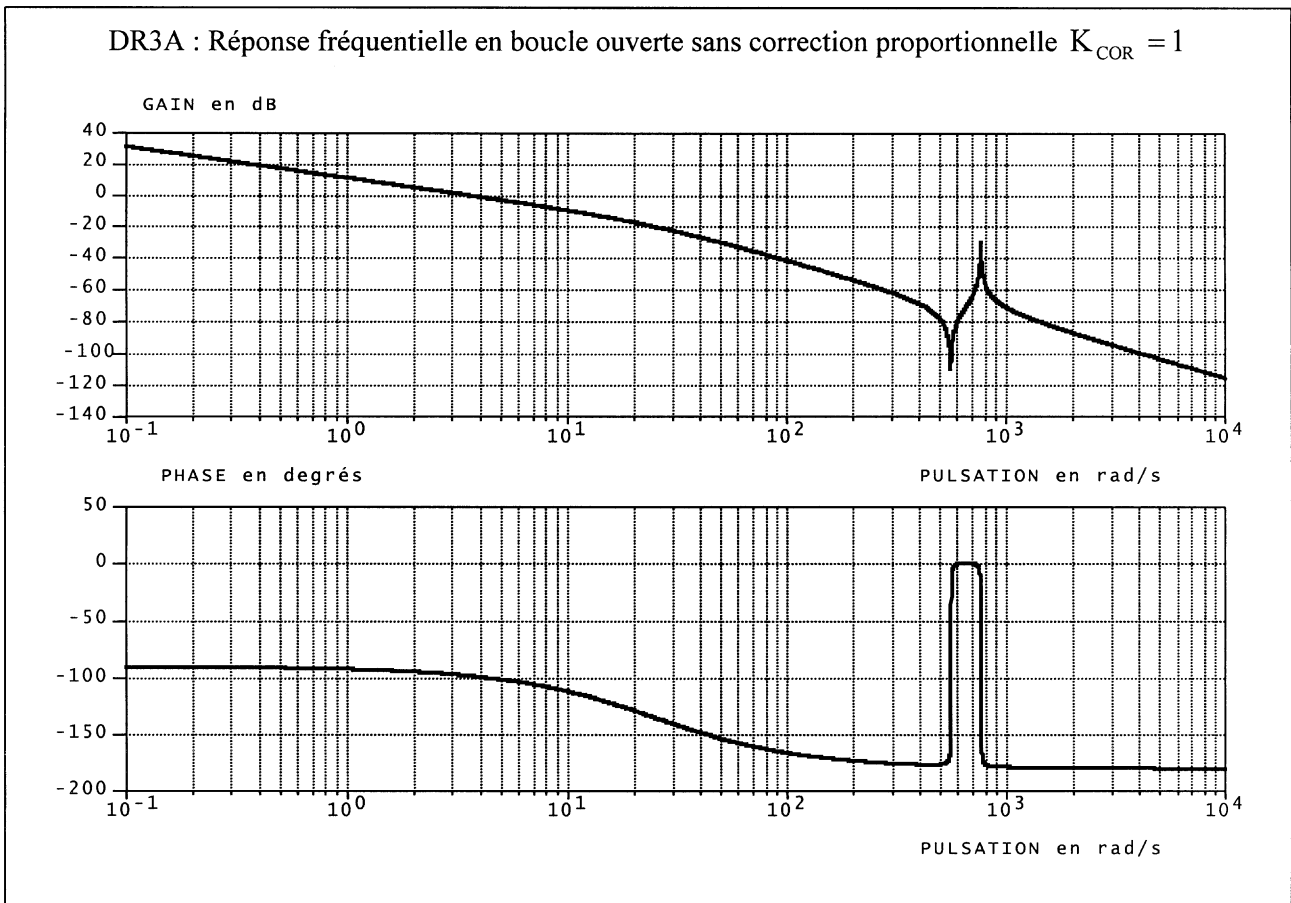


DR 2 : SCHEMA HYDRAULIQUE PARTIEL DU SYSTEME MTI 480



DESIGNATION	N°	CARACTERISTIQUES
Moteur électrique	1	200 kW ; 380 V ; 1500 tr min ⁻¹
Accouplement	2	
Pompe hydraulique	3	7 pistons axiaux ; débit variable
Distributeur 4/3 MTI	4	
Servo-valve	5	à 4 voies à 2 étages avec contre réaction mécanique
Vérin de poussée	6	Surface de poussée S = 0,137 m ²
Filtre	7	Indicateur de colmatage
Limiteur de pression	8	Entre 4,1 MPa et 31 MPa
Distributeur 4-2	9	Commande électrique à un enroulement
Distributeur 4-2	10	Commande électrique à un enroulement
Distributeur 4-2	11	Commande électrique à un enroulement
Régulateur de débit	12	
Clapet anti retour	13	
Limiteur de pression	14	4,8 MPa
Capteur de pression	15	Piézo capacitif (5 V / 40 MPa)
Moteur hydraulique	16	7 pistons axiaux ; cylindrée variable
Réservoir de charge	17	

DR 3 : PERFORMANCES DU SYSTEME MTI 480



**DR 4: PERFORMANCES DU SYSTEME MTI 480
AVEC CORRECTEUR PROPORTIONNEL DERIVE**

