Concours e3a-Polytech, France

Session 2009, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 5 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : liaisons et domaines de soudabilité
- Partie I : montage de soudage et système de bridage
- Partie I : sécurité de la machine et pilotage du soudage
- Partie II : relevés d'essai et moteurs en régime permanent
- Partie II : synchronisation des moteurs d'entraînement
- Partie II : démarrage du portique et effort de pression verticale

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/e3a/psi/2009/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

XS94

e3a

CONCOURS ENSAM - ESTP - ARCHIMEDE

Épreuve de Sciences Industrielles PSI

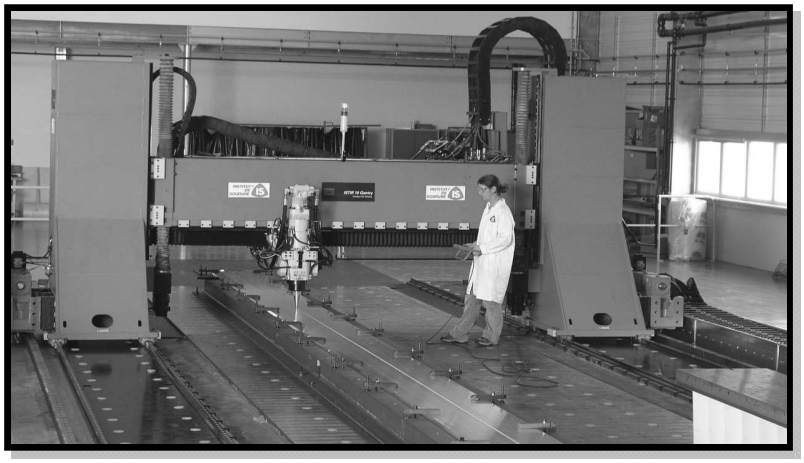
Durée 5 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Etude d'une machine de soudage par friction – malaxage : le « *Friction – Stir Welding* » (FSW)

QUESTIONNAIRE



Le sujet remis aux candidats comprend :

- un questionnaire
- un dossier technique regroupant les annexes
- un cahier de réponses

Le questionnaire est composé de 2 parties indépendantes :

- Préparation de l'assemblage d'éprouvettes de caractérisation par friction - malaxage ..... pp. 4 - 10
- Réalisation d'un cordon de soudure linéaire sur l'axe $\left(O_0, \overrightarrow{y_0}\right)$ de la machine de soudage « FSW » ..... pp. 11 - 18

Chaque partie est décomposée en sous-parties indépendantes les unes des autres pour la plupart des questions.

Il est précisé que le candidat devra porter l'ensemble de ses réponses sur le cahier prévu à cet effet, à l'exclusion de toute autre copie.

Présentation du procédé de soudage par friction - malaxage

Les procédés d'assemblages permanents entrent dans la fabrication de 80% des produits manufacturés. Le soudage représente une grande majorité de ces procédés. Il permet l'obtention d'une liaison complète entre deux pièces.

Les procédés de soudage les plus répandus utilisent l'arc électrique comme source de chaleur. Les matériaux sont localement mis en fusion par cette chaleur et après refroidissement la liaison entre les pièces à assembler est complète. Dans ce cas, les matériaux doivent être compatibles pour que la solidification produise un cordon résistant.

Une solution alternative est le soudage par friction-malaxage, le Friction Stir Welding (FSW), qui met en œuvre la dissipation énergétique par frottement comme source de chaleur. Ce procédé a l'avantage de pouvoir assembler des matériaux qui ne sont pas compatibles pour réaliser un assemblage par fusion : aluminium / acier, acier / titane par exemple.

Développé depuis 1991, le soudage par friction-malaxage a de nombreuses applications dans le secteur aéronautique. Citons par exemple, l'avion Eclipse pour lequel les assemblages par rivetage ont été remplacés à hauteur de 70 % par des joints soudés diminuant ainsi le coût de fabrication (voir figure 1). Il offre alors au concepteur de nouvelles possibilités pour des produits innovants.



Figure 1 : avion Eclipse

Le frottement généré par la rotation d'un outil sur les pièces à souder dégage de la chaleur. Les matériaux à souder deviennent alors semi-solides (point d'équilibre entre le solidus et le liquidus), mais n'entrent pas dans le domaine liquide, avantage de cette technologie. L'outil possède un épaulement pour augmenter la surface de frottement (voir figure 2). Le déplacement du pion dans les matériaux à l'état semi-solide crée alors un cordon de soudure.

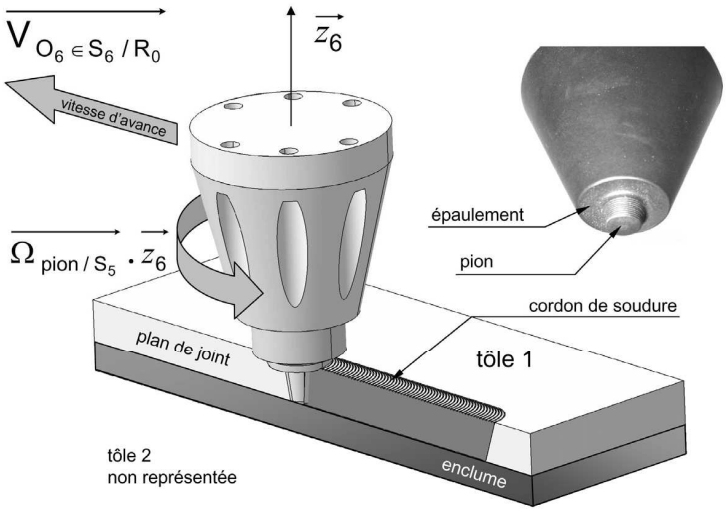


Figure 2 : principe de réalisation d'un cordon de soudure par FSW.

Pour réaliser un cordon de soudure de bonne qualité, il est nécessaire d'appliquer un effort de pression verticale sur l'outil qui maintient le métal semi-solide entre l'enclume et l'épaulement du pion (voir figure 3). Selon l'axe principal de l'outil $\left(O_6, \overrightarrow{z_6}\right)$, il y a donc une régulation de pression et non pas un asservissement en position.

Dans son mouvement par rapport au bâti, les tôles à souder exercent des efforts résistants sur l'outil de soudage : un effort résistant au mouvement d'avance, et un effort transversal au mouvement d'avance (voir figure 3).

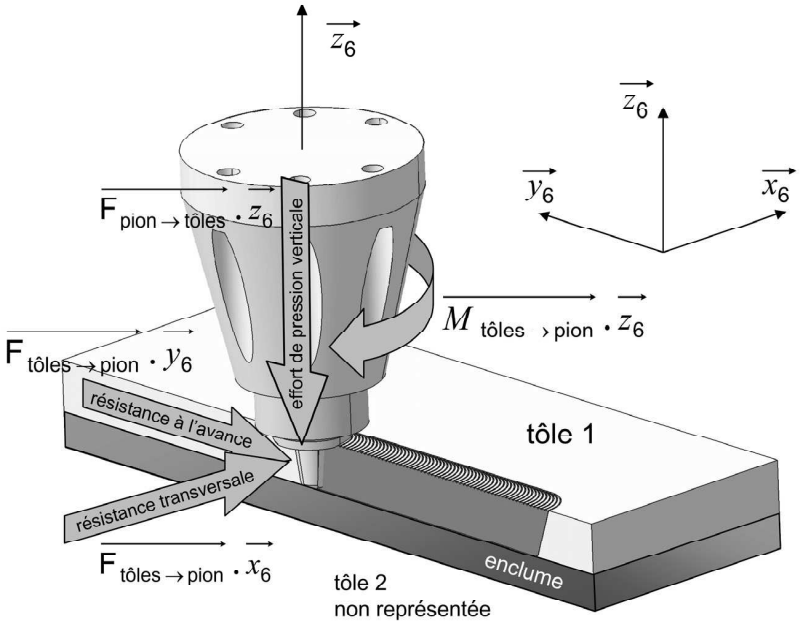


Figure 3 : efforts pilotés et efforts résistants lors de la réalisation d'un cordon de soudure par FSW.

La machine de soudage « FSW » génère la rotation de l'outil et son déplacement. Le sujet propose l'étude d'une machine de soudage « FSW » implantée dans un centre de recherche et de transfert de technologies. Cette installation assure la réalisation d'essais de soudage, de pièces « tests » pour l'aéronautique, mais aussi la production de pièces pour l'industrie.

Une machine de soudage « FSW » est composée essentiellement (voir dossier technique, annexe A, p. 2):

- ✓ d'un portique qui assure les mobilités en translation de la tête par rapport au bâti,
- ✓ d'une tête de soudage qui assure les mobilités complémentaires nécessaires à l'outil de soudage. La mise en rotation de l'outil est assurée par cette tête.
- ✓ d'un outil, souvent composé d'un pion et d'un épaulement. Le frottement généré par le pion et l'épaulement permet le dégagement de chaleur. Sa mise en rotation permet un malaxage des deux matériaux et donc la création d'une zone soudée.
- ✓ d'une plateforme de soudage sur laquelle sont mises en position les pièces à assembler grâce à un montage.

Contrairement aux autres procédés de soudage, le montage de soudage doit assurer non seulement la mise en position de chacune des pièces avant assemblage mais doit également compenser l'effort de pression verticale exercé par l'outil sur les tôles.

---------- *Fin de la présentation du procédé* ----------

PARTIE I

Préparation de l'assemblage d'éprouvettes de caractérisation par friction-malaxage

Cette partie est consacrée à l'étude de la préparation de l'assemblage de tôles pour réaliser des éprouvettes de caractérisation en « V » pour l'industrie aéronautique (voir dossier technique, annexe F pp. 6 à 9). Après l'étude de quelques liaisons de la machine de soudage « FSW », les différentes phases de la préparation d'un essai de soudage seront étudiées en utilisant cette éprouvette comme exemple. Ces différentes phases sont :

- ✓ *la vérification des limites géométriques de la machine de soudage « FSW » caractérisant les domaines géométriques de soudabilité des éprouvettes,*
- ✓ *la mise en place d'un montage de soudage,*
- ✓ *l'étude du système de bridage des tôles,*
- ✓ *la mise en sécurité de la machine de soudage « FSW »,*
- ✓ *la programmation de la commande en position et en vitesse du déplacement de la machine de soudage « FSW ».*

◆ ETUDE DES LIAISONS, MISE EN MOUVEMENT DES SOLIDES

Une description globale ainsi qu'un schéma cinématique simplifié de la machine de soudage « FSW » sont donnés dans le dossier technique (annexes A, B & C, pp. 2-3). Il est précisé ici que le montant droit S_1, le montant gauche S_1' et la traverse S_2 constituent un portique repéré Σ_{12} ($\Sigma_{12} = S_1 + S_2 + S_1$').

Le chariot S_3 est en liaison pivot avec la chape d'orientation S_4 qui est elle-même est en liaison pivot avec la tête de soudage S_5.

Question I.1 *(voir dossier technique, annexes A, B et C)*

- **Donner le nom de la liaison cinématiquement équivalente entre le chariot S_3 et la tête S_5. Spécifier les caractéristiques intrinsèques et la forme du torseur cinématique de cette liaison équivalente.**

Pour la question I.2 *(et uniquement pour cette question)*, on pose les hypothèses suivantes :

- ✓ le montant droit S_1 et le montant gauche S_1' sont immobiles par rapport à la plateforme,
- ✓ le chariot S_3 est immobile par rapport à la traverse S_2,
- ✓ la traverse S_2 est libre de tout mouvement suivant l'axe $\left(O_0, \overrightarrow{z_0}\right)$.

Question I.2 *(voir dossier technique, annexes A, B et C)*

- **Décrire, dessiner et donner les grandeurs caractéristiques de la frontière du volume au sein de laquelle les assemblages par cette machine de soudage « FSW » sont réalisables.**

Le portique Σ_{12} peut se déplacer en translation par rapport à la plateforme S_0 suivant l'axe $\left(O_0, \overrightarrow{y_0}\right)$ grâce à une liaison glissière. Le guidage de cette liaison est assuré par des galets qui roulent sur des règles au profil en « queue d'aronde » (voir dossier technique,

annexe D, p. 4). Le déplacement du portique Σ_{12} est quant à lui assuré par une liaison pignon-crémaillère.

Question I.3 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Proposer deux solutions alternatives au système pignon-crémaillère pour entraîner un solide en translation par rapport à un autre. Préciser les avantages et inconvénients de chaque solution.**

◆ ETUDE DES DOMAINES DE SOUDABILITE D'UNE EPROUVETTE

Un constructeur aéronautique souhaite réaliser une éprouvette en forme de « V » pour tester les cordons de soudure réalisés par ce procédé (voir dossier technique, annexe F, p. 6). Le constructeur impose une soudure dite concave. L'éprouvette est paramétrée par les variables α_e, r_e, λ_e, et e_e qui ne sont pas fixées a priori.

Quatre types de mise en position de l'éprouvette sont envisagés (voir dossier technique, annexe F, pp. 6-9):

- ✓ cas 1 : en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$,
- ✓ cas 2 : en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$,
- ✓ cas 3 : « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$,
- ✓ cas 4 : « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$.

Il est possible pour chacune de ces mises en position d'établir le domaine des géométries soudables, c'est-à-dire de fixer les limites géométriques de l'éprouvette pour qu'elle soit réalisable sur la machine de soudage « FSW ». Pour exemple, les graphes du domaine des géométries soudables des cas 2, 3 et 4 sont donnés (voir dossier technique, annexe F, pp. 7-9). Dans tous les cas, l'axe du pion de soudage doit rester perpendiculaire aux surfaces à assembler pour réaliser un cordon de qualité.

Question I.4 *(voir dossier technique, annexes B et F)*

- **Donner les valeurs limites du paramètre α_e des géométries soudables pour la mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ (cas 1).**
- **En se basant sur les exemples fournis** *(voir dossier technique, annexe F, pp. 7-9)***, établir le graphe du domaine des géométries soudables pour la mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ (cas 1). Tracer pour cela les limites du domaine pour les 2 valeurs extrêmes du paramètre α_e et au moins 2 courbes intermédiaires significatives.**

Question I.5 *(voir dossier technique, annexes B et F)*

- **Expliquer les brisures des droites pour α_e = 157° et α_e = 163° dans le domaine des géométries soudables pour la mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ (cas 2).**

◆ MISE EN PLACE D'UN MONTAGE DE SOUDAGE

La géométrie finale de l'éprouvette à réaliser est maintenant établie, c'est-à-dire que les paramètres α_e, r_e, λ_e, et e_e sont fixés (voir dossier technique, annexe F, p. 6) :

- ✓ e_e = 5 mm
- ✓ λ_e = 700 mm
- ✓ r_e = 300 mm
- ✓ α_e = 120°
- ✓ mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ (cas 1).

La configuration définie ci-après sera utilisée jusqu'à la fin de la partie I.

Pour réaliser une soudure correcte, les deux plaques en « V » destinées à être assemblées sont positionnées et bridées (maintenues) sur un montage de soudage. La conception de ce montage doit être étudiée pour :

- ✓ mettre en position relative les deux plaques : elles doivent être jointives,
- ✓ maintenir les plaques pendant le soudage avec un système simple, qui peut être mis en œuvre manuellement,
- ✓ compenser les efforts dus à ce procédé (voir description du procédé, pp. 2-3 du questionnaire), en tout point du cordon de soudure, et à chaque instant pendant le soudage.

Question I.6 *(voir dossier technique, annexe F)*

- **L'expertise d'essais antérieurs conduit à mettre en place un système de bridage exerçant un effort de 10000 N tous les 350 mm sur chaque plaque. Définir le nombre minimal de bridages nécessaires.**

Question I.7 *(voir description du procédé et dossier technique, annexe F)*

- **Esquisser un montage de soudage permettant la réalisation de l'éprouvette souhaitée en respectant les trois contraintes précédemment citées. Compléter pour cela les vues de face, de dessus et de droite données dans le cahier de réponse RI.7.**

Question I.8

- **Sans aucun calcul et donc par analyse technologique, indiquer si le montage proposé en réponse à la question I.7 est isostatique et les conséquences éventuelles sur la mise en position de l'éprouvette.**

◆ ETUDE D'UN SYSTEME DE BRIDAGE DES TOLES

Afin de réaliser un nombre significatif d'essais, le système de bridage retenu est basé sur le principe d'une genouillère actionnée par un vérin (voir dossier technique, annexe G, pp. 10-11). L'effort de serrage de la tôle est maximal lorsque les points A_b, B_b et C_b sont alignés, position d'équilibre instable du système. Lorsque cette position d'équilibre est franchie, l'effort exercé par la tôle sur la touche suffit à maintenir le système en position verrouillée (contact entre la poignée et le socle en F_b). Le système est irréversible, c'est-à-dire que dans la position verrouillée, un effort sur la touche ne peut en aucun cas ouvrir la pince ; seule une action du vérin le permet. La géométrie du système de bridage permet d'établir l'évolution de l'effort dans le vérin. Cet effort est maximal avant que les points A_b, B_b et C_b ne soient alignés et il devient nul lorsque la position d'équilibre est atteinte.

Pour cette étude, les liaisons sont considérées parfaites et les frottements sont négligés devant les efforts mis en jeu.

Question I.9 *(voir dossier technique, annexe G)*

- **L'évolution des paramètres géométriques du système de bridage à vide, c'est-à-dire sans présence de tôle, montre que la pince s'ouvre légèrement après le passage de la position d'équilibre** *(voir dossier technique, annexe G, p. 11)***. Expliquer pourquoi cette ouverture de la pince n'empêche pas le serrage de la tôle sur le montage de soudage.**

Sur le cahier de réponses R I.10, le système de bridage est représenté dans la position où la course du vérin est égale à 34 mm. L'origine de la course est identique à celle utilisée pour les graphes présentés dans le dossier technique (annexe G, p. 11).

Question I.10 *(voir dossier technique, annexe G)*

- **Pour la configuration représentée sur le cahier de réponses R I.10 :**
  - ✓ **Déterminer la valeur numérique de l'effort de la tôle sur la touche.**
  - ✓ **Par une méthode graphique, déterminer l'effort que le vérin doit exercer pour effectuer le bridage de la tôle sur le montage de soudage.**
  - ✓ **Evaluer l'erreur commise entre la résolution graphique et la valeur théorique associée donnée par les graphes du dossier technique** *(annexe G, p. 11)***. Commenter ce résultat.**

◆ ETUDE DE LA SECURITE DE LA MACHINE DE SOUDAGE « FSW »

La machine de soudage « FSW » est entourée de barrières immatérielles à 3 faisceaux afin d'assurer la sécurité des personnes. La description du fonctionnement de ce système de sécurité est donnée dans le dossier technique (annexe J, pp. 16-17). Compte tenu de la grande périphérie de la machine, plusieurs barrières de ce type sont nécessaires. Seule une barrière est étudiée ici.

La gestion de la sécurité de la machine de soudage « FSW » peut être décrite par plusieurs grafcet :

- ✓ un grafcet « état de réception » à deux étapes pour chaque faisceau de la barrière immatérielle. L'étape i01 indique une « bonne réception du faisceau », tandis que l'étape i00 indique une « non réception du faisceau », où i $\in$ {1,2,3} repère le faisceau géré,
- ✓ un gracfet de coordination de la sécurité, partiellement fourni dans le cahier de réponses R I.13.

Il est rappelé que par convention, la variable interne liée à l'état de l'étape j est notée Xj.

Dans un premier temps, on souhaite que l'arrêt de la machine soit déclenché dès qu'un faisceau infrarouge de la barrière immatérielle est coupé. Le sélecteur de sensibilité n'est pas pris en compte ici ; il est ignoré pour les questions I.11 à I.13.

Question I.11 *(voir dossier technique, annexe J)*

- **Proposer un grafcet « état de réception » pour la gestion du faisceau 1. Veiller à bien préciser les réceptivités associées aux transitions en utilisant le codage du dossier technique** *(annexe J, pp.16-17)***.**

Question I.12 *(voir dossier technique, annexe J)*

- **Compléter l'équation booléenne qui doit déclencher la mise en sécurité de la machine de soudage « FSW » en fonction des variables internes des grafcet « état de réception » de chaque faisceau.**

Question I.13 *(voir dossier technique, annexe J)*

- **A partir du dossier technique** *(annexe J, pp.16-17)***, reporter les commentaires ci-dessous dans les emplacements grisés du grafcet « coordination de la sécurité » pour aider à sa compréhension :**
  - ✓ **« Mise en sécurité du système »**
  - ✓ **« Soudage autorisé »**
  - ✓ **« Défaut de la barrière immatérielle. Vérification nécessaire »**
  - ✓ **« Déplacements autorisés à vitesses limitées sans souder »**
  - ✓ **« Mise en service de la barrière immatérielle »**
- **Compléter les actions associées aux étapes 0, 2, 4, 5 et 6 en indiquant le voyant du signal tricolore qui doit être allumé.**
- **Compléter les réceptivités associées aux transitions 4, 6, 8 et 9 en utilisant le codage défini dans le dossier technique** *(annexe J, pp.16-17)***.**

Dans un second temps, on souhaite pouvoir régler la sensibilité de détection d'un objet traversant la barrière immatérielle à l'aide d'un sélecteur à deux positions :

- ✓ Dans la position sel_1 du sélecteur, on souhaite que l'arrêt de la machine soit déclenché dès qu'au moins un faisceau infrarouge de la barrière immatérielle est coupé.
- ✓ Dans la position sel_2 du sélecteur, on souhaite que l'arrêt de la machine soit déclenché dès qu'au moins 2 faisceaux infrarouges de la barrière immatérielle sont coupés :
  - soit simultanément
  - soit quand un deuxième faisceau est coupé moins d'une seconde après la coupure d'un premier faisceau.

Question I.14 *(voir dossier technique, annexe J)*

- **Modifier le grafcet « état de réception » de la gestion du faisceau 1 établi à la question I.11 pour qu'il réponde au nouveau cahier des charges.**
- **Compléter l'équation booléenne la plus réduite possible qui doit déclencher la mise en sécurité de la machine selon le nouveau cahier des charges.**

◆ PILOTAGE DE LA MACHINE POUR LE SOUDAGE D'UNE EPROUVETTE

Cette partie du sujet s'intéresse à la préparation de la programmation en position et en vitesse de la machine pour souder l'éprouvette en « V ». On rappelle la géométrie finale de l'éprouvette à réaliser (voir paramétrage dans le dossier technique, annexe F, p. 6) :

- ✓ e_e = 5 mm
- ✓ λ_e = 700 mm
- ✓ r_e = 300 mm
- ✓ α_e = 120°
- ✓ mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$ (cas 1).

Il est précisé ici que :

- ✓ pour faciliter la programmation (utilisation de la symétrie), un décalage d'origine de la machine a été effectué : le centre du repère de programmation O_P est positionné au centre de l'arc de cercle de rayon r_e.
- ✓ dans la mesure du possible, le cordon de soudure doit être réalisé à la vitesse constante de 400 mm/min (vitesse linéaire du point O_6 au niveau du cordon de soudure). En cas d'impossibilité, comme en phase du début et de la fin du cordon, les accélérations et décélérations constantes sont autorisées sur une distance de cordon de 40 mm.
- ✓ l'axe principal du pion de soudage doit rester orthogonal à la surface sur laquelle le cordon de soudure est réalisé.
- ✓ la longueur O_5O_6 est considérée constante (voir dossier technique, annexe B, p. 3) : le pilotage des déplacements s'effectue sur le portique et le chariot, la liaison pivot glissant entre la tête de soudage S_5 et le pion de soudage S_6 ne sert qu'à asservir l'effort de pression verticale sur les tôles.

Question I.15

- **Déterminer les temps nécessaires aux phases d'accélération et de décélération pour passer de la vitesse de 400 mm/min à la vitesse nulle sur une longueur de cordon de 40 mm.**

Dans le cahier de réponses R I.16, l'éprouvette à réaliser est représentée à l'échelle 1/8.

Question I.16 *(voir dossier technique, annexe B et F)*

- **Définir la trajectoire du point O_5 lors du soudage de l'éprouvette. Préciser les points C'_e et E'_e passage du point O_5 lorsque le point générateur du cordon de soudure O_6 est respectivement en C_e et E_e.**
- **En déduire s'il est possible de réaliser le cordon de soudure à vitesse constante. Justifier la réponse.**

Question I.17 *(voir dossier technique, annexe B et F)*

- **Compléter le chronogramme de la vitesse linéaire $\left\|\overrightarrow{V_{O_6 \in S_6 / R_0}}\right\|$ de la réalisation du cordon de soudure entre les points B_e et F_e.**

Question I.18 *(voir dossier technique, annexe B et F)*

- **Compléter le chronogramme de la position z en altitude du point O_5 qui sera utilisée pour piloter le déplacement suivant l'axe $\overrightarrow{z_0}$ de la machine de soudage « FSW ». Précisez pour chaque domaine le type de loi (sinusoïdal, parabolique, linéaire, …) qui régit le tracé.**

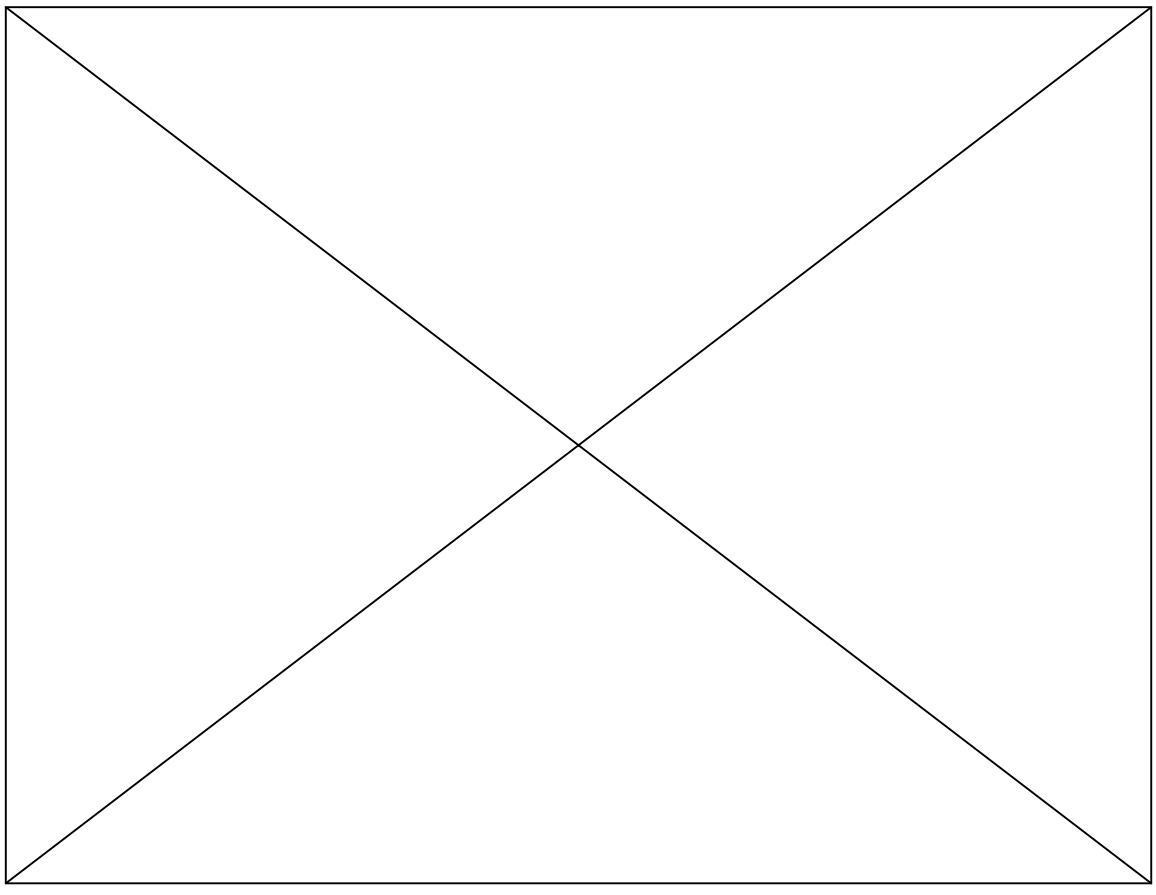
Les conventions suivantes sont adoptées :

- ✓ $\overrightarrow{Vz_{O_5 \in S_5 / R_0}}$ est la vitesse du point O_5 par rapport au repère R_0 en projection sur l'axe $\overrightarrow{z_0}$.
- ✓ $\left\| \overrightarrow{Vz_{O_5 \in S_5 / R_0}} \right\| > 0$ lorsque le point O_5 se déplace dans le sens des coordonnées z croissantes.
- ✓ $\left\| \overrightarrow{Vz_{O_5 \in S_5 / R_0}} \right\| < 0$ lorsque le point O_5 se déplace dans le sens des coordonnées z décroissantes.

Question I.19 *(voir dossier technique, annexe B et F)*

- **Compléter le chronogramme de la vitesse $\overrightarrow{Vz_{O_5 \in S_5 / R_0}}$ qui devra être programmé pour réaliser le cordon de soudure. Précisez pour chaque domaine le type de loi (sinusoïdal, parabolique, linéaire, …) qui régit le tracé.**

---------- Fin de la partie I ----------



PARTIE II

Réalisation d'un cordon de soudure linéaire sur l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ de la machine de soudage « FSW »

Une présentation de la machine de soudage « FSW » et un schéma cinématique simplifié sont donnés dans le dossier technique (annexes A, B et C, pp. 2-3). Les montants S_1-S_1' et la traverse S_2 constituent un portique Σ_{12} qui peut se déplacer en translation suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ grâce à la liaison glissière entre les montants S_1-S_1' et la plateforme S_0. Le guidage est assuré par des galets qui roulent sur des règles au profil en « queue d'aronde ». Le déplacement du portique est quant à lui assuré par deux liaisons pignon-crémaillère, chaque pignon étant entrainé par un motoréducteur hydraulique (voir dossier technique, annexes D et E, pp. 4-5).

Cette partie est consacrée à l'évaluation des performances de la machine de soudage « FSW » pour réaliser un cordon linéaire sur l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$. Seront étudiés :

- ✓ les courbes des paramètres relevés au cours d'un essai de soudage,
- ✓ le dimensionnement d'un moteur d'entraînement pour répondre au cahier des charges en régime permanent,
- ✓ la synchronisation des moteurs d'entraînement,
- ✓ le comportement d'un moteur d'entraînement en phase de démarrage,
- ✓ la maîtrise de l'effort de pression verticale pour garantir un cordon de qualité.

Pour ces différentes études de la partie II, tous les autres axes sont figés :

$$\ell_x = \text{cte},\ \ell_z = \text{cte},\ \psi = 0°,\ \theta = 0°$$

◆ ETUDE DE RELEVES DE VITESSES ET D'EFFORTS LORS D'UN SOUDAGE

Un essai de soudage par friction malaxage a été réalisé suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ pour certaines conditions opératoires. Le cordon de soudure est réalisé dans la configuration où la tête est au milieu du portique. Ainsi les moteurs d'entraînement du portique à droite et à gauche développent la même puissance. Les courbes de vitesses, de couple, et d'efforts de cet essai, relevés à l'aide de capteurs situés dans la tête de soudage S_5 et la chape d'orientation S_4, sont données dans le dossier technique (annexe H, pp. 12-13).

Question II.1 *(voir dossier technique, annexe H)*

- **Expliquer d'où proviennent les oscillations de fréquence élevée qui existent sur les différentes courbes.**

Question II.2 *(voir dossier technique, annexe H)*

- **A l'aide de la description du procédé de soudage par friction – malaxage** *(pp. 2-3 du questionnaire)* **et du dossier technique** *(annexe H, p.12)***, expliquer les différentes phases du processus de soudage. Pour cela, remplir le tableau du cahier de réponses selon le modèle donné en précisant pour chaque phase :**
  - ✓ **les dates des temps de début et de fin**
  - ✓ **l'action effectuée par la machine de soudage « FSW »**
  - ✓ **une explication de l'évolution de l'effort vertical de pression, en précisant les phénomènes physiques mis en jeu.**

Question II.3 *(voir dossier technique, annexe H)*

- **Relever les valeurs des différentes consignes visées en régime permanent pour cet essai. Préciser les unités pour chaque valeur.**

Question II.4 *(voir dossier technique, annexe H)*

- **En régime permanent, estimer la puissance mécanique nécessaire lors de cet essai pour :**
  - ✓ **déplacer le portique suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$,**
  - ✓ **malaxer la matière afin de réaliser le cordon de soudure.**

◆ DIMENSIONNEMENT D'UN MOTEUR D'ENTRAINEMENT EN REGIME PERMANENT

L'essai précédent n'étant qu'un exemple, il est maintenant proposé de dimensionner un moteur d'entraînement selon le cahier des charges. Le schéma technologique détaillé d'un motoréducteur d'entraînement du portique suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ est donné dans le dossier technique (annexes D et E, pp. 4-5). Les caractéristiques nécessaires (paramètres des engrenages et rendements) y sont précisées.

Le cahier des charges concernant les déplacements suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ impose :

- ✓ une vitesse maximale de $\left|\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1/S_0}} \cdot \overrightarrow{y_0}\right| = 5$ m/min.
- ✓ en régime permanent à la vitesse maximale, la machine de soudage « FSW » doit vaincre les efforts résistants au mouvement d'avance $F_{rav} = \left|\overrightarrow{F_{tôles \to pion}} \cdot \overrightarrow{y_0}\right|$ jusqu'à 4000 N.

On supposera, pour les questions II.5 à II.9, que les deux systèmes d'entraînement symétriques du portique se répartissent l'effort résistant à parts égales.

Question II.5 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Exprimer la condition de roulement sans glissement en I entre S_0 et S_{12}.**
- **En déduire la relation entre la vitesse de translation du portique $\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1/S_0}}$ et la vitesse de rotation de l'arbre S_{12} ($\overrightarrow{\Omega_{S_{12}/S_1}}$) en fonction de m et z_{13}.**
- **En déduire la relation entre la vitesse de translation du portique $\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1/S_0}}$ et la vitesse de rotation du moteur ($\overrightarrow{\Omega_{S_{11}/S_1}}$) en fonction de m, z_{11}, z_{12} et z_{13}.**

Question II.6 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Déterminer la vitesse maximale de l'arbre d'un moteur hydraulique $\left\|\overrightarrow{\Omega_{S_{11}/S_1}}\right\|$ en tours par minute (tr/min) pour que le portique puisse atteindre la vitesse maximale imposée par le cahier des charges.**
- **Sachant que la cylindrée du moteur est C_y = 125 cm^3/tr, et en supposant que le rendement volumétrique du moteur est égal à 1, calculer le débit d'alimentation « q » en litres par minute (L/min) d'un moteur hydraulique pour que le portique puisse atteindre sa vitesse maximale.**

Question II.7 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Exprimer la relation du moment du couple mécanique nécessaire sur l'arbre d'un moteur hydraulique d'entraînement pour vaincre les efforts résistants au mouvement d'avance ($F_{rav} = \left|\overrightarrow{F_{tôles \rightarrow pion}} \cdot \overrightarrow{y_0}\right|$) en régime permanent.**

- **Effectuer l'application numérique dans les conditions maximales imposées par le cahier des charges** (*voir page précédente*)**.**

Question II.8 *(voir dossier technique, annexes D et H)*

- **Sachant que les moteurs hydrauliques d'entraînement satisfont simultanément aux conditions extrêmes imposées par le cahier des charges en régime permanent** (*voir page précédente*)**, déterminer la puissance mécanique disponible sur l'arbre de chaque moteur en régime permanent.**
- **Vérifier que la puissance disponible ainsi déterminée est compatible avec la puissance nécessaire à la réalisation de l'essai expérimental mené pour les questions II.1 à II.4.**

Question II.9 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Sachant que les moteurs hydrauliques d'entraînement satisfont simultanément aux conditions extrêmes imposées par le cahier des charges en régime permanent** (*voir page précédente*)**, calculer la puissance hydraulique de chaque moteur en régime permanent.**
- **En déduire la pression d'alimentation en mégapascals (MPa) des moteurs hydrauliques pour respecter le cahier des charges en régime permanent.**

◆ ETUDE DE LA SYNCHRONISATION DES MOTEURS D'ENTRAINEMENT

Pour éviter l'arc-boutement entre le portique et la plateforme sur les guidages en translation, les moteurs hydrauliques de gauche et de droite sont asservis en position relative. Le portique est, quant à lui, asservi en vitesse et en position pour la réalisation des cordons de soudure. Pour cela, chaque moteur est équipé d'un codeur incrémental de 3600 points par tour. Après une prise d'origine des deux codeurs non étudiée ici, les codeurs incrémentaux permettent de relever les positions Y_g et Y_d en temps réel. L'asservissement en vitesse ne sera pas étudié ici.

Question II.10

- **Expliquez simplement l'arc-boutement, et indiquer les effets de ce phénomène. Donner un exemple de mécanisme qui fonctionne grâce à l'arc-boutement.**

Le schéma bloc de l'asservissement en position sur l'axe $\left(O_0, \overrightarrow{y_0}\right)$ est présenté et commenté dans le dossier technique (annexe K, p. 18). Par convention, on note F(p) la transformée de Laplace de f(t).

Question II.11 *(voir dossier technique, annexes D et K)*

- **Etablir l'équation temporelle qui relie $\omega_g(t)$ à $\delta_g(t)$ - *ou $\omega_d(t)$ à $\delta_d(t)$* - et expliciter la fonction de transfert G(p).**
- **A l'aide de la question II.5, déterminer la constante T en fonction de m, z_{11}, z_{12}, et z_{13}. Préciser son unité.**
- **Sachant que le codeur incrémental dispose de 3600 points par tour, déterminer la constante K_c. Préciser son unité.**

Question II.12 *(voir dossier technique, annexe K)*

- **Exprimer $\varepsilon'_g(p)$ et $\varepsilon'_d(p)$ en fonction de $\Delta_g(p)$, $\Delta_d(p)$, C(p), K_c, Y_c, et T.**
- **Exprimer $\Delta_g(p)$ et $\Delta_d(p)$ en fonction de $\varepsilon'_g(p)$, $\varepsilon'_d(p)$, V(p), G(p), et C_y.**

On pose $M(p)=\dfrac{C_y}{V(p).G(p)}+K_c.C(p)+\dfrac{1}{2}K_c$

- **A partir des relations précédentes, exprimer le système de 2 équations liant $\Delta_g(p)$ et $\Delta_d(p)$ à C(p), M(p), K_c, T, et Y_c.**
- **Exprimer les fonctions de transfert $H_d(p)=\dfrac{Y_d(p)}{Y_c(p)}$ et $H_g(p)=\dfrac{Y_g(p)}{Y_c(p)}$ en fonction de C(p), V(p), G(p), C_y et K_c.**
- **En déduire les fonctions de transfert $H_d(p)$ et $H_g(p)$ en fonction de C(p), K_c, C_y, τ, et p.**

Le cahier des charges du constructeur de la machine de soudage « FSW » impose une erreur statique *(écart stationnaire entre la valeur réelle et la consigne de type échelon)* et une erreur de trainage *(écart stationnaire entre la valeur réelle et la consigne de type rampe)* nulles au niveau du point générateur du cordon de soudage (O_6). L'échelon de consigne imposé a pour valeur $y_c(t) = b$ et la rampe de consigne imposée a pour équation $y_c(t) = a.t$

Question II.13 *(voir dossier technique, annexe D)*

- **Compte tenu du cahier des charges, l'emplacement du codeur incrémental est-il judicieux ? Justifier la réponse. Dans le cas d'une réponse négative, proposer une solution alternative.**

Question II.14 *(voir dossier technique, annexe K)*

- **Exprimer l'erreur statique ε_s en fonction de C(p), K_c, C_y, τ, b et p.**
- **Exprimer l'erreur de trainage ε_t en fonction de C(p), K_c, C_y, τ, a et p.**

Question II.15 *(voir dossier technique, annexe K)*

- **De quel type doit être le correcteur pour répondre au cahier des charges. Justifier votre réponse. Donner la forme générale de la fonction de transfert C(p) de ce correcteur.**

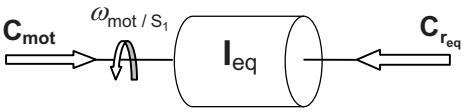
◆ ETUDE D'UN MOTEUR D'ENTRAINEMENT EN PHASE DE DEMARRAGE

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier la capacité des moteurs hydrauliques d'entraînement pour réaliser des essais avec de fortes accélérations en début de soudage. Les cordons de soudure sont à réaliser suivant l'axe $\left(O_0, \overrightarrow{y_0}\right)$ dans des conditions similaires à l'essai réalisé pour les questions II.1 à II.4.

Dans la phase transitoire en début de cordon, l'accélération programmée pour atteindre la vitesse de déplacement donnée en consigne (régime permanent) est constante. Dans une phase de pré-dimensionnement, on peut faire l'approximation grossière que l'effort résistant au mouvement d'avance croît linéairement, jusqu'à un seuil qui dépend de la nature des matériaux et de la vitesse d'avance du portique. Les conditions opératoires souhaitées et estimées sont définies dans le dossier technique (annexe I, p. 14).

Les notations adoptées sont celles définies dans le dossier technique (annexes D et E, pp. 4 et 5). On supposera, pour les questions II.16 à II.23, que les deux systèmes d'entraînement symétriques du portique se répartissent l'effort résistant à parts égales et que les rendements sont constants pendant la phase d'accélération.

Afin de réaliser cette étude, on propose de définir un système équivalent à l'ensemble réducteur, portique, et tête de soudage ramené sur l'arbre moteur. Il s'exerce sur ce système équivalent, d'une inertie équivalente I_{eq}, le couple moteur C_{mot} et un couple résistant équivalent $C_{r_{eq}}$ ramenés sur l'arbre moteur. Le système équivalent peut être schématisé par la figure suivante :



Question II.16

- **Exprimer, en phase d'accélération, la relation liant C_{mot}, $C_{r_{eq}}$, I_{eq} et ω_{mot/S_1}. Nommer le (ou les) théorème(s) utilisé(s).**

Question II.17 *(voir dossier technique, annexe I)*

- **A l'aide de la question II.5 et du dossier technique** *(annexe I, p. 14)***, déterminer l'accélération angulaire du moteur $\gamma = \frac{d\omega_{mot/S_1}}{dt}$ en radians par seconde (rad/s) pendant la phase transitoire de démarrage pour réaliser l'essai souhaité. Donner sa valeur numérique.**

La question II.18 propose une démarche pour établir le modèle équivalent par identification. Il est rappelé qu'on supposera que le portique est entraîné par deux systèmes symétriques qui se répartissent les efforts à parts égales et que les rendements sont constants pendant la phase d'accélération.

Question II.18 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Exprimer la relation liant l'effort d'entraînement du portique de la machine de soudage « FSW »** $F_{em} = \left| \overrightarrow{F_{ext \to \Sigma_{12}}} \cdot \overrightarrow{y_0} \right|$ **à l'effort résistant au mouvement d'avance exercé par les tôles sur le pion** $F_{rav} = \left| \overrightarrow{F_{tôles \to pion}} \cdot \overrightarrow{y_0} \right|$ **en fonction de γ, m, z_{11}, z_{12}, z_{13} et des différents paramètres inertiels et de masses. Nommer le (ou les) théorème(s) utilisé(s).**

Question II.18 *(suite)*

- **Exprimer la relation liant le moment du couple d'entraînement de l'arbre intermédiaire S_{12}** $C_{eS_{12}} = \left| \overrightarrow{C^{A_{12}}_{S_{11} \to S_{12}}} \cdot \vec{z}_0 \right|$ **au moment du couple résistant dû aux efforts de la crémaillère sur le pignon** $C_{rc} = \left| \overrightarrow{C^{A_{13}}_{S_0 \to S_{12}}} \cdot \vec{z}_0 \right|$ **en fonction de γ, z_{11}, z_{12} et des différents paramètres inertiels et de masses. Nommer le (ou les) théorème(s) utilisé(s).**
- **Exprimer la relation liant le moment du couple d'entraînement de l'arbre moteur S_{11}** $C_{mot} = \left| \overrightarrow{C^{A_{11}}_{ext \to S_{11}}} \cdot \vec{z}_0 \right|$ **au moment du couple résistant dû à l'arbre intermédiaire** $C_{rS_{12}} = \left| \overrightarrow{C^{A_{11}}_{S_{12} \to S_{11}}} \cdot \vec{z}_0 \right|$ **en fonction de γ et des différents paramètres inertiels et de masses.**
- **A partir d'un bilan de puissance, déterminer la relation entre η_{eng}, $C_{rS_{12}}$, $C_{eS_{12}}$, z_{11} et z_{12}. Le rendement η_{eng} est supposé constant pendant la phase d'accélération.**
- **A partir d'un bilan de puissance, déterminer la relation entre η_{pc}, F_{em}, C_{rc}, m, et z_{13}. Il est rappelé que le portique est entraîné par 2 motoréducteurs qui se partagent la charge à parts égales et que le rendement η_{pc} est supposé constant pendant la phase d'accélération.**
- **A partir des 5 relations établies précédemment, exprimer la relation entre C_{mot}, F_{rav} et γ en fonction de η_{pc}, η_{eng}, m, z_{11}, z_{12}, z_{13} et des différents paramètres inertiels et de masses de la machine de soudage « FSW ». La relation devra posséder un arrangement semblable à la relation trouvée à la question II.16.**

Question II.19 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Par identification du résultat précédent au résultat de la question II.16, exprimer :**
  - ✓ **le moment du couple résistant équivalent $C_{r_{eq}}$ ramené sur l'arbre moteur**
  - ✓ **l'inertie équivalente I_{eq} ramenée sur l'arbre moteur**

  en fonction de F_{rav}, η_{pc}, η_{eng}, m, z_{11}, z_{12}, z_{13} et des différents paramètres inertiels et de masses de la machine de soudage « FSW ».

Question II.20 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Evaluer numériquement l'inertie équivalente I_{eq} ramenée sur l'arbre moteur. Indiquer son unité.**
- **Que peut-on dire de C_{11} et C_{12} ?**

Question II.21 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Exprimer la relation entre le moment du couple résistant équivalent $C_{r_{eq}}$ ramené sur l'arbre moteur et le temps t en fonction des différentes valeurs numériques fournies dans le dossier technique** *(annexes D, E et I, pp. 4-5, 16)* **pour réaliser un essai avec de fortes accélérations en début de soudage.**

Question II.22 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Evaluer le moment du couple d'un moteur hydraulique d'entraînement en régime permanent pour réaliser le cordon de soudure dans les conditions définies dans le dossier technique** *(annexe I, p. 16)***.**

Le moment du couple moteur délivré par les moteurs hydrauliques d'entraînement est au maximum de 30 Nm.

Question II.23 *(voir dossier technique, annexes D, E et I)*

- **Compléter le chronogramme du moment du couple d'un moteur d'entraînement C_{mot} pour réaliser l'essai voulu** *(annexe I, p. 16)***.**
- **Les moteurs d'entraînement sont-ils suffisamment dimensionnés pour réaliser l'essai voulu ? Justifier la réponse.**

◆ MAITRISE DE L'EFFORT DE PRESSION VERTICALE

Afin de réaliser un cordon de soudure de qualité, il faut réguler précisément la vitesse de rotation du pion et l'effort de pression verticale. Tous les actionneurs sont hydrauliques. Un schéma simplifié de la tête de soudage est fourni dans le cahier de réponses R II.24.

L'effort de pression verticale est exercé par un vérin différentiel. Le principe de ce type de vérin, ses caractéristiques principales ainsi que le schéma bloc de l'asservissement en pression du vérin sont donnés dans le dossier technique (annexe L, p. 19).

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier la stabilité de l'asservissement en pression.

Question II.24 *(voir dossier technique, annexe L)*

- **Colorier en rouge le fluide hydraulique contenu dans le circuit d'alimentation et la chambre, pour la chambre cylindrique *(chambre 1)* du vérin.**
- **Colorier en vert le fluide hydraulique contenu dans le circuit d'alimentation et la chambre, pour la chambre annulaire *(chambre 2)* du vérin.**
- **A partir du schéma fourni dans le cahier de réponses R II.24, expliquer brièvement comment un effort de pression verticale du pion de soudage sur les tôles peut être exercé pendant que ce même pion est entraîné en rotation.**

Question II.25 *(voir dossier technique, annexe L)*

- **Compte-tenu du principe du montage différentiel du vérin, et des caractéristiques géométriques du vérin fournies dans le dossier technique** *(annexe L, p. 19)***, déterminer la pression de consigne p_c en Pascal (Pa) pour que le pion exerce un effort de pression verticale sur les tôles de** $F_{pv} = \left| \overrightarrow{F_{\text{tôles} \rightarrow \text{pion}}} \cdot \overrightarrow{z_0} \right| = 12\,000$ N **lorsque le vérin est dans sa position d'équilibre.**

Question II.26

- **Justifier l'utilisation de la technologie hydraulique par rapport aux autres technologies (électrique, pneumatique) pour la machine de soudage « FSW ».**

Question II.27 *(voir dossier technique, annexe L)*

- **Exprimer numériquement la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement en pression :** $H(p) = \frac{U_{cap}(p)}{p_c(p)}$.

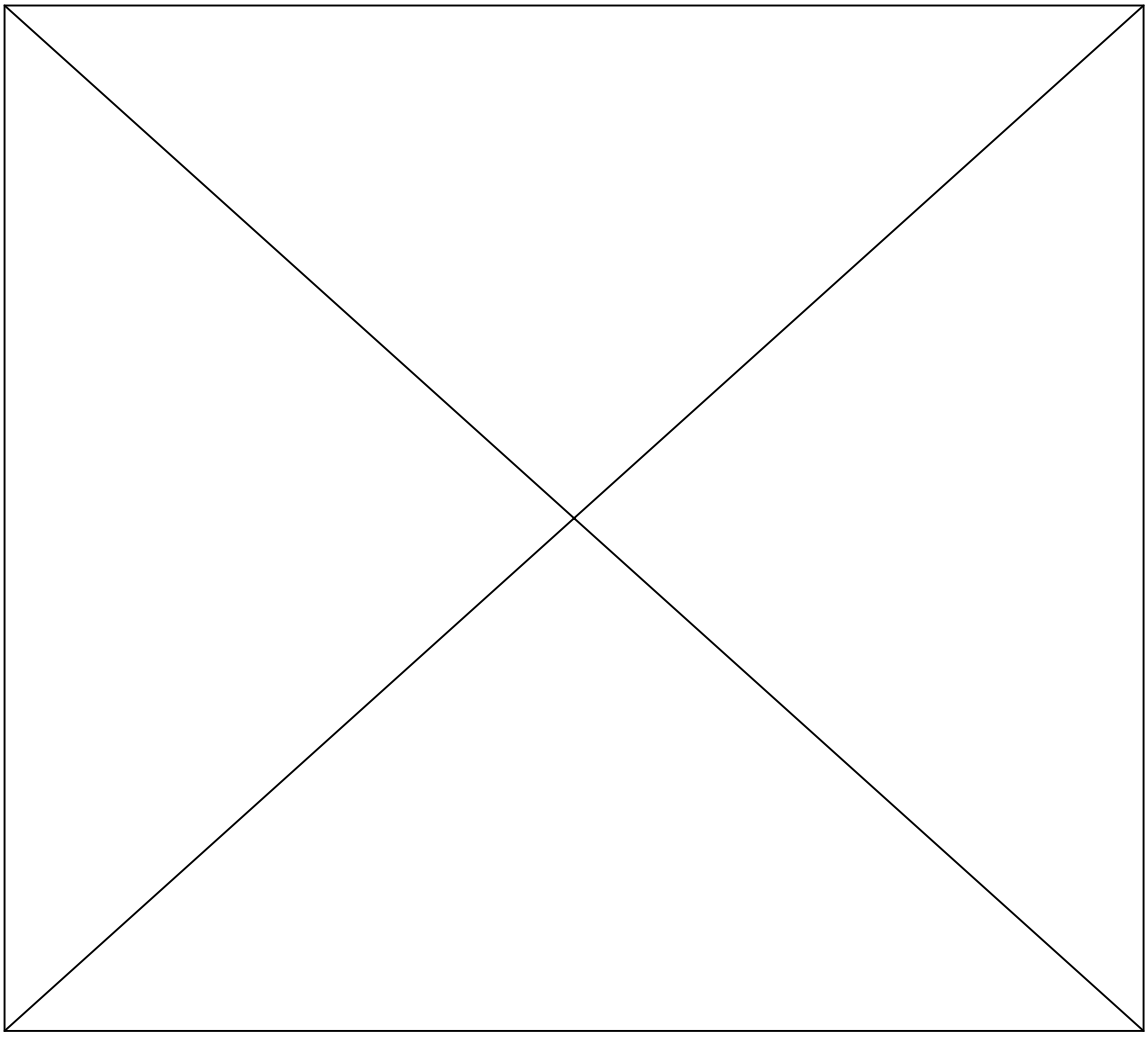
Question II.28 *(voir dossier technique, annexe L)*

- **Donner l'expression G_{db} (ω) du gain en décibels de la fonction de transfert en boucle ouverte en fonction des différentes valeurs numériques.**
- **Donner l'expression φ (ω) de l'argument de la fonction de transfert en boucle ouverte en fonction des différentes valeurs numériques.**
- **Tracer le diagramme asymptotique de Bode de la fonction de transfert H(*p*).**

Question II.29 *(voir dossier technique, annexe L)*

- **Evaluer numériquement la marge de gain et la marge de phase de la fonction de transfert. Vérifier la cohérence du résultat sur le diagramme de Bode.**
- **Conclure quant à la stabilité du système en boucle fermée et proposer une solution si celui-ci est instable.**

---------- Fin de la partie II ----------



XS94

e3a

CONCOURS ENSAM - ESTP - ARCHIMEDE

Épreuve de Sciences Industrielles PSI

Durée 5 h

Etude d'une machine de soudage par friction – malaxage : le « *Friction – Stir Welding* » (FSW)

DOSSIER TECHNIQUE

- ANNEXES -

page

Annexe A 2
- Description globale de la machine de soudage « FSW », mise en place des axes principaux

Annexe B 3
- Schéma cinématique simplifié de la machine de soudage « FSW »

Annexe C 3
- Définition des variables géométriques

Annexe D 4
- Détails du système d'entraînement du portique

Annexe E 5
- Masses et inerties de la tête, du portique et de son système d'entraînement

Annexe F 6
- Eprouvette en « V »

Annexe G 10
- Description du système de bridage à genouillère

Annexe H 12
- Données expérimentales obtenues lors d'un essai de soudage linéaire suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$

Annexe I 14
- Conditions opératoires pour réaliser des essais de soudage avec de fortes accélérations en début de soudage

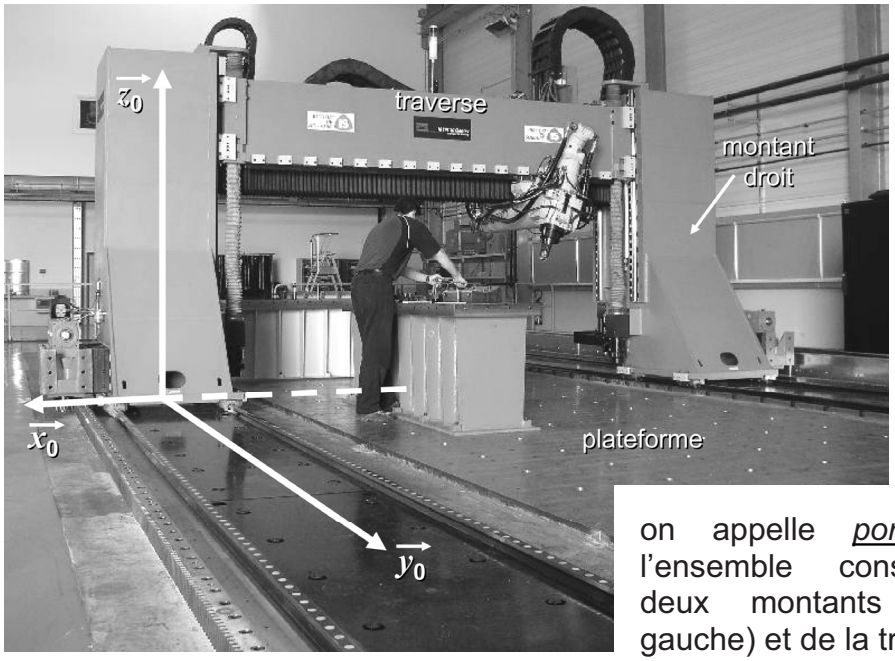
Annexe J 16
- Système de sécurité de la machine de soudage « FSW »

Annexe K 18
- Asservissement en position du portique de la machine de soudage « FSW » sur l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$

Annexe L 19
- Asservissement de l'effort de pression verticale sur la machine de soudage « FSW »

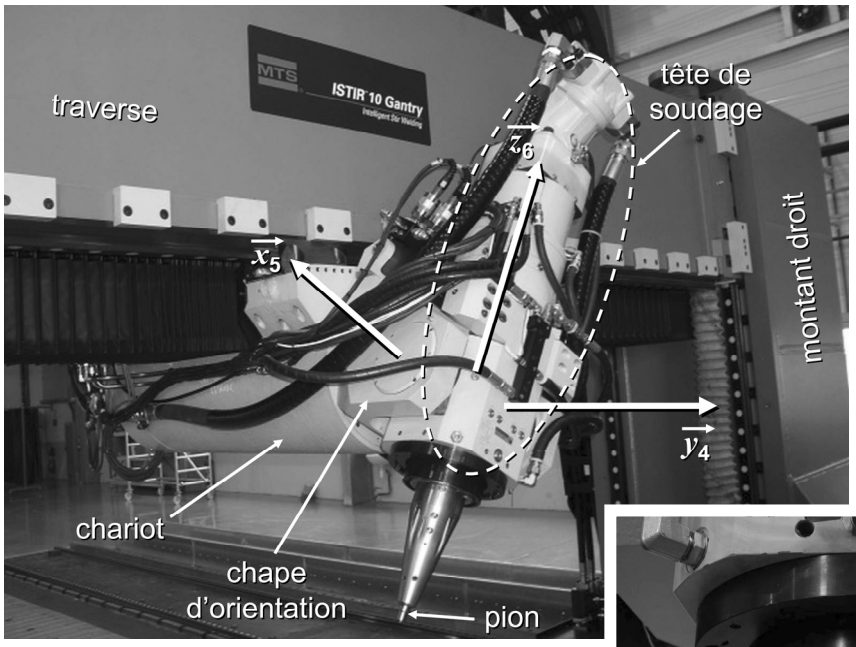
Annexe A	Description globale de la machine de soudage « FSW » : Mise en place des axes principaux

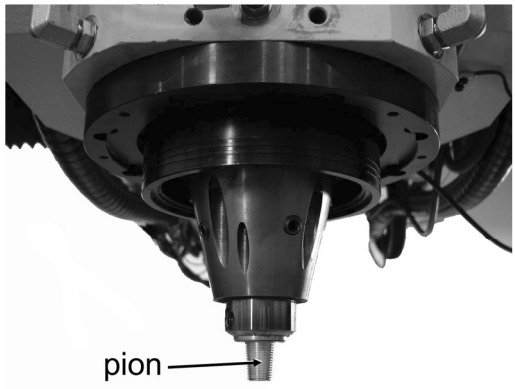
- Vue globale



on appelle *portique* (Σ_{12}) l'ensemble constitué des deux montants (droit et gauche) et de la traverse.

- Détails de la tête de soudage





Annexe B	Schéma cinématique simplifié de la machine de soudage « FSW »

Courses de la machine :

$0\ \text{mm} \leq \ell_x \leq 3000\ \text{mm}$

$0\ \text{mm} \leq \ell_y \leq 19000\ \text{mm}$

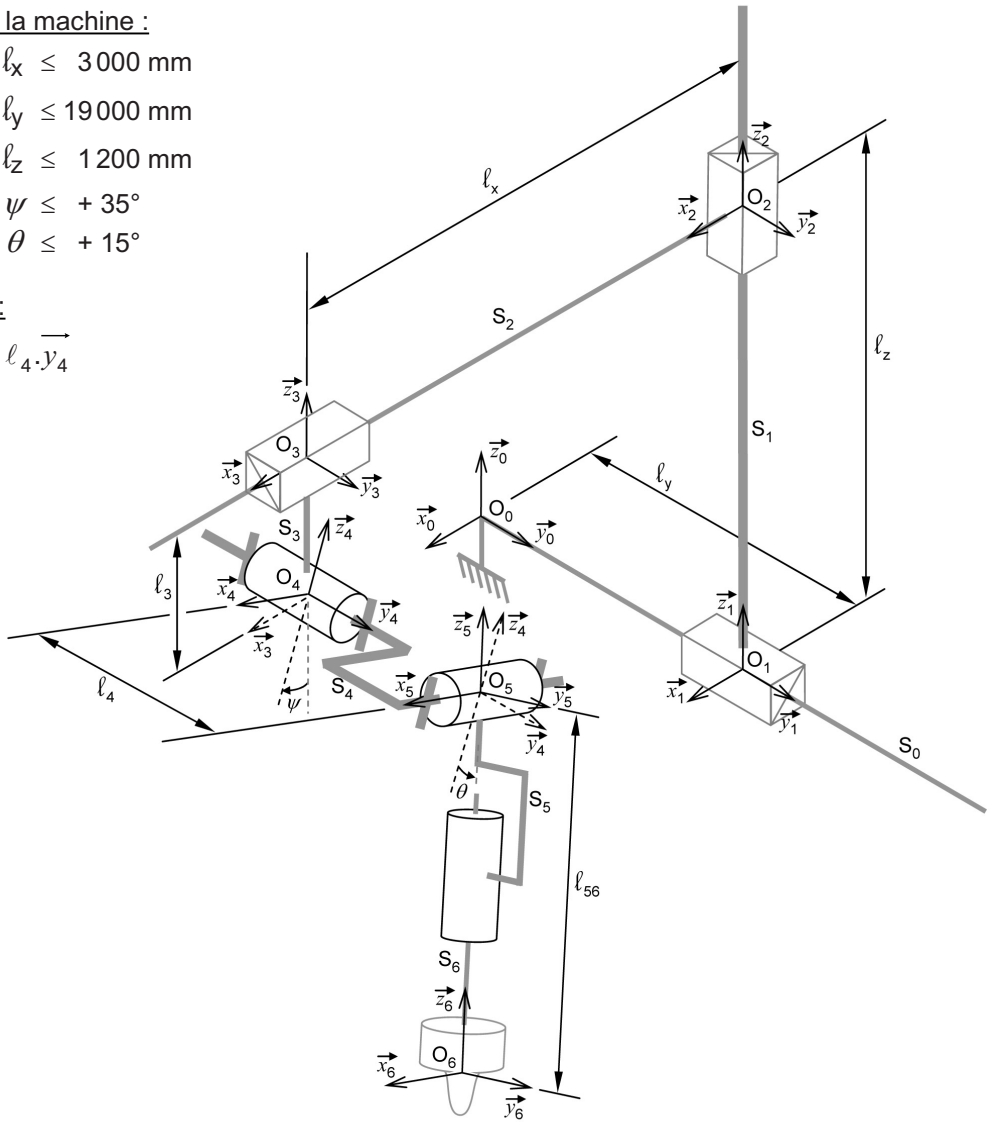
$0\ \text{mm} \leq \ell_z \leq 1200\ \text{mm}$

$-35° \leq \psi \leq +35°$

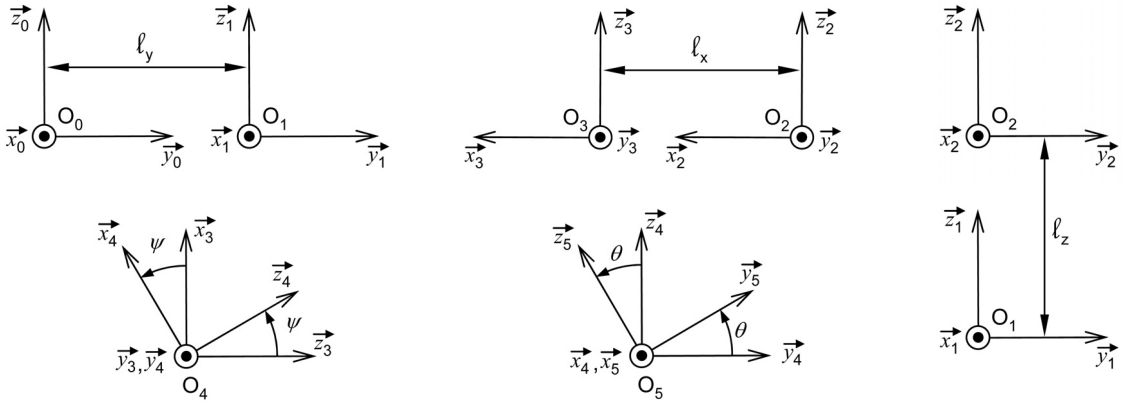
$-15° \leq \theta \leq +15°$

On précise :

$\overrightarrow{O_4O_5} = \ell_4 . \overrightarrow{y_4}$

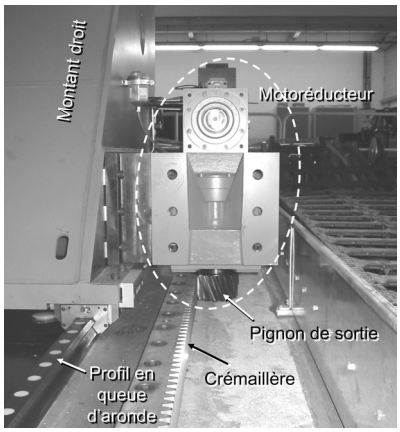


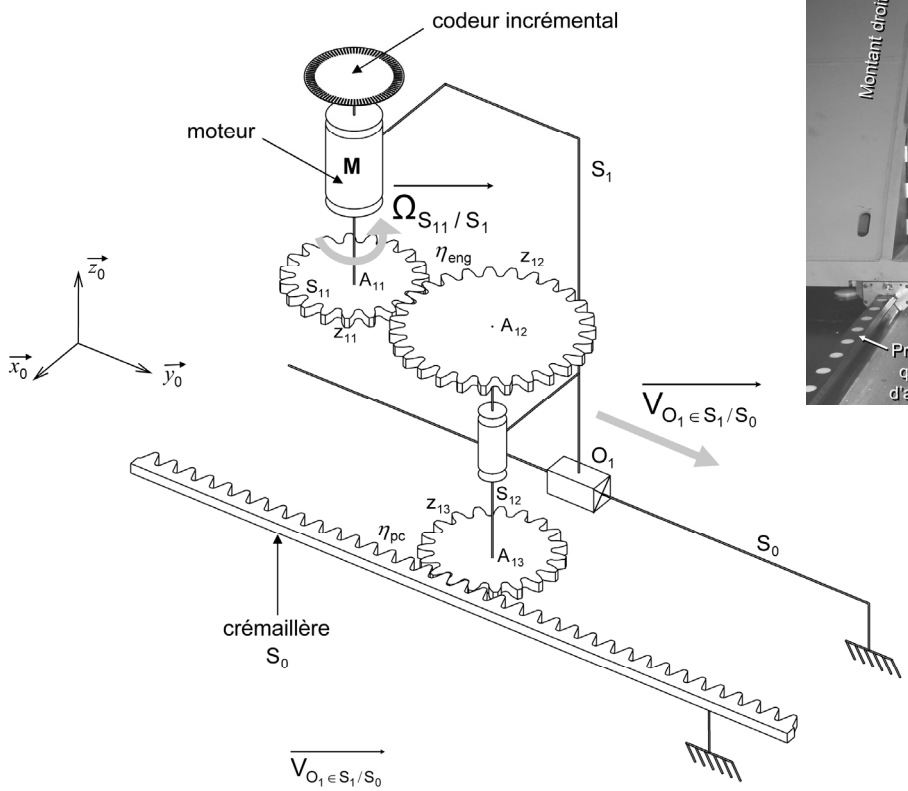
Annexe C	Définition des variables géométriques

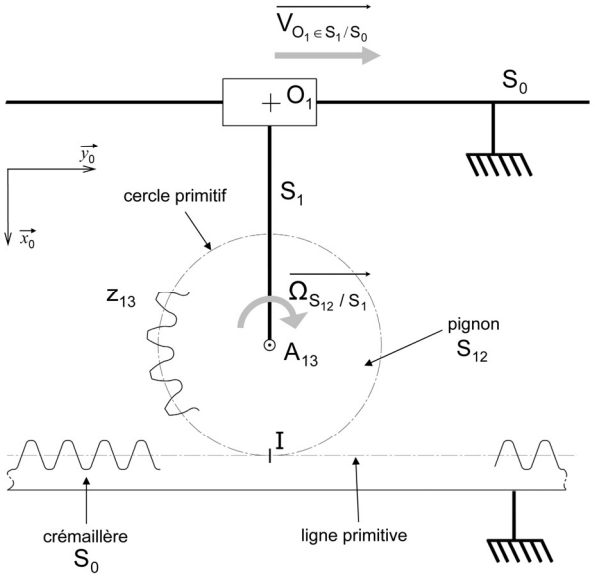


Annexe D	Détails du système d'entraînement du portique

Le portique constitué des montants et de la traverse ($\Sigma_{12} = S_1 + S_2 + S_1'$) peut se déplacer en translation suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$. Le système est symétrique : le montant droit et le montant gauche sont liés chacun à un motoréducteur hydraulique qui fait rouler un pignon sur une crémaillère. Les illustrations ci-dessous expliquent le sous-système du coté droit, on retrouve un sous-système identique du coté gauche.







Lorsque deux pignons s'engrènent, leurs cercles primitifs roulent l'un sur l'autre sans glisser. De même, pour un système pignon crémaillère, le cercle primitif du pignon roule sans glisser sur la ligne primitive de la crémaillère.

Pour rappel, le diamètre primitif d'un pignon est défini par la relation

$$d = m.z$$

avec m : le module du pignon
z : le nombre de dents du pignon

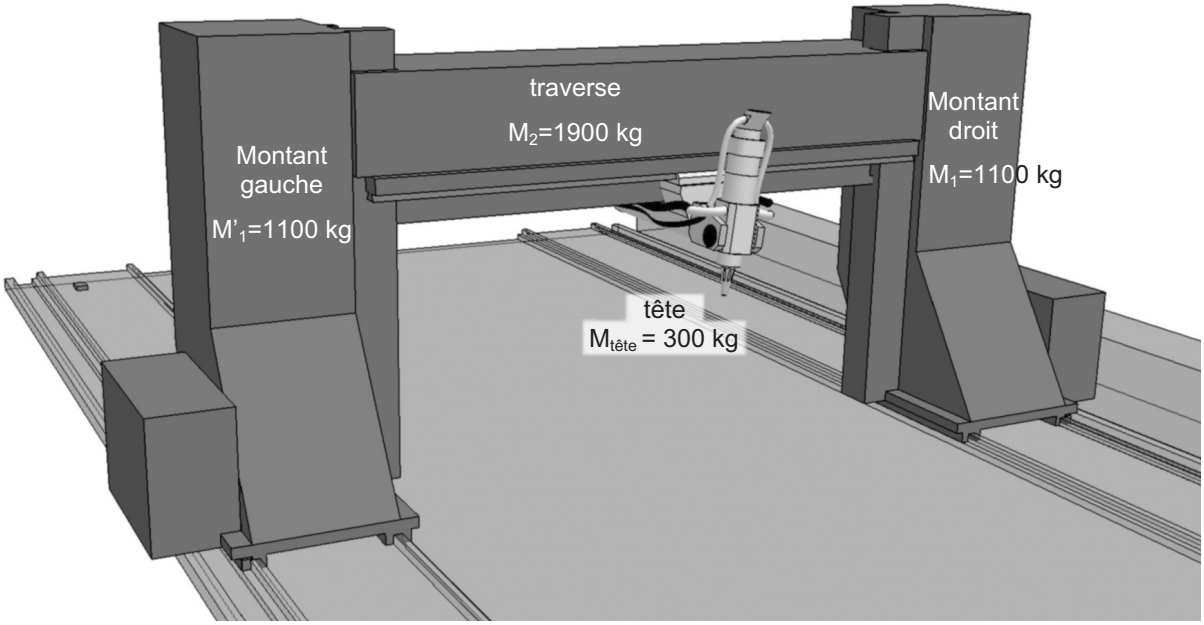
Valeurs numériques :

z_{11}	19
z_{12}	27
z_{13}	19
m	4 *mm*

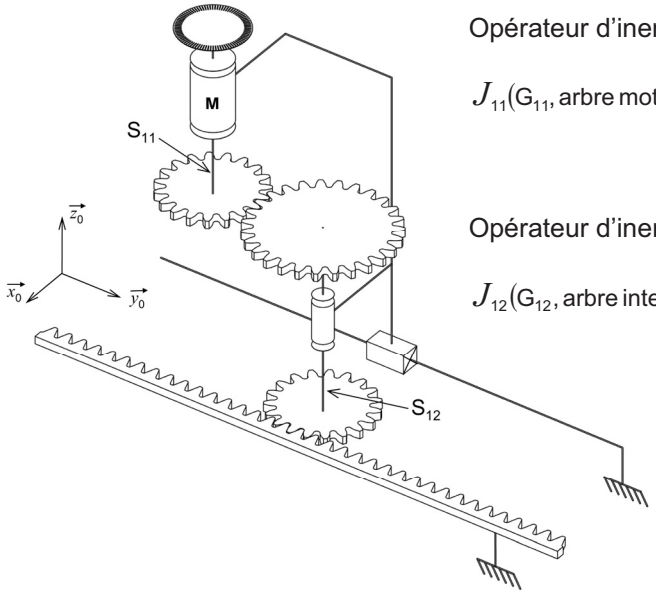
Rendements de la transmission	
système pignon crémaillère	η_{pc} = 0,95
engrenage z_{11}-z_{12}	η_{eng} = 0,98
rendement hydraulique du moteur	η_{hydrau} = 0,65

Annexe E	Masses et inerties de la tête, du portique et de son système d'entraînement

- Masses



- Inerties



Opérateur d'inertie de l'arbre moteur S_{11} :

$$J_{11}(G_{11}, \text{arbre moteur}) = \begin{bmatrix} A_{11}=0,114 & -F_{11}=0 & -E_{11}=0 \\ -F_{11}=0 & B_{11}=0,114 & -D_{11}=0 \\ -E_{11}=0 & -D_{11}=0 & C_{11}=0,009 \end{bmatrix}_{R_0}$$

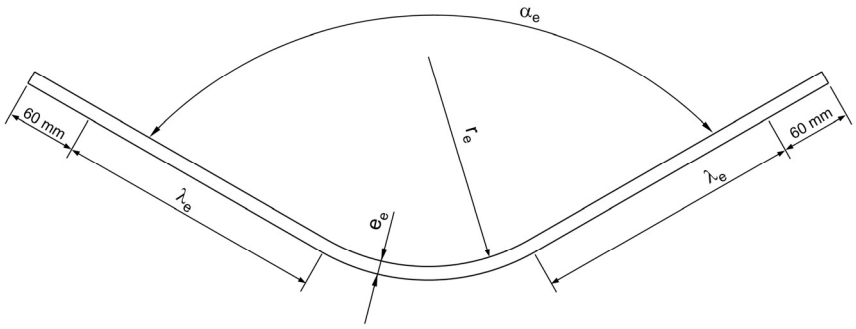
Opérateur d'inertie de l'arbre intermédiaire S_{12} :

$$J_{12}(G_{12}, \text{arbre intermédaire}) = \begin{bmatrix} A_{12}=0,480 & -F_{12}=0 & -E_{12}=0 \\ -F_{12}=0 & B_{12}=0,480 & -D_{12}=0 \\ -E_{12}=0 & -D_{12}=0 & C_{12}=0,040 \end{bmatrix}_{R_0}$$

(Valeurs exprimées en kg.m^2)

Annexe F	Eprouvette en « V »

- Description paramétrique

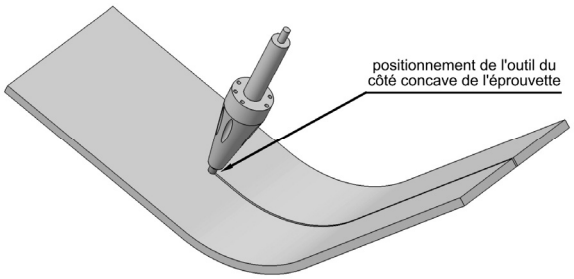


L'éprouvette réalisée est caractérisée par

- ✓ son épaisseur : e_e
- ✓ sa longueur des parties planes : λ_e
- ✓ son rayon de raccord : r_e ($r_e \geq 100$ mm)
- ✓ son angle d'ouverture : α_e

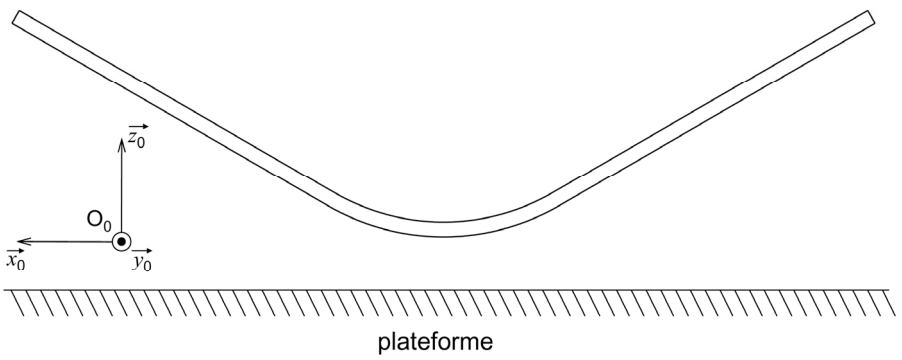
Le procédé de soudage « FSW » oblige de laisser de part et d'autre des parties planes des appendices de 60 mm qui servent à l'entrée et à la sortie du pion. Ces appendices sont ensuite découpés pour obtenir l'éprouvette finale.

- Définition du soudage concave



- Posages envisagés (1/4)

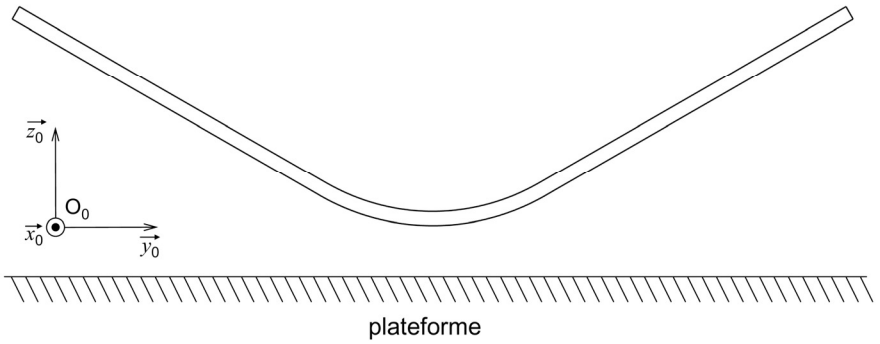
✓ cas 1 : en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$



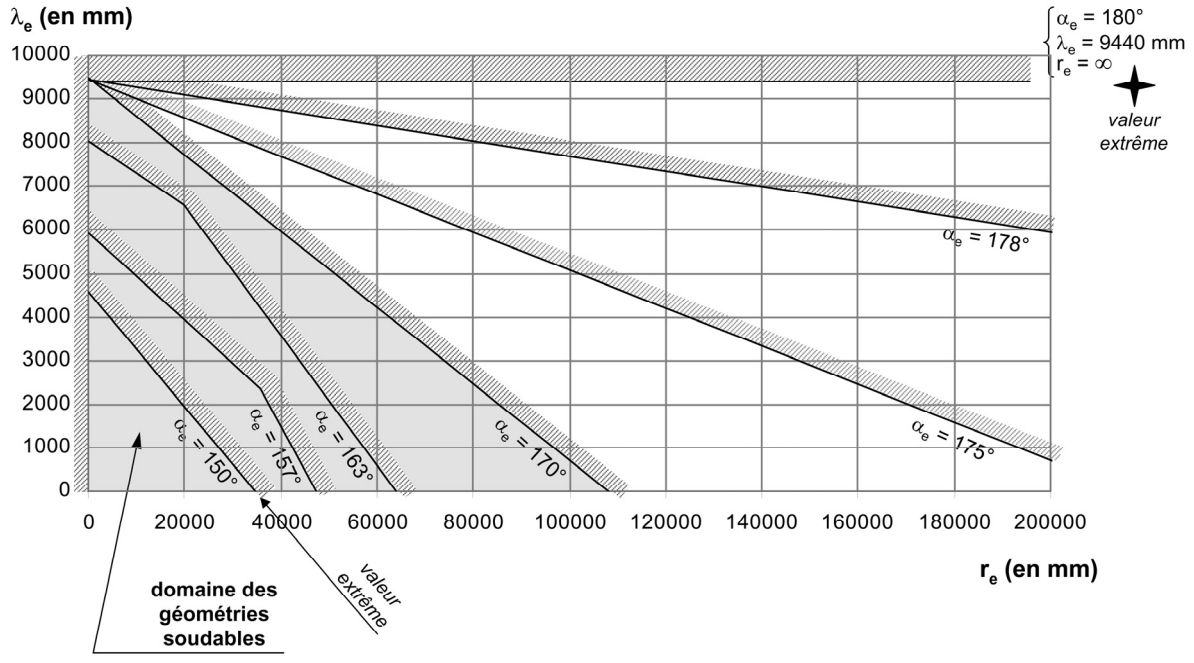
Annexe F	Eprouvette en « V »

- Posages envisagés (2/4)

  ✓ cas 2 : en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$



Domaine des géométries soudables pour le posage en « V » ,
avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$.



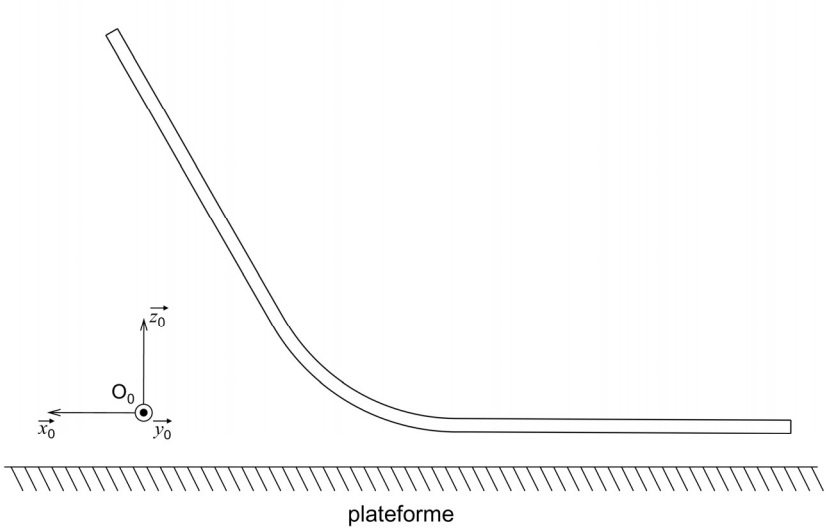
Exemple d'interprétation :

Domaine des géométries soudables pour α_e = 170°

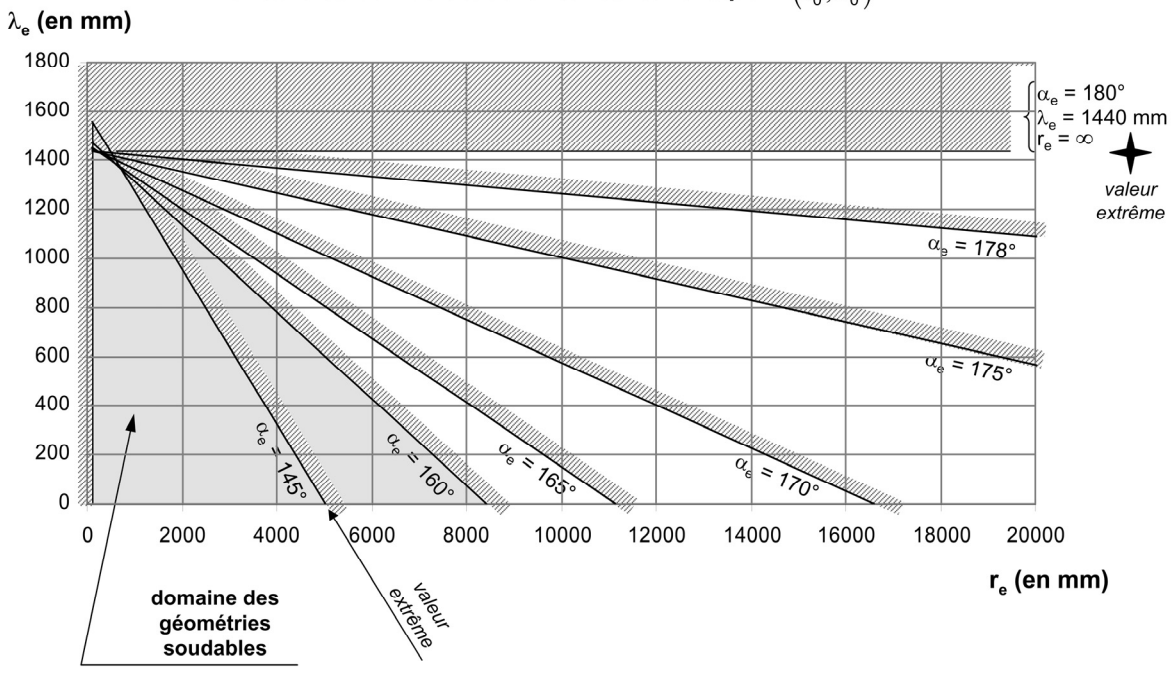
Annexe F	Eprouvette en « V »

- Posages envisagés (3/4)

  ✓ cas 3 : « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$



Domaine des géométries soudables pour le posage « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$.



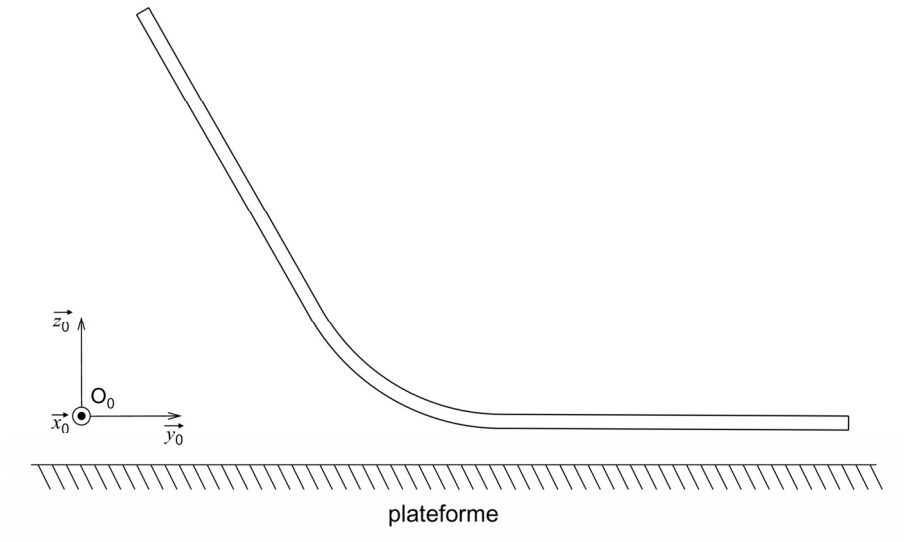
Exemple d'interprétation :

Domaine des géométries soudables pour α_e = 160°

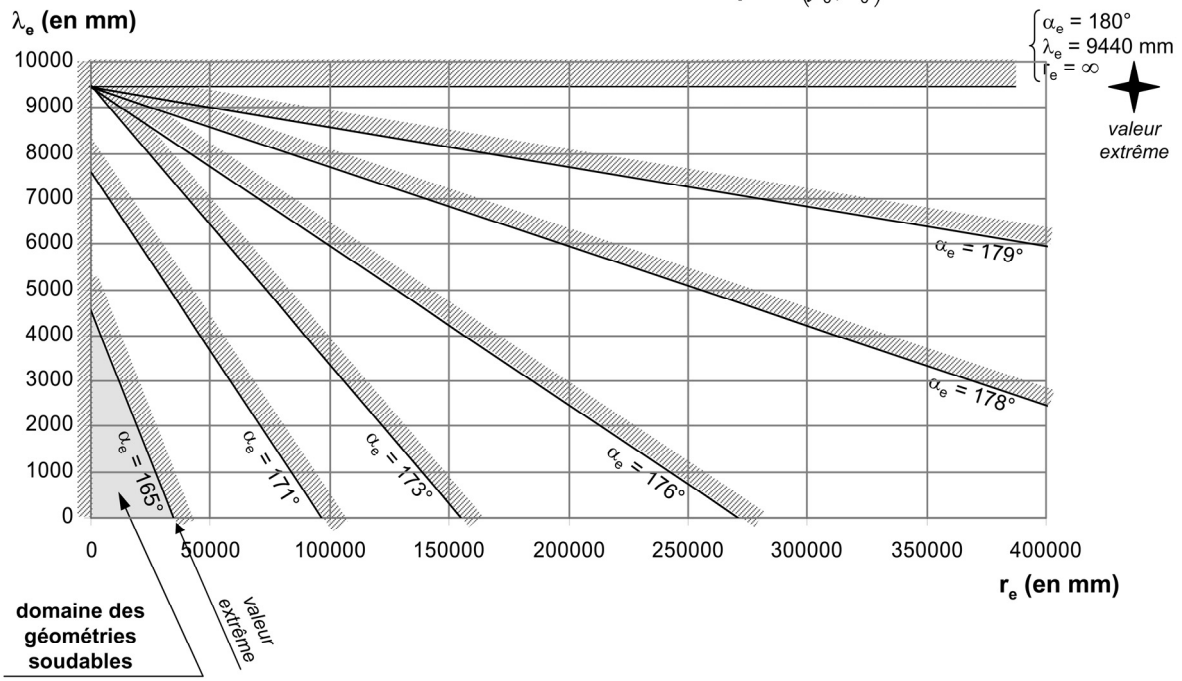
Annexe F	Eprouvette en « V »

- Posages envisagés (4/4)

  ✓ cas 4 : « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$



Domaine des géométries soudables pour le posage « à plat », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$.

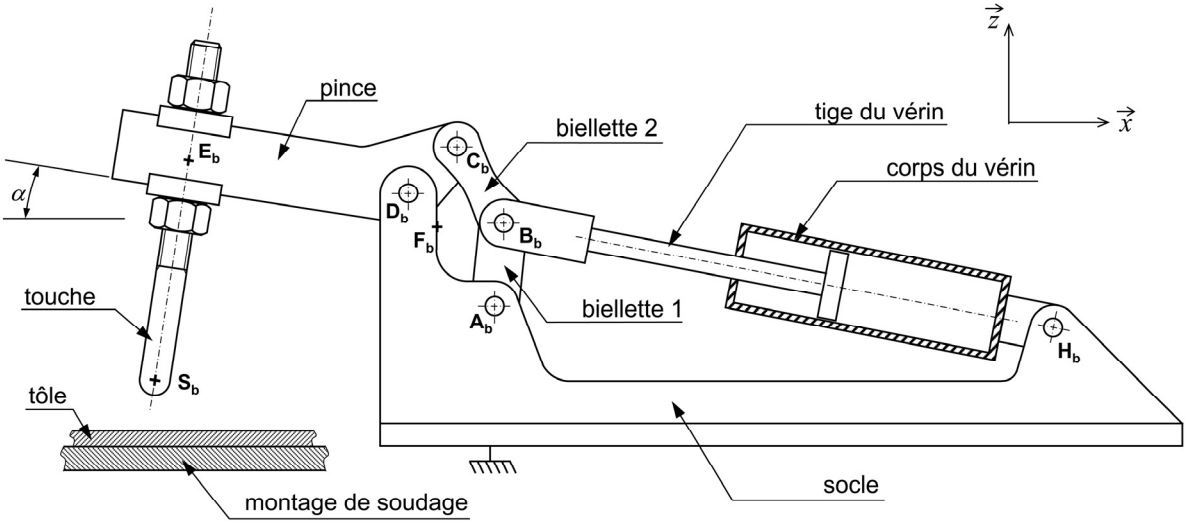


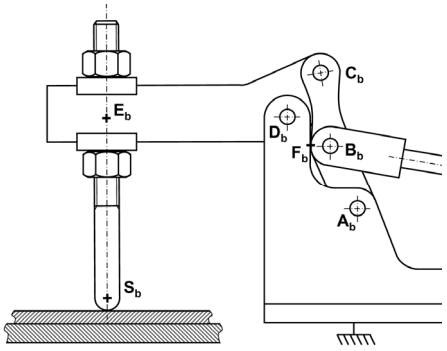
Exemple d'interprétation :

Domaine des géométries soudables pour α_e = 165°

Annexe G	Description du système de bridage à genouillère

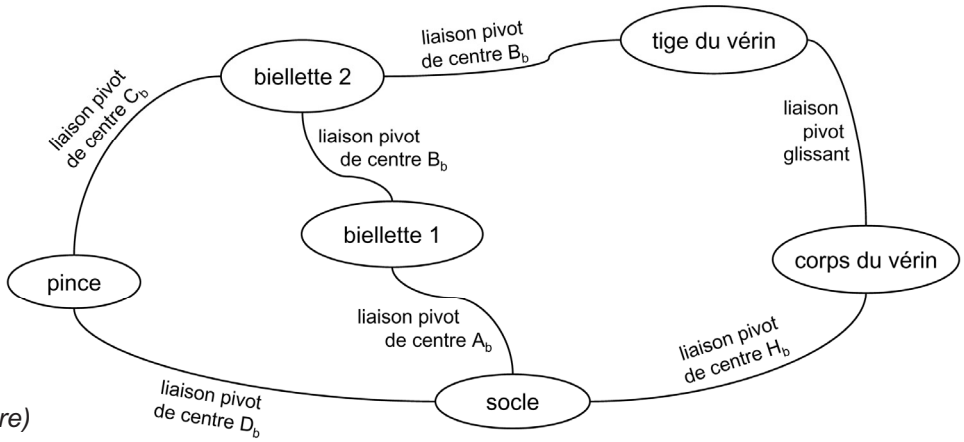
- Schéma de principe du système de bridage





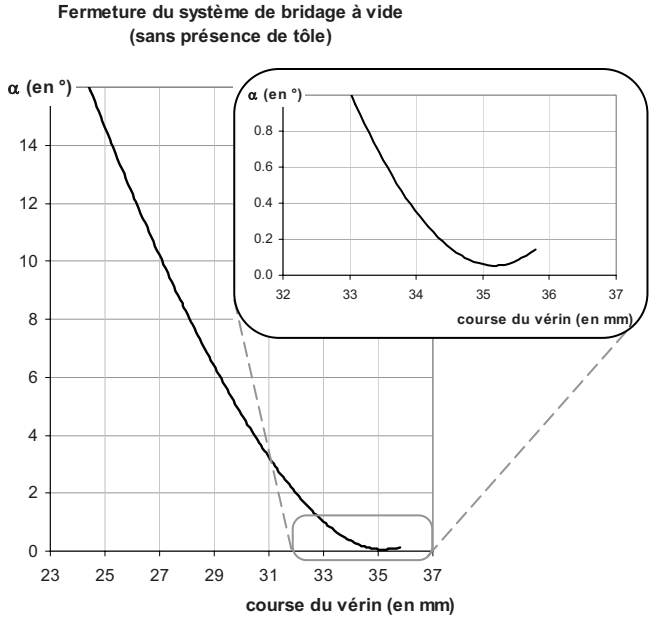
système de bridage
en position verrouillée

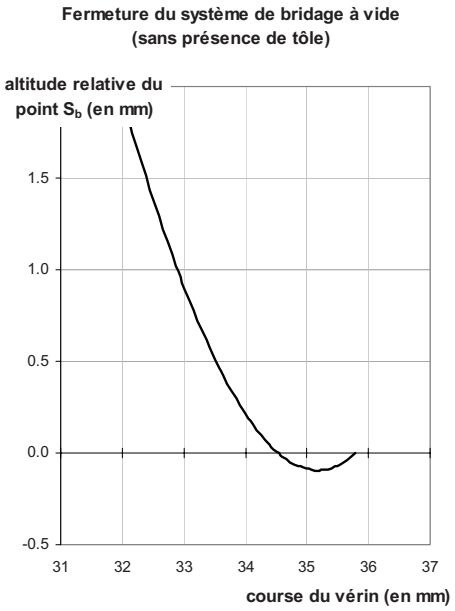
graphe
des liaisons
(ou de structure)



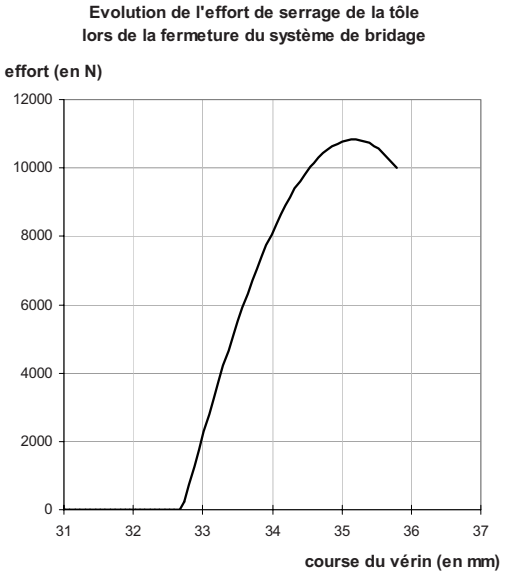
Annexe G	Description du système de bridage à genouillère

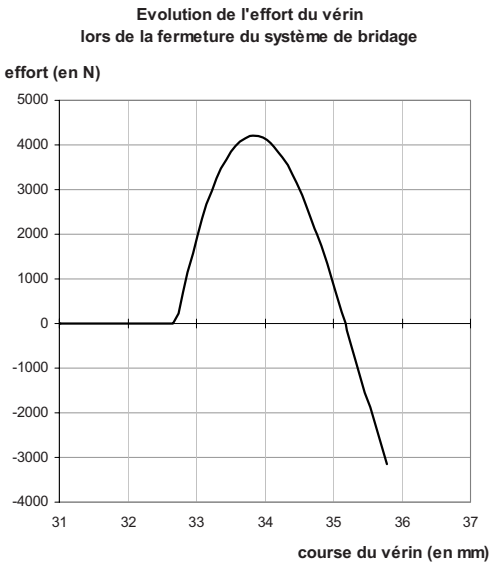
- Variation des paramètres géométriques du système de bridage à vide (sans présence de tôle)





- Allure des efforts dans le système de bridage lors du serrage de la tôle



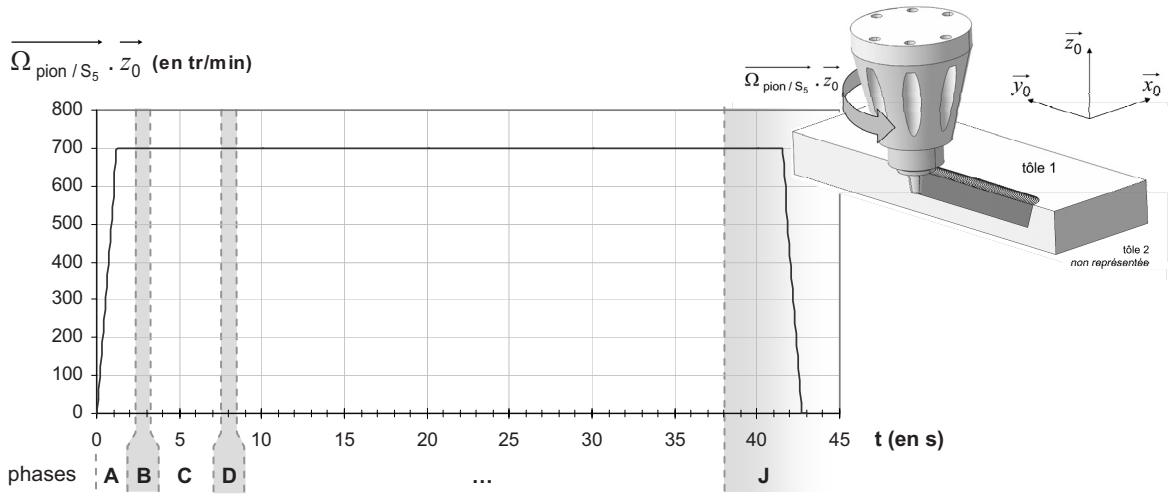


Nota : l'origine de la course du vérin a été choisie arbitrairement, un décalage d'origine peut être effectué.

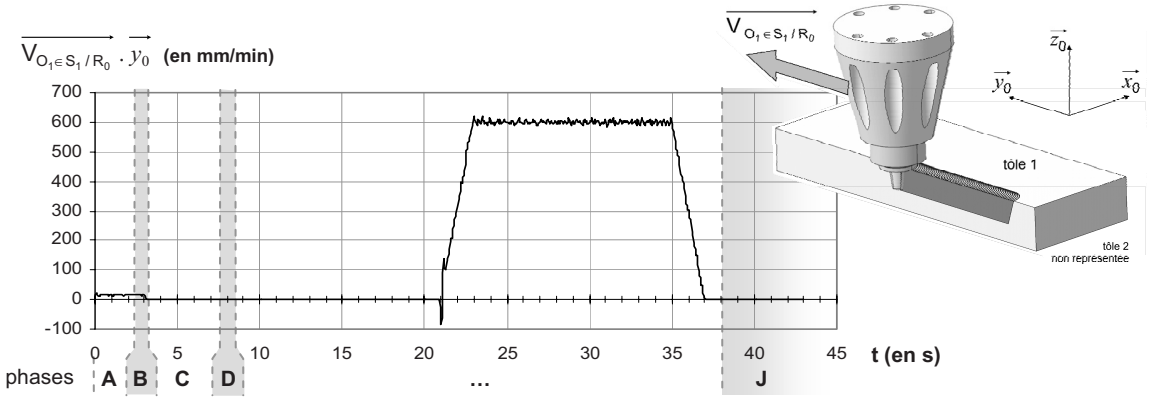
Annexe H	Données expérimentales obtenues lors d'un soudage linéaire suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$

Les données mesurées sont représentées sur l'ensemble de six courbes.
La base temps est identique pour chacun des relevés.

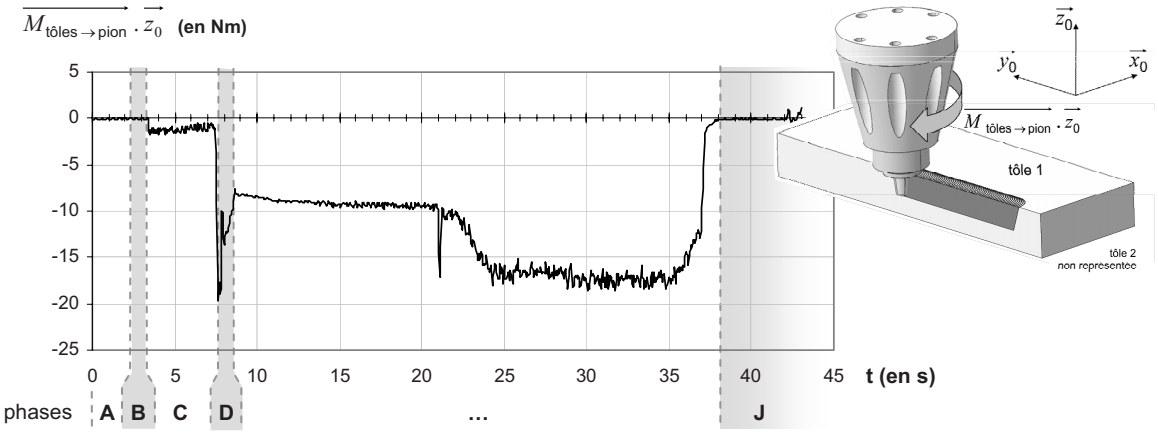
- <u>Vitesse de rotation du pion</u>



- <u>Vitesse d'avance</u>



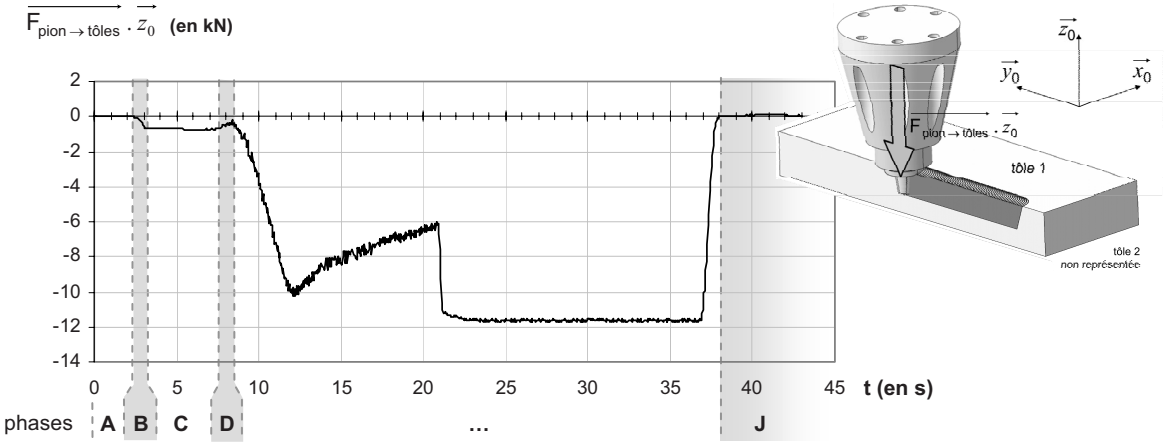
- <u>Moment du couple résistant des tôles sur le pion</u>



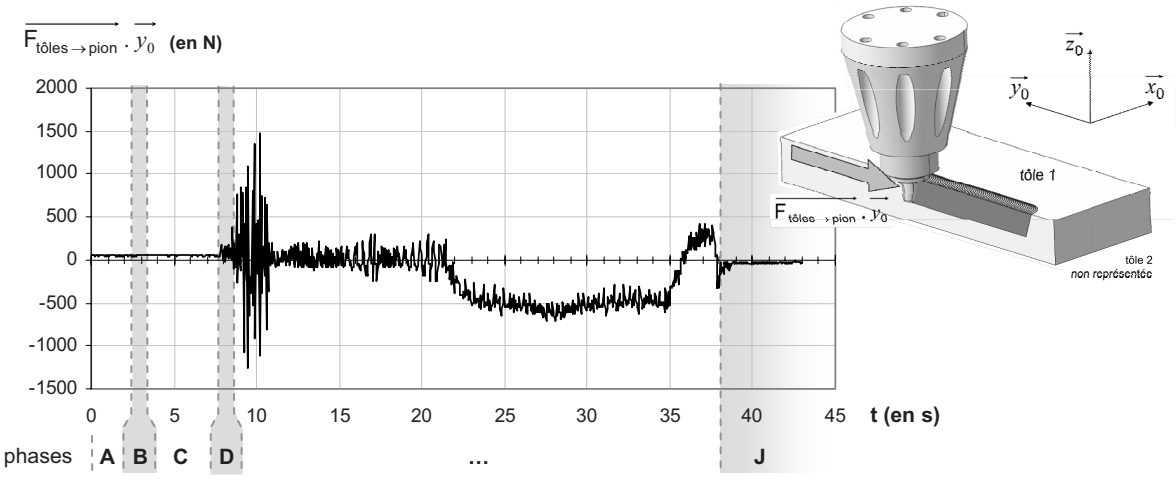
Annexe H	Données expérimentales obtenues lors d'un soudage linéaire suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$

Les données mesurées sont représentées sur l'ensemble de six courbes.
La base temps est identique pour chacun des relevés.

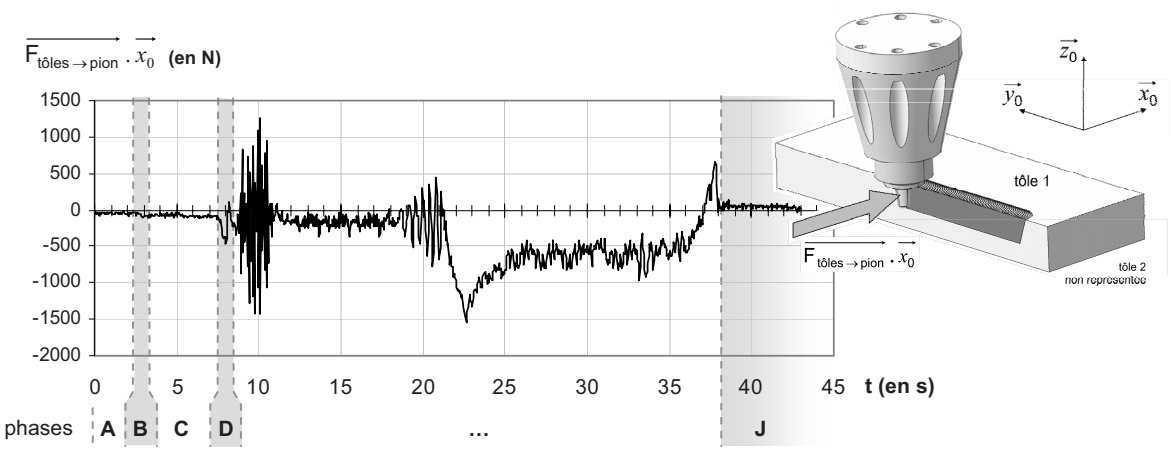
- <u>Effort vertical de pression exercé par le pion sur les tôles</u>



- <u>Effort résistant au mouvement d'avance exercé par les tôles sur le pion</u>



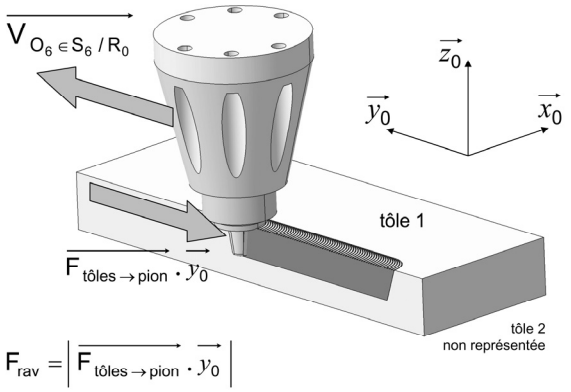
- <u>Effort résistant transversal exercé par les tôles sur le pion</u>



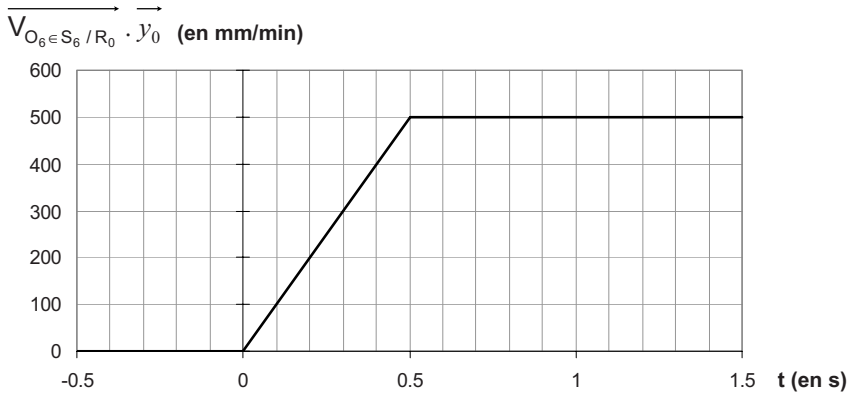
Annexe I	Conditions opératoires pour réaliser des essais de soudage avec de fortes accélérations en début de soudage

Des essais avec de fortes accélérations en début de soudage sont envisagés. Les cordons de soudure seront réalisés suivant l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$. La commande du portique en vitesse est imposée. Compte-tenu de la nature des matériaux et de la vitesse d'avance du portique on peut faire l'approximation grossière que l'effort résistant au mouvement d'avance croît linéairement comme indiqué ci-après.

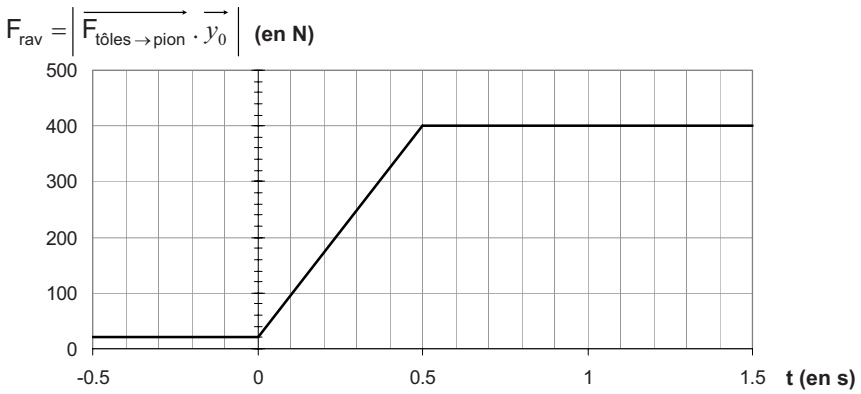
- Schéma de soudage

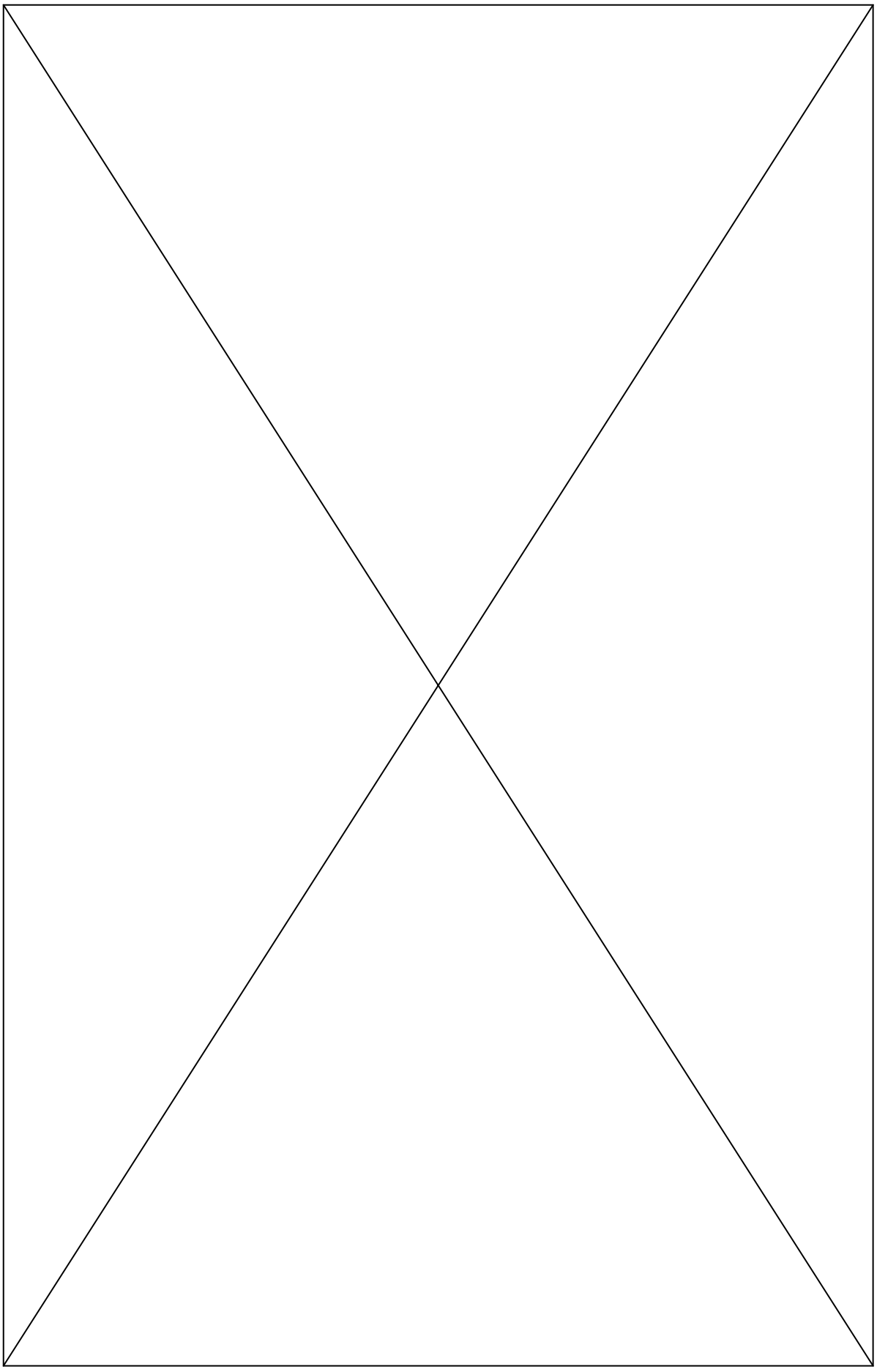


- Loi de commande du portique en vitesse



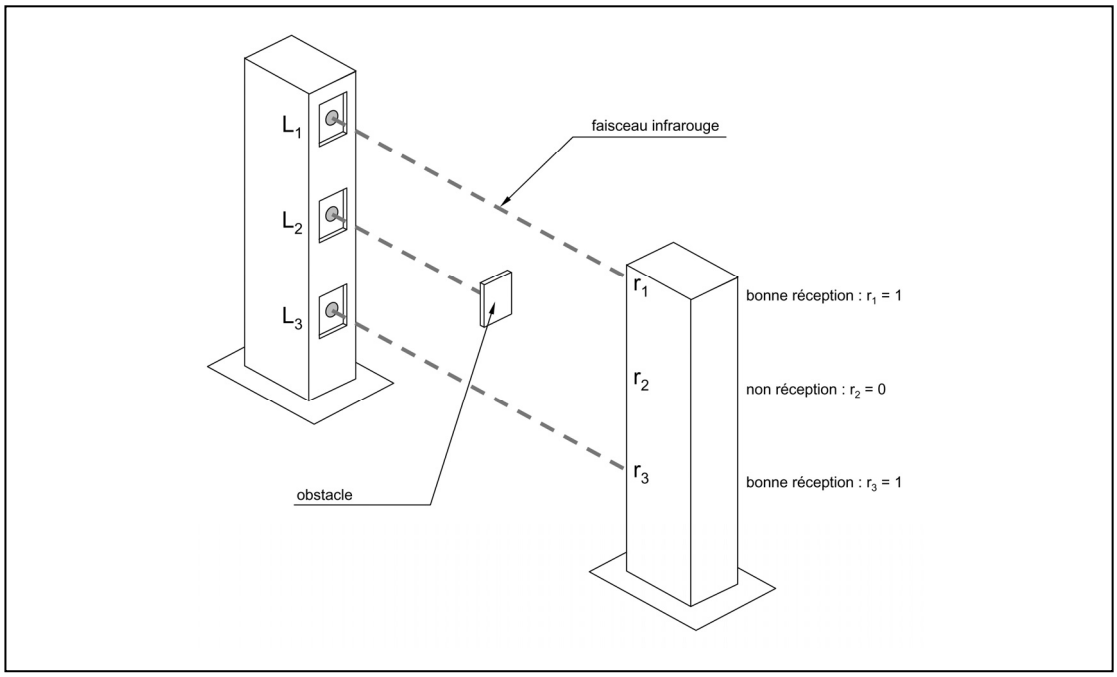
- Estimation de l'effort résistant au mouvement d'avance





Annexe J	Système de sécurité de la machine de soudage « FSW »

Une barrière de sécurité immatérielle est composée de 3 faisceaux infrarouges qui sont captés par 3 cellules photosensibles placées en vis-à-vis. Lors du passage d'une personne au travers cette barrière immatérielle, les faisceaux infrarouges ne sont plus captés et une procédure d'arrêt de la machine est opérée. La mise en sécurité d'une machine nécessite généralement plusieurs barrières immatérielles. Pour simplifier l'étude, une seule barrière est étudiée ici.



La machine est équipée, entre autres, des éléments de sécurité suivant :

✓ 3 faisceaux infrarouges monostables :

L_1	Allumer faisceau infrarouge 1
L_2	Allumer faisceau infrarouge 2
L_3	Allumer faisceau infrarouge 3

✓ un signal tricolore « vert, orange, rouge » monostable :

Vv	Allumer Voyant Vert	Le voyant vert est allumé lorsqu'une personne peut traverser la barrière immatérielle sans provoquer d'arrêt de la machine.
Vo	Allumer Voyant Orange	Le voyant orange est allumé lorsque qu'un faisceau de la barrière immatérielle n'est pas détecté dans les 3 premières secondes après sa mise en service. Il est également allumé lorsque la machine fonctionne en développement d'un programme de soudage.
Vr	Allumer Voyant Rouge	Le voyant rouge est allumé lorsque la machine est en condition opérationnelle et qu'aucune personne ne doit traverser la barrière immatérielle.

✓ 3 cellules photosensibles de détection :

r_1	Réception du faisceau infrarouge 1
r_2	Réception du faisceau infrarouge 2
r_3	Réception du faisceau infrarouge 3

Annexe J	Système de sécurité de la machine de soudage « FSW »

Le pupitre de commande dispose, entre autres, des éléments de sécurité suivant :

- ✓ 4 boutons poussoir :

au	Arrêt d'Urgence activé	La détection du bouton poussoir d'arrêt d'urgence doit être prioritaire sur les autres actions. Dès la détection d'un front montant de l'arrêt d'urgence (↑au), un arrêt des groupes hydrauliques et le freinage des axes machines est déclenché.
bp_1	Bouton Poussoir 1 activé	L'appui simultané des deux boutons poussoir permet la mise en service de la barrière immatérielle, si l'arrêt d'urgence n'est pas enclenché. Les boutons poussoirs sont disposés pour que l'opérateur utilise ses deux mains à l'extérieur de la zone protégée.
bp_2	Bouton Poussoir 2 activé	
ar	Arrêt normal de la machine	L'arrêt normal peut être actionné à la fin d'une utilisation donnée sur la machine de soudage « FSW ». Cet arrêt libère les systèmes de sécurité et stoppe les groupes hydrauliques.

- ✓ un sélecteur de sensibilité :

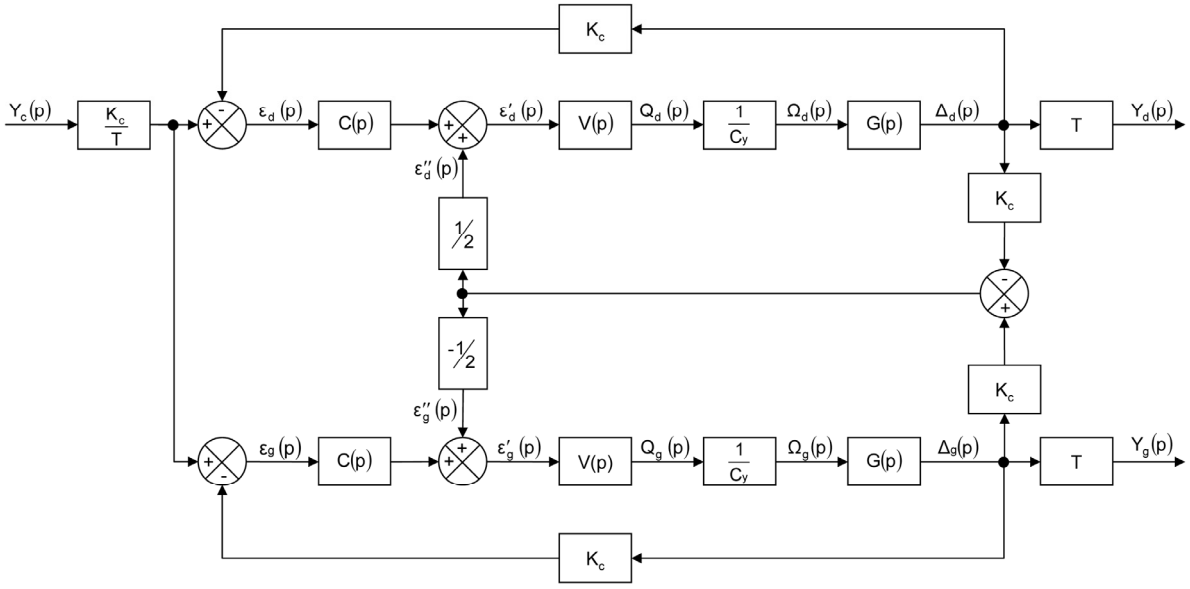
sel_1	Détection du franchissement de la barrière immatérielle par coupure d'au moins 1 faisceau infrarouge
sel_2	Détection du franchissement de la barrière immatérielle par coupure d'au moins 2 faisceaux infrarouges

- ✓ un sélecteur de mode de fonctionnement à clé :

prod	En mode « Production », la machine de soudage peut être utilisée dans toutes ses possibilités, l'activation des systèmes de sécurité est obligatoire.
dev	En mode « Développement de gamme de soudage », la machine peut être utilisée avec un opérateur sur la plateforme. La barrière immatérielle doit alors être désactivée. Dans ce mode, la machine est limitée en vitesse et en effort : aucun soudage n'est réalisable ; seules des validations de trajectoires sont possibles.

Annexe K	Asservissement en position du portique de la machine de soudage « FSW » sur l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$

Le schéma bloc de l'asservissement en position sur l'axe $(O_0, \overrightarrow{y_0})$ est présenté sur la figure ci-dessous :



- ✓ La consigne de position est notée Y_c.
- ✓ La vitesse de rotation du moteur hydraulique Ω_g (Ω_d) est directement liée au débit d'alimentation Q_g (Q_d) et sa cylindrée C_y (constante).
- ✓ Le débit d'alimentation du moteur hydraulique Q_g (Q_d) est régulé par une vanne dont la fonction de transfert est $\frac{Q(p)}{\varepsilon'(p)} = \frac{1}{1+\tau.p}$ où τ est homogène à une constante de temps.
- ✓ La vitesse de rotation du moteur hydraulique Ω_g (Ω_d) est convertie en un angle Δ_g (Δ_d) par la fonction de transfert G(p).
- ✓ L'angle Δ_g (Δ_d) est converti en position Y_g (Y_d) par la constante T qui traduit la transformation de mouvement par le réducteur et le système pignon-crémaillère.
- ✓ L'angle Δ_g (Δ_d) est relevé par le capteur incrémental et converti en « points ». Par interpolation, il est possible d'obtenir un nombre de points non entier ; le capteur est considéré linéaire et continu. La fonction de transfert K_c est homogène à une constante.
- ✓ La différence ε_g (ε_d) entre l'image de la position réelle Y_g (Y_d) et l'image de la position de consigne Y_c est amplifiée par un correcteur dont la fonction de transfert est notée C(p).
- ✓ La position relative entre les angles Δ_g et Δ_d est divisée par deux et ajoutée ou retranchée à la valeur de sortie du correcteur. Ce dispositif a pour objectif de réduire l'écart de position entre les montants gauche et droit en accélérant le moteur en retard et en freinant celui qui est en avance.

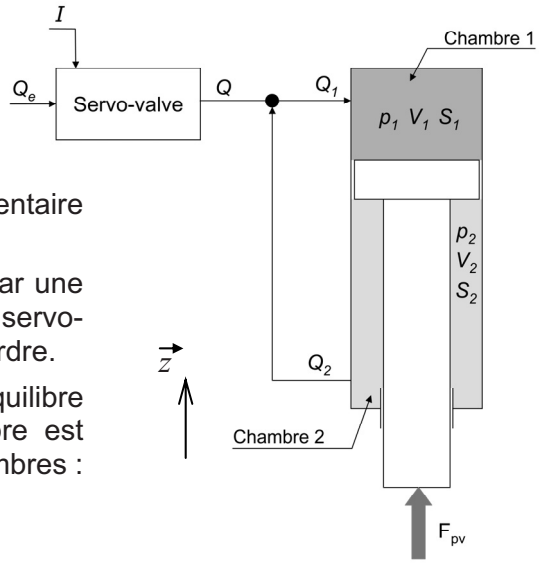
Annexe L	Asservissement de l'effort de pression verticale sur la machine de soudage « FSW »

- Principe du vérin différentiel

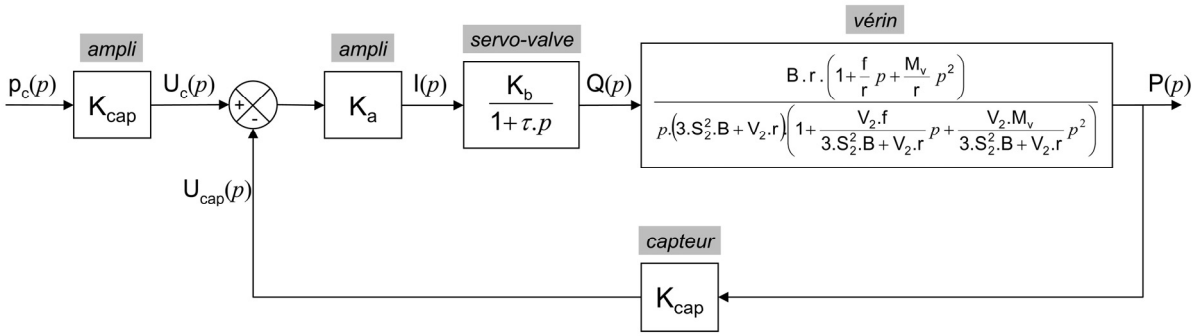
L'effort de pression verticale est exercé par un vérin hydraulique en « montage différentiel ». Dans ce type de circuit, pendant la sortie de la tige, le débit de la chambre 2 est envoyé dans la chambre 1. Ce débit supplémentaire s'ajoute au débit de la pompe.

Le débit d'alimentation du vérin Q est régulé par une servo-valve alimentée en courant. On identifie la servo-valve à un modèle de système continu du premier ordre.

Avant de commencer le cordon de soudure, l'équilibre est établi à mi-course du vérin. Lorsque l'équilibre est atteint, la pression est identique dans les deux chambres : $p_1 = p_2$ avec $F_{pv} \neq 0$ à l'équilibre.



- Schéma bloc de l'asservissement en pression



- Valeurs numériques

K_a	Gain d'amplification pure	1,4 A V^{-1}	
K_{cap}	Gain du capteur de pression	$1{,}25\times10^{-7}$ V Pa^{-1}	
K_b	Gain de la servo-valve	$37{,}5\times10^{-4}$ m^3 s^{-1} A^{-1}	
τ_2	Constante de temps de la servo-valve	0,03 s	
B	Module de compressibilité du fluide	1500 MPa	
r_{ext}	Rayon du piston du vérin	17 mm	
r_{int}	Rayon de la tige du vérin	12 mm	
c_v	Course du vérin	30 mm	
S_1	Surface du piston dans la chambre 1	908 mm^2	$S_1 = 2.\ S_2$
S_2	Surface du piston dans la chambre 2	454 mm^2	
V_1	Volume de la chambre 1	13618,8 mm^3	(à mi-course du vérin)
V_2	Volume de la chambre 2	6809,4 mm^3	(à mi-course du vérin)
M_v	Masse déplacée par le vérin	8 kg	
f	Coefficient de frottement visqueux équivalent	$2{,}8\times10^{3}$ N m^{-1} s	
r	Coefficient de raideur équivalente	$3{,}1\times10^{8}$ N m^{-1}	
q_1	Débit d'alimentation de la chambre 1		
q_2	Débit de retour de la chambre 2		
p_1	Pression dans la chambre 1		à l'équilibre : $p_1 = p_2$
p_2	Pression dans la chambre 2		
F_{pv}	Effort résistant exercé sur le vérin	12000 N	

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 1

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 celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

NE RIEN ÉCRIRE

Examen ou concours : Série* :

Spécialité/option :

Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens

Note : /20

Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

XS94

Épreuve de Sciences Industrielles PSI

Durée 5 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est autorisé.

CAHIER DE RÉPONSES

TOUTES LES RÉPONSES SERONT PORTÉES SUR CE CAHIER DE RÉPONSES À L'EXCLUSION DE TOUTE AUTRE COPIE.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

CAHIER DE REPONSES

Toutes les réponses seront portées sur ce cahier de réponses à l'exclusion de toute autre copie.

R I.1 Liaison équivalente :

Nom de la liaison :

Torseur cinématique de la liaison : $\{\mathcal{T}(S_3/S_5)\} =$

Caractéristiques de la liaison :

R I.2 Dessin et grandeurs de la frontière :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.3 Deux solutions alternatives au système pignon-crémaillère :

Proposition de solution	Avantages	Inconvénients

R I.4 Domaines des géométries soudables :

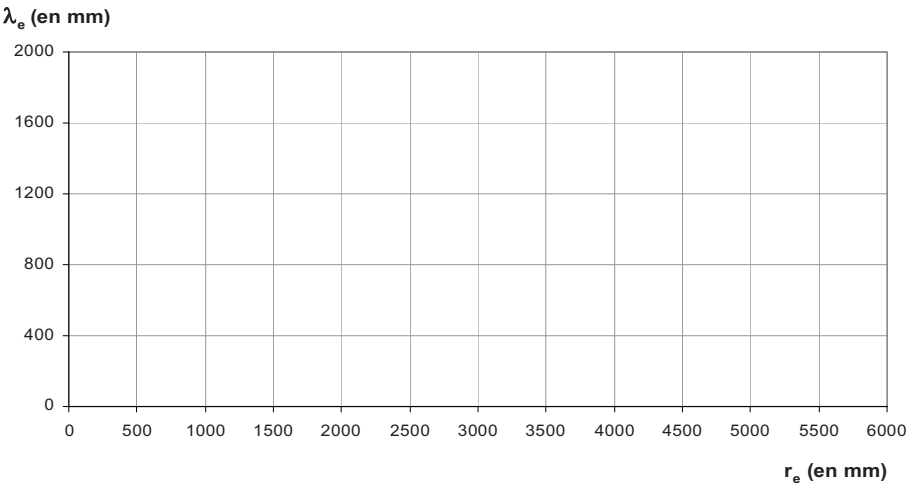
α_e mini :

α_e mini =

α_e maxi :

α_e maxi =

Domaine des géométries soudables pour le posage en « V » , avec le cordon de soudure réalisé dans le plan $\left(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{z_0}\right)$.



Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.5 Explication des brisures de droites pour α_e=157° et α_e=163° dans le cas 2 :

R I.6 Détermination du nombre de bridages :

Longueur curviligne :

$\ell_{curviligne}$ =

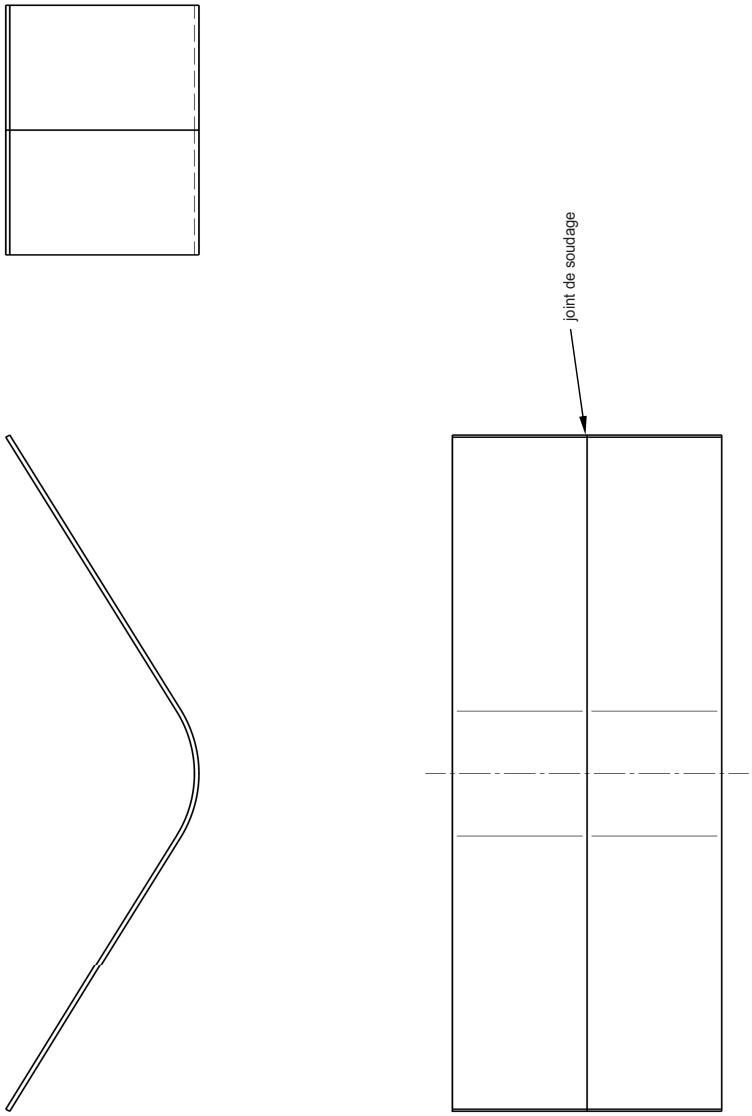
Nombre de bridages :

$n_{bridages}$ =

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.7 Montage de soudage :



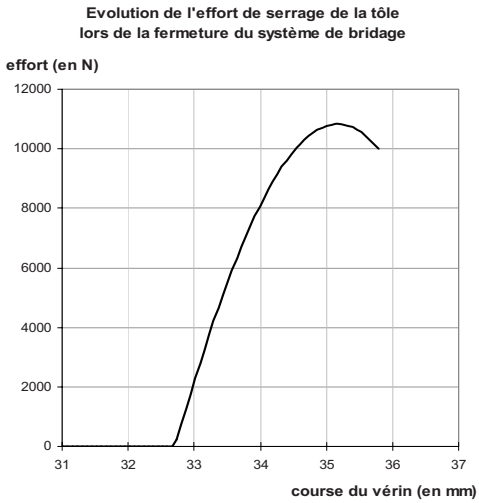
Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.8 Détermination de l'isostatisme du montage et commentaires :

R I.9 Explication de la compatibilité entre l'ouverture de la pince et le serrage des tôles :

R I.10 Détermination de l'effort de bridage à partir du dossier technique :



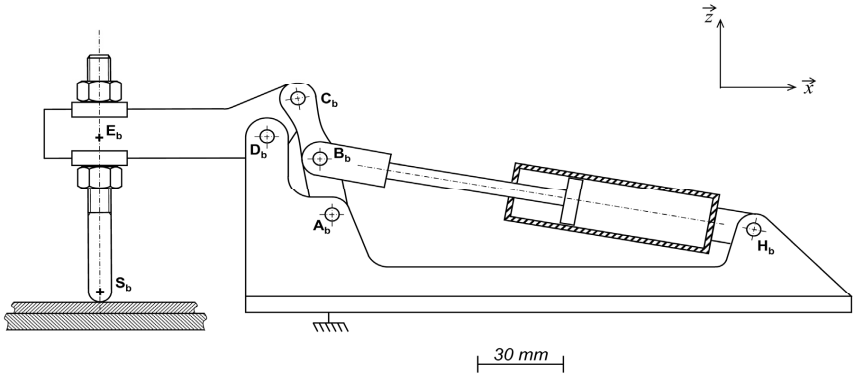
Effort de bridage :

$F_{bridage}$ =

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.10 Détermination graphique de l'effort de commande :



Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.10 Erreur commise et commentaires :

Commentaires :

Erreur commise :

$\mathcal{E} =$

R I.11 Grafcet « état de reception » de la gestion du faisceau 1 :

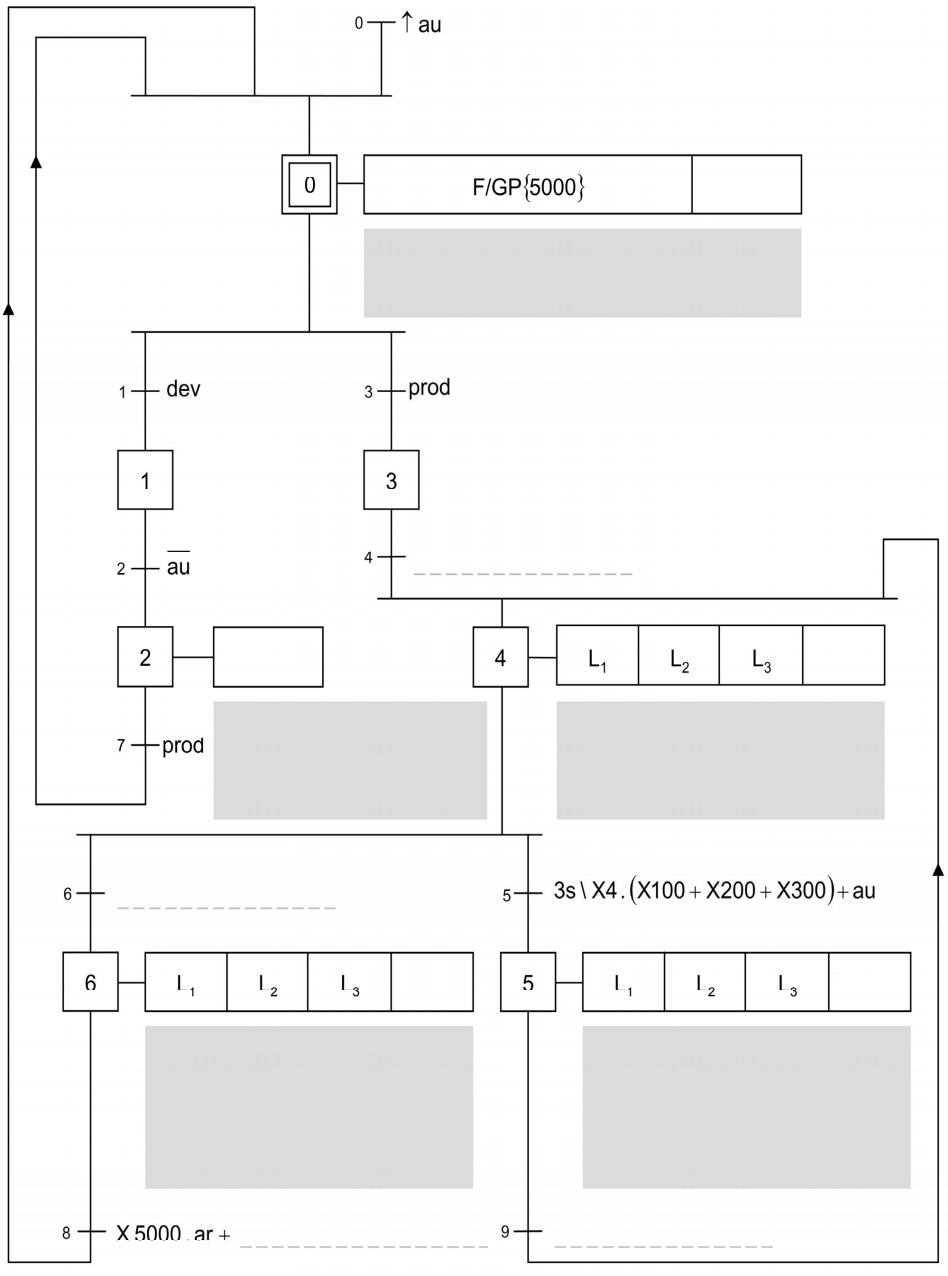
R I.12 Equation booléenne du déclenchement de la mise en sécurité de la machine :

Equation booléenne :

X5000.ar +

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.13 Grafcet coordination de la sécurité :



X5000 est une étape d'attente du grafcet de production où les entraînements des axes de la machine sont débrayés et solides freinés (bloqués). L'action F/GP{5000} force le grafcet de production (GP) à l'étape 5000.

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.14 Grafcet modifié :

Equation booléenne :

X5000.ar +

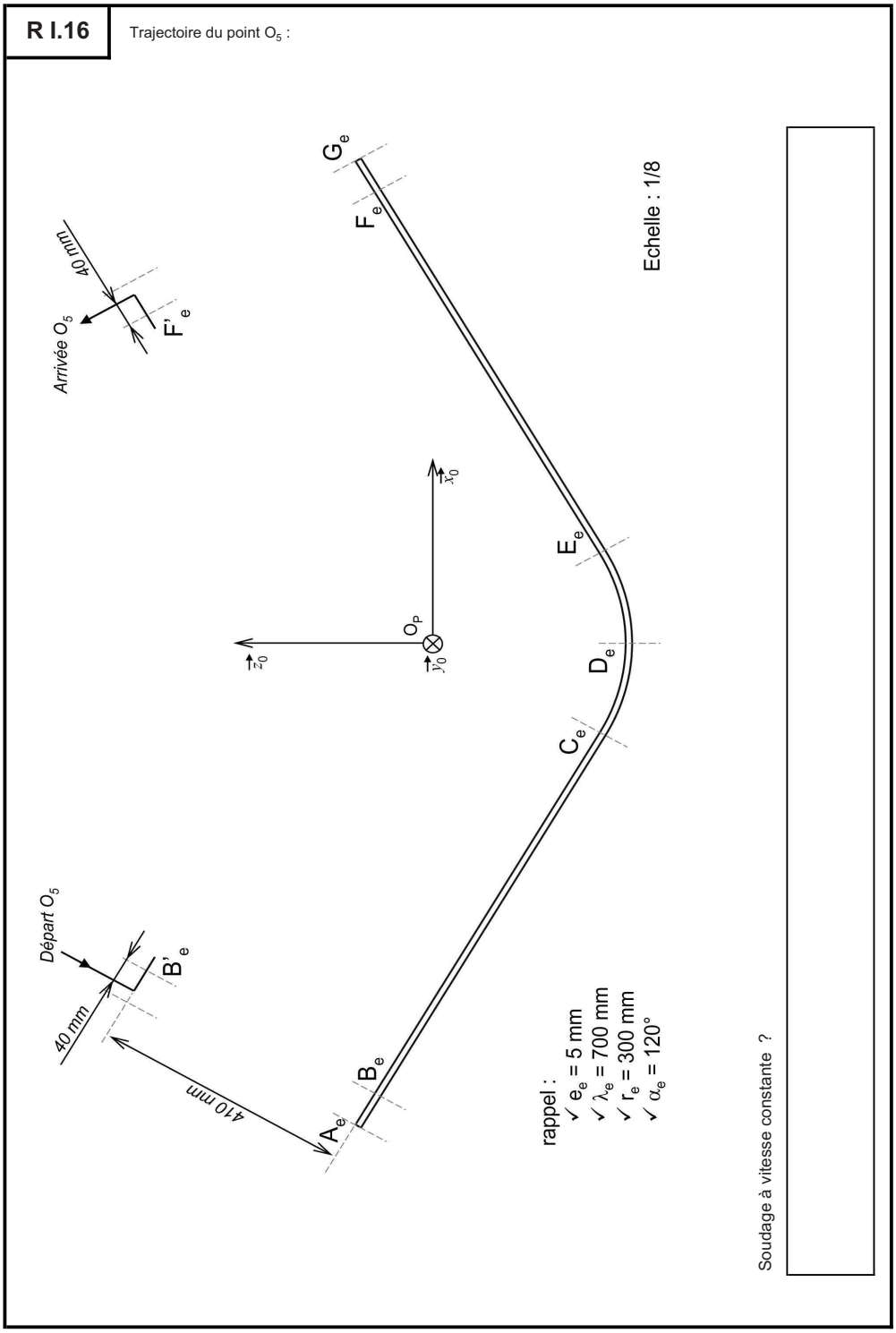
R I.15 Temps d'accélération et de décélération :

Temps d'accélération :

Temps de décélération :

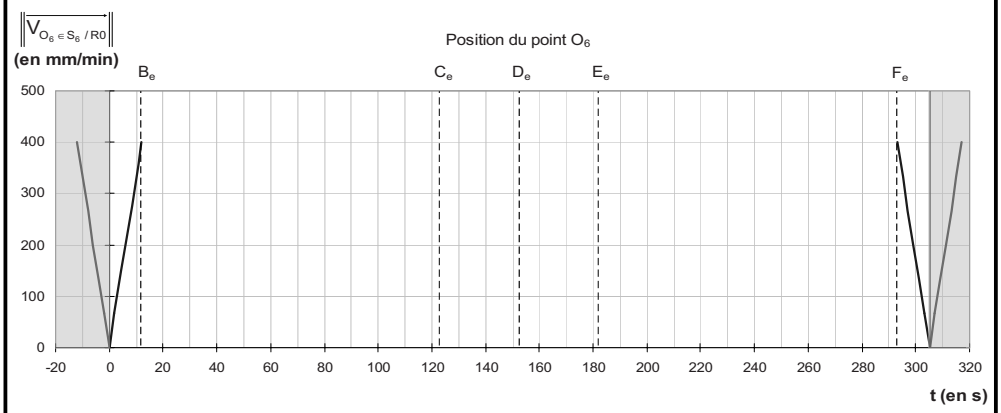
NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R I.16 Trajectoire du point O_5 :

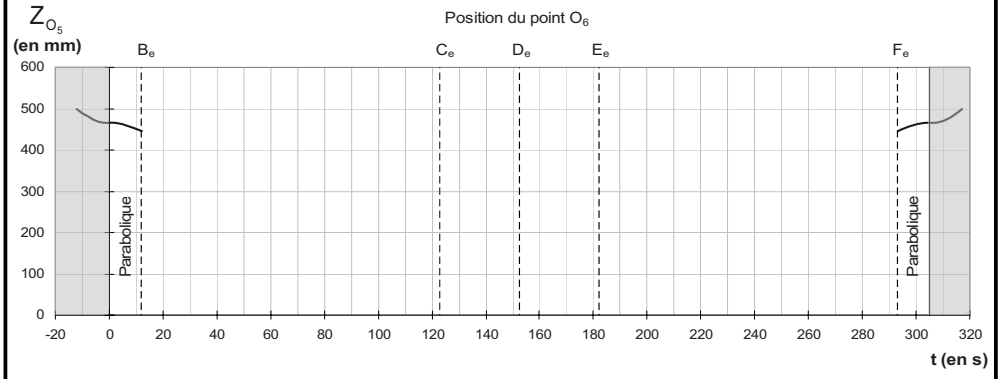


NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

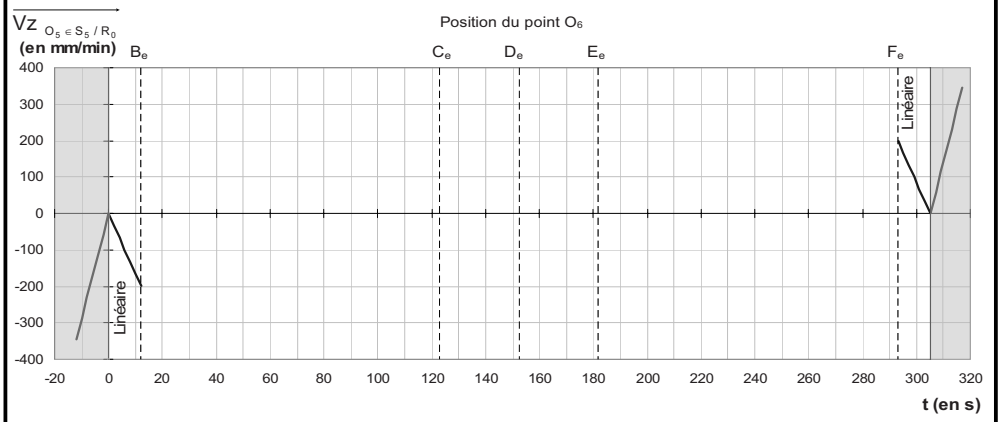
R I.17 Compléter le chronogramme :



R I.18 Compléter le chronogramme :



R I.19 Compléter le chronogramme :

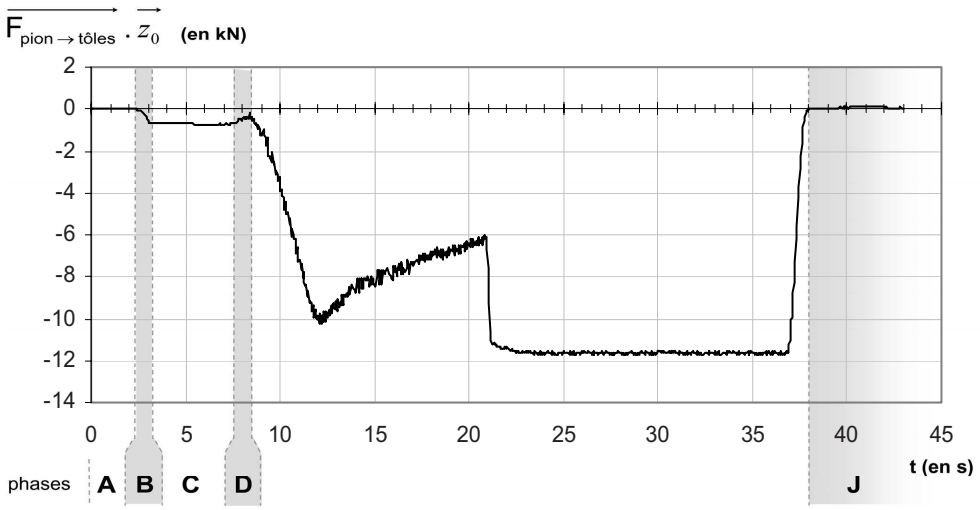


Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.1 Origine des oscillations :

R II.2 Repérer les différentes phases :



Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.2 Compéter le tableau :

Phase	Date début	Date fin	Action effectuée par la machine	Explication de l'évolution de l'effort vertical de pression
A	0 s	2,3 s	Mise en rotation du pion et stabilisation de la vitesse de rotation.	Pas de contact pion / tôle : effort nul.
B	2,3 s	3,2 s	Mise en contact du pion avec la tôle.	Augmentation de l'effort du pion sur la tôle jusqu'à 700 N, consigne d'arrêt de l'accosatge du pion sur la tôle.
C	3,2 s	7,5 s	Maintien (en position) du contact de l'extrémité du pion avec la tôle.	Echauffement de la tôle, le matériau reste à l'état solide, l'effort est quasi-constant.
D	7,5 s	8,5 s	Maintien (en position) du contact de l'extrémité du pion avec la tôle.	Le matériau passe à l'état semi-solide, les efforts résistants dûs aux frotte-ments de la tôle sur le pion chutent.
E				
F				
G				
H				
I				
J	38 s	45 s	Dégagement puis arrêt en rotation du pion.	Pas de contact pion / tôle : effort nul.

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.3 Relevé des différentes consignes de l'essai :

Vitesse de rotation du pion :

$\overrightarrow{\Omega_{pion\ /\ S_5}} \cdot \overrightarrow{z_0} =$

Vitesse d'avance du portique :

$\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1\ /\ R_0}} \cdot \overrightarrow{y_0} =$

Moment du couple résistant sur le pion :

$\overrightarrow{M_{tôles \rightarrow pion}} \cdot \overrightarrow{z_0} =$

Effort d'avance :

$\overrightarrow{F_{tôles \rightarrow pion}} \cdot \overrightarrow{y_0} =$

Effort vertical de pression sur le pion :

$\overrightarrow{F_{pion \rightarrow tôles}} \cdot \overrightarrow{z_0} =$

Effort transversal :

$\overrightarrow{F_{tôles \rightarrow pion}} \cdot \overrightarrow{x_0} =$

R II.4 Determination des puissances :

Puissance d'avance du portique :

$\mathcal{P}_{avance} =$

Puissance de malaxage de la matière :

$\mathcal{P}_{malaxage} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.5 Relation entre la vitesse de translation du portique et la vitesse de rotation du moteur :

Condition de roulement sans glissement en I entre S_0 et S_{12} :

Relation entre $\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1/S_0}}$ et $\overrightarrow{\Omega_{S_{12}/S_1}}$:

Relation entre $\overrightarrow{V_{O_1 \in S_1/S_0}}$ et $\overrightarrow{\Omega_{S_{11}/S_1}}$:

R II.6 Vitesse maximale du moteur d'entraînement et débit d'alimentation correspondant :

Vitesse maximale du moteur :

$\left\| \overrightarrow{\Omega_{S_{11}/S_1}} \right\|_{maxi} =$

Débit d'alimentation maximum du moteur :

$q_{moteur\ maxi} =$

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.7 Moment du couple d'un moteur pour vaincre les efforts résistants au mouvement d'avance en régime permanent :

Moment du couple pour un moteur :

C_{mot} =

Application numérique :

C_{mot} =

R II.8 Puissance mécanique maximale d'un moteur d'entraînement (en régime permanent) :

Puissance mécanique disponible :

$\mathscr{P}_{méca\ maxi}$ =

Vérification de la compatibilité de cette puissance avec l'essai mené à l'annexe H :

R II.9 Puissance hydraulique maximale d'un moteur d'entraînement (en régime permanent) :

Puissance hydraulique disponible :

$\mathscr{P}_{méca\ maxi}$ =

Pression d'alimentation d'un moteur :

$p_{alim.\ moteur}$ = MPa

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.10 Arc boutement :

Explication du principe :

Exemple de mécanisme :

R II.11 Détermination des fonctions de transfert du schéma blocs, annexe K :

Equation temporelle entre $\omega_g(t)$ à $\delta_g(t)$ - *ou* $\omega_d(t)$ *à* $\delta_d(t)$:

Fonction de transfert G(p) :

G(p) =

Constante T :

T =

Constante K_c :

K_c =

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.12 Détermination des fonctions de transfert $H_d(p)$ et $H_g(p)$:

Ecart à gauche :

$\varepsilon'_g(p) =$

Ecart à droite :

$\varepsilon'_d(p) =$

Angle à gauche :

$\Delta_g(p) =$

Angle à droite :

$\Delta_d(p) =$

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.12 Détermination des fonctions de transfert $H_d(p)$ et $H_g(p)$:

Système d'équations :

Fonctions de transfert en fonction de C(p), V(p), G(p), C_y et K_c :

$H_d(p) =$

$H_g(p) =$

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.12 Détermination des fonctions de transfert $H_d(p)$ et $H_g(p)$:

Fonctions de transfert en fonction de C(p), K_c, C_y, τ, et p :

$H_d(p) =$

$H_g(p) =$

R II.13 Positionnement du codeur incrémental :

Pertinence de la position du codeur :

Solution alternative *(éventuellement)* :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.14 Erreur statique et erreur de trainage :

Erreur statique :

$\varepsilon_s =$

Erreur de trainage :

$\varepsilon_t =$

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.15 Correction :

Type de correcteur, et justification :

Forme générale de la fonction de transfert :

C(p)=

R II.16 Comportement en phase de démarrage, modèle équivalent :

Théorème appliqué :

Relation entre C_{mot} , $C_{r_{eq}}$, I_{eq} et ω_{mot/S_1} sur le modèle équivalent :

R II.17 Accélération angulaire du moteur :

Relation littérale de l'accélération angulaire du moteur : Application numérique :

γ =

γ =

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.18 Relation entre couple moteur et effort résistant au mouvement d'avance en phase de démarrage :

Théorème appliqué :

Relation entre F_{em} et F_{rav} :

Théorème appliqué :

Relation entre $C_{eS_{12}}$ et C_{rc} :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.18 Relation entre couple moteur et effort résistant au mouvement d'avance en phase de démarrage :

Relation entre C_{mot} et $C_{rS_{12}}$:

Relation entre η_{eng}, $C_{rS_{12}}$, $C_{eS_{12}}$, z_{11} et z_{12} :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.18 Relation entre couple moteur et effort résistant au mouvement d'avance en phase de démarrage :

Relation entre η_{pc}, F_{em}, C_{rc}, m et z_{13} :

Relation entre C_{mot}, F_{rav} et γ :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.19 Identification au modèle équivalent :

Couple résistant équivalent :

$C_{r_{eq}} =$

Inertie équivalente :

$I_{eq} =$

R II.20 Inertie équivalente :

Application numérique :

$I_{eq} =$

Commentaire sur C_{11} et C_{12} :

R II.21 Couple résistant équivalent :

Expression temporelle de $C_{r_{eq}}$:

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

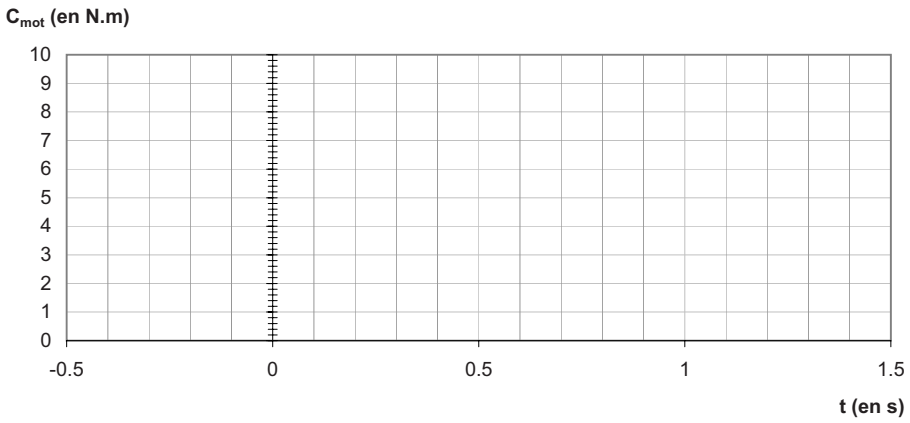
NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.22 Couple moteur en régime permanent :

Moment du couple moteur :

$C_{mot\ permanent}$ =

R II.23 Compléter le chronogramme :

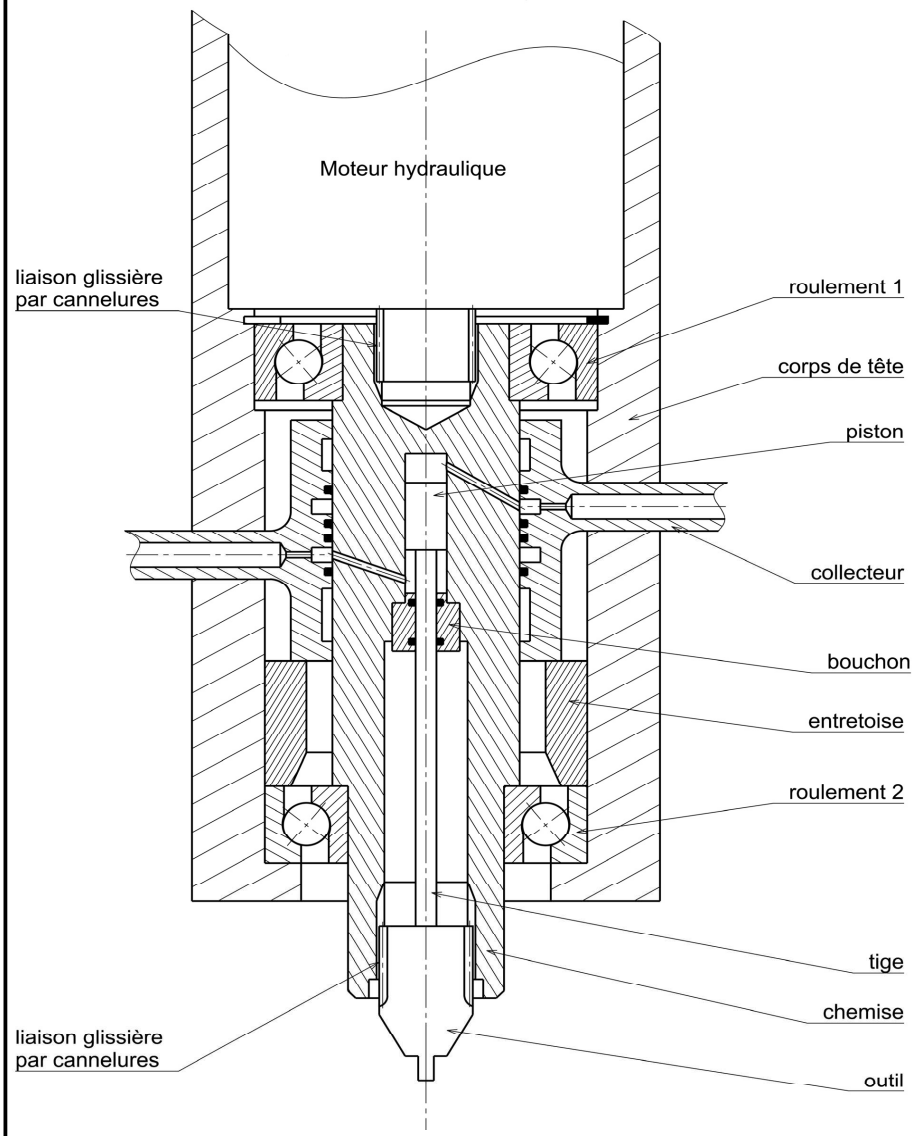


Compatibilité des moteurs pour l'essai voulu :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.24 Repérage des circuits hydrauliques :



Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.24 Explication du fonctionnement simultané de la rotation du pion et de l'application de l'effort vertical de pression :

R II.25 Pression de consigne :

Pression de consigne :

p_c =	Pa

R II.26 Justification de l'utilisation de la technologie hydraulique :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.27 Fonction de transfert de l'asservissement en pression :

Fonction de transfert :

$H(p) =$

R II.28 Gain et phase de la fonction de transfert :

Gain :

$G_{db}(\omega) =$

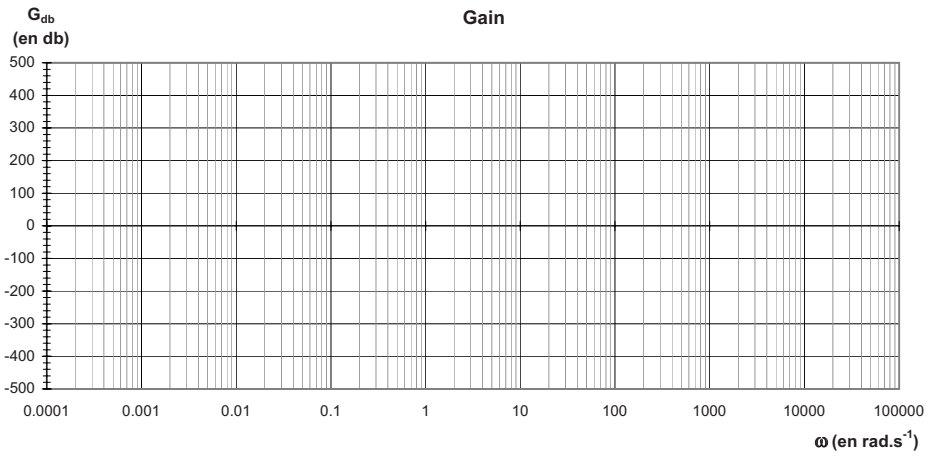
Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

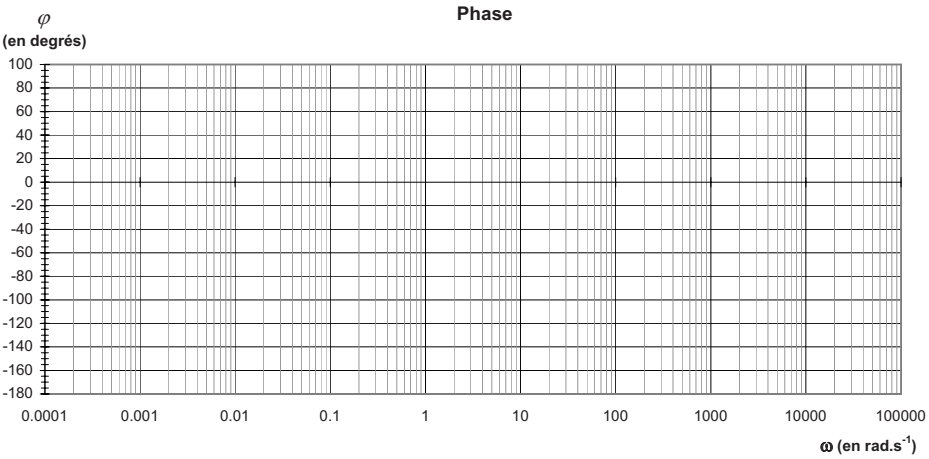
NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.28 Gain et phase de la fonction de transfert :

Phase :

$\varphi(\omega) =$





Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

R II.29 Stabilité du système :

Marge de gain numérique :

MG =

Marge de gain graphique :

MG =

Marge de phase numérique :

MP =

Marge de phase graphique :

MP =

Stabilité du système :

Solution en cas d'instabilité :

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

Document Reponse ENSAM 210x350 2009:Document Reponse ENSAM 210x350 2009 22/01/09 8:54 Page 2

NE RIEN ÉCRIRE DANS LA PARTIE BARRÉE

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Cinématique du solide : paramétrage, vitesse, taux de rotation et torseur cinématique
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/e3a/psi