

Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée 6 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 interdit.

Aucun document n'est autorisé.

Composition du sujet :

- 1 cahier de 19 pages de texte numérotées de T1/19 à T19/19 ;
- 1 cahier de 9 pages de documents annexes numérotées de A1/9 à A9/9 ;
- 1 calque format A3 **à rendre à la fin de l'épreuve** ;
- 1 cahier réponse de 8 pages numérotées de R1/8 à R8/8 **à rendre à la fin de l'épreuve**.

Remarque :

À la fin des documents annexes (annexe I), se trouve un tableau récapitulant les données et des notations principales utilisées dans l'épreuve.

Matériel autorisé :

Tous les instruments usuels du dessinateur sont autorisés. Les tablettes à dessiner permettant de travailler sur des documents de dimension A3 sont autorisées.

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

Gestion du temps :

En admettant une durée d'une demi-heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2h30 et 3h00 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2h30 à 3h00 au tracé des dessins.

Il est demandé au candidat de formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour répondre aux questions posées.

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. L'ensemble des réponses sera rédigé sur les documents réponses dans les espaces libres proposés pour chaque question.

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

Tournez la page S.V.P.

A

La société Commercys Robotique, implantée en région Grand Est, est spécialisée dans l'intégration de solutions robotisées auprès des PME françaises. La grande partie de ses activités est historiquement centrée sur le soudage.

Cette entreprise propose en particulier à ses clients des cellules de soudage robotisé standards compactes, fiables et faciles d'utilisation. Elles s'intègrent facilement dans n'importe quel atelier et permettent un rapide retour sur investissement.

Grâce à leur conception innovante et à leur flexibilité, ces cellules sont une alternative intéressante aux machines spéciales de soudage automatique.

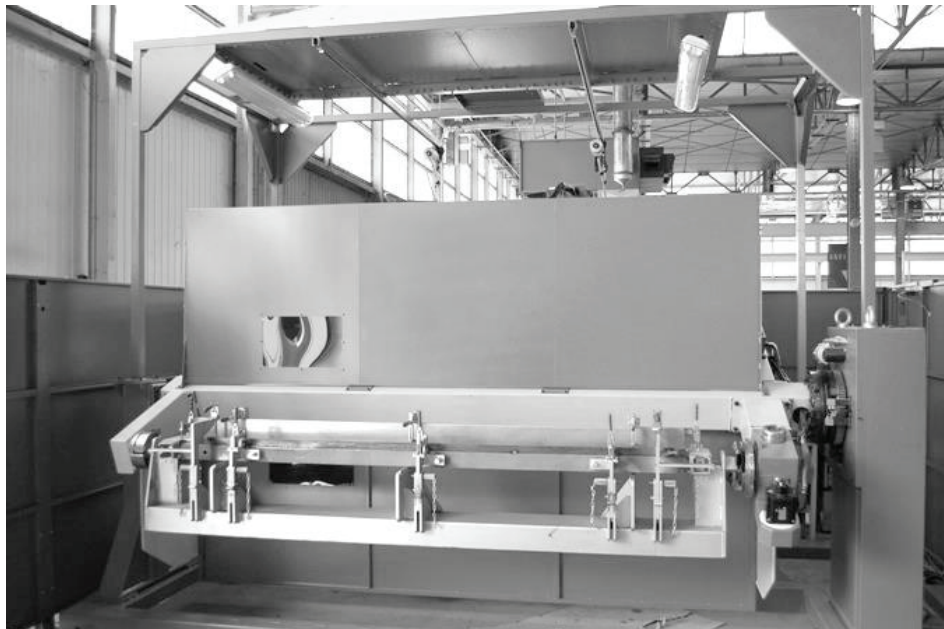


Figure 1 - photo d'un robot de soudage en situation industrielle

Cahier des Charges Fonctionnel partiel (Extraits)

Présentation du problème

Le contexte

Afin de répondre au mieux aux besoins de ses clients, l'entreprise propose une gamme de robots de soudage avec différentes architectures capables de recevoir des pièces à souder de tailles et de masses variées. Dans le cadre du travail qui est demandé ici, il s'agit de **diminuer la capacité** de charge d'un robot existant, afin de se positionner commercialement sur le marché des pièces légères.

Le poste de soudage

Le « poste de soudage robotisé » est une machine comprenant :

- un robot industriel de type bras articulé et équipé à son extrémité du « dispositif de soudage » selon le procédé de soudage utilisé ;
- un poste de chargement/déchargement.

Le poste de chargement/déchargement est constitué d'une broche horizontale comprenant deux « outillages de soudage » identiques séparés par une plaque de protection verticale. Chaque « outillage de soudage » permet de maintenir en position la pièce à souder. Ces outillages sont également pilotables en rotation autour d'un axe horizontal.

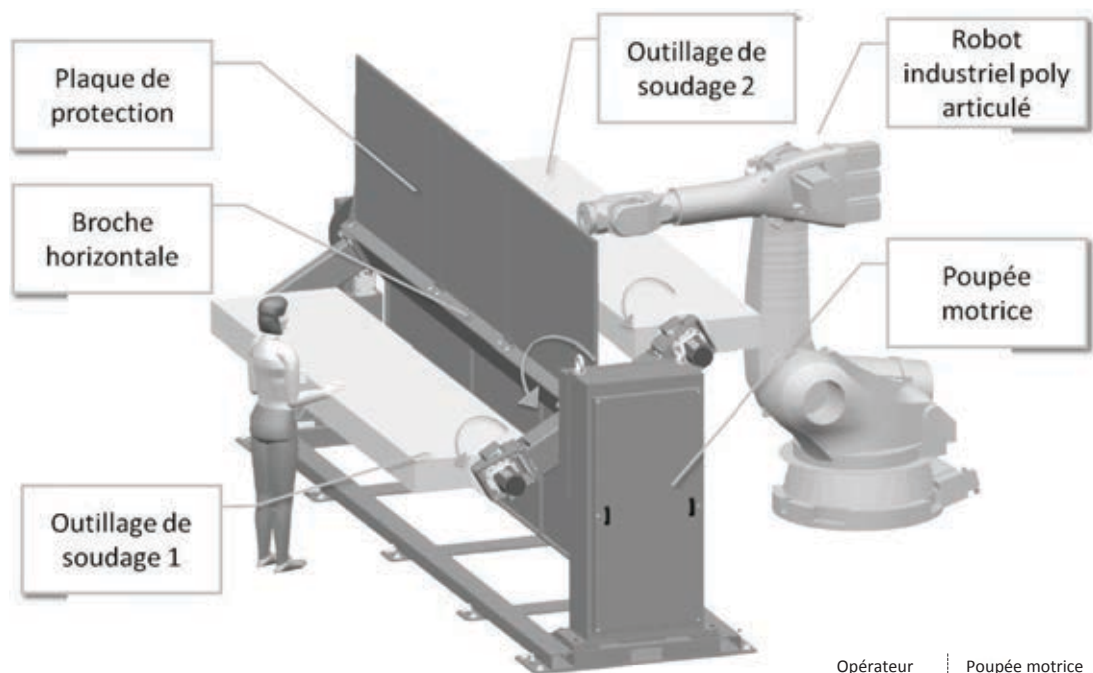


Figure 2 - les différents éléments d'un robot de soudage

Principe de fonctionnement du robot de soudage

Pendant que le bras articulé soude la pièce installée sur l'outillage de soudage 2, l'opérateur, protégé des projections et rayonnements par la plaque verticale, décharge de l'outillage de soudage 1 une pièce qui vient d'être soudée.

Une fois la pièce déchargée, il en installe une autre à souder.

Quand cette opération est terminée par l'opérateur et que le robot a terminé ses opérations de soudage, la poupée motrice tourne la broche de 180° et permute donc les deux assemblages de soudage.

Le bras robotisé peut souder la nouvelle pièce pendant que l'opérateur répète ses manipulations de déchargement/chargement.

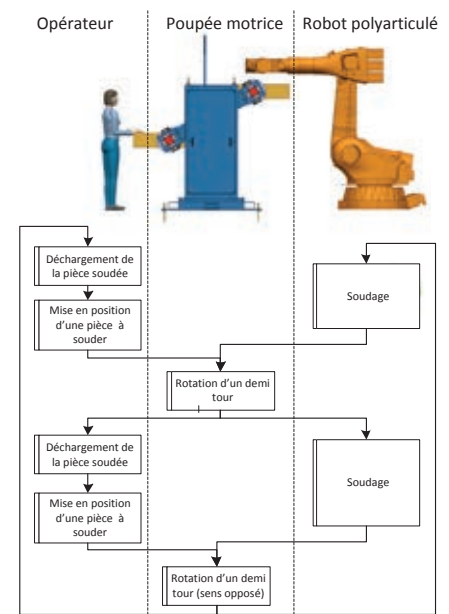


Figure 3 – séquençage des opérations

En phase de fonctionnement normal (production) les principales exigences sont énoncées dans le diagramme ci-dessous (Figure 4). En phase de réglage de la machine, la motorisation et les organes de sécurité doivent permettre un fonctionnement avec un seul outillage et une seule pièce installée.

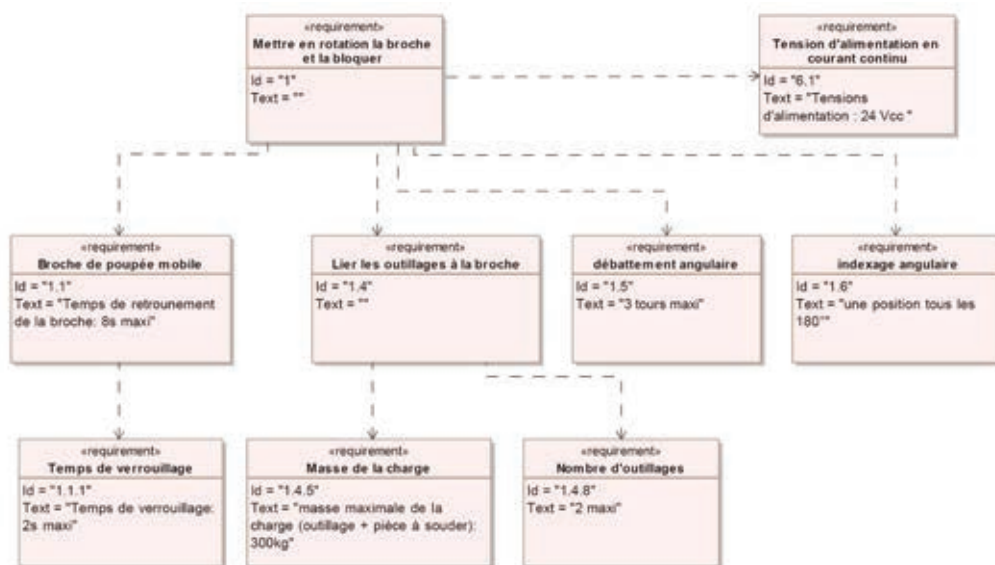


Figure 4 - extraits du diagramme des exigences en phase de fonctionnement normal

Objet de l'étude

Le mécanisme étudié est limité ici à une sous-partie du robot : le système de verrouillage de la poupée motrice.

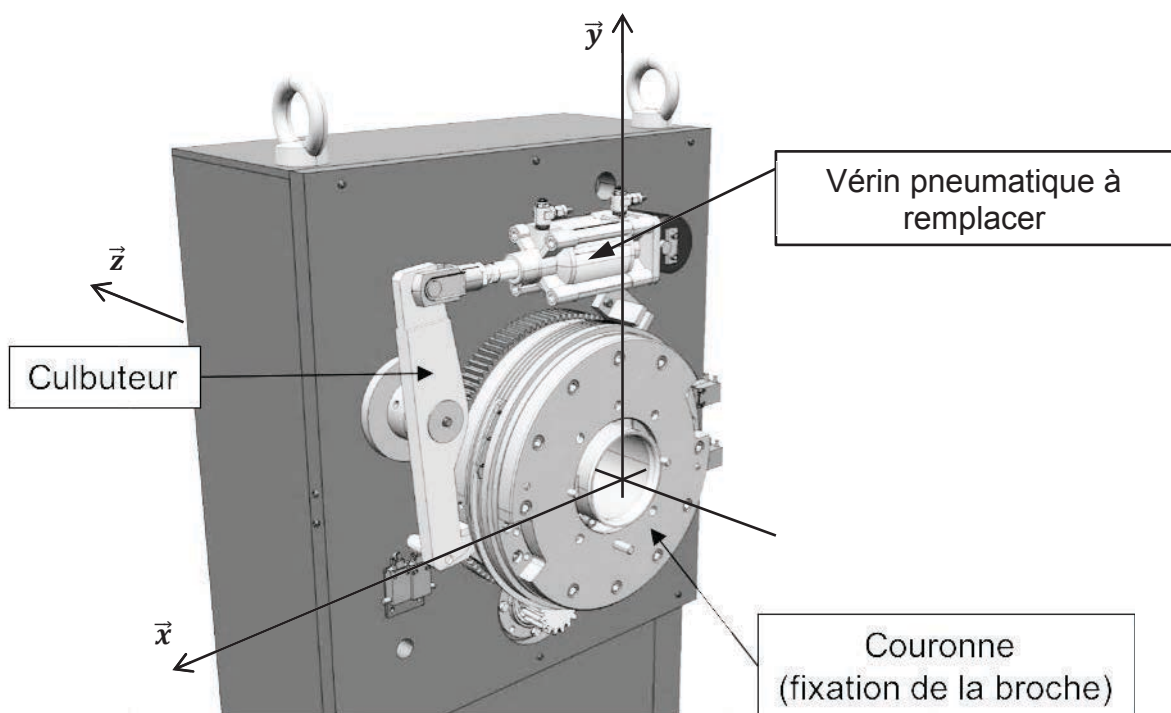


Figure 5 - vue de la poupée motrice et de son système de verrouillage

La poupée motrice permet le maintien et la rotation d'un demi-tour de la broche. Celle-ci, montée sur la couronne 6 est maintenue par un assemblage vissé. Un système de verrouillage {3, 4, 5, 8} permet de bloquer la rotation de la broche. Lorsqu'elle est libérée, elle effectue un demi-tour sur elle-même grâce à un motoréducteur non-représenté.

Sur le système actuel, le vérin de verrouillage {3,4} est un vérin pneumatique. Dans le cadre de cette étude, il est demandé de le **remplacer par un vérin électrique**, de plus faible capacité et offrant plus de possibilités de pilotage.

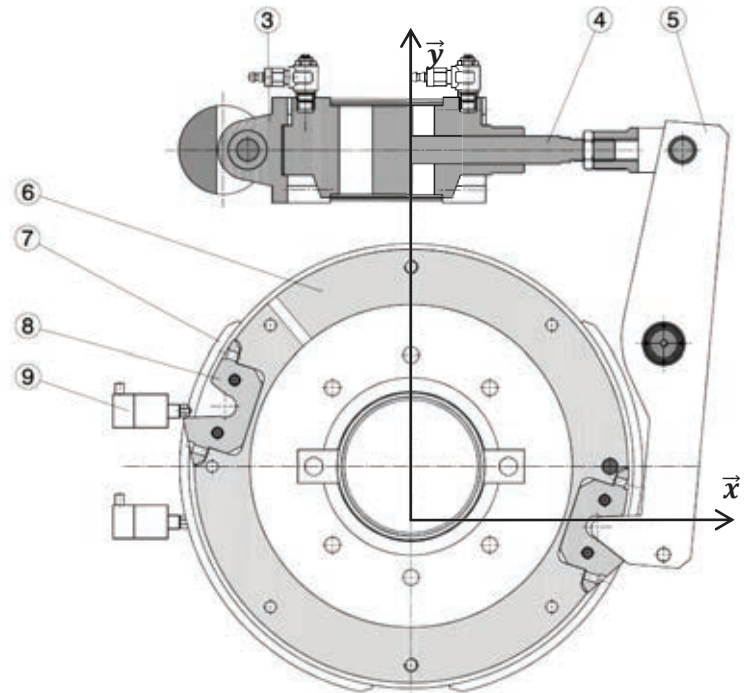


Figure 6 - coupe du système de verrouillage

De plus, les vés de verrouillage 8, à contact direct avec le levier 5, subissent une usure prématurée dans la version actuelle. Dans le cadre de cette étude, il est demandé de les **remplacer par des vés à galets**.

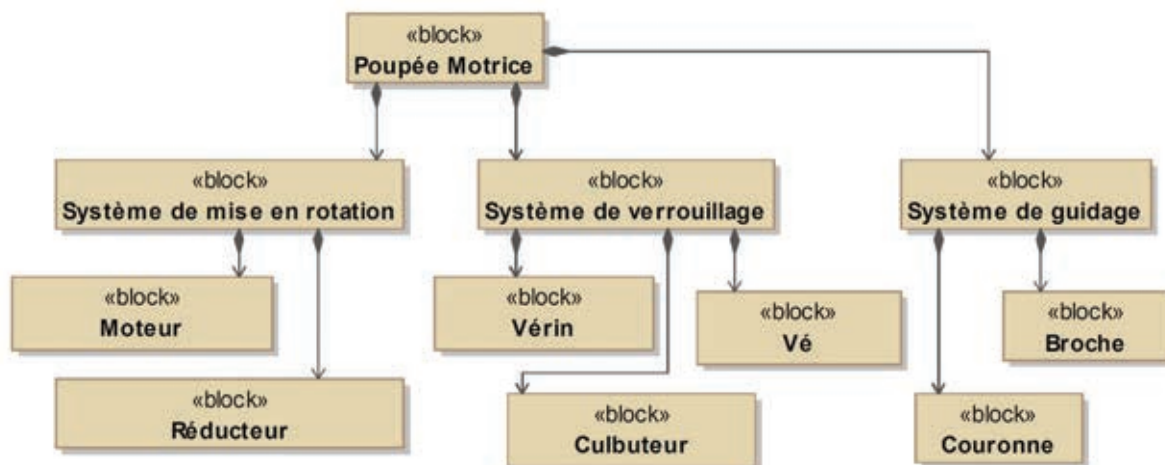


Figure 7 - diagramme de blocs de la poupée motrice

Travail demandé

Ce sujet comporte cinq parties indépendantes, elles-mêmes constituées de plusieurs questions qui peuvent être traitées séparément :

- la Partie I (durée conseillée 20 min) concerne l'étude de la course du nouveau vérin électrique ;
- la Partie II (durée conseillée 1h10) concerne la détermination des efforts mis en jeux dans le système de verrouillage ;
- la Partie III (durée conseillée 30 min) concerne le choix d'un vérin électrique ;
- la Partie IV (durée conseillée 20 min) concerne les formes et le matériau du culbuteur ;
- la Partie V (durée conseillée 40 min) concerne le pré-dimensionnement des liaisons en chape
- la Partie VI (durée conseillée 2h30) se concentre sur la représentation des solutions technologiques retenues pour l'implantation du nouveau vérin électrique et des galets.

Une lecture préalable du sujet complet est vivement conseillée (durée indicative 30 min).

Applications numériques.

Dans le domaine des Sciences Industrielles, le fait de savoir calculer et analyser les valeurs des grandeurs utiles au dimensionnement est aussi important que celui de savoir déterminer leurs expressions littérales. C'est pourquoi, une attention toute particulière sera accordée à la réalisation des applications numériques.

Pour réaliser celles-ci sans l'usage d'une calculatrice, le candidat pourra faire des approximations de bon sens, qui conduiront éventuellement à une erreur relative de quelques pourcents sur le résultat final, tolérée par le correcteur.

Objectif : Déterminer la course minimale que doit avoir le vérin en fonction de la géométrie imposée de différentes pièces standardisées et du débattement du système de verrouillage

Sur le document réponse page R2/8 est représenté schématiquement le système de verrouillage **en position verrouillée** à l'échelle 1/3. On y distingue :

- l'articulation du vérin avec le bâti en E ;
- l'articulation entre le vérin et le culbuteur en D_0 ;
- l'articulation entre le culbuteur et le bâti en C ;
- la couronne, guidée en rotation par rapport au bâti en O ;
- les deux galets liés à la couronne ;
- les points de contact A'_0 et A''_0 entre le culbuteur et les deux galets ;
- le centre B_0 du rayon de l'extrémité du culbuteur.

En position **verrouillée**, les différents points du mécanisme sont indicés « 0 ».

En position **déverrouillée**, les différents points du mécanisme sont indicés « 1 ».

Pendant la rotation de la couronne, afin d'éviter toute collision avec le culbuteur, celui-ci doit totalement être dégagé de la couronne et des galets avec une marge de 10mm. Cet espace de dégagement est représenté sur le document réponse par un arc de cercle un trait mixte fin.

Question 1

Tracer le point B_1 , centre du rayon de l'extrémité du culbuteur, dans la position déverrouillée.

Tracer le point D_1 , centre de l'articulation entre la tige du vérin et le culbuteur, dans la position déverrouillée.

Question 2

Déduire de la question précédente les longueurs maximale et minimale du vérin, $L_{\max}$ et $L_{\min}$.

En déduire la course minimale du vérin, $C_{\min}$.

Détermination des efforts mis en jeux dans le système de verrouillage

Objectifs : Identifier les cas de charges les plus défavorables, déterminer le couple de verrouillage et les efforts qui en résultent sur les galets, le culbuteur et le vérin.

Détermination du couple de verrouillage

La broche est équipée de deux postes contenant chacun un outillage de soudage (OS_1 et OS_2). Chaque outillage peut accueillir une pièce à souder (PS_1 et PS_2). Se référer à l'annexe A page A1/9.

Données :

La masse maximale d'un outillage de soudage est : $M_{os_max} = 100 \text{ kg}$;

La masse maximale d'une pièce à souder est : $M_{ps_max} = 200 \text{ kg}$;

L'excentration des axes de rotation des outillages est : $e = 750 \text{ mm}$

L'angle définissant la position de verrouillage est : $\alpha = 30^\circ$ modulo π par rapport à l'axe de la broche.

L'accélération de la pesanteur : $g \approx 10 \text{ ms}^{-2}$.

On prendra : $\cos(30^\circ) = \sin(60^\circ) \approx 0,87$ et $\cos(60^\circ) = \sin(30^\circ) = 0,5$.

Hypothèses :

Les outillages de soudage et les pièces à souder sont montés telle manière que leurs centres de gravité sont respectivement sur les axes $O_1, \vec{z}$ et $O_2, \vec{z}$.

Le centre de gravité de la broche vide (sans OS) est sur l'axe $O, \vec{z}$.

Notations :

On note $C_{\text{Verrouillage}}$ la composante sur $O, \vec{z}$ du moment exercé par l'ensemble $E = \{\text{broche}, OS_1, OS_2, PS_1, PS_2\}$ sur la couronne 6, et $\vec{P}_1, \vec{P}_2$ les poids des outillages et des pièces à souder.

Question 3

Donner l'expression du couple de verrouillage $C_{\text{Verrouillage}}$ en fonction de $\|\vec{P}_1\|, \|\vec{P}_2\|$ et de caractéristiques géométriques du système.

Pendant le fonctionnement et le réglage du robot, la broche doit toujours pouvoir tourner et être verrouillée. Différents cas peuvent se présenter :

- aucun outillage monté ;
- un outillage monté ;
- deux outillages montés, mais sans pièces à souder ;
- deux outillages montés et une seule pièce à souder installée ;
-

Les principales combinaisons sont répertoriées dans le cahier réponse. Chaque combinaison sollicite différemment le système de verrouillage.

Question 4

Compléter le tableau du cahier réponse en précisant les normes des poids $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ et l'intensité et le sens du couple de verrouillage $C_{\text{Verrouillage}}$ (trois chiffres significatifs).

Question 5

En déduire l'intensité maximale du couple de verrouillage dans le sens positif et négatif.

Question 6

Dans quelle situation de vie du robot le système de verrouillage est-il potentiellement le plus sollicité : fonctionnement normal (production) ou en phase de réglage ? Justifiez.

Détermination des efforts dans les galets

Le paramétrage du contact entre le culbuteur et les galets est donné en annexe B.

Notations :

On note TRD, le théorème de la résultante dynamique et TMD, le théorème du moment dynamique.

On note $\|\vec{A}'_{5/8'}\|_{\max}$ et $\|\vec{A}''_{5/8''}\|_{\max}$ les forces maximales, correspondant au couple de verrouillage maximal, exercées par le culbuteur 5 sur les galets 8' et 8''.

On note F_{r8} l'intensité de l'effort radial sur un galet 8' ou 8''

Hypothèses :

Les accélérations des différentes pièces et les chocs sont négligés. Le calcul est effectué en statique. Le problème est plan. Un seul des deux galets est chargé (l'étude est menée à l'instant précédent le contact avec le second galet).

Question 7

L'ensemble {couronne, galets} étant isolé, parmi les 6 relations proposées, laquelle ou lesquelles permettent d'exprimer le couple de verrouillage en fonction de l'effort du culbuteur sur les galets ?

Le couple de verrouillage peut être positif ou négatif (voir définition page 8/19).

Question 8

Compléter le tableau du cahier réponse en précisant pour chaque sens du couple de verrouillage, le galet chargé, la relation liant $|C_{\text{Verrouillage}}|_{\max}$ à $\|\vec{A}'_{5/8'}\|_{\max}$ ou $\|\vec{A}''_{5/8''}\|_{\max}$ et à la géométrie du système de verrouillage.

Données :

La distance entre l'axe de rotation de la broche et les points de contact galet/culbuteur est : $r = 200\text{mm}$.

Les calculatrice étant interdites, pour un angle quelconque ψ compris entre 1° et 10° on prendra $\cos(\psi) \approx 0,99$; $\sin(\psi) \approx 0,1$.

Quelles que soient les réponses aux questions précédentes, on prendra $|C_{\text{Verrouillage}}|_{\text{max}} = 2000 \text{ N.m}$

Question 9

Donner la valeur de $Fr_{8_{\text{max}}}$, effort radial maximal sur les galets 8' et 8'' (trois chiffres significatifs).

En annexe C sont données les principales caractéristiques des galets 8' et 8''.

Question 10

Donner la désignation du plus petit galet répondant à ce dimensionnement.

Détermination de l'effort fourni par le vérin

Hypothèses :

Les liaisons sont considérées comme parfaites (absence de jeu, de frottement et de résistance au roulement).

L'étude est réalisée dans le plan de symétrie $\vec{xOy}$ (toutes les forces sont coplanaires et les moments ou couples sont normaux au plan de symétrie).

Le positionnement angulaire de la couronne a une incertitude de $\pm 1^\circ$ par rapport à la position théorique. Les deux positions extrêmes de cette incertitude sont repérées « $+1^\circ$ » et « -1° ». C'est dans ces deux positions extrêmes que le vérin est le plus sollicité.

Données :

Les intensités de $\|\vec{A}'_{5/8'}\|_{\text{max}}$ et $\|\vec{A}''_{5/8''}\|_{\text{max}}$ sont connues pour les situations « $+1^\circ$ » et « -1° ». Ces forces sont tracées à l'échelle sur le document réponse page R4/8.

Question 11

Le culbuteur 5 étant isolé, compléter le bilan des forces extérieures pour la position « $+1^\circ$ ».

Question 12

Résoudre graphiquement l'équilibre du culbuteur 5 dans les deux positions « $+1^\circ$ » et « -1° ».

Question 13

En déduire $F_{\text{vérin max}}$, l'intensité maximale de la force que doit fournir le vérin. Le vérin fonctionne-t-il en poussant ou en tirant (cochez la bonne réponse) ?

Le vérin retenu sera choisi dans la gamme ELECTRAK 10 de THOMSON Linear Motion Optimized. Cette gamme comporte deux familles différenciées par leur technologie interne : à vis à billes ou à vis à filet trapézoïdal (Acme). Chaque famille comprend plusieurs tailles de vérins. Des extraits du catalogue constructeurs sont donnés en annexe D.

Objectif : Choisir le vérin à implanter en fonction des exigences et des besoins du mécanisme.

Extrait du diagramme des exigences :

Le cahier des charges impose une tension d'alimentation des actionneurs électriques de 24Vcc et un temps de verrouillage de 2s au maximum.

Les parties I et II ont permis de déterminer certaines caractéristiques minimales du vérin. Quels que soient les résultats obtenus, en tenant compte d'une certaine marge, les valeurs retenues pour cette partie sont données ci-dessous.

Données :

Charge maximale équivalente exercée sur le vérin, en statique et en dynamique :

$F_{\max_vérin} = 2000 \text{ N}$.

Charge moyenne exercée sur le vérin quand il est chargé : $F_{\text{moy_vérin}} = 1125 \text{ N}$.

Longueur minimale du vérin : $L_{\min} < 320 \text{ mm}$.

Longueur maximale du vérin : $L_{\max} > 400 \text{ mm}$.

Course utile : $C_{\text{utile}} \approx 65 \text{ mm}$.

Course sans charge (à vide) : $C_{\text{à vide}} \approx 50 \text{ mm}$ minimum.

Course en charge (vérin chargé) : $C_{\text{en charge}} \approx 15 \text{ mm}$ maximum.

Durée de la phase d'accélération : $\delta = 0,1 \text{ s}$.

La vitesse de la tige du vérin par rapport au corps du vérin est notée v .

Question 14

Pour chaque famille de vérin (Acme et vis à billes) donner la référence du premier vérin répondant au critère de la charge maximale.

Pour chacun des deux vérins présélectionnés, donner la vitesse de déplacement de la tige à vide, et la vitesse de déplacement de la tige sous charge moyenne.

Hypothèses:

Le comportement en vitesse du vérin peut être modélisé par une phase d'accélération constante (1), une phase de déplacement à vitesse constante à vide (2), et une phase de déplacement à vitesse constante sous charge moyenne (3) (voir figure Q16 page R5/8).

Les phases de décélération ont une durée négligeable.

Question 15

Pendant la phase d'accélération constante (I), donner l'expression du déplacement d en fonction de v_{max} , de δ et du temps t .

Question 16

Pour chacun des deux vérins présélectionnés, compléter les quatre valeurs manquantes sur les diagrammes des vitesses $v=f(t)$

Tracer sur le même graphique l'évolution des déplacements de chaque vérin présélectionné en fonction du temps.

Question 17

Au regard des résultats précédents, proposer une famille de vérin répondant aux exigences du cahier des charges, et préciser la course retenue (en pouce).

Partie IV Etude du culbuteur

L'étude des contraintes dans le culbuteur 5 a été réalisée grâce à un logiciel de simulation du comportement mécanique par éléments finis. Dans les deux situations de chargements les plus contraignantes « +1° » et « -1° », l'annexe E fournit deux images de la répartition des contraintes dans le culbuteur.

Question 18

Sur la figure du document réponse, identifier par une flèche la zone apparaissant la plus sollicitée.

Proposer une modification de la forme du culbuteur permettant de diminuer les contraintes dans cette zone.

Surligner en couleur les zones du culbuteur qui vont subir les pressions de contact les plus importantes. Pour chacune d'elle, préciser par une lettre si le contact est surfacique (S), linéique (L), ou ponctuel (P).

Afin de choisir le matériau du culbuteur, une présélection de quatre matériaux a été effectuée.

Donnée :

Coefficient de sécurité pour le dimensionnement: $s = 3$.

Question 19

Pour chaque nuance, préciser la famille de matériaux.

Identifier la nuance retenue, les trois nuances éliminées et préciser les critères qui justifient vos choix.