

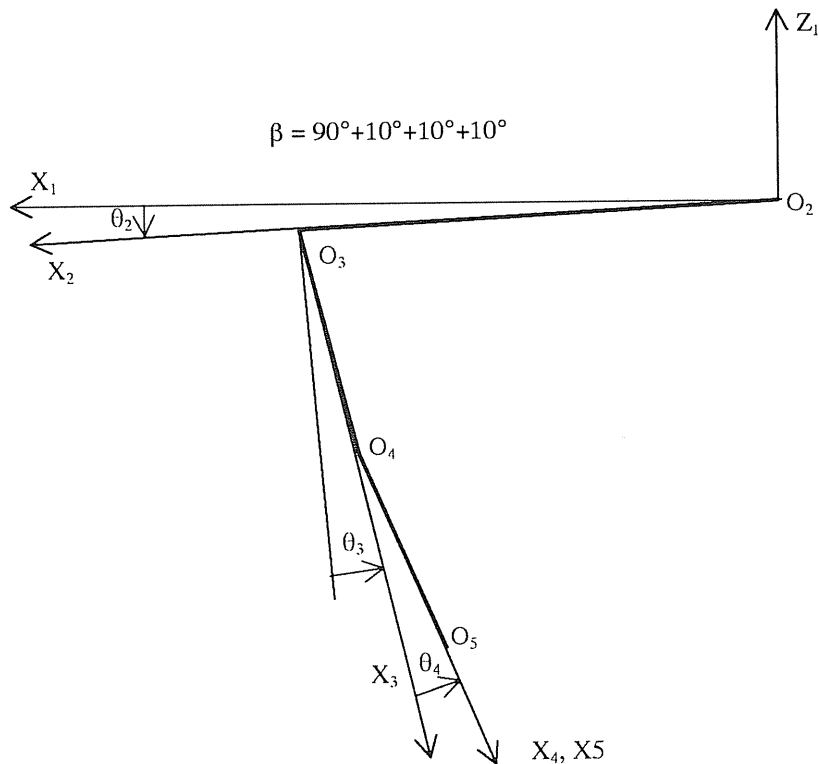
ETUDE D'AVANT PROJET DE MECANISME

Corrigé

Première partie : ETUDE MECANIQUE

II.1 Etude de la commande géométrique du robot :

- La relation entre α et θ_1 est immédiate car ces deux paramètres mesurent le même angle :
 $\alpha = \theta_1$,
- La relation entre γ et θ_5 est immédiate car ces deux paramètres mesurent le même angle :
 $\gamma = \theta_5$,



- la définition des variables articulaires conduit à l'expression de $\beta = \pi/2 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4$
- la figure ci-dessus permet de déterminer directement l'expression du vecteur $\mathbf{O}_0\mathbf{O}_5$ dans R_1 soit, en adoptant la notation $S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$ et $C_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$:

$$\begin{aligned} X_1 &= l_2 C_2 - l_3 S_{23} - l_5 S_{234} \\ Z_1 &= l_1 - l_2 S_2 - l_3 C_{23} - l_5 C_{234} \end{aligned}$$

- le modèle direct s'exprime à partir d'un changement de repère entre R_1 et R_0 par l'expression du vecteur $\mathbf{O}_0\mathbf{O}_5$ dans R_0 ,

$$\begin{aligned} X &= C_1 (l_2 C_2 - l_3 S_{23} - l_5 S_{234}) & \alpha &= \theta_1 \\ Y &= S_1 (l_2 C_2 - l_3 S_{23} - l_5 S_{234}) & \beta &= \pi/2 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 \\ Z &= l_1 - l_2 S_2 - l_3 C_{23} - l_5 C_{234} & \gamma &= \theta_5 \end{aligned}$$

- le modèle inverse se déduit des équations précédentes :

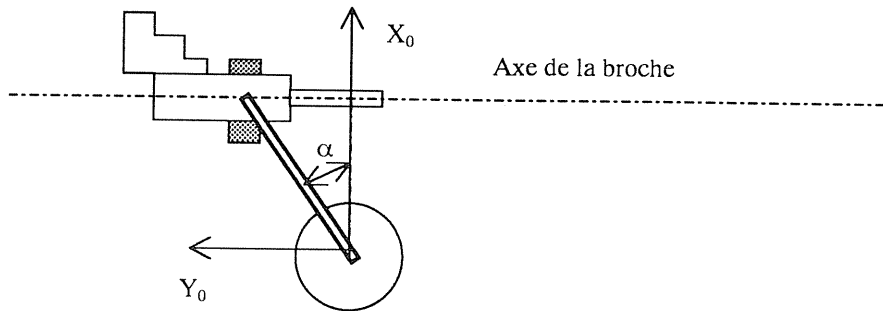
$$\begin{aligned} \theta_1 &= \arctan(Y/X) \text{ et directement } \theta_5 = \gamma \\ \text{En posant } X^* &= \frac{X}{C_1} - l_5 \cos \beta \quad \text{et} \quad Z^* = l_1 - Z - l_5 \sin \beta \end{aligned}$$

$$\text{En exprimant } X^{*2} + Z^{*2} \text{ il vient : } \theta_3 = \arcsin \frac{l_2^2 + l_3^2 - X^{*2} - Z^{*2}}{2l_2 l_3}$$

En exprimant que $l_2 C_2 - l_3 S_{23} = (l_2 C_2 + l_3 C_{23}) \frac{X^*}{Z^*}$ et en développant cette

$$\text{expression il vient : } \theta_2 = \arctan \frac{l_2 - \frac{X^*}{Z^*} l_3 C_3 - l_3 S_3}{l_3 S_3 + \frac{X^*}{Z^*} (l_2 - l_3 S_3)}$$

- Seuls 5 degrés de liberté indépendants peuvent être choisis parmi les 6 possibles. Le constructeur a choisi logiquement de privilégier : X, Y, Z, β et γ
 $\alpha = \arctan (Y/X)$ est imposé par la géométrie du robot, ce n'est pas un paramètre indépendant des 5 autres.
- La configuration particulière de travail d'un robot cinq axes permettant d'orienter la pièce suivant l'axe du mandrin est telle que $\beta = 90^\circ$ soit $\theta_2 + \theta_3 + \theta_4 = 0^\circ$.
 L'inconvénient principal de cette configuration est la réduction du volume atteignable.



II.2 Etude de la commande du robot en point à point :

- La relation entre $\Delta\theta_i$ le déplacement angulaire du robot, ω_{ui} la vitesse angulaire constante de l'axe i , t_{ac} la durée de la phase d'accélération (t_a dans le sujet) et t_f la durée de la phase de déplacement, se calcule en ajoutant les déplacements de la phase d'accélération, de la phase de vitesse en palier et de la phase de décélération.
 Le déplacement de la phase de décélération est égal au déplacement de la phase d'accélération.

$$\Delta\theta_i = 2 * \frac{1}{2} * \omega^{\circ} * t_{ac}^2 + \omega_{ui} (t_f - 2t_{ac}) \quad \text{avec} \quad \omega^{\circ} = \frac{\omega_{ui}}{t_{ac}} \quad (\text{mouvement circulaire uniformément accéléré}).$$

$$\Delta\theta_i = \omega_{ui} (t_f - t_{ac})$$

- L'algorithme de déplacement en point à point du robot Ericc3 est le suivant :

Notations : d indique les grandeurs associées à la position de départ,

a indique les grandeurs associées à la position d'arrivée.

Données : position de départ X_d, Y_d, Z_d, β_d et γ_d

position d'arrivée X_a, Y_a, Z_a, β_a et γ_a .

durée de la phase d'accélération t_{ac}

grandeur caractéristique de la vitesse de déplacement du robot $\omega_{moyenne}$

Algorithme :

modèle inverse permet de calculer θ_{di} et θ_{ai}

déplacements angulaires des cinq axes du robot $\Delta\theta_i = \theta_{di} - \theta_{ai}$

$$\text{durée de la phase de déplacement} \quad t_f = t_{ac} + \frac{\left(\sum_1^5 \Delta\theta_i^2 \right)^{1/2}}{\omega_{moyenne}}$$

$$\text{vitesse en palier des cinq axes} \quad \omega_{ui} = \frac{\Delta\theta_i}{t_f - t_{ac}}$$

position angulaire des cinq axes (par exemple en phase d'accélération) :

$$\theta_i(t) = \theta_{ii} + \frac{\omega_{ui} t^2}{2t_{ac}}$$

échantillonnage : les positions angulaires calculées précédemment sont les consignes des asservissements de position des cinq axes.

II.3 Etude du comportement dynamique d'un axe du robot :

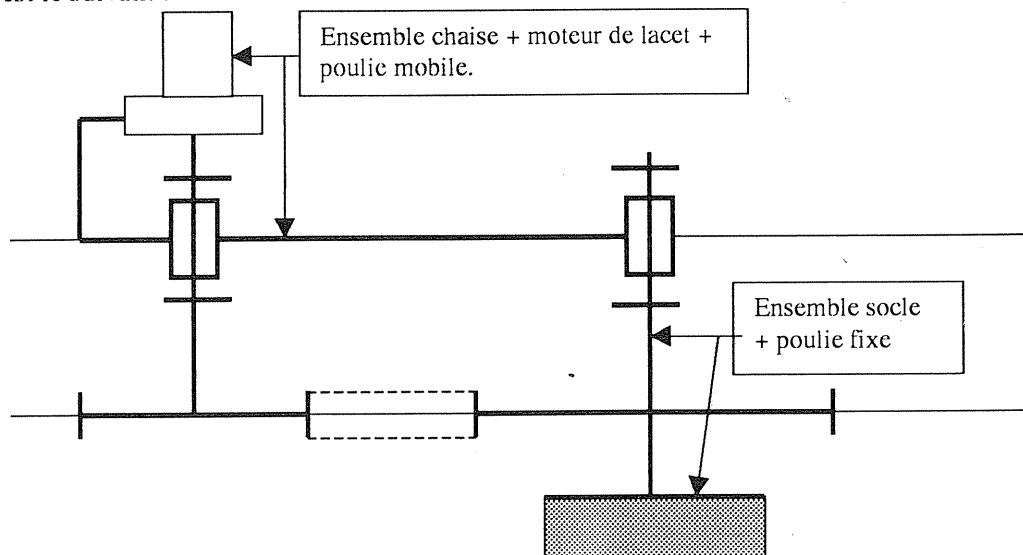
- Le solide S_1 est un solide en rotation autour d'un axe fixe, le moment dynamique en O_1 , de S_1/R_0 en projection sur l'axe Z_0 se calcule directement $\delta(O_1, S_1/R_0) \cdot Z_0 = C_1 \ddot{\theta}_1$
- Le solide S_2 est un solide en rotation autour d'un point O_2 de vitesse nulle, dans R_2 , le moment cinétique en O_2 de S_2/R_0 , se calcule directement $\sigma(O_2, S_2/R_0) = J(O_2, S_2) \Omega_{S_2/R_0}$

$$\text{soit } \sigma(O_2, S_2/R_0) = \begin{cases} -A_2 \dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \\ B_2 \dot{\theta}_2 \\ C_2 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 \end{cases} \text{ ds } R_2$$

- Le solide S_3 est un solide n'ayant pas de point de vitesse nulle, dans R_3 , le moment cinétique en O_3 de S_3/R_0 , se calcule en appliquant la relation démontrée en cinétique des solides $\sigma(O_3, S_3/R_0) = m_3 O_3 G_3 \wedge V(O_3, 3/0) + J(O_3, S_3) \Omega_{S_3/R_0}$

$$\text{soit } \sigma(O_3, S_3/R_0) = \begin{cases} -A_3 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ -m_3 d_3 l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_3 + B_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ m_3 d_3 l_2 \dot{\theta}_1 \cos \theta_2 - C_3 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) \end{cases} \text{ ds } R_3$$

- Le schéma cinématique de l'axe du lacet du robot Ericc3 répondant à la description du sujet est le suivant :



- L'expression littérale du couple C_{01} (couple transmis à la poulie de l'axe 1 par la courroie) se détermine en écrivant une équation utile de la dynamique appliquée à un ensemble isolé n'introduisant pas d'autres inconnues :

Le système matériel répondant à la condition énoncée précédemment est l'ensemble $E = S_1 + S_2 + S_3 +$ courroie du lacet. L'équation utile de la dynamique est l'équation des moments en projection sur l'axe $Z_0 = Z_1$

$$C_{01} = \delta(O_2, E/R_0) \cdot Z_1$$

La projection du moment dynamique de l'ensemble se calcule en faisant la somme des projections des moments dynamiques des solides S_1, S_2 et S_3 .

$$\delta(O_2, S_1/R_0) \cdot Z_1 = C_1 \dot{\theta}_1$$

$$\delta(O_2, S_2/R_0) \cdot Z_1 = \dot{\theta}_1 [A_2 \sin^2 \theta_2 + C_2 \cos^2 \theta_2] + \theta_1 \dot{\theta}_2 \sin 2\theta_2 (A_2 - C_2)$$

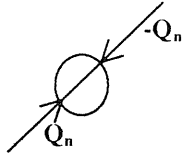
$$\delta(O_2, S_3/R_0) \cdot Z_1 = \delta(O_3, S_3/R_0) \cdot Z_1 + (O_2 O_3 \wedge R^3/0) \cdot Z_1$$

$$\text{avec } \delta(O_3, S_3/R_0) \cdot Z_1 = \frac{d}{dt} [\sigma(O_3, S_3/R_0) \cdot Z_1 + (V O_3^3/0) \wedge C^3/0] \cdot Z_1$$

Le couple moteur dans les conditions d'étude ne dépend que de la distribution des masses et de leurs mouvements.

II.4 - Etude du comportement d'un guidage en rotation permettant d'évaluer sa rigidité sous charges.

- En statique, l'isolement d'une bille d'un roulement conduit à considérer celle-ci comme soumise à deux glisseurs égaux et directement opposés (même support).



Le déplacement du centre de poussée dans la direction du support de Q_n se calcule à partir de la relation rappelée page 5/8

$$\delta_n = \delta_i + \delta_e = (k_i + k_e) Q_n^{2/3} \quad (1)$$

Notation : i contact avec la bague intérieure et e contact avec la bague extérieure

Le chargement est purement axial d'où $\varepsilon \rightarrow \infty$ et d'après le tableau page 5/8, $J_a(\varepsilon) = 1$

$$F_a = z \sin \alpha Q_n \quad (2)$$

Le déplacement est uniforme car le chargement est uniformément réparti

$$\delta_n = \delta_a \sin \alpha \quad (3) \quad \text{et} \quad \delta_r = 0$$

La résolution des équations 1, 2 et 3 conduit à l'expression demandée

$$\delta_a = \frac{(k_i + k_e)}{\sin \alpha} \frac{F_a^{2/3}}{(z \sin \alpha)^{2/3}} = k F_a^{2/3}$$

La rigidité axiale d'un roulement est égale à la dérivée de la charge par rapport au déplacement axial

$$K_a = \frac{dF_a}{d\delta_a} = \frac{3\delta_a^{-1/2}}{2k^{3/2}} = \frac{3F_a^{1/3}}{2k}$$

- Le déplacement relatif des centres de poussée permettant d'obtenir un précharge de 500 N est le double du déplacement d'un seul roulement, soit $\delta_{ar0} = 12.6 \mu\text{m}$
La rigidité axiale d'un roulement $K_{a(\text{roul})} = 119 \text{ N}/\mu\text{m}$,
La rigidité axiale de la liaison $K_{a(\text{liaison})} = 238 \text{ N}/\mu\text{m}$
- Les différentes équations permettant d'obtenir les chargements radiaux des roulements sont obtenues en isolant l'ensemble $S_2 + S_3 + S_5$ + masse transportée :

L'équation utile pour calculer la tension de la courroie est $\sum M_{C1} \cdot Y_2 = 0$ d'où $T = 214.8 \text{ N}$

Les inconnues des efforts transmis au niveau des roulements sont :

- en 1 (0, -70, 0) résultante (X₁, Y₁, Z₁),
- en 2 (0, -134, 0) résultante (X₂, Y₂, Z₂).

Les 5 autres équations d'équilibre conduisent aux résultats suivants :

$$F_{r1} = 527.9 \text{ N et } F_{r2} = 113.1 \text{ N}$$

Le guidage est hyperstatique (Y₁ + Y₂ = 0), l'indétermination sur Y₁ et Y₂ peut être levée en considérant les conditions initiales (montage préchargé) et en faisant une hypothèse sur la position relative des centres de poussée : en projection sur Y₂, la distance des centres de poussée est une constante (seuls les roulements se déforment) :

$$\delta_{a1} + \delta_{a2} = 2\delta_{a0} = 12.6 \mu\text{m} \quad (1)$$

L'équation d'équilibre Y₁ + Y₂ = 0 se traduit par Y₁ = F_a et Y₂ = -F_a (2) avec F_a > 0

Les relations rappelées dans le sujet conduisent aux expressions suivantes :

$$\delta_{ai} = \frac{\delta_{iMaxi}}{\sin \alpha} \left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_i}\right) ; \delta_{iMaxi} = (k_i + k_e) Q_{iMaxi}^{2/3} ; Q_{iMaxi} = \frac{F_{ri}}{z \cos \alpha J_{ri}} ; \delta_{a0} = \frac{\delta_{Maxi0}}{\sin \alpha}$$

$$\text{de (1)} \left(\frac{F_{r1}}{z \cos \alpha J_{r1}} \right)^{2/3} \left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_1}\right) + \left(\frac{F_{r2}}{z \cos \alpha J_{r2}} \right)^{2/3} \left(1 - \frac{1}{2\varepsilon_2}\right) = 2 \left(\frac{F_{a0}}{z \sin \alpha} \right)^{2/3}$$

$$\text{de (2)} \frac{J_{r1}}{J_{a1}} = \frac{F_{r1} J_{r2}}{F_{r2} J_{a2}}$$

Les inconnues du problème sont alors ε₁ et ε₂.

La résolution par itérations conduit aux résultats suivants :

$$\varepsilon_1 \approx 0.7 \text{ soit } F_{a1} = 615 \text{ N et } \delta_{a1} = 4.9 \mu\text{m}$$

$$\varepsilon_2 \approx 3.3 \text{ soit } F_{a2} = 615 \text{ N et } \delta_{a2} = 7.6 \mu\text{m}$$

Le déplacement axial de l'axe par rapport au logement est de : 7.6 - 6.3 = 1.3 μm

Le torseur des petits déplacements du bras S₂ par rapport à la chaise S₁ peut se calculer en O₂, car les calculs précédents permettent de déterminer : δ_{r1} = 5.7 μm et δ_{r2} = 1.13 μm

$$\{\Delta 2/1\} = \begin{Bmatrix} -0.145E-3 & 0 \\ 0 & -1.3 \\ 0 & -18.33 \end{Bmatrix} \text{ angle en radian et longueur en } \mu\text{m}$$

$$\text{comme } \Delta(\mathbf{O}_5, 2/1) = \Delta(\mathbf{O}_2, 2/1) + \mathbf{O}_5 \mathbf{O}_2 \wedge \theta(2/1)$$

Le petit déplacement linéaire du centre d'outil O₅ par rapport à la chaise, dû aux seules déformations élastiques au niveau des contacts entre les éléments roulants des roulements, est défini par :

$$\Delta(\mathbf{O}_5, 2/1) = \begin{Bmatrix} 0 \\ -75.55 \\ -18.33 \end{Bmatrix} \text{ en } \mu\text{m,}$$

Ce déplacement se superpose à d'autres déplacements résultant des défauts caractérisant l'exactitude de pose.

III. ETUDE DE CONCEPTION

III.1 Guidage en rotation du bras S_2 par rapport à la chaise S_1 :

Dessin d'avant projet du guidage en rotation de S_2/S_1

Voir document ci-joint représentant une solution de guidage .

Tableau de synthèse :

Fonction contrainte	Critères	Niveau	Flexibilité
Ne pas polluer	- Bruit - Lubrification - Pollution	- voir norme - graisse - étanchéité	0 0 0
Résister au milieu environnant	Ambiance	Atelier et laboratoire	1
Etre lubrifié	Graissage	A vie	1

Etude et représentation d'un agencement d'assemblages réalisant la commande et le guidage de la bride support de pince par rapport au poignet et du poignet par rapport à l'avant bras :

- le guidage en rotation de la bride S_5 avec le poignet S_4 ,
- le guidage en rotation du poignet S_4 avec l'avant-bras S_3 ,
- toutes les liaisons complètes démontables ou non
- les solutions retenues permettant d'assurer l'étanchéité
- les formes des extrémités des pièces moulées et usinées constituant l'avant-bras S_3 ,
- les formes du support du moto-réducteur-codeur désigné M5 document 1.

Voir document ci-joint représentant une conception du poignet.

III.3 Etude de moulage du demi-bras droit et étude critique des formes moulées proposées

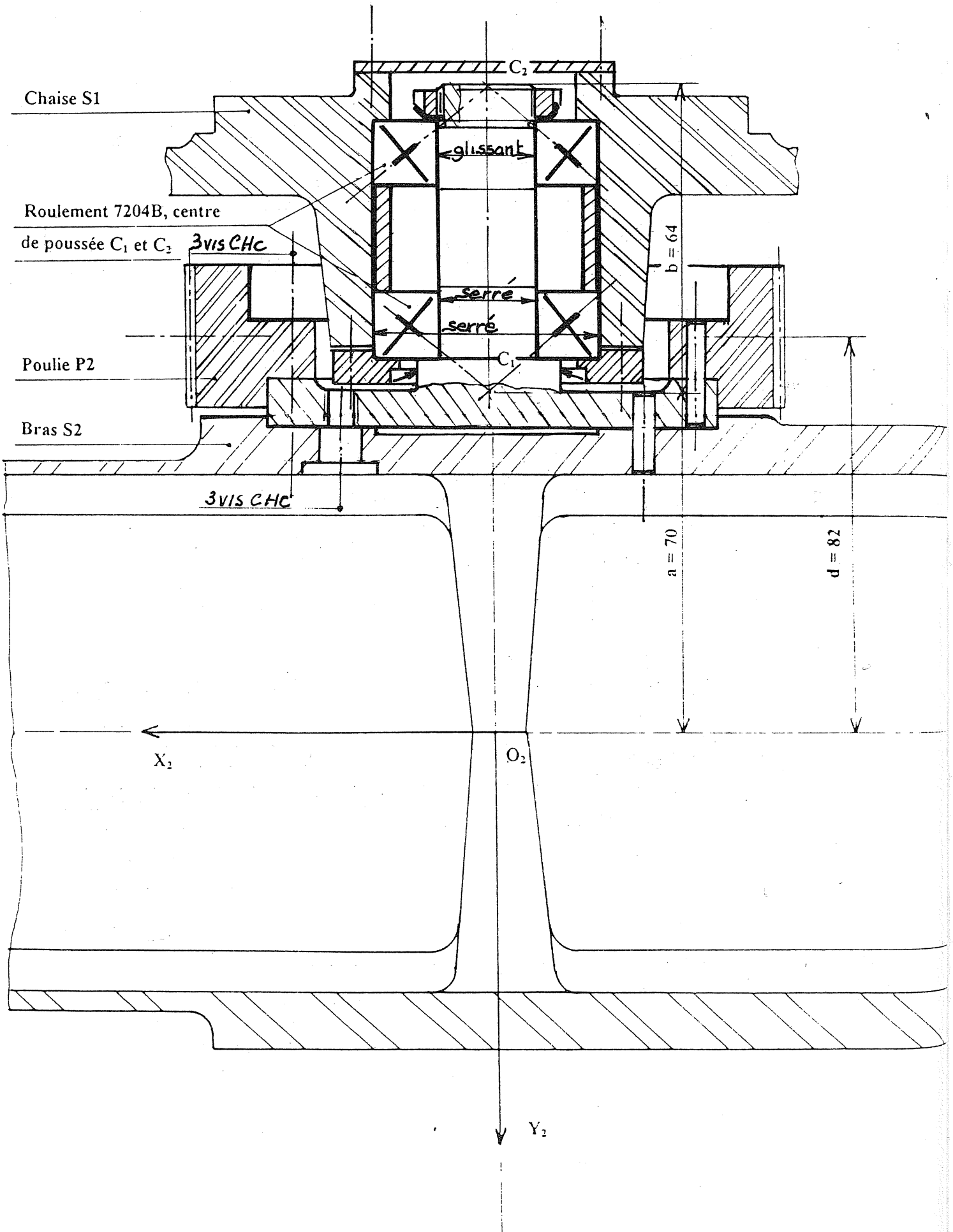
-Analyse du dessin de brut

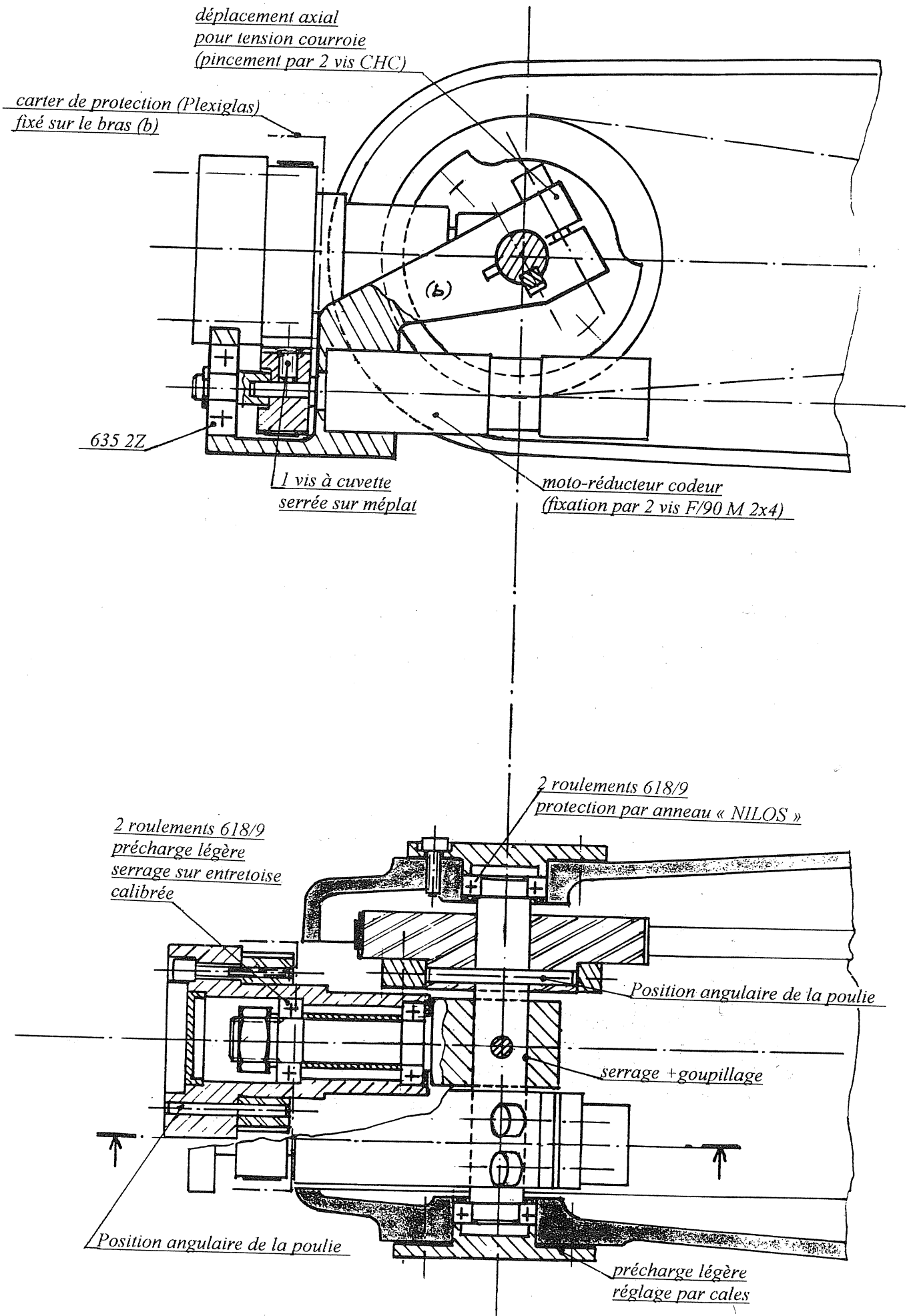
spécification de la règle de tracé concernée	respectée	non respectée	remède en fonderie
Définir un plan de joint	*		
Prévoir des dépouilles	*		
Eviter les angles vifs	*		
Eviter les variations d'épaisseur		***	Masselottes
Eviter les nœuds de nervure	*		
Eviter les parois verticales	*		
Eviter les toiles horizontales		*	Prévoir l'évacuation des gaz
Prévoir des ouvertures dans les pièces creuses	*		
Simplifier le modèle		*	Revoir la conception (question suivante)

-Etude de reconception de l'ensemble du bras permettant de limiter les problèmes de fonderie

- réaliser la fixation de la masse d'équilibrage sur la face supérieure du demi-bras droit, ce qui permet de supprimer la paroi inférieure sur le dessin proposé,
- assurer une épaisseur constante de la paroi supérieure de la pièce en utilisant cette épaisseur pour assurer la liaison entre les deux demi-bras.

Document 3 (à rendre avec la copie)





ETUDE D'AVANT PROJET DE MECANISME

Commentaires

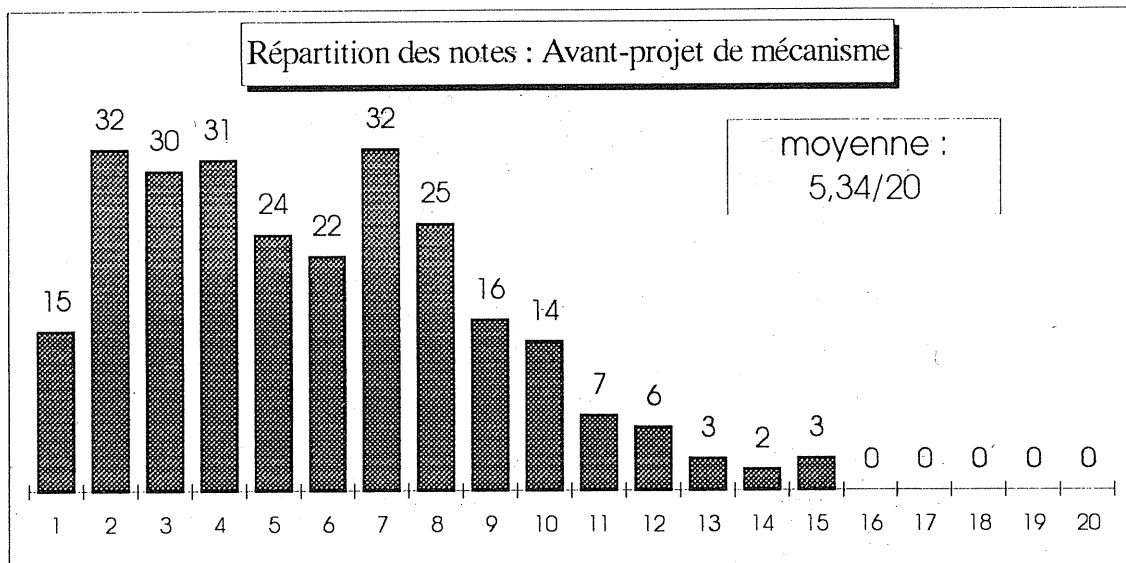
Résultats et remarques générales sur cette épreuve :

262 candidats ont composé sur le sujet d'avant projet de mécanisme. La moyenne de l'épreuve est de 5,3 sur 20 points.

Les candidats se sont principalement exprimés sur l'étude de la commande géométrique du robot, l'étude du comportement dynamique d'un axe du robot et sur le dessin d'avant projet du guidage en rotation de S_2/S_1 .

Les meilleures copies contiennent des réponses à toutes les questions posées. Ces dernières montrent, qu'une préparation à ce genre d'épreuve, où le candidat s'exprime à la fois sur des modèles scientifiques du domaine de la mécanique et sur des démarches de conception dans le domaine de la construction mécanique, est largement réalisable à un niveau bac+5.

La gestion de l'équilibre entre l'étude mécanique et la production d'une solution répondant à un cahier des charges, la vocation des agrégés de génie mécanique à enseigner dans un large domaine de compétences et l'expérience des jurys des années précédentes ont conduit à affecter 6 points à l'étude mécanique et 14 points à l'étude de conception. Il est évident qu'une telle répartition peut évoluer dans le futur, car le soucis du jury est d'évaluer sur l'ensemble des compétences nécessaires au futur professeur de génie mécanique.



Commentaires sur les questions posées et sur les réponses à apporter à ces dernières :

II : ETUDE MECANIQUE

L'étude mécanique permet d'évaluer des connaissances scientifiques dans le domaine de la mécanique des systèmes industriels.

Le support choisi, appartenant au domaine de la productique, se modélise en une chaîne de solides en boucle ouverte. Les guidages en rotation entre ces différents solides sont modélisés pour les trois premières questions par des liaisons pivots.

L'étude géométrique conduit le candidat à s'approprier le paramétrage de ce premier modèle. Les candidats qui choisissent de ne pas représenter, dans la posture demandée, le robot dans le plan $X_1O_0Z_1$ se privent d'une figure leur permettant d'écrire simplement le modèle direct.

L'écriture du modèle inverse permet d'évaluer la capacité d'un candidat à mettre en œuvre ses connaissances en mathématiques pour un problème partiellement énoncé.

Les degrés de liberté de la pince par rapport à l'atelier sont ainsi limités à cinq, ce qui n'est pas sans poser de problèmes pour alimenter des machines de production.

L'alimentation d'un tour CN à axe horizontal par un robot 5 axes, place ainsi le candidat devant une situation industrielle classique des années 80/90. L'emploi des robots 6 axes permet actuellement de répondre à de telles situations.

L'étude de la commande du robot ERICC3 en point à point permet d'évaluer le candidat dans le domaine de la cinématique des mouvements simples (loi de vitesse en trapèze isocèle). La maîtrise cinématique de ce type de mouvement étroitement associée à l'étude des axes asservis d'une machine permet de mesurer le niveau de synthèse d'un candidat entre la mécanique et l'automatique appliquées aux systèmes industriels. La correction d'un algorithme de commande permet ainsi de mesurer ce niveau de synthèse.

L'étude du comportement dynamique d'un axe du robot (axe du lacet) permet d'évaluer le candidat dans le domaine de la cinétique et de la dynamique newtonienne.

La première partie très classique d'évaluation en cinétique conduit le candidat à utiliser les bons théorèmes lui permettant ainsi de ne pas se noyer dans des calculs longs et inutiles. Les données du problème sont fournies dans cette optique et les candidats qui ont l'habitude de se réfugier au centre d'inertie se sont ainsi pénalisés.

Le schéma cinématique demandé s'établit en considérant à la fois la description des chaînes fonctionnelles et le dessin du robot (document 1). Il est à noter que la courroie s'enroule sur la poulie fixe liée au socle (voir la question de dynamique).

Le schéma cinématique permet ainsi au candidat de maîtriser les frontières du système à isoler pour déterminer le couple demandé. Les calculs sont longs et sources d'erreurs, il est alors judicieux de préciser (comme il est conseillé dans le sujet) clairement la méthodologie de résolution envisagée.

L'étude du comportement d'un guidage en rotation permet d'évaluer le candidat dans le domaine du comportement mécanique d'une réalisation industrielle. La complexité d'une telle liaison conduit à formuler un nombre significatif d'hypothèses. Le sujet rappelle les principaux résultats de l'étude statique des roulements à contact oblique.

La mise en œuvre des équations de comportement pour le cas particulier d'un chargement purement axial conduit au résultat proposé. La rigidité axiale est une grandeur caractéristique d'un roulement qui conduit à la définition de la rigidité axiale du montage.

La **représentation sur un même graphique** des déplacements axiaux sous charges du montage précontraint de deux roulements est la méthode la plus classique pour établir la relation entre la rigidité axiale d'un roulement et la rigidité axiale d'un montage. (voir par exemple les documents SNR).

L'étude statique appliquée à un ensemble correctement isolé conduit aux actions radiales appliquées au montage. Cette étude est à mener en s'aidant d'une figure représentant les actions appliquées au système isolé.

L'étude des petits déplacements engendrés par les déformations au niveau des contacts entre les éléments roulants conduit à un défaut significatif d'exactitude de pose. D'autres éléments ont une influence plus significative sur l'exactitude de pose en particulier la dispersion sur les longueurs des segments du robot.

III : ETUDE DE CONCEPTION

L'**étude de conception** permet d'évaluer les compétences des candidats à proposer une solution sous la forme d'un dessin d'ensemble et d'une notice répondant à un cahier des charges. Cette étude comporte trois parties. La première partie est un exercice de construction d'un guidage simple entre deux pièces, la seconde est un problème de conception d'une fonction poignet à axes concourants et la troisième une définition d'un brut.

III.1 Le guidage en rotation du bras S_2 par rapport à la chaise S_1 doit assurer une liaison pivot sans jeu. Le guidage est réalisé par un montage de deux roulements à billes à contact oblique, disposés en O et préchargés (objet de la quatrième question de mécanique). Les éléments principaux de cette construction sont pratiquement tous mis en situation, notamment les centres de poussée des roulements.

Diverses solutions sont envisageables. Il est nécessaire de s'interroger sur le montage serré ou glissant des différentes bagues, sur l'accessibilité, sur l'ordre d'assemblage des éléments, sur la lubrification et sur la protection de l'ensemble. La forme générale des pièces conduit par exemple aux dispositions suivantes : centrage court plus appui plan pour les 2 liaisons complètes en série (bras, plateau-arbré, poulie).

La poulie est crantée, un repérage angulaire est donc nécessaire entre ces trois pièces. Pour le montage des roulements, la disposition en O implique un réglage axial, soit par l'intermédiaire de deux entretoises appairées avec la paire de roulements (plus un blocage de l'ensemble) soit par un réglage sur la bague intérieure du roulement arrière par un écrou freiné (cas du montage ci-joint).

Les guidages préchargés sont couramment utilisés sur les machines outils et sur les robots. La maîtrise de ces dispositions constructives est du domaine des compétences d'un candidat à l'agrégation de génie mécanique.

Les outils de description (Norme : Analyse de la valeur) sont mobilisés pour la conception du guidage en rotation du bras S_2 par rapport à la chaise S_1 . La pratique de ces outils est à développer au lycée, en C.P.G.E. et semble-t-il également dans les écoles et les universités, afin d'être maîtrisée par un candidat à l'agrégation de génie mécanique.

III.2 Un poignet à axes concourants comporte deux guidages en rotation sans jeu et perpendiculaires plus l'implantation du moto-réducteur de commande de la pince. La mise en situation d'un certain nombre d'éléments à implanter réduit le problème posé à la définition d'une pièce centrale suffisamment rigide, simple à réaliser, guidée en fourchette sur le bras et recevant le moto-réducteur de commande de pince. Un réglage de tension de la courroie reliant ce moto-réducteur à la pince, montée en porte à faux sur la pièce centrale, est nécessaire (cas du montage ci-joint).

Les robots articulés 6 axes des années 1990-2000 sont équipés de poignets à axes concourants, la connaissance des solutions industrielles modernes ainsi que la capacité à concevoir des éléments de machine sont du domaine de compétence d'un candidat à l'agrégation de génie mécanique.

III.3 L'analyse du dessin de brut du demi-bras droit, au regard des règles classiques de tracé des formes moulées, conduit à établir un tableau de synthèse montrant la complexité à mouler une telle pièce.

Les remèdes en fonderie ont un coût. Un tracé de pièce ne nécessitant aucun remède (masselotte, noyau de paroi, outillage simple ...) est considéré comme une solution satisfaisante au niveau d'une étude. La modification de la fixation de la masse d'équilibrage et la recherche d'épaisseur constante constituent les principaux axes d'amélioration du tracé du demi-bras droit et permettent ainsi un moulage mécanique. Les techniques de fonderie et les règles de tracé des pièces sont du domaine de compétence d'un candidat à l'agrégation de génie mécanique.