

SESSION DE 1998

concours externe de recrutement de professeurs agrégés

section : génie mécanique

avant-projet de mécanisme

Durée : 8 heures

Aucun document n'est autorisé.

Moyens de calculs autorisés : Calculatrice de poche – y compris calculatrice programmable et alphanumérique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 86-228 du 28 juillet 1986.

En aucune manière la calculatrice ne pourra posséder de données scientifiques et techniques propres au génie mécanique.

Dès la distribution du sujet, le candidat s'assurera que l'exemplaire du dossier remis est complet. Les documents-réponse devront être insérés à plat dans la copie, l'en-tête détachable placé en haut.

Le dossier comporte :

- le texte de l'épreuve rédigé sur 8 pages dactylographiées ;
- les documents 1 à 7 :

• document 1 : représentation cotée du robot (bras porteur)	1A4
• document 2 : angles d'Euler, loi de vitesse, schéma-bloc	1A4
• document 3 : base de dessin de l'épaulé (calque à rendre)	1A4
• document 4 : base de dessin du poignet (calque à rendre)	1A3
• document 5 : poulies-courroie, roulements, moto-réducteur-codeur	5A4
• document 6 : dessin du brut de fonderie du demi-bras, échelle 1/2	1A2
• document 7 : dessin du sous-ensemble bras, échelle 1/2	1A2

Le candidat est invité à consacrer 3 heures à l'étude mécanique (partie II) et 5 heures à l'étude de conception (partie III).

La partie II est notée sur 6 points et la partie III sur 14 points.

La notation scientifique : \mathbf{AB} (vecteur AB) est utilisée dans le texte de l'épreuve.

Tournez la page S.V.P.

Texte du sujet

Pages 1 à 8

Documents

1 et 2

Document réponse 3
(sur calque)

ROBOT INDUSTRIEL VERTEBRAL 5 AXES

STRUCTURE DE L'EPREUVE

Etude mécanique (3 heures) :

- étude géométrique permettant d'établir les relations entre l'espace de la tâche et l'espace des variables articulaires,
- étude cinématique permettant de piloter le robot en point à point,
- étude dynamique permettant de déterminer le couple moteur nécessaire à la commande d'un axe du robot,
- étude du comportement d'un guidage en rotation permettant d'évaluer sa rigidité sous charges.

Etude de conception (5 heures) :

- étude et représentation du guidage en rotation du bras par rapport à la chaise,
- étude 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,
- étude critique d'une forme moulée et étude de moulage du demi-bras.

I. PRESENTATION (voir document 1):

La transitique est un secteur d'activité en grand développement et les intégrateurs de robots travaillent, par exemple, actuellement :

- . à décaisser des pièces en vrac pour les positionner à l'entrée des lignes de production,
- . à la réalisation d'unités de soudage, de découpage, ...

Le robot industriel est ainsi le constituant le plus moderne des installations de transitique comparé au convoyeur, au bol vibrant, au manipulateur...).

Les robots en 1998 sont principalement des robots 6 axes articulés destinés essentiellement à des applications de processus (soudage, découpe, dépose de joint ...), d'alimentation de machines, d'assemblage...

Le robot vertébral ERICC3 est un robot 5 axes avec motorisation à courant continu commandé par un PC équipé d'une carte de commande d'axes. Comme les autres robots industriels, ses performances sont fonction d'un grand nombre d'éléments participant à sa réalisation.

Exemple : la précision de suivi d'une trajectoire est le résultat :

- du modèle de commande (paramétrage géométrique d'une chaîne ouverte)
- des performances des chaînes fonctionnelles axes (précision, rapidité et stabilité)
- des performances des transmissions (rapport de réduction, raideur des réducteurs...)
- des performances des guidages (jeu, précision, rigidité...),
- des capacités des moteurs comparées aux inerties et aux couples résistants,
- de la rigidité de la structure mécanique (complaisance statique ou compliance),
- ...

Le robot, système automatisé est constitué d'une **partie commande** et d'une **partie opérative**.

La partie commande se compose :

- d'un *ordinateur* de type PC avec le *logiciel* de commande, dont la fonction principale est de *contrôler le robot* tant au niveau de ses déplacements, qu'au niveau de son dialogue avec les périphériques,
- d'une carte de commande d'axes qui assure l'ensemble des asservissements. Le contrôle des axes est géré de manière autonome par le processeur local indépendamment du calculateur hôte,
- d'un coffret de puissance comportant notamment :
 - . les amplificateurs de puissance,
 - . les alimentations à partir du 220V,
 - . les contacteurs de commande des freins,
 - . l'électrovanne de commande de la pince pneumatique.
- d'un automate programmable industriel.

- La partie opérative se compose de 5 chaînes fonctionnelles de type axe numérique constituées chacune :
- d'un processeur de commande d'axes délivrant les consignes échantillonnées du modèle des lois de déplacements choisies,
 - d'un correcteur délivrant une consigne en fonction de l'état du système,
 - d'un actionneur (moteur électrique à courant continu) fournissant un couple pour une vitesse donnée,
 - d'un codeur incrémental délivrant la mesure de vitesse et de position de l'arbre moteur par rapport à son stator,
 - d'un système de transmission mécanique composé principalement d'un réducteur et de poulies-courroie dentées.

II. ETUDE MECANIQUE (voir documents 1 et 2):

II.1 Etude de la commande géométrique du robot :

Données :

- O_0 est l'intersection de l'axe O_1O_2 avec le plan de travail de la table support du robot,
- la variable articulaire ou variable angulaire interne à la structure du robot est l'angle θ_i , qui définit la position angulaire du solide S_i par rapport au solide S_{i-1} telle que :
 - * pour les axes 1,2 et 4 : $(O_iX_{i-1}, O_iX_i) = \theta_i$
 - * pour l'axe 3 : $(O_3X_2, O_3X_3) = \theta_3 + \pi/2$
 - * pour l'axe 5 : $(O_5Y_4, O_5Y_5) = \theta_5$
- les angles analogues aux angles d'Euler (angles d'Euler du mécanicien) α , β et γ sont définis par la figure 1 du document 2.

Questions :

- exprimer la relation entre α et θ_1 ,
- exprimer la relation entre l'angle d'orientation γ et la variable articulaire θ_5 ,
- représenter dans le plan $X_1O_0Z_1$ le robot dans la posture $\theta_2=10^\circ$, $\theta_3=10^\circ$ et $\theta_4=10^\circ$ puis coter l'angle β et donner son expression algébrique en fonction de θ_2 , θ_3 et θ_4 ,
- déterminer dans R_1 (repère lié à la chaise S_1) l'expression du vecteur position O_0O_5 en fonction des longueurs l_j et des angles θ_j ,
- déduire des résultats précédents les relations entre les variables articulaires et les variables cartésiennes et eulériennes (modèle direct) :

$$O_0O_5 \text{ dans } R_0 = \begin{cases} X(\theta_j) \\ Y(\theta_j) \\ Z(\theta_j) \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \alpha(\theta_j) = \\ \beta(\theta_j) = \\ \gamma(\theta_j) = \end{cases}$$

Nota : le modèle direct précédemment obtenu peut s'inverser en considérant les équations trigonométriques. Ce n'est pas un système linéaire en θ_j .

- déterminer les expressions des variables articulaires θ_j en fonction des variables cartésiennes X , Y , Z et des variables eulériennes α , β et γ . (modèle inverse),
- quels sont les degrés de liberté de la pince dans un environnement lié au socle.
- déterminer la configuration particulière de travail d'un robot industriel vertébral 5 axes, permettant d'alimenter en pièces de révolution de longueurs différentes un tour C.N. à axe horizontal.

Nota : le socle du robot est fixe par rapport au sol de l'atelier.

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

Données (voir document 2, figures 2 et 3):

La carte de commande d'axes permet de générer différents modèles de loi horaire de déplacement et de vitesse.

Pour cette étude, le **modèle** retenu est la loi de vitesse en **trapèze isocèle** avec les notations suivantes :

- t_a durée de la phase d'accélération fixée par le constructeur ($t_a = 0.3$ s),
 t_f durée de la phase de déplacement.

Les 5 axes sont asservis en position. Le schéma-bloc représenté figure 3 décrit à titre d'exemple la commande de l'un des axes.

Lors du passage d'une position initiale à une position finale de la pince du robot, tous les axes devant évoluer, fonctionnent simultanément (accélération, vitesse constante et décélération).

Afin de programmer une grandeur caractéristique de la vitesse du robot, la grandeur $\omega_{moyenne}$ a été retenue. Cette grandeur est directement liée au temps de cycle :

$$\omega_{moyenne} = [\sum_1^5 \omega_{Ui}^2]^{1/2}$$

Notations :

- θ_{di} position angulaire de départ de l'axe i du robot,
 θ_{ai} position angulaire d'arrivée de l'axe i du robot,
 $\Delta\theta_i$ déplacement angulaire de l'axe i du robot,
 ω_{Ui} vitesse angulaire constante de l'axe i du robot (voir figure 2 du document 2).

Questions :

- exprimer la relation entre $\Delta\theta_i$, ω_{Ui} , t_a et t_f ,
- proposer un algorithme de calcul permettant d'obtenir un déplacement en point à point de la pince du robot.

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

Données :

Les solides S_i modélisent, dans un souci de simplification, les distributions des masses des segments, des actionneurs et des transmissions du robot.

S_1 est un solide de masse m_1 , ayant pour termes non nuls de la matrice d'inertie en O_1 dans $R_1 (X_1, Y_1, Z_1)$: A_1, B_1, C_1 et E_1 ,

S_2 est un solide de masse m_2 , ayant pour termes non nuls de la matrice d'inertie en O_2 dans $R_2 (X_2, Y_2, Z_2)$: A_2, B_2, C_2 ,

S_3 est un solide de masse m_3 , ayant pour termes non nuls de la matrice d'inertie en O_3 dans $R_3 (X_3, Y_3, Z_3)$: A_3, B_3, C_3 , et pour centre d'inertie G_3 tel que : $O_3G_3 = d_3 X_3$,

Les solides S_4, S_5 ainsi que la pièce transportée ont leur distribution de masse intégrée dans celle du solide S_3 (souci de simplification).

La pièce transportée n'est en contact qu'avec la pince.

Les mouvements du robot sont tels que $d\theta_i/dt$ et $d^2\theta_i/dt^2$ sont différents de zéro.

Le repère R_0 est supposé galiléen et l'accélération de la pesanteur est telle que $g = -gZ_0$.

Questions :

Nota : pour la question de dynamique, il est conseillé de préciser la méthodologie de résolution envisagée, avant de développer les calculs.

- déterminer l'expression littérale de la projection sur Z_0 du moment dynamique en O_1 , du solide S_1 dans son mouvement par rapport à R_0 ,
- déterminer, dans R_2 , l'expression littérale du moment cinétique en O_2 du solide S_2 dans son mouvement par rapport à R_0 ,
- déterminer, dans R_3 , l'expression littérale du moment cinétique en O_3 du solide S_3 dans son mouvement par rapport à R_0 ,
- proposer un schéma cinématique minimal de la chaîne cinématique de l'axe 1,
- déterminer l'expression littérale du couple appliqué à la courroie de l'axe 1 par la poulie liée au socle, pour permettre le déplacement de l'ensemble du robot, lorsque tous les axes fonctionnent.

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

Données (voir document 3) :

La précision d'un mécanisme en fonctionnement dépend notamment de la rigidité des guidages ; le choix des roulements, leur association et leur précharge permettent d'ajuster la rigidité en vue d'obtenir les caractéristiques recherchées.

Le guidage du bras par rapport à la chaise est réalisé par l'intermédiaire de deux roulements à billes à contact oblique 7204 B de SNR disposés à centres de poussée éloignés (montage en O). Pour un roulement de ce type la caractéristique élastique la plus courante est l'enfoncement axial δ_a de l'une des bagues par rapport à l'autre sous l'effet d'une charge purement axiale F_a .

Le modèle retenu est de la forme : $\delta_a = k (F_a)^{2/3}$ tel que $k = 0.1$ avec F_a en N et δ_a en μm
Le montage est précontraint axialement par une charge $F_{a0} = 500$ N.

L'angle de contact du roulement $\alpha = 40^\circ$ et le nombre d'éléments roulants $z = 11$.

L'étude est réalisée, le robot étant à l'arrêt dans la configuration, bras, avant-bras, poignet et pince à l'horizontal soit :

$$\theta_1 = 0^\circ \quad \theta_2 = 0^\circ \quad \theta_3 = -90^\circ \quad \theta_4 = 0^\circ \quad \text{et} \quad \theta_5 = 0^\circ$$

La distribution des masses du robot est caractérisée par trois sous-ensembles :

- le bras S_2 de masse $m_2 = 15.5$ kg et de centre de gravité G_2 tel que $\mathbf{O}_2\mathbf{G}_2 = -64 \mathbf{X}_2 - 27 \mathbf{Y}_2 + 13 \mathbf{Z}_2$
- l'avant bras S_3 de masse $m_3 = 3.5$ kg et de centre de gravité G_3 tel que $\mathbf{O}_3\mathbf{G}_3 = 172 \mathbf{X}_3$
- la pièce transportée de masse $m_p = 1$ kg et de centre de gravité O_5

Le rapport de la transmission poulies-courroie de l'axe 2 est supposé égal à 1. Dans la configuration de l'étude, la tension du brin mou de la courroie est supposée nulle. Dans un souci de simplification, l'action de la courroie sur la poulie est représentée par : $\mathbf{T}^{\text{courroie/poulie}} = T \mathbf{Z}_1$. Le diamètre moyen d'enroulement de la courroie sur les poulies est de 125 mm. La distance du centre de la poulie au point O_2 est égale à 82 mm.

Rappel succinct des relations de Hertz en contact ponctuel :

- chaque surface S_i est caractérisée par :
 - * ses courbures principales C_i et C'_i ,
 - * son matériau (E_i module d'élasticité longitudinal, ν_i coefficient de Poisson),
- le contact ponctuel étant défini géométriquement, le chargement normal Q_j entraîne l'obtention d'une petite surface de contact du type elliptique. Cette surface est fonction de la géométrie, des matériaux et de la charge $Q_j^{2/3}$.

- la pression de contact maxi, située au centre de l'ellipse, est fonction de la géométrie, des matériaux et de la charge $Q_j^{1/3}$.
- le déplacement relatif δ_j des deux surfaces, défini sur la normale au contact, est fonction de la géométrie, des matériaux et de la charge $Q_j^{2/3}$: $\delta_j = k_j Q_j^{2/3}$

Rappel succinct de l'étude statique d'un roulement à contact oblique et des principaux résultats :

Pour connaître la répartition des charges entre les z éléments roulants d'un roulement, il est nécessaire de lever l'indétermination sur le nombre d'éléments roulants effectivement chargés.

Ce problème hyperstatique peut se résoudre en :

- calculant le petit déplacement solide de l'une des bagues par rapport à l'autre,
- exprimant une loi de comportement au niveau des éléments roulants,
- traduisant l'équilibre de l'une des bagues.

Notations :

- α angle de contact du roulement,
- F_a et F_r chargement au centre de poussée,
- δ_a et δ_r déplacement du centre de poussée par rapport à sa position initiale,
- Q_{Maxi} charge maximale appliquée à un élément roulant,
- J_a et J_r coefficients sans dimension (intégrales de Sjoval)
- K et t coefficients caractérisant les contacts
- $\varepsilon = \frac{1}{2} [1 + \delta_a \tan \alpha / \delta_r]$

Résultats :

$$F_a = z \sin \alpha J_a Q_{Maxi} \quad \text{et} \quad F_r = z \cos \alpha J_r Q_{Maxi}$$

$$\delta_{Maxi} = \delta_a \sin \alpha + \delta_r \cos \alpha \quad \text{et} \quad Q_{Maxi} = K (\delta_{Maxi})^t$$

Tableau des valeurs de J_a et J_r en fonction du chargement F_a et F_r

Roulement à une rangée d'éléments roulants						
ε	Contact ponctuel $t=3/2$			Contact linéaire $t=10/9$		
	$F_r \tan \alpha / F_a$	J_r	J_a	$F_r \tan \alpha / F_a$	J_r	J_a
0	1	1/z	1/z	1	1/z	1/z
0.2	0.9318	0.1590	0.1707	0.9215	0.1737	0.1885
0.3	0.8964	0.1892	0.2110	0.8805	0.2055	0.2334
0.4	0.8601	0.2117	0.2462	0.8380	0.2286	0.2728
0.5	0.8225	0.2288	0.2782	0.7939	0.2453	0.3090
0.6	0.7835	0.2416	0.3034	0.7480	0.2568	0.3433
0.7	0.7427	0.2505	0.3374	0.6999	0.2636	0.3766
0.8	0.6995	0.2559	0.3658	0.6486	0.2658	0.4098
0.9	0.6529	0.2576	0.3945	0.5920	0.2628	0.4439
1	0.6000	0.2546	0.4244	0.5238	0.2523	0.4817
1.25	0.4538	0.2289	0.5044	0.3598	0.2078	0.5775
1.67	0.3088	0.1871	0.6060	0.2340	0.1589	0.6790
2.5	0.1850	0.1339	0.7240	0.1372	0.1075	0.7837
5	0.0831	0.0711	0.8558	0.0611	0.0544	0.8909
infini	0	0	1	0	0	1

Questions :

- justifier le modèle retenu : $\delta_a = k (F_a)^{2/3}$ en s'appuyant sur la théorie de HERTZ et en précisant les hypothèses à formuler ; en déduire l'expression de la rigidité axiale d'un roulement et donner l'allure de sa courbe représentative,
- calculer le déplacement relatif des centres de poussée permettant d'obtenir une précharge de 500 N et déterminer la rigidité du montage en l'absence de toute sollicitation extérieure,

Nota : pour les questions suivantes, le robot est dans la configuration horizontale définie précédemment et des dimensions complémentaires sont indiquées sur le document 3.

- exprimer les différentes équations permettant d'obtenir les chargements axiaux et radiaux des roulements et calculer les chargements radiaux,

Nota : pour les questions suivantes, ne pas développer les calculs, mais préciser la démarche suivie.

- exprimer les différentes équations permettant d'obtenir les déplacements des centres de poussée des roulements,
- exprimer les équations permettant d'obtenir le déplacement du centre de pince O_3 dû aux seules déformations des roulements.

III. ETUDE DE CONCEPTION (voir documents 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7):

Caractéristiques générales :

Le robot industriel vertébral 5 axes ERICC3 possède les performances suivantes :

- masse transportée 1 kg
- volume de travail (voir document 1),
- répétabilité de pose 0.1 mm,
- exactitude de pose 1 mm

Axe	min. (imp.)	max. (imp.)	FE-/FE+ (degrés)	Vitesse max. mesurée (degrés/s)	tps accél. min. (ms)	Accél. (degrés/s ²)
θ_1	-135	135	-1.6/0	90	355	324
θ_2	-90	43	-1.74/0	70	170	410
θ_3	-90	45	0/0	70	70	938
θ_4	-90	90	+3.6/0	200	80	2500
θ_5	-180	180	0/0	145	29	5000

Les erreurs de poursuite min. et max. (FE-/FE+) ont été mesurées sur une machine de série (N°95177) dans la configuration « bras tendu » avec une charge de 1 kg.

Si l'on prend en compte les mouvements du lacet et de l'épaule, la vitesse linéaire maximale est de 1.497 m/s pour $R = 0.7525$ m.

Axe	réducteur	courroie	Nb pulses codeur	comptage	Coefficient (imp./degré)
θ_1	1/100	12/40	500	x 4	1851.851852
θ_2	1/100	12/40	500	x 4	1851.851852
θ_3	1/100	15/52	500	x 4	1925.925926
θ_4	1/60	18/60	500	x 1	277.777778
θ_5	1/262	18/36	16	x 4	93.155556

III.1 Guidage en rotation du bras S₂ par rapport à la chaise S₁ :

Caractéristiques spécifiques pour l'étude de la liaison :

La commande de l'axe 2 est assurée par une courroie dentée entraînant en rotation la poulie P₂. La poulie P₂ est en liaison complète démontable avec le bras S₂.
La chaise S₁ est partiellement définie pour la partie qui concerne le guidage en rotation sur le document 3. Le brut de la chaise est ainsi en partie imposé.
Le montage des roulements doit permettre de respecter les conditions de réglage définies à la question II.4.

Question :

- réaliser sur le **document 3 (à rendre)** le dessin d'avant projet du guidage en rotation de S₂ par rapport à S₁
- présenter sous la forme d'un tableau de synthèse (**réponse à rédiger sur feuille de copie**), les fonctions contraintes selon le **point de vue du concepteur** associées à la conception de ce guidage.

Fonction contrainte	Critères	Niveau	Flexibilité

Rappel de la Norme X 50-150 :

- * fonction contrainte : limitation à la liberté du concepteur d'un produit,
exemple : ne pas polluer
- * critère : critère retenu pour apprécier la manière dont une contrainte est respectée,
exemple : bruit de fonctionnement
- * niveau : niveau repéré dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une contrainte
exemple : nombre de décibels 50 dB
- * flexibilité : ensemble d'indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler un niveau recherché pour un critère d'appréciation.
exemple : limite d'acceptation à plus 10%

III.2 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 :

Données :

Le nombre de robots fabriqués est de 100 unités par an.
Le poignet doit contribuer à permettre au robot de répondre aux spécifications techniques définies par les caractéristiques générales.
Les transmissions sont réalisées par des systèmes poulies-courroie dentées (document 5.1). Les poulies peuvent être fournies non alésées.
Les guidages en rotation sont réalisés par des roulements à billes SKF du type 618/9 (voir document 5.2).
La bride de fixation de la pince comporte 3 trous M5 à 120°, un trou de diamètre 2 H10 et un alésage de diamètre 22 H7 permettant un centrage sur 5 mm. (voir document 4)
Le moto-réducteur-codeur (M5) nécessaire à l'entraînement de la pince est défini sur les documents 5.3 (a) moteur type 1331 E, (b) réducteur type 15/8 et (c) codeur 21B18.

Questions :

- Concevoir un sous-ensemble permettant de répondre aux contraintes spécifiées par le sujet en s'attachant tout particulièrement à définir :
- le guidage en rotation de la bride S₅ avec le poignet S₄,
 - le guidage en rotation du poignet S₄ avec l'avant-bras S₃,
 - toutes les liaisons complètes démontables ou non, en spécifiant si nécessaire les éléments de réglage et (ou) les précautions à prendre au montage,
 - les solutions retenues permettant d'assurer l'étanchéité et la protection du mécanisme,

- les formes des extrémités des pièces moulées et usinées constituant l'avant-bras S₃,
- les formes du support du moto-réducteur-codeur désigné M5 document 1.

Présentation du dessin (**dessin à l'échelle 1, à réaliser sur le document 4**) :

- dessin au crayon,
- traits d'axes et écritures à l'encre,
- représenter les composants du commerce dont la documentation dimensionnelle n'est pas fournie de la façon la plus vraisemblable possible en respectant leurs proportions (joints d'étanchéité par exemple),

Indications à porter sur le dessin :

- les spécifications fonctionnelles,
- les coupes et les sections auxiliaires nécessaires à la compréhension des solutions proposées.

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

III.3.a Analyse du dessin de brut :

Données :

Afin de réduire leurs coûts de production et d'améliorer leurs qualités, les pièces moulées doivent respecter au mieux des règles de tracé en relation avec le procédé utilisé.

Le demi-bras droit est obtenu par un moulage manuel au sable à vert en chassis avec noyau(x).

Le demi-bras droit est défini par son dessin de brut à l'échelle ½ (voir document 6).

Question :

Critiquer les formes moulées proposées et compléter le tableau ci-joint (**réponse à rédiger sur feuille de copie**) en indiquant une règle par ligne :

spécification de la règle de tracé concernée	respectée	non respectée	remède en fonderie

III.3.b Etude de reconception de l'ensemble du bras permettant de limiter les problèmes de fonderie :

Données :

Le dessin du sous-ensemble « bras » à l'échelle ½ (document 7)

Le dessin représentant votre conception du guidage en rotation de S₂/S₁ réalisé en question III.1 les nouvelles contraintes à respecter :

- les deux demi-bras moulés sont identiques,
- leur moulage est réalisé à partir d'une plaque modèle sans noyau.

Questions :

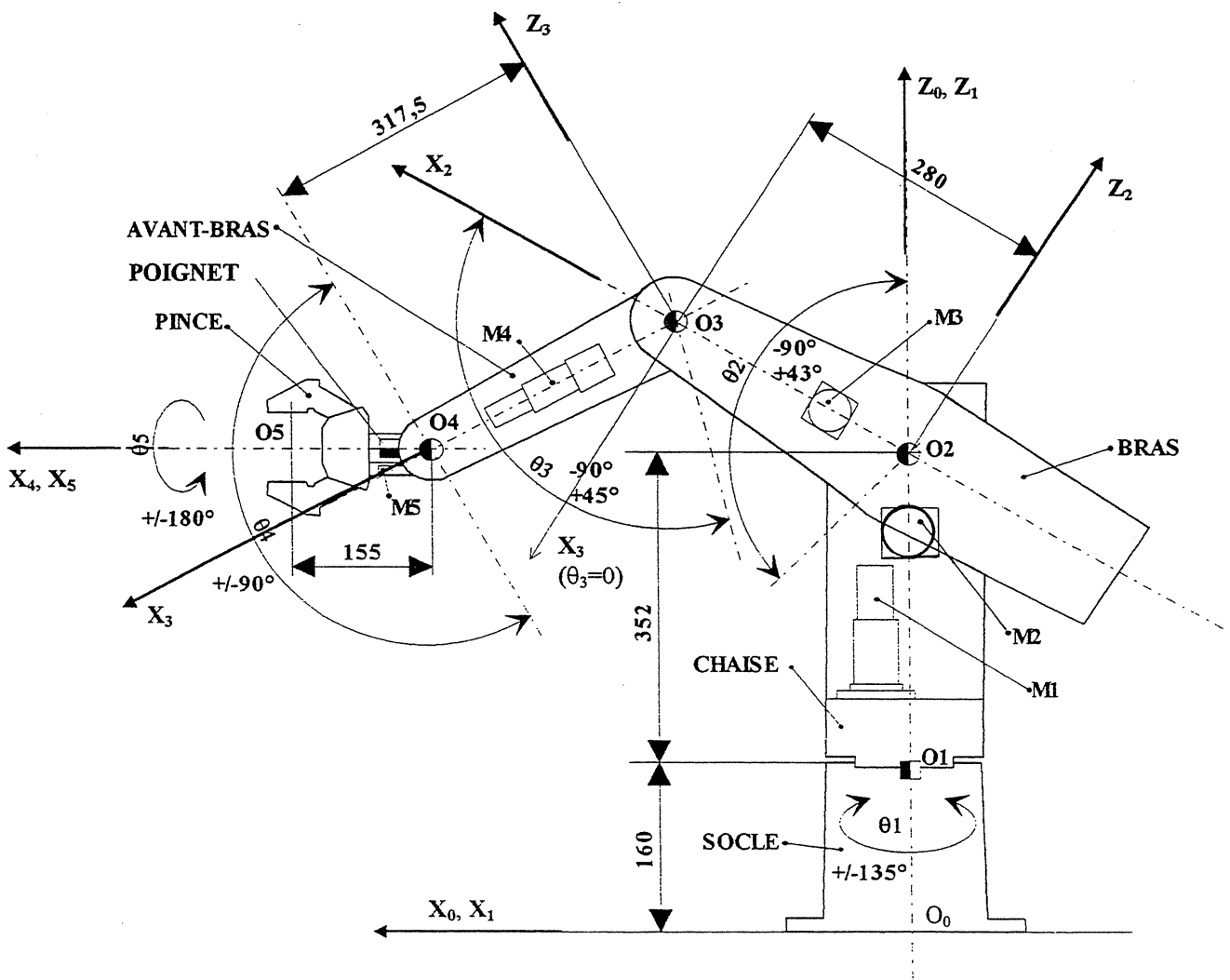
Proposer et justifier les modifications à apporter au sous-ensemble « bras » permettant de répondre aux nouvelles contraintes imposées (**réponse à rédiger sur feuille de copie**).

Document 1

Notations : $O_0O_2=l_1$ $O_2O_3=l_2$ $O_3O_4=l_3$ $O_4O_5=l_5$

- le socle S_0
- la chaise S_1 θ_1 repère la position de la chaise S_1 par rapport au socle S_0
- le bras S_2 θ_2 repère la position du bras S_2 par rapport à la chaise S_1
- l'avant-bras S_3 θ_3 repère la position de l'avant-bras S_3 par rapport au bras S_2
- le poignet S_4 θ_4 repère la position du poignet S_4 par rapport à l'avant-bras S_3
- la pince S_5 θ_5 repère la position de la pince S_5 par rapport au poignet S_4

Les points O_0, O_1, O_2, O_3, O_4 et O_5 appartiennent à un même plan vertical
 Les M_i sont les moteurs assurant les rotations θ_i .



Représentation de l'ensemble du bras-porteur du robot dans la position $\theta_1 = 0^\circ$

Les autres variables articulaires ont pour valeurs : $\theta_2 = -30^\circ$; $\theta_3 = -30^\circ$; $\theta_4 = -30^\circ$
 Les cotes sont en mm.

Document 2

Figure 1 : angles α , β et γ « analogues » aux angles d'Euler

Nota : le calage angulaire de la pince par rapport au plan vertical contenant son axe est défini par l'angle γ , mesuré autour de cet axe dans le sens direct.

l'angle β est tel que : $(O_5X_\alpha, O_5X_5) = \beta$

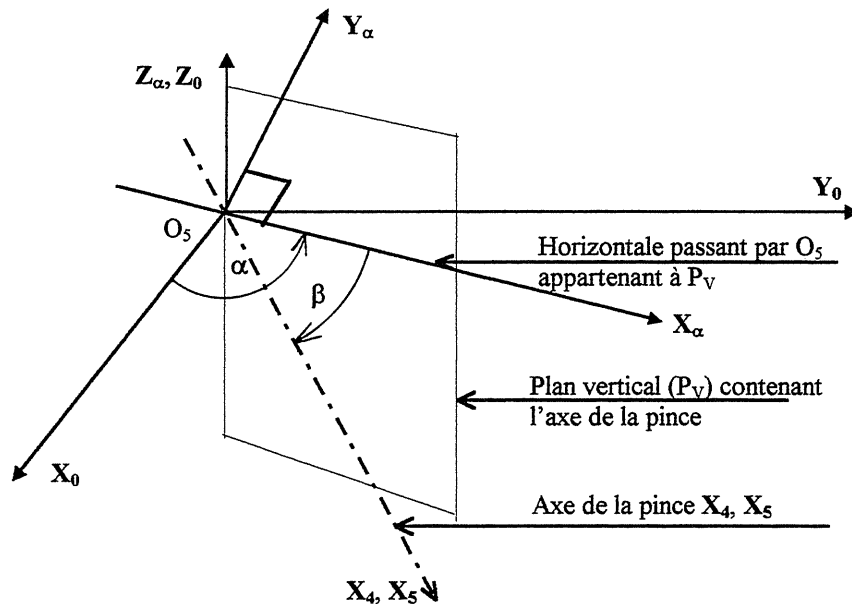


Figure 2 : Modèle des vitesses de déplacement des axes

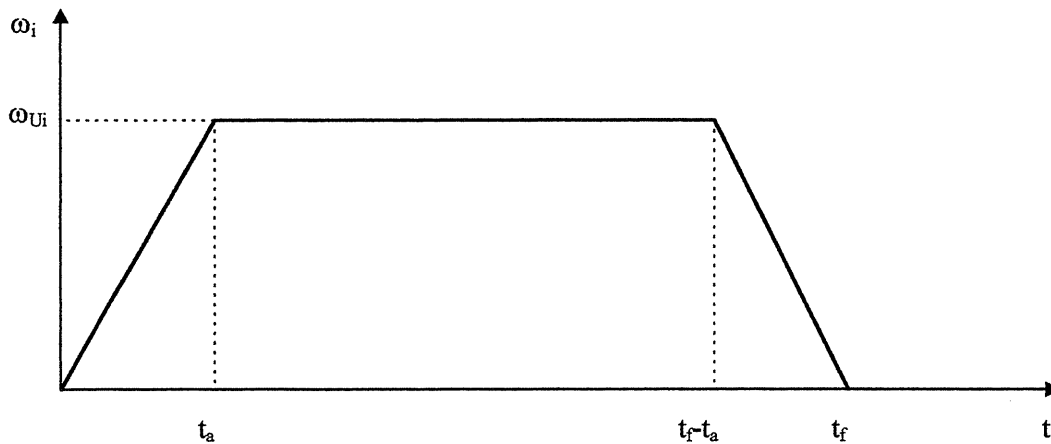
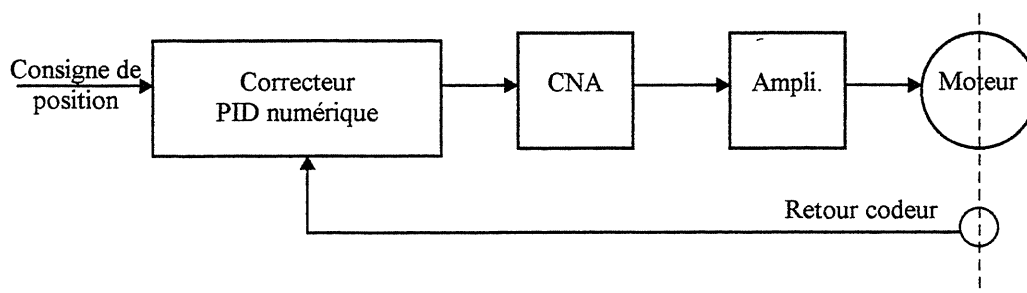
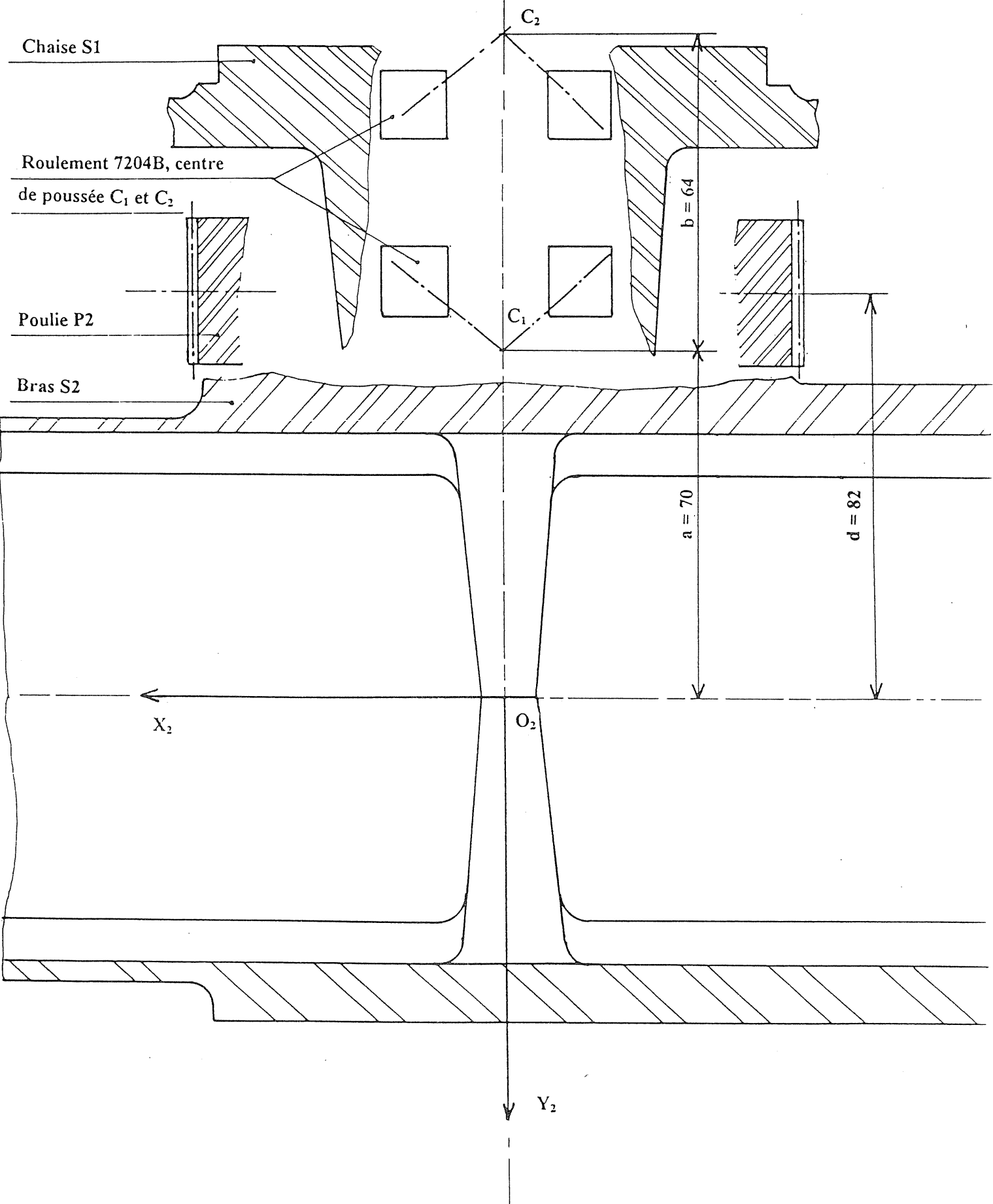


Figure 3 : Schéma-bloc simplifié d'un axe asservi en position



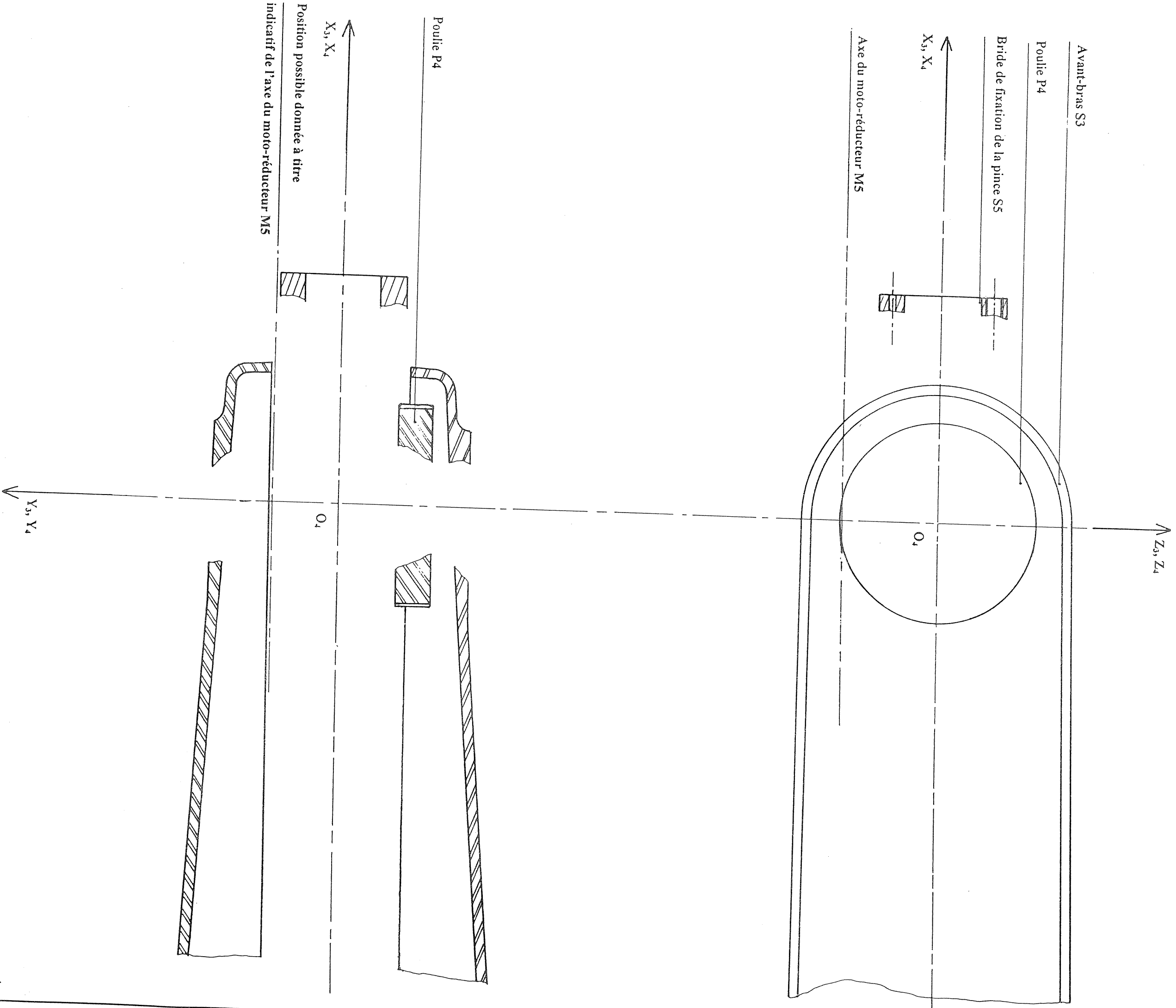


Document réponse 4

Le document 4 sur calque, format A3 sera fourni roulé.

Documents

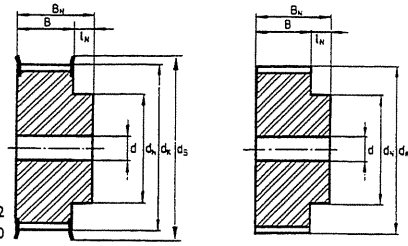
5 - 6 - 7





AT3

POULIES ET BARREAUX STANDARD



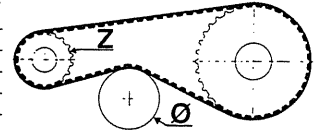
	b	6	8	10	12	16	20	25	32	50
Largeurs de poulies	B	10	13	15	17	22	26	32	40	58
	B_N	16		21		28				

FLEXION ALTERNÉE

Flexion alternée imposant un Ø mini et un nombre de dents Z mini :

	Z min	Ø min
Câble standard	20	25
Câble haute flexibilité	18	18
Câble renforcé	*	*
Revêtement PAR	*	*

* nous consulter

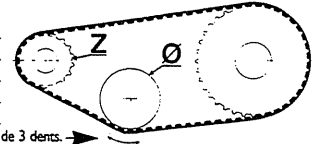


FLEXION SIMPLE

Flexion simple imposant un Ø mini et un nombre de dents Z mini :

	Z min	Ø min
Câble standard	15	20
Câble haute flexibilité	15	20
Câble renforcé	26	25
Revêtement PAR	*	*

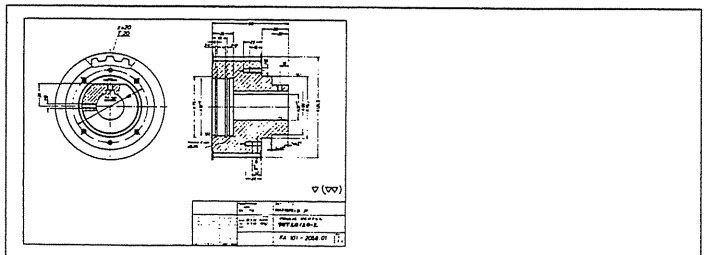
* nous consulter Pour limiter les vibrations prévoir un contact mini de 3 dents.



Largeur B _N	Nbre de dents Z	d _k en mm	d _B en mm	d _N en mm	d en mm	
					mini (stock)	maxi
16	15	14.02	19	10	4	4
21	16	14.98	20	10	4	5
28	17	15.93	21			6
	18	16.89	23	12	4	7
	19	17.84	23			8
	20	18.80	24	14	4	9
	21	19.75	25			10
	22	20.71	27	14	6	11
	23	21.66	27			12
	24	22.62	28	14	6	13
	25	23.57	30	16	6	14
	26	24.53	30			15
	27	25.48	30	16	6	15
	28	26.44	31			16
	29	27.39	32			17
	30	28.35	33	20	6	18
	31	29.30	34			19
	32	30.26	36	20	6	20
	33	31.21	36			21
	34	32.17	37			22
	35	33.12	38			23
	36	34.08	40	22	6	24
	37	35.03	40			25
	38	35.99	41			26
	39	36.94	42			27
	40	37.90	43	26	6	28
	41	38.85	44			29
	42	39.81	45			30
	43	40.76	46			31
	44	41.72	47	30	6	32
	45	42.67	48	30	6	33
	46	43.63	49			34
	47	44.58	50			35
	48	45.54	51	34	6	36
	49	46.49	51			36
	50	47.45	52			37
	51	48.40	53			38
	52	49.36	54			39
	53	50.31	55			40
	54	51.27	56			41
	55	52.22	57			42
	56	53.18	58			43
	57	54.13	59			44
	58	55.09	60			45
	59	56.04	61			46
	60	57.00	62	38	6	47
	61	57.95	63			48
	62	58.91	64			49
	63	59.86	65			50
	64	60.82	66			51
	65	61.77	67			52
	66	62.73	68			53
	67	63.68	69			54
	68	64.64	70			55
	69	65.59	71			56

Largeur B _N	Nbre de dents Z	d _k en mm	d _B en mm	d _N en mm	d en mm	
					mini (stock)	maxi
	70	66.55	72			57
	71	67.50	73			58
	72	68.45	73	50	6	58
	73	69.41	74			59
	74	70.36	75			60
	75	71.32	76			61
	76	72.27	77			62
	77	73.23	78			63
	78	74.18	79			64
	79	75.14	80			65
	80	76.09	81			66
	81	77.05	82			67
	82	78.00	83			68
	83	78.96	84			69
	84	79.91	85			70
	85	80.87	86			71
	86	81.82	87			72
	87	82.78	88			73
	88	83.73	89			74
	89	84.69	90			75
	90	85.64	91			76
	91	86.60	92			77
	92	87.55	93			78
	93	88.51	94			79
	94	89.46	94			79
	95	90.42	95			80
	96	91.37	96			81
	97	92.33	97			82
	98	93.28	98			83
	99	94.24	99			84

Nombre de dents supérieur possible.



EXEMPLE DE COMMANDE DE POULIES

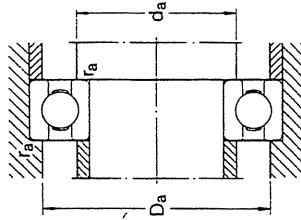
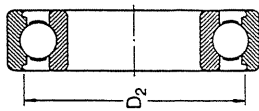
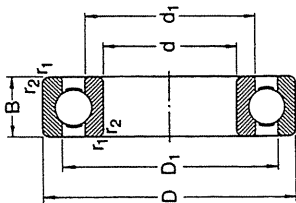
Matière	Largeur B _N	Type / Nbr. de dents	Nbr. de flasques	Ø d _N x l _N	Ø d
Al	28	AT3 / 20	2	MOY. 14 x 6	d : 4H7

● Poulies en stock, délai 3 jours. Poulies en alu, flasques en acier zingué.

○ Poulies standard, délai 1 à 2 semaines.

d_{maxi} : alésage maximal sans rainure de clavette pour poulies à flasques.

Roulements rigides à billes
à une rangée
d 2,5-12 mm



Sans embrèvements

Avec embrèvements

Dimensions d'encombrement	Charges de base stat.			Limite de fatigue P_u	Vitesse de base de lubrification	Masse	Désignation	Cotes de montage						
	dyn.	C	C_0					$r_{1,2}$ min	D_2 min	d_1 min	d_a max	$r_{1,2}$ min		
d	N	C	C_0	N	tr/min	kg		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2,5	8	2,8	319	106	4	67 000	80 000	0,0007	60/2,5		3,7	6,8	0,1	
3	10	4	488	146	6	60 000	70 000	0,0015	623		4,2	8,8	0,1	
4	9	2,5	540	180	7	63 000	75 000	0,0007	618/4		5,2	7,8	0,1	
12	4	806	280	12	53 000	63 000	0,0022	604		0,1	0,2	10,4	0,2	
13	5	975	305	14	48 000	56 000	0,0031	624		0,2	5,6	11,4	0,2	
16	5	1 110	380	16	43 000	50 000	0,0054	634		0,3	6	14	0,3	
5	11	3	637	255	11	53 000	63 000	0,0012	618/5		6,2	9,8	0,1	
16	5	1 110	380	16	43 000	50 000	0,0050	625		0,3	7	14	0,3	
19	6	1 720	620	26	36 000	43 000	0,0090	635		0,3	7	17	0,3	
6	13	3,5	884	345	15	48 000	56 000	0,0020	618/6		7,2	11,8	0,1	
19	6	1 720	620	26	36 000	43 000	0,0084	626		0,3	8	17	0,3	
7	14	3,5	956	400	17	45 000	53 000	0,0022	618/7		8,2	12,8	0,1	
19	6	1 720	620	26	38 000	45 000	0,0075	607		0,3	9	17	0,3	
22	7	3 250	1 370	57	32 000	38 000	0,013	627		0,3	9	20	0,3	
8	16	4	1 330	570	24	40 000	48 000	0,0030	618/8		9,6	14,4	0,2	
22	7	3 250	1 370	57	36 000	43 000	0,012	608		0,2	10	20	0,3	
9	17	4	1 430	640	27	38 000	45 000	0,0034	618/9		10,6	15,4	0,2	
24	7	3 710	1 660	71	32 000	38 000	0,014	609		0,3	11	22	0,3	
26	8	4 620	1 960	83	28 000	34 000	0,020	629		0,3	11	24	0,3	
10	19	5	1 380	585	25	36 000	43 000	0,0055	61800		12	17	0,3	
22	6	1 950	750	32	34 000	40 000	0,010	61900		0,3	12	20	0,3	
26	8	4 620	1 960	83	30 000	36 000	0,019	6000		0,3	12	24	0,3	
28	8	4 620	1 960	83	28 000	34 000	0,022	16100		0,3	12	26	0,3	
30	9	5 070	2 360	100	24 000	30 000	0,032	62000		0,6	14	26	0,6	
35	11	8 060	3 400	143	20 000	26 000	0,053	63000		0,6	14	31	0,6	
12	21	5	1 430	670	28	32 000	38 000	0,0063	61801		14	19	0,3	
24	6	2 250	980	43	30 000	36 000	0,011	61901		0,3	14	22	0,3	
28	8	5 070	2 360	100	26 000	32 000	0,022	6001		0,3	14	26	0,3	
30	8	5 070	2 360	100	26 000	32 000	0,023	16101		0,3	14	28	0,3	
32	10	6 890	3 100	132	22 000	28 000	0,037	6201		0,6	16	28	0,6	
37	12	9 750	4 150	176	19 000	24 000	0,060	6301		1	17	32	1	

MINIMOTOR SA
CH-6982 Agno
Switzerland

Document 5.3.a

MINIMOTOR SA

Tel 091 59 18 21
Tlx 844 605 mimo
Fax 091 59 51 08

DC MOTORS

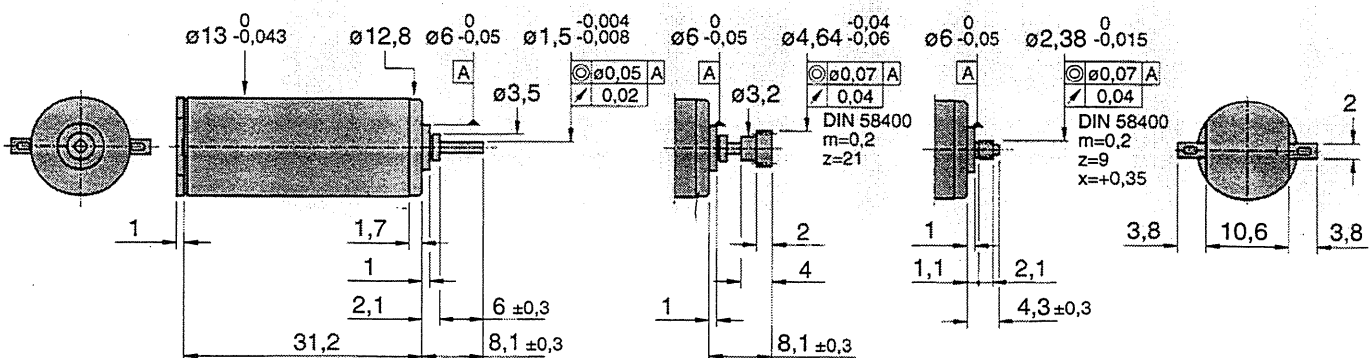
Micromoteurs C.C.

System Faulhaber®

Réducteurs
Réducteurs
Réducteurs
Codeurs

Type 14/1
Type 15/2, 15/3
Type 15/5, 15/6, 15/8
Type 20/21B

Moteur type	1331	4,5 S	006 S	012 S	015 S	024 S		
1. Tension nominale	U_N	4,5	6	12	15	24	Volt	
2. Résistance de l'induit	R	2,2	3,6	13,3	20,3	55,0	Ω	
3. Puissance utile max.	$P_2 \text{ max.}$	2,30	2,50	2,71	2,77	2,62	W	
4. Rendement max.	$\eta \text{ max.}$	75	77	76	74	75	%	
5. Vitesse à vide	n_0	10 800	10 900	11 300	12 000	11 400	rpm	
6. Courant à vide (avec axe \varnothing 1,5 mm)	I_0	0,035	0,025	0,015	0,014	0,008	A	
7. Tension de démarrage moyenne	U_A	80	105	165	250	360	mV	
8. Couple de démarrage	M_H	7,86	8,50	8,85	8,49	8,45	mNm	
9. Couple de frottement	M_R	0,14	0,13	0,15	0,17	0,16	mNm	
10. Constante de vitesse	k_n	2 442	1 844	958	815	484	rpm/V	
11. Constante FEM	k_E	0,410	0,542	1,044	1,226	2,067	mV/rpm	
12. Constante de couple	k_M	3,91	5,18	9,97	11,71	19,74	mNm/A	
13. Constante de courant	k_I	0,256	0,193	0,100	0,085	0,051	A/mNm	
14. Pente vitesse / couple	$\Delta n / \Delta M$	1 374	1 282	1 277	1 413	1 348	rpm/mNm	
15. Inductance	L	40	80	300	600	1 100	μH	
16. Constante de temps mécanique	τ_m	9	9	9	9	9	ms	
17. Moment d'inertie du rotor	J	0,63	0,67	0,67	0,66	0,64	gcm^2	
18. Accélération angulaire max.	$\alpha \text{ max.}$	126	127	132	140	133	$\cdot 10^3 \text{ rad/s}^2$	
19. Résistance thermique:								
- rotor / boîtier	$R_{th 1}$	8	8	8	8	8	K/W	
- boîtier / air ambiant	$R_{th 2}$	40	40	40	40	40	K/W	
20. Constante de temps thermique:								
- rotor	τ_{w1}	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	s	
- stator	τ_{w2}	292	292	292	292	292	s	
21. Températures d'utilisation:								
- moteur		- 30 ... + 85 (sur demande - 55 ... + 100)						$^{\circ}\text{C}$
- rotor max. admissible		+100						$^{\circ}\text{C}$
22. Collecteur / balais		métaux précieux, avec balais renforcés						
23. Charge max. sur l'arbre avec paliers frittés:								
- radiale à 3000 rpm (3 mm du palier)		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	N	
- axiale à 3000 rpm		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	N	
- axiale à l'arrêt		20	20	20	20	20	N	
24. Paliers de l'arbre		paliers frittés (sur demande roulements à billes)						
25. Poids		20	20	20	20	20	g	
26. Sens de rotation (réversible)		vu côté face avant, + au pôle positif: rotation sens horaire						



1331 T

1331 P
pour réducteur 14/1

1331 E
pour réducteur 15/...

MINIMOTOR SA
CH-6982 Agno
Switzerland

Document 5.3.b

MINIMOTOR SA

Tel 091 59 18 21
Tlx 844 605 mimo
Fax 091 59 51 08

DC MOTORS

Réducteurs à étages sans jeu angulaire

Type 15/8, 16/8

Micromoteurs C.C.
Micromoteurs C.C.
Micromoteurs C.C.
Ensembles moteur-génératrice tachymétrique à C.C.

Type 1319, 1331
Type 1516, 1524
Type 1616, 1624
Type 1841

Réducteur à étages type

15/8 et 16/8

Boîtier
Matériau des engrenages
Vitesse max. recommandée à l'entrée pour service permanent
Jeu angulaire (assemblé avec moteur)
Palier de l'arbre de sortie
Charge de l'arbre max.
- radiale (à 6,5 mm de la face)
- axiale
Pression sur l'arbre max.
Jeu de l'arbre (mesuré en sortie du palier)
- radial
- axial
Température d'utilisation

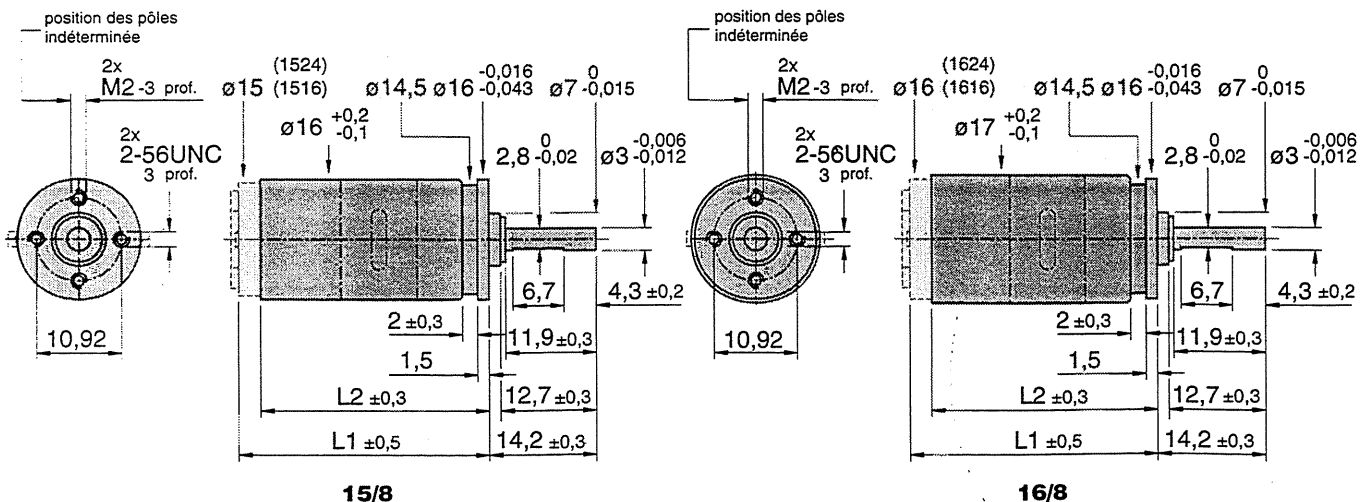
métallique
acier
5000 rpm
0°
deux roulements à billes précontraints
≤ 25 N
≤ 5 N
≤ 5 N (limité par roulements précontraints)
≤ 0,02 mm
= 0 mm
- 30° ... + 100° C

Caractéristiques techniques

Rapport	Poids sans moteur g	Longueur sans moteur L2 mm	Longueur avec moteur				Couple d'entraînement		Sens de rotation (réversible)	Rendement %
			1319 E	1331 E	1516 E	1524 E	Service permanent	Service intermittent		
			L1 mm	L1 mm	L1 mm	L1 mm	M max. mNm	M max. mNm		
22 :1	21	29,9	36,0	48,2	32,8	40,8	60	150	≠	61
41 :1	21	29,9	36,0	48,2	32,8	40,8	60	150	≠	61
76 :1	24	32,0	38,1	50,3	34,9	42,9	100	300	=	51
141 :1	24	32,0	38,1	50,3	34,9	42,9	100	150	=	51
262 :1	26	34,1	40,2	52,4	37,0	45,0	100	300	≠	43
485 :1	26	34,1	40,2	52,4	37,0	45,0	100	150	≠	43
900 :1	28	36,2	42,3	54,5	39,1	47,1	100	300	=	37
1 670 :1	28	36,2	42,3	54,5	39,1	47,1	100	150	=	37

Ces réducteurs sont disponibles seulement assemblés avec les moteurs.

Réduction de base 22:1 (22,03035) et 41:1 (40,86505)
Coefficient de réduction $i = 31/9 = 3,4444$



MINIMOTOR SA
CH-5982 Agno
Switzerland

Document 5.3.c

MINIMOTOR SA

DC MOTORS

Tel 091 59 18 21
Tlx 844 605 mimo
Fax 091 59 51 08

Codeurs

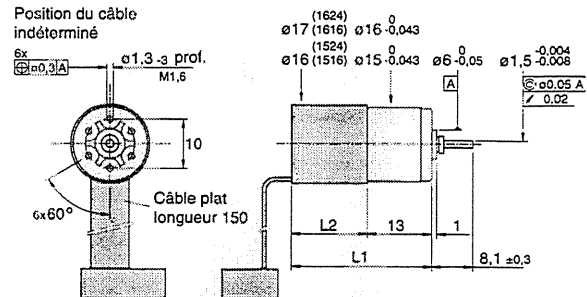
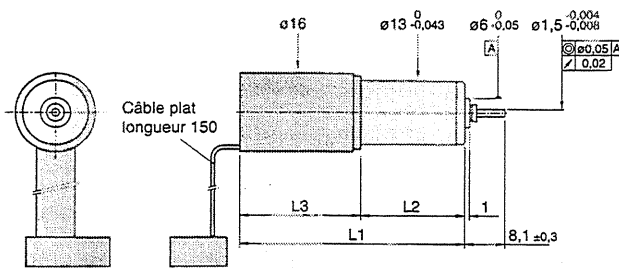
Codeurs magnétiques

Type 20B, 21B

15, 16 lignes par tour
2 canaux
Sortie digitale

Dessin technique

Echelle réduite



Codeurs 20B18, 21B18

avec micromoteurs C.C. 1319, 1331

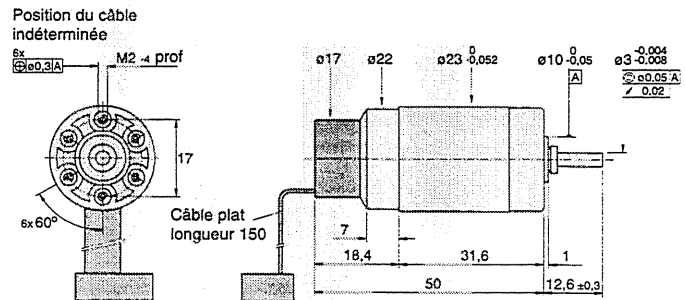
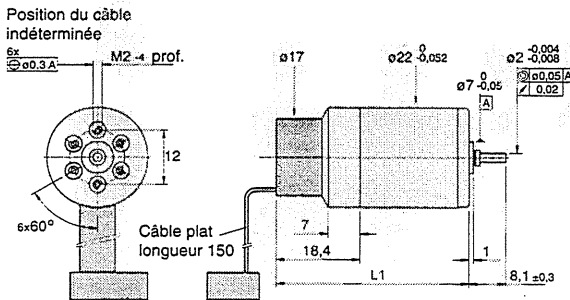
Moteur type	L1	L2	L3
1319	33,4	12,9	20,5
1331	45,7	21,2	24,5

Codeurs 20B12, 21B12

avec micromoteurs C.C. 1616, 1624

Moteur type	L1	L2
1516/1616	28,3	15,3
1524/1624	36,3	23,3

Echelle réduite



Codeurs 20B2, 21B2

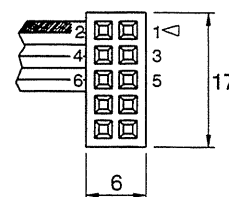
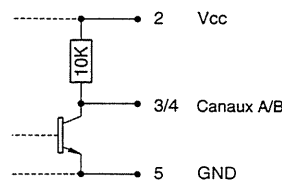
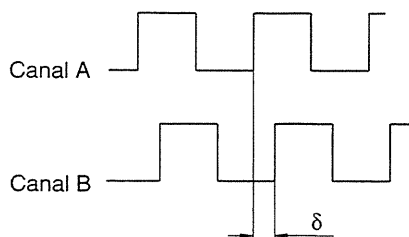
avec micromoteurs C.C. 2225, 2230, 2233

Moteur type	L1
2225	37,2
2230	42,4
2233	45,2

Codeurs 20B16, 21B16

avec micromoteur C.C. 2338

Signaux de sortie / Circuit de sortie / Connecteur



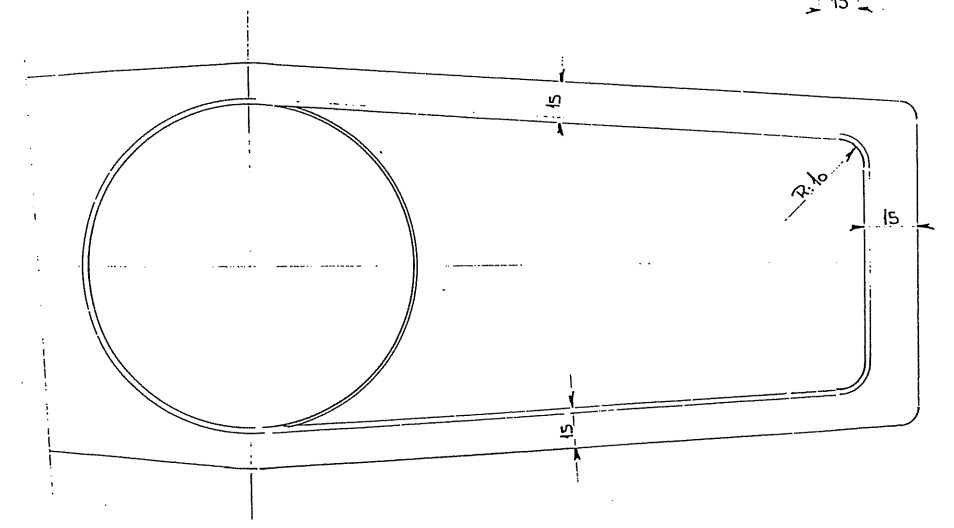
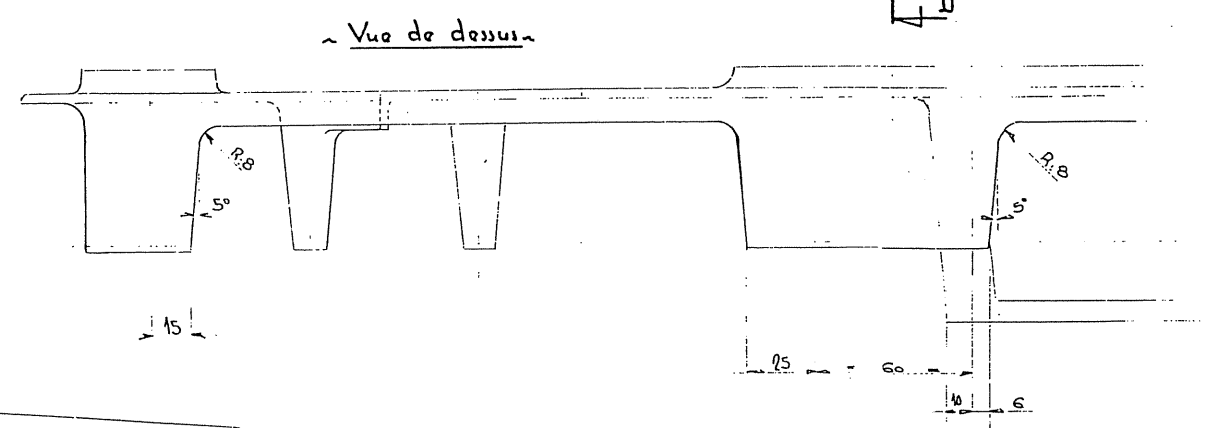
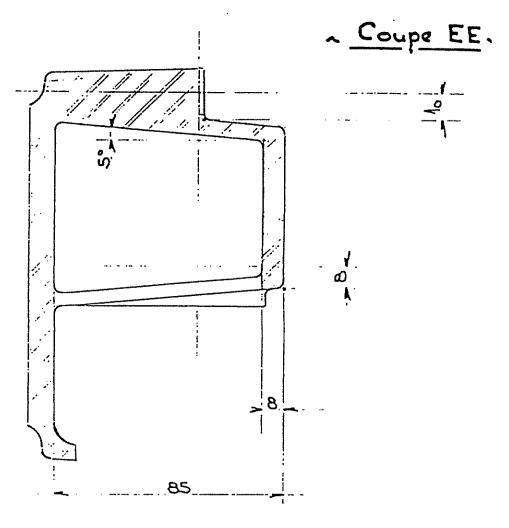
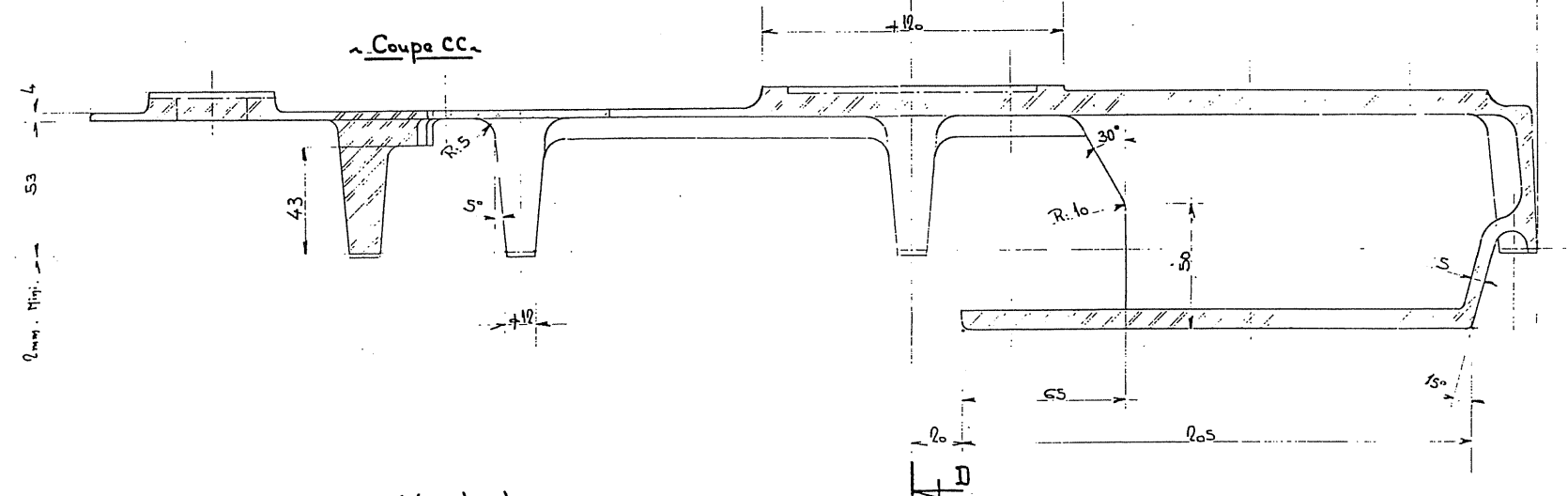
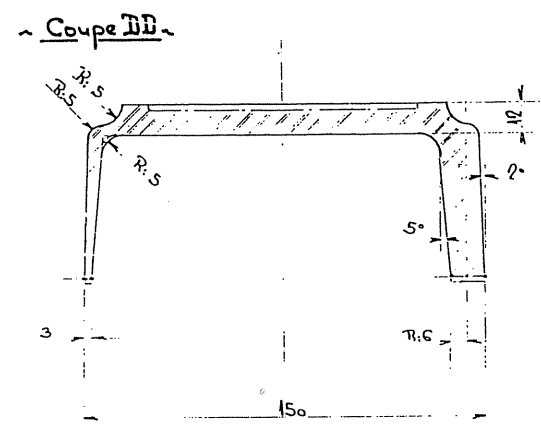
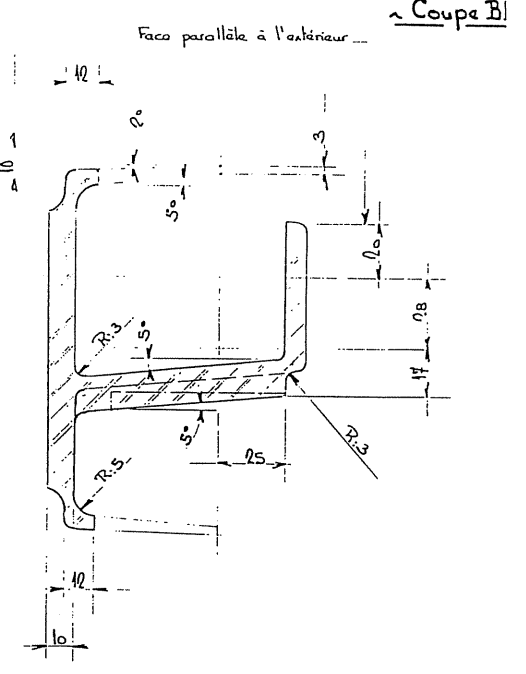
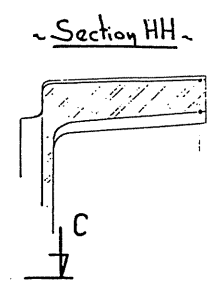
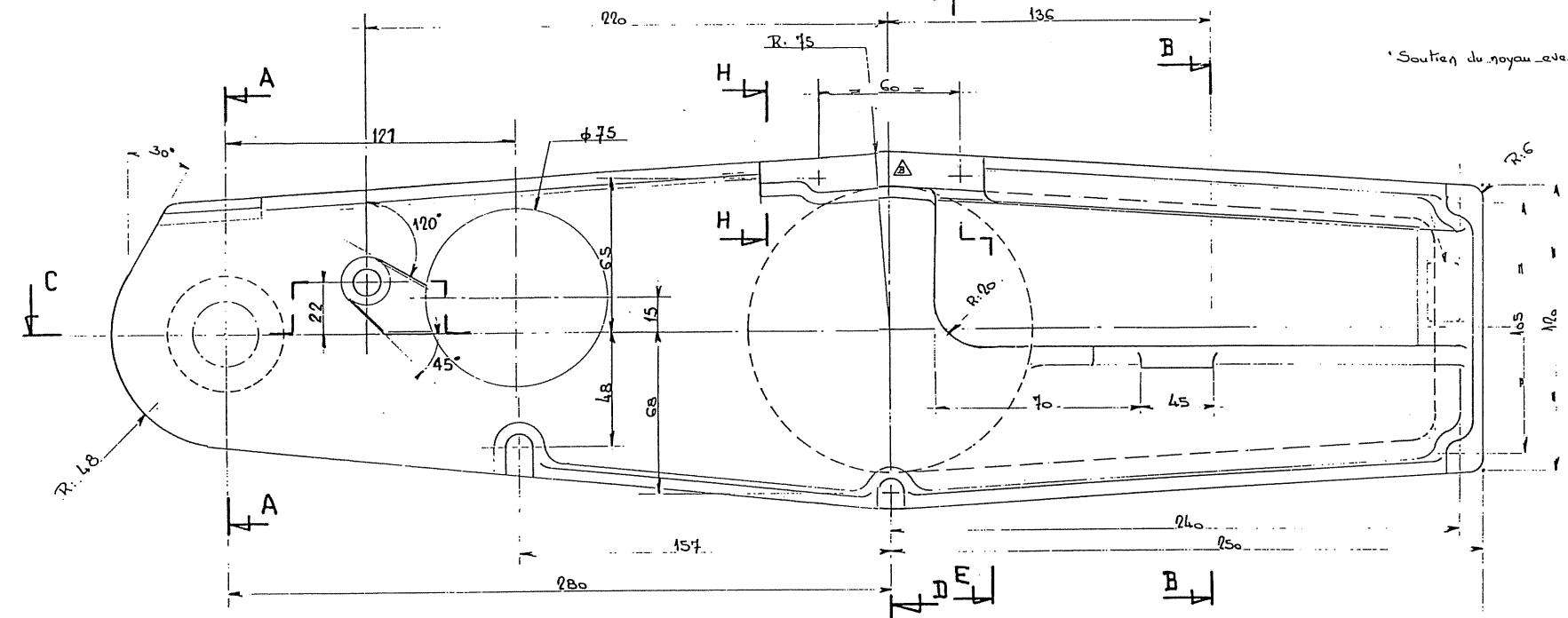
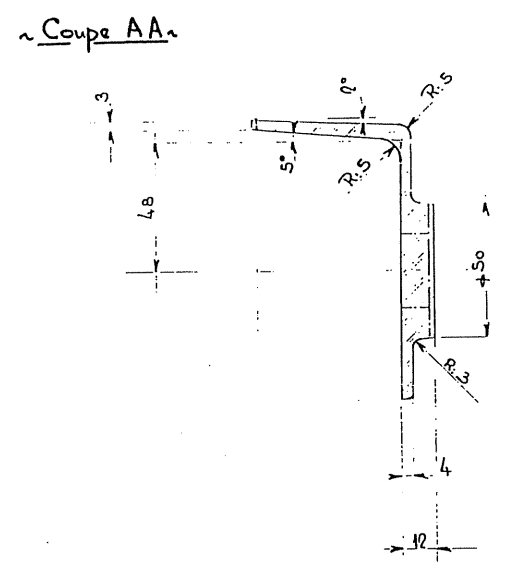
Connecteur

- 1 * Moteur +
- 2 Vcc
- 3 Canal A
- 4 Canal B
- 5 GND
- 6 * Moteur -
- 7 -
- 8 -
- 9 -
- 10 -

Signaux de sortie
avec rotation de l'axe du moteur à droite
Codeurs 20B canal A précède canal B
Codeurs 20B canal B précède canal A

Circuit de sortie
* Moteurs type 2842, 3540, 3557
avec connecteurs séparés

Connecteur de sortie
(Molex série 40312)
Câble plat - PVC
6 conducteurs - 0,09 mm²

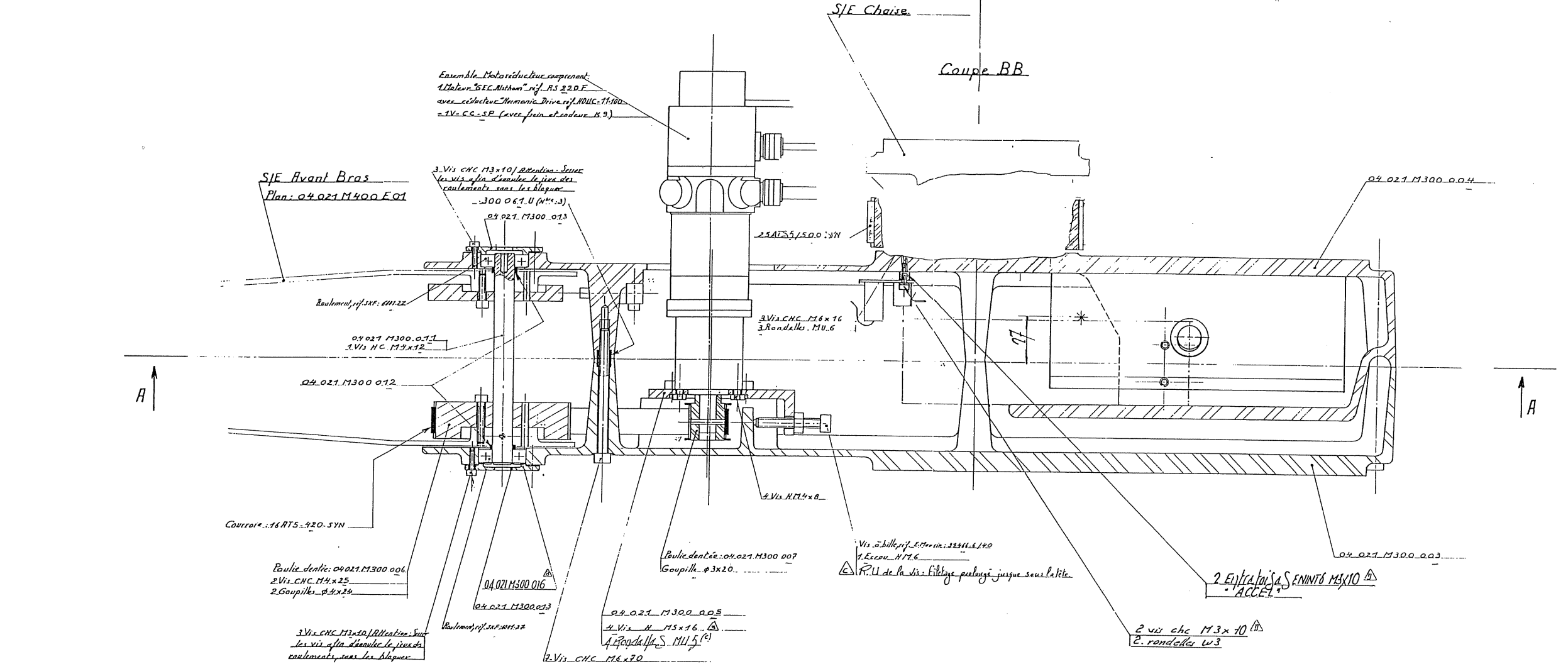
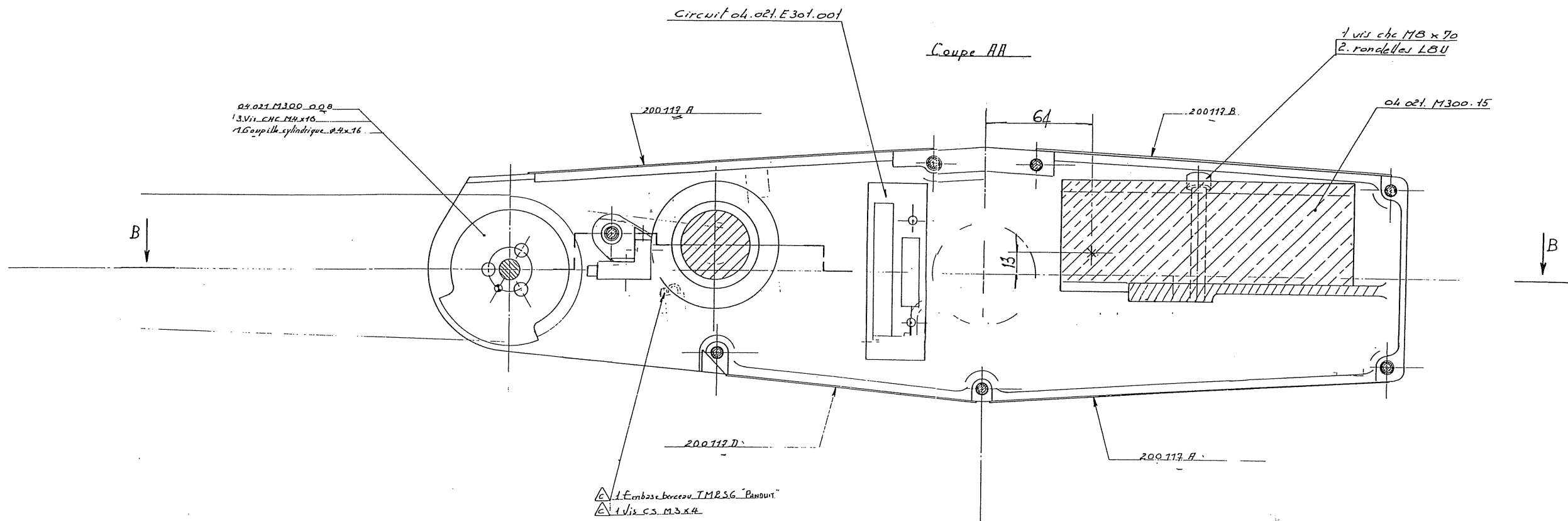


NOTA: Rayon non coté R: 1

Document 6

Fonderie du
demi-bras droit

R1106 Y20		Matériau - Protection - Traitement - Usage - Observations	
Tolérance générale :		Ce document ne peut être réproduit ou communiqué sans l'autorisation écrite de BARRAS-PROVENCE	
Finitions :	Chambres :	Rayon :	
BARRAS PROVENCE		N° Client :	
21, Saint-Joseph - 04100 MANOSQUE		ERIC 3	
Tél. 92.72.11.03 - Télécopie 92.72.6		FONDERIE DROITE BARRAS	
Télex 430.159 F		N° Crant :	
A 17.5.57 Etablissement du plan APE		Ech. 1/2 Pl. 1	
		IND 021 M 300 01	



Document 7

Sous-ensemble
Bras

- Poids de l'ensemble monté: 15,5 Kgd.
* Position du centre de gravité.

Nota: Visserie immobilisée à la 'Lectite' - 'Twin Fikt léger'

37.03

J. 1573-Cg

Rep.		Maître - Protection - Traitement - Usinage - Observations	
Tolérance générale:		Ce document ne peut être reproduit ou communiqué sans l'autorisation écrite de BARRAS PROVENCE.	
Finitions: Châtelain		Rayon	
N° Client:		BARRAS PROVENCE Z.I. Saint-Joseph - 04100 MANOSQUE Tel. 92.72.11.03 - Télécopie: 92.72.60.80 Télex: 430 159 F	
N° Circuit:		S/JE Bras	
Ech. 1/2		Pl. 1/1	
MO	DATE	MODIFICATION	BESS / DATE / APPR