

3^è ANNÉE

Concours : MÉCANIQUE
MÉCANIQUE ET CONCEPTION

DURÉE : 4 HEURES

Aucun document n'est autorisé

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule à la fois étant admise sur la table ou le poste de travail.

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

Étude d'un mandrin de machine skin-pass



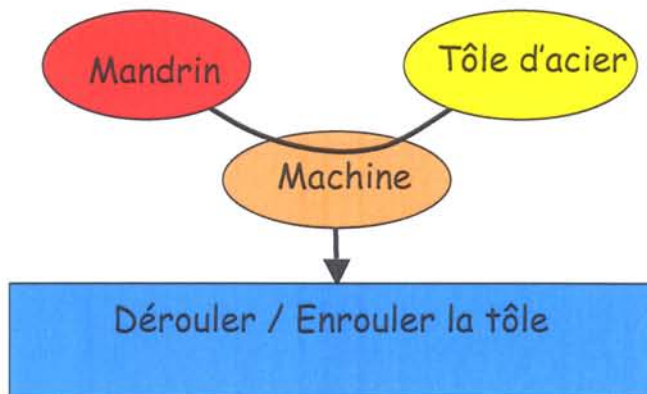
- Document 1 : Format A3 du mécanisme complet.
- Document 2 : Format A3 du mandrin.
- Document 3 : Document réponse de la partie conception.

1. Mise en situation du mécanisme étudié

1.1 Analyse du besoin de la machine.

La machine, dont ce mandrin est un composant, permet de traiter les tôles afin de leur donner certaines caractéristiques mécaniques ou chimiques.

Ce produit a été conçu pour répondre au besoin associé à l'utilisation, de plus en plus fréquente, de tôles dans les domaines mécaniques que sont l'aéronautique, l'aérospatial et l'automobile. Cette utilisation nécessite des caractéristiques mécaniques très précises (absorption des chocs, résistance chimique à des milieux très corrosifs, entretien minimal etc.) et un état de surface souvent irréprochable (carrosserie automobile, revêtement etc.).



Les critères associés à ce besoin sont les différents types de traitements réalisables :

- un traitement mécanique appelé Skin-Pass, qui consiste à obtenir un effet polymiroir de la tôle,
- des traitements chimiques (peinture, antioxydation...etc).

De manière générale, le procédé de Skin-Pass est toujours réalisé sur ce type de machine, celle ci est d'une longueur de dix mètres environ.

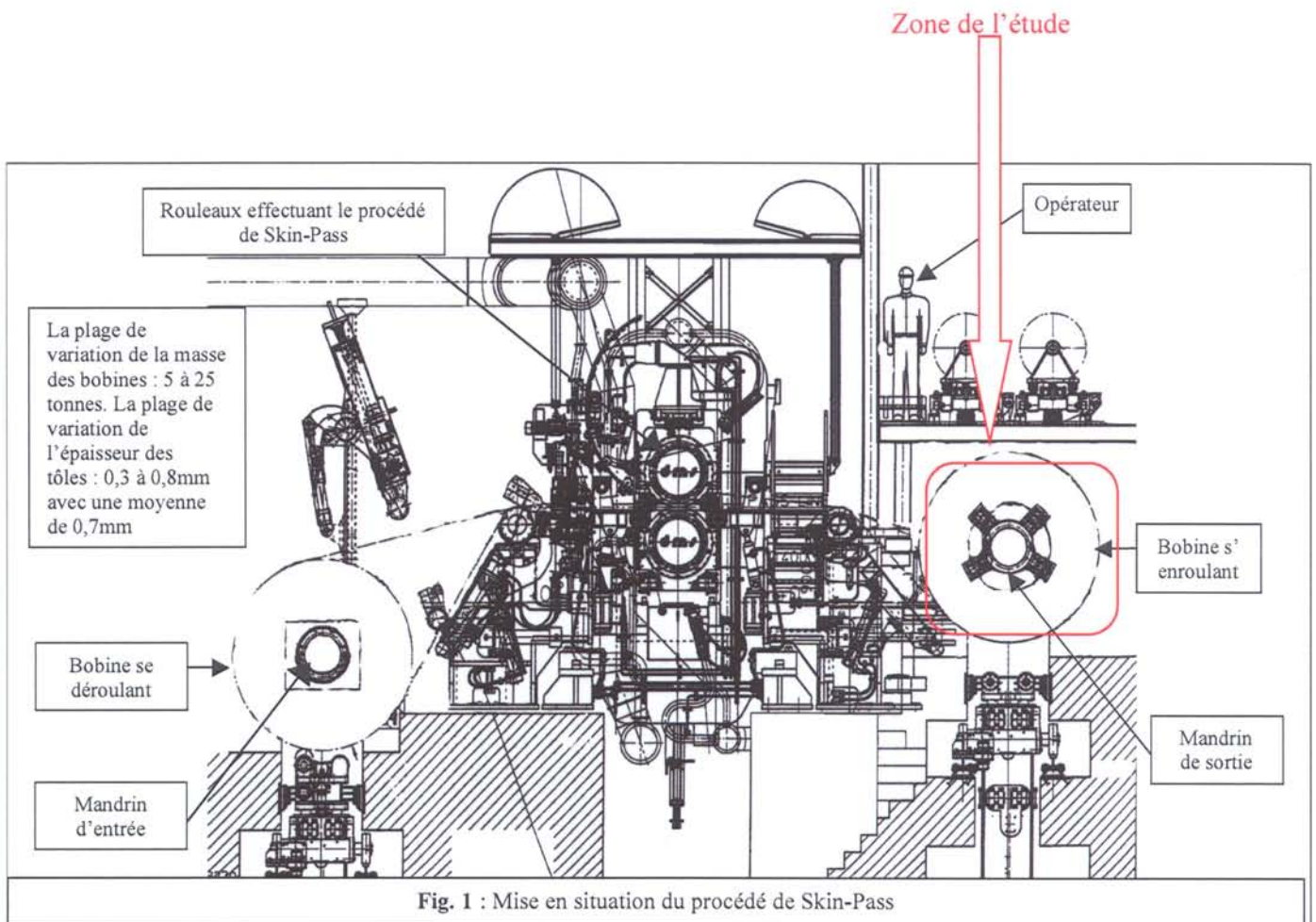
1.2 Phases de vie du mandrin

L'analyse du procédé permet de définir une ou deux phases de vie distinctes : l'enroulement et/ou le déroulement.

La figure 1 page 3, montre le fonctionnement général du procédé avec les données caractéristiques. Le procédé de Skin-Pass peut se faire de deux manières, selon le type d'acier inox traité :

- En une passe : la tôle arrive du mandrin d'entrée, passe entre les rouleaux et ressort par le mandrin de sortie (Inox série AISI 300).
- En trois passes (acier ferritique inox série AISI 400) : la tôle arrive par le mandrin d'entrée, passe entre les rouleaux et est récupérée par le mandrin de sortie. Le mandrin de sortie devient alors celui d'entrée, la tôle repasse par les rouleaux et est récupérée par le mandrin d'entrée. Un dernier passage est alors réalisé du mandrin d'entrée vers le mandrin de sortie pour permettre de sortir la bobine toujours du même côté de la machine.

Dans le cadre de l'étude, la majorité des bobines étaient en aciers inox série AISI 304, on suppose donc que chaque mandrin ne possède qu'une seule phase de vie issue du procédé (un seul mandrin enroule et un seul mandrin déroule).



1.3 Analyse du besoin du mandrin associé à la phase de vie retenue

Le mandrin est un outil indispensable car il est l'organe d'entrée et de sortie de la matière d'œuvre du procédé.

Ce produit est essentiel du fait des conditions de stockage des tôles et de réalisation des procédés. En effet, le bobinage reste actuellement la seule manière de déplacer et de stocker des tôles en toute sécurité. De plus, le procédé de Skin-Pass n'est pas réalisable directement sur les bobines.

1.4 Présentation des différents composants (Cf Document 2) :

Les deux figures ci-dessous (figures 2 & 3) montrent les différentes parties du mandrin expansible. On distingue 2 parties sur le mandrin, l'une permettant l'accouplement avec le moteur et l'autre, le positionnement de la bobine.

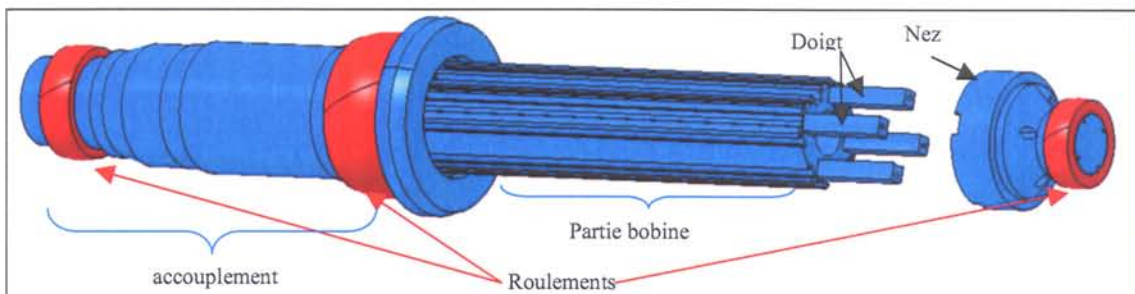


Fig. 2 : Arbre du mandrin et éléments fixes sur celui-ci

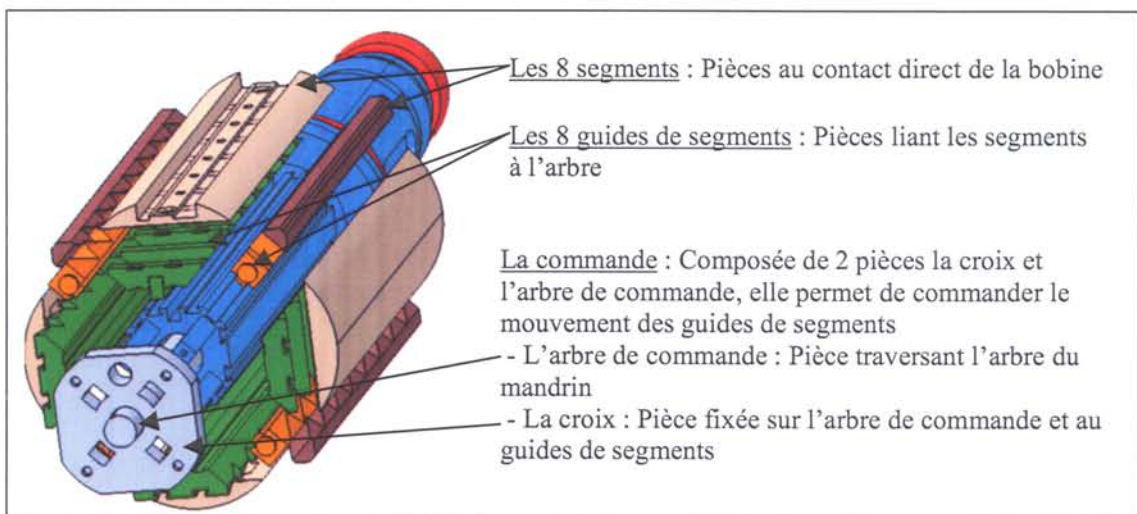
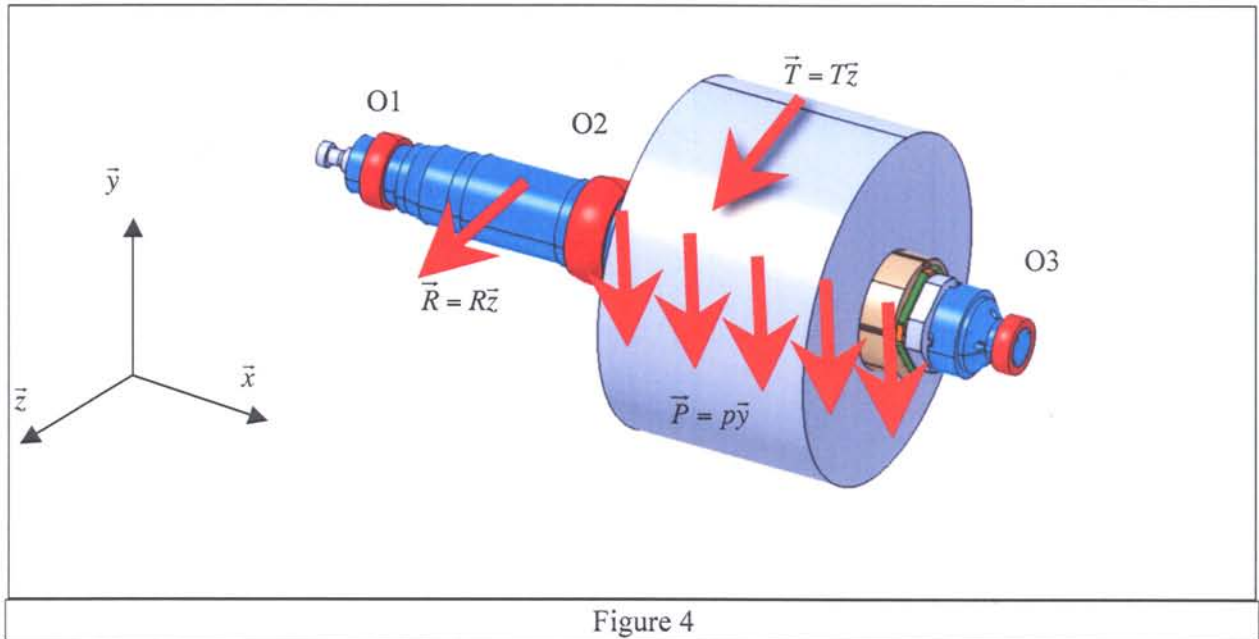


Fig. 3 : Vue éclatée du mandrin

2 Étude de la flexion de l'arbre

2.1 Présentation du problème :

Le chargement auquel est soumis le mandrin lors de la phase de vie d'enroulement ou de déroulement est donné par la figure 4, ci-dessous :



Les trois roulements sont modélisés dans cette étude comme étant en liaison rotule avec le bâti, les centres de ces trois liaisons rotules sont O1, O2 et O3.

Un effort \vec{R} , représentant l'effort de la clavette sur l'arbre, s'exerce en A, tel que $\vec{O_1A} = a\vec{x} + \frac{D_{12}}{2}\vec{y}$. Un effort \vec{T} , représentant l'effort de traction sur la bobine s'exerce en B tel

que : $\vec{O_2B} = b\vec{x} + \frac{D_{23}}{2}\vec{y}$. Le poids de la bobine est représenté par un effort réparti \vec{P} , entre O2 et O3 (le poids de l'arbre est négligé devant le poids de la bobine).

On donne : $\vec{O_1O_2} = L_{12}\vec{x}$ et $\vec{O_2O_3} = L_{23}\vec{x}$

2.2 Modélisation associée

Pour simplifier l'étude on considère que l'arbre étudié a un diamètre D12 entre O1 et O2, et un diamètre D23 entre O2 et O3.

- 2.2.1 Faire un schéma simplifié, en vue de l'étude de la déformation de l'arbre étudié, considéré comme une poutre. On installera les différents paramètres géométriques (a,b,D12,D23,...).
- 2.2.2 À quelles sollicitations est soumise cette poutre ?
- 2.2.3 Calculer les moments quadratiques relatifs à ces sollicitations, pour chacune des deux parties de l'arbre (entre O1 et O2 puis entre O2 et O3).

2.3 Calcul de la déformée et des efforts

On cherche ici à calculer les déformations par la théorie des poutres : on utilise le modèle de Timoshenko ou théorie naturelle des poutres, on rappelle que dans ce modèle de flexion la différence entre la dérivée de la flèche et la rotation de la section est proportionnelle à l'effort tranchant.

- 2.3.1 Ecrire toutes les équations du problème de statique des poutres (liaisons, équilibre et relations de comportement) en prenant soin de préciser clairement les inconnues du problème.
- 2.3.2 Trouver la solution du problème posé précédemment puis tracer l'allure de la déformée.
- 2.3.3 Calculer la contrainte équivalente de Von-Mises maximale.

3 Étude de la torsion de l'arbre :

3.1 Problématique associée

On s'intéresse ici au gauchissement de l'arbre (Cf figure 2), sachant que sur la partie de l'arbre qui supporte la bobine, la section n'est pas circulaire. Le gauchissement peut alors entraîner un déplacement axial des doigts et peut conduire à une détérioration prématurée du nez.

On impose sur $x=L$ (resp $x=0$) une densité d'effort telle que sa résultante soit nulle et son moment résultant vaille C (resp. $-C$) dans la base présentée figure 4.

3.2 Mise en équation du problème de gauchissement :

- 3.2.1 Ecrire toutes les équations du problème d'élasto-statique en faisant l'hypothèse des petites perturbations (liaisons, équilibre et relations de comportement) en prenant soin de préciser clairement les inconnues du problème.
- 3.2.2 On cherche une solution en déplacement de la forme :
$$\vec{u} = \alpha(x \vec{e}_x \wedge \vec{OM} + \psi(y,z)\vec{e}_x)$$

Calculer la déformation associée ainsi que la contrainte en fonction des coefficients de Lamé (le matériau est supposé élastique linéaire homogène et isotrope). Calculer la variation de volume.
- 3.2.3 Préciser l'ensemble des conditions à vérifier par $\psi(y,z)$ pour que \vec{u} soit la solution du problème précédent.
- 3.2.4 Quel est le lien entre C et α ?

3.3 Solution approchée:

Dans cette partie on suppose que la répartition des efforts est connue sur $x=L$ (elle est opposée en $x=0$), elle est orthoradiale et linéaire par rapport au rayon r :

$$\vec{F} = A r \vec{e}_\theta$$

- 3.3.1 Ecrire la relation liant A et C .
- 3.3.2 On cherche à présent la meilleure solution de la forme :
$$\vec{u} = \alpha(x \vec{e}_x \wedge \vec{OM} + (c y + d z)\vec{e}_x)$$

- Déterminer c et d en appliquant le théorème de l'énergie potentielle.
- 3.3.3 Cette solution est-elle exacte ? Pourquoi ?

4 Étude dynamique de l'enroulement d'une tôle :

4.1 Problématique associée

L'enroulement d'une tôle se fait à vitesse constante et tension constante. On se propose de déterminer les couples instantanés à appliquer à l'arbre en vue du choix du moteur d'entraînement en appliquant le théorème du moment dynamique en projection sur l'axe de rotation.

L'effort de tension de la tôle sera prise à 8 000 daN.

4.2 Détermination du couple pour une inertie constante

On se place dans le cas d'une inertie constante de l'ensemble : $J_{\max} = 14\,200 \text{ kgm}^2$. On donne le profil de vitesse souhaitée par le constructeur en fonction du temps (Cf Annexe 1). On prendra un rayon constant de 1,2 mètres pour la bobine.

- 4.2.1 Déterminer les caractéristiques cinématiques de la rotation du mandrin.
- 4.2.2 Déterminer la courbe de couple en fonction du temps.

4.3 Détermination du couple pour une inertie variable

On se place dans le cas où l'inertie varie linéairement en fonction de l'angle Θ caractérisant la rotation de l'arbre par rapport au bâti.

On se place dans les mêmes conditions que précédemment. On prendra l'inertie initiale $J_{\min} = 270 \text{ kgm}^2$ et un rayon minimal de 295 mm : le nombre de tours est de 1100, la tôle ayant une épaisseur de 0,8 mm et une largeur de 1,1m.

4.3.1 Déterminer les caractéristiques cinématiques de la rotation du mandrin, dans les deux premières phases du mouvement : pour cela, on résoudra l'équation différentielle du second ordre en utilisant le changement de variable $p = (d\theta/dt)^2$.

4.3.2 Déterminer la courbe de couple en fonction du temps, uniquement pour les deux premières parties du mouvement : on précisera clairement les hypothèses supplémentaires, si nécessaire.

4.4 Détermination du couple du moteur d'entraînement

En fonction des résultats précédents, donner la valeur du couple maximum du moteur ainsi que son couple nominal sachant que la réduction d'engrenages est de $\frac{1}{4}$, pour les deux configurations envisagées (inertie constante puis variable).

5 Reconception de la liaison vérin – tirant

Préambule : On s'intéresse à la liaison entre le vérin et la tige (Cf Document 1 section FF). Celle-ci est réalisée actuellement par l'intermédiaire de deux demis coquilles. Compte tenu des efforts importants générés et du frottement, l'usure rapide de cette

liaison nécessite des maintenances rapprochées. Les vitesses de rotation sont comprises entre 5 rd/s et 40 rd/s, les efforts axiaux étant limités à 10 000daN.

5.1 Problématique associée

On souhaite remédier à ce problème, en proposant une solution technologique basée sur du frottement de roulement. On conservera les pièces voisines et on s'intéressera uniquement à la liaison entre la tige du vérin et la tige de commande de l'expansion du mandrin.

5.2 Schémas de la solution proposée

Faire un schéma cinématique de la solution actuelle.

Proposer un schéma technologique, en choisissant les éléments roulants dans la documentation fournie (Annexe 2), répondant à la problématique énoncée.

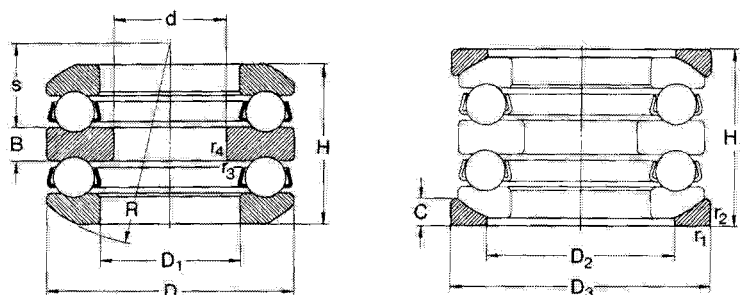
5.3 Proposition d'une solution

Sur le format A3 (Document 3), à l'échelle 1 et aux instruments, proposer un avant projet de solution. On s'assurera que le positionnement du vérin avec la tige de commande soit bien réalisée. Les différents encombrements seront pris sur le Document 1.

On précisera les éléments roulants choisis dans l'annexe 2 ainsi que les ajustements.

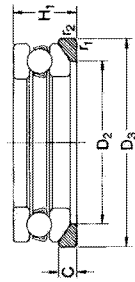
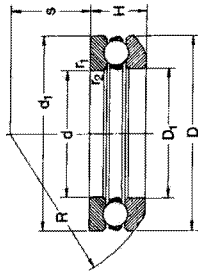
Annexe 2

**Butées à billes
à double effet
à rondelles-logement sphériques**
d 25-80 mm



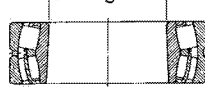
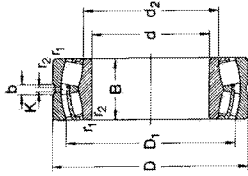
Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue P_u	Facteur de charge axiale A	Vitesses de base		Masses		Désignations	
d	D	H	dyn. C	stat. C_0			Lubrification graisse	huile	Butée	Contre-plaque	Butée	Contre-plaque
mm			N		N	-	tr/min		kg	-	-	-
25	60	41,3	37 700	71 000	2 650	26	2 800	3 800	0,47	0,056	54306	U 306
30	62	37,8	35 100	73 500	2 700	28	3 000	4 000	0,42	0,057	54207	U 207
	68	38,6	48 800	106 000	4 000	58	2 800	3 800	0,56	0,070	54208	U 208
	68	47,2	49 400	96 500	3 550	48	2 400	3 400	0,68	0,084	54307	U 307
	76	54,1	61 800	122 000	4 500	77	2 000	3 000	1,05	0,12	54308	U 308
35	85	56,3	76 100	153 000	5 600	120	1 900	2 800	1,25	0,17	54309	U 309
	100	78,9	130 000	265 000	9 800	370	1 600	2 200	2,70	0,32	54409	U 409
40	95	64,7	88 400	190 000	6 950	190	1 800	2 600	1,85	0,23	54310	U 310
	110	83,2	159 000	340 000	12 500	600	1 500	2 000	3,55	0,46	54410	U 410
45	90	49,6	61 800	146 000	5 400	110	1 900	2 800	1,15	0,15	54211	U 211
50	110	70,7	101 000	224 000	8 300	260	1 600	2 200	2,60	0,31	54312	U 312
65	140	86,1	159 000	390 000	13 700	790	1 200	1 700	5,05	0,57	54316	U 316
	170	128,5	270 000	670 000	22 400	2 300	850	1 200	14,0	1,40	54416	U 416
70	150	92,5	190 000	465 000	16 000	1 100	1 100	1 600	6,35	0,81	54317	U 317
80	210	159,9	371 000	1 060 000	31 500	5 800	700	950	26,0	2,90	54420	U 420

Butées à billes à simple effet à rondelle-logement sphérique
d 12-70 mm



Dimensions d'encroisement	Charges de base stat.			Limite de charge P _u	Facteur de charge dynamique A	Vitesse de base	Masses de base	Designations	
	dyn.	C	C ₀						Bilée
d	D	H	C	C ₀		tr/min	kg		
12	28	11,4	13 300	20 800	765	2,2	6 000 8 000	0,033 0,012	53201 U 201
15	32	13,3	16 500	27 000	1 000	3,8	5 300 7 000	0,049 0,014	53202 U 202
17	35	13,2	17 200	30 000	1 100	4,7	5 000 6 700	0,056 0,015	53203 U 203
20	40	14,7	22 600	40 500	1 530	8,5	4 500 6 000	0,082 0,020	53204 U 204
25	47	16,7	27 600	55 000	2 040	15	4 000 5 300	0,12 0,032	53205 U 205
30	52	17,8	25 500	51 000	1 900	13	3 600 4 800	0,14 0,038	53206 U 206
35	62	19,9	35 100	73 500	2 700	28	3 000 4 000	0,22 0,057	53207 U 207
40	68	20,3	46 800	105 000	4 000	58	2 800 3 800	0,28 0,070	53208 U 208
45	73	21,3	39 000	86 500	3 200	38	2 600 3 600	0,30 0,087	53209 U 209
50	78	23,5	49 400	115 000	4 300	69	2 400 3 400	0,37 0,10	53210 U 210
55	90	27,3	61 800	146 000	5 400	110	1 900 2 800	0,60 0,15	53211 U 211
60	95	28,5	62 400	150 000	5 600	120	1 900 2 800	0,66 0,16	53212 U 212
65	100	28,7	63 700	163 000	6 000	140	1 800 2 600	0,73 0,18	53213 U 213
70	105	28,8	65 000	173 000	6 400	160	1 800 2 600	0,78 0,19	53214 U 214
75	110	29,4	68 400	190 000	6 950	180	1 800 2 600	0,87 0,23	53310 U 310
80	115	29,4	106 000	240 000	8 800	300	1 500 2 000	1,30 0,34	53311 U 311
85	120	30,1	101 000	224 000	8 300	260	1 600 2 200	1,40 0,28	53312 U 312
90	130	34,3	190 000	430 000	16 000	960	1 100 1 600	3,10 0,71	53412 U 412
95	130	34,3	190 000	430 000	16 000	960	1 100 1 600	3,10 0,71	53412 U 412
100	140	35,8	234 000	550 000	19 300	1 600	950 1 400	5,50 1,00	53414 U 414

Roulements à rotule sur rouleaux
d 60-85 mm

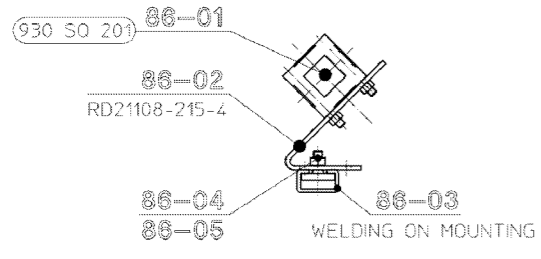


Alésage cylindrique

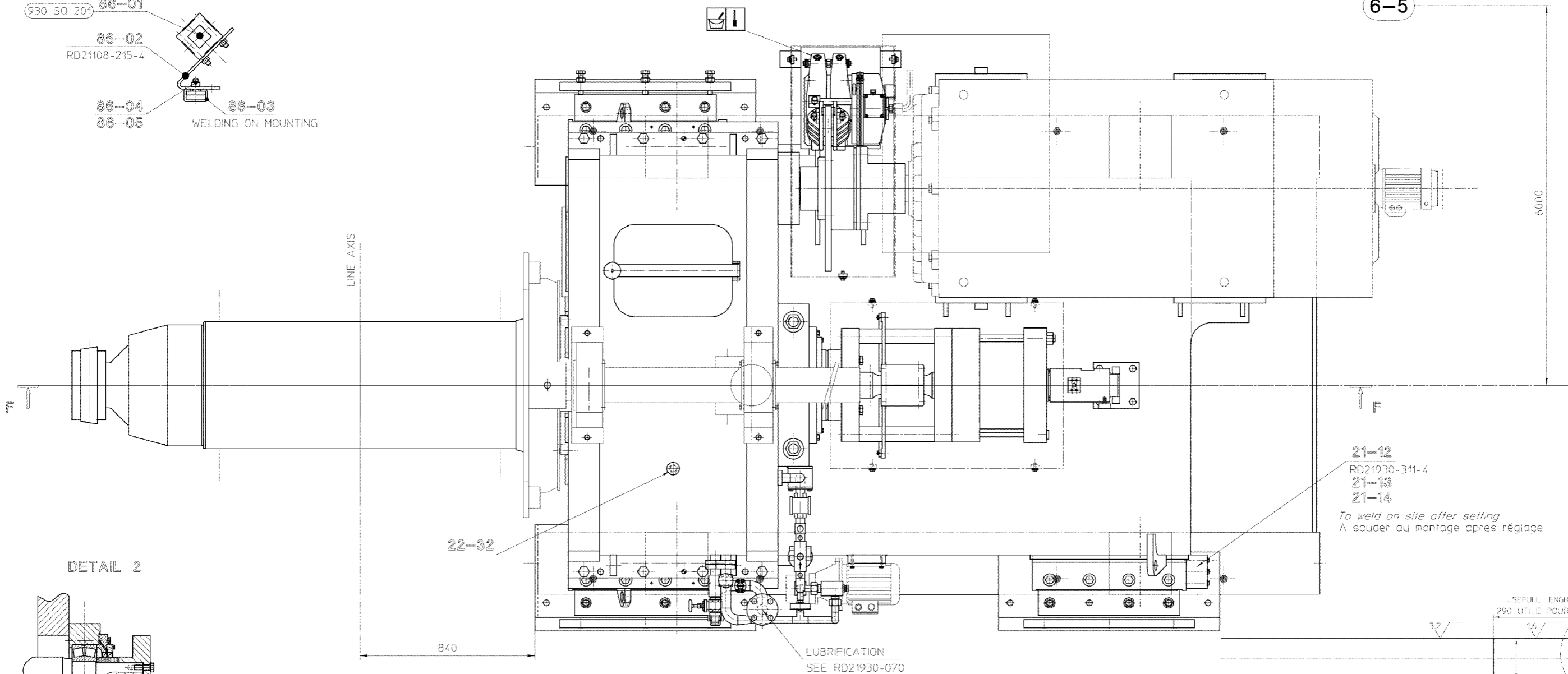
Alésage conique

Dimensions d'encroisement	Charges de base stat.			Limite de charge P _u	Vitesse de base	Masse	Designations
	dyn.	C	C ₀				
d	D	B	C	C ₀	tr/min	kg	
60	110	28	122 000	146 000	16 300	1,10	22312 CC
	110	28	140 000	173 000	19 000	1,15	22312 E
	130	31	161 000	200 000	23 200	1,95	21312 CC
	130	46	235 000	280 000	30 000	3 000	22312 CC
	130	46	271 000	335 000	36 500	2 800	22312 E
65	120	31	148 000	183 000	21 200	1,45	22313 CC
	120	31	175 000	216 000	24 000	1,50	22313 E
	140	33	184 000	240 000	27 000	2 800	21313 CC
	140	48	253 000	300 000	32 800	2 600	22313 CC
	140	48	289 000	360 000	38 000	2 600	22313 E
70	135	31	148 000	186 000	21 200	1,55	22314 CC
	135	31	175 000	228 000	25 500	1,55	22314 E
	150	35	207 000	260 000	29 000	3,00	21314 CC
	150	51	311 000	380 000	40 000	2 400	22314 CC/W33
	150	51	345 000	430 000	45 000	2 200	22314 E
75	130	31	159 000	203 000	23 600	1,65	22315 CC
	130	31	184 000	243 000	27 500	1,65	22315 E
	160	37	225 000	300 000	32 500	3,55	21315 CC
	160	55	345 000	430 000	44 000	2 200	22315 CC/W33
	160	55	385 000	475 000	48 000	2 200	22315 E
80	140	33	175 000	225 000	26 000	2,05	22316 CC
	140	33	200 000	260 000	30 000	2,05	22316 E
	170	39	258 000	335 000	36 000	4,20	21316 CC
	170	58	374 000	455 000	46 500	2 800	22316 CC/W33
	170	58	431 000	540 000	54 000	2 200	22316 E
85	150	36	210 000	270 000	31 000	2,55	22317 CC/W33
	150	36	235 000	300 000	35 000	2,55	22317 E
	180	45	293 000	375 000	40 000	5,00	21317 CC
	180	60	420 000	520 000	52 000	1 900	22317 CC/W33
	180	60	477 000	620 000	61 000	1 900	22317 E

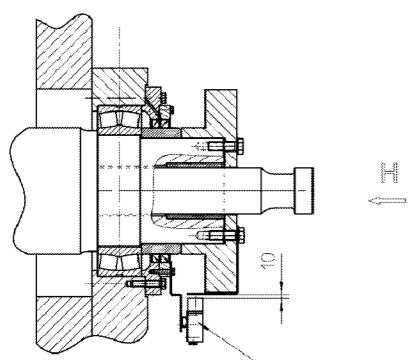
DETAIL -1-
SCALE 2/5



VIEW A

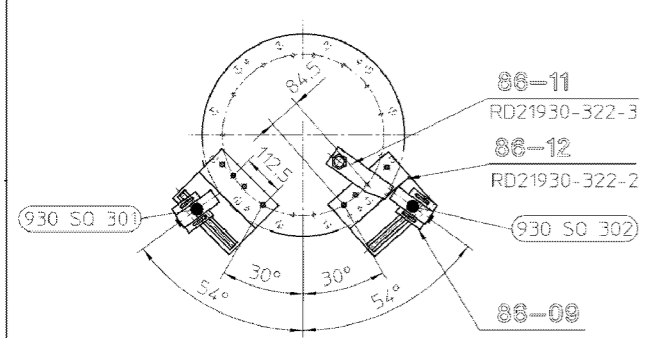


DETAIL 2

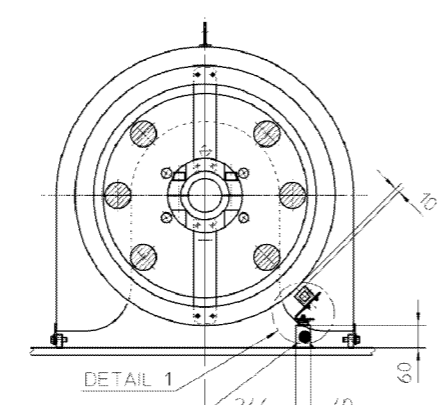


86-01
LIMIT SWITCH TELEMECANIQUE
XS7-C40PC40-XSZ-PE13

VIEW H

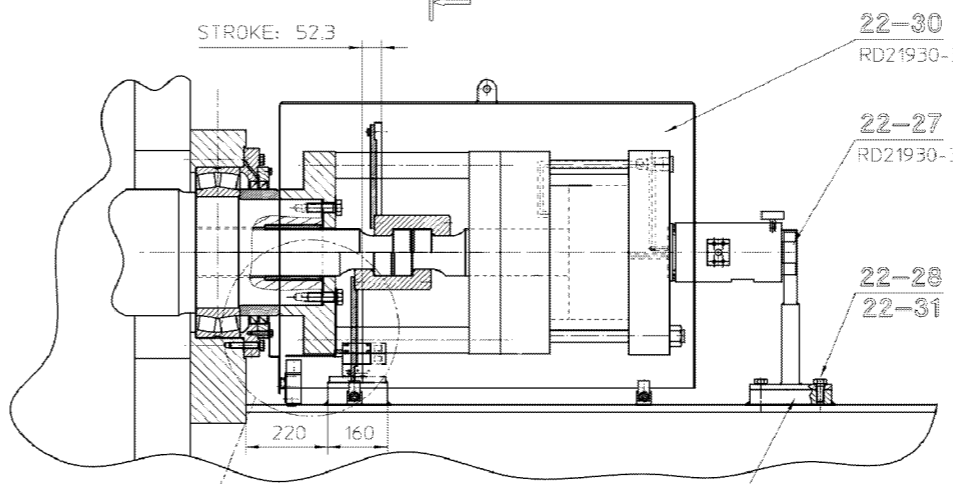


SECTION G-G



86-10
WELDING ON MOUNTING

SECTION F-F



22-29
RD21930-320-4
WELDING ON MOUNTING

6-5

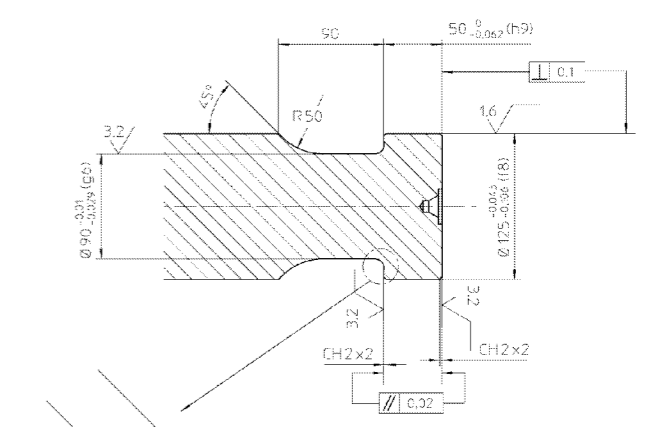
21-12
RD21930-311-4
21-13
21-14

To weld on site after setting
A souder au montage apres réglage

USEFUL LENGTH
290 UTILE POUR 18

VOIR DETAIL 2

DETAIL 2



Détail tige de mandrin

Echelle : 1/20

NE RIEN ÉCRIRE
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS LA PARTIE BARRÉE

Académie : _____ Session : _____
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)

Axe de la liaison