

ENTRAÎNEMENT D'UNE BOITE DE VITESSE DE TOUR

I Cahier des charges fonctionnels

I.1 Présentation du problème

I.1.1 Le produit et son marché

Une entreprise de sous-traitance utilise pour la maintenance de ses appareillages de production, des tours parallèles conventionnels.

Ces tours parallèles sont équipés de boîtes mécaniques à six vitesses (le dessin d'ensemble de la boîte de vitesses ne vous est pas fourni).

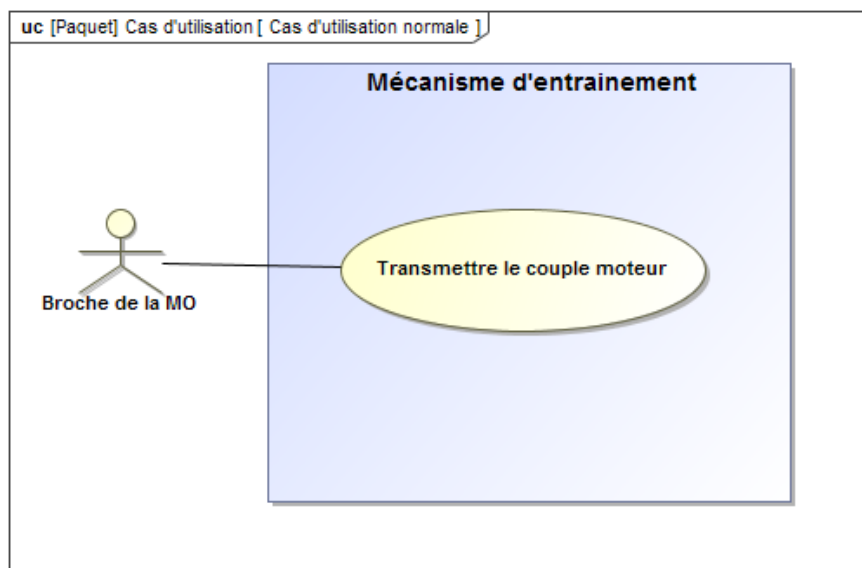
I.1.2 Contexte du projet

L'arbre de sortie 4 de la boîte de vitesses entraîne en rotation une poulie 8 et six courroies trapézoïdales. Il est guidé dans le bâti par 2 roulements : un roulement à billes à contact oblique à deux rangées de billes (situé à gauche du dessin) et un roulement à billes à contact radial (n° 6004).

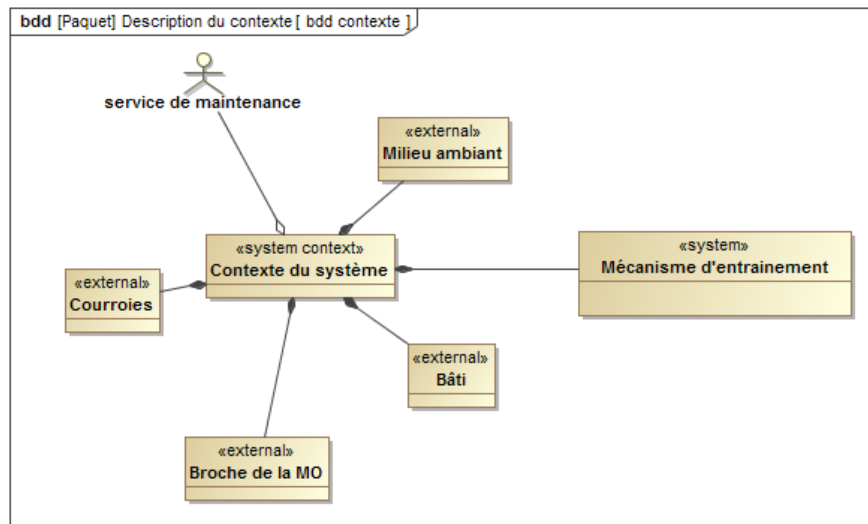
Limites de l'étude

Le travail demandé porte sur le montage de la poulie (mise en position et entraînement) sur un fourreau (fût-support 7) par l'intermédiaire de deux roulements à billes à contact radial (n° 6009).

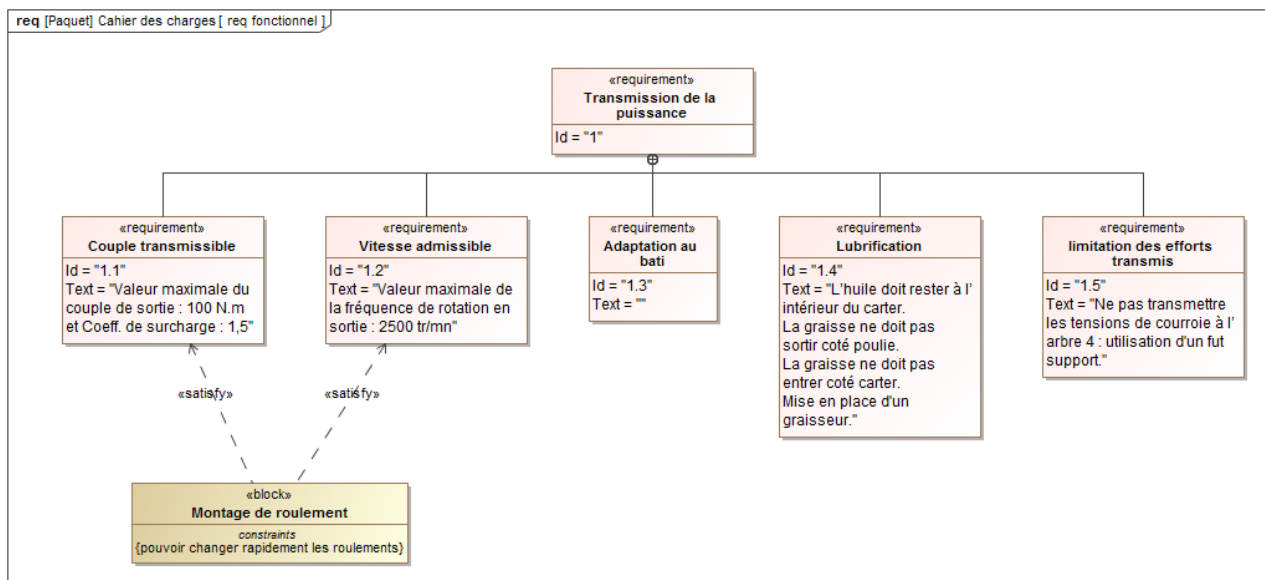
I.2 Énoncé fonctionnel du besoin



I.2.1 Identification de son environnement



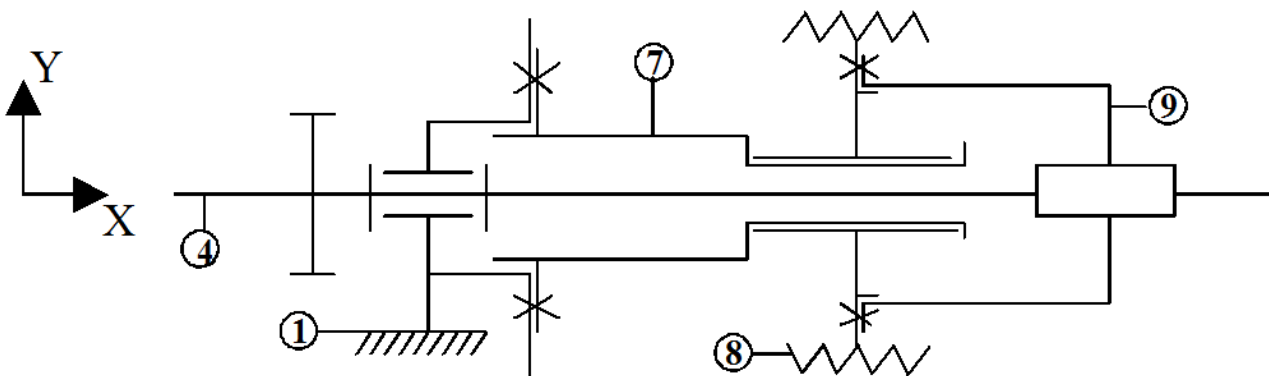
I.2.2 Énoncé des exigences fonctionnelles



II Principe proposé

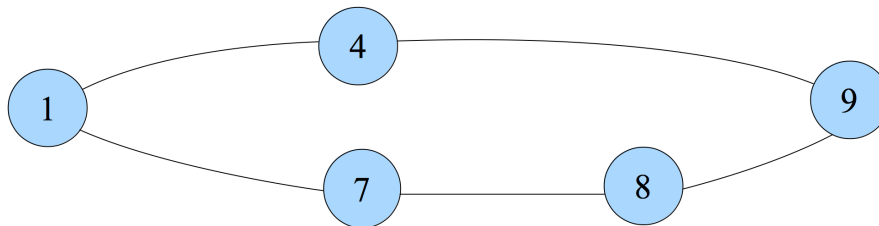
II.1 Schéma d'architecture

Une première phase de l'étude a permis de déterminer le schéma d'architecture incomplet suivant :



Repère des pièces	Désignation
1	Bâti
4	Arbre de sortie de BdV
7	Fût-support
8	Poulie à gorges trapézoïdales
9	Flasque entraîneur

II.2 Graphe de liaison



Repère des liaisons	Désignation	Fonction technique	Indications
1 - 4	Pivot	Guider, supporter et positionner l'arbre 4	Déjà réalisé sur l'épure
1 - 7	Encastrement démontable	Supporter et positionner le fût-support	/
7 - 8	Pivot	Guider, supporter et positionner la poulie 8	2 roulements à billes à contact radial, à définir
4 - 9	Glissière	Transmettre le couple moteur	Cannelures ou clavette, à définir
8 - 9	Encastrement démontable	Assurer la transmission d'effort entre 8 et 9	Liaison encastrement par vis

III Étude de conception en construction mécanique

III.1 Présentation du travail à réaliser

III.1.1 Notice justificative

Q1. Liaison 1 - 7 : Commentez la liaison entre le bâti 1 et le Fût-support 7.

Liaison encastrement réalisée par appui-plan prépondérant, centrage court et des vis CHC pour empêcher la rotation du fût.

Q2. Liaison 1 - 4 : Du côté gauche, l'arbre 4 est guidé et positionné sur le bâti par un roulement à billes à deux rangées de billes à contact oblique. Analysez les arrêts axiaux, commentez. Modélisez la liaison 1 - 4 en modélisant chaque roulement. Qu'en pensez-vous ?

Les bagues extérieures du roulement à double rangées de billes à contact oblique sont bloquées, à droite par un chapeau et à gauche par un boîtier centré sur la bague extérieure. Des vis CHC maintiennent les 2 arrêts. Il devrait y avoir des cales de réglages ou un jeu fonctionnel non représenté sur le dessin. (Vu le diamètre extérieur de l'arrêt de droite, un autre couvercle doit exister sur la boîte de vitesse ???). Il n'y a pas d'arrêts axiaux sur le second roulement (1 rangée de billes à contact radial) pour permettre la dilatation de l'arbre. On peut modéliser le montage par une liaison pivot en parallèle d'une liaison linéaire annulaire. Le montage est donc hyperstatique classiquement utilisé pour le montage d'arbre long.

Q3. Liaison 4 - 9. Le couple maxi à transmettre est de $150 \text{ N} \cdot \text{m}$. Quelles solutions technologiques peut-on envisager pour réaliser cette liaison. Le constructeur pour des raisons économiques et de sécurité, souhaiterait privilégier une solution de transmission par obstacle (clavette ou cannelures droites). Dimensionner chacune de ces solutions et justifier le choix d'utiliser des cannelures : $L = 25$, $6 \times 16 \times 22$. La pression admissible au matage est de 100 MPa .

- Frettage
- Clavette
- Cannelures
- Goupilles
- Soudage

Dans notre cas d'étude, le couple est élevé et il y a besoin d'une solution démontable donc pas de soudage ni de goupille. Le fretage serait trop coûteux et potentiellement long en terme de maintenance.

Calcul de la longueur de clavette

- Surface de contact : $S_{mat} = \frac{b}{2} \cdot L$
- $P_{adm} = 100 \text{ MPa}$
- $F_T = \frac{2 \cdot C_{mot}}{D}$
- $F_T < S_{mat} \times P_{adm}$
- $\frac{2 \cdot C_{mot}}{D} < \frac{b}{2} \cdot L \times P_{adm}$
- $L > \frac{4 \cdot C_{mot}}{D \cdot b \cdot P_{adm}} = \frac{4 \times 150 \cdot 10^3}{20 \times 6 \times 100} = 50 \text{ mm}$
- $L \geq 1.5D$ donc solution par cannelures

La clavette serait trop longue.

Validation de la longueur des cannelures

- $S_{mat} = A \cdot L$
- Avec $A = n \times h \times 0.75$
- $d = 16 \text{ mm}$ et $D = 20 \text{ mm}$
- $n = 6$
- $h = 2$
- $F_T = \frac{2 \cdot C_{mot}}{D}$
- $F_T = S_{mat} \times P$
- $\frac{2 \cdot C_{mot}}{d} = P \cdot n \cdot h \cdot \frac{3}{4} \cdot L$
- $P = \frac{8}{3} \cdot \frac{C_{mot}}{d \cdot n \cdot h \cdot L} = \frac{8 \times 150 \cdot 10^3}{3 \times 16 \times 6 \times 2 \times 25} = 83 \text{ MPa}$
- $P < P_{adm}$ La solution par cannelures est donc bien envisageable.

Q4. Liaison 7 - 8 : En estimant le diamètre de la poulie et supposant que la charge se répartie de manière égale sur chacun des roulements 6009 réalisant la liaison pivot, calculer la durée de vie des

roulements. Pour le calcul, on prendra les valeurs limites de couple et de vitesse. Sachant que le tour fonctionne au plus 2 h par jour, la durée de vie des roulements vous paraît-elle adaptée ?

Dimensions d'engrènement			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesse de base		Masse	Désignation
d	D	B	dynamique C	statique C ₀		Vitesse de référence	Vitesse limite		* Roulement SKF Explorer
mm			kN		kN	tr/min		kg	-
45	75	16	22,1	14,6	0,64	20000	12000	0,25	6009 *

Coefficients de calcul
 k_r 0,025
 f_0 15

Valeurs des coefficients X et Y suivant types de roulement									
roulements rigides à billes (à contact radial)									
si $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ alors $P = F_r$ ($X = 1$ et $Y = 0$) si $\frac{F_a}{F_r} > e$ alors $P = 0,56.F_r + Y.F_a$ les valeurs de e et Y dépendent du rapport $\frac{f_0.F_a}{C_0}$ ou $\frac{F_a}{C_0}$ (voir ci-dessous)									
$\frac{f_0.F_a}{C_0}$	0,172	0,345	0,689	1,03	1,38	2,07	3,45	5,17	6,89
$\frac{F_a}{C_0}$	0,014	0,028	0,056	0,084	0,110	0,170	0,283	0,42	0,5
X^*	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Y^*	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00
e^*	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44
* : valeurs NF ISO 281 ; ** : valeurs usuelles									

Le diamètre de la poulie $D_p = 150$ mm, la vitesse de rotation est $N = 2500$ trs/min et couple moteur $C_{mot} = 150$ N·m. L'effort radial est $F_R = \frac{2.C_{mot}}{D_p} = \frac{2 \times 150}{150 \cdot 10^{-3}} = 2$ kN. A diviser par 2 car, 2 roulements.

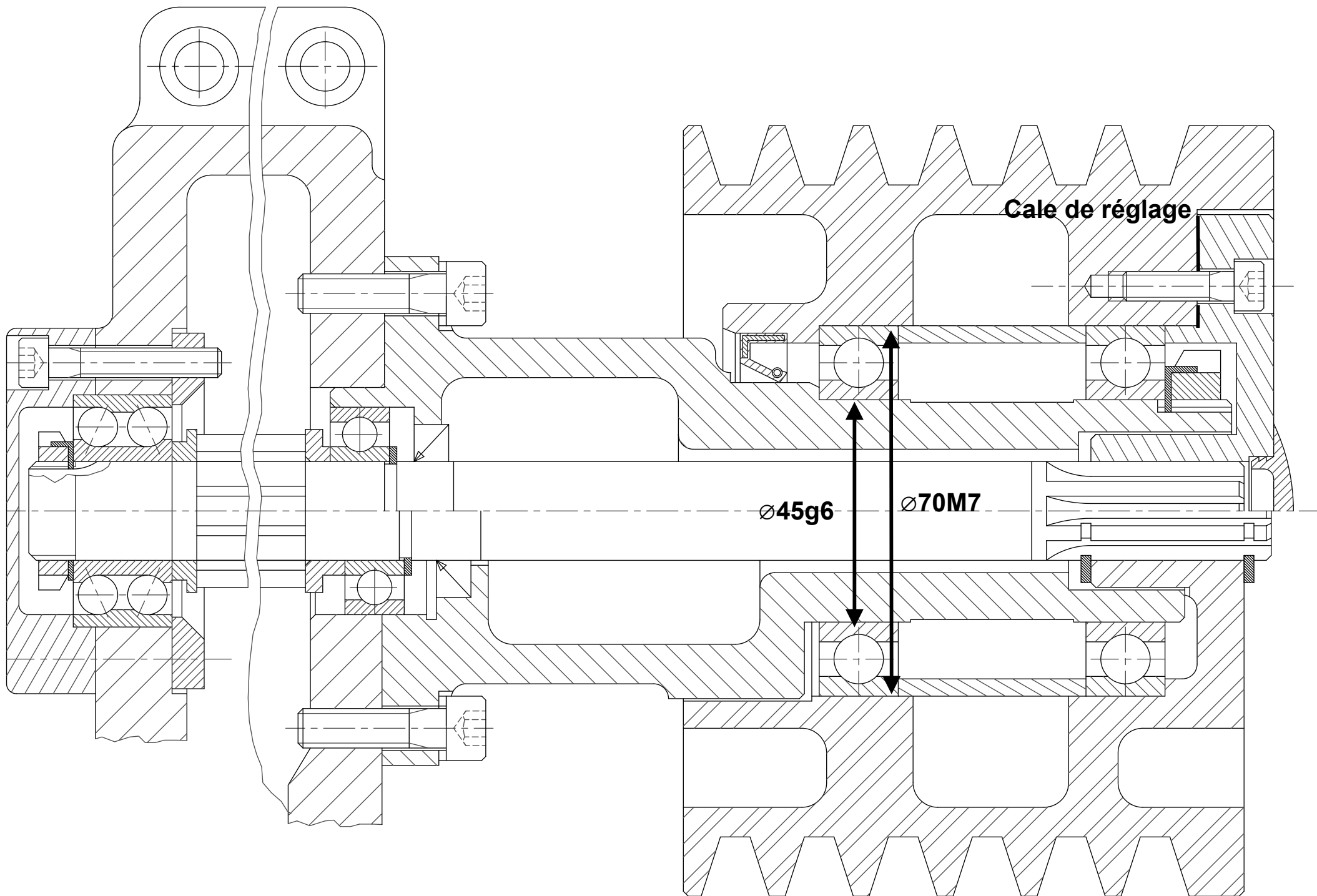
$$L_N = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 10793 \cdot 10^6 \text{ trs et ainsi } L_h = \frac{L_N \times 10^6}{60 \times N} = 72\,000 \text{ h}.$$

Sachant que le tour fonctionne deux heures par jour, cela revient à une durée de vie de 100 ans. Le dimensionnement des roulements est donc très important (surdimensionné ??)

III.1.2 Dessin d'étude de construction mécanique

Q5. Réaliser la conception mécanique comprenant :

- Le montage de la poulie 8 sur le fût-support 7 ;
- L'entraînement de l'arbre 4 avec la poulie 8 via le flasque 9
- L'étanchéité et la lubrification



Q6. Liaison 8 - 9 : Si cette liaison est notamment réalisée à l'aide de vis, déterminer-s'en alors le nombre nécessaire et le diamètre permettant de transmettre le couple de la poulie. La qualité des vis est 8.8, le facteur de frottement entre les surfaces 8 et 9 est $f = 0.1$.

Filetage métrique à pas gros (extrait)						
d (mm)	pas gros	S_{eq} en mm ² section résistante	D_1 (mm)	$D_2 = d_2$ (mm)	d_3 (mm)	pas fins recommandés
1	0,25	0,460	0,729	0,838	0,693	
(1,1)	0,25	0,588	0,829	0,938	0,793	
1,2	0,25	0,732	0,929	1,038	0,893	
(1,4)	0,30	0,983	1,075	1,205	1,032	0,2
1,6	0,35	1,27	1,221	1,373	1,171	0,2
(1,8)	0,35	1,70	1,421	1,573	1,371	0,2
2	0,4	2,07	1,567	1,740	1,509	0,25
(2,2)	0,45	2,48	1,713	1,908	1,648	0,35
2,5	0,45	3,39	2,013	2,208	1,948	0,35
3	0,5	5,03	2,459	2,675	2,387	0,35
(3,5)	0,6	6,78	2,850	3,110	2,764	0,35
4	0,7	8,78	3,242	3,545	3,141	0,5
(4,5)	0,75	11,3	3,688	4,013	3,580	0,5
5	0,8	14,2	4,134	4,480	4,019	0,5
6	1	20,1	4,918	5,350	4,773	0,75
(7)	1	28,9	5,918	6,350	5,773	0,75
8	1,25	36,6	6,647	7,188	6,466	1 - (0,75)
10	1,5	58,0	8,376	9,026	8,160	1,25 - (1 - 0,75)
12	1,75	84,3	10,106	10,863	9,853	1,5 - (1,25 - 1)
(14)	2	115	11,835	12,701	11,546	1,5 - (1,25 - 1)
16	2	157	13,835	14,701	13,546	1,5 - (1)
(18)	2,5	192	15,294	16,376	14,933	2 - (1,5 - 1)
20	2,5	245	17,294	18,376	16,933	2 - (1,5 - 1)
(22)	2,5	303	19,294	20,376	18,933	2 - (1,5 - 1)
24	3	353	20,752	22,051	20,319	2 - (1,5 - 1)
(27)	3	459	23,752	25,051	23,319	2 - (1,5 - 1)
30	3,5	561	26,211	27,727	25,706	2 - (1,5 - 1)
(33)	3,5	694	29,211	30,727	28,706	2 - (1,5)
36	4	817	31,670	33,402	31,093	3 - (2 - 1,5)
(39)	4	976	34,670	36,402	34,093	3 - (2 - 1,5)
42	4,5	1 121	37,129	39,077	36,479	4 - (3 - 2 - 1,5)
(45)	4,5	1 306	40,129	42,077	39,479	4 - (3 - 2 - 1,5)
48	5	1 473	42,587	44,752	41,866	4 - (3 - 2 - 1,5)
(52)	5	1 758	46,587	48,752	45,866	4 - (3 - 2 - 1,5)
56	5,5	2 030	50,046	52,428	49,252	4 - (3 - 2 - 1,5)
(60)	5,5	2 362	54,046	56,428	53,252	4 - (3 - 2 - 1,5)
64	6	2 676	57,505	60,103	56,639	4 - (3 - 2 - 1,5)

Filetage métrique à pas fin (extrait)					
d mm	pas fins	S_{eq} en mm ² section résistante	D_1 mm	$D_2 = d_2$ mm	d_3 mm
8	1	39,2	6,917	7,350	6,773
10	1	64,5	8,917	9,350	8,773
10	1,25	61,2	8,647	9,188	8,466
12	1,25	92,1	10,647	11,188	10,466
12	1,5	88,1	10,376	11,026	10,160
(14)	1,5	125	12,376	13,026	12,376
16	1,5	167	14,376	15,026	14,160
(18)	1,5	216	16,376	17,026	16,160
20	1,5	272	18,376	19,026	18,160
20	2	258	17,835	18,701	17,546
(22)	1,5	333	20,376	21,026	20,160
24	1,5	401	22,376	23,026	22,160
24	2	384	21,835	22,701	21,546
(27)	2	496	24,835	25,701	24,546
30	2	621	27,835	28,701	27,546
(33)	2	761	30,835	31,701	30,546
36	3	865	32,752	34,051	32,319
(39)	3	1 028	35,752	37,051	35,319

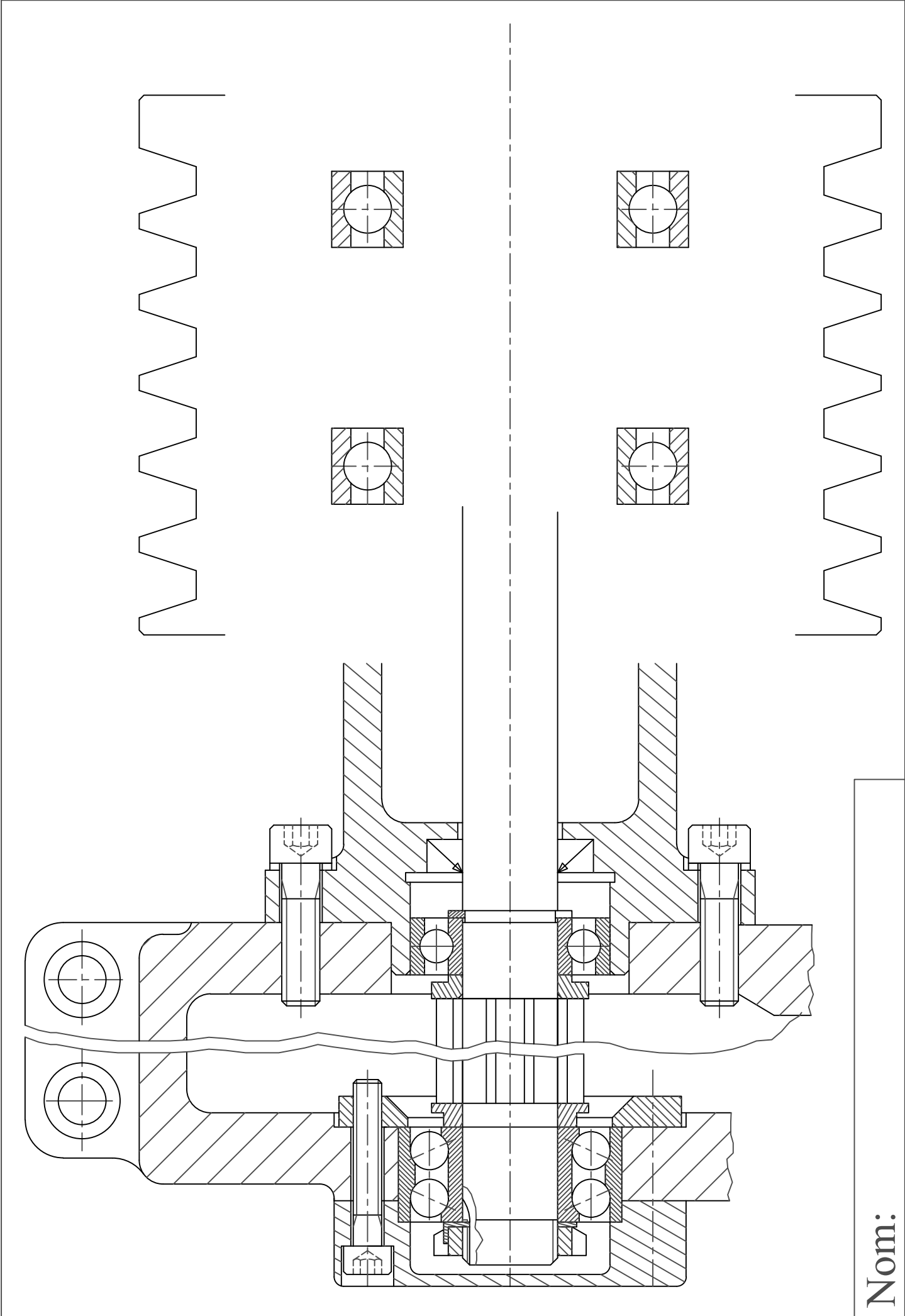
$$C_t = \frac{2}{3} \cdot f \cdot F_N \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}, \text{ ainsi } F_N = \frac{3}{2 \cdot f} \cdot C_t \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^3 - r^3}. \text{ Ainsi}$$

$$F_N = \frac{3}{2 \times 0.1} \cdot 150 \cdot \frac{60^2 - 35^2}{60^3 - 35^3} = 31\,000 \text{ N}$$

En choisissant, des vis de diamètre 4 mm, on trouve $F_{max} = 0.9 \times R_e \times S_{eq} = 0.9 \times 640 \times 8.78 = 5100 \text{ N}$

Il faut donc $N = \frac{F_N}{F_{max}} = \frac{31000}{5100} = 6.07$ soit 6 ou 7 vis à mettre en place.

Sous l'hypothèse de pression uniforme, ce qui est une hypothèse assez forte.



Nom: