

EPREUVE E4

ETUDES DE CONSTRUCTION

SESSION 2000

UNITE U 41 MECANIQUE

Durée : 2 heures

Coefficient : 1

*L'usage de la calculatrice est autorisé.
Aucun document n'est autorisé*

ELEMENT DE CAROTTAGE POUR ARTERES

Présentation

Description de l'appareil	pages 1 et 2
Schéma cinématique	Document technique 1
Plan du prototype	Document technique 2
Schéma du limiteur - rondelles ressorts	Document technique 3
Courbes des caractéristiques de sortie du mécanisme R2	Document technique 4

Etude mécanique

Etude cinématique	pages 3 , 4 , 5 et 6
Détermination des dimensions des éléments	pages 7, 8 , 9 , 10 et 11

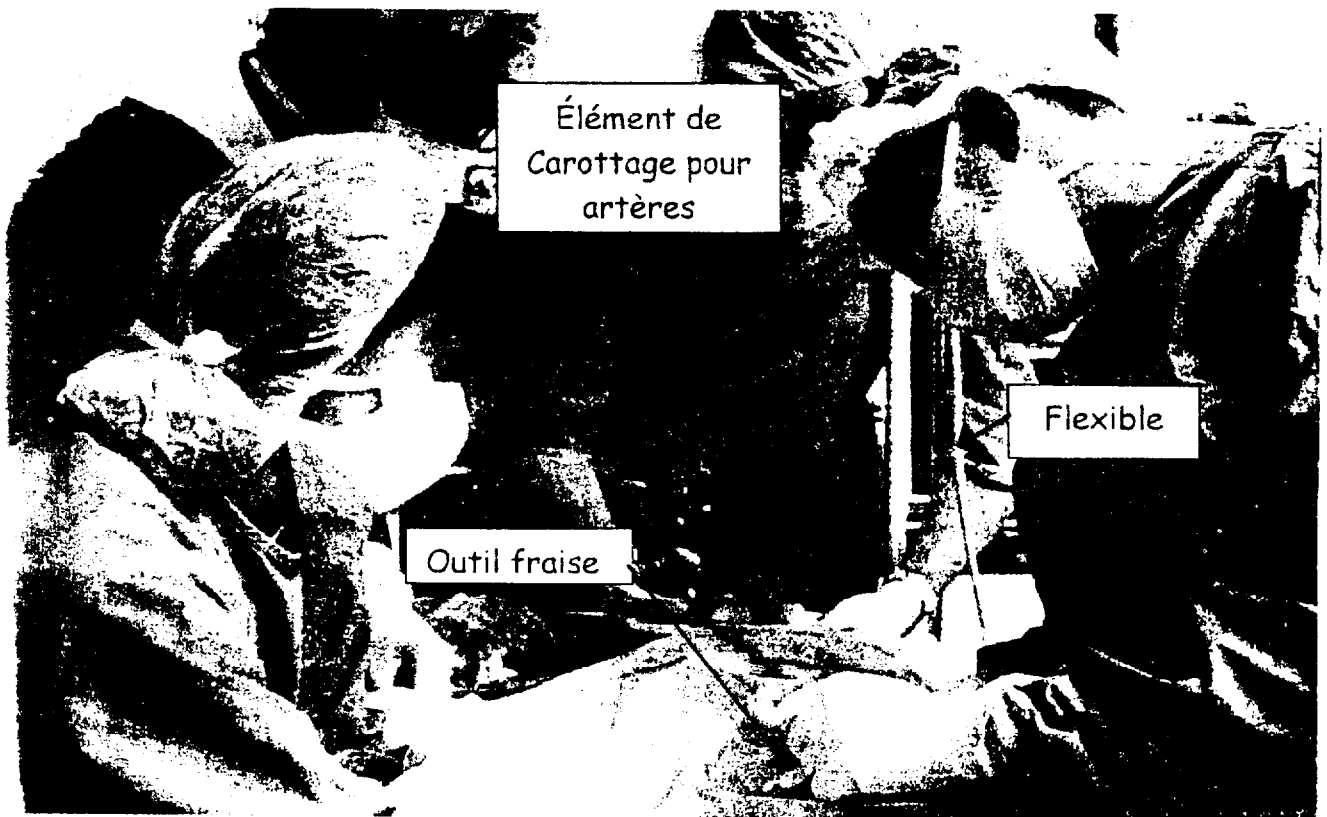
ELEMENT DE CAROTTAGE POUR ARTERES

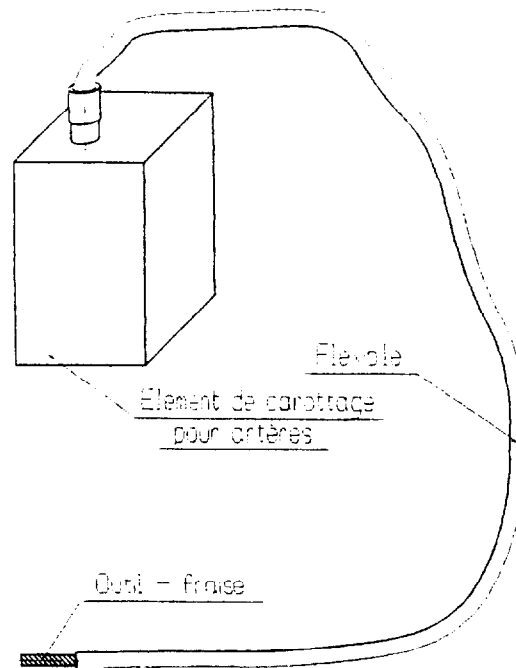
PRESENTATION

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Cet appareil , utilisé en chirurgie, permet de supprimer les plaques d'athéromes (éléments gras qui se collent sur les artères diminuant ainsi le flux sanguin).

Ces caillots de sang sont détruits par une " fraise " spéciale animée d'un mouvement de rotation alternatif. L'outil est relié à l'élément de carottage par un flexible.





Un prototype a été réalisé et testé par une équipe chirurgicale. Les raisons médicales ont imposé des conditions de fonctionnement optimales ainsi définies :

- angle de rotation de l'outil : $-100^\circ < \alpha_s < 100^\circ$
- couple de sortie : $30 \cdot 10^{-3} \text{ N.m} < C_s < 200 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$
- Fréquence de battements : environ 1000 b / min.

Le prototype ayant donné satisfaction, il est envisagé une fabrication sérielle de l'élément de carottage.

L'équipe médicale après essai du prototype impose un cahier des charges d'industrialisation.

- Intégration du moteur
- Intégration du limiteur de couple.
- Respect de l'étanchéité aux micro-organismes par chicane.
- Stérilisation par gaz, par conséquent aucune lubrification du mécanisme n'est envisageable.
- Réduire les coûts de fabrication en intégrant des éléments standards .
- La révision du mécanisme se fera toutes les 10 interventions avec remplacement du sous-ensemble R1 plus le sous-ensemble R2.

Le réducteur R1 et le mécanisme R2 (voir document technique 1) formeront un sous-ensemble indépendant qui sera monté dans un carter. Ce sous-ensemble doit pouvoir être changé indépendamment d'une intervention sur le moteur.

Remarque :

Pour des raisons d'intégration du mécanisme, certaines modifications au niveau du nombre de dents et à la disposition dans l'espace des pignons et des roues doivent être apportées à l'industrialisation par rapport au prototype.

ETUDE CINEMATIQUE

temps conseillé: 45 min.

Le prototype (document technique 2) a été réalisé . Il a été essayé et a donné entière satisfaction. Les caractéristiques mécaniques du moteur ont été définies grâce à ces tests..

Néanmoins , le personnel médical ayant utilisé ce produit a émis quelques critiques importantes:

- le moteur n'était pas incorporé dans le mécanisme
- le fonctionnement était bruyant.

Des solutions ont été trouvées pour remédier à ces difficultés.

- L'insertion du moteur dans le mécanisme sans augmenter l'encombrement a eu pour effet la modification de certains entraxes
- l'utilisation de denture hélicoïdale a diminué les nuisances occasionnées par le bruit de fonctionnement .

La conséquence principale est la modification du nombre de dents des différentes roues dentées.

OBJECTIF PRINCIPAL:

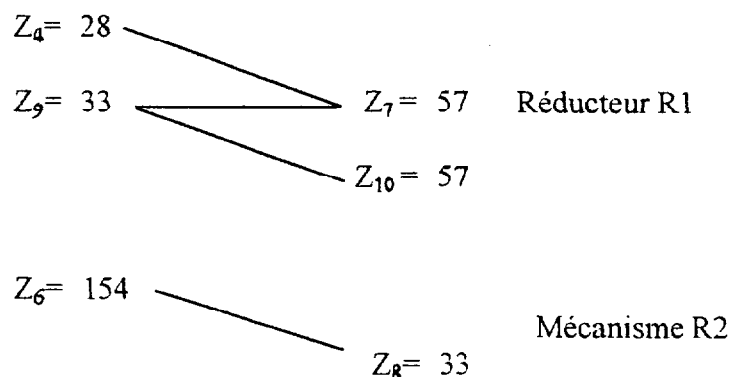
Vérifier que les modifications du mécanisme répondent bien aux conditions cinématiques imposées par le cahier des charges.

Pour faciliter la compréhension de l'étude mécanique proposée , le mécanisme complet a été scindé en deux parties:

- le motoréducteur R1 comprenant le moteur et les roues dentées 4 , 7, 9 et 10. (voir schéma Document technique 1 : DT1)
- Le mécanisme R2 comprenant le système bielle manivelle 11-6 , la roue 8 et le limiteur de couple . (voir schéma Document technique 1: DT1)

Nouvelles caractéristiques des engrenages :

denture hélicoïdale $\beta = 15^\circ$
(Z : nombre de dents)



Remarque: Z6 est le nombre de dents de la roue 6 complète.

Objectif intermédiaire 1 :

temps conseillé: 15 min.

Vérifier que la fréquence de rotation et que le couple appliqué sur la roue 10 sont compatibles avec les caractéristiques attendues. (Etude du mécanisme R1)

Données:

- moteur à courant continu " ESCAP" 34 L 11- 219 E dont les caractéristiques sont les suivantes:
 $P=15\text{ W}$ $C_m = 40 \times 10^{-3} \text{ N.m}$ $N_m = 3580\text{tr/min}$
- Les engrenages sont à denture hélicoïdale . L'angle d'inclinaison d'hélice est fixé $\beta = 15^\circ$.
- On prendra un rendement $\eta=0.9$ par engrenage .

Question A1:

Calculer pour la roue 10 ,

- * la fréquence de rotation
- * la vitesse angulaire
- * le couple C_{10} .

Objectif: intermédiaire 2

temps conseillé: 15 min.

Vérifier que le mécanisme de transformation du mouvement de rotation continu en mouvement de rotation alternatif répond bien au cahier des charges (Etude du mécanisme R2).

Le mouvement de rotation alternatif de la roue 6 est obtenu par un système bielle manivelle. L'inconvénient de ce mécanisme est l'irrégularité du couple de sortie. Pour éviter d'atteindre des valeurs trop importantes (pics) en sortie, on interpose un limiteur de couple .

Remarque : C_s étant le couple de sortie et C_8 le couple sur la roue 8, pour la suite du calcul , on posera $C_s = | C_s |$ et $C_8 = | C_8 |$

Données:

- Le couple maximum imposé par le limiteur , $C_s \text{ maxi}$, est tel que $C_s < 200 \times 10^{-3} \text{ N.m}$

De ce fait, si $C_8 < 200 \times 10^{-3} \text{ N.m}$ alors $C_s = C_8$
et si $C_8 > 200 \times 10^{-3} \text{ N.m}$ alors $C_s = 200 \times 10^{-3} \text{ N.m}$

- L'étude du fonctionnement du prototype a permis de vérifier l'hypothèse selon laquelle les puissances absorbées sont dues :
 - * aux pertes par frottement dans le flexible en grande partie.
 - * au travail de la fraise sur les plaques (en moindre mesure .)
- Une simulation sur un logiciel spécialisé a permis d'obtenir les courbes présentées sur le document technique DT4 . Elles représentent α_s , ω_s et C_s caractéristiques cinématiques de l'axe de sortie , en fonction de α_{10} , position de la roue 10.

Question A 2

Déterminer le nombre de battements par minute de l'outil en sortie.

Question A 3

En utilisant les courbes théoriques du document technique 4 : DT4 , déterminer les valeurs de α_{10} entre lesquelles le mouvement de sortie est interrompu.

En utilisant les courbes théoriques du document technique 4 : DT4 , déterminer la durée d'interruption du mouvement sur un cycle , si on admet que la fréquence de rotation de sortie du réducteur N10 est constante.

Question A 4

En utilisant les courbes théoriques du document technique 4 : DT4 , pensez-vous que la valeur limite du couple de sortie C_s (ici $200 \times 10^{-3} \text{ Nm}$) influe sur la durée d'interruption du mouvement? Vous justifierez brièvement votre réponse.

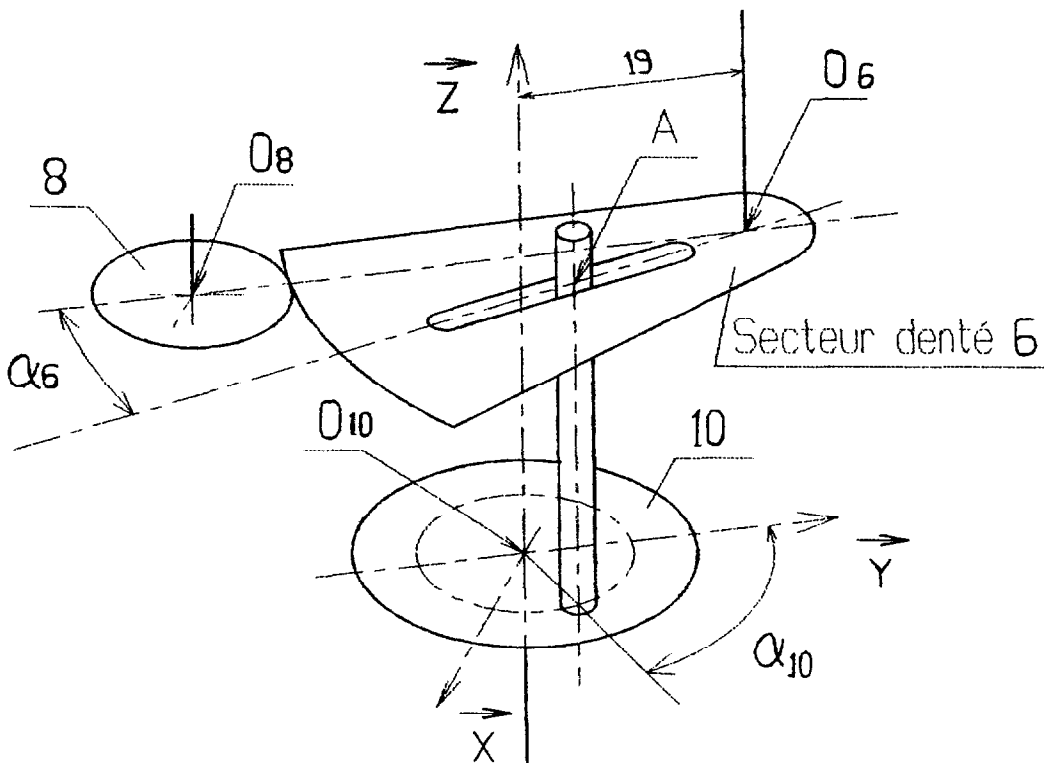
Objectif intermédiaire 3:

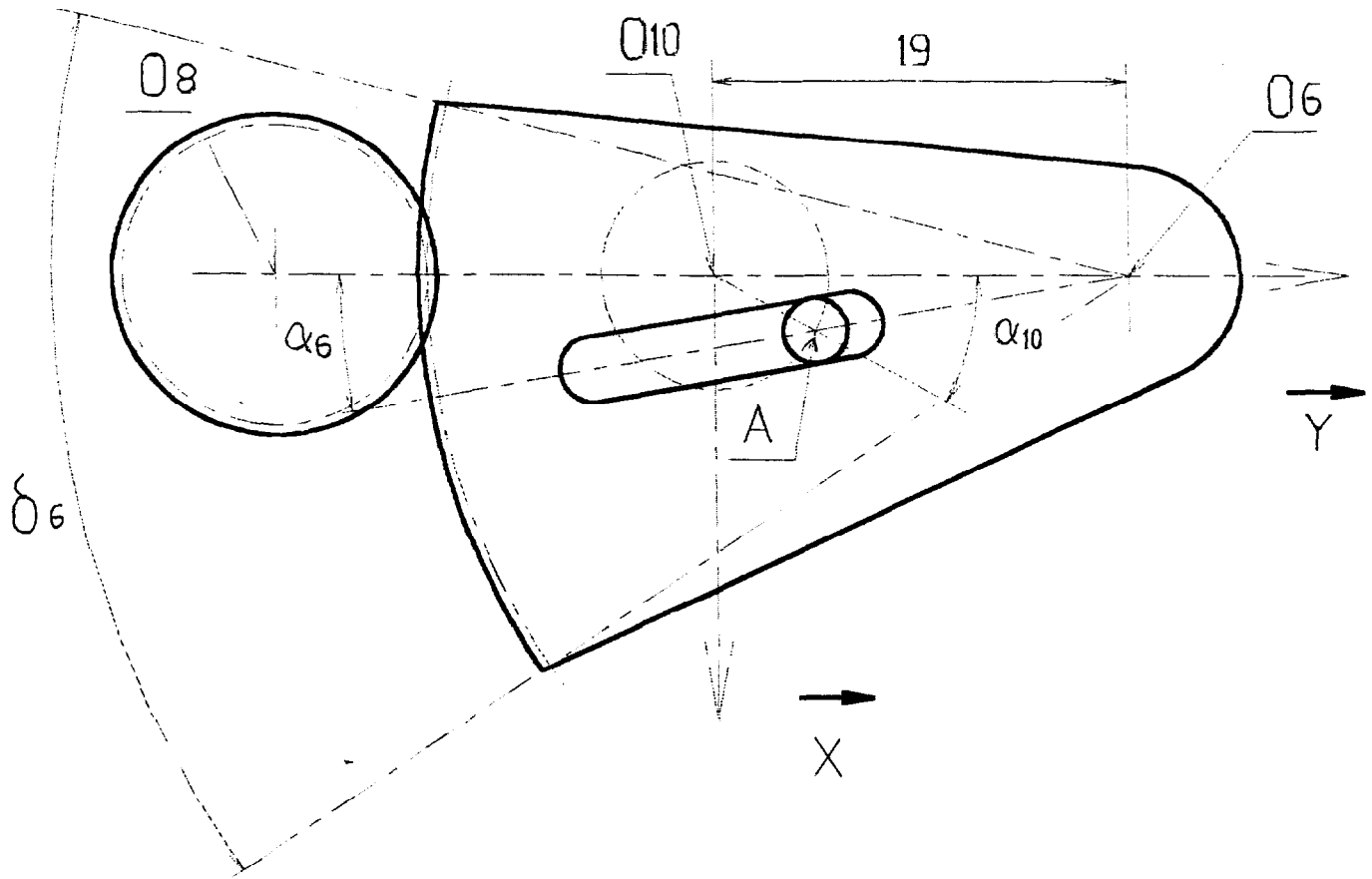
temps conseillé: 15 min.

Définir les limites du secteur denté 6 . voir le document technique 1 : DT1

Données:

- $-100^\circ < \alpha_8 < 100^\circ$ donc $\theta_8 = 200^\circ$
- $Z_6 = 154$ dents $Z_8 = 33$ dents
- l'entraxe de la roue 10 et du secteur denté 6 vaut $O_{10}O_6 = 19\text{mm}$
- On prendra par mesure de sécurité 1 dent en plus de chaque coté





Le secteur denté 6 n'est pas représenté en position extrême

Question A 5

En tenant compte du débattement θ_8 de la roue 8., déterminer le débattement maximum du secteur denté 6, θ_6

Question A6

En déduire Z'_6 , le nombre réel de dents du secteur denté 6 ainsi que la valeur de l'angle δ_6

Question A7

Déterminer la valeur de l'excentration ($O_{10}-A$) qui permettra d'obtenir le débattement maximum de la roue 6. (Méthode graphique ou analytique, au choix)

B DETERMINATION DES DIMENSIONS DES ELEMENTS

temps conseillé: 60 min.

I CALCUL DU MODULE:

temps conseillé: 15 min.

Objectif:

Déterminer le module normalisé commun aux roues dentées en calculant, en première approximation, la résistance d'une dent à la flexion. La roue dentée la plus sollicitée est la roue 8. C'est celle que nous étudierons.

Données:

- $C_8=0.2$ N.m
- $\beta =15^\circ$
- largeur de la denture $b=3$ mm
- matériau : acier inoxydable $R_e = 300$ MPa
 $E= 200\,000$ MPa
- On prendra un coefficient de sécurité $s=2$
- tableau des valeurs de modules normalisés

La série principale des modules normalisés est en caractère gras

La série secondaire des modules est en caractère normal

0.120	0.160	0.200	0.250	0.320	0.400	0.500	0.550	0.600	0.700	0.800
0.900	1.000	1.125	1.250	1.375	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500	2.750
3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	9	10
11	12	14	16	18	20	22	25	28		

Formules

Calcul à la flexion :

$$m_n > 2.34 * \sqrt{\frac{F_t}{k * R_{pe}}}$$

m_n : module normal

Remarques

$$b=km_n$$

Question B1

Calculer le module minimum pour qu'une dent satisfasse les conditions imposées .

Question B 2

En déduire le module normalisé à prendre.

2 CALCUL DIMENSIONNEL DES PALIERS DE L'AXE DE SORTIE

OBJECTIF PRINCIPAL :

Les guidages des différents axes du prototype ont été réalisés à partir de roulements à billes (voir document technique 2 : DT2)

La faible durée d'utilisation de cet appareil (10 interventions) ne justifie pas l'utilisation de ces roulements. On souhaite réaliser ces guidages par paliers lisses. C'est l'axe de sortie 8 qui supporte les efforts les plus importants . Il fera l'objet de l'étude statique.

Objectif intermédiaire 1 :

temps conseillé: 20 min.

But: Réaliser l'étude statique de l'ensemble axe et roue {8}

Schématisation:

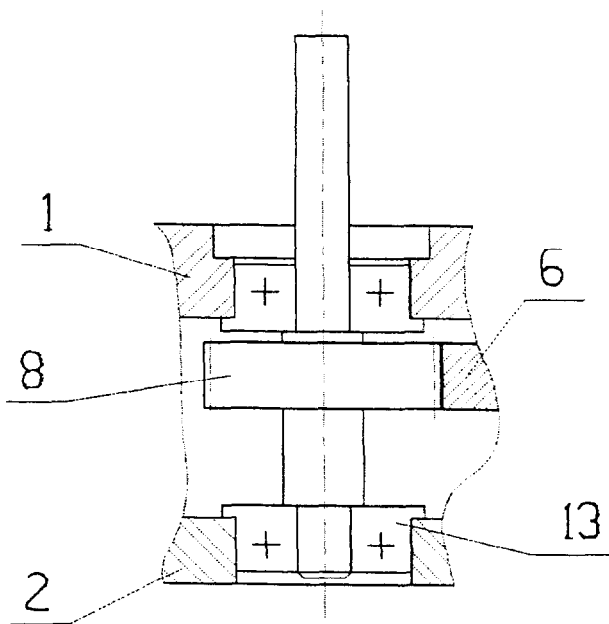


figure 1

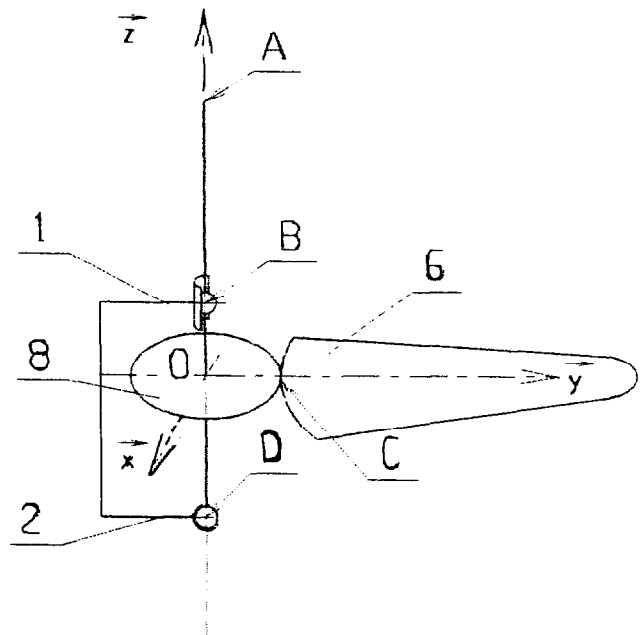


figure 2

La figure 1 page 8 représente le guidage de l'axe 8 réalisé sur le prototype. Elle a été extraite du document technique 2 : DT2.

La figure 2 page 8 est une schématisation cinématique de ce montage. La liaison globale de 8 par rapport au carter 1 est une liaison pivot. Elle est réalisée à partir de :

- 1 liaison linéaire annulaire en B
- 1 liaison rotule en D pour assurer l'arrêt en translation et le guidage en rotation.

Hypothèses:

- En prédétermination, on négligera les effets du frottement au niveau des différentes liaisons
- Le poids de l'ensemble isolé sera négligé
- En C, le contact de la roue 6 sur la roue 8 sera considéré comme ponctuel. (voir figure 3 page 9)
Le torseur transmissible par le contact d'une dent de la roue 6 sur une dent de la roue 8 est de la

$$\text{forme } \{T_{6 \rightarrow 8}\}_C = \begin{Bmatrix} Ft & 0 \\ -Fr & 0 \\ -Fa & 0 \end{Bmatrix}$$

- Les unités seront le mm pour les longueurs et le N pour les efforts
- les torseurs ou les vecteurs seront exprimés dans le repère $R=(O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$

Données:

- les dimensions sont indiquées figure 4 page 9
- caractéristiques de la roue dentée:
angle d'inclinaison d'hélice $\beta=15^\circ$
angle de pression $\alpha_n=20^\circ$
- Dans le cas le plus défavorable, cet axe est soumis à un couple résistant en sortie tel que

$$\bar{C}_r = 200\bar{z} \text{ en écriture vectorielle ou } \{T_{\text{ext}} \rightarrow 8\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 200 \end{Bmatrix} \text{ N.mm en écriture torsorielle}$$

Rappels:

figure 3

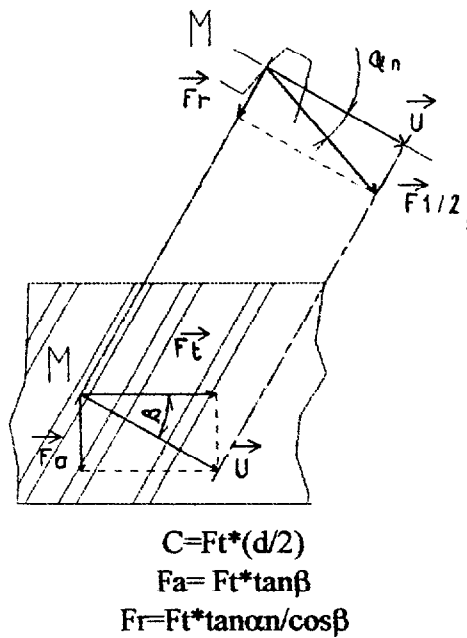
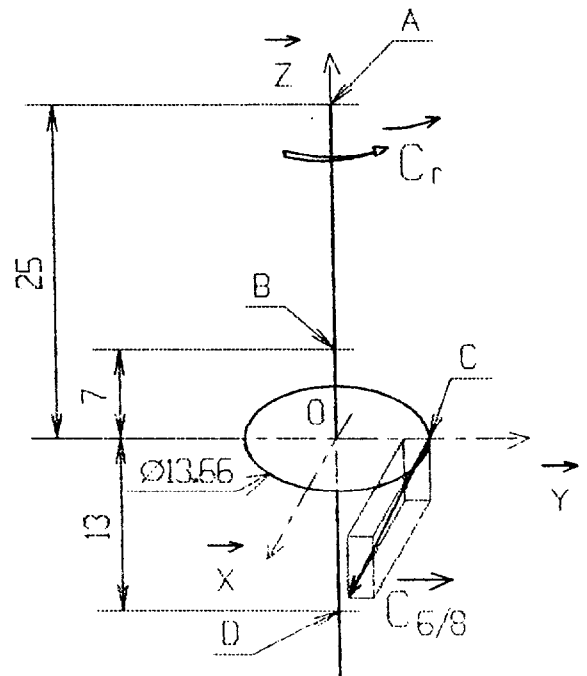


figure 4



Question B3:

Déterminer la valeur de l'effort radial en B et la composante radiale de l'effort en D

Quel est, d'après vous, le palier qui supporte les efforts les plus importants ? .

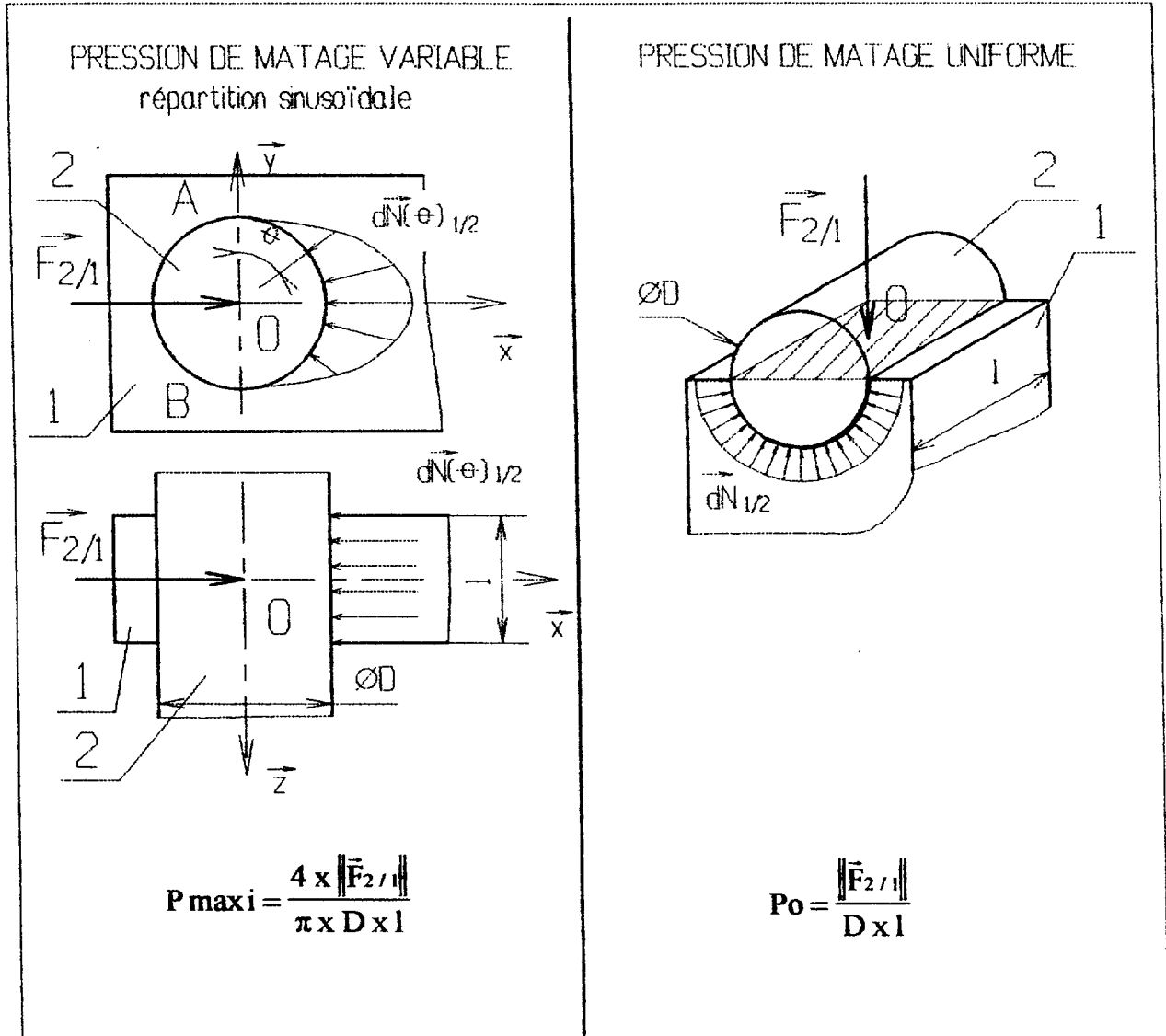
Objectif intermédiaire 2

temps conseillé: 10 min.

Déterminer la longueur minimum du palier en B ou D

Données

- Une étude analogue à la précédente montre que l'effort $\|\vec{F}_{2/1}\|$ peut atteindre 25N
- Une étude d'avant projet a permis de définir le diamètre minimum de l'axe $d=3\text{mm}$
- La pression de matage maximum admise, suivant les matériaux et la fréquence d'utilisation a été fixée . $P_{\text{maxi}} = 10\text{MPa}$



Question B4

En prenant pour hypothèse une répartition sinusoïdale des pressions de matage , calculer la longueur minimale du palier .

Question B5

En prenant pour hypothèse une répartition uniforme des pressions de matage , calculer la longueur minimale du palier .

Question B6

Peut - on ou non supprimer les roulements rigides à billes et les remplacer par des paliers lisses ? Justifiez votre réponse.

3 ETUDE DU LIMITEUR DE COUPLE :

Pré - détermination des rondelles

temps conseillé: 15 min.

L'utilisation d'un flexible pour transmettre la puissance de l'élément de carottage à l'outil situé dans la main du chirurgien a pour inconvénient majeur une perte importante de puissance. Le couple réel disponible à la sortie de l'outil chirurgical est beaucoup plus faible que C_s maxi.

Le chirurgien veut pouvoir réagir à la destruction du caillot sanguin en dosant l'effort sur la fraise, qu'il applique manuellement. Il est donc impératif que le couple de sortie de l'élément de carottage, C_s , déterminé expérimentalement sur le prototype, soit le plus proche de la valeur maxi imposée à 0.2N.m.

Une sensibilité a été définie et imposée à 10%. Ce qui nous conduit à $0.18N.m < C_s < 0.2N.m$

Il est donc nécessaire d'intercaler un limiteur d'efforts entre le mécanisme R2 et l'outil. Il est schématisé sur le document technique 3.

Objectif:

A partir du schéma et des dimensions obtenues en réalisant le prototype, on demande de déterminer les rondelles ressorts qui permettront de limiter le couple et d'obtenir un réglage efficace.

Données:

- $C_{max} = 0.2 \text{ N.m}$
- Les dimensions de la surface frottante sont $D = 11 \text{ mm}$ et $d = 5.5 \text{ mm}$
- Les surfaces frottantes sont en acier. On prendra $\mu = \tan \varphi = 0.15$

Rappel:

$$C = \frac{2}{3} * P * n * \mu * \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

C: couple à transmettre

P Effort presseur

n nombre de surfaces frottantes

μ facteur de frottement

R et r rayons limites de la surface frottante

Question B 7

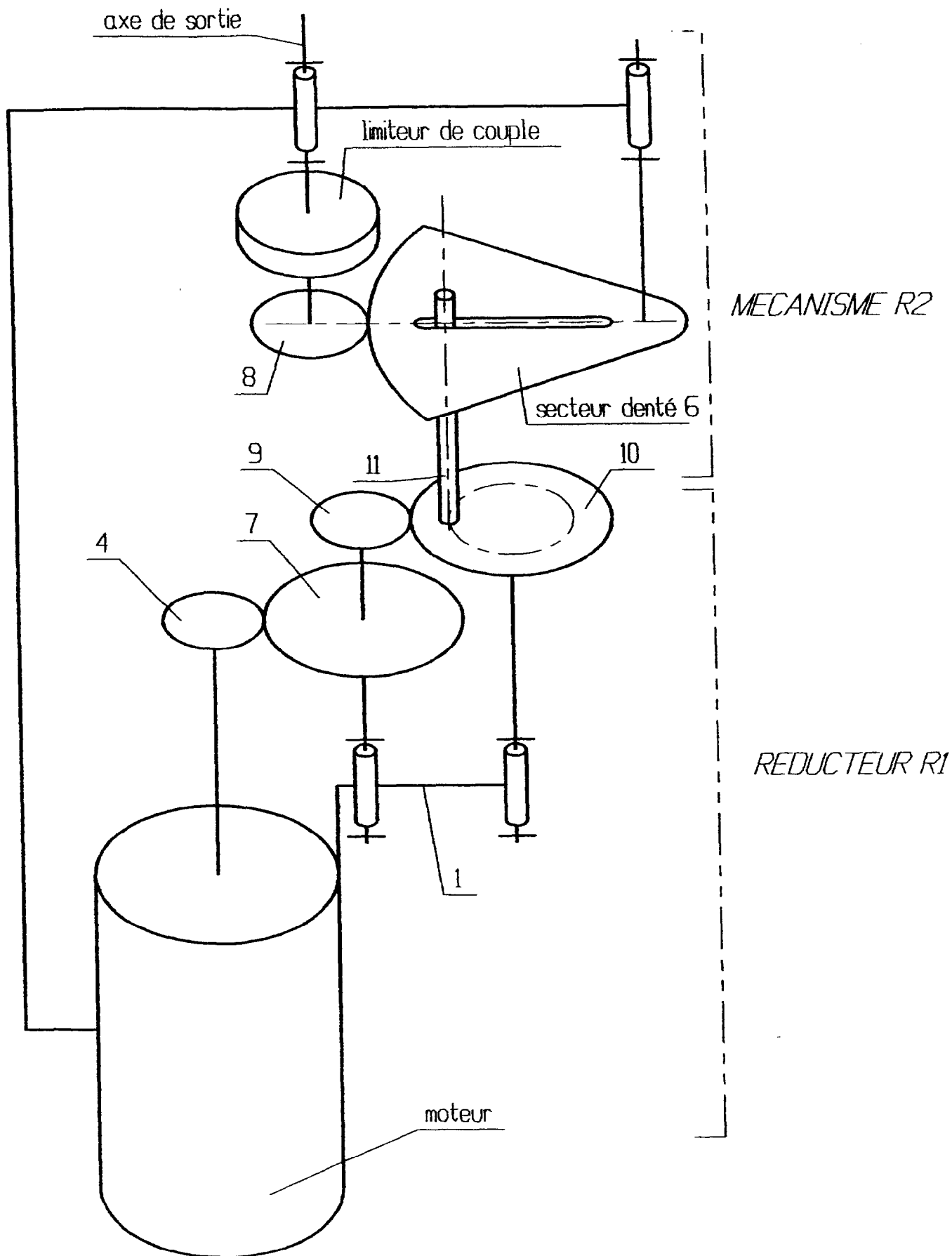
Calculer l'effort presseur minimum.

Question B8

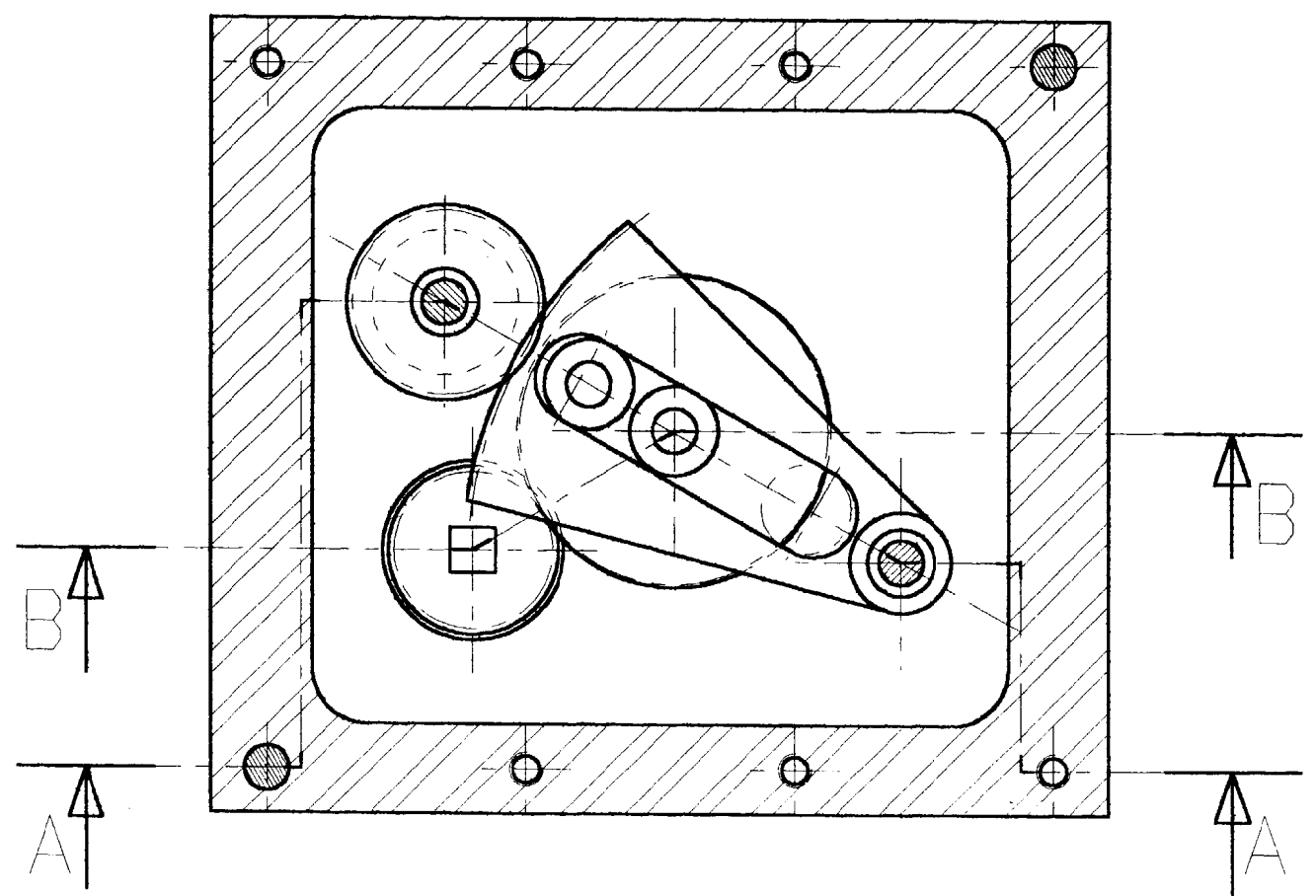
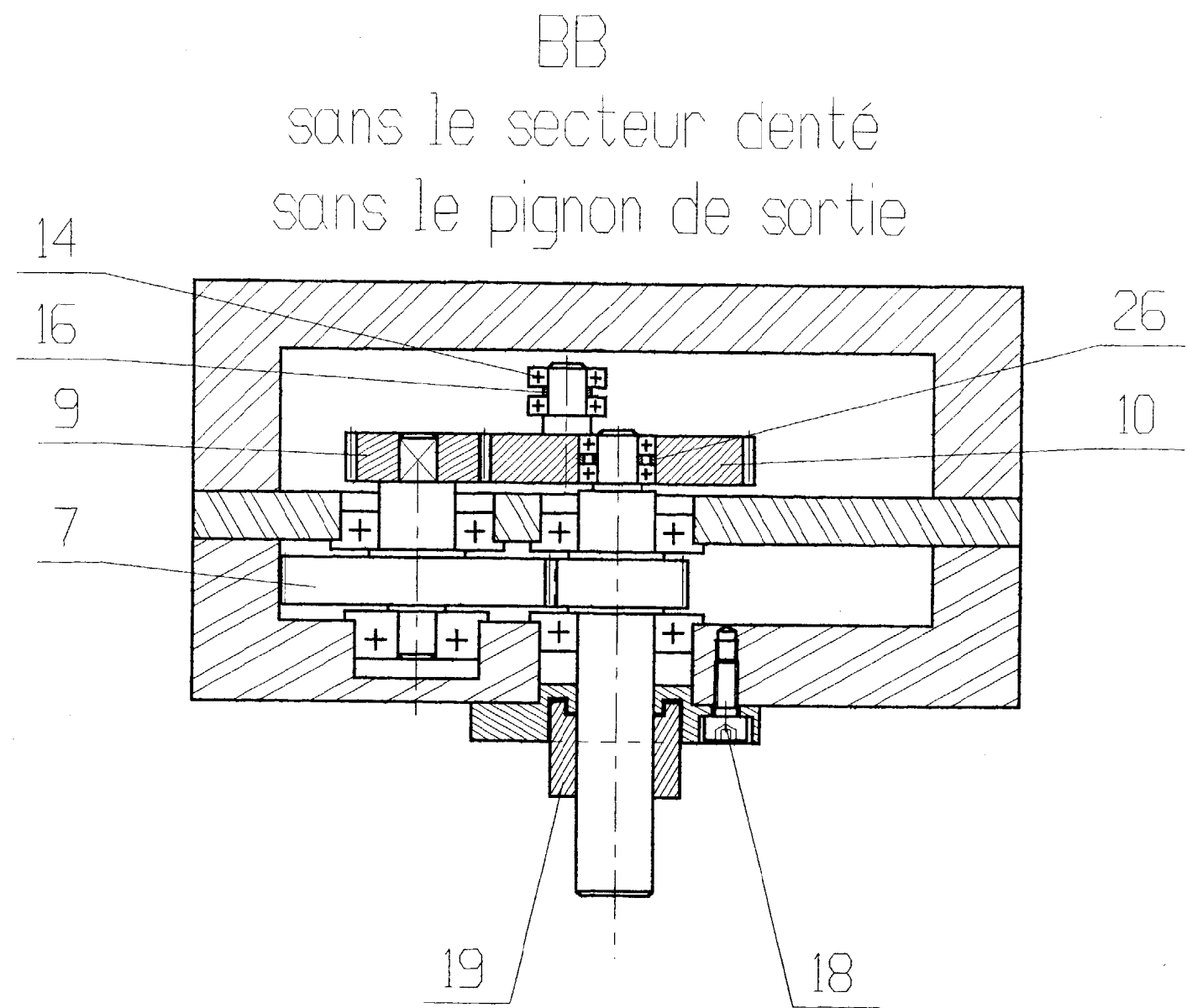
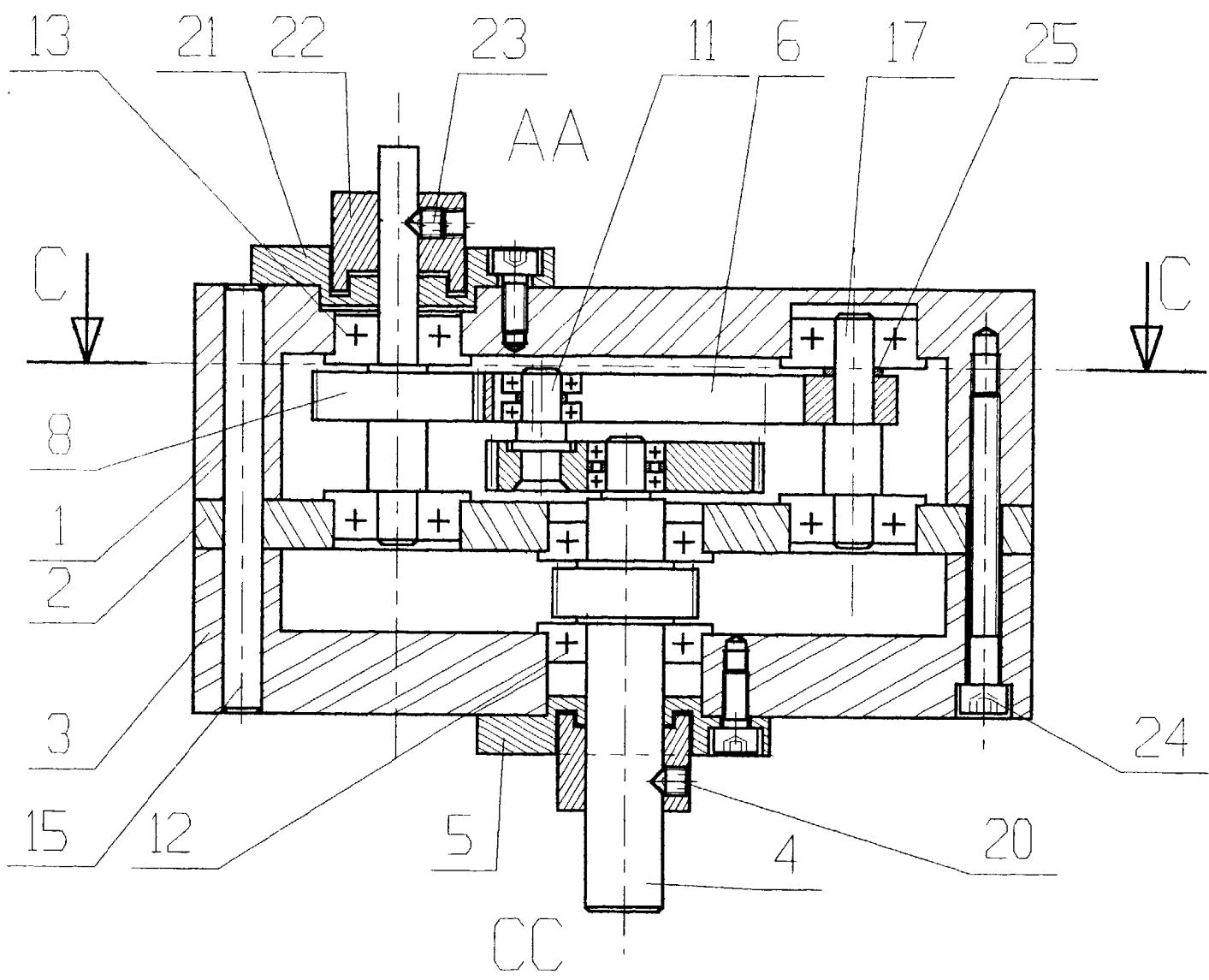
Rechercher dans la documentation remise, document technique DT 3, la rondelle satisfaisant aux conditions imposées.

Question B9

Pour que le réglage soit efficace, on veut qu'il soit effectué sur 0.6 mm (soit 270° de rotation de l'écrou de tarage 16, M5 au pas de 0.8mm). Quelle solution technologique proposez-vous ? On privilégiera un croquis à main levée)



DOCUMENT TECHNIQUE 1



	<p>ELEMENT DE CAROTTAGE POUR ARTERE</p>	
Format : A3 Ech. 3 : 2	Dessiné par : Dessin du Prototype	
MCE 4ME	Document technique 2	13

FIGURE 1 LIMITEUR D'EFFORT

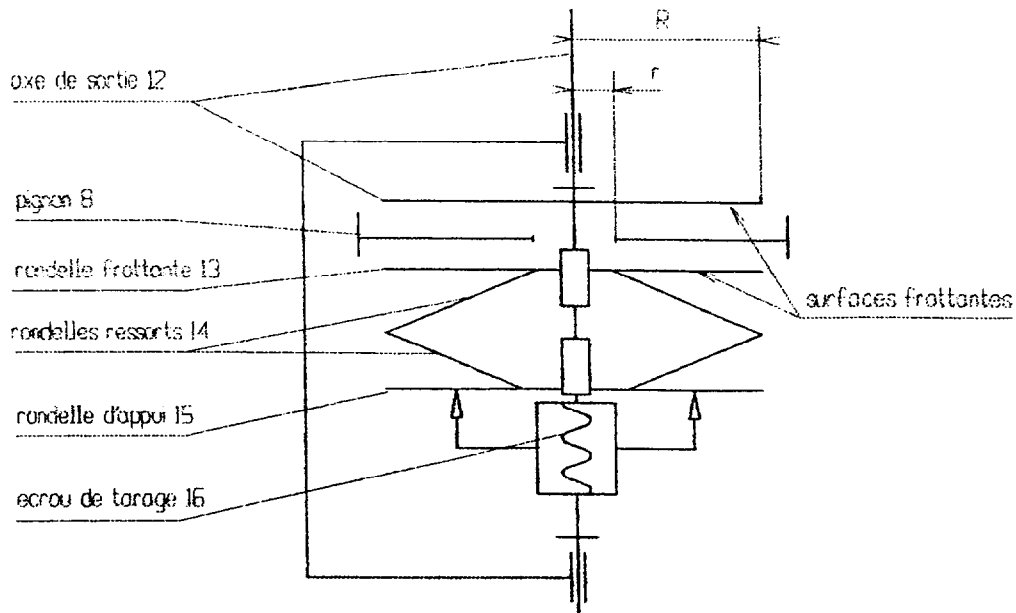


FIGURE 3 RONDELLES RESSORTS CONIQUES DITES "BELLÉVILLE"

Les rondelles "Belleville" sont des ressorts coniques chargés axialement. Elles permettent de réaliser des ressorts peu encombrant sous de fortes charges. Suivant le but recherché, on les utilise:

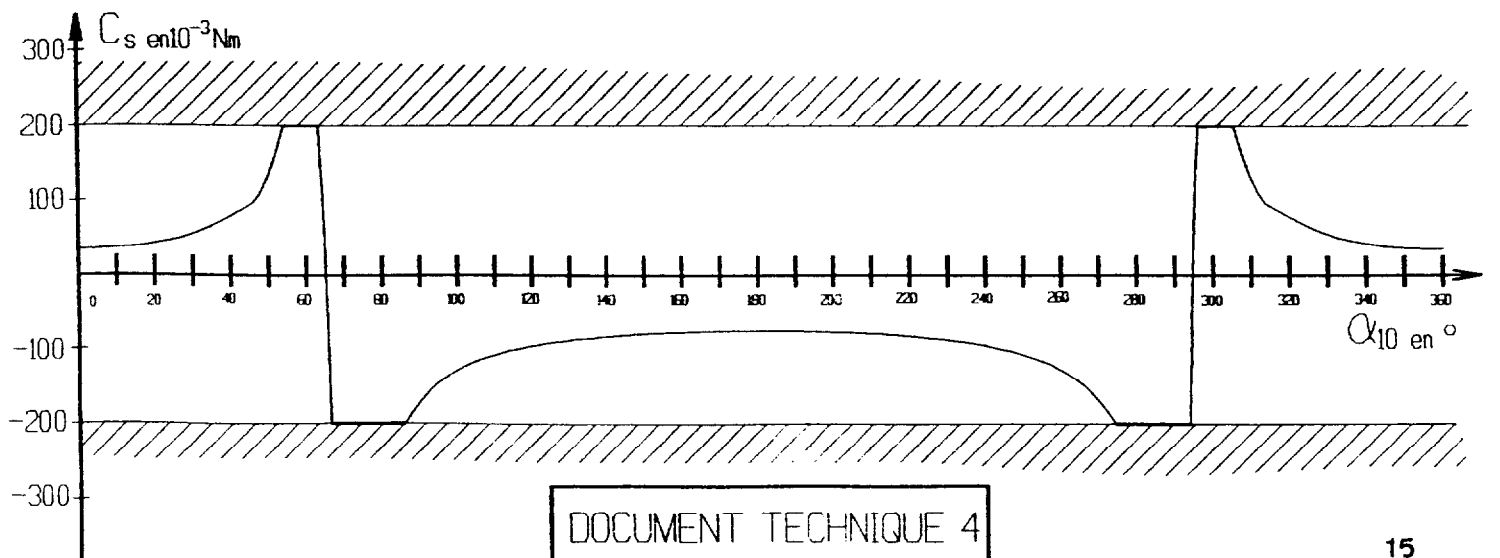
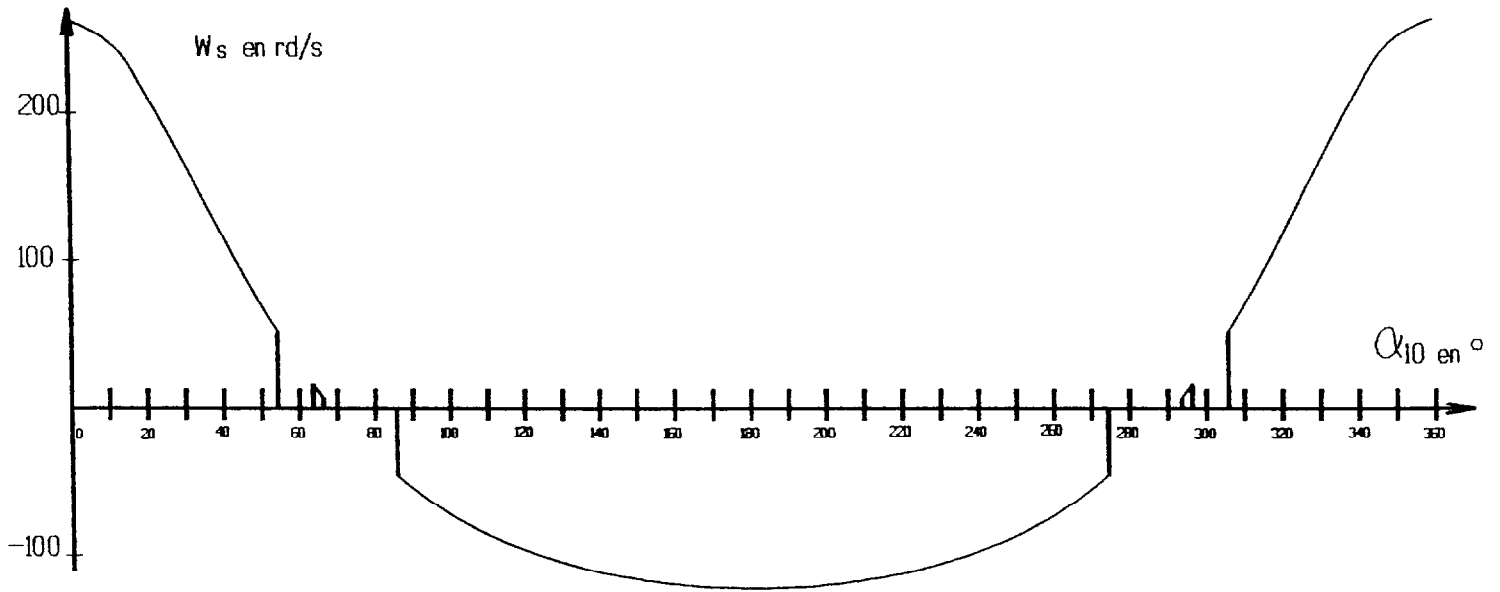
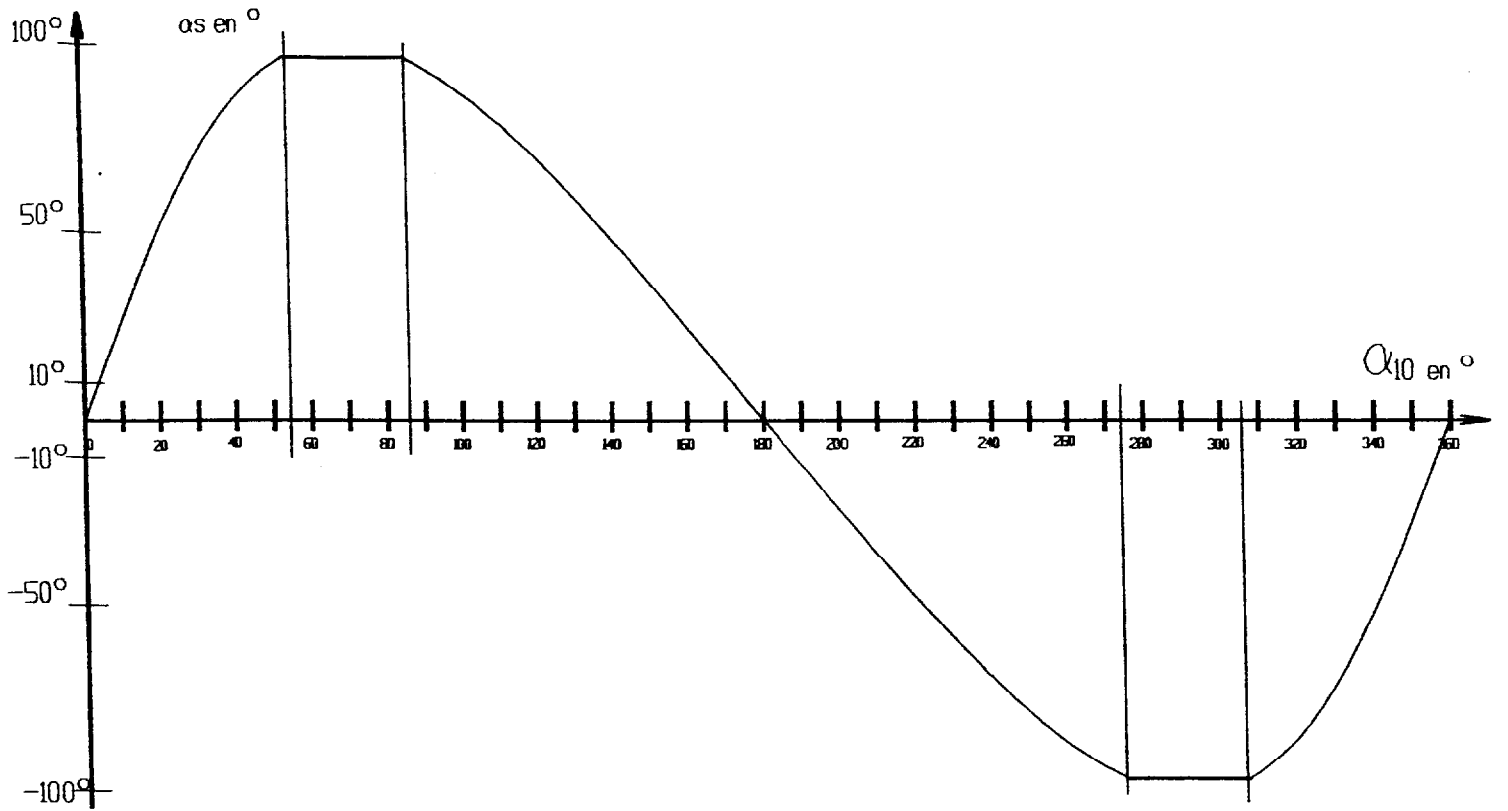
- seules;
- empilées dans le même sens, ce montage réalise l'addition des charges élémentaires (montage en parallèle);
- empilées en sens contraire, ce montage réalise l'addition des flèches élémentaires (montage en opposition);
- en montage mixte, on obtient à la fois l'addition des charges et des flèches élémentaires.

rondelles ressorts coniques		NF E 25-104
		Matière: Si Cr V 4 P proportionnel à la flèche f P _{maxi} pour f=0.75H
<p>montage à rondelle unique</p>	<p>montage en parallèle</p>	
<p>montage en opposition</p>	<p>montage mixte</p>	
Exemple de désignation:		Rondelle ressort, dxDxe

d	3.2	5.2	5.2	6.2	6.2	7.2	8.2	8.2	9.2	10.2	10.2	10.2	12.2	12.2	12.2	14.2	14.2	16.3	16.3
D	8	10	15	12.5	12	14	16	16	18	20	20	20	25	23	23	28	28	31.5	31.5
e	0.4	0.4	0.7	0.5	0.6	0.8	0.9	0.6	1	1.1	0.9	0.8	1.5	1.25	1	1.5	1	1.75	1.25
H	0.2	0.3	0.4	0.35	0.2	0.3	0.35	0.45	0.4	0.45	0.55	0.55	0.55	0.6	0.6	0.65	0.8	0.7	0.9
P*	21	21	57	30	39	81	103	42	128	155	107	76	298	238	122	290	113	395	195

* Charge en daN correspondant à 0.75H

fabrication Norelem 91882 Massy



DOCUMENT TECHNIQUE 4