

SESSION DE 2008

CA/PLP
CONCOURS EXTERNE ET CAFEP

Section : GÉNIE MECANIQUE

Options : CONSTRUCTION / MAINTENANCE DES SYSTEMES
MÉCANIQUES AUTOMATISÉS / MAINTENANCE DES
VÉHICULES, MACHINES AGRICOLES, ENGIN DE
CHANTIER / PRODUCTIQUE

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

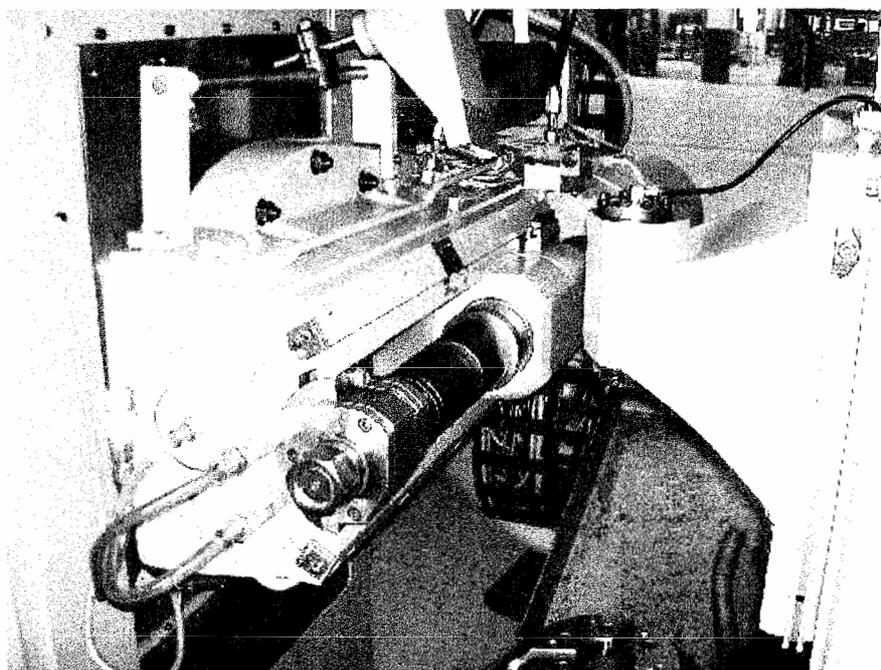
Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

DOSSIER PRESENTATION ET QUESTIONNAIRE



Ce dossier comporte 15 pages :

- Pages de 1 à 3 : Mise en situation et présentation.
- Page 4 : Problématique.
- Pages 5 à 15 : Questionnaire.

PRESENTATION

Mise en situation :

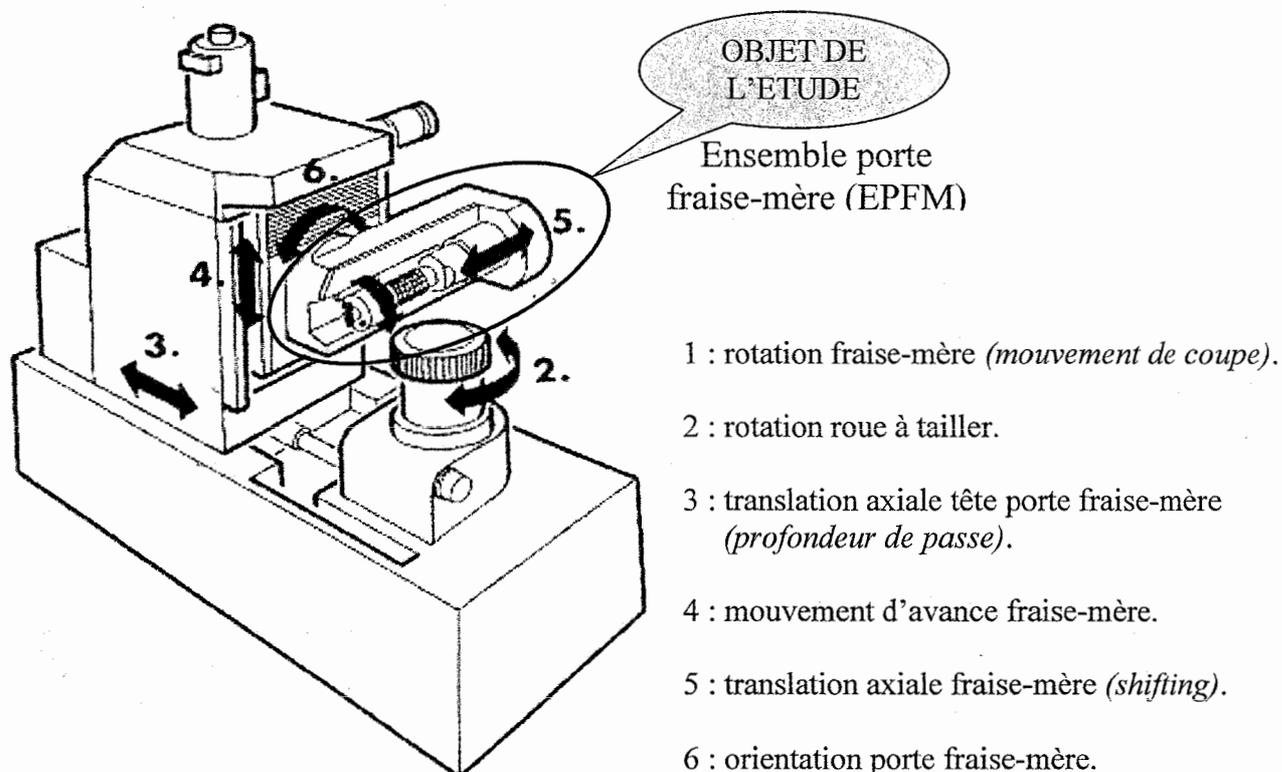


Figure 1 – Cinématique d'une machine de taillage

Cette machine permet de tailler des roues par le procédé de génération (mouvements conjugués d'engrènement de l'outil et de la roue à tailler).

La figure 1 met en évidence les différentes mobilités nécessaires aux réglages et à l'usinage.

La génération s'effectue à partir d'un outil appelé fraise-mère, qui est un pignon cylindrique à denture hélicoïdale dont les flancs de dents sont des hélicoïdes développables (figure 2).

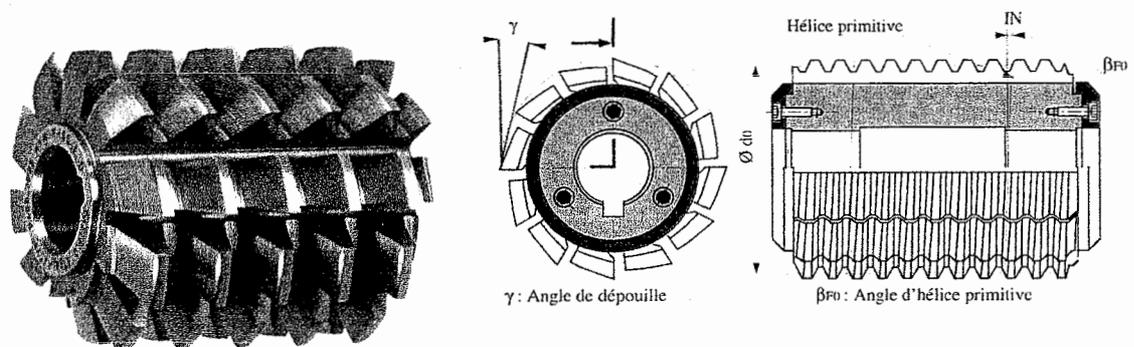


Figure 2 – Outil fraise-mère à 1 filet

Cet outil possède des arêtes coupantes disposées suivant une hélice d'angle primitif β_{F0} (proche de 90°) qui lui donnent plutôt l'aspect d'une vis, d'où le vocabulaire du nombre de filets Z_F pour désigner le nombre de dents de l'outil. Généralement $Z_F = 1$ filet, plus rarement $Z_F = 2, 3$, ou 4 .

Dans ce mode de taillage, l'ensemble outil fraise-mère et roue à tailler constitue un engrenage gauche. Le seul impératif géométrique à respecter est que la tangente à l'hélice primitive de la fraise-mère reste constamment confondue avec la tangente à l'hélice primitive de la roue (figure 3).

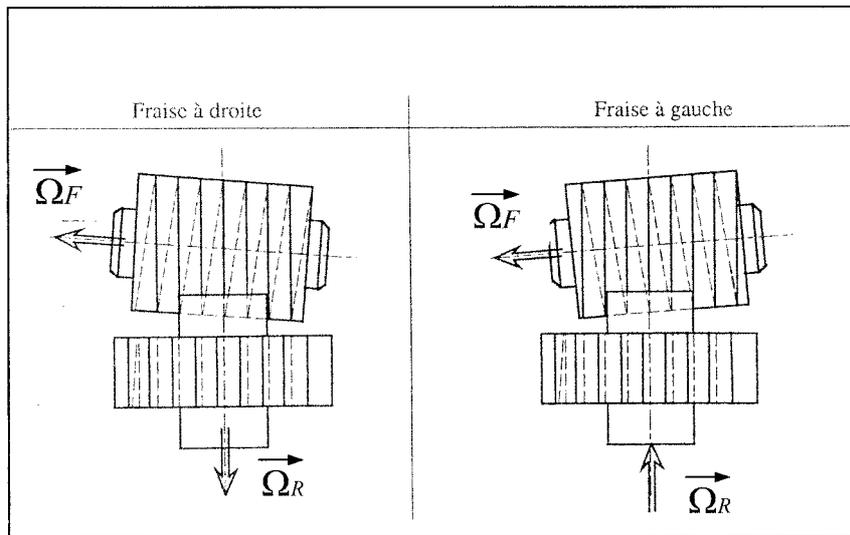


Figure 3 – Principe du taillage d'une roue à denture droite

Le taillage débute en plaçant l'outil au-dessus de la roue, puis on anime la fraise-mère du mouvement de coupe et d'un mouvement d'avance de vitesse faible parallèlement à l'axe de la roue.

L'obtention du mouvement de génération nécessite de lier la rotation de la roue à tailler N_R et la rotation de l'outil fraise-mère N_F .

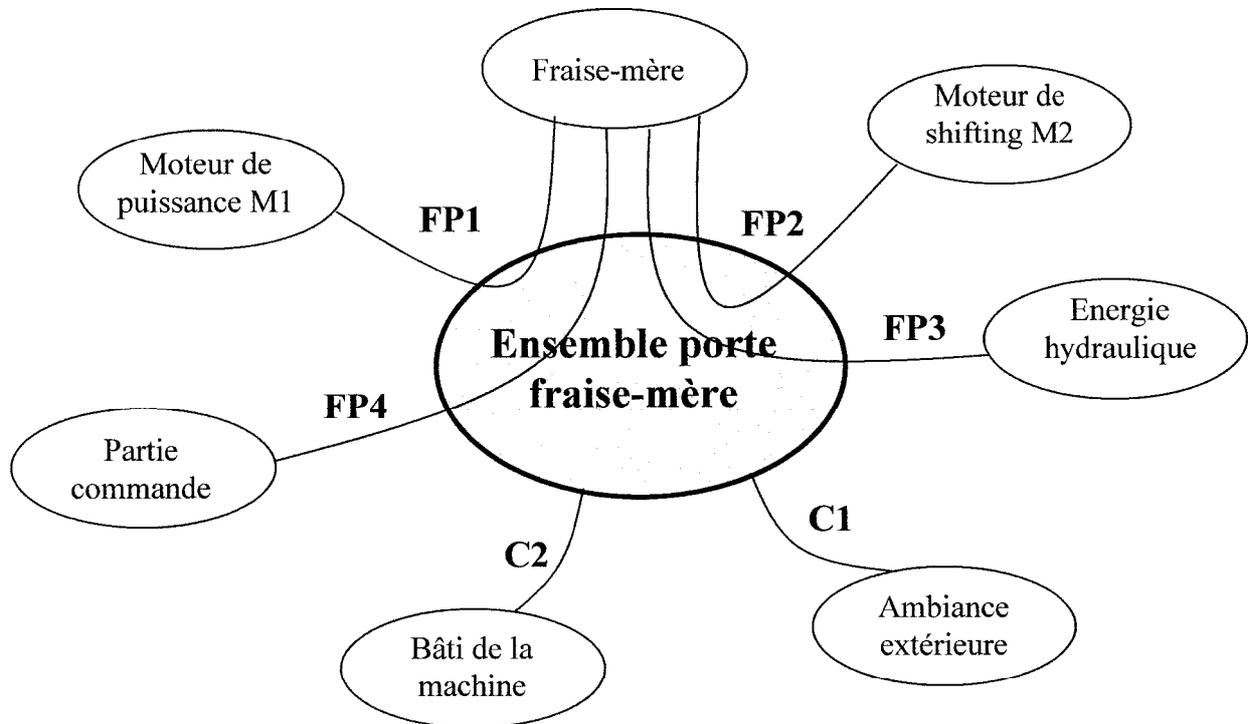
Afin d'accroître la durée de vie de l'outil grâce à une usure uniforme sur toute sa longueur active et lors du taillage d'un grand nombre de pièces identiques, on effectue un déplacement de la fraise-mère le long de son axe. Cette opération, appelée « shifting », permet de compenser l'usure de l'outil après un certain nombre de taillages.

Ensemble porte fraise-mère (E PFM)

Les documents techniques DT1, DT2, DT3 et DT4 présentent l'ensemble porte fraise-mère qui assure :

- Le mouvement de coupe issu de l'arbre (4) entraîné par le moteur Brushless M1 ;
- Le mouvement de « shifting » issu d'une transmission poulie (13)-courroie à partir du moteur M2.

Fonctions de service assurées par l'EPFM



Fonctions principales :

- FP1** : Transmettre l'énergie motrice de rotation à la fraise-mère (*mouvement de coupe*).
- FP2** : Assurer un déplacement motorisé de la fraise-mère le long de son axe (*shifting*).
- FP3** : Désolidariser la fraise-mère par l'intermédiaire d'une énergie hydraulique (*maintenance de l'outil*).
- FP4** : Communiquer à la partie commande la fréquence de rotation de la fraise-mère.

Contraintes :

- C1** : Fonctionner dans une ambiance d'atelier.
- C2** : S'adapter au bâti de la machine.

Problématique :

Actuellement, cette machine est équipée de fraises-mères monoblocs M35 revêtues TIN, de diamètre primitif égal à 120 mm, afin de tailler en série des roues dentées de module 3 mm, de bonne usinabilité et de « dureté moyenne » (70 daN/mm^2). Ces caractéristiques correspondent à des matériaux tels que : 17 Cr Mo 4 , 16 Mn Cr 5 ,..., et nécessitent une vitesse de coupe de 85 m/min pour un effort tangentiel de coupe de l'ordre de 1840 N.

Le responsable de production est sollicité par une commande particulière de taillage d'une série de roues dentées à denture droite de module 3,5 mm dont la matière est du 30 Cr Ni Mo 8 , c'est à dire d'usinabilité difficile et de « dureté » : 120 daN/mm^2 .

Il s'agit de vérifier si la machine est capable d'effectuer ces travaux sans endommager ses constituants (moteurs, engrenages, roulements,...), ou dans le cas contraire, si un investissement dans une machine plus puissante est rentable.

SCENARIO DE L'ETUDE PROPOSEE

Partie 1 : Compréhension du mécanisme

- Analyse fonctionnelle interne de l'ensemble porte fraise-mère, à l'aide de diagrammes FAST.
- Modélisation cinématique du mécanisme (élaboration d'un schéma cinématique plan).
- Dimensionnement du rapport des fréquences de rotation de la fraise mère et de la pièce à tailler.
- Détermination du degré d'hyperstatisme d'une chaîne cinématique et de ses conséquences technologiques.

Partie 2 : Vérification de la capacité de la chaîne de transmission de puissance à répondre aux nouvelles conditions de coupe.

- Calcul de la nouvelle puissance utile et conclusion sur la capacité du moteur M1.
- Dimensionnement des intensités des actions aux paliers et de la nouvelle durée de vie des roulements. Conclusion sur la conformité par rapport au cahier des charges.
- Vérification de la possibilité de transmission du nouveau couple maxi :
 - au niveau de l'emmanchement conique entre l'arbre porte fraise 11 et la broche 9.
 - au niveau du frettage entre la broche 9 et la roue 8.

Partie 3 : Vérification de la capacité du moteur M2 à répondre aux nouvelles exigences de « Shifting » .

- Calcul des accélérations des différents sous ensembles.
- Etude énergétique pour évaluation de la puissance et du couple moteur nécessaires.
- Vérification de la capacité du moteur M2.

PARTIE 1 - Compréhension du mécanisme

Dans un premier temps, nous allons analyser la structure générale de l'ensemble porte fraise-mère.

Question 1-1 :

Compléter (sur le document réponse DR1) le diagramme FAST relatif à la fonction principale FP1 « Transmettre l'énergie motrice de rotation à la fraise-mère ».

Question 1-2 :

Compléter (sur le document réponse DR2) le diagramme FAST relatif à la fonction principale FP2 « Assurer un déplacement motorisé de la fraise-mère le long de son axe ».

Question 1-3 :

Compléter (sur le document réponse DR3) le schéma cinématique plan de l'ensemble porte fraise-mère.

Question 1-4 :

Le procédé de taillage par génération nécessite de lier la fréquence de rotation de la fraise-mère N_F ayant Z_F filets, et la fréquence de rotation de la roue N_R dont sont taillées Z_R dents.
Définir, avec les justifications nécessaires, le rapport : N_F / N_R .

Question 1-5 :

Compléter (sur le document réponse DR4) le graphe des liaisons.
Calculer le degré d'hyperstatisme de cette chaîne fermée.

Question 1-6 :

Indiquer (sur le document réponse DR4) quelles sont les conséquences technologiques (avantages et inconvénients) de cet hyperstatisme.

Proposer, sous forme d'un schéma cinématique et d'un graphe des liaisons (sur le document réponse DR4), une modification pour réduire cet hyperstatisme sans dégrader le service que doit rendre cette machine-outil.

Question 1-7 :

Indiquer quelles sont les solutions technologiques permettant l'annulation des jeux dans le cheminement de FP1 ?

PARTIE 2 - Analyse de la fonction principale FP1

Transmettre l'énergie motrice de rotation à la fraise-mère.

Objectif: Le taillage de la nouvelle gamme de roues dentées (30 Cr Ni Mo 8) de module 3,5 mm doit s'effectuer avec une fraise-mère de diamètre primitif égal à 120 mm ; de plus, l'effort tangentiel de coupe est évalué à 13000 N.

Cet accroissement de performance à atteindre nécessite de s'assurer de la capabilité de la machine, notamment en ce qui concerne :

- la puissance motrice nécessaire ;
- les liaisons participant à la transmission du couple ;
- les efforts supportés par certains roulements ;
- etc....

Analyse de l'adaptabilité de l'énergie motrice

Question 2-1 :

A partir du document ressource 1, **calculer** la fréquence de rotation en ébauche de la fraise-mère.

Question 2-2 :

Déterminer la puissance motrice nécessaire sachant que le rendement global de la transmission de mouvement est évalué à 0,85.

Le moteur peut fournir une puissance de 9500 W ; quelle conclusion en tirez-vous ?

Analyse de la fonction technique

« Guider la roue (6) »

Objectif: on souhaite vérifier que la durée de vie des roulements à rouleaux coniques ne va pas être fortement réduite, du fait de l'usinage des nouvelles roues dentées.

On donne :

- couple maximum transmis par l'arbre (4) : $C_4 = 155 \text{ N.m}$;
- fréquence de rotation de l'arbre (4) : $N_4 = 550 \text{ trs /min}$;
- largeur de denture des pignons coniques : $b = 20 \text{ mm}$;
- durée de vie minimale des roulements $L_h = 150000 \text{ heures}$.

Question 2-3 :

Après avoir consulté le document ressource 2, **calculer** les intensités des composantes de l'action inter-dentaire exercée par le pignon (5) sur la roue (6).

Question 2-4 :

A partir du document technique DT2 :

Proposer (sur le document réponse DR5) une modélisation de chaque liaison (A et B) constituant le guidage entre la roue (6) et le bâti.

Justifier (sur le document réponse DR5) le choix de ces modélisations en précisant les hypothèses nécessaires.

Question 2-5 :

On donne le torseur relatif à l'action de (5) sur (6) au point C :

$$\left\{ \begin{array}{c} \mathcal{T} \\ 5 \rightarrow 6 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} -1480 & 0 \\ +4900 & 0 \\ -1000 & 0 \end{array} \right\}_{C,R}$$

Unités :
Force en N
Moment en N.m
avec $R \langle \vec{X}; \vec{Y}; \vec{Z} \rangle$

On admet en première hypothèse qu'il n'y a pas de précharge axiale et de plus, que le roulement (A) est modélisé par une rotule et le roulement (B) par une linéaire annulaire.

Effectuer (sur le document réponse DR5) le bilan des actions mécaniques extérieures à (6).

Calculer (sur le document réponse DR5) les intensités des composantes des actions aux paliers (A) et (B).

Question 2-6 :

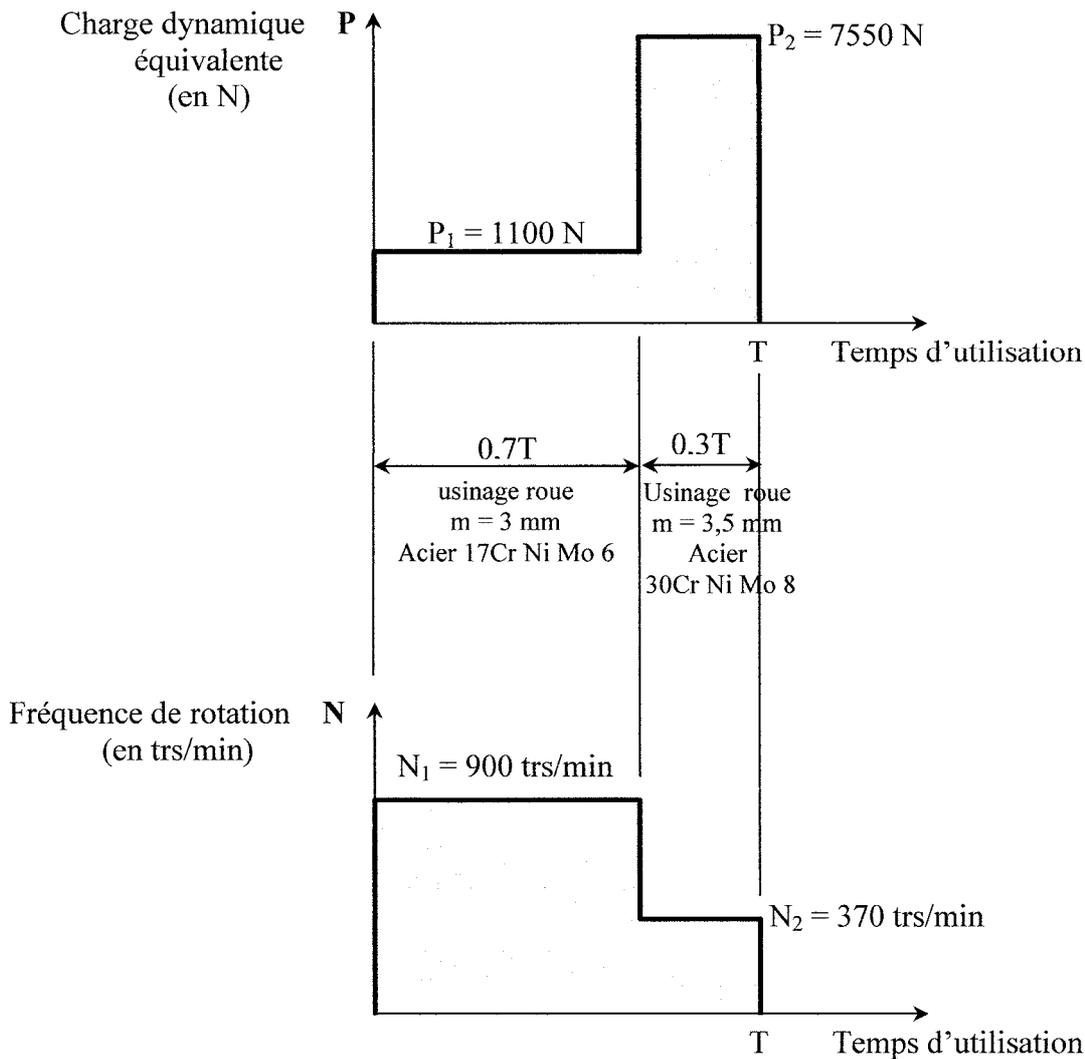
En fait, le fonctionnement sans jeu des roulements à rouleaux coniques nécessite une précharge, ce qui donne pour le roulement (A) les composantes radiales et axiales suivantes :

$$F_{rA} = 7550 \text{ N} \qquad F_{aA} = 2700 \text{ N}$$

Calculer la charge dynamique équivalente sur le roulement (A) (voir document ressource 3).

Question 2-7 :

On estime que ce nouvel usinage va occuper environ 30% du temps total d'utilisation de la machine. On donne ci-après le diagramme présentant les charges dynamiques appliquées sur le roulement (A) en fonction du type d'usinage et du temps d'utilisation.



Calculer la charge dynamique moyenne équivalente.

En déduire la durée de vie du roulement (A).

Conclure.

Question 2-8 :

On décide d'effectuer une maintenance prédictive, et donc de changer les roulements à rouleaux coniques (*voir document technique DT2*).

Indiquer quels sont les moyens ou les composants prévus pour :

- assurer le réglage précis de la précharge des roulements ;
- assurer la coïncidence des sommets des cônes primitifs des pignons (5) et (6).

Question 2-9 : (*sur le document réponse DR6*)

Elaborer la gamme de montage du sous ensemble repéré **A**, puis de l'ensemble dans le boîtier support (3).

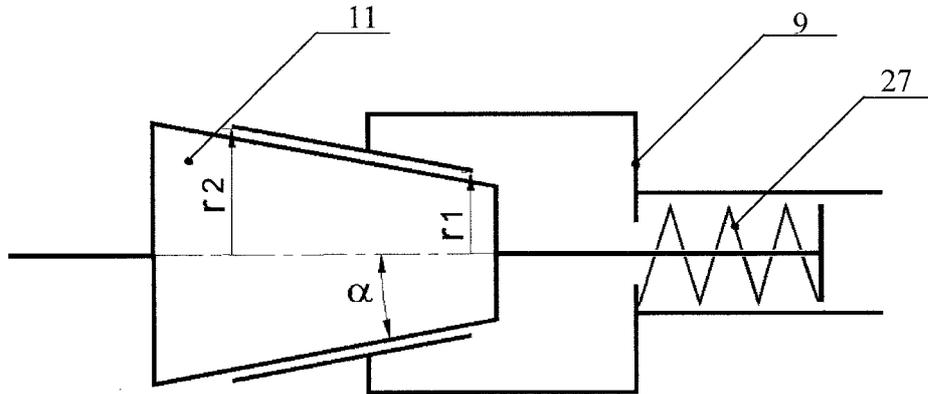
Préciser, si nécessaire, les moyens mis en œuvre.

Analyse de la fonction technique

« Assurer la transmission d'énergie entre (9) et la fraise-mère (12) »

Cette fonction s'effectue au moyen d'un emmanchement conique (SA 40) préchargé axialement par l'intermédiaire de rondelles élastiques, et si nécessaire, par obstacles constitués de deux plots prismatiques (10).

Les caractéristiques géométriques relatives à la zone conique figurent sur le schéma simplifié suivant.



On adopte les hypothèses suivantes :

- la répartition de la pression sur les surfaces de contact coniques est uniforme ;
- le facteur de frottement f est constant ;
- les rondelles élastiques exercent un effort N porté par l'axe des cônes ;
- on se place à l'état d'équilibre limite entre les surfaces de frottement.

On donne l'expression du couple maximum transmissible par cet emmanchement :

$$C_f = \frac{2}{3 \cdot \sin \alpha} \cdot N \cdot f \cdot \left(\frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2} \right)$$

Question 2-10 :

La pré-charge axiale N est réalisée par l'intermédiaire de 88 rondelles élastiques. Celles-ci sont assemblées en 22 paquets montés alternés et chaque paquet est constitué de 4 rondelles empilées (le document ressource 4 fourni les caractéristiques de ces rondelles).

Sur le même document ressource 4, figure la longueur correspondant à la pré-charge de l'ensemble des rondelles : $L = 182,6 \text{ mm}$.

Après avoir déterminé la flèche d'une rondelle, **en déduire** la valeur de la pré-charge N .

Question 2-11 :

Calculer la valeur du couple maximum transmissible par l'emmanchement conique si :

$$f = 0,1 \ ; \ r_1 = 14 \text{ mm} \ ; \ r_2 = 20 \text{ mm} \ ; \ \text{conicité} = \frac{7}{24} \ \dots \text{ soit } \alpha = 8,297^\circ.$$

Question 2-12 :

Montrer que ce couple était satisfaisant pour tailler des roues de « dureté moyenne » (70 daN/mm²), et qu'il devient insuffisant pour cette nouvelle série de taillage.

Question 2-13 :

En faisant l'hypothèse que les deux plots prismatiques participent au reste de la transmission du couple nécessaire (dans le cas du taillage de cette nouvelle série), **calculer** la pression, supposée uniforme, au niveau du contact entre ces plots et l'arbre porte fraise-mère.

(On relèvera les dimensions utiles sur le document technique DT1).

Quelle conclusion en tirez-vous si l'on tolère une pression maximum de 120 MPa.

Analyse de la fonction technique

« Assurer la transmission d'énergie entre la roue (8) et la broche (9) »

Cette fonction est réalisée par l'intermédiaire d'un frettage hydraulique entre deux surfaces coniques *(de conicité très faible, donc non apparente sur le document technique DT1).*

Rappel sur les phases essentielles de ce procédé.

1^{ère} phase :

Montage manuel de la roue (8) sur la broche (9) assurant le contact des surfaces coniques.

2^{ème} phase :

Injection progressive de l'huile sous pression (jusqu'à 2900 bars) au niveau des cônes par des injecteurs prévus dans la roue (8) entraînant des déformations élastiques sur (8) et (9).

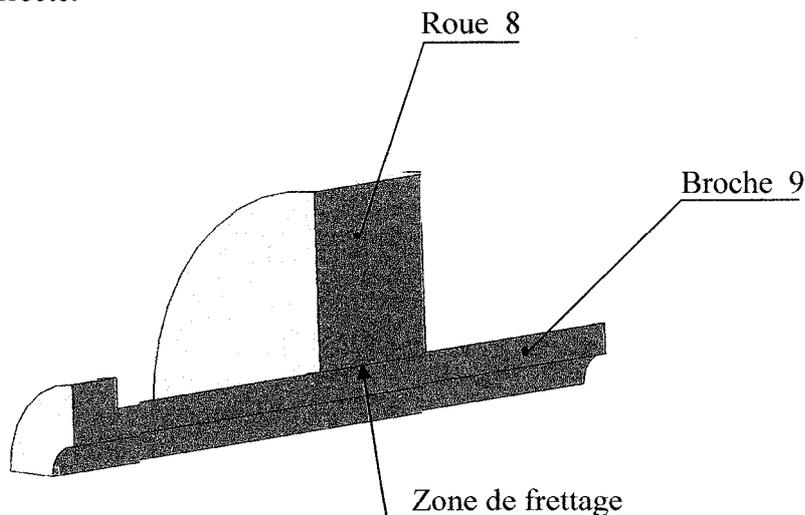
3^{ème} phase :

Poussée sur la roue (8) par l'intermédiaire d'un écrou hydraulique et d'un outillage spécial. Lors de cette opération, la roue (8) se translate sur la broche (9) d'une cote précise définie par l'entretoise (24) dont la longueur est calibrée en fonction des dimensions réelles des pièces qui participent à l'empilage.

D'après le constructeur de cette machine, le serrage radial après frettage est de 2/100 mm au diamètre.

On se propose de vérifier que celui-ci est toujours suffisant pour transmettre le couple nécessaire au taillage de la nouvelle série de roues. Pour cela, il est nécessaire de connaître la pression de contact à l'issue du frettage afin de déduire le couple transmissible.

Une modélisation par éléments finis (*voir document technique DT 5*) présente la répartition des contraintes de Von Mises, au niveau de la roue et de la broche, résultant du frettage. Comme l'indique la figure ci-dessous, les formes des pièces ont été simplifiées et seul un quart de chacune d'elles a été retenu, en raison des symétries, afin d'optimiser l'analyse et d'obtenir une lisibilité correcte.



Sur le document ressource 5, figurent :

- les formules de Lamé relatives à la distribution des contraintes principales σ_r et σ_θ , écrites en coordonnées polaires, dans le cas d'un cylindre soumis à une pression uniforme sur ses deux faces externe et interne ;
- la relation entre la contrainte résultante de Von Mises et σ_r et σ_θ .

Question 2-14 :

En considérant la contrainte maximum de Von Mises sur la broche (9), **calculer** la pression de contact résultant du frettage. On admettra que la très faible conicité de l'emmanchement est négligée, ce qui correspond à un emmanchement cylindrique de diamètre 65 mm, et que le diamètre intérieur de perçage de la broche a pour valeur 32 mm.

Question 2-15 :

En déduire la valeur du couple maximum transmissible par ce frettage en adoptant les hypothèses suivantes :

- l'emmanchement fretté est cylindrique (\varnothing 65 mm) sur une longueur de 78 mm ;
- la pression de contact entre les deux pièces est uniforme ;
- le facteur de frottement au niveau des zones de contact est constant, $f = 0,1$;
- on se place en état d'équilibre limite.

Ce couple est-il suffisant ?

PARTIE 3 - Analyse de la fonction principale FP2

Assurer un déplacement motorisé de la fraise-mère le long de son axe (shifting).

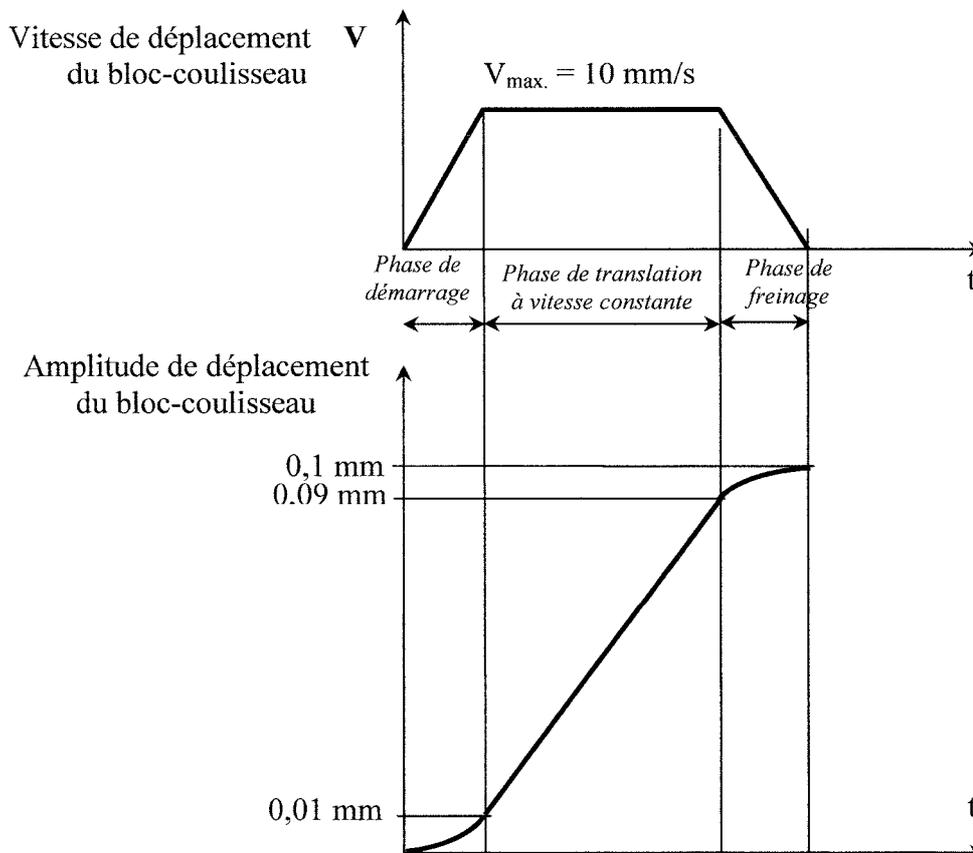
Objectif: La dureté du nouveau matériau à tailler est importante. Afin de limiter l'usure de la fraise-mère, le responsable de production décide de réaliser une opération de « shifting » après chaque roue taillée.

La fraise-mère, toujours en mouvement de rotation, sera donc déplacée de 0,1 mm le long de son axe. De plus, afin de ne pas nuire à la productivité, il est aussi décidé d'augmenter la vitesse nominale de ce déplacement à $V_{\max.} = 10 \text{ mm/s}$.

On souhaite vérifier que le moteur de « shifting » M2 a les capacités pour effectuer cette opération.

On donne :

- ci-dessous, les courbes caractéristiques du mouvement de translation rectiligne du bloc coulisseau ;
- et sur le document ressource 6, les caractéristiques cinétiques des sous-ensembles concernés.



Question 3-1 :

Calculer le temps de démarrage du bloc-coulisseau et son accélération pour répondre au cahier des charges.

Question 3-2 :

En déduire l'accélération angulaire $\dot{\omega}_{16/1}$ (en rad/s²) de la vis (16), dans son mouvement par rapport au bloc-glissière (1) et lors de la phase de démarrage.

On note :

- $\langle 1 \rangle = \langle O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1 \rangle$: le repère lié au bloc-glissière (1) ;
- $\omega_{i/1}$: le vecteur vitesse angulaire instantanée du solide i en mouvement par rapport au référentiel (1) ;
- $k_1 = \frac{\omega_{6/1}}{\omega_{5/1}}$ le rapport de réduction relatif au couple conique;
- $k_2 = \frac{\omega_{8/1}}{\omega_{7/1}}$ le rapport de réduction entre le pignon (7) et la roue (8) ;
- V : la vitesse de tout point lié au bloc-coulisseau, animé d'un mouvement de translation rectiligne, par rapport au référentiel (1) ;
- $T(i/1) = E_c(i/1)$: l'énergie cinétique du solide i dans son mouvement par rapport au référentiel (1) .

Question 3-3 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(5/1)$, de l'ensemble (5) lié au pignon d'attaque par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles et de $\omega_{5/1}$.

Question 3-4 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(6/1)$, de l'ensemble (6) lié à la roue conique par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles et de $\omega_{5/1}$.

Question 3-5 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(16/1)$, de l'ensemble constitué des pièces (13+14+15+16) par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles et de $\omega_{16/1}$.

Question 3-6 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(20/1)$, de l'ensemble constitué des pièces (18+19+20+contre-pointe) par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles et de $\omega_{16/1}$.

Question 3-7 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(7/1)$, du pignon arbré (7) par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles, de $\omega_{5/1}$ et de $\omega_{16/1}$.

Question 3-8 :

Donner (sur le document réponse DR7) l'expression de l'énergie cinétique, notée $T(9/1)$, de l'ensemble constitué des pièces (8+9+fraise-mère) par rapport au repère (1), en fonction de ses caractéristiques inertielles, de $\omega_{5/1}$ et de $\omega_{16/1}$.

On adopte les hypothèses suivantes :

- Toutes les liaisons sont considérées parfaites ;
- L'accélération de la pesanteur est telle que $\vec{g} = -g \vec{z}_1$, ce qui autorise à négliger l'inclinaison de l'ensemble porte fraise-mère ;
- Le référentiel (1) est galiléen ;
- Le moteur M1 est tel que son stator, lié à (1), exerce sur son rotor, lié à (5), un moment $\vec{M}_{O(1 \rightarrow 5)}$ tel que : $\vec{M}_{O(1 \rightarrow 5)} \cdot \vec{Y}_1 = C_1$
- La courroie exerce sur l'ensemble 16 (par l'intermédiaire de poulie 13) un moment $\vec{M}_{O(cour. \rightarrow 16)}$ tel que : $\vec{M}_{O(cour. \rightarrow 16)} \cdot \vec{X}_1 = C_2$
- On appelle $(\Sigma) = (5 \cup 6 \cup 7 \cup 9 \cup 16 \cup 20)$ l'ensemble des pièces mobiles par rapport à (1).

Question 3-9 :

Durant l'opération de « shifting », la fraise-mère n'effectue aucun taillage et sa vitesse de rotation est constante.

Que peut-on en déduire sur la valeur de C_1 ?
(Réponse sur le document réponse DR7)

Question 3-10 :

Déterminer (sur le document réponse DR7) la puissance galiléenne des efforts extérieurs à l'ensemble (Σ) .

Question 3-11 :

Déterminer (sur le document réponse DR7) la puissance galiléenne des efforts intérieurs à l'ensemble (Σ) .

Question 3-12 :

Appliquer (sur feuille de copie) le théorème de l'énergie cinétique (ou théorème de l'énergie – puissance) à l'ensemble (Σ).

En déduire la valeur du couple utile C_2 durant la phase de démarrage de l'opération de « shifting ».

Question 3-13 :

On donne le rapport de réduction relatif à la transmission par poulies/courroie $i = 0,64$.

M2 est un servomoteur de marque STÖBER équipé d'un réducteur planétaire.

La référence constructeur est : **P322_0160 ED303U**

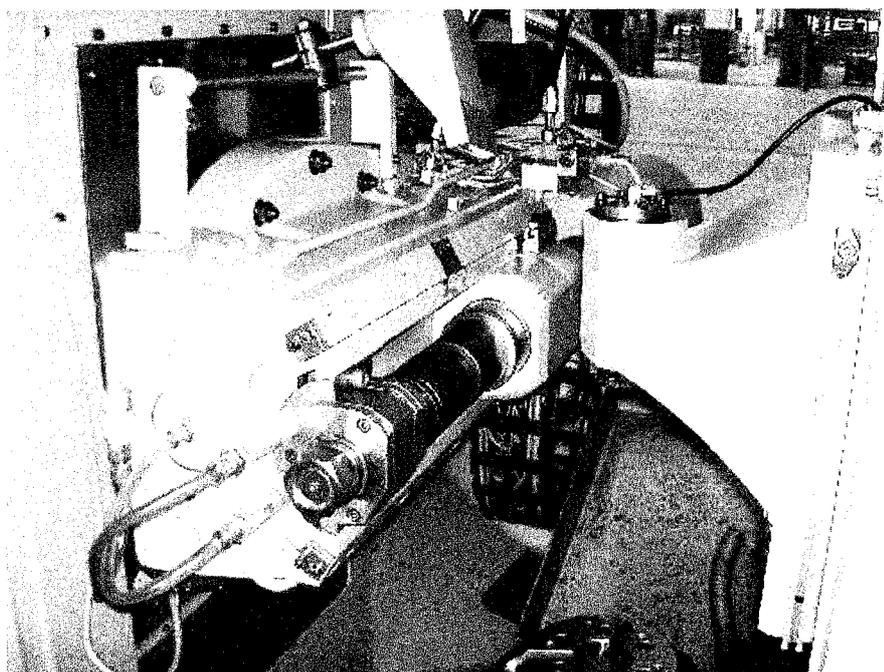
Ses caractéristiques sont données dans l'extrait de catalogue fourni (*document ressource 7*).

Le rendement de la chaîne de transmission de puissance relative au « shifting », supposé constant durant le régime transitoire, est $\eta_{\text{shifting}} = 0,7$.

Calculer le couple que doit fournir le moteur de « shifting » M2.

Conclure sur la capabilité de ce moteur pour effectuer cette nouvelle opération de « shifting »

DOSSIER TECHNIQUE



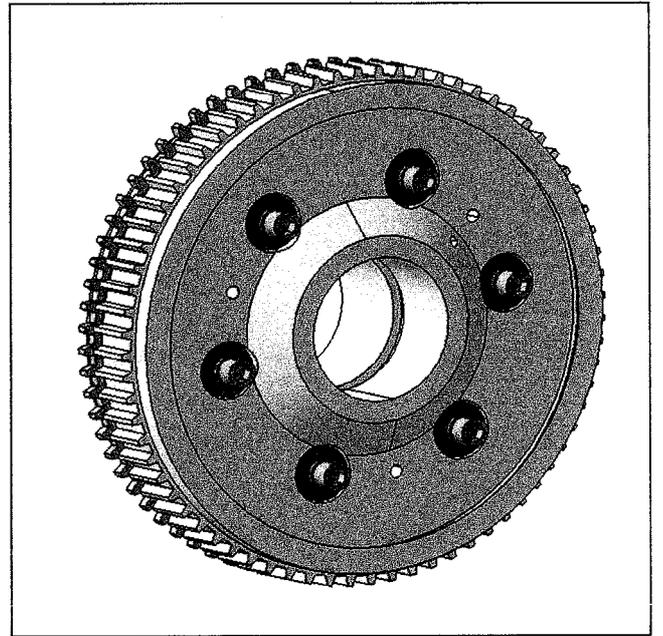
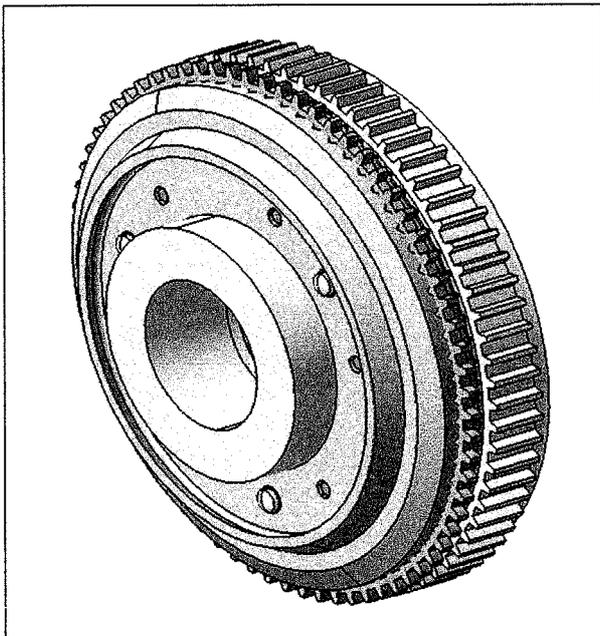
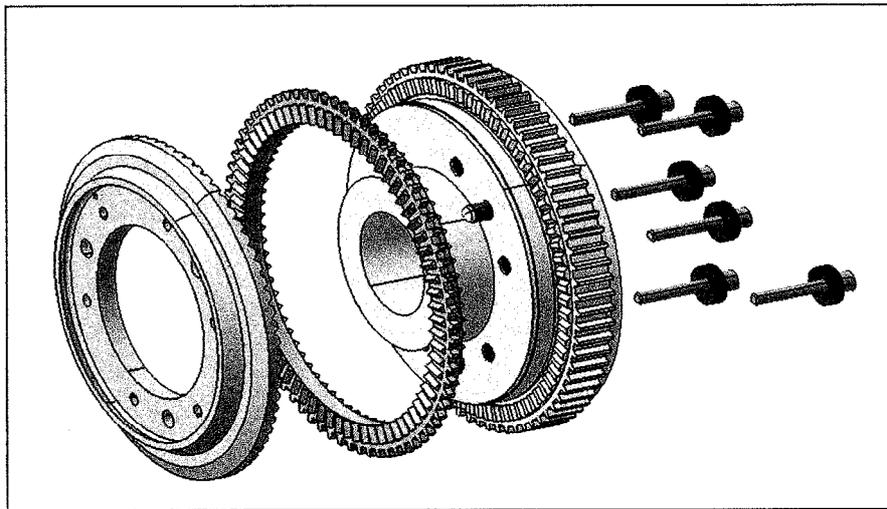
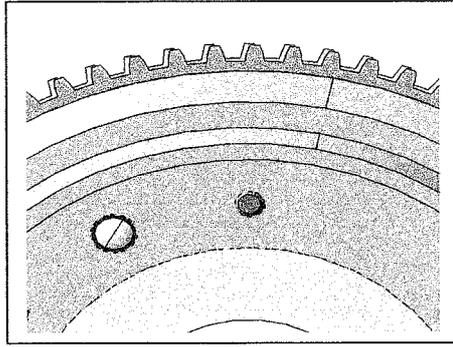
Ce dossier comporte 5 pages repérées DT1 à DT5

- Document technique DT1 : Plan de l'ensemble porte fraise mère (*format A2*).
- Document technique DT2 : Plan d'ensemble du couple conique (*format A4*).
- Document technique DT3 : Nomenclature (*format A4*).
- Document technique DT4 : Mécanisme de rattrapage de jeu interdentaire (*format A4*).
- Document technique DT5 : Contraintes de Von Mises résultant du frettage (*format A4*)

44	1	Entretoise calibrée	S355	
43	2	Patin de blocage	Ferrodo	
42	2	Piston de vérin hydraulique	S355	
41	1	Cale de réglage inférieure	S355	
40	1	Boîtier inférieur	S355	
39	1	Cale de réglage supérieure	S355	
38	1	Boîtier supérieur	S355	
37	4	Roulement à rouleaux coniques 50 KB 01		Référence 320 10 X _ FAG
36	1	Entretoise calibrée	S355	
35	2	Rondelle Z 45		NF E25.513
34	2	Ecrou à encoches M45 x 1,5		NF E22.306
33	1	Piston de desserrage	S355	D=90 mm
32	1	Ecrou butée		
31	1	Codeur incrémental		
30	1	Accouplement élastique		
29	1	Pignon arbré de codeur	34 Cr 10	
28	1	Roue d'entraînement	17 Cr Ni Mo 6	
27	88	Rondelle élastique 31,5 x 16,3 x 2	C75	Empilage 22 x 4
26	1	Tirant		
25	1	Fourreau		
24	1	Entretoise calibrée	S 355	
23	1	Embout commande de pince		
22	10	Pince		
21	1	Embout d'arbre porte fraise		
20	1	Coulisseau porte fraise	FGL 250	
19	1	Flasque		
18	1	Boîtier porte écrou	S355	
17	1	Ecrou pour vis à billes FV 25 __ pas de 5mm		FAG
16	1	Vis à billes de précision KGT 25 __ pas de 5mm		FAG
15	1	Assembleur expansible		SIAM RINGSPANN
14	1	Manchon	S355	
13	1	Poulie pour courroie crantée	34Cr6	
12	1	Fraise mère	M35 Revêtue TIN	Z=1 filet ϕ primitif=120 mm
11	1	Arbre porte fraise		
10	2	Plots prismatiques	C18	
9	1	Broche		
8	1	Roue à denture hélicoïdale	17 Cr Ni Mo 6	Z=88 dents m=2,5mm B=24°
7	1	Pignon arbré à denture hélicoïdale	17 Cr Ni Mo 6	Z=22 dents m=2,5 mm B=24°
6	1	Roue conique	17 Cr Ni Mo 6	Z=40 dents m=2,75mm
5	1	Pignon d'attaque conique	17 Cr Ni Mo 6	Z=27 dents m=2,75mm
4	1	Arbre moteur	17 Cr Ni Mo 6	
3	1	Boîtier support pignons	FGL 250	
2	1	Carter d'orientation de la tête porte fraise	FGL 250	
1	1	Bloc glissière	FGL 250	
REP	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATIONS

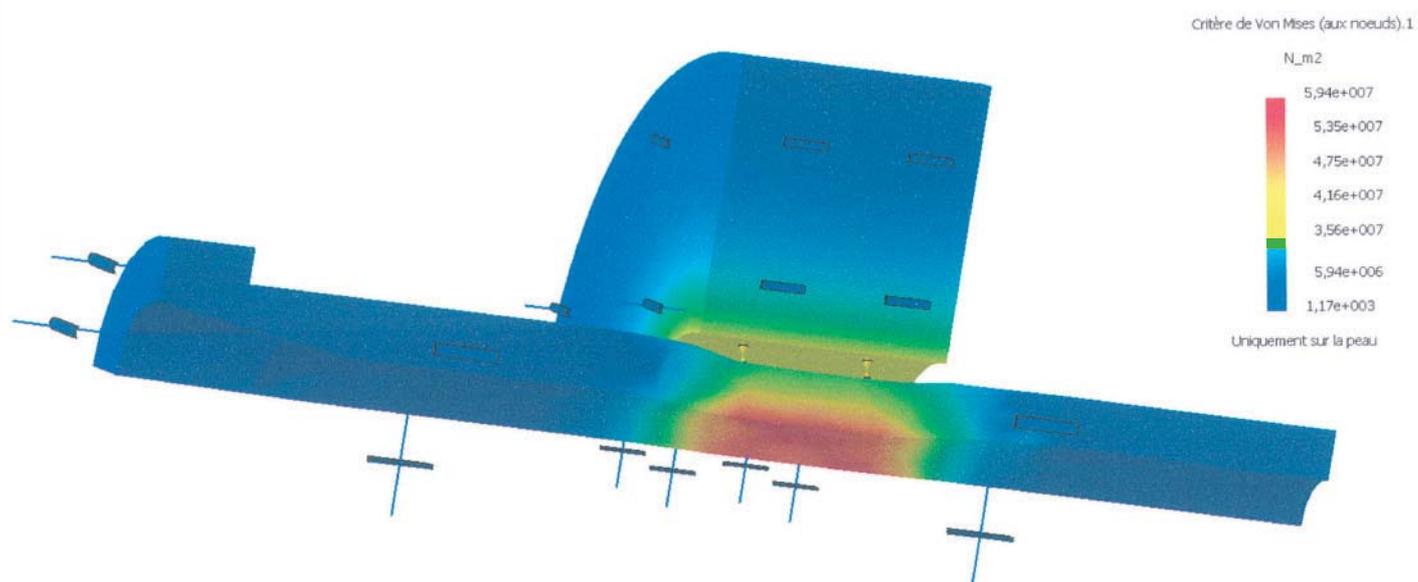
ENSEMBLE PORTE FRAISE
Machine à tailler les engrenages
Document Technique DT3

MECANISME DE RATTRAPAGE DE JEU INTERDENTAIRE



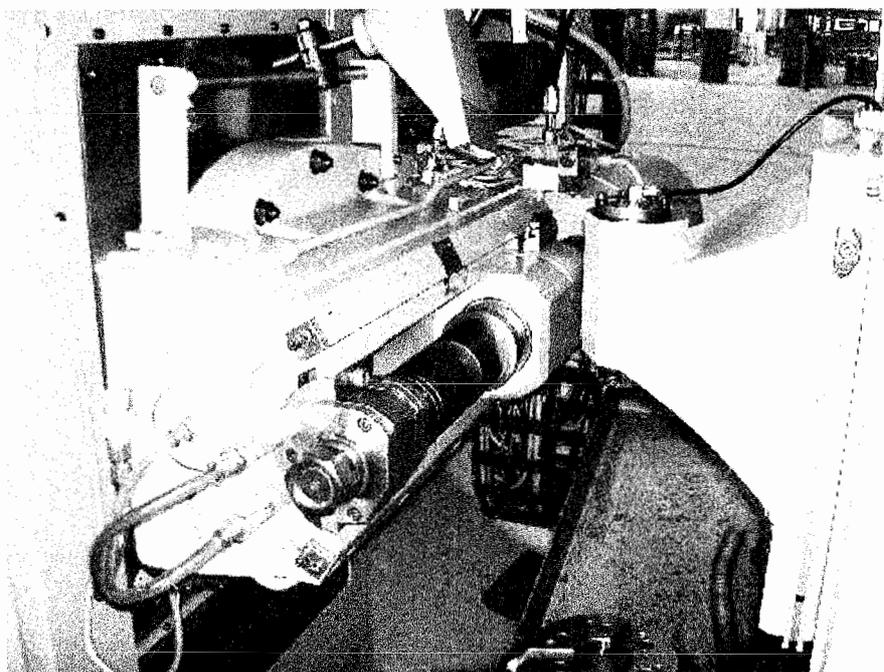
Document Technique DT4

REPARTITION DES CONTRAINTES DE VON MISES
RESULTANT DU FRETAGE
ENTRE LA ROUE ET LA BROCHE



Document Technique DT5

DOSSIER RESSOURCE



Ce dossier comporte 7 pages :

- Document ressource 1 : Conditions de coupe par fraise mère.
- Document ressource 2 : Caractéristiques d'un pignon conique.
- Document ressource 3 : Roulements à rouleaux coniques FAG.
- Document ressource 4 : Caractéristiques des rondelles élastiques.
- Document ressource 5 : Formules de Lamé.
- Document ressource 6 : Caractéristiques inertielles des sous ensembles.
- Document ressource 7 : Extrait catalogue servo-moteur STÖBER.

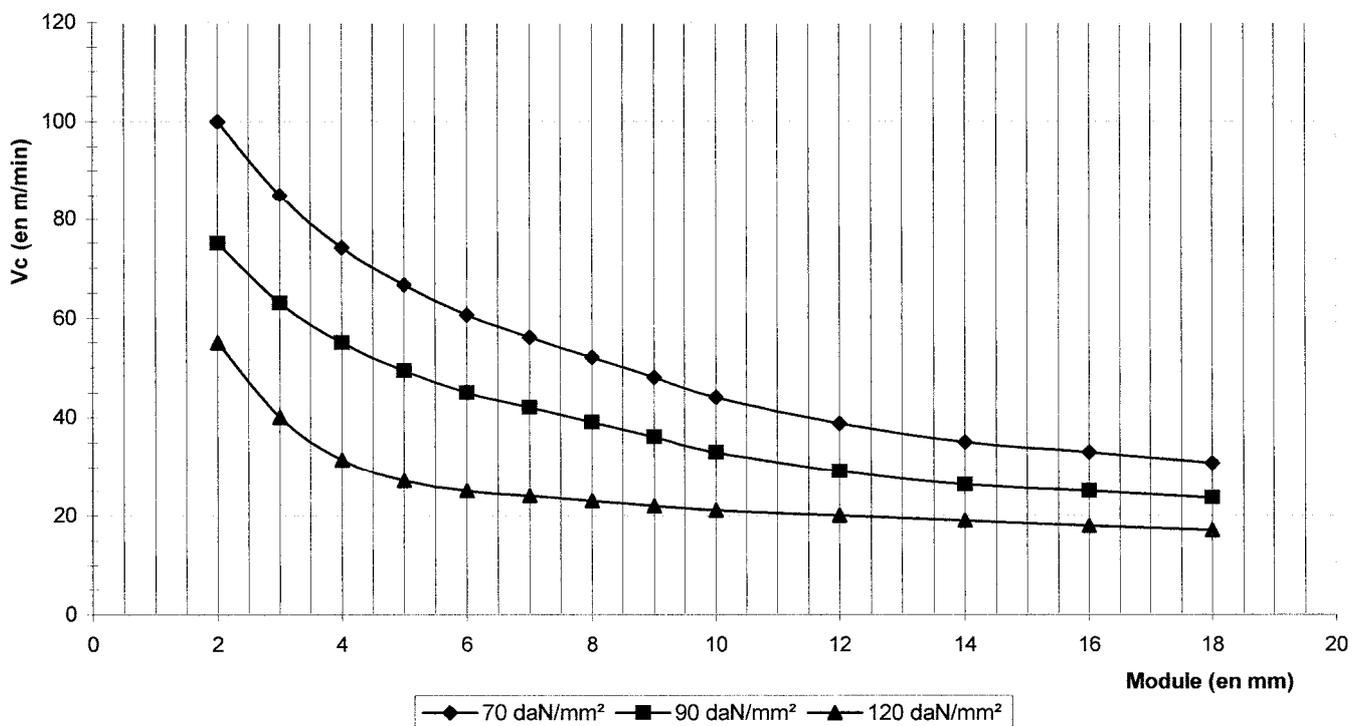
CONDITIONS DE COUPE

CONDITION D'USINABILITE EN FONCTION DU MATERIAU A USINER

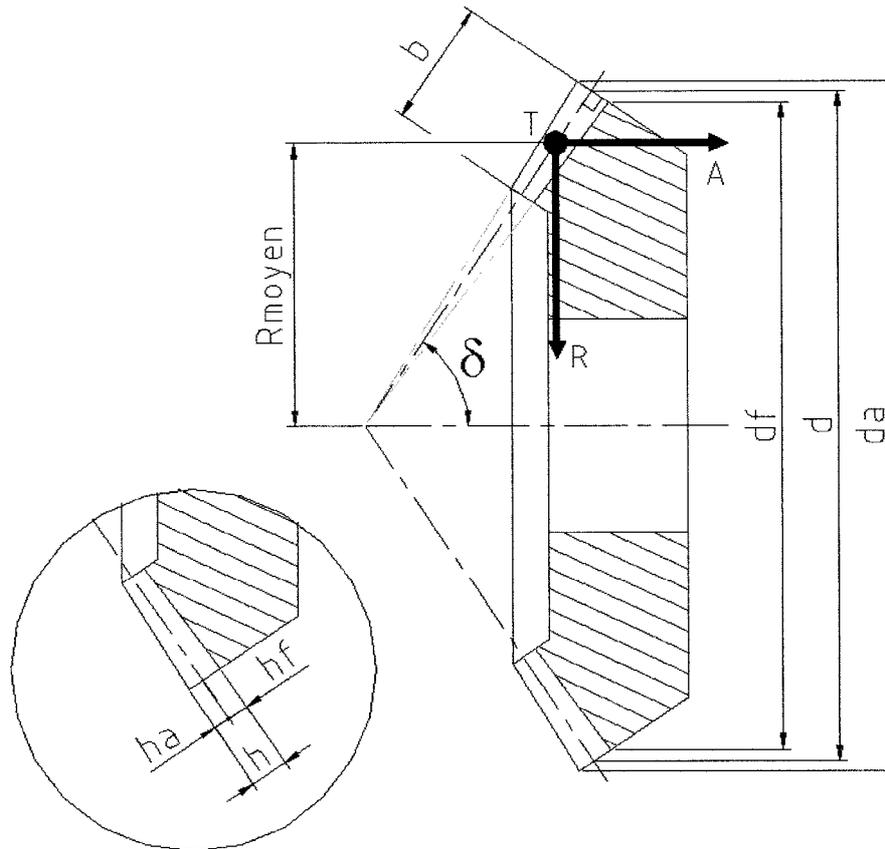
Désignation de la matière usinée suivant la la norme DIN	C15 C35 17 Cr Mo 4 16 Mn Cr 5 20 Mn Cr 5	C 60 17 Cr Ni Mo 6 18 Cr Ni 8 37 Mn Si 5 42 Cr Mo 4	30 Cr Ni Mo 8 34 Cr Ni Mo 6 V 40 Ni Cr Mo 7 V
Indice de dureté *	70 daN/mm ²	90 daN/mm ²	120 daN/mm ²
Usinabilité	Bonne	Moyenne	Difficile

* Indice déterminé à partir d'un essai spécifique au fabricant.

Vitesse de coupe ébauche Fraise Mère revêtue TIN
en fonction du module à tailler
et de la dureté du matériau à usiner



CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES D'UN PIGNON CONIQUE



Caractéristiques géométriques	Symboles	Relations et observations
Module	m	
Nombre dents	Z	
Diamètre primitif	d	$d = m Z$
Angle primitif	δ	$\tan(\delta) = Z_1 / Z_2$
Angle de pression	α	$\alpha = 20^\circ$ en général
Saillie	ha	$ha = m$
Creux	hf	$hf = 1,25 m$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 m \cos(\delta)$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 m \cos(\delta)$
Largeur de denture	b	$b = k m$ (en général $k \geq 5$)

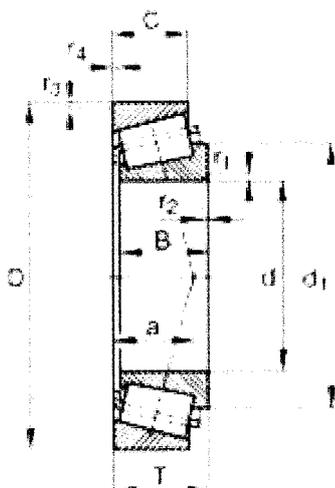
Composantes de l'action interdentaire	Symboles	Relations et observations
Composante tangentielle	T	
Composante radiale	R	$R = T \tan(\alpha) \cos(\delta)$
Composante axiale	A	$A = T \tan(\alpha) \sin(\delta)$



FAG : Roulements à rouleaux coniques 320 10-X

dimensions principales selon DIN ISO 355 / DIN 720

dissociable, à régler ou par paire



d	50 mm
D	80 mm
T	20 mm

M	0,384 kg	Masse
C	62000 N	Charge dynamique de base
e	0,42	
Y	1,42	
C₀	91000 N	Charge statique de base
N_G	4500 trs/min	vitesse limite, graissage à la graisse
N_H	5600 trs/min	vitesse limite, graissage à l'huile

Cas d'une charge et vitesse de rotation variables par paliers dans une période T

Charge dynamique équivalente :

P (en N)

$$P = F_r \quad \text{pour} \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = 0,4 \times F_r + Y \times F_a \quad \text{pour} \quad \frac{F_a}{F_r} > e$$

Fréquence de rotation moyenne :

n (en trs/min)

$$n = \frac{q_1 \cdot n_1 + q_2 \cdot n_2 + \dots + q_z \cdot n_z}{100}$$

Charge équivalente moyenne :

P_{moyenne} (en N)

$$P_{moyenne} = \sqrt[p]{\frac{q_1 \cdot n_1 \cdot (P_1)^p + \dots + q_z \cdot n_z \cdot (P_z)^p}{q_1 \cdot n_1 + \dots + q_z \cdot n_z}}$$

Durée de vie du roulement :

L_h (en heures de fonctionnement)

$$L_h = \left(\frac{C}{P_{moyenne}} \right)^p \times \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

Légende :

F_a Effort axial s'exerçant sur le roulement.

F_r Effort radial s'exerçant sur le roulement.

n_i Fréquence de rotation à l'instant considéré.

q_i Pourcentage d'utilisation à un certain régime par rapport à la durée totale d'utilisation $q_i = \left(\frac{\Delta t_i}{T} \right) \times 100$

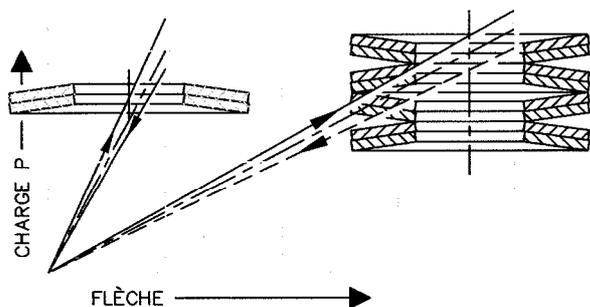
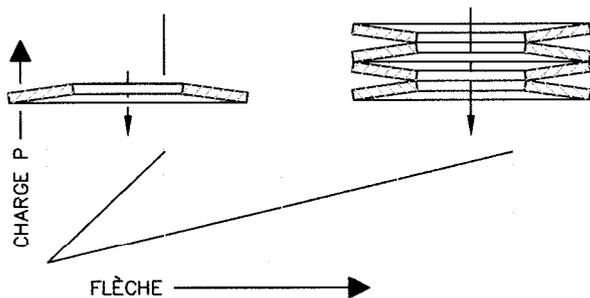
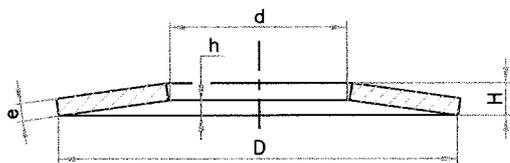
P_i Charge dynamique équivalente s'exerçant sur le roulement à l'instant considéré.

p Exposant de durée Pour les roulements à aiguilles et les roulements à rouleaux $p = 10/3$

Pour les roulements à billes $p = 3$

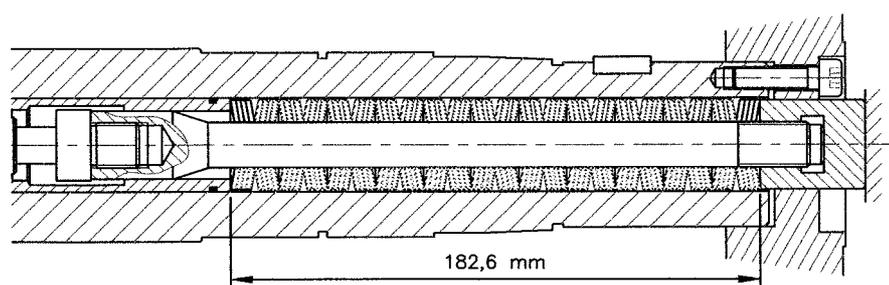
RONDELLES ELASTIQUES

Dites "BELLEVILLE"



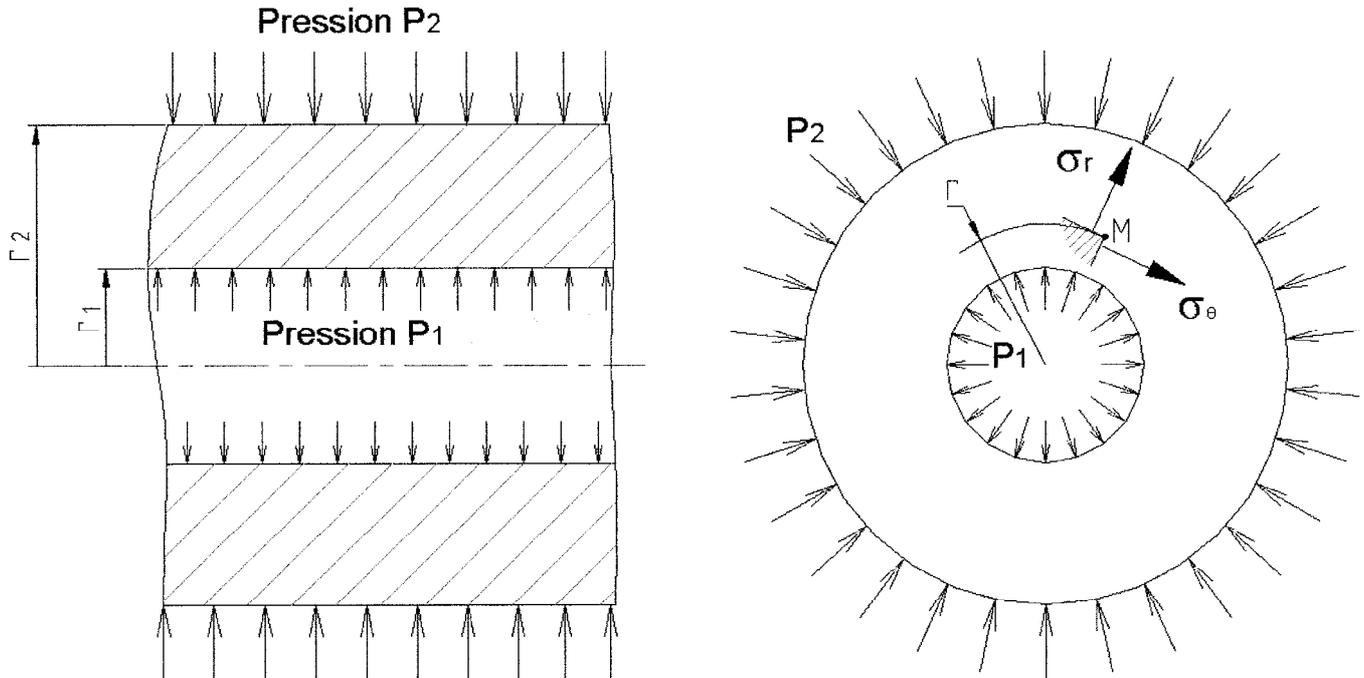
* Charge indiquée pour 75 % de la flèche h

D mm	d mm	e mm	flèche h mm	* Charge P daN
28	10,2	1	1,00	131
28	10,2	1,25	1,00	244
28	10,2	1,5	0,70	278
28	12,2	1,0	0,95	129
28	12,2	1,25	0,85	212
28	12,2	1,5	0,75	314
28	14,2	1,0	0,80	113
28	14,2	1,25	0,85	228
28	14,2	1,5	0,65	290
31,5	16,3	1,25	0,90	195
31,5	16,3	1,5	0,90	329
31,5	16,3	1,75	0,70	395
31,5	16,3	2,0	0,75	629
34	12,3	1,25	1,20	206
34	12,3	1,5	1,20	343
34	14,3	1,25	1,15	203
34	14,3	1,5	1,05	305
34	16,3	1,5	1,05	322
34	16,3	2,0	0,85	589
35,5	18,3	1,25	1,00	173
35,5	18,3	2,0	0,80	529
40	14,3	1,5	1,30	272
40	14,3	1,75	1,30	420
40	14,3	2,0	1,05	486
40	16,3	1,5	1,30	280
40	16,3	1,75	1,35	452
40	16,3	2,0	1,10	527
40	18,3	2,0	1,15	577
40	20,4	1,5	1,15	267
40	20,4	2,0	1,10	581
40	20,4	2,25	0,90	663
40	20,4	2,5	0,95	957
45	22,4	1,75	1,30	372
45	22,4	2,5	1,00	787



FORMULES DE LAME

On donne ci dessous le schéma d'un tube de rayon extérieur r_2 et de rayon intérieur r_1
 On exerce une pression P_2 sur sa face extérieure, et une pression P_1 sur sa face intérieure.
 Les formules de Lamé permettent de déterminer les contraintes σ_r et σ_θ en un point M
 situé sur un cercle de rayon r ($r_1 \leq r \leq r_2$).



Formules de LAME

$$\sigma_r = \frac{r_1^2 \cdot r_2^2 (P_2 - P_1)}{r_2^2 - r_1^2} \times \frac{1}{r^2} + \frac{P_1 \cdot r_1^2 - P_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

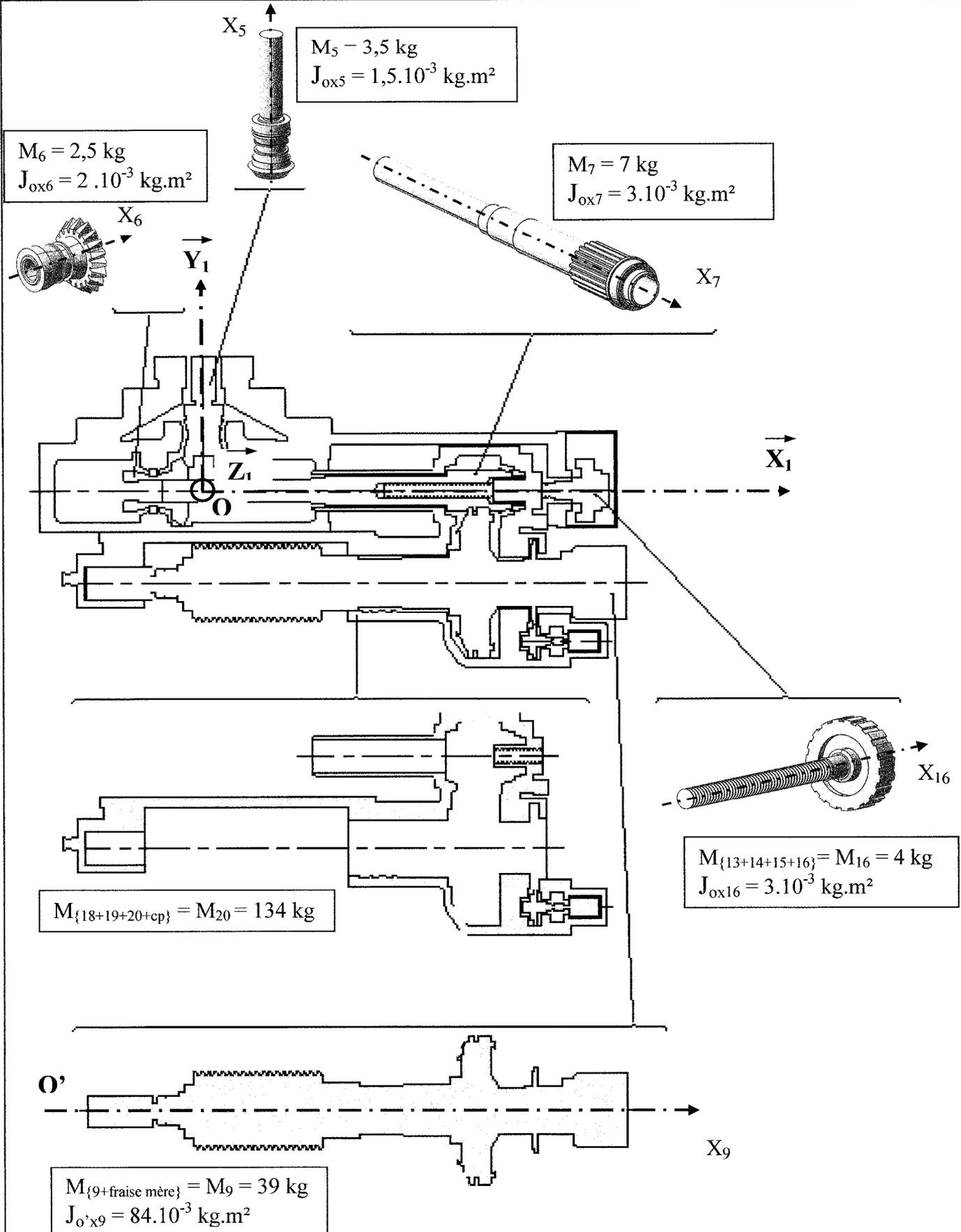
$$\sigma_\theta = - \frac{r_1^2 \cdot r_2^2 (P_2 - P_1)}{r_2^2 - r_1^2} \times \frac{1}{r^2} + \frac{P_1 \cdot r_1^2 - P_2 \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

Contraintes de VON MISES
 résultant de l'état plan de contraintes :

$$\sigma_{v.m.} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_r \cdot \sigma_\theta}$$

Document Ressource 5

CARACTERISTIQUES INERTIELLES DES SOUS ENSEMBLES



Inhaltsübersicht
SMS
 Servoantriebe

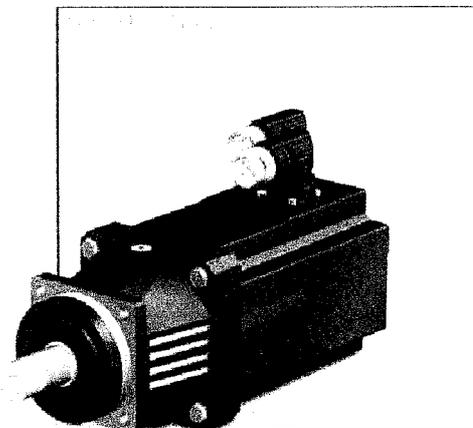
Contents
SMS
 Servo Drives

Servo - Entraînement
SMS
 Sommaire

STÖBER ANTRIEBSTECHNIK

Planetengetriebemotoren **P...ED**
 Planetary geared motors **P...ED**
 Motoréducteurs planétaires **P...ED**

STÖBER ANTRIEBSTECHNI



n ₂	M ₂	S	Typ	M _{2B}	M _{2NOT}	S _B	i _{ges}	i _{exakt}	n _{1MAX}		J ₁	Δφ ₂	θ _F	C ₂	G	
									DB	ZB						
[min ⁻¹]	[Nm]	[-]		[Nm]	[Nm]	[%]	[-]	[-]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[10 ⁻⁴ kgm ⁻²]	[arcmin]	[10 ⁻⁴ arcmin/ ^o K]	[Nm/arcmin]	[kg]	
ED303U (P1=0,42 kW, n1=3000 1/min)																
60	64,1	1,3	P422_0500 ED303U	120	240	179	50,00	50/1	4500	8000	0,44	5	119	10	7,3	
75	51,3	1,7	P422_0400 ED303U	120	240	224	40,00	40/1	4500	8000	0,44	5	149	10	7,3	
86	44,9	1,9	P422_0350 ED303U	120	240	256	35,00	35/1	4500	8000	0,46	5	113	11	7,3	
94	41,0	1,9	P422_0320 ED303U	100	200	233	32,00	32/1	3700	6500	0,54	5	62	9,2	7,3	
107	35,9	2,4	P422_0280 ED303U	120	240	320	28,00	28/1	4500	9000	0,46	5	142	10	7,3	
120	32,1	1,4	P322_0250 ED303U	65	130	194	25,00	25/1	4500	8000	0,44	5	82	4,6	4,9	
120	32,1	2,7	P422_0250 ED303U	120	240	345	25,00	25/1	4000	7000	0,50	5	106	11	7,3	
150	25,7	1,8	P322_0200 ED303U	65	130	243	20,00	20/1	4500	8000	0,46	5	77	4,6	4,9	
150	25,7	3,3	P422_0200 ED303U	120	240	345	20,00	20/1	3700	6500	0,55	5	99	11	7,3	
188	20,5	2,2	P322_0160 ED303U	65	130	303	16,00	16/1	4500	8000	0,46	5	96	4,5	4,9	
300	13,1	2,0	P321_0100 ED303U	50	100	345	10,00	10/1	4500	8000	0,43	4	595	4,0	4,2	
375	10,5	3,3	P321_0080 ED303U	50	100	345	8,000	8/1	4500	8000	0,44	4	595	4,2	4,2	
429	9,17	4,3	P321_0070 ED303U	60	130	345	7,000	7/1	4500	8000	0,45	4	567	4,4	4,2	
600	6,55	2,1	P221_0050 ED303U	22	44	322	5,000	5/1	4500	8000	0,44	6	411	1,9	3,6	
750	5,24	2,7	P221_0040 ED303U	22	44	345	4,000	4/1	4500	8000	0,46	6	385	1,9	3,6	
1000	3,93	6,7	P321_0030 ED303U	50	64	345	3,000	3/1	3500	6000	0,62	4	441	5,7	4,2	

n ₂	[min ⁻¹]	Abtriebsdrehzahl	Output speed	Vitesse à la sortie
M ₂	[Nm]	Abtriebsdrehmoment (ED ± 60%)	Output torque (ED ± 60%)	Couple de sortie (ED ± 60%)
S	[-]	Lastkennwert	Load factor	Caractéristique des charges
M _{2B}	[Nm]	max. zul. Beschleunigungsmom. Getriebe	Max. perm. acceleration torque gear unit	Couple max. permis d'accélération réducteur
M _{2NOT}	[Nm]	NOT-AUS-Moment	Emergency-Off moment	Couple arrêt d'urgence
S _B	[%]	Stromkennwert, MDS Parameter C03	Current factor, MDS parameter C03	Facteur de courant, MDS parameter C03
i _{ges}	[-]	Gesamtübersetzung	Total ratio	Rapport totale
i _{exakt}	[-]	math. genaue Übersetzung	Exact math ratio	Rapport math. exact
n _{1MAX}	[min ⁻¹]	max. zul. Eintriebsdrehzahl Getriebe	Max. perm. input speed gear unit	Vitesse d'entrée maxi permis réducteur
DB		- Dauerbetrieb	Continuous operation	Régime continu
ZB		- Zyklusbetrieb (ED ± 40% bei 20 °C	Cycle operation - (ED ± 40% at 20 °C	Régime cyclique - (ED ± 40% - température
		Umgebungstemperatur)	ambient temperature)	ambiante 20°C)
J ₁	[10 ⁻⁴ kgm ⁻²]	Massenträgheitsmoment des Antriebs	Mass moment of inertia	Moment de couple d'inertie
Δφ ₂	[arcmin]	Drehspiel	Backlash	Jeu
θ _F	[10 ⁻⁴ arcmin/ ^o K]	Wärmepositionskoeffizient	Coefficient of the heat position	Coefficient de position thermique
C ₂	[Nm/arcmin]	Getriebe-Drehsteifigkeit	Torsional rigidity of the gear unit	Rigidité en torsion du réducteur
G	[kg]	Gewicht	Weight	Poids

Académie : _____ Session : _____
 Concours : _____ Représentant de l'épreuve : _____
 Spécialité/option : _____
 Intitulé de l'épreuve : _____
 NOM : _____ N° du candidat : _____
(en majuscules, sans s'il y a lieu, du nom d'épouse)
 (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FEI-I-IN

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

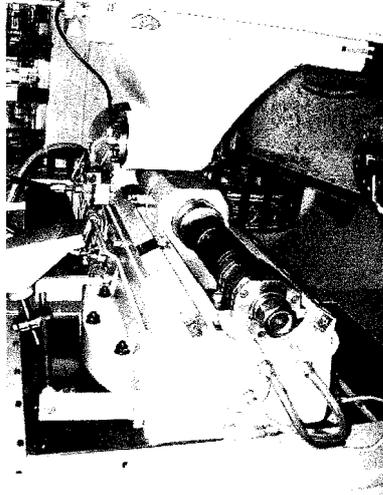
Document réponse DR7

Système matériel	Expression de l'énergie cinétique (l'application numérique n'est pas à effectuer)
Pignon d'attaque (5)	Question 3-3 $T(5/1) = \dots\dots\dots$
Roue conique (6)	Question 3-4 $T(6/1) = \dots\dots\dots$
Ensemble {13+14+15+16} noté (16)	Question 3-5 $T(16/1) = \dots\dots\dots$
Ensemble {18+19+20+ contre-pointe} noté (20)	Question 3-6 $T(20/1) = \dots\dots\dots$
Pignon arbré (7)	Question 3-7 $T(7/1) = \dots\dots\dots$
Ensemble {8+9+fraîse-mère} noté (9)	Question 3-8 $T(9/1) = \dots\dots\dots$

Question 3-9
Valeur de C1 :

Système matériel	Puissances galiléennes
Ensemble $(\Sigma) = (5+6+7+9+16+20)$	Question 3-10 Puissance des efforts extérieurs :
Ensemble $(\Sigma) = (5+6+7+9+16+20)$	Question 3-11 Puissance des efforts intérieurs :

DOSSIER
REPONSE



Ce dossier comporte 7 pages :

- Document réponse DR1 : FAST de la fonction FP1.
- Document réponse DR2 : FAST de la fonction FP2.
- Document réponse DR3 : Schéma cinématique.
- Document réponse DR4 : Analyse des liaisons.
- Document réponse DR5 : Etude statique.
- Document réponse DR6 : Gammes de montage.
- Document réponse DR7 : Etude énergétique.

NE RIEN ÉCRIRE

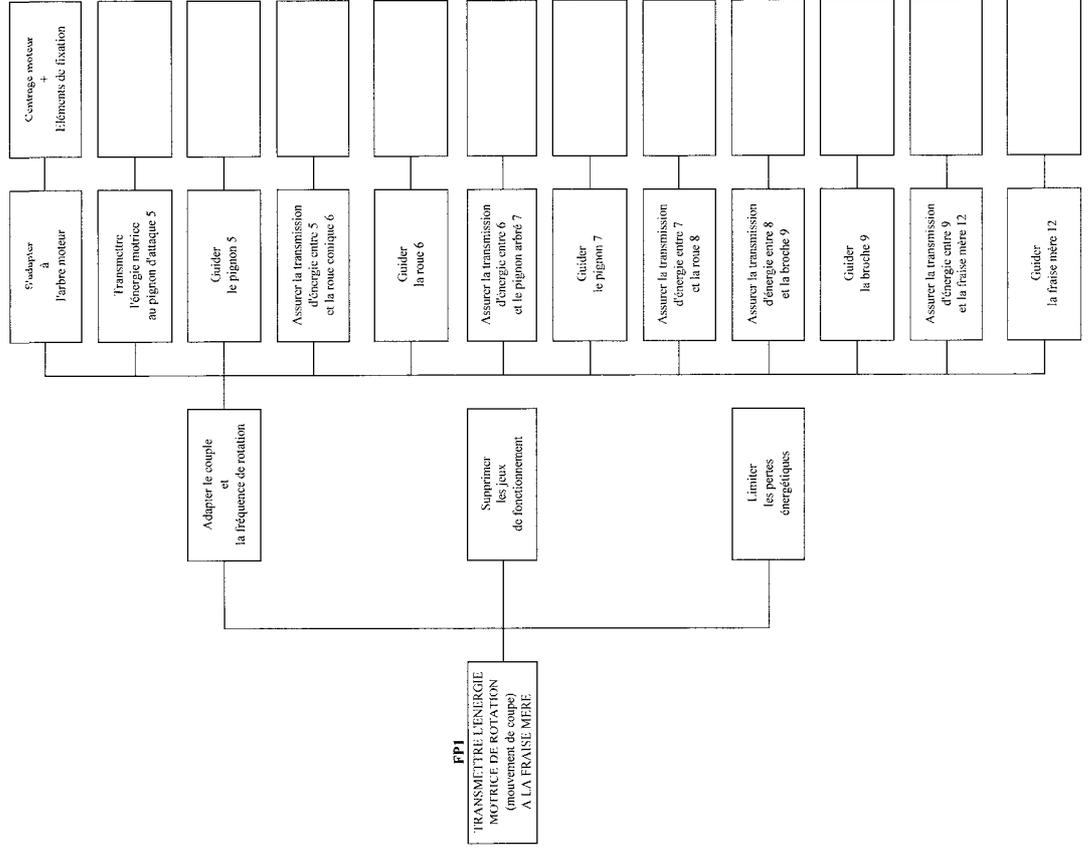
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

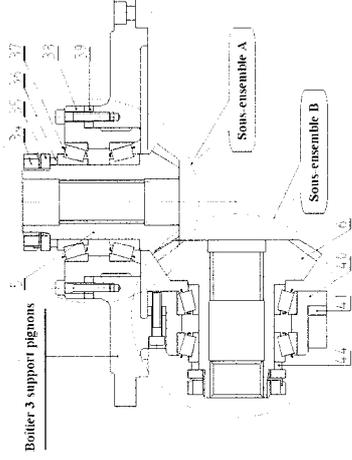
Document réponse DRI

FAST DE LA FONCTION FP1



Document réponse DR6

Réponse à la question 2-9 :



Gamme de montage du sous-ensemble repéré A :

Nota On suppose que la gamme de montage du sous-ensemble repéré B est identique à celle du sous-ensemble repéré A

Gamme de montage de l'ensemble dans le boîtier support pignons 3 :

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

Document réponse DR5 ETUDE STATIQUE

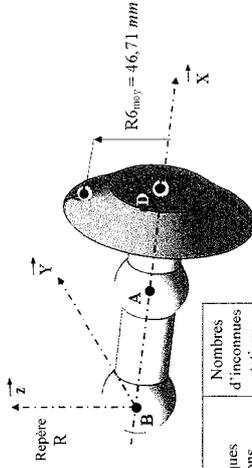
Réponses à la question 2-4 :

Liaisons	Modèles adoptés	Justifications et hypothèses
en A		
En B		

Réponses à la question 2-5 :

Isolément de la roue 6

Voir cotes sur document technique DT2



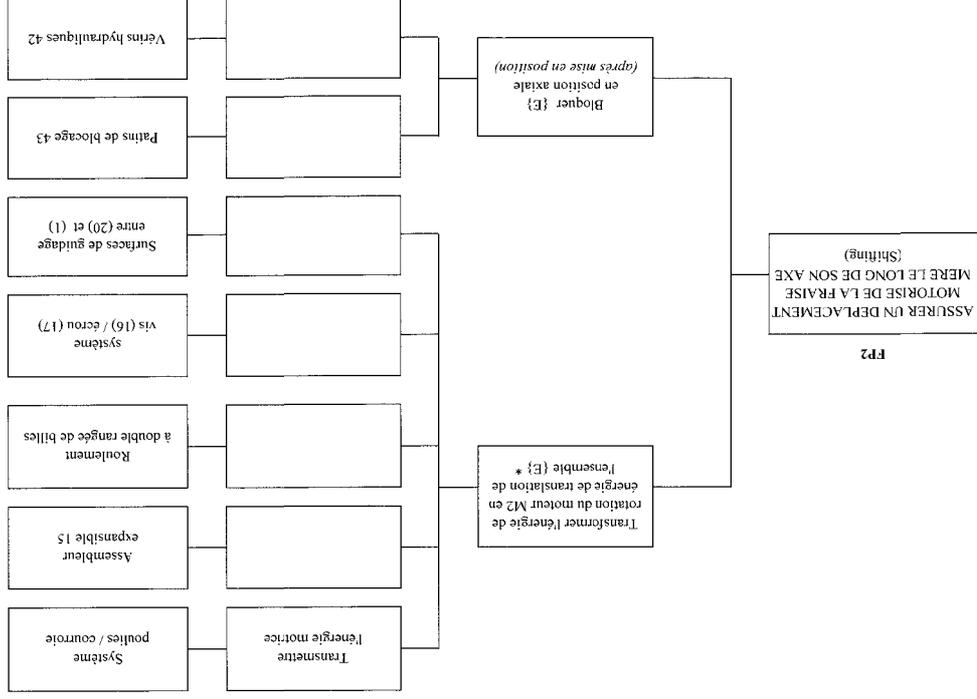
Nota :

Le poids de la roue 6 est négligeable par rapport aux autres actions mécaniques

Liaisons modélisées	Torseurs des actions mécaniques associées aux liaisons	Nombres d'inconnues statiques
En A : Liaison rotule		
En B : Liaison linéaire annulaire		
En C :		
En D :		

Calcul des actions aux paliers A et B

Document réponse DR2 FAST DE LA FONCTION FP2



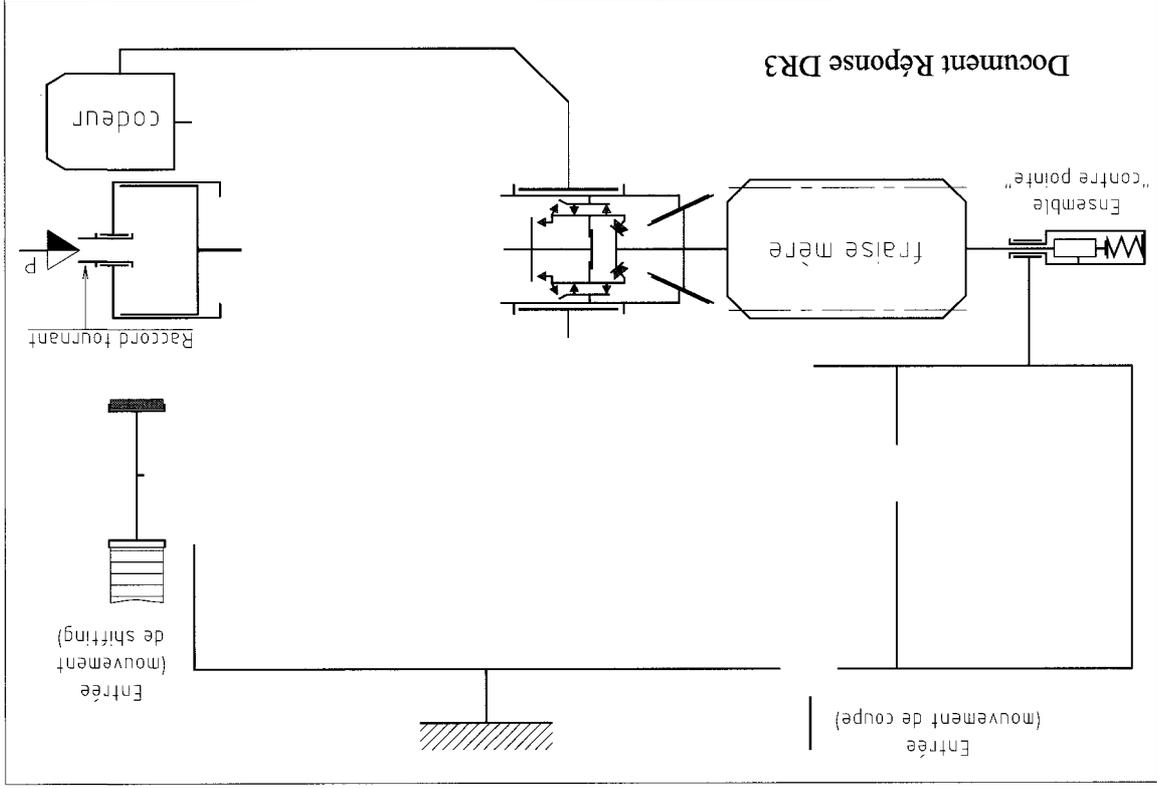
* On nomme {E} l'ensemble des pièces liées en translation au coulisseau porte fraise (20).

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE



Document Réponse DR3

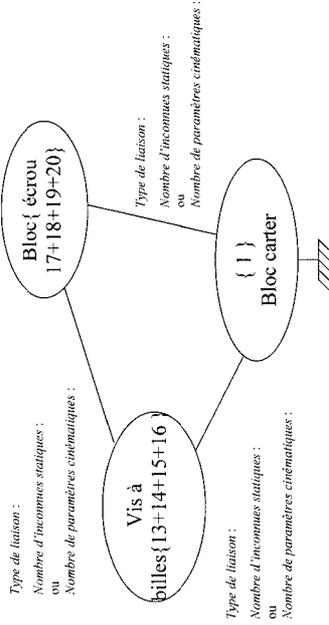
Document réponse DR4

ANALYSE DES LIAISONS

de la chaîne cinématique relative à la fonction technique
« Transformer l'énergie de rotation du moteur M2 en énergie de translation de l'ensemble des pièces liées au coulisseau porte fraise-mère. »

Réponses à la question 1-5 :

Graphe des liaisons



Degré d'hyperstativité

$h =$

Réponses à la question 1-6 : Conséquences technologiques

Avantages	Inconvénients
-	-
-	-
-	-

Proposition de modification pour réduire l'hyperstativité

On pourra continuer le développement de l'analyse au verso de cette feuille.

Tournez la page S.V.P.