

✱ Banque filière PT ✱

Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée 6 h

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

Composition du sujet :

- 1 cahier de 26 pages de texte, numérotées de T1/26 à T26/26 ;
- 16 documents format A4, intitulés « Document i », avec $i \in \{1, 2, \dots, 17\}$ définis dans les pages D1/17 à D17/17 ;
- 3 feuilles format A3 pliées, imprimées recto verso, respectivement intitulées « Notice justificative 1/3 », « Notice justificative 2/3 », « Notice justificative 3/3 » à rendre en fin d'épreuve ;
- 2 feuilles de calque format A3, pré imprimées, intitulées « Calque n°1 » et « Calque n°2 » à rendre en fin d'épreuve ;
- 2 feuilles format A4, intitulées « Dessin pour réponses n°1 » et « Dessin pour réponses n°2 », à rendre en fin d'épreuve.

TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE

Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur.

**LES CALCULATRICES SONT AUTORISEES.
LES AGENDAS ELECTRONIQUES ET LES TELEPHONES PORTABLES SONT
INTERDITS**

Gestion du temps : En admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer 2 h 30 min pour la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 min au tracé des dessins.

ETUDE D'UN SYSTEME D'ENTRAINEMENT D'UNE BROCHE DE FRAISAGE

A - Cahier des Charges Fonctionnel (*Extraits*)

A.1 – Présentation du problème

A.1-1 Le Contexte du sujet

Avec l'ouverture des frontières et la concurrence grandissante, la plupart des entreprises (secteur de l'automobile, secteur aéronautique, secteurs de la plasturgie et du moule,...) ont besoin d'améliorer, d'augmenter voire de diversifier leurs offres. Elles ont donc compris tout l'intérêt d'investir dans des techniques de pointe qui permettent de répondre à ces besoins comme par exemple l'Usinage à Grande Vitesse (UGV) ou bien encore les machines multifonctions.

C'est dans ce contexte qu'un grand constructeur de machine outil propose des centres de tournage fraisage 5 axes¹. Ainsi des pièces qui nécessitent normalement l'emploi de centres d'usinage verticaux et horizontaux peuvent maintenant être usinées en totalité par une seule machine et parfois en une seule prise de pièce avec une efficacité et une précision sans égales. La **figure 1**, page T2/26, illustre ce type de machine outil et quelques applications d'usinage.

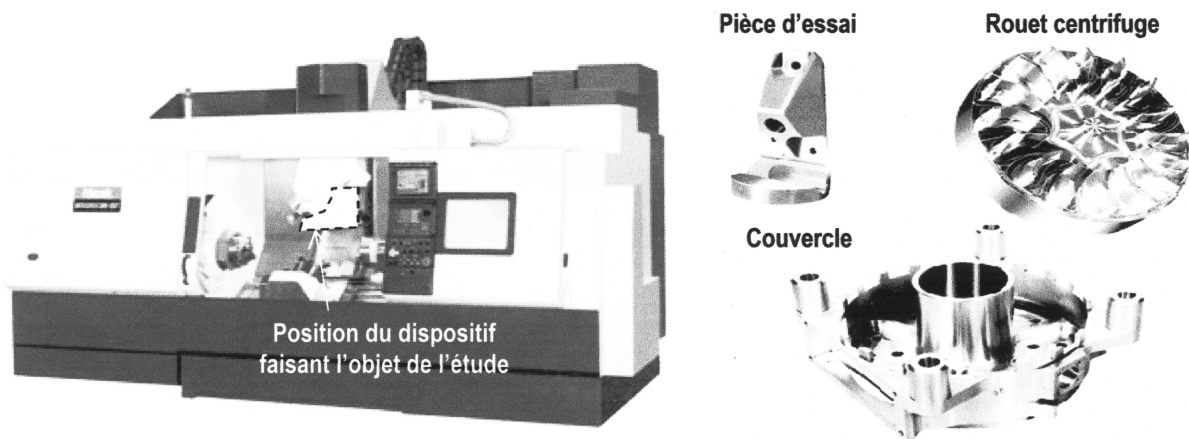


Figure 1 - Centre de tournage fraisage 5 axes

Naturellement, le constructeur attache une attention particulière à la précision de la machine qu'il conçoit entièrement et commercialise. Il cherche donc à innover constamment et ces innovations passent entre autres par :

- L'amélioration des systèmes de prise de pièce et des systèmes de changement rapide d'outil ;
- L'amélioration des dispositifs de maintenance de la machine (maintenance plus rapide, maintenance plus simple,...) ;
- L'augmentation du volume usinable par l'évolution de la cinématique machine ;
- L'amélioration de l'accessibilité machine ;
- L'utilisation de broches de plus en plus puissantes ;
- L'amélioration de la dynamique et de la précision des axes de déplacement de la machine ;
- Etc.

¹ Il est rappelé qu'un axe de déplacement est asservi à la fois en vitesse et en position

C'est le dernier point cité qui nous intéresse particulièrement dans ce sujet. En effet, le travail proposé dans ce sujet se focalise sur le système de mise en position angulaire de la broche de fraisage. La **figure 2, page T3/26** présente l'architecture du centre de tournage fraisage 5 axes et la position de la broche de fraisage dans la machine. Les 3 axes de translation sont \vec{x} , \vec{y} et \vec{z} et les deux autres axes sont les axes de rotation B et C respectivement autour des axes \vec{y} et \vec{z} .

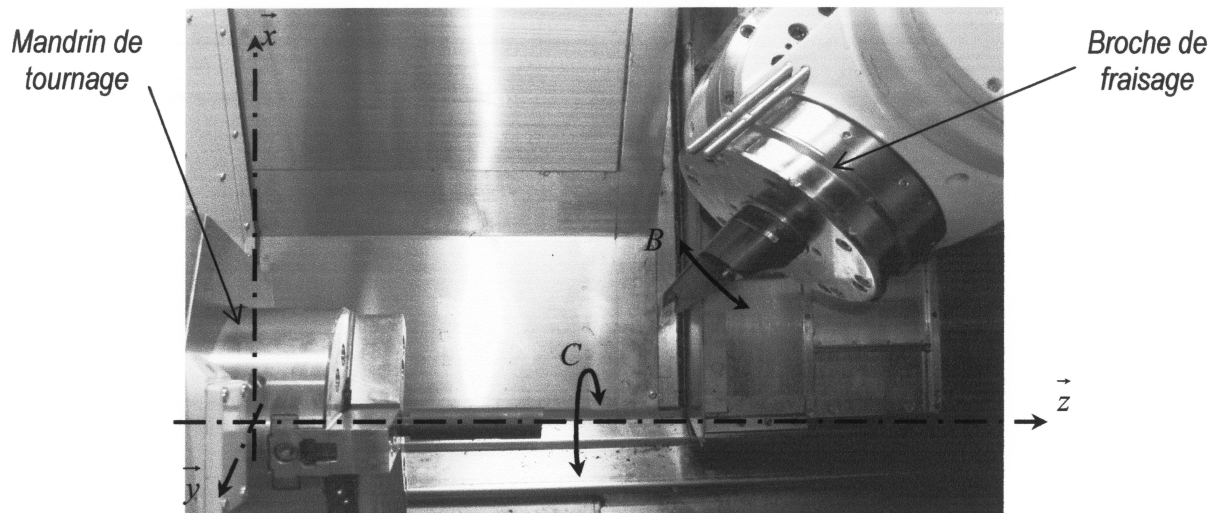


Figure 2 - Définition des axes de translation et de rotation du centre de tournage fraisage

A.1-2 Le produit à concevoir : système d'entraînement motorisé de la broche de fraisage

Le constructeur, souhaitant améliorer la robustesse et la précision du déplacement angulaire de la broche de fraisage envisage d'intégrer un système d'entraînement à roue et vis sans fin reprenant ainsi le principe utilisé dans de nombreuses machines outils. En intégrant ce système, le constructeur souhaite apporter une grande rigidité à la transmission et permettre une indexation très précise de la broche en vue d'applications spécifiques.

Le système d'entraînement étudié est donc constitué d'un moteur, d'un étage de réduction de vitesse et d'un dispositif de transformation de mouvement. L'énergie électrique fournie au moteur est ainsi convertie en énergie mécanique. L'énergie mécanique est transmise via l'étage de réduction et le système de transmission de mouvement (**figure 3, page T3/26**).

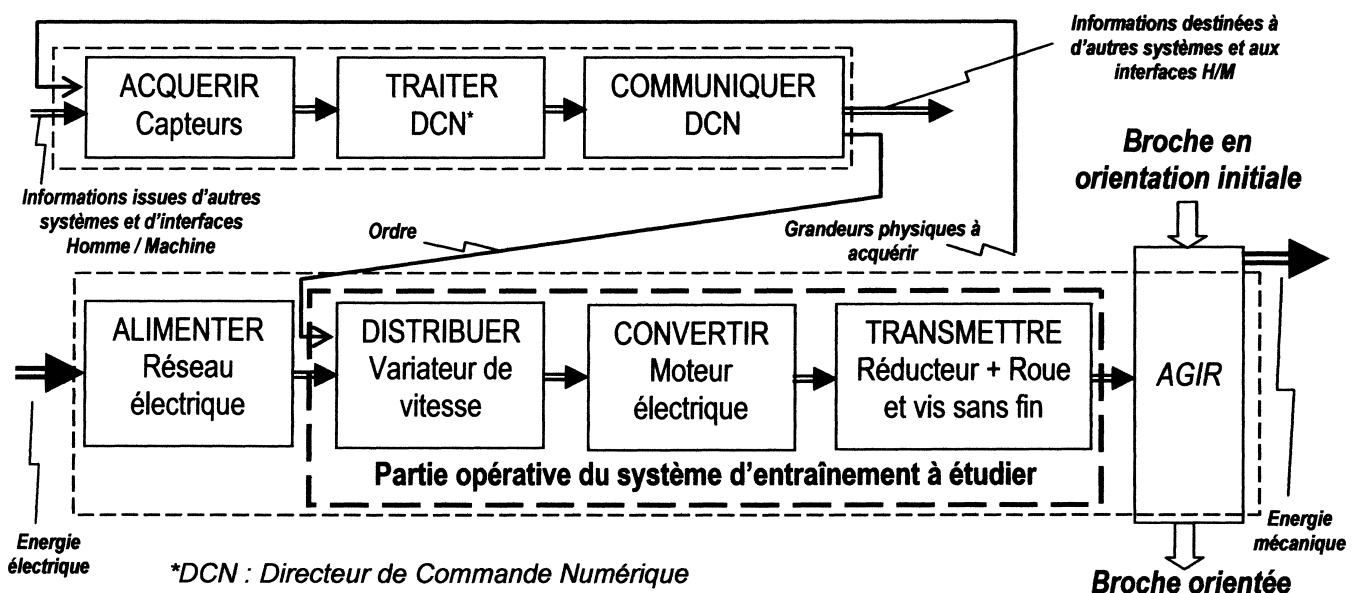


Figure 3 - Agencement des principaux sous-ensembles du vérin à étudier : chaîne d'énergie

La broche de fraisage (en rotation autour de l'axe \vec{y}) peut également être utilisée en mode tournage. En mode tournage et dans ces conditions, l'outil de tournage est monté dans la broche appelée broche de fraisage par abus de langage. L'outil de tournage indexé en position peut ensuite être orienté en rotation autour de l'axe \vec{y} . Notons ici que la possibilité d'utiliser un outil de tournage dans une position angulaire B donnée constitue une spécificité de la machine par rapport à un centre de tournage classique où l'outil ne peut être utilisé qu'en position horizontale (position B=0°, **figure 4a, page T4/26**) ou en position verticale (position B=90°) (**figure 4b, page T4/26**).



A.1-3 Limites de l'étude

Limites de l'étude : l'étude proposée porte uniquement sur le système d'entraînement en rotation de la broche de fraisage :

- Dimensionnement du moteur ;
- Dimensionnement des roulements guidant les différents arbres en rotation ;
- Dimensionnement des arbres.

Choix de concept : Chacun des sous-ensembles composant le système d'entraînement constituera un module interchangeable ;

Le moteur électrique utilisé pour la transmission sera un composant standard du commerce.

A.2 – Analyse fonctionnelle du besoin (extraits)

Parmi toutes les situations du cycle de vie du produit, il ne sera considéré que la situation de fonctionnement opérationnel. De plus, son étude sera présentée sous une forme simplifiée.

A.2-1 Graphe des interacteurs

L'outil et le porte outil sont montés dans la broche de fraisage. Ces trois éléments essentiels constituent l'ensemble {Broche / Porte outil / Outil}. Le graphe des interacteurs du sous ensemble étudié dans ce sujet est présenté sur la **figure 5, page T5/26**. Il montre notamment que la partie opérative du système d'entraînement par roue et vis sans fin est également le support du dispositif de lubrification de l'ensemble {Broche / Porte Outil / Outil}.

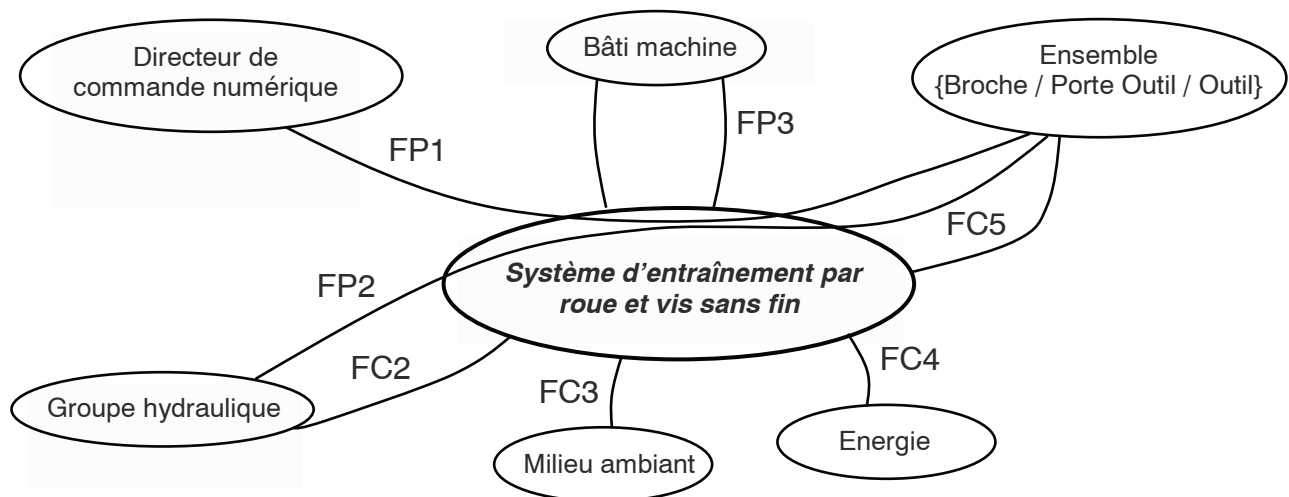


Figure 5 - Graphe des interacteurs

A.2-2 Enoncés des fonctions de service

Fonctions principales :

FP1 : Convertir la consigne électrique émise par le directeur de commande numérique en un déplacement angulaire de l'ensemble {Broche / Porte Outil / Outil}

FP2 : Permettre l'alimentation en fluides de l'ensemble {Broche / Porte Outil / Outil}

FP3 : Permettre le blocage de la rotation de fraisage autour de l'axe \vec{y}

Fonctions contraintes :**FC1** : S'adapter au bâti machine (support de broche)**FC2** : Etre alimenté en huile**FC3** : Résister aux effets du milieu ambiant (projections de copeaux, huile de coupe)**FC4** : S'adapter aux possibilités générales d'alimentation électrique d'un atelier**FC5** : Permettre l'adaptation d'une broche de fraisage**A.2-3 Caractérisation des fonctions**

Fonction	Critères	Niveaux
FP1	<ul style="list-style-type: none"> • Débattement angulaire • Vitesse de rotation maximale • Couple maximal transmissible 	<ul style="list-style-type: none"> • [-120°; +105°] • 40 tr.min⁻¹ • Non précisé
FP2	<ul style="list-style-type: none"> • Système d'arrosage (fluide de coupe) – à travers la broche et sur l'extérieur de la broche • Liquide de refroidissement • Pression d'huile dans le système de bridage du porte-outil dans la broche • Alimentation pneumatique 	<ul style="list-style-type: none"> • 20 L.min⁻¹ • 15 bars • Pompe 1,2 kW • Non précisée • 5 bars 500 L.min⁻¹
FP3	<ul style="list-style-type: none"> • Protection du système d'entraînement en rotation • Liaison avec le bâti (support de broche), maintenance facile 	<ul style="list-style-type: none"> • Démontable • Démontable
FC1	<ul style="list-style-type: none"> • Volume disponible • Liaison complète 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,06 m³ • Démontable
FC2	<ul style="list-style-type: none"> • Huile utilisée 	<ul style="list-style-type: none"> • Non précisée
FC3	<ul style="list-style-type: none"> • Matériau du carter 	<ul style="list-style-type: none"> • EN-GJS 500
FC4	<ul style="list-style-type: none"> • Source d'énergie électrique • Alimentation électrique nécessaire (en continu) 	<ul style="list-style-type: none"> • Triphasé 380 V 50 Hz • 38,1 kVA
FC5	<ul style="list-style-type: none"> • Puissance de la broche • Couple maximum de la broche 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 kW • 12,2 kgf.m

Tableau 1 - Caractérisation des différentes fonctions.

B – Etude et éléments de solutions proposés

B.1 – Architecture générale

Le directeur de commande numérique de la machine envoie une consigne électrique au variateur qui amplifie le signal et alimente le moteur permettant l'orientation de la broche de fraisage. L'axe de rotation B étudié a un débattement angulaire de -120° à 105° . Le schéma technologique de la **figure 11, document 1, page D1/17**, présente l'agencement retenu pour les différents sous ensembles constituant la partie mécanique du système étudié. **Attention, le repère introduit sur cette figure et dans la suite du sujet est indépendant de la définition des axes de la machine.**

La solution technique retenue par le constructeur pour réaliser la transformation de mouvement comprend un étage de réduction et un système de renvoi d'angle respectivement réalisés par deux pignons et un système roue et vis sans fin.

Pour assurer une meilleure rigidité et une meilleure précision angulaire, l'arbre 1 du moteur est guidé par rapport au support de broche de fraisage 4 grâce à un roulement à billes **SNR 61904**, modélisé par une liaison sphère / cylindre. Un premier étage de réduction, constitué de deux pignons, permet la transmission du mouvement de rotation de l'arbre 1 à l'arbre intermédiaire 2 qui est guidé en rotation par rapport au support de broche 4 par deux roulements à rouleaux coniques **SNR 32208**. Chacun de ces roulements est modélisé par une liaison sphérique. Le second étage de réduction (système roue et vis sans fin) permet d'entraîner l'arbre de sortie 3, lié à la broche de fraisage, qui est en liaison pivot par rapport au support de broche 4.

Le candidat trouvera sur la **figure 12, document 2, page D2/17** les caractéristiques des roulements à billes SNR. Il trouvera de même les informations sur les roulements à rouleaux coniques sur la **figure 13, document 2, page D2/17**.

B.2 – Description des choix retenus pour les différents éléments

B.2-1 Le moteur

Le moteur utilisé est un modèle HC-RFS153 fabriqué par MITSUBISHI. Les données techniques et les caractéristiques du couple des moteurs de la série HC-RFS fournies par le constructeur sont données sur les **figures 14 et 15, document 3, page D3/17**. Le candidat prendra les notations suivantes :

- Puissance nominale : $P_{nom} = 1,5 \text{ kW}$;
- Vitesse nominale : $N_{nom} = 3000 \text{ tr / min}$;
- Couple nominal : $C_{nom} = 4,78 \text{ N} \cdot \text{m}$;
- Vitesse maximale : $N_{max} = 4500 \text{ tr / min}$;
- Couple maximal : $C_{max} = 11,9 \text{ N} \cdot \text{m}$;
- Moment d'inertie : $J_m = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- Rapport entre le moment d'inertie de la charge ramené sur l'arbre moteur J_{charge} et le moment

d'inertie du servomoteur J_m : $Ri = \frac{J_{charge}}{J_m} \leq 5$. Cette limitation est donnée par le constructeur

pour ne pas réduire de manière excessive l'accélération des éléments en mouvement.

Le constructeur précise aussi l'accélération maximale à vide : $\left(\frac{d\omega_m}{dt} \right)_{max} = 62000 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

Lorsque l'axe de rotation B est utilisé en déplacement rapide, le servomoteur est utilisé à son point de fonctionnement nominal. Lorsque l'on utilise l'axe de rotation B pour réaliser une opération d'usinage, le couple moteur peut varier jusqu'à son couple maximal.

B.2-2 Le système de transformation de mouvement

B.2-2-1 Les pignons

Le pignon lié à l'arbre 1 sera noté P_1 . Le pignon lié à l'arbre intermédiaire 2 sera noté P_2 .

Les deux pignons sont à denture droite.

Le nombre de dents de P_1 est : $Z_1 = 26$.

Le nombre de dents de P_2 est : $Z_2 = 78$.

Le module de ces deux pignons P_1 et P_2 est : $m_{12} = 2 \text{ mm}$.

L'angle de pression de P_1 et P_2 est : $\alpha_{12} = 20^\circ$.

Le rendement de ce réducteur sera noté η_{12} . Etant donnée la très grande précision des dentures, il sera considéré que : $\eta_{12} = 1$.

B.2-2-2 Le système roue et vis sans fin

La roue liée à l'arbre de sortie 3 sera notée P_3 . La vis sans fin liée à l'arbre intermédiaire 2 sera noté $P_{2'}$. Les caractéristiques de ce système roue et vis sans fin sont les suivantes :

- Nombre de filets de la vis sans fin : $Z_{2'} = 2$;
- Nombre de dents de la roue : $Z_3 = 48$;
- Module pour la vis et pour la roue : $m_{2,3} = 5,5 \text{ mm}$;
- Angle de frottement entre la vis et la roue : $\varphi_{2,3} = 6^\circ$;
- Angle de pression entre la vis et la roue : $\alpha_{2,3} = 20^\circ$;
- Angle d'inclinaison de l'hélice de la roue : $\beta_3 = 10,27^\circ$.
- Les hélices de la roue et de la vis sont à gauche.

Le candidat trouvera des informations complémentaires concernant les systèmes roue et vis sans fin classiques sur le **document 4, page D4/17**.

C – Etude de conception en construction mécanique

C.1 – Présentation du travail à rendre

Comme indiqué en **page T1/26**, en admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer 2 h 30 min à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 au tracé des dessins.

Les réponses seront fournies uniquement sur les six documents présentés ci-dessous.

1 – Notice justificative (50 % de la note globale)

Fournir les réponses sur **les trois documents respectivement intitulés « Notice justificative 1/3 », « Notice justificative 2/3 » et « Notice justificative 3/3 », de format A3 horizontal, pré imprimés recto verso**, qui sont joints au sujet.

Les réponses sur feuilles de copies additionnelles ou sur papier de brouillon ne seront pas acceptées.

2 – Dessin d'étude de construction mécanique (50 % de la note globale)

Le dessin d'étude est à tracer sur **les calques pré imprimés de format A3 horizontaux intitulés respectivement « Calque n°1 » et « Calque n°2 », à rendre non pliés**, et sur **les documents intitulés « Dessin pour réponses n°1 » et « Dessin pour réponses n°2 », de format A4 vertical**, joints au sujet.

C.2 – Notice justificative

Consignes spécifiques

Sur les notices justificatives, les réponses seront fournies dans les limites des cadres prévus pour chaque question.

Il sera tenu compte, dans la notation, de la clarté et de la concision des réponses. Les schémas doivent être lisibles, précis et respecter la normalisation en vigueur.

Les écritures au crayon ne seront pas acceptées. La qualité de l'écriture, de l'orthographe et de la syntaxe sera prise en compte dans l'évaluation.

Le candidat trouvera sur le **tableau 5, document 14, page D15/17** un récapitulatif de l'ensemble des grandeurs utilisées au cours du sujet.

C.2.1 Caractéristiques du système de transformation de mouvement

Le système de transformation de mouvement est composé de deux pignons $P_1 - P_2$ et d'un système roue et vis sans fin $P_3 - P_2'$. Les caractéristiques de ces différents éléments ont été données dans la partie B du sujet ainsi que dans le **document 4, page D4/17**. La première partie de l'épreuve aborde le calcul des caractéristiques du système de transformation de mouvement qui ne sont pas précisées et qui sont nécessaires à l'étude mécanique proposée dans ce sujet.

Q1 Inscrire votre réponse dans le **cadre R1 de la notice 1/3**.

- 1 - Donner la valeur numérique du rapport de transmission $k_{12} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ des pignons P_1 et P_2 .
- 2 – Déterminer les valeurs numériques des diamètres primitifs d_1 et d_2 des 2 pignons.

Q2 Inscrire votre réponse dans le **cadre R2 de la notice 1/3**.

- 1 - En utilisant le **document 4, page D4/17**, déterminer les valeurs :
 - de l'angle d'inclinaison d'hélice $\beta_{2'}$ de la vis ;
 - des diamètres primitifs d_3 de la roue et $d_{2'}$ de la vis ;
 - de l'entraxe $a_{2'3}$;
 - du rapport de transmission $k_{2'3} = \frac{\omega_3}{\omega_{2'}}$;
 - le rendement du système $\eta_{2'3}$.
- 2 - Proposer des matériaux utilisables pour la vis et pour la roue.

C.2.2 Détermination de l'effort de coupe tangential maximum entre l'outil et la pièce

Les caractéristiques du système de transformation de mouvement viennent d'être précisées. Pour dimensionner les liaisons, il est maintenant nécessaire de revenir sur les efforts supportés par ce système. Pour cela, nous considérons une opération de fraisage (surfaçage) utilisant le mouvement de l'axe de rotation B dans des conditions critiques. L'effort de coupe tangential maximal entre la fraise utilisée et la pièce doit être déterminé pour quantifier la limite du système. Il sera alors possible de conclure quant à la possibilité de réaliser des opérations de fraisage ébauche utilisant l'axe de rotation B.

Les données géométriques associées au système de transformation de mouvement, ainsi que le mouvement d'avance $\vec{Mf} = -Mf \vec{z}$ de la broche par rapport au bâti pour l'opération de fraisage considérée sont présentées sur la **figure 11, document 1, page D1/17**.

Le torseur des actions mécaniques de la pièce usinée sur l'outil, exprimé au point M (point générateur de l'outil), dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, est :

$$\{T_{(pièce \rightarrow outil)}\} = \begin{Bmatrix} Fc & 0 \\ Fp & 0 \\ Ff & 0 \end{Bmatrix}_M$$

L'effort de coupe tangential $\vec{Fc} = Fc \vec{x}$ de la pièce sur l'outil est prépondérant devant l'effort radial de pénétration $\vec{Fp} = Fp \vec{y}$ et devant l'effort de coupe axial $\vec{Ff} = Ff \vec{z}$. L'effort de coupe tangential \vec{Fc} engendre sur l'arbre de sortie 3 un couple résistant $\vec{Cr} = Cr \vec{z}$.

Pour déterminer l'effort de coupe tangential maximal entre la fraise utilisée et la pièce, il faut donc déterminer la valeur du couple résistant maximum dans le système étudié sachant que le constructeur a déjà fait le choix du moteur et du système de transformation de mouvement.

Le couple exercé par le moteur sur l'arbre 1 est noté $\vec{C}_{mot} = C_{mot} \vec{x}$. Selon l'usinage à réaliser, ce couple peut changer de signe. Pour le reste de l'étude, on prendra $C_{mot} > 0$.

Q3 Inscrire votre réponse dans le **cadre R3 de la notice 1/3**.

1 - En tenant compte du couple moteur maximal et en prenant en compte les rendements des systèmes de réduction, déterminer l'expression du couple résistant C_r maximum autorisé en régime permanent en fonction de C_{max} , η_{12} , $\eta_{2'3}$, k_{12} , $k_{2'3}$.

2 - Donner la valeur numérique de C_r .

Q4 Inscrire votre réponse dans le **cadre R4 de la notice 1/3**.

1 - Sachant que la distance entre le point générateur M de l'outil et l'axe de l'arbre de sortie 3 est H , donner l'expression simplifiée de l'effort de coupe tangentiel maximum $F_{c_{max}}$ entre l'outil et la pièce lors de l'opération de surfacage considérée en fonction de H et de C_r ?

2 – Sur la machine utilisée, la valeur de H est de 400 mm. Que vaut l'effort de coupe tangentiel $F_{c_{max}}$?

3 - En vous aidant du **document 5, page D5/17 et page D6/17**, sur le calcul de la puissance consommée pour une opération de fraisage et du **document 6, page D7/17**, sur la détermination de la pression spécifique de coupe, calculer la valeur numérique de l'effort de coupe F_c pour une opération de surfacage « centré » avec les caractéristiques suivantes :

- Matériau de la pièce à usiner : C60,
- Engagement radial : $a_r = 30 \text{ mm}$;
- Profondeur de passe : $a_p = 2 \text{ mm}$;
- Fraise utilisée : $D = 50 \text{ mm}$ et $Z = 6$;
- Angle de direction d'arête : $K_r = 90^\circ$;
- Angle de coupe : $\gamma = 0^\circ$;
- Avance par dent : $f_z = 0,2 \text{ mm.dent}^{-1}$;
- Vitesse de coupe : $V_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$.

4 - Conclure sur la possibilité de réaliser des opérations de fraisage ébauche utilisant l'axe de rotation B.

C.2.3 Détermination des actions de liaisons

La liaison pivot de l'arbre intermédiaire 2 par rapport au support de broche de fraisage 4 est assurée par deux roulements à rouleaux coniques dont les centres de poussée sont les points Q_1 et Q_2 . Les positions respectives de ces points sont précisées sur le schéma technologique de la **figure 11, document 1, page D1/17**. Chacun de ces roulements est modélisé par une liaison sphérique.

Dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, les torseurs représentatifs des actions mécaniques du support de broche de fraisage 4 sur l'arbre intermédiaire 2 exprimés aux centres de poussée Q_1 et Q_2 des paliers sont donnés par les expressions suivantes :

$$\{T^*_{(4 \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} X_{Q_1} & 0 \\ Y_{Q_1} & 0 \\ Z_{Q_1} & 0 \end{Bmatrix}_{Q_1} \quad \{T^{**}_{(4 \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} X_{Q_2} & 0 \\ Y_{Q_2} & 0 \\ Z_{Q_2} & 0 \end{Bmatrix}_{Q_2}$$

L'action de contact $\overrightarrow{P_{(3 \rightarrow 2)}}$ exercée par la roue P_3 sur la vis P_2 , est modélisable en P par le torseur glisseur suivant :

$$\{T_{(3 \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} A_{32} & 0 \\ -R_{32} & 0 \\ T_{32} & 0 \end{Bmatrix}_P \quad \text{avec } A_{32}, R_{32} \text{ et } T_{32} > 0$$

Les efforts $\overrightarrow{A_{32}} = A_{32} \vec{x}$, $\overrightarrow{R_{32}} = -R_{32} \vec{y}$ et $\overrightarrow{T_{32}} = T_{32} \vec{z}$ sont représentés sur les **figures 16, 17 et 18, document 7, page D8/17**. La projection de $\overrightarrow{P_{(3 \rightarrow 2)}}$ dans le plan (P, \vec{x}, \vec{z}) est noté $\overrightarrow{P_{xz}}$.

L'action de contact $\overrightarrow{S_{(1 \rightarrow 2)}}$ exercée par le pignon à denture droite P_1 sur le pignon à denture droite P_2 est modélisable en S par le torseur glisseur suivant :

$$\{T_{(1 \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -R_{12} & 0 \\ -T_{12} & 0 \end{Bmatrix}_S \quad \text{avec } R_{12} \text{ et } T_{12} > 0$$

Les efforts $\overrightarrow{R_{12}} = -R_{12} \vec{y}$ et $\overrightarrow{T_{12}} = -T_{12} \vec{z}$ sont représentés sur la **figure 19, document 7, page D8/17**.

Q5 Inscrire votre réponse dans le **cadre R5 de la notice 1/3**.

- 1 - En fonctionnement sous charge maximum déterminer l'expression des composantes R_{12} et T_{12} du torseur représentatif des actions mécaniques $\{T_{(1 \rightarrow 2)}\}$ en fonction de C_{max} , d_1 et α_{12} .
- 2 - En fonctionnement sous charge maximum et en tenant compte des rendements des systèmes de transmission, déterminer l'expression des composantes A_{32} , R_{32} et T_{32} du torseur représentatif des actions mécaniques $\{T_{(3 \rightarrow 2)}\}$ en fonction de Cr , $\alpha_{2'3}$, d_3 , β_3 et $\varphi_{2'3}$.
- 3 - Donner les valeurs numériques de R_{12} , T_{12} , A_{32} , R_{32} et T_{32} .

Q6 Inscrire votre réponse dans le **cadre R6 de la notice 1/3**.

- 1 - Appliquer le principe fondamental de la statique à l'arbre intermédiaire 2 et déterminer les expressions de Y_{Q1} , Z_{Q1} , Y_{Q2} et Z_{Q2} en fonction de R_{12} , T_{12} , A_{32} , R_{32} , T_{32} et des caractéristiques géométriques du système étudié.
- 2 - Calculer les valeurs numériques de Y_{Q1} , Z_{Q1} , Y_{Q2} et Z_{Q2} sachant que $L = 323 \text{ mm}$, $L_1 = 84 \text{ mm}$ et $L_2 = 131 \text{ mm}$.
- 3 - Pourquoi ne peut-on pas calculer X_{Q1} et X_{Q2} ?

C.2.4 Etude du moteur

Le constructeur a choisi d'équiper le système étudié avec un moteur HC-RFS153 fabriqué par MITSUBISHI. Les données techniques et les caractéristiques de ce moteur sont données en partie B et sur les **figures 14 et 15, document 3, page D3/17**.

L'objectif de l'étude qui suit est de vérifier que ce moteur est bien dimensionné. Il paraît notamment judicieux de vérifier la valeur du rapport d'inertie R_i ainsi que de la vitesse de déplacement de l'axe de rotation B étant donné le système étudié.

Hypothèses : Les frottements secs et visqueux dans le moteur seront négligés. L'ensemble {Broche de fraisage / Porte Outil / Outil} lié à l'arbre de sortie 3 et à la roue du système de transformation du mouvement a une inertie de rotation J_B de $4,5 \text{ kg.m}^2$ par rapport à l'axe \vec{z} .

C.2.4.1 Etude du moteur seul

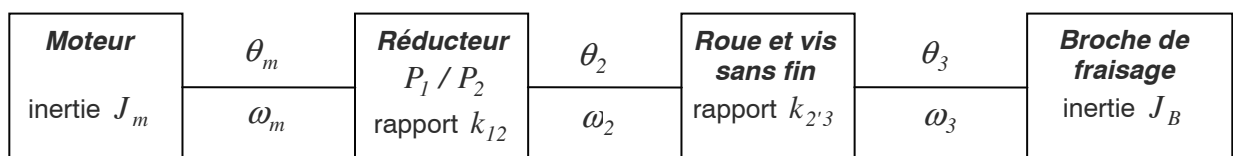
Le fabricant du moteur n'a pas d'information sur la future utilisation du moteur par le client. Il fournit donc des données concernant le moteur seul, sans charge accouplée. On parlera de moteur à vide.

Q7 Inscrire votre réponse dans le **cadre R7 de la notice 1/3**.

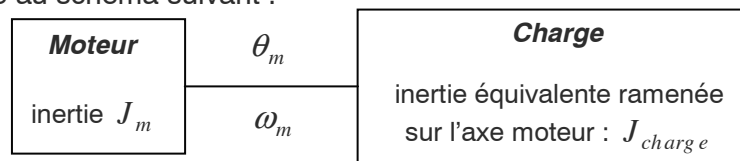
- 1 - En appliquant le théorème du moment dynamique à l'arbre du moteur, déterminer l'expression de l'accélération maximale $\left(\frac{d\omega_m}{dt}\right)_{max}$ du moteur à vide en fonction de J_m et C_{max} .
- 2 - Donner la valeur numérique de l'accélération $\left(\frac{d\omega_m}{dt}\right)_{max}$.
- 3 - Comparer le résultat obtenu à la valeur fournie par le constructeur.

C.2.4.2 Etude du moteur en charge

Le système d'entraînement de la broche de fraisage peut être représenté par le schéma suivant :



Ce schéma se ramène au schéma suivant :



Q8 Inscrire votre réponse dans le **cadre R8 de la notice 1/3**.

- 1 – Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble (E) composé des 3 solides 1, 2 et 3 dans leur mouvement par rapport au support de broche de fraisage 4 en fonction de ω_m , J_m , J_B , $k_{2,3}$ et k_{12} .
- 2 - En déduire l'inertie équivalente de la charge ramenée sur l'axe moteur J_{charge} en fonction de J_B , $k_{2,3}$ et k_{12} .

Q9 Inscrire votre réponse dans le **cadre R9 de la notice 1/3**.

- 1 - Calculer la valeur numérique du rapport d'inertie $Ri = \frac{J_{charge}}{J_m}$.
- 2 - En fonction des données du constructeur, le moteur est-il bien dimensionné ?

Q10 Inscrire votre réponse dans le **cadre R10 de la notice 1/3**.

- 1 - Déterminer l'expression de l'accélération angulaire $\left(\frac{d\omega_m}{dt}\right)_{nom}$ du moteur au point de fonctionnement nominal en fonction de J_m , J_{charge} et C_{nom} .
- 2 - Au point de fonctionnement nominal, donner l'expression du déplacement angulaire $\theta_3(t)$ de la broche de fraisage en fonction de $\left(\frac{d\omega_m}{dt}\right)_{nom}$, $k_{2'3}$, k_{12} et du temps t .
- 3 - Le fabricant de la machine outil précise que l'axe de rotation B peut passer de la position 0 à 90° en 0,23 seconde. Qu'en pensez-vous ?

C.2.5 Guidage de l'arbre intermédiaire 2

L'arbre intermédiaire 2 est guidé par 2 roulements à rouleaux coniques identiques **SNR 32208**. Ces roulements de centres de poussée Q_1 et Q_2 seront notés respectivement R_1 et R_2 . Leurs caractéristiques sont présentées sur la **figure 13, document 2, page D3/17**. Le fabricant de la machine outil souhaite que la durée de vie L_{10} des roulements soit de 35000 heures. L'objectif est de vérifier que les roulements **SNR 32208** satisfont bien à cette condition.

Q11 Inscrire votre réponse dans le **cadre R11 de la notice 1/3**.

Justifier le choix fait par le constructeur d'utiliser des roulements à rouleaux coniques pour le guidage de l'arbre intermédiaire 2.

Q12 Inscrire votre réponse dans le **cadre R12 de la notice 1/3**.

- 1 - Donner trois critères à considérer lorsque l'on doit choisir de réaliser un montage de roulements en O ou en X.
- 2 - Quelle solution envisagez-vous pour le guidage de l'arbre intermédiaire 2 ? (montage en X ou montage en O). Justifier votre réponse.

Q13 Inscrire votre réponse dans le **cadre R13 de la notice 1/3**.

Choisir les tolérances à spécifier pour les portées des roulements.

Q14 Inscrire votre réponse dans le **cadre R14 de la notice 1/3**.

Tracer un schéma technologique sur lequel vous représenterez l'arbre guidé, les deux roulements et leurs arrêts axiaux.

En fonctionnement sous charge maximum, les composantes radiales Fr_1 et Fr_2 des efforts exercées par l'arbre intermédiaire 2 sur les roulements R_1 et R_2 sont :

$$Fr_1 = \sqrt{(Y_{Q_1} + Z_{Q_1})} = 970 \text{ N} \text{ et } Fr_2 = \sqrt{(Y_{Q_2} + Z_{Q_2})} = 1425 \text{ N}.$$

Il est rappelé au candidat que dans ce type de montage, la démarche constructeur introduit un effort axial induit donné par : $Fa_i = \frac{Fr}{2Y}$. La composante axiale des efforts extérieurs est : $A_{32} = 3960 \text{ N}$. On choisira, pour le calcul, l'orientation de cet effort dans le sens des \vec{x} positifs.

Suivant la norme ISO281, la charge radiale dynamique équivalente est $P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$ avec Fa et Fr les efforts axial et radial appliqués au roulement. Les facteurs de charge X et Y sont définis ci-dessous (la valeur de e est à prendre dans la table de données du constructeur fournie sur la **figure 13, document 2, page D2/17**) :

- Si $\frac{Fa}{Fr} \leq e$ alors $X = 1$ et $Y = 0$.
- Si $\frac{Fa}{Fr} > e$ alors $X = 0,4$ et la valeur de Y est à prendre dans la table de données du constructeur fournie sur la **figure 13, document 2, page D2/17**.

Q15 Inscrire votre réponse dans le **cadre R15 de la notice 2/3**.

- 1 - Déterminer les expressions des efforts axiaux Fa_1 et Fa_2 exercées par l'arbre sur les roulements R_1 et R_2 en fonctionnement sous charge maximale en fonction de A_{32} , Y et Fr_1 .
- 2 - Donner les valeurs numériques des efforts Fa_1 et Fa_2 .

Q16 Inscrire votre réponse dans le **cadre R16 de la notice 2/3**.

- 1 - Déterminer les expressions des charges dynamiques équivalentes P_1 et P_2 des deux roulements R_1 et R_2 en fonction de A_{32} , Y , Fr_1 et Fr_2 .
- 2 - Donner les valeurs numériques de ces charges P_1 et P_2 .

Du fait de l'inversion possible du sens de la composante axiale des efforts extérieurs, les roulements choisis seront identiques et capables d'encaisser tous les deux la charge dynamique équivalente P la plus grande des deux valeurs calculées précédemment.

Q17 Inscrire votre réponse dans le **cadre R17 de la notice 2/3**.

- 1 - Donner l'expression de la valeur minimale de la charge dynamique de base C_{min} en fonction de L_{10} , P et de la vitesse nominale N_2 de l'arbre intermédiaire 2.
- 2 - Calculer la vitesse nominale N_2 de l'arbre intermédiaire 2 et donner la valeur numérique de C_{min} .
- 3 - Conclure sur le choix par le constructeur des roulements à rouleaux coniques **SNR 32208**.

Q18 Inscrire votre réponse dans le **cadre R18 de la notice 2/3**.

Quelle est la proportion de la population de roulements mis en service à ne pas atteindre la durée de vie L_{10} souhaitée par le fabricant de la machine outil ?

C.2.6 Etude de résistance des matériaux

Dans cette partie, le dimensionnement de l'arbre intermédiaire 2 est étudié. La **figure 6, page T16/26** montre que l'arbre est modélisé par une poutre de diamètre D et de longueur utile L . Les variations de diamètre seront négligées.

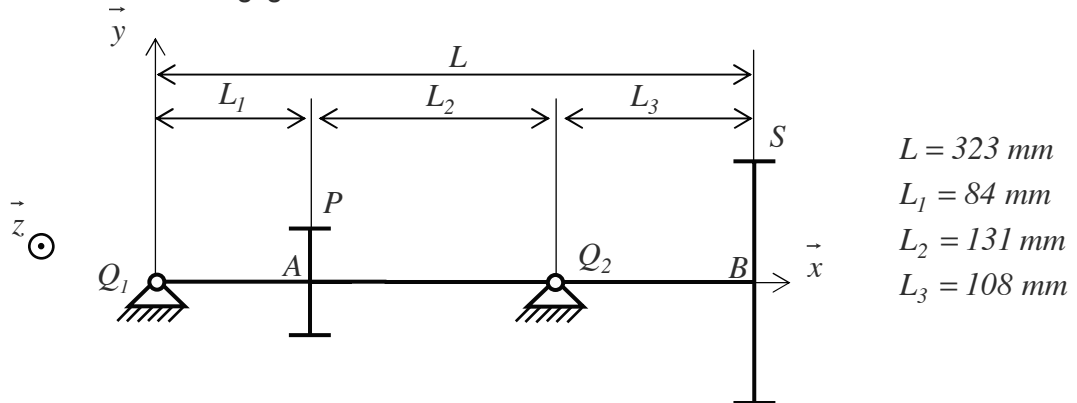


Figure 6 - Modèle RDM de l'arbre intermédiaire 2

Les points A et B sont les centres d'inertie géométriques des sections droites contenant respectivement les points P et S .

En considérant la composante A_{32} des efforts de la roue sur la vis dans le sens \vec{x} positif, les torseurs des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur l'arbre intermédiaire 2, dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, sont :

$$\left\{ T^{*(4 \rightarrow 2)} \right\} = \begin{Bmatrix} X_{Q_1} & 0 \\ Y_{Q_1} & 0 \\ Z_{Q_1} & 0 \end{Bmatrix}_{Q_1} \quad \left\{ T^{** (4 \rightarrow 2)} \right\} = \begin{Bmatrix} X_{Q_2} & 0 \\ Y_{Q_2} & 0 \\ Z_{Q_2} & 0 \end{Bmatrix}_{Q_2} \quad \left\{ T_{(3 \rightarrow 2)} \right\} = \begin{Bmatrix} A_{32} & 0 \\ -R_{32} & 0 \\ T_{32} & 0 \end{Bmatrix}_P \quad \left\{ T_{(1 \rightarrow 2)} \right\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -R_{12} & 0 \\ -T_{12} & 0 \end{Bmatrix}_S$$

Il est précisé au candidat que la valeur numérique de Z_{Q_2} est positive.

Limite de l'étude : Le candidat n'étudiera que les 2 tronçons AQ_2 et Q_2B .

Q19 Inscrire votre réponse dans le **cadre R19 de la notice 2/3**.

Donner l'expression des torseurs des efforts intérieurs pour les 2 tronçons étudiés en fonction de R_{12} , T_{12} , X_{Q_2} , Y_{Q_2} , Z_{Q_2} , L , L_1 , L_2 , d_2 et de l'abscisse x du centre d'inertie géométrique G de la section droite.

Dans la suite du sujet, les notations utilisées pour le torseur de cohésion, donné dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, seront les suivantes :

$$\left\{ T_{coh} \right\} = \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & Mf_y \\ T_z & Mf_z \end{Bmatrix}_G \quad (G \text{ est le centre d'inertie géométrique de la section droite})$$

Pour les sollicitations de torsion (M_t) et de flexion (pour cette dernière, nous allons étudier uniquement M_{f_y}), il est proposé au candidat sur les **figures 20 et 21, document 8, page D9/17** des allures de différents diagrammes possibles concernant la variation des composantes du torseur des efforts intérieurs.

Q20 Inscrire votre réponse dans le **cadre R20 de la notice 2/3**.

Choisir pour les sollicitations de torsion (M_t) et de flexion (M_{f_y}) précisées, l'allure du diagramme correspondant. Justifier brièvement votre réponse.

C.2.6.1 Torsion de l'arbre intermédiaire 2

Le module de Coulomb du matériau utilisé est : $G = 80000 \text{ MPa}$.

Q21 Inscrire votre réponse dans le **cadre R21 de la notice 2/3**.

- 1 - Déterminer l'expression, en fonction de T_{12} , d_2 , G , L_2 , L_3 et θ_{lim} , du diamètre minimum D_{min} de l'arbre 2, pour que le déphasage θ des sections passant par le point P et par le point S soit inférieur à la valeur limite θ_{lim} .
- 2 - Dans le système étudié, le constructeur souhaite $\theta_{lim} = 0,1^\circ$. Donner la valeur numérique de D_{min} .

Q22 Inscrire votre réponse dans le **cadre R22 de la notice 2/3**.

Du fait de l'existence de ce déphasage de sections et vis-à-vis du système étudié, quelle est le meilleur emplacement pour positionner le capteur de position. Doit-on le positionner sur le moteur ou sur la broche elle-même ? Justifier brièvement votre réponse.

C.2.6.2 Flexion de l'arbre intermédiaire 2

Hypothèse : Dans cette étude, le candidat ne prendra en compte que le moment de flexion M_{f_y} .

Il est proposé au candidat sur la **figure 22, document 8, page D9/17** des allures de différentes déformées $z(x)$ possibles.

Q23 Inscrire votre réponse dans le **cadre R23 de la notice 2/3**.

Choisir pour la poutre étudiée, l'allure de la déformée $z(x)$ correspondante. Justifier brièvement votre réponse.

C.2.7 Montage des pignons P_1 et P_2

La transmission de puissance du moteur peut être réalisée par obstacle (clavetage) ou par adhérence (moyeu expansible).

Q24 Inscrire votre réponse dans le **cadre R24 de la notice 2/3**.

- 1 - Rappeler le critère de dimensionnement d'une clavette parallèle.

2 - En utilisant les notations de la **figure 23, document 9, page D10/17**, donner l'expression de ce critère en fonction du couple à transmettre C , du diamètre de l'arbre d , de la longueur de clavette L et de la hauteur d'implantation h .

Pour la suite des calculs et pour le choix des éléments, le candidat prendra les valeurs suivantes :

- Valeur admissible de la grandeur de référence : 40 MPa ;
- Diamètre de l'arbre 1 : 24 mm ;
- Diamètre de l'arbre 2 : 30 mm.

Q25 Inscrire votre réponse dans le **cadre R25 de la notice 2/3**.

En utilisant le **tableau 2, document 9, page D10/17** donnant les grandeurs caractéristiques des clavettes parallèles usuelles de forme B, déterminer les dimensions de la clavette 1 pour transmettre le couple maximal au pignon P_1 ainsi que celles de la clavette 2 pour le pignon P_2 ?

Le constructeur a préféré utiliser un moyeu expansible (frette démontable) du fournisseur japonais TSUBAKIMOTO (**figures 24 et 25, document 9, page D10/17**) plutôt que choisir la solution clavetée.

Principe :

Le blocage des pièces se fait par adhérence. En rapprochant les bagues coniques de l'accouplement par serrage des vis, les bagues extérieures de l'accouplement s'écartent. La pièce extérieure est alors freinée mécaniquement sur l'arbre par l'intermédiaire du moyeu expansible.

Q26 Inscrire votre réponse dans le **cadre R26 de la notice 2/3**.

Pourquoi le constructeur a-t-il fait le choix des moyeux expansibles vis-à-vis d'un clavetage classique ? Proposer trois critères justifiant ce choix.

Q27 Inscrire votre réponse dans le **cadre R27 de la notice 2/3**.

1 - A l'aide du **tableau 3, document 9, page D10/17** du fournisseur de moyeux expansibles, donner la référence de l'élément nécessaire dans le montage du pignon P_1 .

2 - A l'aide du **tableau 4, document 9, page D10/17** du fournisseur de moyeux expansibles, donner la référence de l'élément nécessaire dans le montage du pignon P_2 .

3 - Le constructeur a décidé de prendre des moyeux expansibles de deux séries différentes pour le montage des pignons (série PL pour le pignon P_1 et série RTT pour le pignon P_2). Justifier ce choix.

C.2.8 Etude de la fabrication d'une pièce

Pour fabriquer la roue P_3 montée sur l'arbre de sortie 3, le fabricant utilise un élément intermédiaire appelé touret. Le dessin de définition de cette pièce est représenté sur le **document 10, page D11/17**. Le contrat de phase de la dernière phase d'usinage du touret est fourni sur le **document 11, page D12/17**.

Q28 Inscrire votre réponse dans le **cadre R28 de la notice 2/3**.


Donner la signification de la désignation normalisée du matériau utilisé pour le touret.

Q29 Inscrire votre réponse dans le **cadre R29 de la notice 3/3**.

Interpréter les spécifications suivantes figurant sur le dessin de définition :

1 - 116 ± 0.05

2 -

	$\varnothing 0.05$	C
---	--------------------	---

 +

91

Remarque : Pour cette seconde spécification, le candidat devra bien préciser le nom de la spécification, l'élément tolérancé, la référence spécifiée et la zone de tolérance.

Q30 Inscrire votre réponse dans le **cadre R30 de la notice 3/3**.

En utilisant la 2^{ème} partie de la norme NFE 04-013 rappelée sur le **document 12, page D13/17**, représenter la mise en position et le maintien en position de la pièce. Justifier votre choix.

Q31 Inscrire votre réponse dans le **cadre R31 de la notice 3/3**.

Pour l'opération de tournage ébauche du profil extérieur du touret, calculer la fréquence de rotation N et la vitesse d'avance V_f .

On s'intéresse ici au calcul de la puissance nécessaire à la coupe pendant l'opération d'ébauche. Il est rappelé au candidat que le centre d'usinage utilisé pour réaliser cette opération a une puissance disponible à la broche de 15 kW. Le matériau usiné est un C60. La profondeur de passe radiale est de 4 mm. L'outil utilisé a un angle de direction d'arête K_r de 93° et un angle de coupe γ de 0° .

Q32 Inscrire votre réponse dans le **cadre R32 de la notice 3/3**.

1 - En vous aidant du **document 13, page D14/17**, sur le calcul de la puissance consommée pendant une opération de tournage et du **document 6, page D7/17**, sur la détermination de la pression spécifique de coupe, déterminer la puissance nécessaire à la coupe pour l'opération d'ébauche.

2 - L'usinage est-il envisageable avec la machine proposée ?

C.3 – Dessin d'étude de construction mécanique

C.3.1 Présentation générale du travail de conception

Comme nous l'avons souligné précédemment, le marché de la machine outil est très concurrentiel. Des produits innovants sont donc indispensables pour gagner des parts de marché. Le constructeur du système étudié souhaite donc améliorer la robustesse et la précision du déplacement angulaire de la broche de fraisage de façon décisive pour s'imposer vis-à-vis des autres fabricants. Il envisage d'intégrer un système d'entraînement par vis globique et galets à la place du traditionnel système roue et vis sans fin (**figure 7, page T20/26**). Ce nouveau système permet notamment d'améliorer les exigences de la fonction principale FP1 (**figure 5, page T5/26**).

Le système à vis globique et galets doit permettre un positionnement de l'axe B et des indexations d'axe par incréments de $0,0001^\circ$. La société estime qu'avec cette technologie, la précision de la machine sur le positionnement angulaire de l'axe B ne sera pas égalée sur le marché, ce qui aura une répercussion directe sur les possibilités de la machine : variété des usinages possibles, contournage avec l'axe B, rectification de pièces, taillage de pignons, ou encore utilisation de dispositifs originaux comme le système Flash Tool (plusieurs outils sur un seul porte outil). Cela augmentera naturellement l'intérêt des clients et par conséquent les ventes de machine.

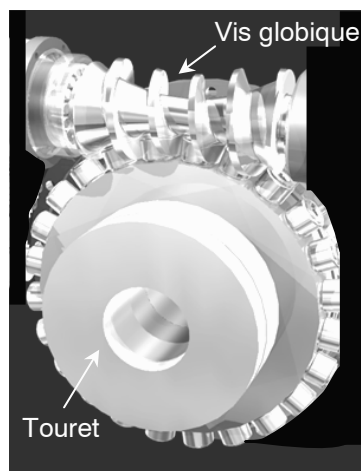


Figure 7 - *Système d'entraînement par vis globique*

L'étude de conception porte sur l'ensemble du système abordé dans les parties **B** et **C.2** en intégrant cette fois un système à vis globique. Avant de définir les supports de la partie dessin, nous allons brièvement revenir sur l'intérêt du constructeur face à ce nouveau dispositif d'entraînement. Rappelons qu'un des objectifs du constructeur est d'assurer la possibilité de tourner une pièce avec un outil incliné d'un angle B donné, B étant compris dans l'intervalle $[-120^\circ; +105^\circ]$.

Q33 Inscrire votre réponse dans le **cadre R33 de la notice 3/3**.

Quel est à votre avis le principal intérêt de disposer sur un centre de tournage de la possibilité de tourner une pièce avec un outil incliné d'un angle B ?

Dans ce mode de tournage, il est nécessaire d'indexer la position angulaire de la broche qui contient alors l'outil de tournage (**figure 7, page T20/26 et figure 8, page T21/26**).

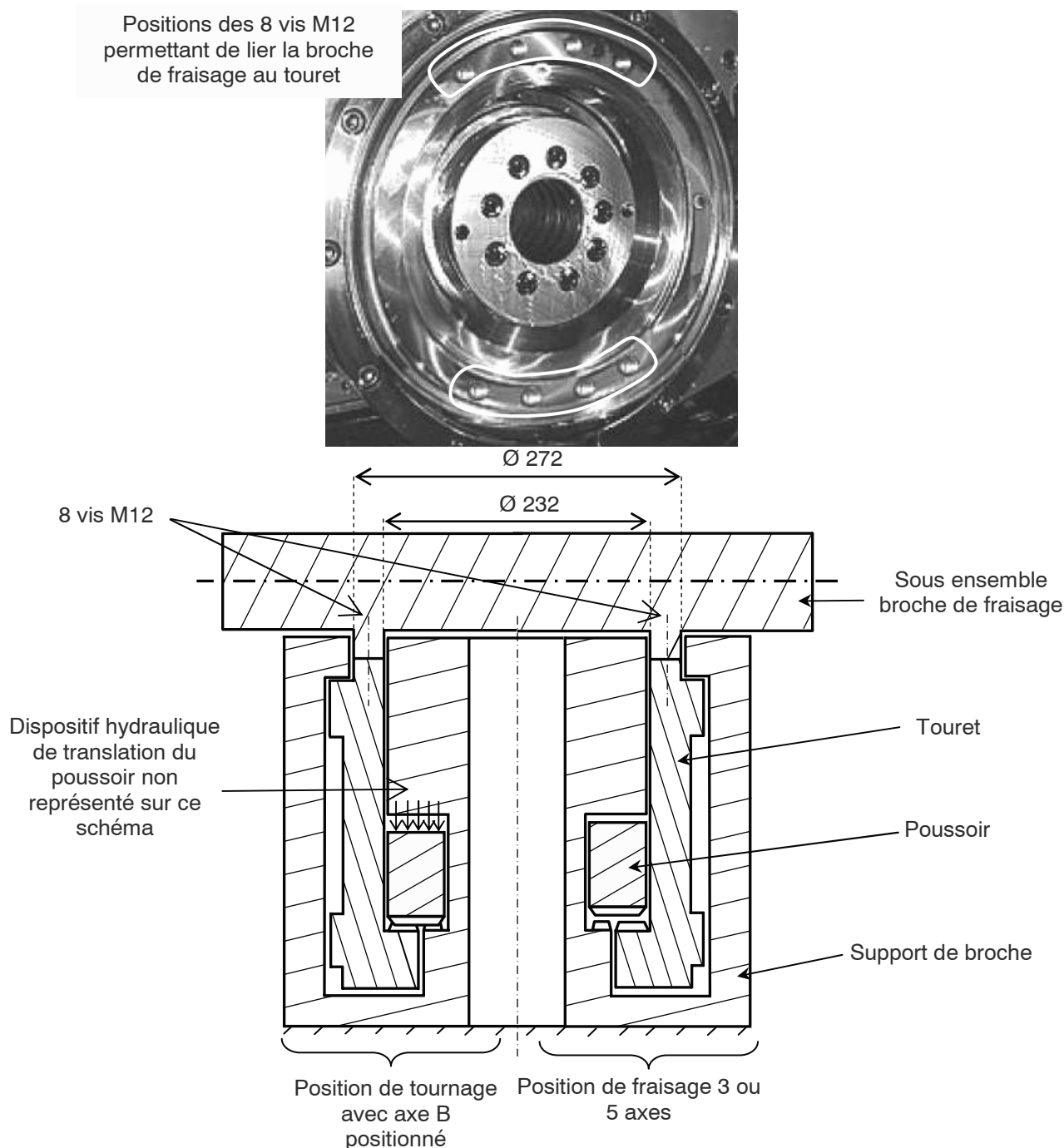


Figure 8 - Système d'indexation du système broche/touret sur le support de broche

Le constructeur a décidé de réaliser cette indexation par crabotage sur le support de broche de la pièce appelée touret, qui est liée à la broche. L'ensemble composé de la broche et du touret est en liaison pivot avec le support de broche. Le dessin, **figure 8, page T21/26**, illustre le système de crabotage retenu. Ce système repose sur la translation d'une pièce, appelée poussoir, actionnée hydrauliquement par un dispositif non représenté sur la **figure 8, page T21/26**.

Le poussoir vient craboter ou non le touret et le support de broche selon que la broche est utilisée respectivement en mode tournage ou en mode fraisage. On retrouve alors deux configurations :

- Configuration broche indexée (partie gauche de la **figure 8, page T21/26**),
- Configuration broche non indexée (partie droite de la **figure 8, page T21/26**).

En mode tournage à axe B incliné, le système broche/touret craboté sur le support de broche permet de libérer le moteur que l'on considérera à l'arrêt dans cette phase. En mode fraisage, le système broche/touret n'est pas craboté au support de broche, ce qui limite l'utilisation du mode fraisage à des opérations n'engendrant pas d'efforts de coupe excessifs, donc plutôt des opérations de finition. En cas d'efforts de coupe importants, le système à vis globique et galets risque d'être détérioré. Le constructeur avertit d'ailleurs qu'il ne faut pas dépasser une certaine limite en fraisage.

Le constructeur spécifie également qu'en mode tournage le couple résistant maximal toléré sur le touret est $C_r = 3000 \text{ Nm}$. Pour faciliter la maintenance de la machine, le constructeur souhaite ne jamais avoir à changer le système de crabotage. En cas de choc donc de couple trop important, il est donc préférable que ce soit la liaison par adhérence (8 vis M12) qui se détériore (début de glissement puis rupture). Les vis sont donc serrées avec un couple maximal que nous allons calculer.

Q34 Inscrire votre réponse dans le **cadre R34 de la notice 3/3**.

Le coefficient d'adhérence entre les surfaces liées par les vis est noté f_a et vaut 0.15.

On note respectivement R_i et R_e les rayons intérieur et extérieur de la surface de contact. On considérera que l'aire des 8 trous de passage est négligeable par rapport à l'aire de la section de contact. On note également Q l'effort normal transmissible par une vis. On considère que les vis utilisées sont des vis à tête hexagonale. On note D_v , le diamètre d'une vis et N_v le nombre de vis participant à la liaison.

1 – Donner l'expression littérale du couple C_a transmissible par adhérence entre les deux pièces, en fonction de f_a , N_v , R_i , R_e et R_o .

2 – En déduire l'expression littérale de l'effort de serrage maximal Q que chaque vis doit transmettre pour que la liaison par adhérence réagisse lorsque le couple résistant vaut C_r ?

3 – Donner la valeur numérique de Q . Les valeurs numériques de R_i et R_e seront lues sur le **document 10, page D11/17**

Q35 Inscrire votre réponse dans le **cadre R35 de la notice 3/3**.

Calculer, en utilisant le **document 14, page D15/17**, le couple maximal de serrage $C_{s \max}$ à donner à chaque vis pour que l'on obtienne le fonctionnement souhaité.

C.3.2 Présentation des supports du travail de conception

Pour cette partie de l'étude, il est demandé de définir l'ensemble du mécanisme d'entraînement de la broche. Pour cela, le candidat dispose du **calque n°1, de format A3 vertical, pré imprimé, et du calque n°2, de format A3 vertical, pré imprimé, fournis avec le sujet**.

Les éléments pré imprimés sur ce calque sont destinés à faciliter la mise en place des différents éléments à dessiner (voir **figure 9, page T23/26**).

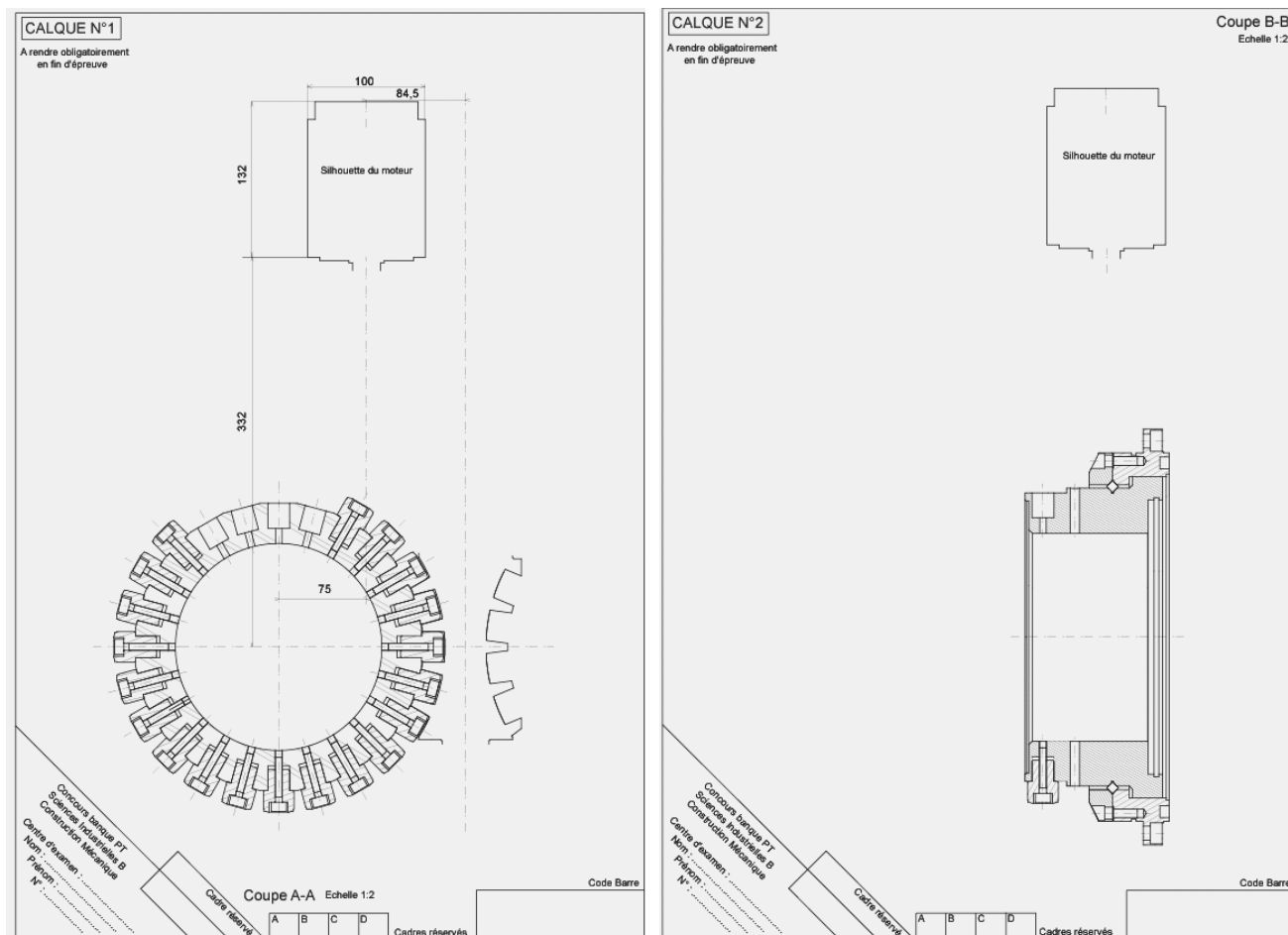


Figure 9 - Croquis de mise en page des calques pré imprimés fournis.

Le candidat trouvera l'axe de rotation du moteur et une représentation partielle simplifiée de la vis globique et du touret supportant les différents galets sur la coupe A-A (**Calque n°1, figure 9, page T23/26**). Attention, seule une partie de la vis globique est représentée afin de laisser libre le choix de la représentation de la liaison pivot entre la vis et le carter. Les formes et dimensions de la vis globique définie sur la **figure 9, page T23/26** devront être respectées. Il est important de noter ici que l'entraxe entre la vis et le touret a légèrement été modifié pour intégrer le nouveau système étudié. L'entraxe vaut désormais 159,5mm.

Le candidat devra également, pour préciser les formes du carter et notamment la liaison de l'axe entraîné par le moteur au support de broche, compléter la coupe B-B définie sur le **calque n°2 (figure 9, page T23/26)**. La **figure 10, page T24/26** précise l'agencement des différentes coupes à compléter ainsi que l'implantation des éléments à dessiner.

Le document **dessin pour réponses n°1, de format A4 vertical, pré imprimé**, représentant la coupe C-C du moteur définie sur le **document 16, page D17/17**, sera utilisé pour préciser la liaison du moteur au support de broche. Le candidat complètera la coupe C-C et représentera les formes de la fixation selon la vue F précisée sur le **dessin pour réponses n°1**.

Le document **dessin pour réponses n°2, de format A4 vertical, pré imprimé**, mais **vierge de tout élément prédéfini**, sera utilisé pour la représentation des croquis tracés à main levée.

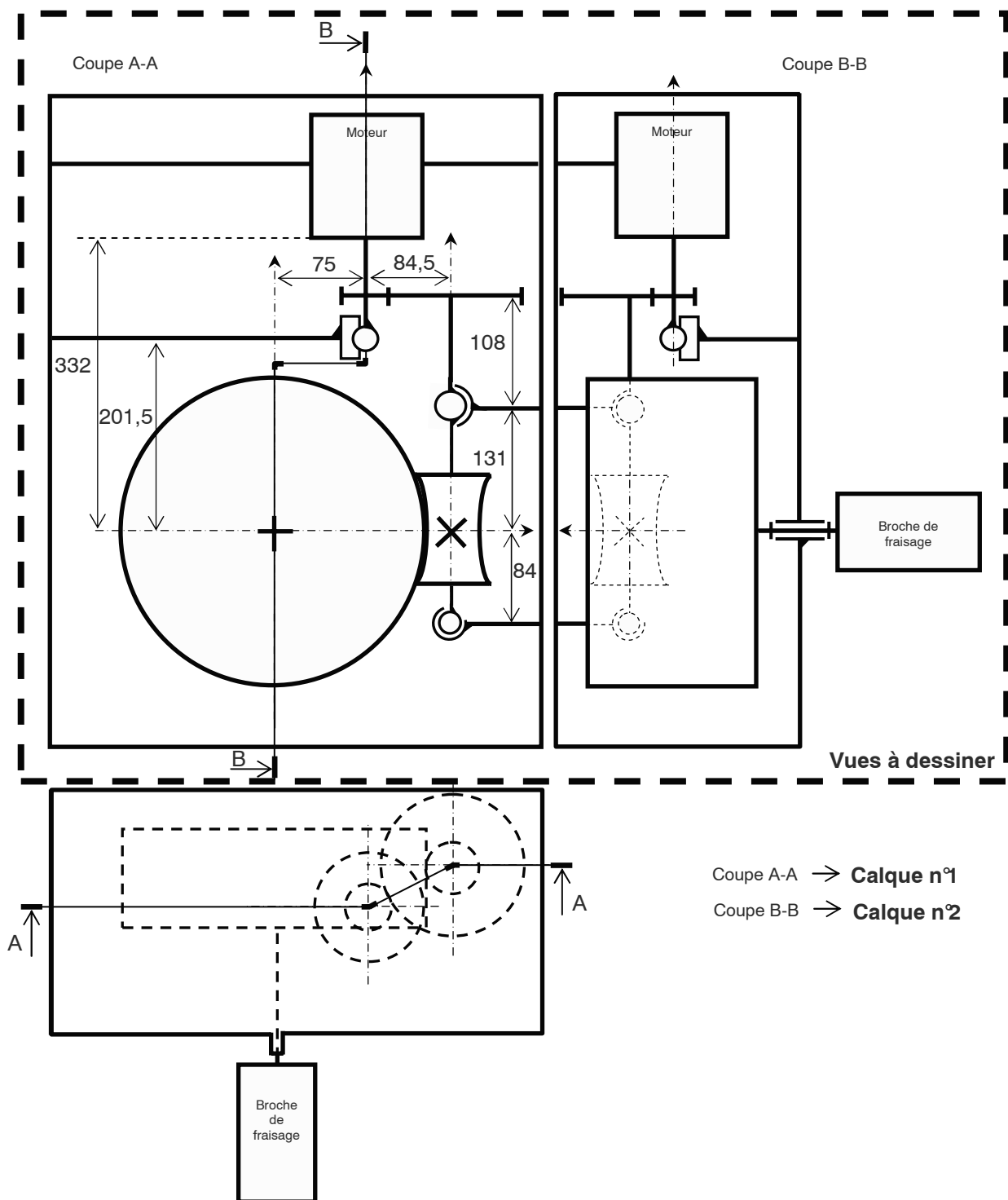


Figure 10 - Position des vues à dessiner

C.3.3 Consignes spécifiques aux travaux graphiques

Les dessins sur calque sont à exécuter à l'échelle 1:2, aux instruments, avec pour l'essentiel mise au net au crayon respectant les épaisseurs de traits normalisées et les exigences d'une bonne lisibilité ; seuls les axes et les écritures seront tracés à l'encre noire. Les tracés de couleur ne sont pas admis. Les normes AFNOR seront respectées.

Les croquis à main levée seront exécutés au crayon, sans l'aide d'instruments (règle, équerre ou compas). La grosseur et la noirceur des traits assureront une lisibilité satisfaisante. Aucune échelle n'est imposée mais, toujours pour la lisibilité, il est demandé de la choisir au maximum compatible avec l'espace offert. De plus, il sera fait en sorte que les proportions des pièces soient

convenablement respectées, afin de ne pas introduire de distorsion de compréhension à la lecture. Le choix des points de vue assurera l'expression la plus claire possible des solutions retenues.

Les coupes, les positions de plans de coupes et les directions particulières d'observation seront clairement repérées en respectant les normes AFNOR en vigueur.

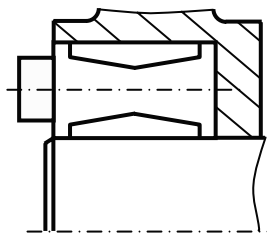
Les principales conditions fonctionnelles relatives aux liaisons représentées seront clairement indiquées en respectant les règles normalisées AFNOR.

C.3.4 Choix constructifs retenus

Même si l'étude de la **partie C.2, pages T9/26 à T19/26** s'est essentiellement attachée aux systèmes classiques basés sur l'utilisation de roue et vis sans fin, nous admettrons qu'une partie des choix constructifs définis en **partie C.2** reste valable :

- Liaison des roues dentées sur leurs axes respectifs par manchons

Pour représenter en coupe le moyeu expansible de la série RTT, le candidat utilisera le symbole suivant en respectant son encombrement (**document 9, page D10/17**) :



- Définition des roulements à rouleaux coniques

Nous ferons l'hypothèse que les roulements proposés dans la **partie C2.5** restent valables pour le nouveau dispositif. Bien évidemment le calcul serait à refaire avec un effort axial sur la vis globique différent de celui encaissé par un système à roue et vis sans fin.

Le candidat utilisera pour le guidage de l'arbre du moteur un roulement à billes SNR de type 61904. Les caractéristiques de ce roulement sont précisées sur la **figure 12, document 2, page D2/17**.

C.3.5 Travail demandé

Afin d'assurer toutes les fonctions de service et de satisfaire toutes les contraintes définies dans le cahier des charges fonctionnel (**pages T5/26 et T6/26**), et en utilisant au mieux les éléments fournis sur les **calques n°1 et n°2**, il est demandé de dessiner aux instruments, sur les vues en coupe prédéfinies du **calque n°1 et du calque n°2**, vos propositions de solutions pour la définition complète :

- de la liaison du premier pignon sur l'arbre moteur (le diamètre de l'arbre moteur au niveau de l'accouplement vaut 24 mm) ;
- de la liaison du second pignon sur l'arbre récepteur lié à la vis globique ;
- du guidage de la vis globique dans le carter ;
- des formes manquantes de ce guidage, les extrémités de la vis globique sont à définir à cette occasion ;
- des formes du carter : l'objectif est de minimiser sa masse ;
- de la liaison de l'axe supportant le premier pignon à l'axe du moteur ;
- de la liaison du moteur au carter (la silhouette du moteur est donnée sur le **document 16, page D17/17**) ; pour préciser les formes de cette liaison, la coupe C-C et la vue selon F du **document pour réponses n°1** devront alors être complétées.

- du guidage de l'arbre moteur dans le carter ;

Pour ces deux derniers points, il est demandé de définir des formes permettant un montage et un démontage aisé des pièces du système de transmission. En effet, le constructeur souhaite rationaliser la maintenance de ce type de machine. Il souhaite donc privilégier une standardisation des pièces afin de pouvoir assurer rapidement leur remplacement en cas de problème.

Il est également précisé que le moteur doit se situer à l'intérieur du carter.

Prévoir toutes dispositions permettant d'assurer :

- la montabilité de l'ensemble étudié ;
- sa maintenabilité ;
- l'absence de risque pour les humains proches ;
- la protection du milieu externe vis-à-vis du milieu interne, et inversement.

Le candidat devra spécifier brièvement la procédure de montage de l'ensemble des pièces sur le **calque n°2**.

Le candidat a la liberté de dessiner toute vue complémentaire aux vues demandées s'il juge qu'elles sont nécessaires à la compréhension globale de son travail.

Il devra notamment réaliser un ou plusieurs croquis perspectifs complétant la définition des formes externes ou internes du carter sur le document « **dessin pour réponses n°2** », **de format A4 vertical, fourni avec le sujet**. Ces formes devront naturellement respecter les **consignes spécifiques** énoncées au § C.3.2.
