Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2004, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : études mécaniques
- Partie 2 : le frein
- Partie 3 : système de démarrage
- Partie 4 : la commande du frein
- Partie 5 : performances de la commande en régulation de vitesse

Copie non officielle du sujet, à partir de la page suivante.

Copie du sujet officiel dont l'en-tête du concours (année, filière, épreuve) a été retiré ; le contenu de l'énoncé est inchangé.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/psi/2004/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Les calculatrices sont interdites.

***

N.B. : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

***

Tous les documents, autres que ceux fournis dans le sujet, sont interdits.
Des feuilles de papier brouillon devront être distribuées avec les documents.
Attention : ces feuilles de brouillon ne seront en aucun cas ramassées en fin d'épreuve et, si elles l'étaient, elles ne seraient pas prises en compte par le correcteur.

DOSSIER REMIS AUX CANDIDATS

- Texte de présentation (14 pages)
- Recueil de 8 Figures (7 pages) - Recueil de 9 Photos (7 pages)

REMARQUES PRELIMINAIRES

1. Il est conseillé d'utiliser des feuilles de papier brouillon afin de mettre au point les développements mathématiques, schémas, graphes et courbes, avant de les recopier au propre sur votre copie.

2. Il est demandé au candidat de bien vouloir inscrire les résultats et les développements nécessaires aux différentes questions sur sa copie, **en précisant bien le numéro de la question traitée et, si possible, dans l'ordre des questions.**

Tournez la page S.V.P.

PRESENTATION DU SYSTEME

Pendant la phase de la mise au point de moteurs de véhicules automobiles, les constructeurs testent les moteurs sur des bancs d'essais reproduisant au mieux les conditions d'utilisation. Le moteur est installé dans une salle spécifique. Il est accouplé à un appareillage permettant de le freiner. Ce freinage reproduit la charge «vue» par le moteur lors de son exploitation future sur le véhicule.

Deux types de technologie sont principalement employés pour freiner le moteur lors de son fonctionnement sur le banc.

a. Technologie à énergie électrique : frein à courant de Foucault,
b. Technologie à énergie hydraulique.

C'est la première technologie (électrique) que nous allons étudier pour la suite du problème.

Le moteur entraîne par l'intermédiaire d'un arbre de transmission, le rotor du frein électrique. Le frein exerce alors un couple de freinage sur l'arbre permettant de représenter le couple résistant que pourra «voir» le moteur lors de son exploitation sur le véhicule.

Description du frein :
Le frein est constitué de 2 éléments principaux :

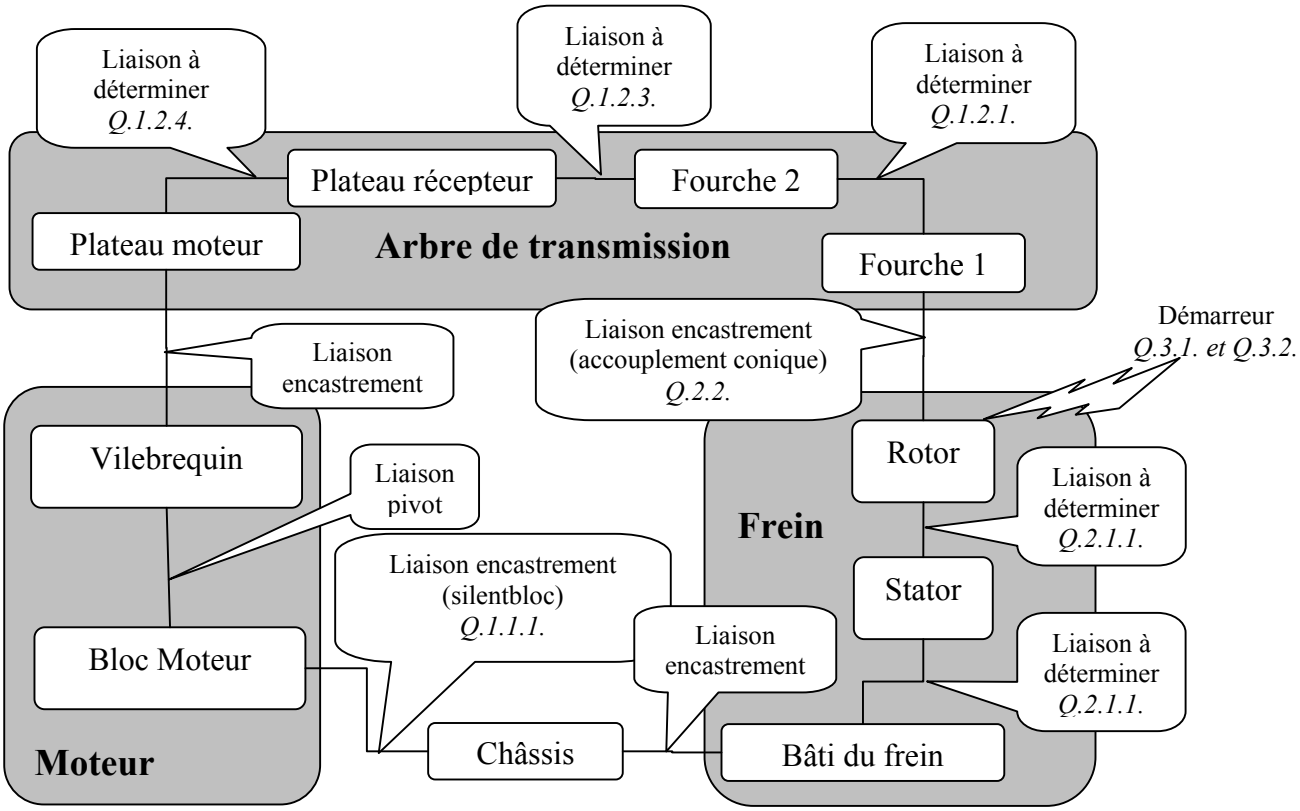
- le rotor-disque, guidé en rotation à l'aide de roulements à billes R3, R4 et R5 (figure 7),
- de bobines électriques, liées au stator générant un champ magnétique perpendiculaire au disque.

Le disque du frein (figure 7) est entraîné par le moteur par l'intermédiaire de l'arbre de transmission. Les bobines électriques créent un champ magnétique $\vec{B}$ traversant le disque. Celui-ci est donc le siège d'un courant électrique radial (effet courant de Foucault). Ces courants de Foucault se manifestent chaque fois qu'un matériau conducteur est en mouvement au sein d'un champ magnétique : ils sont induits par le déplacement. L'intensité du courant est proportionnelle à la vitesse de déplacement du matériau et à l'amplitude du champ magnétique.

Ces courants, dans le champ magnétique $\vec{B}$, créent un effort mécanique sur le rotor-disque, ce qui donne naissance à un couple résistant.
Il suffit de faire varier le champ magnétique pour faire varier le couple résistant.
Une unité de commande se charge de piloter ce courant. Celle-ci assurera donc le rôle du système de régulation du couple exercé par le frein.

Nota : La circulation de ces courants induits échauffe la matière qu'ils traversent. Cette chaleur est évacuée par de l'eau de refroidissement circulant dans des labyrinthes.

Le graphe des liaisons ci-après permet d'avoir une vision globale du système étudié. Certaines liaisons mécaniques seront à déterminer, d'autres sont données. Chaque « bulle » indique éventuellement le nom de la liaison liant deux éléments, ainsi que le numéro de la question du sujet qui s'y réfère.



L'objectif de l'étude consiste en une vérification des performances de la chaîne fermée {Châssis – Moteur – Arbre de transmission – Frein – Châssis} , ci-dessus.

1 ETUDES MECANIQUES

1.1 Bridage moteur sur le banc

Hypothèse : on suppose que le moteur est désaccouplé au niveau de l'arbre de transmission (liaison vilebrequin / plateau moteur).
La liaison complète du moteur avec le châssis est réalisée sur 3 silentblocs (voir un des silentblocs / photo 2). Chaque silentbloc réalisé en élastomère (donc élastique) filtre les vibrations en permettant 3 rotations. Ils réduisent les bruits et chocs transmis par le moteur au châssis et facilitent son montage.

1.1.1 Question : silentbloc

Proposer un modèle de liaison pour chaque silentbloc.
Calculer alors le degré d'hyperstatisme de la liaison complète ainsi modélisée.
Tracer le schéma cinématique spatial du modèle (faire apparaître les 3 liaisons).

1.1.2 Question : actions de liaisons

Afin de déterminer les efforts dans les liaisons au niveau des silentblocs (ce qui permettrait de les dimensionner), on propose la modélisation isostatique composée d'une liaison rotule en A, d'une liaison linéaire annulaire en B et d'une liaison ponctuelle en C (figure 1). On suppose que le moteur est soumis à un simple couple résistant constant $\vec{C}_r = C_r\vec{x} = 100\vec{x}$ (Nm) issu du frein, et que le bloc moteur, de centre de gravité G, a une masse $m = 80kg$. On donne les grandeurs géométriques en millimètres suivantes :

$$\overrightarrow{AB} = \ell_{y_B}\vec{y} = -300\vec{y}$$
$$\overrightarrow{AG} = \ell_{x_G}\vec{x} + \ell_{y_G}\vec{y} + \ell_{z_G}\vec{z} = 150\vec{x} - 100\vec{y} + 150\vec{z}$$
$$\overrightarrow{AC} = \ell_{x_C}\vec{x} + \ell_{y_C}\vec{y} + \ell_{z_C}\vec{z} = 600\vec{x} - 150\vec{y} + 350\vec{z}$$
$$\overrightarrow{AO} = \ell_{x_O}\vec{x} + \ell_{y_O}\vec{y} + \ell_{z_O}\vec{z} = 150\vec{x} - 150\vec{y} + 100\vec{z}$$

Écrire l'équilibre du moteur au point A dans la base $\left(\vec{x},\vec{y},\vec{z}\right)$*. Déterminer les actions de liaisons en A, B et C (expressions littérales et numériques).*

1.2 Liaison moteur-frein / arbre de transmission

L'arbre de transmission entre le moteur et le frein (photos 3, 4 et 5) comporte trois liaisons :
- Un accouplement élastique côté moteur – liaison plateau moteur / plateau récepteur,
- Un accouplement par cannelures dans la partie centrale de l'arbre – liaison plateau récepteur / fourche 2 ,
- Un joint de cardan côté frein – liaison fourche 2 / fourche 1.

1.2.1 Question : joint de cardan côté frein

L'arbre de transmission venant du moteur à tester est relié au rotor du frein par un joint de cardan (photo 4). Il est constitué d'une fourche 1, d'un croisillon 3 et d'une fourche 2 (photo 4 et figure 2). D'après le paramétrage cinématique proposé (figure 2) où les orientations des fourches 1 et 2 sont définies respectivement par les bases $\left(\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1}\right)$ et $\left(\vec{x_2},\vec{y_2},\vec{z_2}\right)$:

Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison fourche 1 / croisillon 3.
Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison croisillon 3 / fourche 2.
Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison équivalente fourche 1 / fourche 2.

1.2.2 Question : loi d'entrée-sortie

On appelle angle de brisure α , l'angle formé entre l'axe x_1 de la fourche 1 (entrée) et l'axe x_2 de la fourche 2 (sortie) du joint de cardan. En utilisant le paramétrage donné (figure 2) :
Développer la relation $\vec{y}_1.\vec{z}_2 = 0$ *et exprimer* θ_1 *en fonction de* θ_2 *et* α *.*

☞ Définition : on dit qu'une transmission est homocinétique si $\theta_{entrée} = \theta_{sortie}$
Déduire alors si un joint de cardan est une transmission homocinétique dans le cas général.
Donnez la (ou les) condition(s) sur α *pour avoir homocinétisme.*

1.2.3 Question : accouplement par cannelures dans la partie centrale de l'arbre

C'est un assemblage réalisé par cannelures de longueur supérieure à 2 fois le diamètre de l'arbre (photo 4).
Donner alors un modèle de liaison correspondant à cette solution technologique.

1.2.4 Question : accouplement élastique côté moteur

Le vilebrequin du moteur à tester est accouplé à l'arbre de transmission du banc moteur par un accouplement constitué d'une rotule métallique et d'un flasque caoutchouc (voir photo 5 et figure 8).
La rotule métallique assure le guidage des deux axes.
Le flasque caoutchouc est en liaison encastrement avec le plateau-moteur par 3 vis et avec le plateau-récepteur par 3 autres vis.
Le flasque caoutchouc assure la transmission du couple.

Proposer un modèle de liaison correspondant à cette solution technologique en justifiant votre choix.

1.2.5 Question : schématisation

Construire, d'après les réponses aux questions précédentes, le schéma cinématique plan de la transmission moteur / frein.
Expliquer pourquoi ce type de transmission a été choisi.

2 LE FREIN

2.1 Schématisation

Voir le modèle volumique (figure 7) et la vue en coupe (figure 3) dans le recueil de figures.
Le stator est guidé en rotation par rapport au bâti par 2 roulements à billes à contact radial notés R1 et R2. Le rotor est guidé en rotation par rapport au stator par 3 autres roulements notés R3, R4 et R5.
Le capteur d'effort lie le stator au bâti par l'intermédiaire de 2 rotules (photo 7).

2.1.1 Question : schéma cinématique

Tracer le schéma cinématique spatial minimal du frein, en faisant intervenir le bâti, le rotor, le capteur d'effort et le stator (sans l'arbre de transmission ni le moteur).

2.1.2 Question : schéma architectural

On s'intéresse maintenant au guidage du stator sur le bâti. Ce guidage est réalisé sur des roulements à billes à contact radial R1 et R2. Les bagues intérieure et extérieure du roulement R2 sont respectivement liées au stator et au bâti. La bague intérieure du roulement R1 est liée au stator alors que sa bague extérieure, centrée dans le bâti, n'est pas immobilisée axialement (figure 3).

Tracer le schéma architectural plan de la liaison stator / bâti.

2.2 Calcul de l'accouplement conique

Le rotor du frein est accouplé à l'arbre de transmission venant du moteur par une bride conique (figure 4).
Lors du montage, un effort axial $\overrightarrow{F_x}$, exercé par la bride 1 sur l'arbre rotor 2 , génère une pression de contact *P* entre 1 et 2. Cette pression est bien sûr normale à la surface de contact de 1 sur 2. La conicité étant faible, il y a alors coincement de 1 sur 2. Ce coincement doit être suffisant pour transmettre le couple maxi pour lequel le frein a été conçu, soit 700 Nm.

Les questions qui suivent permettent de calculer la valeur de l'effort axial à fournir pour transmettre ce couple. Utiliser le modèle de calcul donné (figure 5) , où $\vec{n}$ représente le vecteur normal extérieur à l'élément de surface dS au point M, et $\vec{t}$ un vecteur tangentiel à l'élément de surface dS au point M parallèle au plan (yOz).
Données :
Facteur de frottement entre 1 et 2 : $\mu = 0,2$
Couple maxi à transmettre : C = 700 Nm
Contact conique : $R_1 = 22,5mm$; $R_2 = 24,5mm$; $\alpha = 1,5°$; $L = 77mm$
Hypothèse : P pression de contact uniforme

2.2.1 Question : résultante de l'action de contact répartie

Donner la relation existant entre la force axiale $\overrightarrow{F_x}$ *et la pression P, en fonction de* R_1 *et* R_2 *, rayons inférieur et supérieur de la surface de contact (utiliser la surface dS définie figure 5).*

2.2.2 Question : moment de l'action de contact répartie

Donner la relation existant entre le couple transmissible C et la pression P, en fonction de μ *, facteur de frottement entre 1 et 2, de l'angle* α *du cône, et de* R_1 *et* R_2*, rayons inférieur et supérieur de la surface de contact (utiliser la surface dS définie figure 5).*

2.2.3 Question : effort axial en fonction du couple

Déduire des questions précédentes la relation liant l'effort axial F_x et le couple C à transmettre.

2.3 Calibrage du capteur d'effort

Une fonction importante du frein est de mesurer le couple fourni par le moteur. Un capteur d'effort est monté en bout du levier solidaire du stator (photo 7). Le couple mécanique exercé par le moteur sur le rotor est équilibré par le couple électromagnétique entre le stator et le rotor. Par réaction, ce couple électromagnétique va faire pivoter le stator qui est en rotation par rapport au bâti. L'arrêt en rotation du stator par rapport au bâti est réalisé grâce au levier et au capteur.
Sous l'effet d'un effort de même intensité, on suppose que le capteur se déforme de la même valeur en traction et en compression.
Notation $\overrightarrow{T_{cap}} = T_{cap}.\vec{Z}$, action du capteur sur le levier
Avant toute mesure, il est nécessaire de réaliser un calibrage du capteur d'effort. Ce calibrage est effectué à l'arrêt (pas de couple moteur) , grâce à des masses que l'on vient accrocher à l'un des deux bras d'étalonnage L1 et L2 , liés temporairement au stator pour cette phase de réglage (photo 8).

2.3.1 Question : calibrage sens +

Dans ce cas il y a traction sur le capteur d'effort : on accroche les masses au bras L2 (photo 8).

En utilisant les données géométriques de la figure :
Déterminer la relation liant l'effort T_{cap} à la masse M_2 et aux grandeurs géométriques R et Q.

2.3.2 Question : calibrage sens –

Dans ce cas il y a compression sur le capteur d'effort : on accroche les masses au bras L1 (photo 8).

En utilisant les données géométriques de la figure :
Déterminer la relation liant l'effort T_{cap} à la masse M_1 et aux grandeurs géométriques R et Q.
Quel est l'intérêt de ce double calibrage ?

3 SYSTEME DE DEMARRAGE

Un moteur électrique entraîne le moteur thermique jusqu'à son démarrage. Ce moteur électrique, situé sous le frein, entraîne le rotor par le biais d'une transmission de type poulie-courroie (photo 6).

Tournez la page S.V.P.

3.1 Question : rôle de la roue libre

Une roue libre à rouleaux est intercalée entre la grande poulie de diamètre Dph et le rotor du frein. Cette roue libre ne permet l'entraînement en rotation que dans un sens.
Pourquoi est-il nécessaire d'installer ce type de composant ?

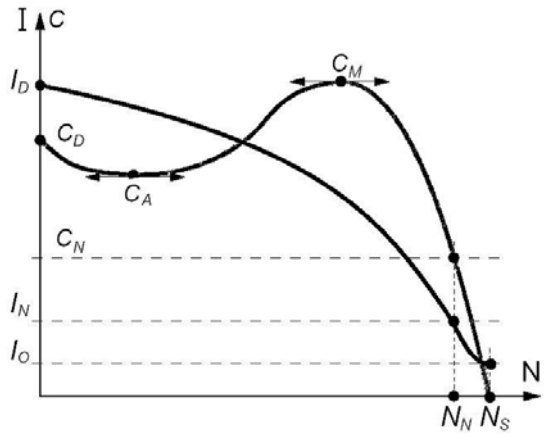
3.2 Question : transmission poulie-courroie

Caractéristiques de la transmission poulie-courroie :
- Diamètre primitif de la poulie basse ***Dpb=75mm (liée au moteur électrique)***
- Diamètre primitif de la poulie haute ***Dph=150mm (liée au rotor du frein)***

Hypothèse : rendement de la transmission poulie-courroie = 1

Caractéristiques du moteur thermique :
Le couple nécessaire pour faire tourner le moteur thermique au démarrage est de $\boldsymbol{C_{md}=18\ Nm}$. Ce couple correspond au couple nécessaire à la compression de l'air dans les chambres de combustion, ainsi qu'aux nombreux frottements à vaincre dans les liaisons. On prendra pour hypothèse que ce couple est constant, pour toute la phase de démarrage.

Caractéristiques du moteur électrique :



Les caractéristiques du moteur électrique sont représentées par la figure ci-contre. Cette figure représente la variation du couple et de l'intensité électrique du moteur électrique pour différentes vitesses.
C_N= 10Nm, N_N= 1428 tr/min
C_A= 16Nm, C_D= 18Nm et C_M= 23 Nm

Vérifier, en fonction des données du problème ci-dessus, que le moteur électrique peut entraîner le moteur thermique pendant la phase de démarrage. Justifier votre réponse.

4 LA COMMANDE DU FREIN

L'unité de commande assure le pilotage du frein. C'est elle qui fournit le courant aux bobines électromagnétiques afin de faire varier le couple de freinage exercé par le frein. La connaissance du couple de freinage effectif est fournie par le capteur d'effort. La vitesse de rotation du frein est donnée par un capteur de vitesse situé sur le rotor.

Sur l'unité étudiée, il existe plusieurs possibilités de pilotage :
- pilotage en vitesse
- pilotage en couple
- pilotage en quadratique
- pilotage en manuel

- **En pilotage de vitesse**, l'utilisateur fournit une valeur de consigne de vitesse par l'intermédiaire d'un potentiomètre disponible sur le pupitre de l'unité de commande (photo 9). Par exemple, l'utilisateur affiche 3000 tr/min via le potentiomètre, l'unité de commande pilote le frein de manière à réguler la vitesse de rotation du moteur accouplé au frein. Si le moteur dépasse la vitesse de régulation (valeur de consigne), l'unité de commande augmente le courant dans le frein, ce qui a pour effet d'augmenter le couple résistant appliqué au moteur (« freinage du moteur ») : celui-ci ralentit donc.
  En-dessous de la vitesse de régulation, le couple exercé par le frein diminue afin que le moteur puisse accélérer (il va « prendre des tours » jusqu'à la vitesse de régulation). On notera ce mode de pilotage « N=K ».

- **En pilotage de couple**, l'unité de commande doit piloter le frein afin que celui-ci exerce un couple constant sur le moteur. La valeur de consigne est ici fournie par un autre potentiomètre fournissant une valeur de couple, 150 Nm par exemple. La donnée issue du capteur d'effort est ici une donnée importante utilisée pour la régulation. On notera ce mode de pilotage « C=K ».

- **En pilotage quadratique**, l'unité de commande pilote le frein, afin que le couple de freinage exercé soit une fonction linéaire du carré de la vitesse. Ce mode de pilotage est très utilisé car cela correspond le mieux à la typologie de fonctionnement usuel d'un moteur automobile dans les conditions d'utilisation. En effet, les effets aérodynamiques sur un véhicule automobile sont prépondérants au-dessus d'une certaine vitesse. Le moteur « voit » donc un couple résistant qui croît en fonction du carré de la vitesse de déplacement du véhicule. On notera ce mode de pilotage « $M.N^2=K$ ».

- **En pilotage manuel**, l'utilisateur peut directement commander le courant circulant dans les bobines magnétiques du frein. Pour un réglage manuel donné, le courant est constant, le couple varie linéairement en fonction de la vitesse pour les faibles vitesses, ensuite il devient constant. On notera ce mode de pilotage « M=K ».

Sur le pupitre de l'unité de commande (photo 9) nous retrouvons donc :

- le choix du système de pilotage par un contacteur à plusieurs positions (N=K, C=K, $M.N^2=K$, M=K)
- différents potentiomètres permettant à l'utilisateur de préciser les valeurs de consigne (vitesse, couple, coefficient quadratique, manuel)
- quelques afficheurs donnant en temps réel les valeurs de la vitesse de rotation, du couple de freinage et de l'intensité électrique dans les bobines électromagnétiques du frein.
- un potentiomètre permettant à l'utilisateur de donner une valeur de vitesse de rotation maximale de fonctionnement (pour éviter les sur-régimes). En cas de dépassement de cette vitesse, un relais électrique de protection noté « A_r » permet de couper l'alimentation électrique du boîtier électronique du moteur accouplé au frein, ce qui crée l'arrêt du moteur.

Tournez la page S.V.P.

4.1 Question : protection du frein et du moteur

D'autres capteurs permettent de vérifier le bon fonctionnement du frein (température du frein, pression de l'eau à l'entrée du frein). Ces informations permettent d'assurer un fonctionnement optimal sans détérioration du frein. Une carte électronique dans l'unité de commande permet de générer des signaux logiques (t_{max}, p_{min}, n_{max}, aru) , à partir des 3 capteurs mesurant la température du frein, la pression de l'eau de refroidissement, la vitesse du frein et le bouton poussoir d'arrêt d'urgence.

t_{max} – signal logique codant l'information de dépassement de la température de fonctionnement du frein, état logique 1 si la température du frein dépasse une valeur maximale et état logique 0 en fonctionnement normal.
p_{min} – signal logique représentant l'information de pression d'eau à l'entrée du frein, état logique 1 si la pression est correcte à l'entrée du frein permettant son refroidissement normal.
n_{max} – signal logique représentant l'information sur-vitesse, état logique 1 si la vitesse de rotation du moteur dépasse la valeur maximale fixée par l'utilisateur, et état logique 0 si la vitesse de rotation du moteur est inférieure à cette valeur (fonctionnement normal).
aru – signal logique associé au bouton poussoir d'arrêt d'urgence situé sur le pupitre de commande, état logique 1 si le bouton est actionné, état logique 0 dans le cas contraire. En cas d'appui sur ce bouton, le moteur doit obligatoirement s'arrêter.

Un relais électrique de protection A_r permet d'alimenter le boîtier électrique du moteur. Quand la bobine du relais de protection A_r n'est pas alimentée (A_r =0) , le boîtier électronique ne fonctionne pas ; faute d'alimentation électrique, le moteur s'arrête alors.
Dans le cas contraire, A_r est égal à 1, le contact associé a_r du relais alimente le boîtier électronique de pilotage du moteur, le moteur tourne normalement.
L'arrêt du moteur doit s'effectuer en cas de défaillance du système de freinage (sur-vitesse, température trop haute, chute de pression d'eau, appui sur le bouton d'arrêt d'urgence).

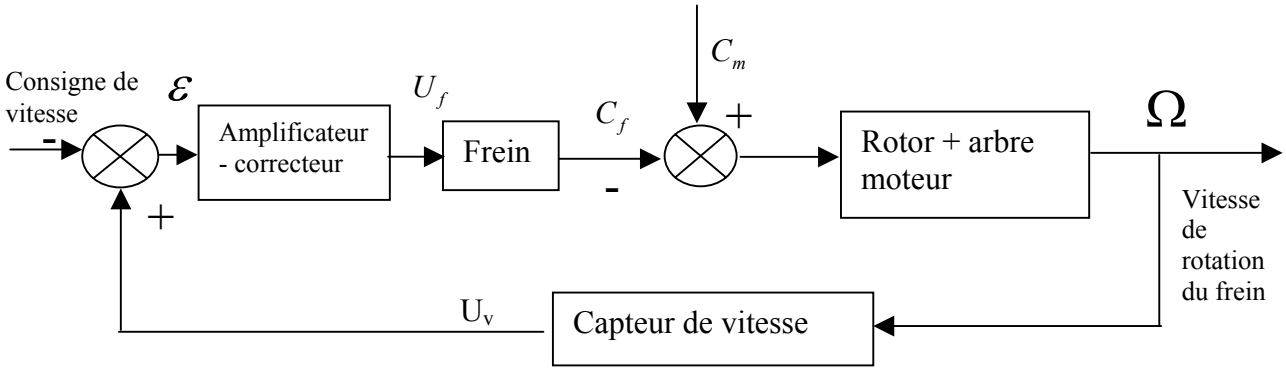
> *Donner l'équation logique de commande du relais A_r et établir le logigramme permettant la commande du relais d'arrêt A_r du boîtier électronique* (*tous types de cellules logiques autorisés*) .

4.2 Régulation

L'unité de commande utilise 2 informations essentielles :
- Un **capteur magnétique,** fixé à l'entrée du frein, fournit la valeur de la vitesse de rotation du frein, donc du moteur. Le capteur est placé devant une couronne dentée (80 dents) , liée au rotor (voir photo 1). Le capteur génère une impulsion électrique à chaque passage de dent. Le signal en sortie du capteur est un signal périodique (signal impulsionnel). Un convertisseur associé au capteur permet de convertir la fréquence en une tension proportionnelle à la fréquence du signal, donc à la vitesse de rotation du moteur.

- Un **capteur d'effort**, donne la valeur du couple résistant engendré par le système de freinage (Voir **paragraphe 2.3** sur le calibrage du capteur) .

Lors du pilotage en vitesse (N=K), la commande du frein peut être représentée par le schéma-bloc ci-dessous.



Domaine temporel	Domaine de Laplace	
$C_m(t)$	$C_m(p)$	couple exercé par le moteur sur le rotor du frein
$U_f(t)$	$U_f(p)$	tension d'alimentation des bobines du frein
ω	Ω	vitesse de rotation du moteur et du frein
$C_f(t)$	$C_f(p)$	couple résistant électromagnétique exercé sur le rotor du frein
$U_v(t)$	$U_v(p)$	tension en sortie du capteur magnétique de vitesse
ε (t)	ε (p)	tension en sortie du comparateur

4.2.1 Question : technologie du capteur de vitesse

Donner la relation entre la vitesse de rotation (ω en rd.s^{-1}) et la fréquence du signal en sortie du capteur de vitesse magnétique (f_v en Hz). Le convertisseur fréquence-tension (caractéristique linéaire) génère une tension continue U_v de 10V pour une fréquence de 10kHz. *En déduire le gain du capteur de vitesse* $K_c = \frac{U_v}{\omega}$.

4.2.2 Question : schéma-bloc

Expliquer les signes associés aux deux sommateurs (ou comparateurs) du schéma-bloc ci-dessus.

4.2.3 Question : schématisation pour les autres modes de commande

En prenant pour exemple le schéma-bloc de la commande en vitesse, *tracer le schéma-bloc de chacune des 2 commandes suivantes (un schéma par commande) :*
- *commande en couple (C=K),*
- *commande en manuel (M=K).*

Tournez la page S.V.P.

5 PERFORMANCES DE LA COMMANDE EN REGULATION DE VITESSE

Nous allons nous intéresser aux performances de la commande en vitesse du frein. Pour cela nous allons déterminer la fonction de transfert du schéma-bloc liant la vitesse de rotation du frein et les couples s'exerçant sur le rotor. Cette expression nous permettra de compléter le schéma-bloc précédent et d'en déduire les performances du système.

Nous considérons le frein en fonctionnement normal (pas d'action du système de démarrage).

5.1 Etude mécanique

5.1.1 Question : PFD sur l'arbre.

Ecrire le Principe Fondamental de la Dynamique appliqué au système S, considéré rigide, constitué du rotor, du cardan et de l'arbre du moteur thermique (vilebrequin, volant moteur, ...) en fonction des données du problème ci-dessous.

On donne :
I_f : moment d'inertie du rotor frein par rapport à son axe de rotation,
I_c : moment d'inertie du cardan par rapport à l'axe de rotation,
I_m : moment d'inertie des éléments mobiles du moteur ramenés à l'arbre moteur (vilebrequin, volant moteur, bielles, pistons, …).
Pour simplifier l'étude, on considère les axes de rotation des 3 éléments ci-dessus parfaitement alignés.

C_m : couple que fournit le moteur,
C_f : couple résistant électromagnétique exercé sur le rotor du frein,
ω : vitesse de rotation de l'ensemble,
f : paliers qui participent aux guidages des éléments en rotation, créant un couple de frottements visqueux C_r tel que $C_r = f.\omega$

5.1.2 Question : inertie du rotor I_f

Déterminer l'inertie du rotor par rapport à son axe de rotation. Prendre toutes les hypothèses nécessaires pour trouver une valeur approchée de cette inertie. On utilisera les données précisées sur le plan du rotor dans le recueil de figures (figure 6). On considérera le rotor plein (sans les rainures radiales). La masse volumique est de 7g/cm^3.

5.2 Question : fonction de transfert de la commande

Le couple de freinage exercé par le frein dépend (notamment) de l'intensité du courant passant dans les bobines et de la vitesse de rotation du rotor.
Pour simplifier l'étude lors de la régulation en vitesse, nous allons travailler autour d'un point de fonctionnement du frein. On considère alors que la vitesse de rotation varie peu autour de ce point de fonctionnement. Une première approximation consiste à dire que le couple C_f est uniquement une fonction linéaire de l'intensité i_b du courant circulant dans les bobines.

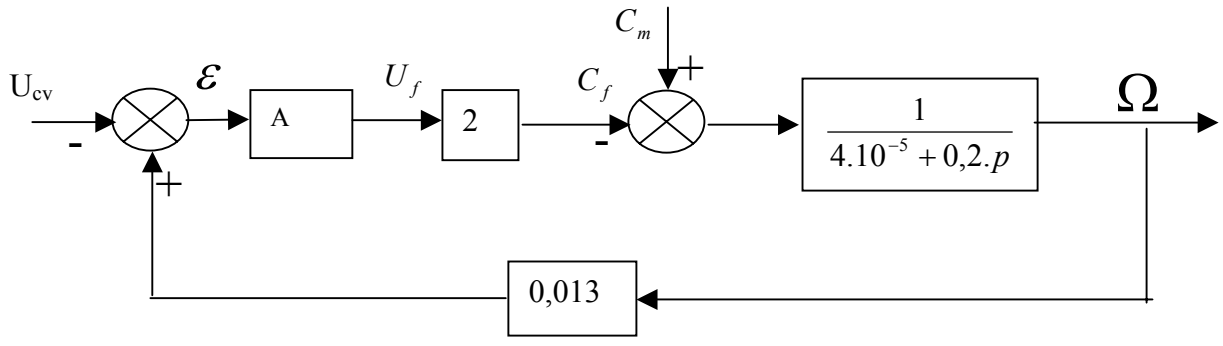
On note (voir schéma-bloc de la commande **paragraphe 4.2**):
- $C_f = \mathbf{K_f}.i_b$
- U_f : tension d'alimentation des bobines du frein,
- R_b : résistance électrique des bobines,
- L_b : inductance de ces bobines.

$\frac{U_f(p)}{\varepsilon(p)} = A(p)$ est la fonction de transfert de l'ampli et du correcteur, $\mathbf{U_{cv}}$ est la tension de consigne de vitesse. Le capteur de vitesse est défini par un gain pur $\mathbf{K_c}$ avec : $\frac{U_v}{\omega} = K_c$. On notera l'inertie équivalente $\mathbf{I_{eq}}=I_f+I_c+I_m$

En déduire l'expression de $\Omega(p)$ en fonction de $U_{cv}(p)$ et $C_m(p)$ et des données du problème.
Retracer le schéma-bloc de la commande en vitesse défini ***paragraphe 4.2****, en précisant bien chaque fonction de transfert selon les données ci-dessus.*

5.3 Performances de la commande

Après simplification, la commande en vitesse peut être assimilée au schéma-bloc ci-dessous.



Dans le but d'améliorer les performances du système, on envisage la mise en place d'un correcteur.
- soit un correcteur de type proportionnel de fonction de transfert A(p)=5,
- soit un correcteur de type intégral de fonction transfert A(p)=5/p.

5.3.1 Question : position des pôles

Représenter, dans un même plan complexe, les images des pôles des fonctions de transfert en boucle fermée du système corrigé, pour chacun des deux correcteurs.
Discuter de la stabilité et du degré de stabilité en réponse impulsionnelle pour chaque type de correction.

5.3.2 Question : performance de la commande

Reproduire, sur la copie, le tableau suivant, en définissant pour chaque correcteur les notions de performances (précision, rapidité et stabilité)

Il n'est pas demandé de calculer le résultat pour chaque cas ci-dessous, mais de donner des informations pertinentes sur les performances apportées par le correcteur.
On caractérisera par :
défavorable « - »
favorable « + »
sans effet « 0 »

Justifier vos indications.

	Précision	Rapidité	Stabilité
A(p)=5			
A(p)=5/p			

Fin de l'énoncé.

RECUEIL DE PHOTOS

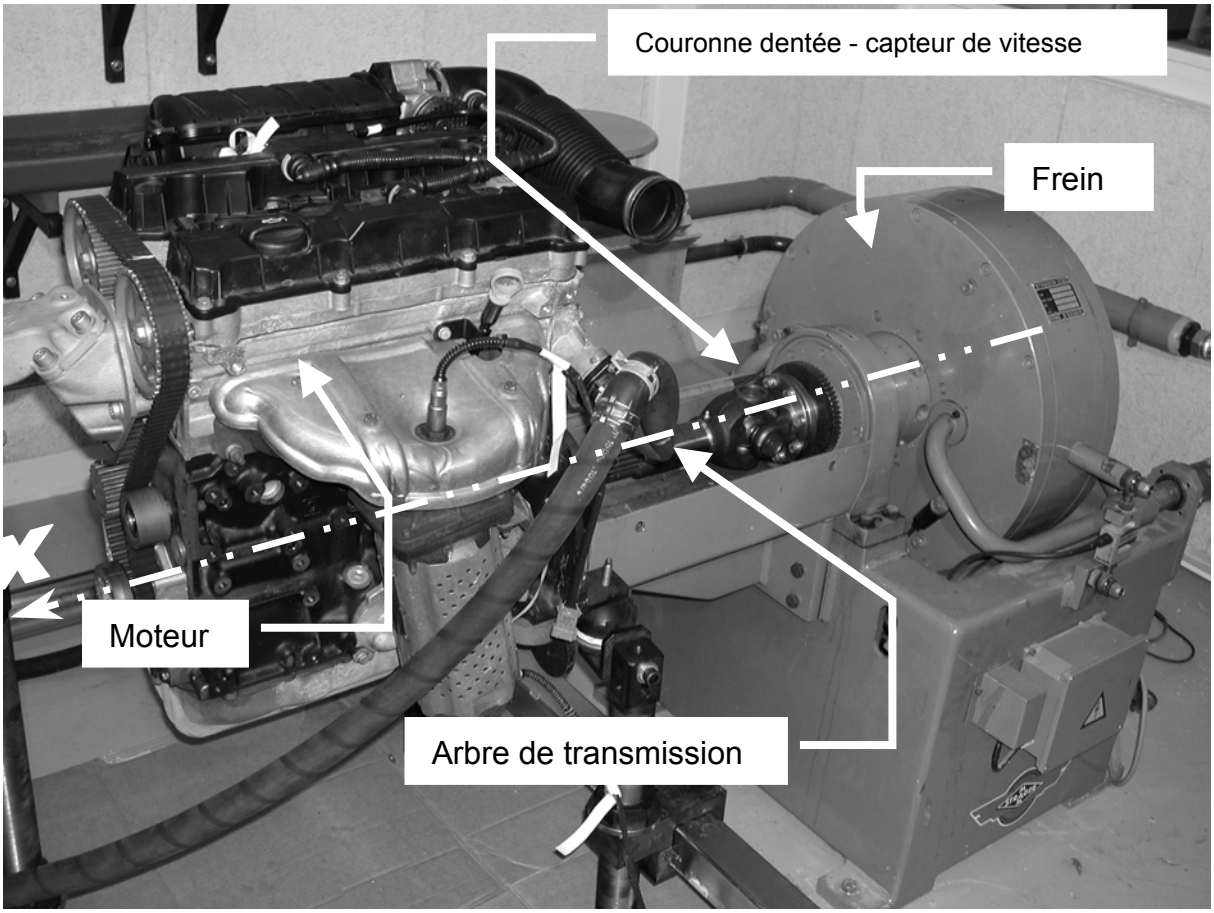


Photo 1 : Moteur en situation accouplé au frein

Tournez la page S.V.P.

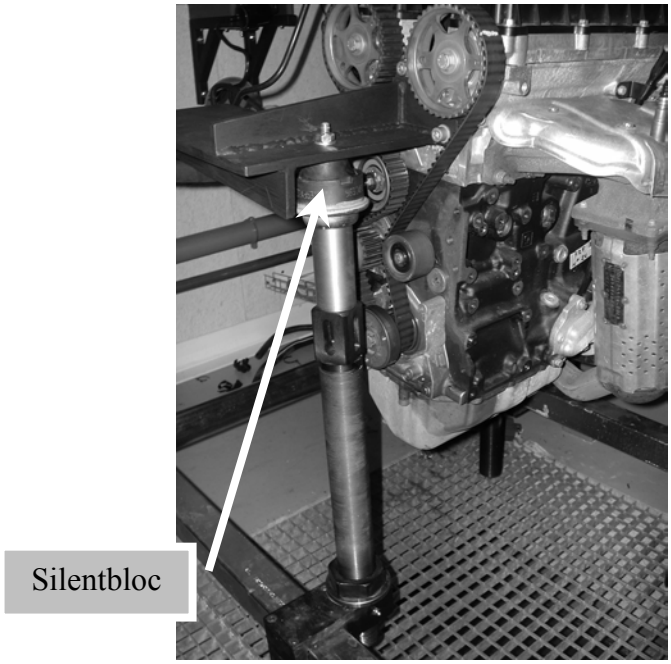


Photo 2 : Support moteur

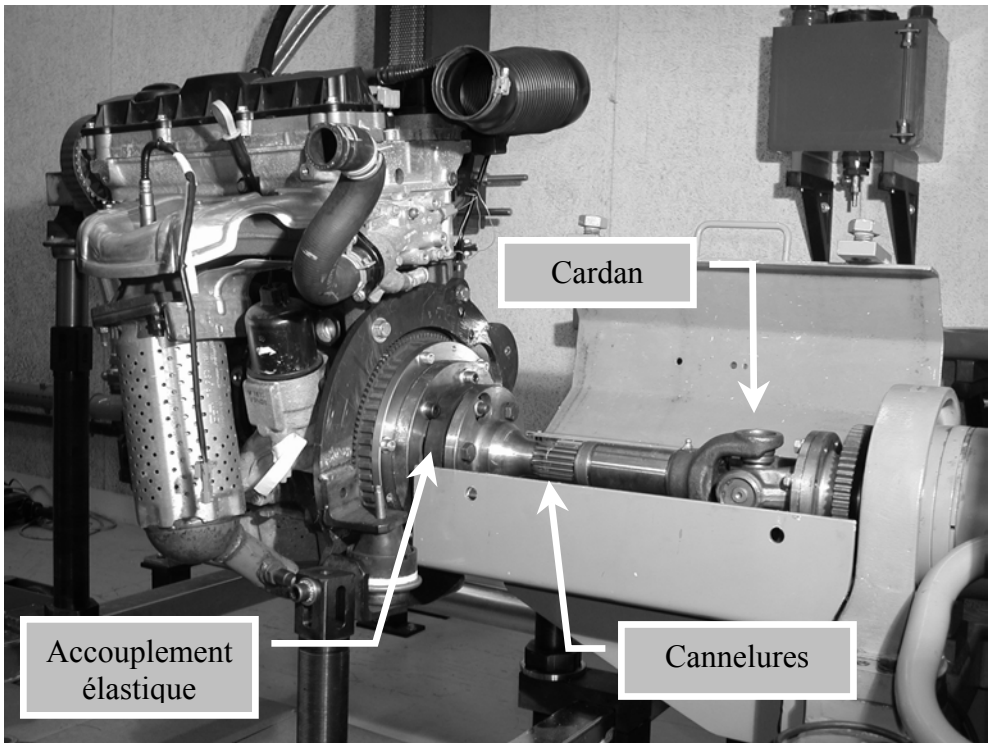


Photo 3 : Transmission entre le frein et le moteur

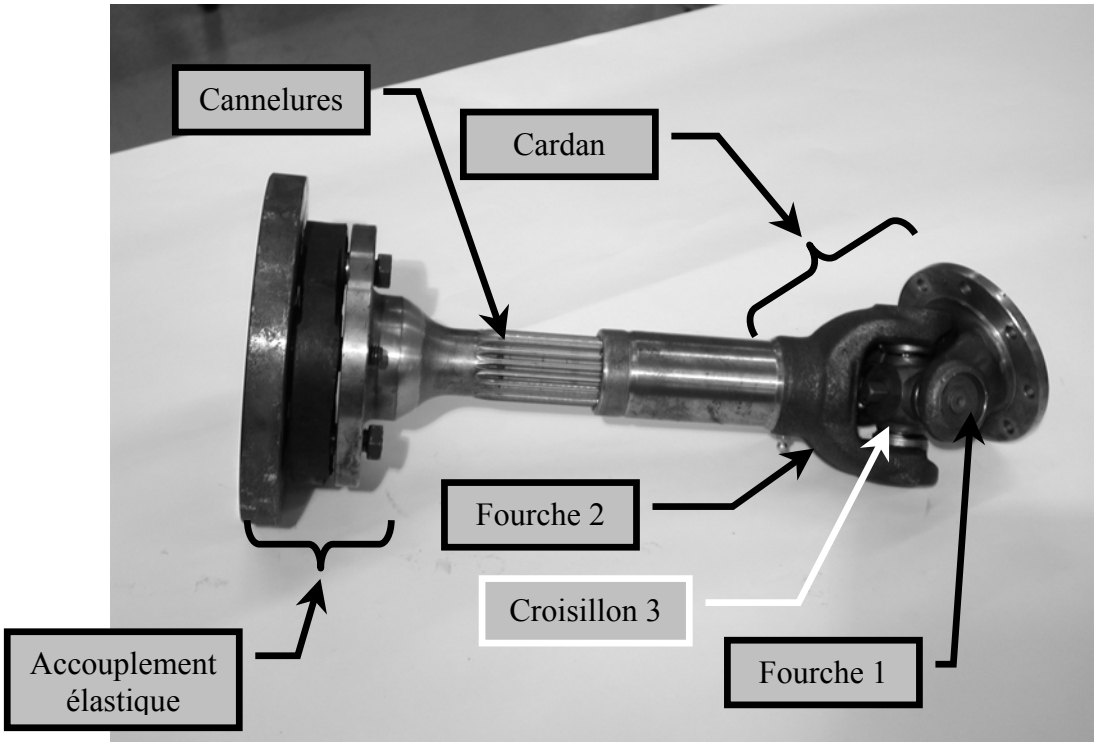


Photo 4 : Arbre de transmission

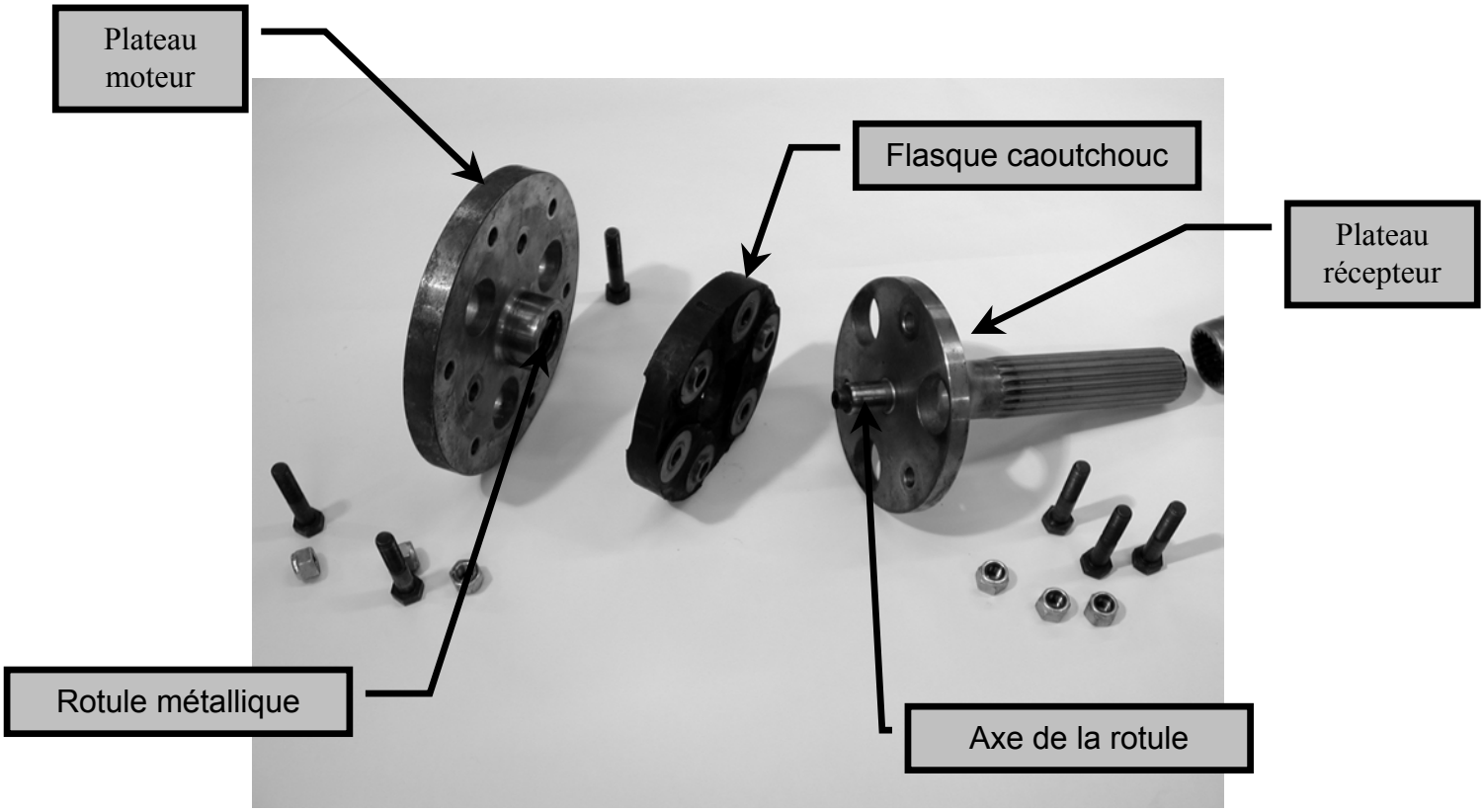


Photo 5 : Accouplement élastique côté moteur

Tournez la page S.V.P.

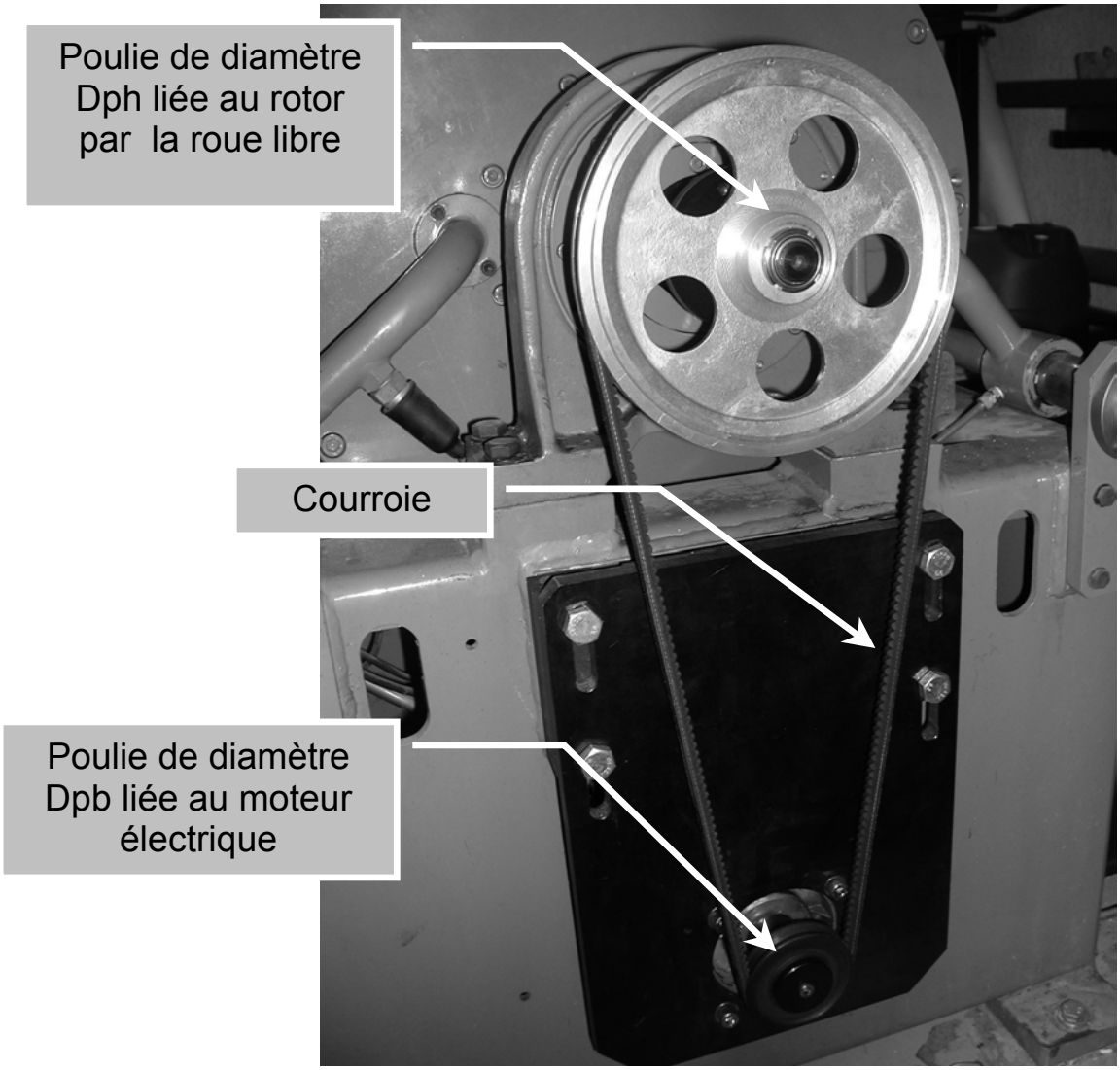


Photo 6 : Système de démarrage

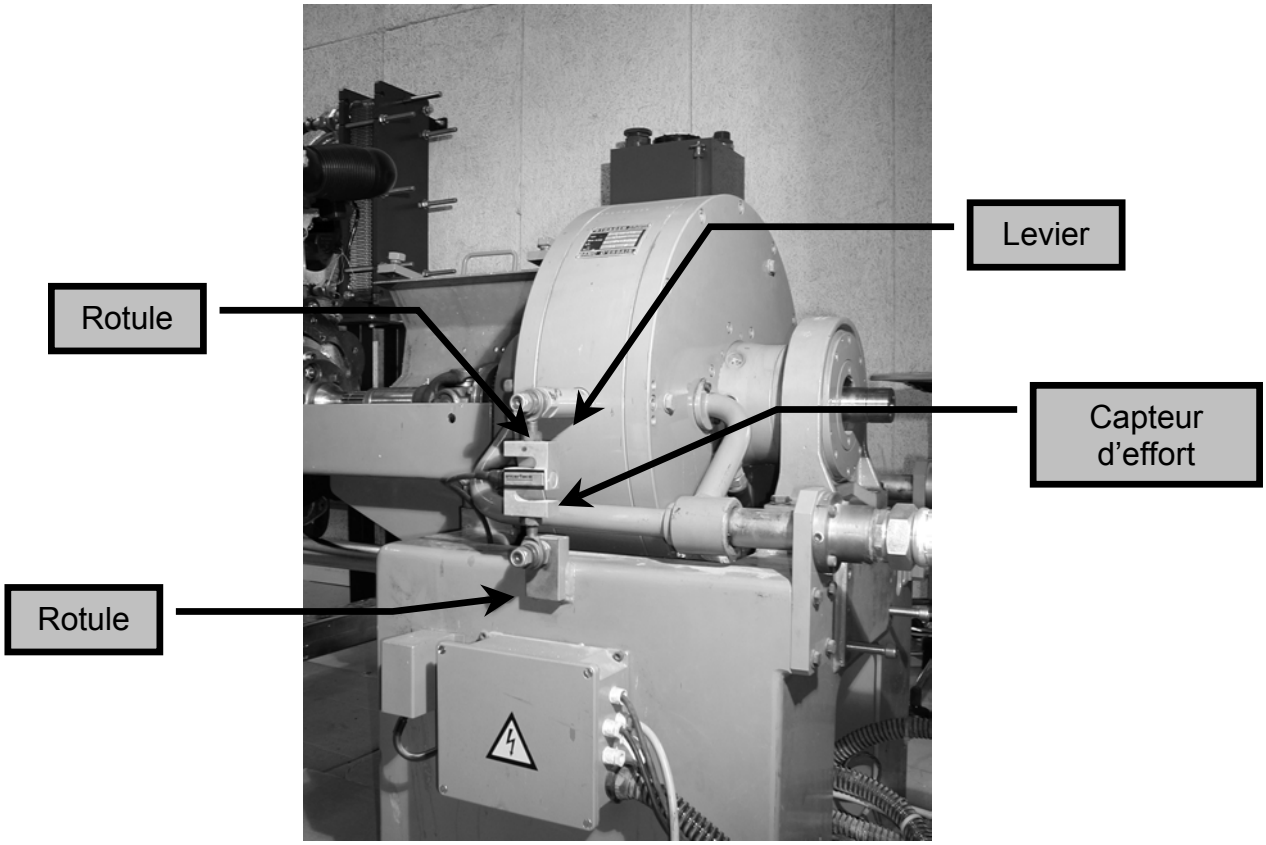


Photo 7 : Capteur d'effort

Tournez la page S.V.P.

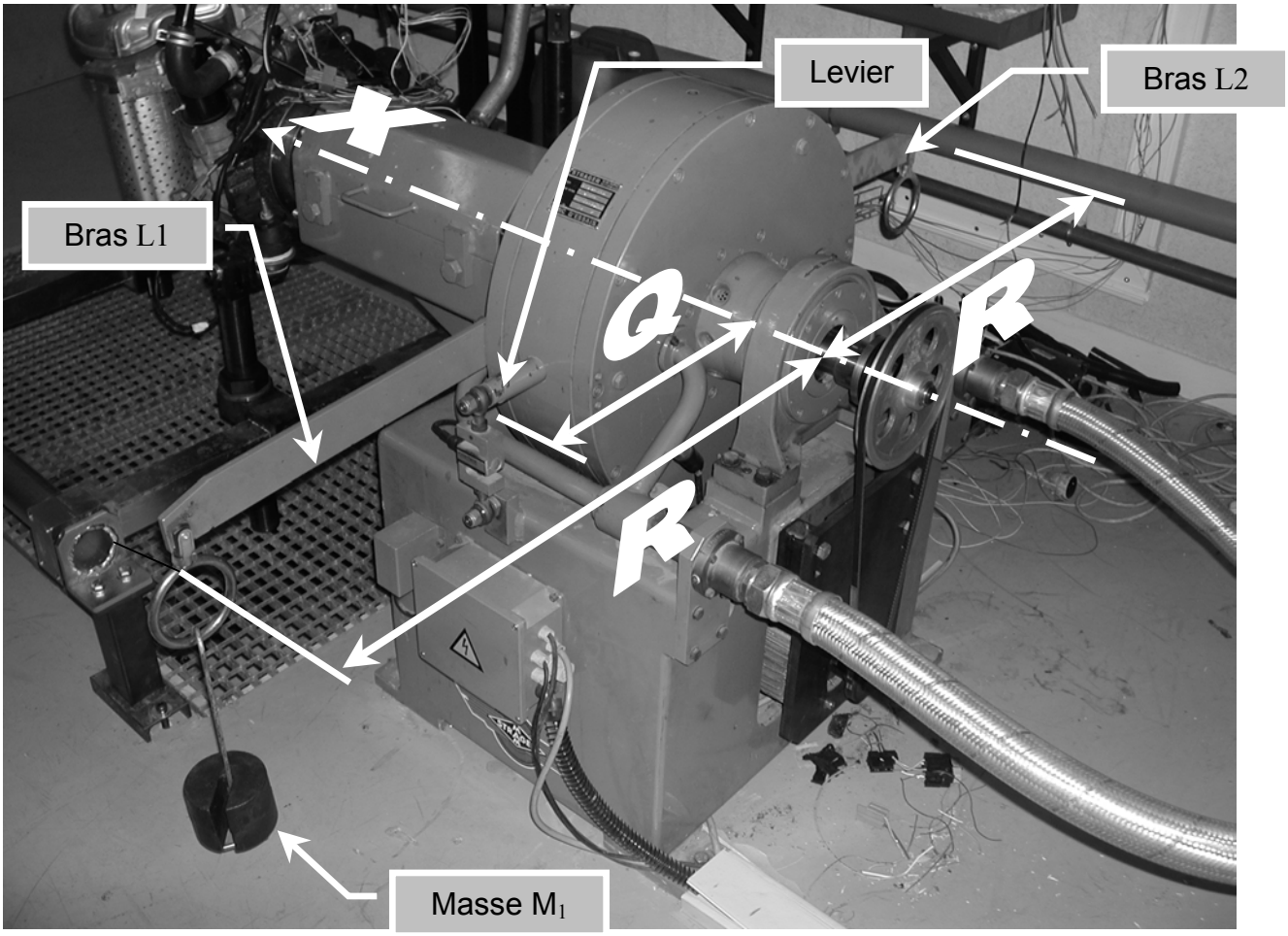


Photo 8 : Bras d'étalonnages

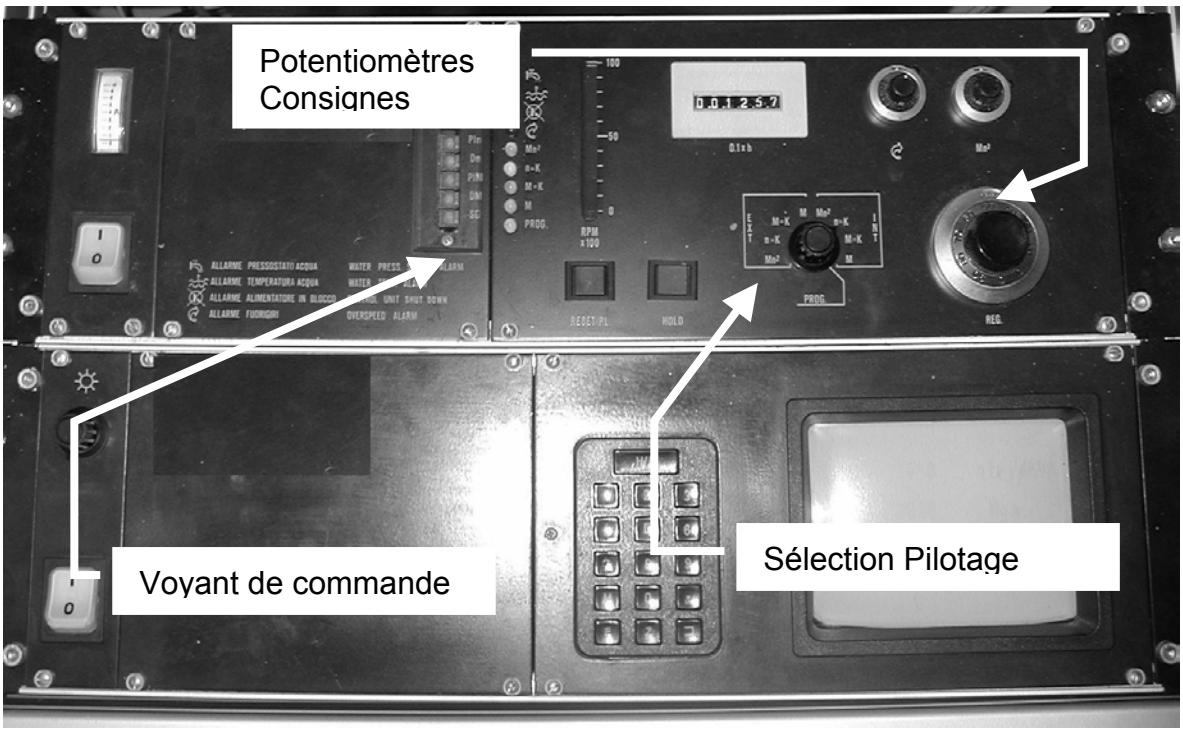


Photo 9 : Unité de commande du frein

Fin de l'album de Photos.

Tournez la page S.V.P.

RECUEIL DE FIGURES

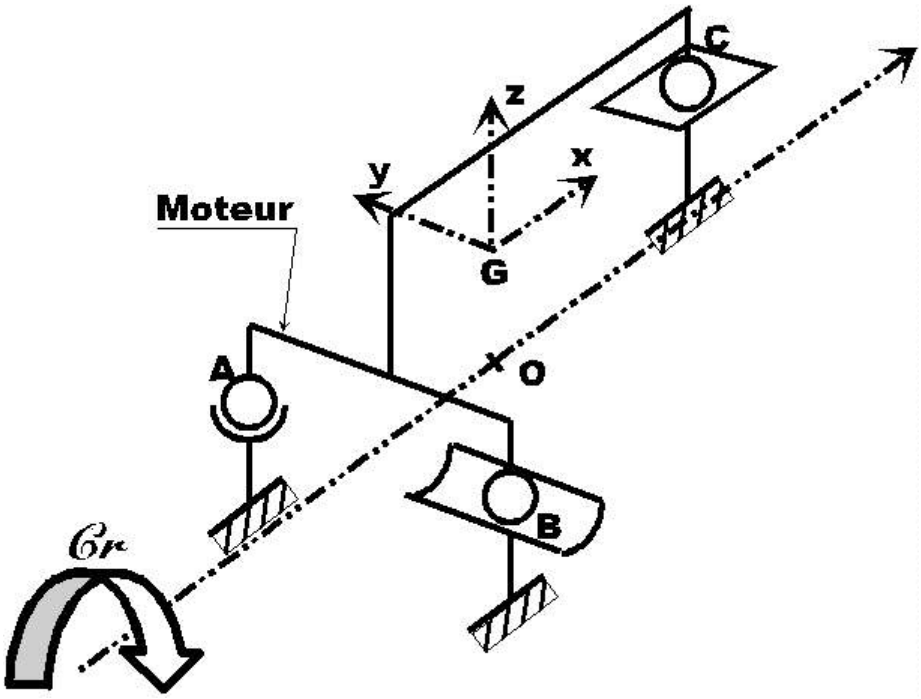


Figure 1 : Modèle isostatique moteur/bâti

Tournez la page S.V.P.

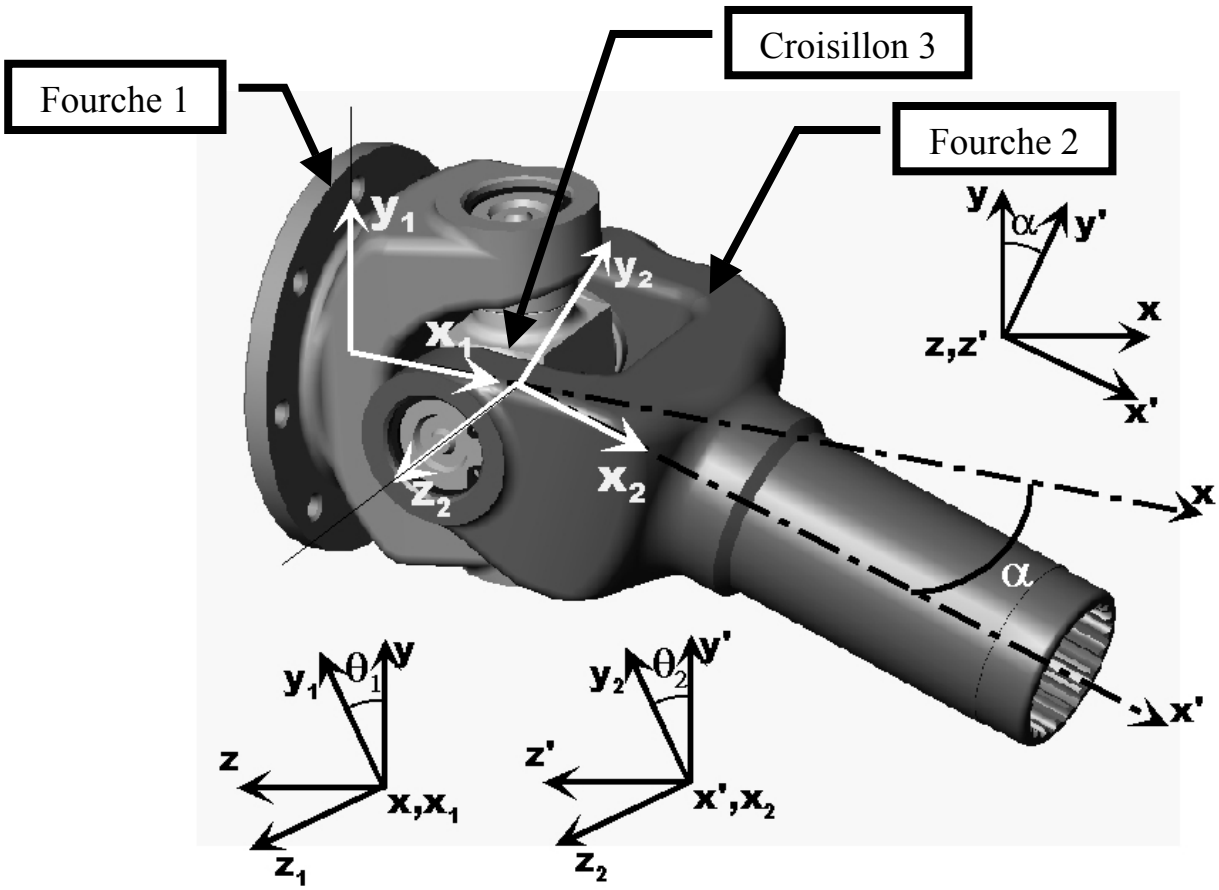


Figure 2 : Modèle cinématique du joint de cardan

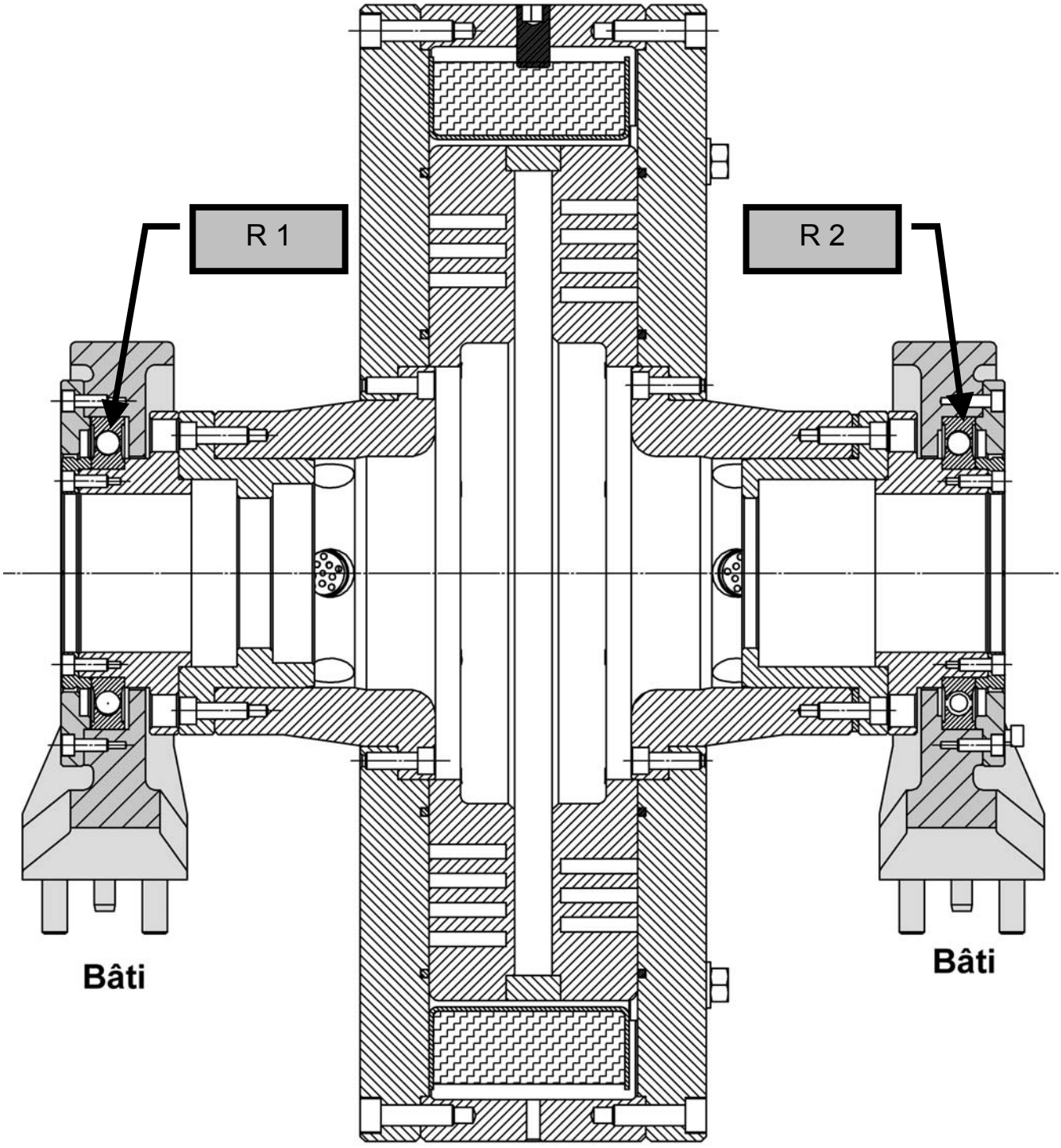


Figure 3 : Guidage du stator sur le bâti (<u>vue sans le rotor</u>)

Tournez la page S.V.P.

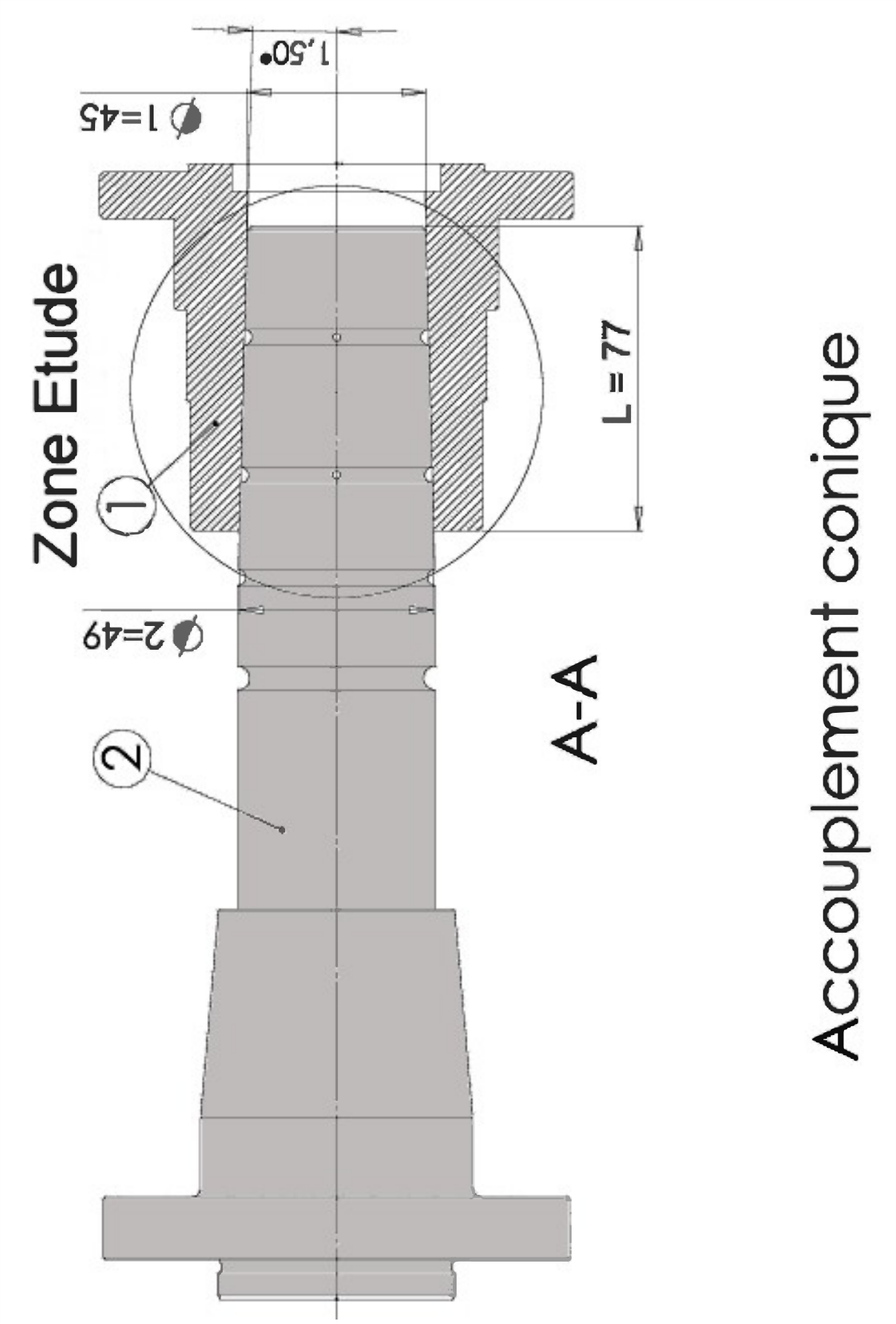


Figure 4 : Liaison par emmanchement conique

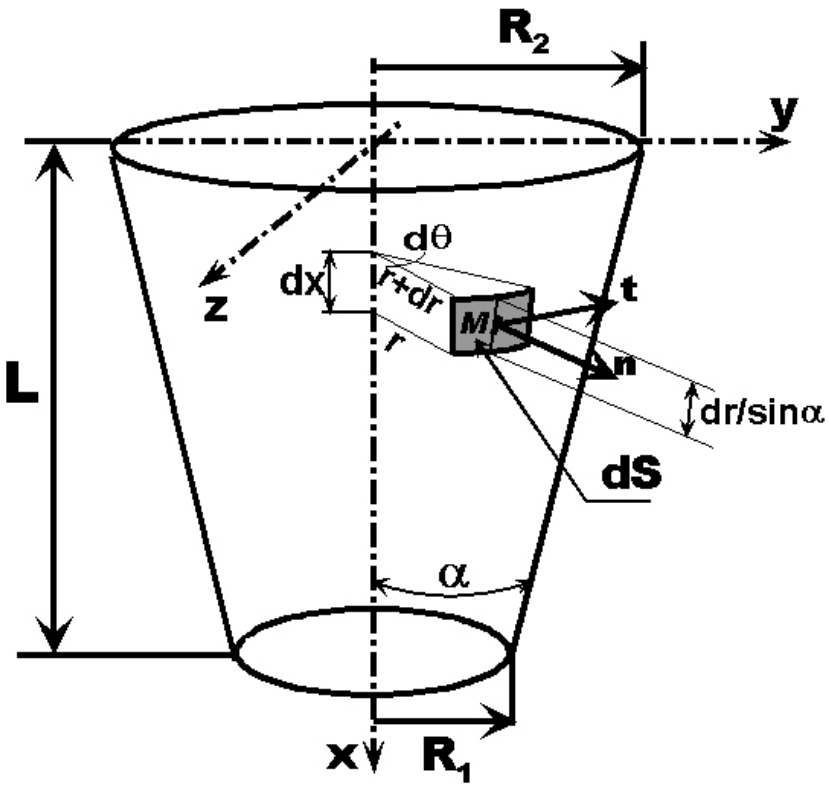


Figure 5 : Modèle de calcul pour l'emmanchement conique

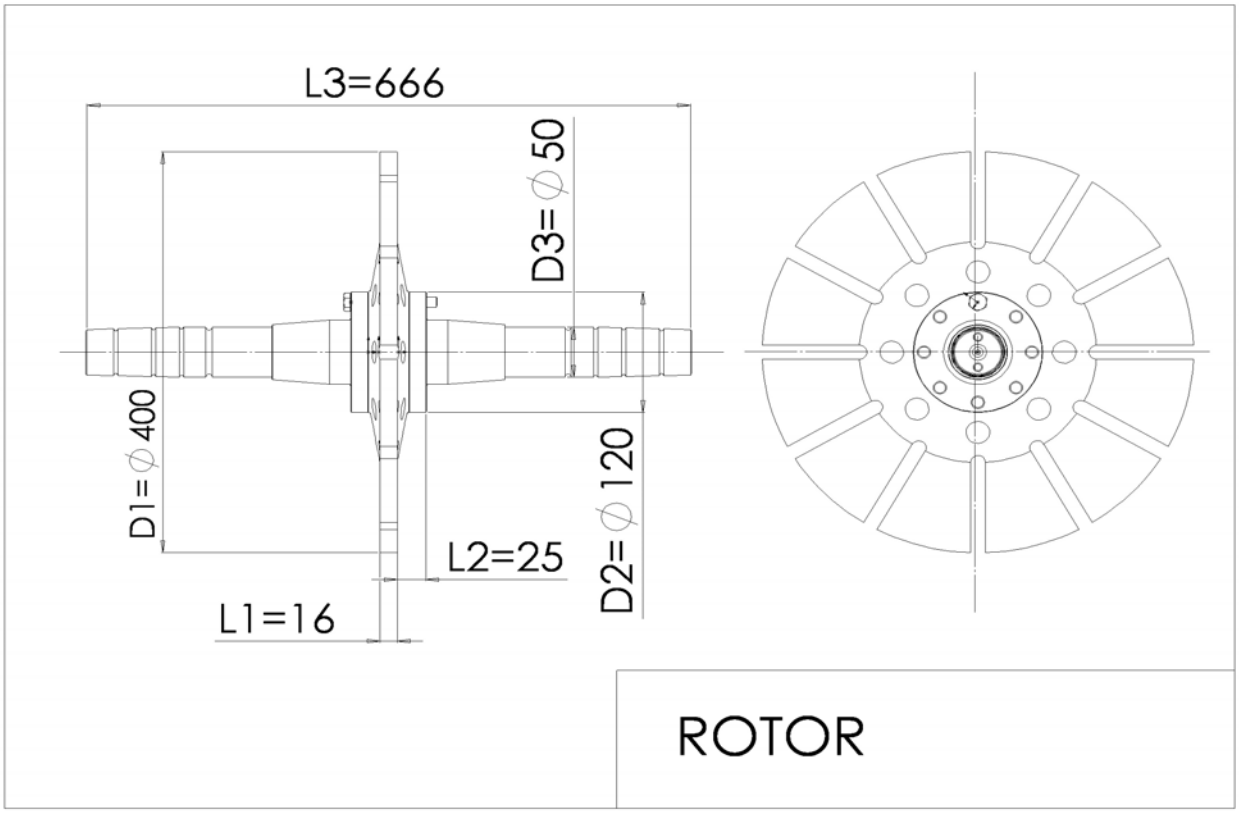


Figure 6 : Plan de définition du rotor

Tournez la page S.V.P.

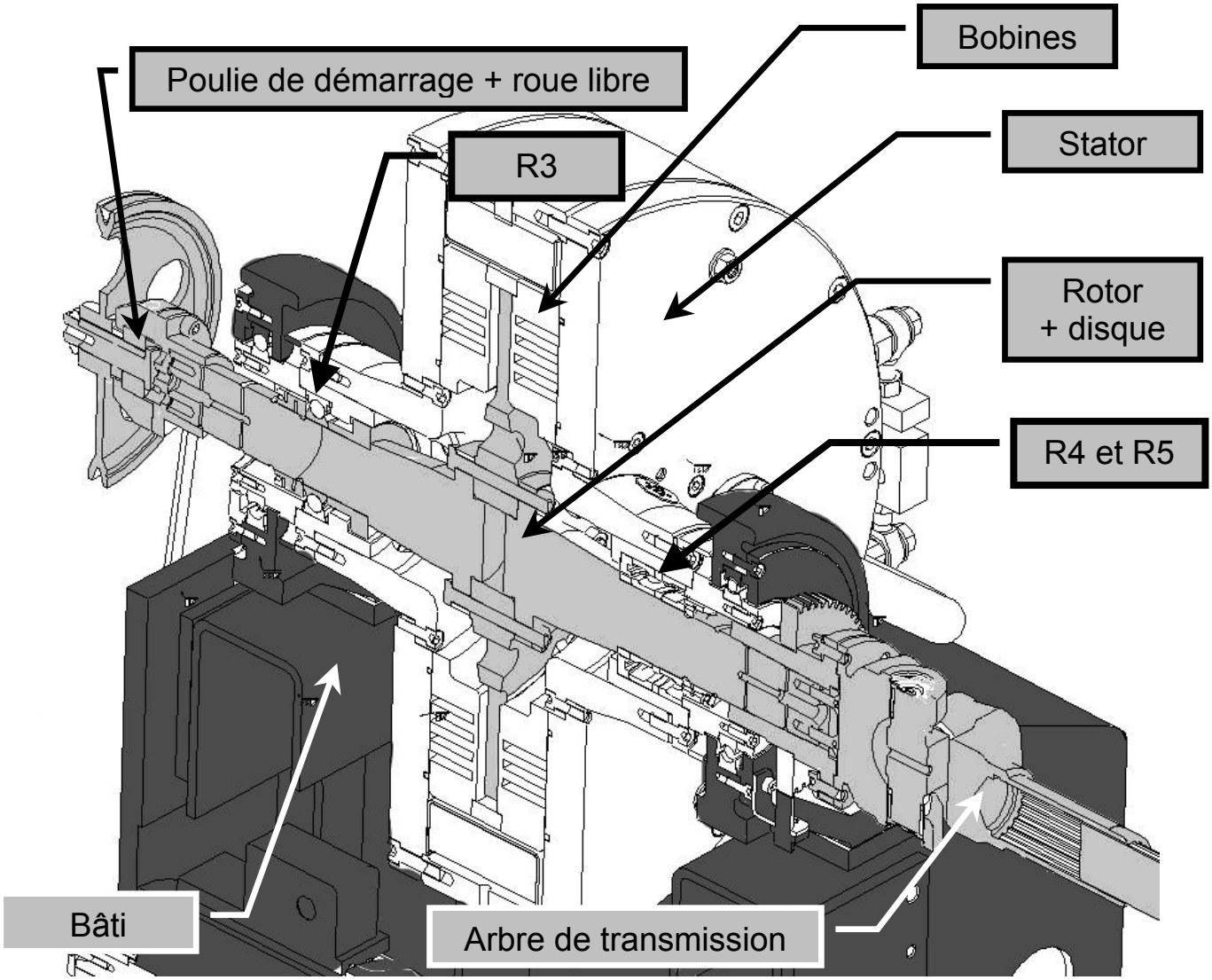


Figure 7 : vue générale 3D du frein en coupe

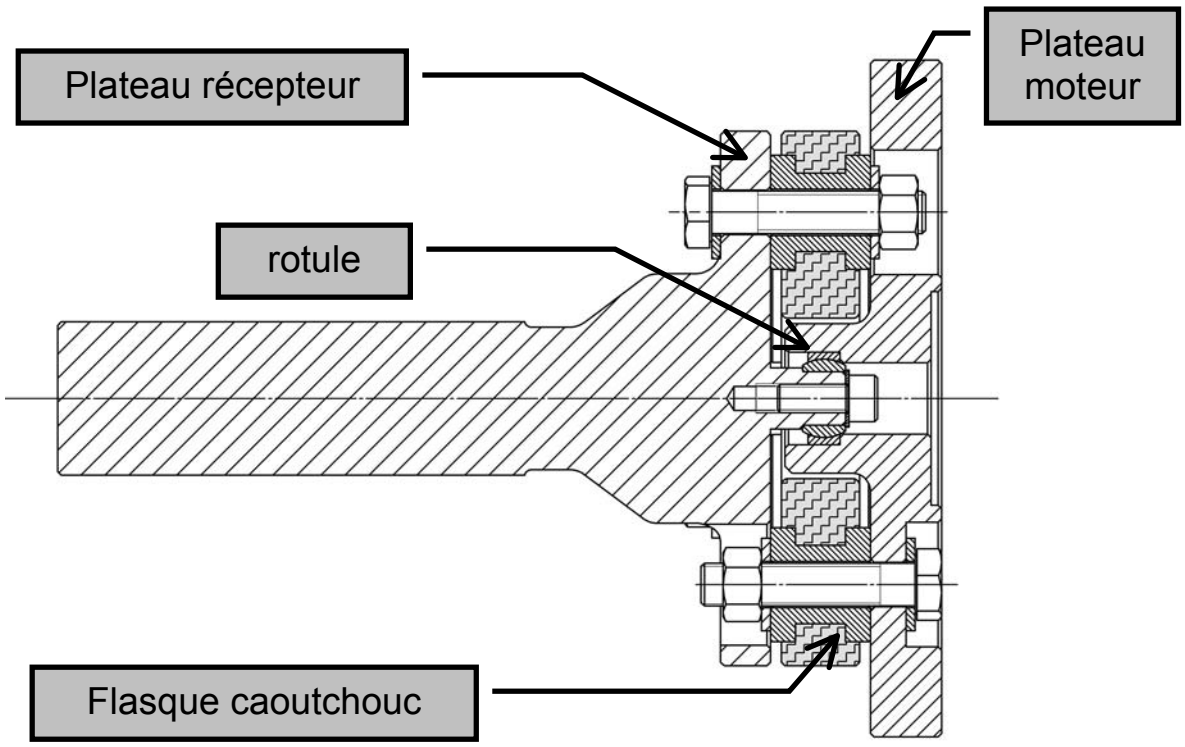


Figure 8 : Accouplement élastique côté Moteur

Fin de l'album de Figures.

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/psi