

## Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée : 6h00

**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 20 pages de texte, numérotées de T1/20 à T20/20 ;
- 16 documents, intitulés « Document  $i$  », avec  $i = 1$  à 16, numérotés D1/16 à D16/16 ;
- 3 feuilles format A3 pliées, imprimées recto verso, respectivement intitulées « Notice justificative 1/3 », « Notice justificative 2/3 » et « Notice justificative 3/3 », à rendre en fin d'épreuve ;
- 1 feuille de calque format A3, pré imprimée, intitulée « Calque n°1 » à rendre en fin d'épreuve ;
- 1 feuille de calque format A4, pré imprimée, intitulée « Calque n°2 » à rendre en fin d'épreuve.

**TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE**

**Matériel autorisé :** tous instruments usuels du dessinateur.

**TOUTES LES CALCULATRICES SONT INTERDITES, QUEL QU'EN SOIT LE TYPE, AINSI QUE LES AGENDAS ELECTRONIQUES ET LES TELEPHONES PORTABLES**

**Gestion du temps :** En admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 00 et 2 h 30 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

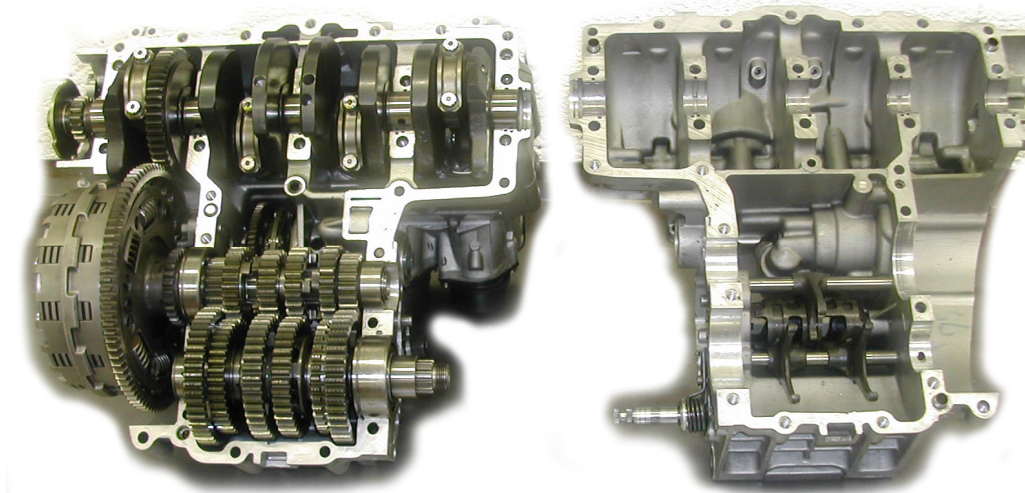


Figure 1 : Vue partielle d'un groupe motopulseur de motocyclette

# ETUDE D'UNE BOÎTE DE VITESSES DE MOTOCYCLETTE ET DE SON EMBRAYAGE

## A - Cahier des Charges Fonctionnel (Extraits)

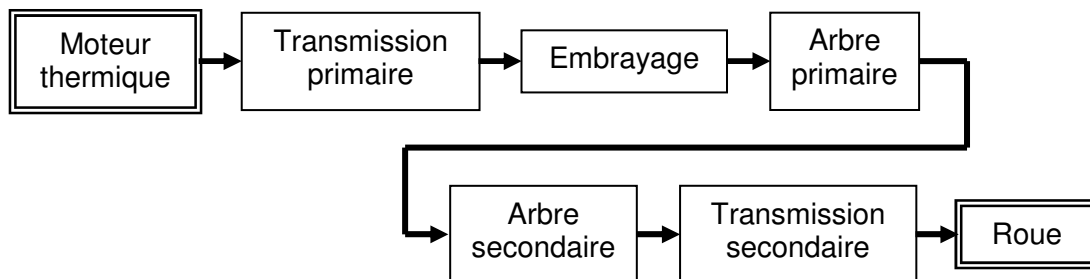
### A.1 - Présentation du problème

#### A.1.1 - Le contexte

On s'intéresse dans ce projet à une motocyclette produite par un grand constructeur, et plus particulièrement à sa transmission de puissance.

Comme indiquée ci-dessous sur la **figure 2, page T2/20**, elle est principalement composée :

- d'un moteur thermique ;
- de la transmission primaire par engrenage ;
- d'un embrayage multidisque commandé mécaniquement par le conducteur ;
- d'une boîte de vitesses à six rapports ;
- d'une transmission secondaire par chaîne jusqu'à la roue arrière ;
- de la roue arrière.



**Figure 2** : Chaîne de transmission de puissance

Une photo de cette chaîne de transmission de puissance est donnée **figure 6, document 1, page D1/16**.

Les caractéristiques mécaniques du véhicule produit à l'heure actuelle sont données dans le **tableau 1, document 2, page D2/16**. Comme il le fait régulièrement, le constructeur fait évoluer ce modèle aussi bien du point de vue de la partie cycle qu'au niveau de la chaîne de transmission de puissance.

Les modifications au niveau de la chaîne de transmission de puissance comprennent principalement :

- une augmentation de la puissance et du couple du moteur ;
- un allègement systématique de toutes les pièces et en particulier des pièces mobiles dans un référentiel lié au véhicule ;
- un nouveau dimensionnement, si nécessaire, des pièces mécaniques davantage sollicitées ;
- une amélioration du comportement routier du véhicule, en courbe, lors des freinages, ou lors des rétrogradages (par exemple, passage de 3<sup>ème</sup> en 2<sup>nde</sup>).

Etant donnée la complexité de l'ensemble de ces modifications, on ne s'intéressera ici qu'à une petite partie de la chaîne de transmission de puissance : l'embrayage multidisque et la boîte de vitesses.

### **A.1.2 - Le produit à concevoir**

Le constructeur, fortement impliqué dans différents championnats, souhaite faire profiter ses futurs clients des innovations technologiques initialement conçues pour les machines de course. En particulier, il souhaite remédier aux problèmes de tenue de route liés au glissement de la roue arrière lors de freinages violents accompagnés d'un rétrogradage (passage à un rapport de boîte de vitesses inférieur à celui utilisé).

Lors d'un freinage fort, la roue avant est surchargée, la roue arrière délestée, réduisant d'autant l'effet du frein de roue arrière et autorisant le blocage de celle-ci. Toutefois le conducteur peut doser l'effort de freinage sur la roue arrière de façon à éviter toute glissade périlleuse.

Par ailleurs, si le conducteur rétrograde dans un même temps, ce qui est fréquent, l'augmentation de régime moteur engendrée crée un frein moteur très important qui peut également causer le blocage de la roue arrière, même si le frein arrière n'est pas actionné. Cette fois, le conducteur peut agir sur le levier d'embrayage, afin de faire patiner celui-ci et d'éviter le blocage de la transmission.

Ces différentes tâches à réaliser en parallèle rendent la conduite très délicate. Le constructeur prévoit ainsi d'utiliser un organe courant en compétition permettant d'automatiser mécaniquement cette action sur l'embrayage et donc de limiter le blocage de la roue arrière : l'embrayage anti-blocage ou « sliding-clutch ».

### **A.1.3 - Limites de l'étude**

La **figure 6, document 1, page D1/16** donne l'architecture générale d'une boîte de vitesses de motocyclette. Elle permet de situer les limites de l'étude :

Limite en amont : Roue d'entraînement de la cloche de l'embrayage

Limite en aval : Pignon de sortie de boîte de vitesses

## **A.2 - Analyse fonctionnelle du besoin (extraits)**

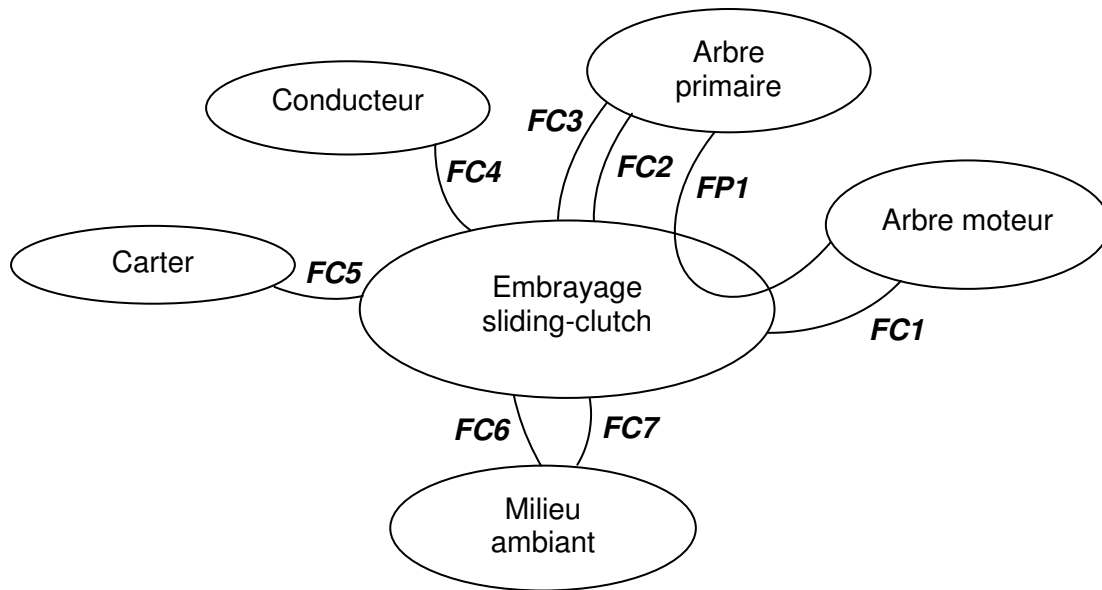
Le produit considéré dans cette partie est l'embrayage sliding-clutch.

Parmi toutes les situations du cycle de vie du produit, il ne sera considéré que la situation de fonctionnement, en distinguant toutefois trois phases :

- Phase E : phase « embrayée ». Le couple moteur généré par le moteur est transmis à la roue arrière ;
- Phase D : phase « débrayée ». Le moteur est désaccouplé de la roue arrière, ce qui permet entre autres le changement de rapport de transmission ;
- Phase A : phase de « débrayage automatique » pendant laquelle le système évite le blocage de la roue arrière. Le couple de freinage généré par le moteur est transmis de façon limitée à la roue arrière.

Seuls les graphes des interacteurs des phases E et A sont explicités ci-dessous.

### A.2.1.1 - Phase E : Graphe des interacteurs en position embrayée



#### Enoncés des fonctions de service et des contraintes

##### Fonction principale :

**FP1** Transmettre la puissance du moteur à l'arbre primaire de boîte de vitesses

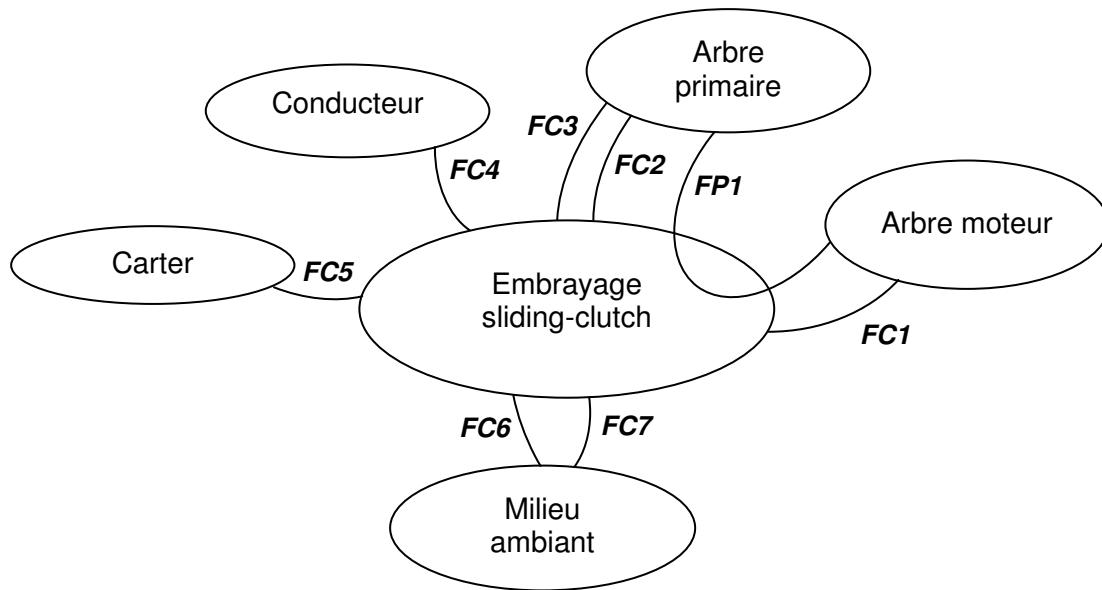
##### Fonctions contraintes :

- FC1** Filtrer les irrégularités du couple moteur et du couple résistant
- FC2** S'adapter à l'arbre primaire
- FC3** Ne pas générer d'effort axial dans les guidages en rotation
- FC4** Ne pas demander d'effort au conducteur
- FC5** S'adapter à l'encombrement disponible
- FC6** Ne pas émettre de bruits excessifs
- FC7** Fonctionner en présence d'huile

#### Caractérisation des fonctions

	Critères	Niveaux
<b>FP1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Couple moteur maxi transmis par l'embrayage</li> <li>• Vitesse de rotation maxi de l'embrayage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 147 N.m</li> <li>• 8 000 tr.min<sup>-1</sup></li> </ul>
<b>FC1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrégularités du couple moteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• non fourni</li> </ul>
<b>FC2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liaison complète</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• démontable</li> </ul>
<b>FC3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effort axial transmis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 N</li> </ul>
<b>FC4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effort nécessaire pour maintenir l'embrayage en position embrayée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 N</li> </ul>
<b>FC5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ø200 mm x 100 mm</li> </ul>
<b>FC6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit généré maxi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 dB(A)</li> </ul>
<b>FC7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huile utilisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SAE 15W-50 ou SAE 20W-50</li> </ul>

### A.2.1.2 - Phase A : Graphe des interacteurs en phase de débrayage automatique



#### Enoncés des fonctions de service et des contraintes

##### Fonction principale :

**FP1** Limiter le couple de freinage transmissible de l'arbre moteur à l'arbre primaire

##### Fonctions contraintes :

- FC1** Filtrer les irrégularités du couple moteur et du couple résistant
- FC2** S'adapter à l'arbre primaire
- FC3** Ne pas générer d'effort axial dans les guidages en rotation
- FC4** Ne pas demander d'intervention du conducteur
- FC5** S'adapter à l'encombrement disponible
- FC6** Ne pas émettre de bruits excessifs
- FC7** Fonctionner en présence d'huile

#### Caractérisation des fonctions

	Critères	Niveaux
<b>FP1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Couple résistant maxi transmis par l'embrayage</li> <li>• Vitesse de rotation maxi de l'embrayage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• de 35 à 40 N.m</li> <li>• 8 000 tr.min<sup>-1</sup></li> </ul>
<b>FC1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrégularités du couple moteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• non fourni</li> </ul>
<b>FC2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liaison complète</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• démontable</li> </ul>
<b>FC3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effort axial transmis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 N</li> </ul>
<b>FC4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intervention pour obtenir l'anti-blocage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aucune</li> </ul>
<b>FC5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ø200 mm x 100 mm</li> </ul>
<b>FC6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit généré maxi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 dB(A)</li> </ul>
<b>FC7</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huile utilisée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SAE 15W-50 ou SAE 20W-50</li> </ul>

## B - Etude et éléments de solutions proposés

### B.1 - Architecture générale

Dans toute la suite, on considèrera que l'arbre primaire tourne dans le sens positif :  $\bar{\Omega}_{AP/0} = \omega_{AP/0} \bar{x}$  avec  $\omega_{AP/0} \geq 0$ . Le repère choisi est tel que  $\bar{x}$  est selon l'axe de l'arbre primaire. L'orientation du repère est précisée sur la **figure 7, document 3, page D3/16**.

Une vue d'ensemble en écorché est donnée **figure 7, document 3, page D3/16**. Elle permet de faire une synthèse de l'ensemble des pièces qui seront introduites par la suite. La **figure 8, document 4, page D4/16** donne une vue plus détaillée de l'embrayage.

#### B.1.1 - Principe de fonctionnement d'un embrayage multidisque classique

Un schéma d'architecture d'un embrayage multidisque classique est donné sur la **figure 9, document 5, page D5/16**. On notera que, pour des raisons de lisibilité, seuls 5 disques ont été représentés. La cloche **C** est entraînée via un engrenage par le vilebrequin. Sur cette cloche **C** sont disposées des rainures dans lesquelles viennent s'insérer des disques garnis **DE**. Des disques métalliques **DI** sont intercalés entre les disques garnis **DE**. Les disques internes **DI** peuvent être considérés, dans une première approche, comme en liaison glissière avec la noix **N**, encastrée sur l'arbre primaire **AP**. Un effort presseur, obtenu grâce à la précontrainte de six ressorts hélicoïdaux **RH**, plaque les disques les uns contre les autres. Le couple est ainsi transmis par adhérence des disques externes **DE** aux disques internes **DI**, et donc globalement de la cloche **C** à l'arbre primaire **AP** de boîte. Le débrayage s'obtient en exerçant un effort extérieur sur la plaque de poussée **P**, dans la direction  $\bar{x}$ . Cet effort est exercé par la tige de commande de débrayage, non représentée sur le schéma d'architecture.

#### B.1.2 - Principe de fonctionnement de l'embrayage multidisque anti-blocage

Les mécanismes anti-blocage ont été introduits initialement sur les motocyclettes de compétition. En effet, l'accroissement des performances des motocyclettes a obligé à trouver des astuces techniques pour aider le conducteur, notamment lors des freinages accompagnés de rétrogradage, où le risque de blocage de la roue arrière est important. Ceci peut se traduire par la perte de contrôle du véhicule.

Différents types d'embrayage anti-blocage existent. Dans tous les cas, c'est la liaison entre la noix et l'arbre primaire qui est modifiée.

A partir de l'étude du système réel représenté sur la **figure 7, document 3, page D3/16** et sur la **figure 8, document 4, page D4/16**, on propose deux schémas d'architecture modélisant le comportement de l'embrayage « sliding-clutch » en phase « embrayée » et en phase de « débrayage automatique ».

Le mode de fonctionnement « embrayé » est représenté sur la **figure 10, document 6, page D6/16**. Lorsque le moteur **MOT** entraîne la roue, en marche avant, la cloche **C** est soumise à un couple positif selon le vecteur  $\bar{x}$ . Ce couple est transmis aux disques externes **DE**. Puis il est transmis par adhérence aux disques internes **DI** grâce à l'effort presseur généré par les ressorts hélicoïdaux **RH**. Pour finir, il est transmis à la noix **N**. Le couple moteur est transmis de la noix **N** au flasque **F** solidaire de l'arbre primaire **AP** par trois liaisons sphère-plan **unilatérales** (petites zones planes visibles sur la **figure 12, document 8, page D8/16**, et dont une seule est représentée sur le schéma d'architecture).

Le débrayage se fait, comme dans un embrayage classique, en exerçant un effort de commande selon  $\vec{x}$  sur la plaque de poussée **P**, par l'intermédiaire d'une tige de commande de débrayage non représentée **figure 10, document 6, page D6/16**.

Le mode de fonctionnement de « débrayage automatique » est représenté sur la **figure 11, document 7, page D7/16**. Lorsque la roue entraîne le moteur **MOT**, ce qui est le cas lors d'un rétrogradage, les sens de rotation n'ont bien sûr pas changé. Par contre, la cloche **C** est soumise à un couple négatif selon  $\vec{x}$ . Le contact dans la liaison sphère-plan unilatérale noix **N** / flasque **F** n'est plus maintenu. A l'inverse, le contact noix **N** / flasque **F** s'effectue sur une rampe hélicoïdale modélisée par la liaison hélicoïdale. Un déplacement relatif dans la liaison hélicoïdale se produit, ayant pour effet de comprimer les ressorts en étoile **RE**. La noix **N** vient en contact avec la plaque de poussée **P** via la liaison sphère-plan noix **N** / plaque **P**, et ainsi réduire l'effort presseur entre les disques, ce qui a pour effet de diminuer le couple maximum transmissible par adhérence. La rampe dans la liaison hélicoïdale a un angle d'hélice permettant la réversibilité du mécanisme : les ressorts en étoile **RE** peuvent renvoyer la noix **N** en position initiale lorsque le couple frein diminue.

La liaison hélicoïdale est faite soit par contact direct, ce qui est le cas dans cette étude, soit par l'intermédiaire de quelques billes. Les deux pièces réalisant cette liaison hélicoïdale sont représentées **figure 12, document 8, page D8/16**.

Les composants élastiques utilisés sont :

- des ressorts hélicoïdaux **RH** pour l'effort presseur sur les disques ;
- des ressorts en tôle en forme d'étoile **RE** pour le rappel de la noix **N**.

## C - Etude de conception en construction mécanique

### C.1 - Présentation du travail à rendre

Comme indiqué plus haut en **page T1/20**, en admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 00 et 2 h 30 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

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

#### 1 – Notice justificative (40 % 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, pliés, pré imprimés recto verso.

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

#### 2 – Dessin d'étude de construction mécanique (60 % de la note globale)

Il est à tracer sur **les deux calques pré imprimés de format A3 horizontal et A4 vertical, intitulés « Calque n°1 » et « Calque n°2 »**, joints au sujet, **et qui seront à rendre non pliés.**

### C.2 - Notice justificative

#### Consignes spécifiques

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

**Compte tenu de l'interdiction d'utiliser toute calculette, les calculs seront réalisés de manière approchée.**

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 2, document 16, page D16/16** un récapitulatif de l'ensemble des grandeurs utilisées au cours du sujet.

#### C.2.1 - Statique

Dans toute cette partie, on confondra les valeurs du coefficient de frottement et du coefficient d'adhérence.

##### C.2.1.1 - Calcul du couple maximal transmissible en phase E

On se situe dans cette partie en phase embrayée. Dans cette phase, l'embrayage fonctionne comme un embrayage classique. Le couple moteur est transmis au niveau des surfaces de contact entre disques internes **DI** et disques externes **DE**.



On s'intéresse dans un premier temps au comportement d'une seule surface frottante.

**Données** (voir **figure 13, document 9, page D9/16**) :

On note respectivement  $R_i$  et  $R_e$  les rayons intérieur et extérieur de la surface de contact.

On note  $N_0$  l'effort presseur exercé sur les surfaces en contact.

L'embrayage tourne dans le sens positif :  $\vec{\Omega}_{C/0} = \omega_{C/0} \vec{x}$  avec  $\omega_{C/0} \geq 0$

**Hypothèses :**

On suppose une répartition de pression  $p$  uniforme entre les deux disques.

On se place à la limite du glissement, et on note  $f$  la valeur du coefficient d'adhérence entre disque interne  $DI^i$ ,  $i \in \{1; \dots; 7\}$ , et disque externe  $DE^j$ ,  $j \in \{1; \dots; 8\}$ .

Le coefficient d'adhérence entre un disque externe  $DE^j$  et le flasque  $F$ , et entre un disque externe  $DE^j$  et la plaque de poussée  $P$ , est également pris égal à  $f$ .

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

**Donner l'expression de la pression  $p$  en fonction de  $R_i$ ,  $R_e$  et  $N_0$ .**

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

**Donner l'expression du couple  $C_0^1$  maxi transmissible par une surface frottante, en fonction de  $f$ ,  $R_i$ ,  $R_e$  et  $N_0$ . Cette expression peut se mettre sous la forme  $C_0^1 = f \cdot R_{eq} \cdot N_0$ , et on donnera l'expression du rayon équivalent  $R_{eq}$ .**

L'effort normal  $N_0$  est donné par l'ensemble des ressorts hélicoïdaux **RH**.

**Données :**

Chaque ressort hélicoïdal **RH** <sup>$k$</sup> ,  $k \in \{1; \dots; 6\}$ , a une raideur  $K_h = 9 \text{ N.mm}^{-1}$ , une longueur à vide  $l_0 = 39 \text{ mm}$ , et une longueur en phase embrayée  $l_1 = 24 \text{ mm}$ .

**Hypothèses :**

On néglige l'effet du frottement dans les liaisons glissières liant les disques extérieurs **DE** à la cloche **C** et les disques intérieurs **DI** à la noix **N**. L'effort presseur exercé par les ressorts hélicoïdaux **RH** est alors intégralement transmis à travers l'empilage de disques.

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

**Déterminer le nombre de surfaces frottantes noté  $n$ .**

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

**Donner l'expression de  $N_0$  en fonction de  $K_h$ ,  $l_0$  et  $l_1$ .**

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

**En déduire l'expression du couple maximal transmissible  $C_0^n$  par les  $n$  surfaces frottantes en fonction de  $n, f, R_{eq}, K_h, l_0$  et  $l_1$ .**

**Données :**

Dans la suite, on prendra  $R_{eq} = 70mm$ .

On considère un coefficient d'adhérence  $f = 0,2$ .

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

**Donner la valeur numérique du couple maximal transmissible  $C_0^n$ .**

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

**A l'aide des données fournies, indiquer la valeur du couple maximal  $C_{m,max}$  devant être transmis par l'embrayage. Conclure.**

### C.2.1.2 - Comportement de l'embrayage en phase A

Lors des rétrogradages, le couple résistant exercé par le moteur peut devenir trop important, et provoquer le blocage de la roue arrière. Lorsque le couple résistant sur la cloche d'embrayage atteint la valeur critique  $C_{m,crit} = 40N.m$ , l'embrayage fonctionne en limiteur de couple.

On se place dans la configuration de la **figure 11, document 7, page D7/16**. Suite à un mouvement relatif de rotation de la noix **N** par rapport au flasque **F**, la noix **N** s'est translaturée d'un déplacement égal au jeu initial  $j$ , représenté **figure 8, document 4, page D4/16**, selon  $\vec{x}$  et est venue au contact de la plaque de poussée **P**. Dans cette phase, on considère que la plaque de poussée **P** ne se déplace pas axialement. Il y a donc toujours contact au niveau des surfaces frottantes.

**Hypothèses :**

Les actions de la pesanteur sont négligées.

Les liaisons disque interne **DI** / disque externe **DE**, disque externe **DE** / plaque de poussée **P**, disque externe **DE** / flasque **F**, seront comme précédemment considérées avec frottement. Toutes les autres liaisons sont parfaites.

On se place en régime stationnaire, et on considère les pièces comme équilibrées, afin de pouvoir appliquer le principe fondamental de la statique.

**Notations :**

Le torseur des actions mécaniques du solide **i** sur le solide **j**, exprimé au point M dans

le repère  $R$  sera noté :  $\{T_{i \rightarrow j}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{i \rightarrow j} \\ \vec{C}_{M,i \rightarrow j} \end{array} \right\}_{M,R}$  avec  $\vec{R}_{i \rightarrow j} = \begin{array}{c} X_{i \rightarrow j} \\ Y_{i \rightarrow j} \\ Z_{i \rightarrow j} \end{array}$  et  $\vec{C}_{M,i \rightarrow j} = \begin{array}{c} L_{i \rightarrow j} \\ M_{i \rightarrow j} \\ N_{i \rightarrow j} \end{array}$ .

Compte tenu de la nature du problème, les torseurs seront tous exprimés en un point de l'axe  $(O, \vec{x})$ . Seules les composantes suivant  $\vec{x}$  seront explicitées. Par exemple, le torseur des actions transmises par le moteur **MOT** sur la cloche **C** de l'embrayage sera noté :

$$\{T_{MOT \rightarrow C}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -C_m \\ * & * \\ * & * \end{array} \right\}_{O,R} \text{ avec } C_m > 0.$$

Le couple exercé par l'ensemble des disques internes  $DI = \{DI^1; \dots; DI^7\}$  sur la noix  $N$  sera noté  $\vec{C}_{O,DI \rightarrow N} \cdot \vec{x} = -C_N$  avec  $C_N > 0$ .

Le couple exercé par le dernier disque externe  $DE^8$  sur la plaque de poussée  $P$  sera noté  $\vec{C}_{O,DE^8 \rightarrow P} \cdot \vec{x} = -C_P$  avec  $C_P > 0$ .

L'effort axial exercé par la plaque de poussée  $P$  sur le dernier disque externe  $DE^8$  sera noté  $\vec{R}_{P \rightarrow DE^8} \cdot \vec{x} = -N$  avec  $N > 0$ . Compte tenu de l'hypothèse faite sur le caractère parfait des liaisons glissière, l'effort presseur  $N$  est intégralement transmis à travers l'empilage de disques.

L'effort axial exercé par l'ensemble des ressorts en étoile  $RE = \{RE^1; RE^2\}$  sur la noix  $N$  sera noté  $\vec{R}_{RE \rightarrow N} \cdot \vec{x} = -F_E$  avec  $F_E > 0$ .

L'effort axial exercé par l'ensemble des ressorts hélicoïdaux  $RH = \{RH^1; \dots; RH^6\}$  sur la plaque de poussée sera noté  $\vec{R}_{RH \rightarrow P} \cdot \vec{x} = -F_H$  avec  $F_H > 0$ .

La liaison entre le flasque  $F$  et la noix  $N$  est assimilable à une liaison hélicoïdale d'axe  $(O, \vec{x})$  et d'hélice à gauche. La projection de la résultante sur  $\vec{x}$  sera notée  $\vec{R}_{F \rightarrow N} \cdot \vec{x} = X_H$  avec  $X_H > 0$ . La projection du moment sur  $\vec{x}$  sera notée  $\vec{C}_{O,F \rightarrow N} \cdot \vec{x} = r \cdot \tan \beta \cdot X_H$ , où  $r$  représente le rayon moyen du filet, et  $\beta$  représente l'angle d'hélice de la liaison hélicoïdale.

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

**En isolant l'ensemble noix, plaque de poussée  $\{N;P\}$ , écrire les équations de résultante et de moment en  $O$  en projection sur l'axe  $\vec{x}$ .**

Le couple exercé par le premier disque externe  $DE^1$  sur le flasque  $F$  sera noté  $\vec{C}_{O,DE^1 \rightarrow F} \cdot \vec{x} = -C_F$  avec  $C_F > 0$ .

Le couple exercé par l'arbre secondaire  $AS$  sur l'arbre primaire  $AP$  de la boîte de vitesses sera noté  $\vec{C}_{O,AS \rightarrow AP} \cdot \vec{x} = C_A$  avec  $C_A > 0$ .

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

**En isolant l'ensemble arbre primaire  $AP$ , flasque  $F$   $\{F;AP\}$ , écrire l'équation de moment en  $O$  en projection sur l'axe  $\vec{x}$ .**

Le couple exercé par un disque externe  $DE^i$  sur un disque interne en contact  $DI^j$  sera noté  $\vec{C}_{O,DE^i \rightarrow DI^j} \cdot \vec{x} = -C_D$  avec  $C_D > 0$ .

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

**En isolant l'ensemble des disques internes  $DI = \{DI^1; \dots; DI^7\}$ , écrire l'équation de moment en  $O$  en projection sur l'axe  $\vec{x}$ , en faisant apparaître  $n$  déterminé à la question Q3.**

**Hypothèse :**

On considère qu'il y a glissement au niveau de toutes les surfaces frottantes (cas limite d'utilisation de l'embrayage « sliding-clutch »).

**Données :**

L'angle d'hélice  $\beta$  de la liaison hélicoïdale entre le flasque **F** et la noix **N** est de  $45^\circ$ . Le rayon moyen  $r$  du filet vaut  $r = 40\text{mm}$ .

On rappelle que d'après le résultat obtenu à la question Q2, on a :

$$C_F = C_P = C_D = f \cdot R_{eq} \cdot N$$

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

**En déduire l'expression de  $N$  sous la forme :  $N = \frac{F_E + F_H}{1 + K_1}$  et l'expression**

**de  $C_A$  sous la forme :  $C_A = K_2 \frac{F_E + F_H}{1 + K_1}$  où  $K_1$  et  $K_2$  s'écrivent en fonction de**

**$n, f, R_{eq}, r$  et  $\beta$ .**

**Données :**

Chaque ressort en étoile **RE<sup>p</sup>**,  $p \in \{1;2\}$ , a une raideur  $K_e = 80\text{N.mm}^{-1}$  et une hauteur à vide  $h_0 = 3,2\text{mm}$ . En phase E (phase embrayée), la hauteur vaut  $h_1 = 2,2\text{mm}$ .  $h_1$  est représentée **figure 8, document 4, page D4/16**.

La valeur du jeu initial vaut  $j = 0,8\text{mm}$ .

On rappelle que chaque ressort hélicoïdal **RH<sup>k</sup>**,  $k \in \{1;...;6\}$ , a une raideur  $K_h = 9\text{N.mm}^{-1}$ , une longueur à vide  $l_0 = 39\text{mm}$ , et une longueur en phase embrayée  $l_1 = 24\text{mm}$ .

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

**Donner les expressions de  $F_E$  en fonction de  $K_e, h_0, h_1, j$  et de  $F_H$  en fonction de  $K_h, l_0$  et  $l_1$ .**

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

**Donner l'expression du couple maximal transmissible par l'embrayage en phase A sous la forme  $C_A = C_0 \frac{1 + K_3}{1 + K_1}$  où  $K_3$  s'écrit en fonction de  $K_e, h_0, h_1,$**

**$j, K_h, l_0$  et  $l_1$ .**

**Données :**

Compte tenu des valeurs numériques données précédemment, on calcule :

$$K_3 \approx \frac{7}{20} \text{ et } K_1 = \frac{21}{4}.$$

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

**Calculer la valeur numérique de  $C_A$ . Conclure.**

### C.2.2 - Résistance des matériaux

On s'intéresse dans cette partie au comportement des ressorts en étoile **RE** représentés **figure 14, document 10, page D10/16**. Nous avons pu voir que leurs caractéristiques avaient une influence directe sur le comportement de l'embrayage, et il est donc nécessaire de pouvoir effectuer leur dimensionnement.

Compte tenu de la géométrie du ressort à six branches disposées à  $60^\circ$ , on se limite à l'étude du comportement d'une seule branche. La **figure 15, document 10, page D10/16** donne la géométrie de cette branche dans le repère  $R_0 = (\vec{u}_0, \vec{v}_0, \vec{w}_0)$ . La projection de la branche sur l'axe  $\vec{u}_0$  est notée  $L_0$ . Sa hauteur à vide est notée  $h_0$ . L'inclinaison de la branche par rapport à  $\vec{u}_0$  est notée  $\gamma$ . Elle est soumise à un effort  $\vec{F} = F \cdot \vec{v}_0$ . Nous allons chercher dans la suite à déterminer la relation existant entre  $F$  et le déplacement suivant  $\vec{v}_0$  du point B.

Pour cela, on considère la poutre de la **figure 16, document 10, page D10/16**, définie dans le repère  $R = (\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ , tel que  $(\vec{u}, \vec{u}_0) = (\vec{v}, \vec{v}_0) = \gamma$  identique à la branche d'origine. Elle est soumise au point B au même effort  $F$  que celui défini précédemment, incliné d'un angle  $\gamma$ . Sa longueur est notée  $L$ .

**Notations :**

On note  $\{T_{coh}\} = \left\{ \begin{array}{l|l} N & M_t \\ T_v & M_{fv} \\ T_w & M_{fw} \end{array} \right\}_{G,R}$  le tenseur de cohésion exprimé au centre de gravité de

la section, avec  $\vec{AG} = s \cdot \vec{u}$ .

L'épaisseur de la poutre dans la direction  $\vec{v}$  est notée  $e$  et sa largeur dans la direction  $\vec{w}$  est notée  $b$ .

**Q15** Incrire votre réponse dans le **cadre R15 de la notice 1/3**.

**Déterminer l'expression des composantes du tenseur de cohésion le long de la poutre en fonction de  $F$ ,  $s$  et  $\gamma$ .**

**Donnée :**

Le module d'Young du matériau constituant un ressort en étoile **RE<sup>P</sup>** est noté  $E$ .

**Hypothèse :**

Dans la suite, on néglige l'effet de l'effort tranchant ainsi que celui de l'effort normal.

**Q16** Incrire votre réponse dans le **cadre R16 de la notice 1/3**.

**Donner l'expression de la déformée  $v(s)$  suivant la direction  $\vec{v}$ . On précisera notamment la valeur du déplacement du point B  $v_B$  en fonction de  $F$ ,  $L$ ,  $b$ ,  $e$ ,  $\gamma$  et  $E$ .**

**Q17** *Inscrire votre réponse dans le cadre R17 de la notice 1/3.*

**En déduire la valeur du déplacement  $\delta$  du point B suivant la direction  $\vec{v}_0$  en fonction de  $F$ ,  $h_0$ ,  $L_0$ ,  $b$ ,  $e$  et  $E$ .**

On définit la raideur  $K_e$  d'un ressort en étoile comme le rapport entre l'effort appliqué sur la zone d'appui centrale du ressort et le déplacement de cette zone, lorsque le ressort est en appui sur ses branches.

**Q18** *Inscrire votre réponse dans le cadre R18 de la notice 1/3.*

**En déduire la valeur théorique  $K_e^{th}$  de la raideur d'un ressort en étoile en fonction de  $h_0$ ,  $L_0$ ,  $b$ ,  $e$  et  $E$ .**

### C.2.3 - Cotation fonctionnelle

Le fonctionnement de l'embrayage fait appel à un certain nombre d'exigences fonctionnelles. Nous avons notamment vu dans la partie C.2.1 – Statique qu'il est nécessaire d'avoir un jeu fonctionnel  $j$  entre la noix **N** et la plaque de poussée **P** (voir **figure 8**, **document 4**, **page D4/16**).

**Données :**

Le jeu  $j$  doit être compris dans un intervalle  $[j_{\min}; j_{\max}]$ . Ces valeurs permettent de fixer les valeurs  $C_A^{\min}$  et  $C_A^{\max}$  du couple frein transmissible par l'embrayage en phase de fonctionnement automatique (phase A).

**Notations :**

Dans la chaîne de cotes, on note  $X_{i/j}$  la cote relative à la pièce **X** entre les surfaces numérotées  $i$  et  $j$ . On note  $T_{X,i/j}$  l'intervalle de tolérance correspondant.

On considère l'empilage de disques comme une seule pièce notée **D**.

**Q19** *Inscrire votre réponse dans le cadre R19 de la notice 1/3.*

**Dessiner la chaîne de cotes relative au jeu  $j$ . Ecrire les relations géométriques reliant  $j_{\min}$  et  $j_{\max}$  avec les éléments constitutifs de la chaîne de cotes.**

Le constructeur propose plusieurs gammes d'empilage pour les disques internes **DI**, par exemple :

- 7 disques d'épaisseur  $2,3\text{mm}$  ;
- 4 disques d'épaisseur  $2,3\text{mm}$  et 3 disques d'épaisseur  $2,0\text{mm}$  ;
- 2 disques d'épaisseur  $2,3\text{mm}$  et 5 disques d'épaisseur  $2,0\text{mm}$ .

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

**Quelle est l'influence de la modification d'empilages de disques internes DI sur le couple transmissible en mode embrayé (phase E) ?**

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

**Sur le dessin de définition de la noix N, faire apparaître la spécification fonctionnelle relative à la condition fonctionnelle évoquée précédemment.**

### C.2.4 - Choix de roulements

On s'intéresse dans cette partie au choix des roulements assurant le guidage en rotation de la cloche **C** sur l'arbre primaire **AP**.

La cloche **C** est entraînée par le vilebrequin par l'intermédiaire d'un pignon à denture droite. Elle ne subit donc aucun effort axial. Le choix du constructeur pour assurer le guidage de la cloche **C** s'est donc orienté vers des cages à aiguilles.

On note  $\alpha$  l'angle de pression de la roue d'entraînement de la cloche **C**. Le torseur des actions mécaniques exercées par le moteur **MOT** sur la roue dentée de l'embrayage,

exprimé au point d'engrènement  $I$ , vaut alors  $\{T_{MOT \rightarrow C}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\}_{I,R}$ .

Ce torseur s'exprime de la façon suivante au point  $O$ , situé sur l'axe de l'arbre primaire

$$\mathbf{AP} : \{T_{MOT \rightarrow C}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & C_m \\ F_R & * \\ F_T & * \end{array} \right\}_{O,R}$$

où : –  $C_m$  représente le couple moteur ramené à la cloche **C** ;

– L'effort radial est donné par la relation :  $F_R = -F \sin \alpha$  ;

– L'effort tangentiel est donné par la relation :  $F_T = F \cos \alpha$ .

La **figure 17, document 11, page D11/16** représente l'action de contact au point  $I$ .

La position du point d'engrènement est donnée par :

$$\overline{OI} \cdot \vec{y} = \rho$$

#### Hypothèses :

Les deux cages à aiguilles guidant la cloche **C** de l'embrayage sont chargées de façon identique.

Les actions de pesanteur sont négligées.

Les liaisons sont parfaites.

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

**Déterminer la charge radiale  $R$  à laquelle est soumise chacune des cages à aiguilles, en fonction du couple moteur  $C_m$ , du rayon  $\rho$  et de l'angle  $\alpha$ .**

Dans la suite, on considère un chargement constant dans le temps, avec une vitesse de rotation  $N_m$  constante dans le temps (ce qui est une approximation grossière du chargement réel), exprimée en  $\text{tr.min}^{-1}$ .

**Données :**

On note  $L_h$  la durée de vie souhaitée en heures.

La **figure 18, document 12, page D12/16** donne un extrait de catalogue constructeur de cages à aiguilles.

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

**Donner, sous la forme d'un organigramme faisant intervenir  $N_m$ ,  $L_h$  et  $R$ , la démarche de choix des dimensions des cages à aiguilles.**

### **C.2.5 - Etude de solutions techniques pour réaliser une liaison glissière**

Le mécanisme étudié comporte plusieurs sous-ensembles de pièces en liaison glissière. Par exemple certains pignons se translatent par rapport aux arbres qui les guident lors des changements de rapport de vitesse. Il existe un très grand nombre de solutions techniques pour réaliser ces liaisons.

Une liaison glissière peut être caractérisée par de nombreux critères : démontabilité, forme des surfaces prépondérantes, nature des surfaces en contact, possibilité de réglage, précision de la mise en position, vitesse de déplacement maximale, coût relatif, durée de vie, encombrement, résistance...

Afin de répondre au mieux aux spécifications générales des liaisons, il est judicieux de caractériser les solutions techniques permettant de réaliser ce type de liaison.

**AVERTISSEMENT : les solutions techniques évoquées dans la question suivante ne représentent qu'une partie des familles de solutions et ne restreignent absolument pas le candidat dans ses choix dans la partie C3 – Dessin d'étude en construction mécanique.**

**Q24** *Inscrire votre réponse dans les 2 cadres R24 de la notice 2/3.*

**Compléter les cases non grisées dans les tableaux de caractérisation partielle de solutions techniques évoquées (croquis à main levée).**

### **C.2.6 - Lubrification – Etanchéité**

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

**Quelles sont les différentes fonctions du lubrifiant dans un système mécanique ?**

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

**Quelles sont les différentes dispositions constructives possibles pour une lubrification à l'huile ? Indiquer celle qui vous paraît la plus adaptée pour la lubrification de cette boîte de vitesses. Justifier.**



Il est nécessaire d'étancher le carter de boîte de vitesses par rapport à l'extérieur au niveau de la sortie de l'arbre secondaire.

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

**Caractériser le type d'étanchéité dans ce contexte. Proposer une solution technique pour la réaliser.**

### C.2.7 - Choix des matériaux

La plaque de poussée **P** est réalisée en fonderie.

**Remarque :** le candidat prendra soin dans la suite d'utiliser les désignations normalisées des matériaux.

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

**Proposer un matériau pour la plaque de poussée P en donnant sa désignation normalisée. Justifier.**

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

**Proposer un matériau pour les ressorts hélicoïdaux RH en donnant sa désignation normalisée. Justifier.**

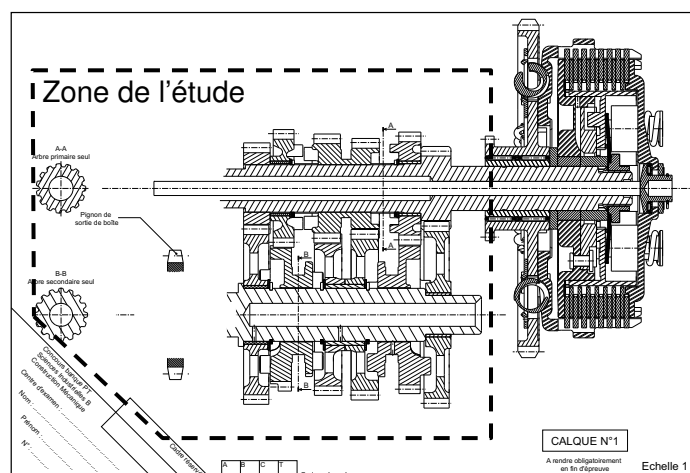
## C.3 - Dessin d'étude de construction mécanique

### C.3.1 - Présentation des supports de travail

Pour cette partie de l'étude, il vous est demandé de définir plusieurs sous-ensembles du mécanisme sur les deux calques format A3 et A4 fournis avec le sujet. Les éléments pré imprimés sur ces calques sont destinés à faciliter la mise en place des différents composants.

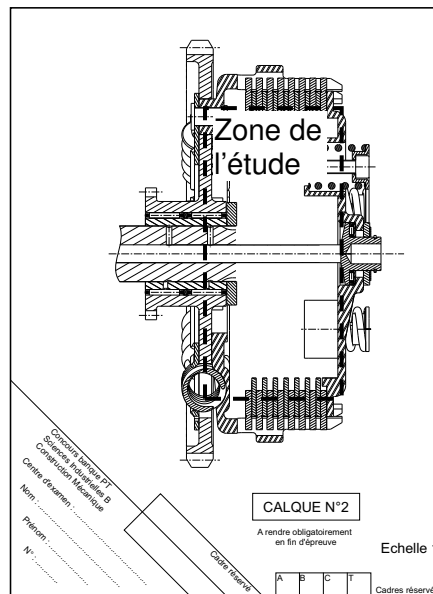
Le **calque n°1, de format A3 horizontal, pré imprimé, fourni avec le sujet**, est destiné à l'étude du guidage des arbres primaire et secondaire ainsi qu'à la fixation du pignon de sortie de boîte de vitesses. Le candidat trouvera sur la vue fournie une ébauche des arbres équipés des pignons correspondant aux différents rapports de vitesse. La position et l'encombrement du pignon de sortie de boîte de vitesses sont également fournis.

**Figure 3 :** Mise en page du calque n°1 pré imprimé fourni



Le **calque n°2, de format A4 vertical, pré imprimé, fourni avec le sujet**, est destiné à l'étude d'une adaptation de l'embrayage « sliding-clutch » en une version classique.

**Figure 4 :** Mise en page du calque n°2  
pré imprimé fourni



### C.3.2 - Consignes spécifiques aux travaux graphiques

Les dessins sont à exécuter à l'échelle 1:1, 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 principales conditions fonctionnelles relatives aux liaisons représentées seront clairement indiquées en respectant les règles normalisées AFNOR.

Les éléments normalisés utilisés par le candidat autres que ceux fournis dans le sujet, seront dessinés approximativement en respectant au mieux leurs proportions.

### C.3.3 - Travail demandé

Afin d'assurer toutes les fonctions de service et de satisfaire toutes les contraintes définies dans la cahier des charges fonctionnel (pages **T4/20** et **T5/20**), et en utilisant au mieux les éléments fournis sur les **calques n°1 et 2**, on demande :

- L'étude de conception du guidage des arbres primaire et secondaire ;
- L'étude de la liaison complète démontable entre l'arbre secondaire **AS** et le pignon de sortie de boîte de vitesses ;
- L'adaptation de l'embrayage « sliding-clutch » en une version classique.

#### C.3.3.1 - Conception du guidage des arbres primaire et secondaire – Répondre sur le calque n°1

**Données :**

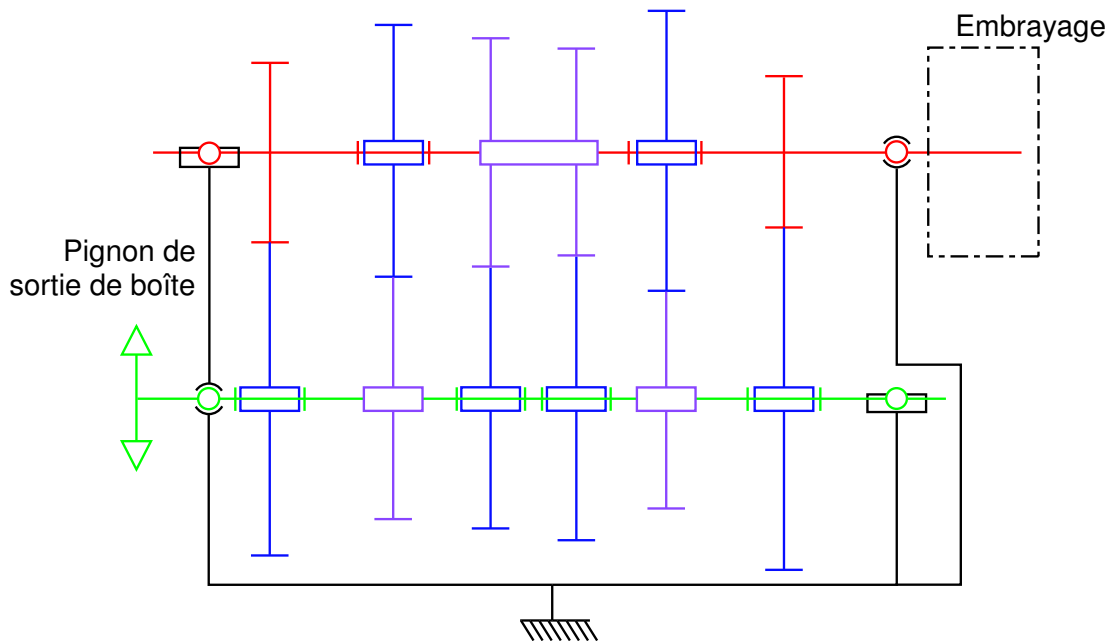
Les choix suivants ont été réalisés :

- Guidage des arbres à l'aide d'un roulement à billes à contact radial avec rainure pour segment d'arrêt et d'un roulement à aiguilles à cage sans bague intérieure ;

- Montage du pignon de sortie de boîte par une liaison encastrement démontable ;
- Carter réalisé en deux parties avec un plan de joint passant par les axes des deux arbres ;
- Lubrification à l'huile.

La **figure 5, page T19/20** donne l'agencement de la boîte de vitesses, et aidera donc le candidat dans le choix de la disposition des roulements. Ceux-ci seront choisis dans les documents fournis **figure 19, document 13, page D13/16** et **figure 20, document 14, page D14/16**.

Le candidat remarquera que les pignons retenus pour la boîte de vitesses sont des pignons à denture droite.



**Figure 5** : Schéma architectural de la boîte de vitesses

Dessiner aux instruments, sur la vue prédéfinie du **calque n°1**, vos propositions de solutions pour la définition complète :

- de la liaison pivot entre l'arbre primaire **AP** et le carter ;
- de la liaison pivot entre l'arbre secondaire **AS** et le carter ;
- de la liaison complète démontable entre le pignon de sortie de boîte de vitesses et l'arbre secondaire **AS** ;
- des éléments d'étanchéité ;
- du carter.

L'ajout de vues complémentaires (éventuellement un croquis à main levée) est laissé à la libre initiative du candidat.

Prévoir toutes dispositions permettant d'assurer :

- la montabilité de l'ensemble étudié ;
- sa maintenabilité.

### **C.3.3.2 - Adaptation de l'embrayage – Répondre sur le calque n°2**

Le constructeur souhaite toutefois continuer à proposer à ses clients les deux versions de l'embrayage :

- l'embrayage de type « sliding-clutch » ;
- l'embrayage classique.

Afin de diminuer les coûts de production, il souhaite avoir un maximum de pièces communes entre ces deux versions.

Par ailleurs, il ne souhaite pas conserver de pièces n'ayant pas de fonctions techniques dans un embrayage classique.

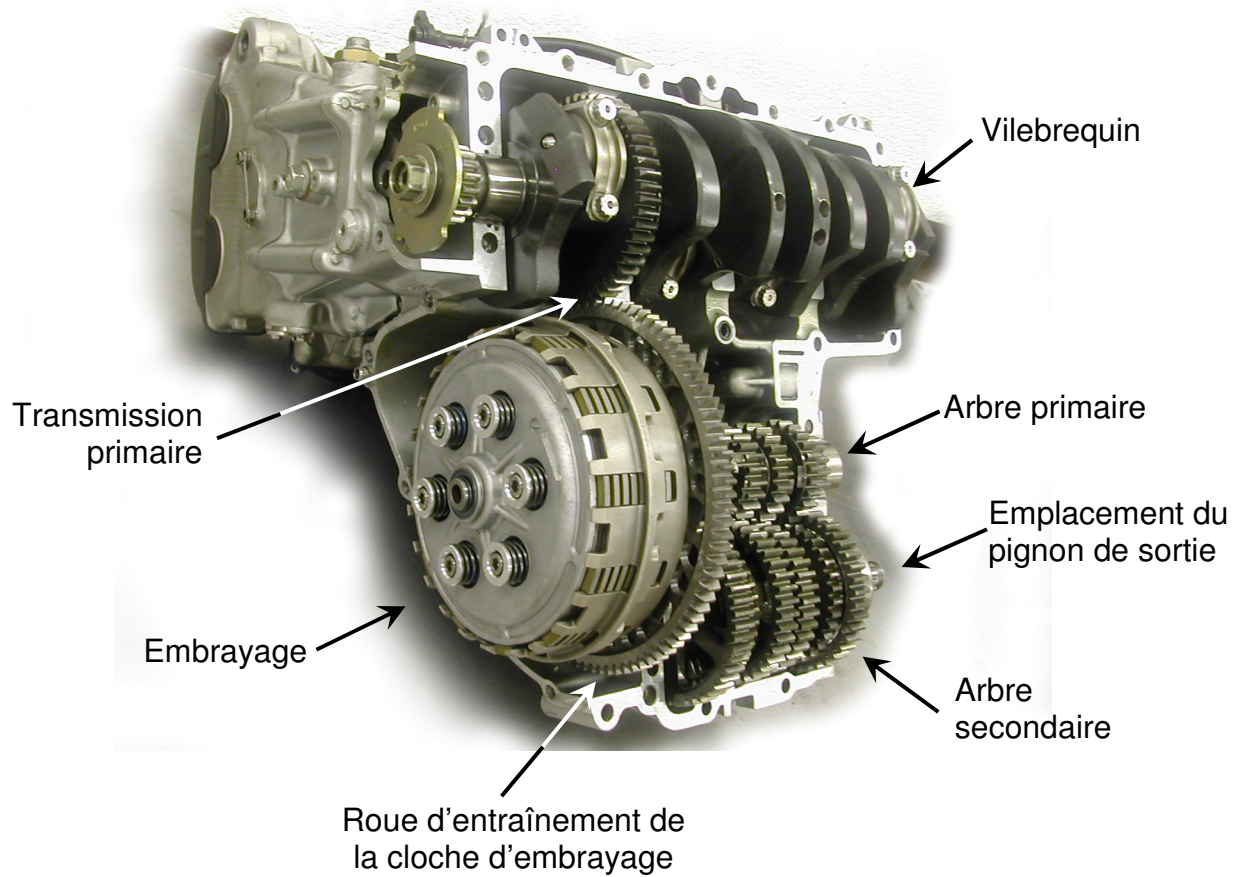
Dessiner aux instruments, sur la vue prédéfinie du **calque n°2**, vos propositions de solutions pour la définition complète de l'embrayage classique.

On rappelle que le schéma d'architecture correspondant à un embrayage classique est fourni **figure 9, document 5, page D5/16**.

L'accent sera mis sur l'adaptation de composants communs, ou ayant des gammes de fabrication proches, entre les deux versions.

Le candidat pourra glisser sous son calque la **figure 21, document 15, page D15/16**, tracée à l'échelle 1:1, pour en reproduire directement les parties qu'il jugera utiles.

# Document 1



**Figure 6** : Architecture générale d'une boîte de vitesses de motocyclette

## Document 2

Moteur		
Type de moteur	4 cylindres en ligne – 4 temps Double arbre à came en tête 4 soupapes par cylindre	
Cylindrée	748 cm <sup>3</sup>	
Alésage x Course	73 x 44,7	
Taux de compression	12 : 1	
Puissance maximale	103 kW (140cv) à 13 000 tr.min <sup>-1</sup>	
Couple maximal au vilebrequin	84 N.m	
Refroidissement	Liquide	
Lubrification	Par huile Viscosité SAE 15W-50, 20W-50	
Transmission		
Rapport de réduction primaire	1,755 (93/53)	
Embrayage	Multidisque à commande mécanique dans l'huile	
Boîte de vitesses	6 rapports	
Rapports de boîte	1 <sup>ère</sup>	2,412 (41/17)
	2 <sup>nde</sup>	2,053 (39/19)
	3 <sup>ème</sup>	1,762 (37/21)
	4 <sup>ème</sup>	1,545 (34/22)
	5 <sup>ème</sup>	1,435 (33/23)
	6 <sup>ème</sup>	1,333 (32/24)
Rapport de transmission secondaire	2,294 (39/17)	
Châssis		
Empattement	1 435 mm	
Poids à sec	203 kg	
Poids tous pleins faits	232 kg	

**Tableau 1** - Spécifications générales du véhicule (extraits)

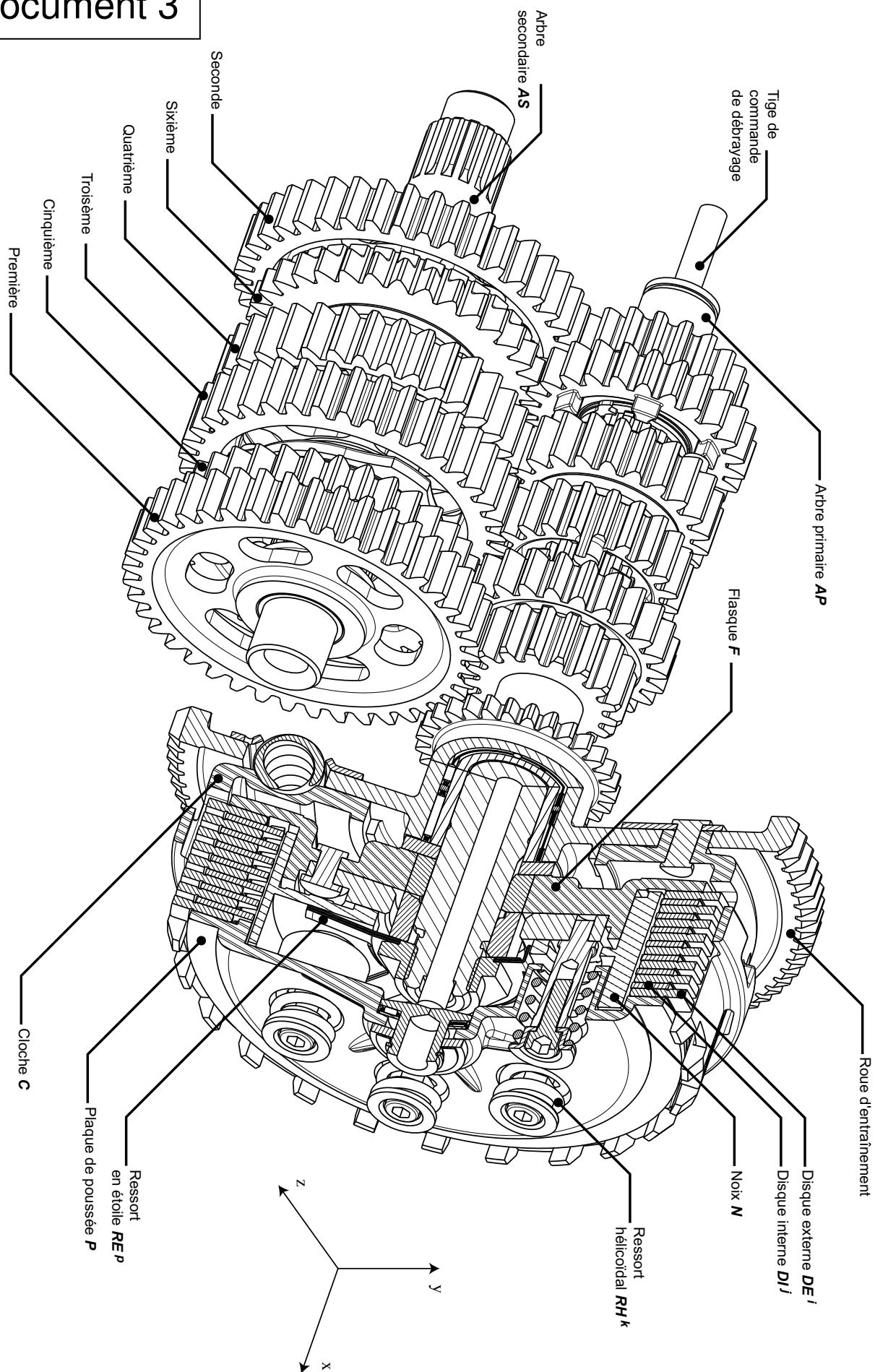


Figure 7 : Vue écorchée d'une boîte de vitesses avec embrayage « sliding-clutch »

Document 4

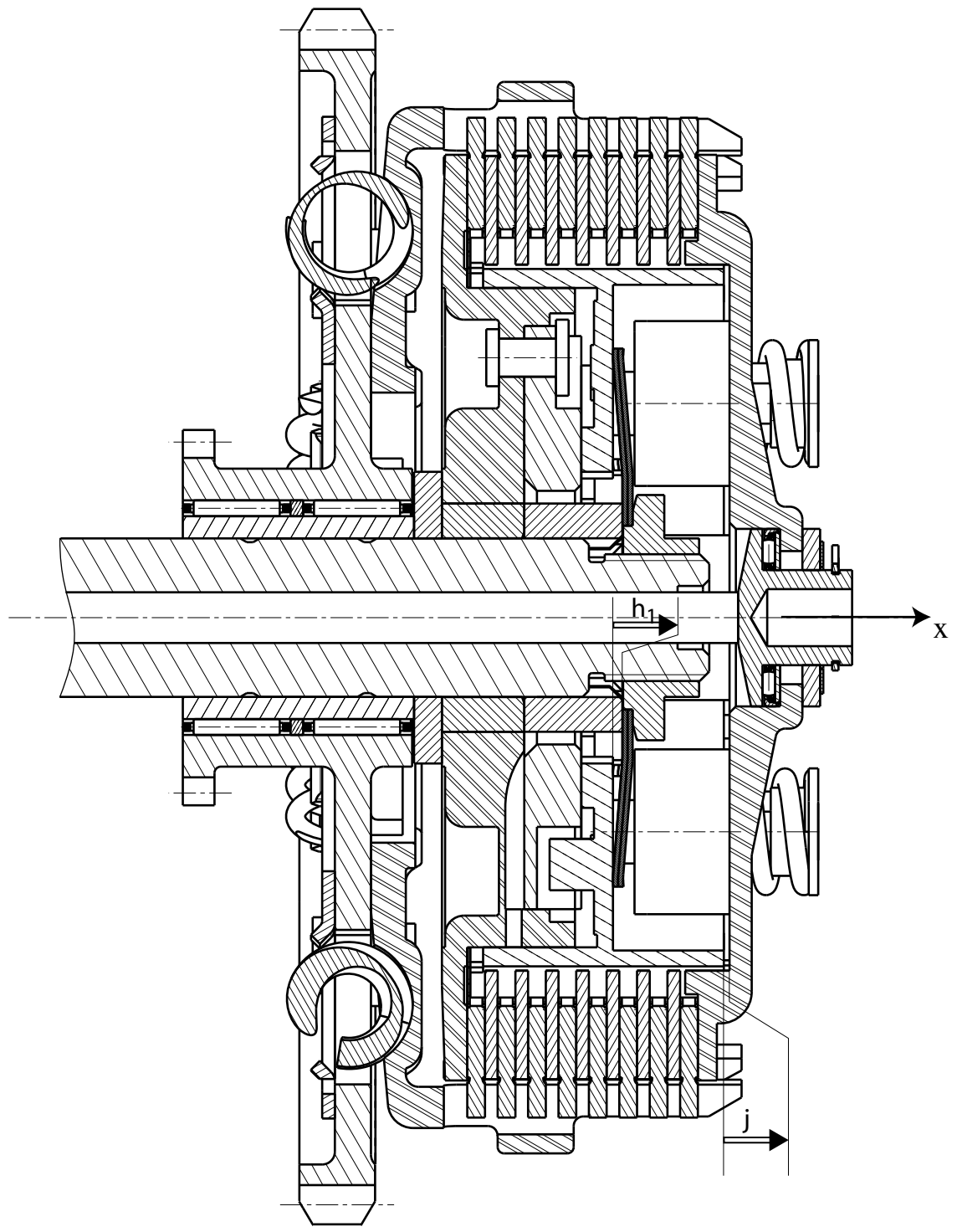


Figure 8 : Vue d'ensemble de l'embrayage « sliding-clutch »



Document 5

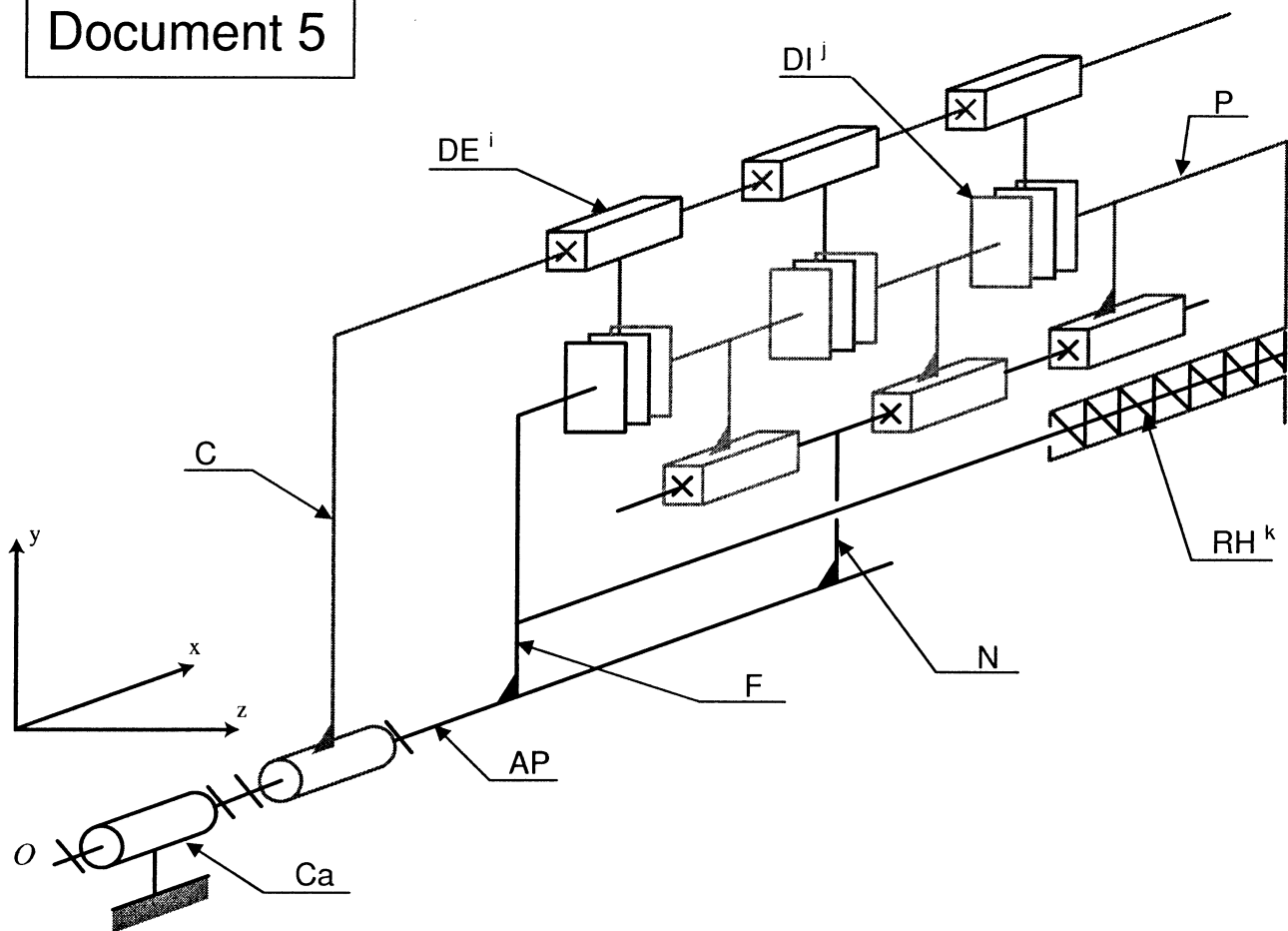
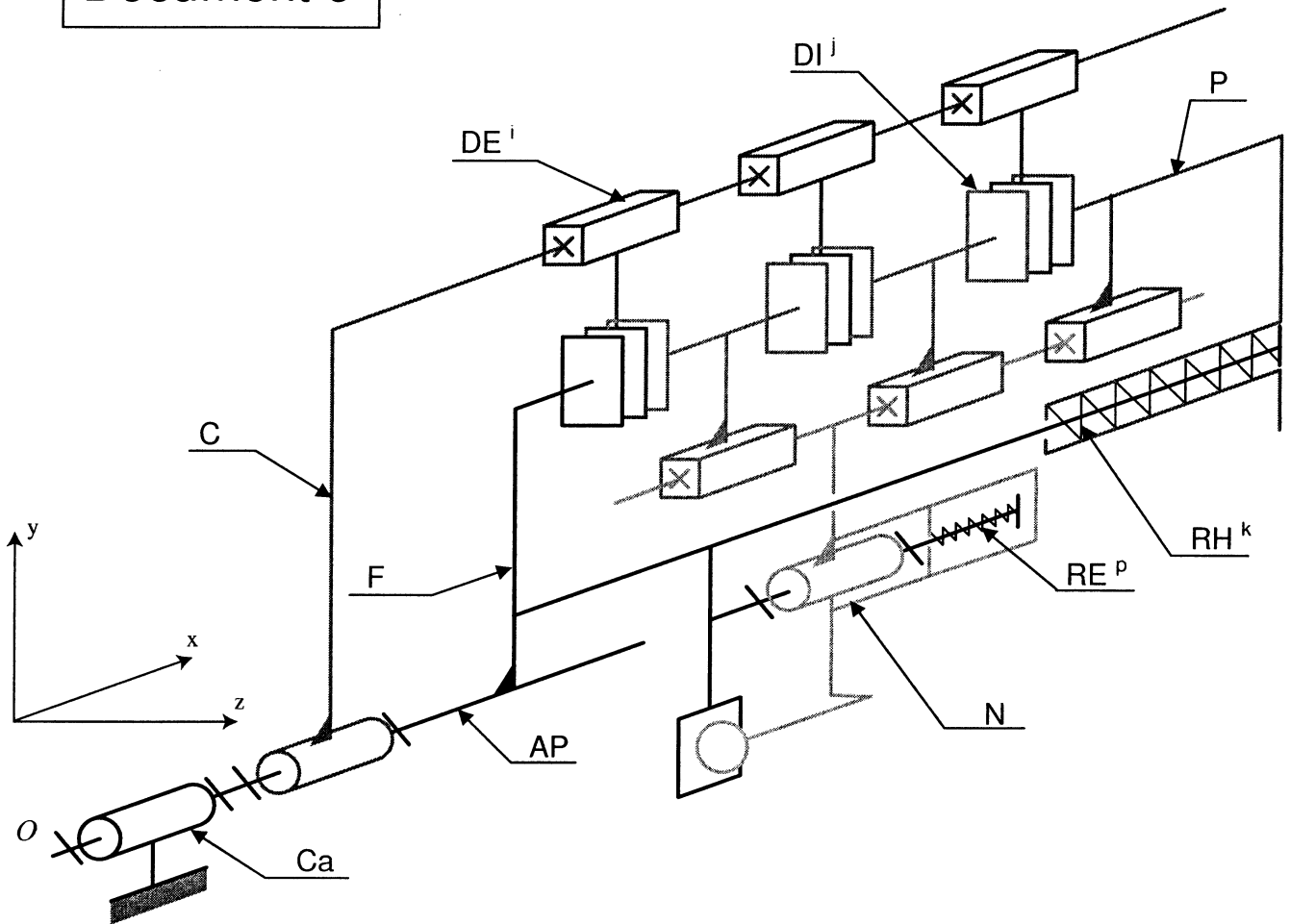


Figure 9 : Schéma d'architecture d'un embrayage multidisque classique

RH <sup>k</sup>	6	Ressorts hélicoïdaux	Acier	
DE <sup>i</sup>	8	Disques externes	Alliage d'aluminium	Revêtement liège
DI <sup>j</sup>	7	Disques internes	Acier	
C	1	Cloche	Alliage d'aluminium	
P	1	Plaque de poussée	Alliage d'aluminium	
N	1	Noix	Acier	
F	1	Flasque	Alliage d'aluminium	
AP	1	Arbre primaire	Acier	
Ca	1	Carter	Alliage d'aluminium	
Rep	Nb	Désignation	Type de matériau	Observation

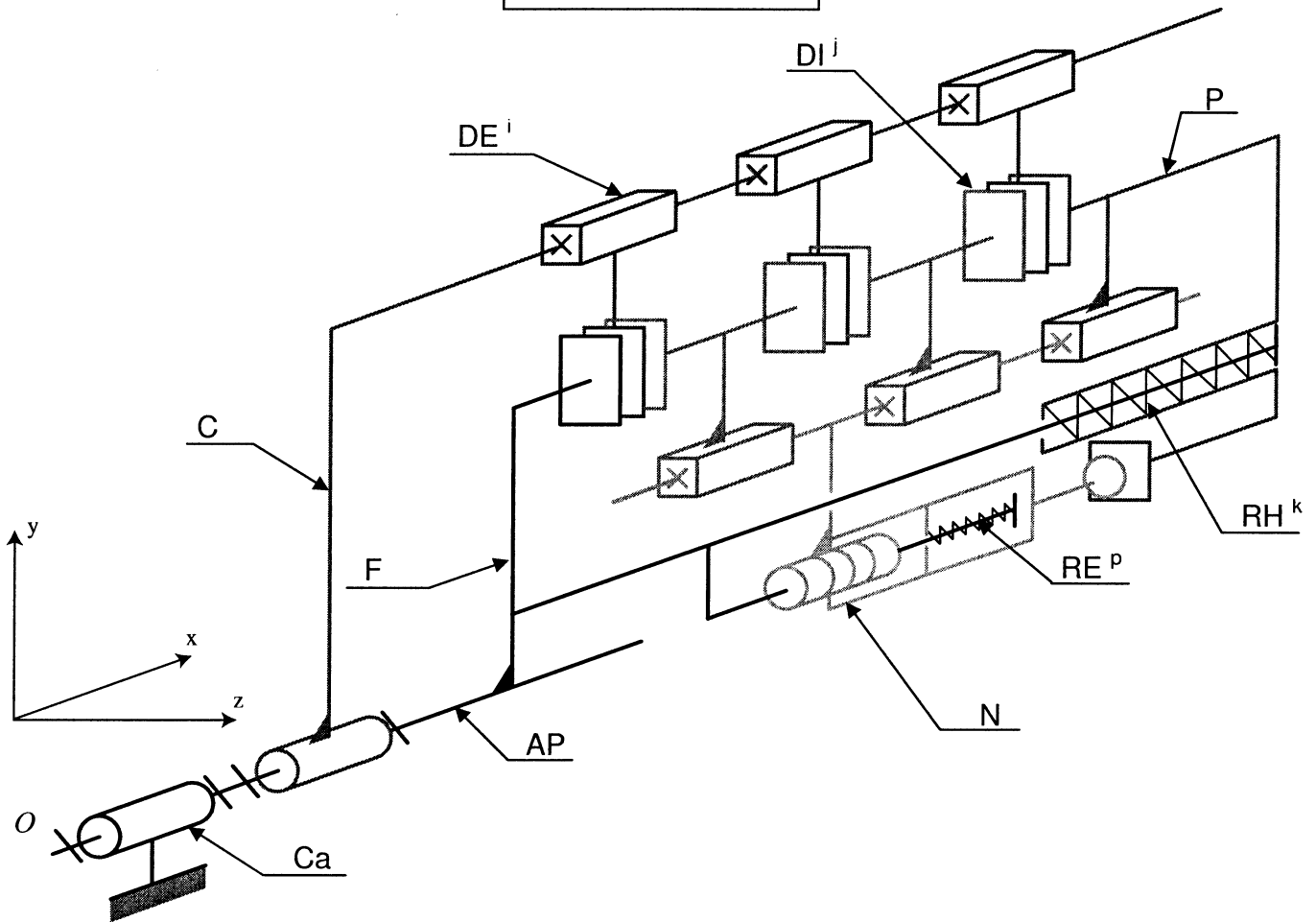
# Document 6



**Figure 10** : Schéma d'architecture d'un embrayage multidisque avec dispositif anti-blocage  
Mode moteur

RH <sup>i</sup>	6	Ressorts hélicoïdaux	Acier	
RE <sup>i</sup>	2	Ressorts en étoile	Acier	Tôle emboutie
DE <sup>i</sup>	8	Disques externes	Alliage d'aluminium	Revêtement liège
DI <sup>i</sup>	7	Disques internes	Acier	
C	1	Cloche	Alliage d'aluminium	Rivetée sur la roue en acier
P	1	Plaque de poussée	Alliage d'aluminium	
N	1	Noix	Acier	
F	1	Flasque	Alliage d'aluminium	
AP	1	Arbre primaire	Acier	
Ca	1	Carter	Alliage d'aluminium	
Rep	Nb	Désignation	Type de matériau	Observation

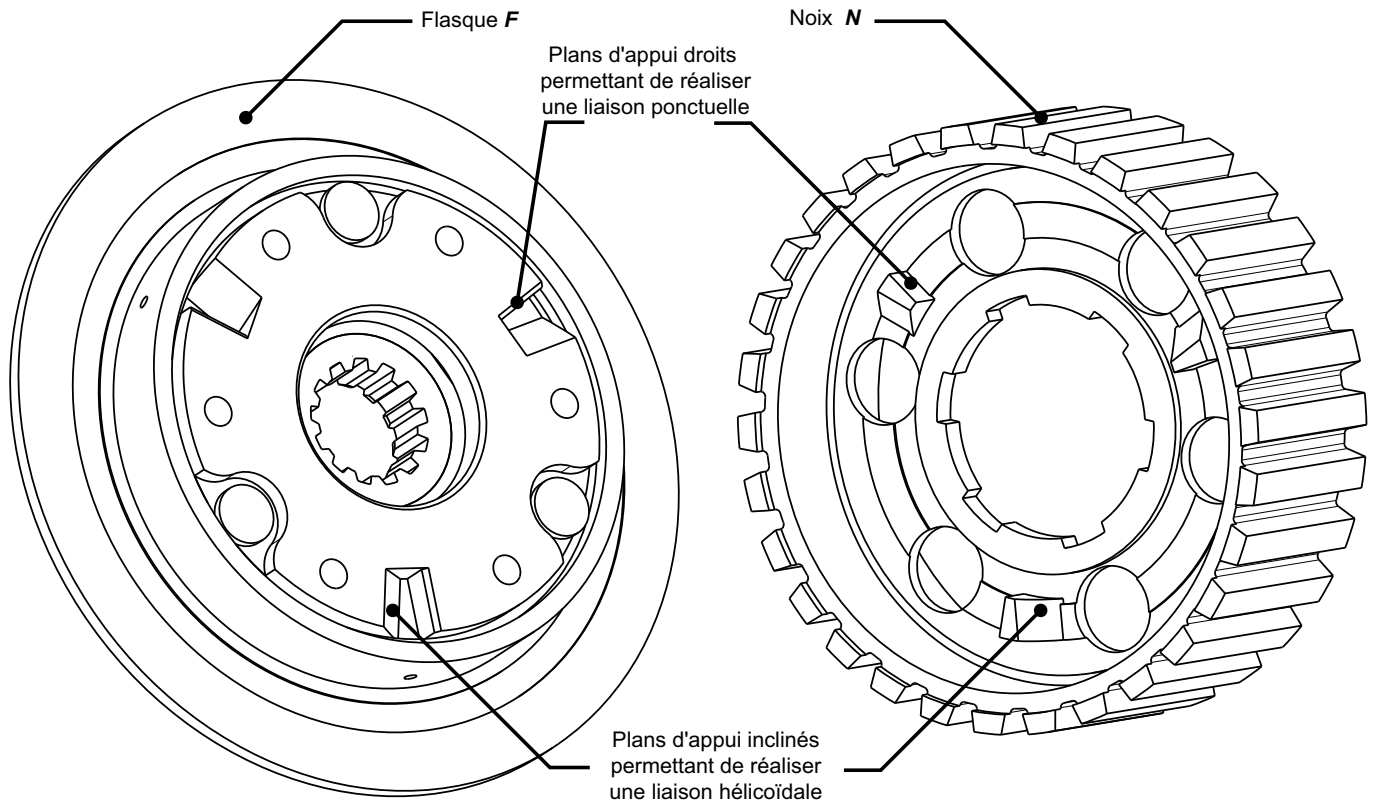
# Document 7



**Figure 11** : Schéma d'architecture d'un embrayage multidisque avec dispositif anti-blocage  
Mode frein

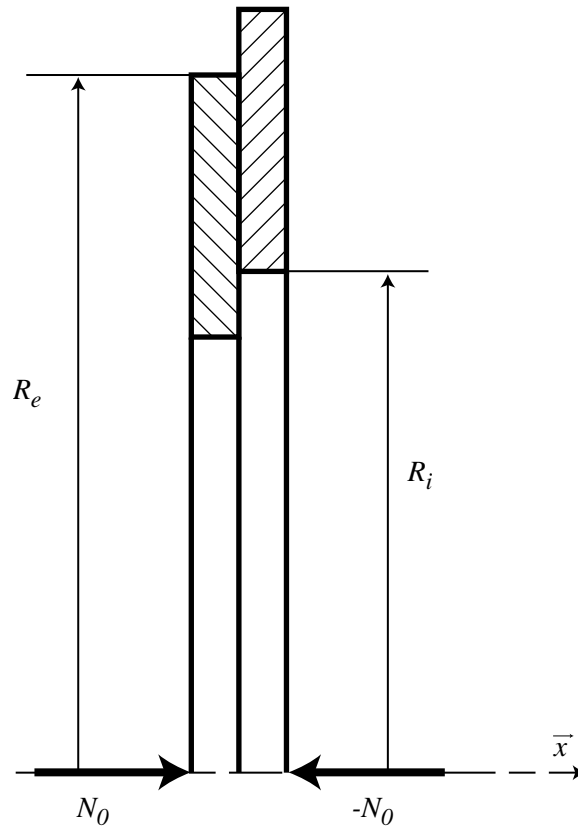
RH <sup>i</sup>	6	Ressorts hélicoïdaux	Acier	
RE <sup>i</sup>	2	Ressorts en étoile	Acier	Tôle emboutie
DE <sup>i</sup>	8	Disques externes	Alliage d'aluminium	Revêtement liège
DI <sup>i</sup>	7	Disques internes	Acier	
C	1	Cloche	Alliage d'aluminium	Rivetée sur la roue en acier
P	1	Plaque de poussée	Alliage d'aluminium	
N	1	Noix	Acier	
F	1	Flasque	Alliage d'aluminium	
AP	1	Arbre primaire	Acier	
Ca	1	Carter	Alliage d'aluminium	
Rep	Nb	Désignation	Type de matériau	Observation

# Document 8



**Figure 12** : Vue des pièces réalisant la liaison par rampe hélicoïdale

Document 9



**Figure 13** : Couple transmissible entre deux surfaces planes

# Document 10

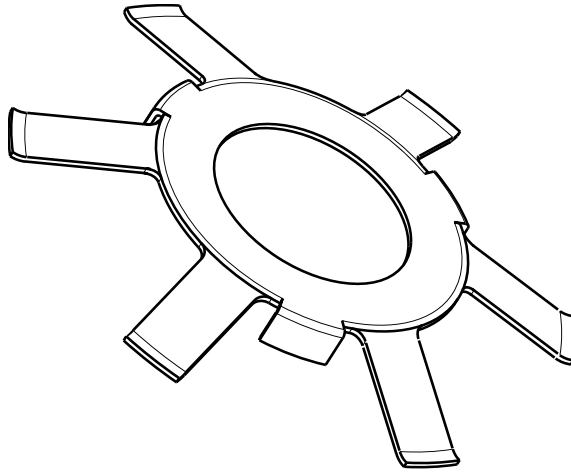


Figure 14 : Vue en perspective d'un ressort en étoile

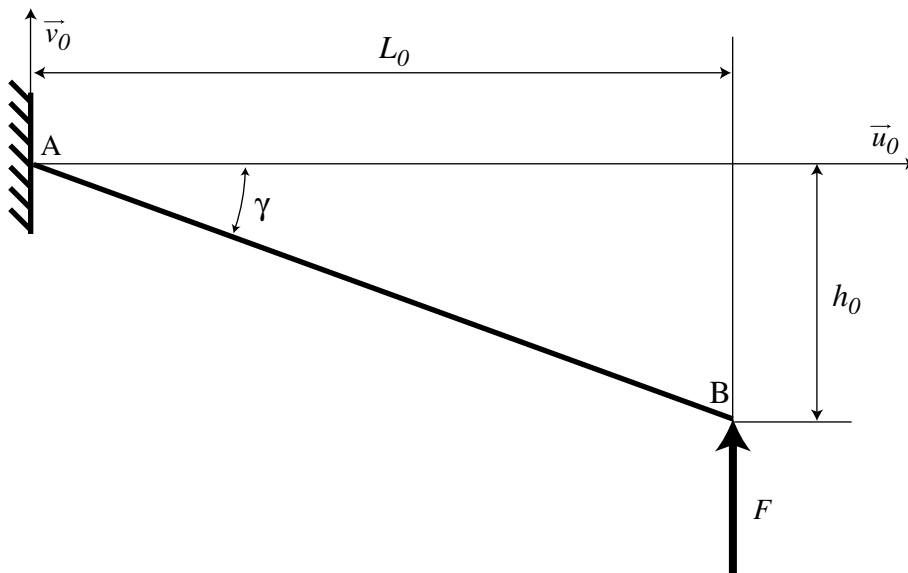


Figure 15 : Modèle pour l'étude d'une branche dans le repère  $R_0 = (\vec{u}_0, \vec{v}_0, \vec{w}_0)$

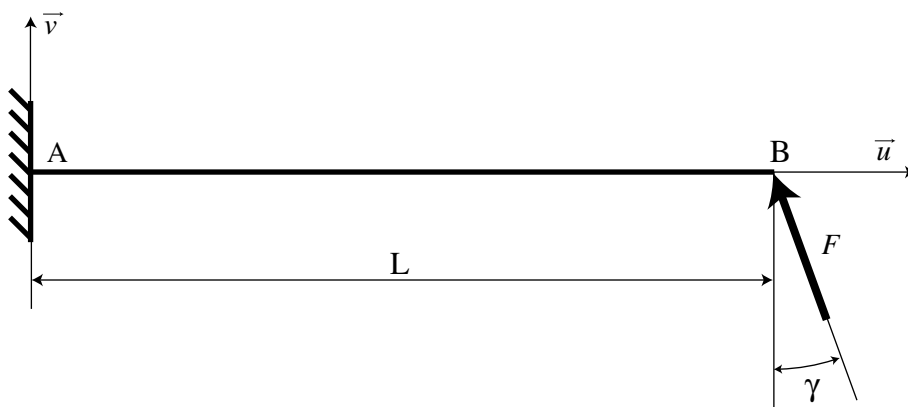
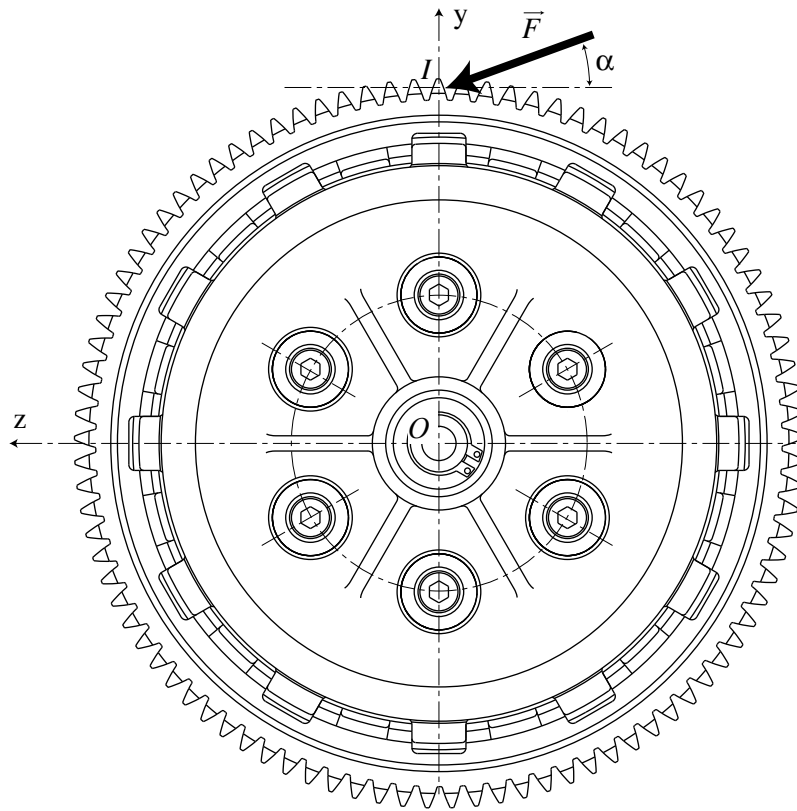


Figure 16 : Modèle équivalent dans le repère  $R = (\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$

# Document 11

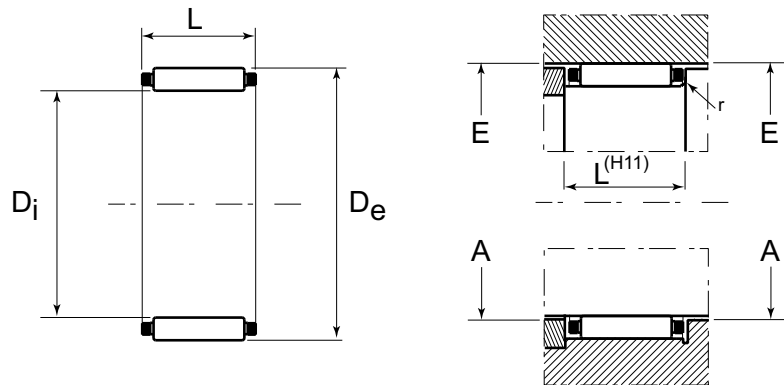


**Figure 17** : Modélisation de l'action de contact du pignon moteur sur la roue d'entraînement

# Document 12

## Cages à aiguilles

- A une rangée d'aiguilles, type B
- A deux rangées d'aiguilles, type BB



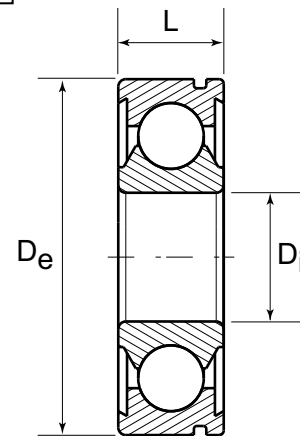
Désignation	$D_i$ mm	$D_e$ mm	L mm	$r_{\max i}$ mm	$A_{\max i}$ mm	$E_{\min i}$ mm	C N	$C_0$ N	Vitesse limite $\text{min}^{-1}$	Masse g
Bx6x9x8	6	9	8	0,3	6,4	7,4	3 000	2 600	65 000	1,1
Bx8x11x10	8	11	10	0,3	8,4	9,4	4 500	4 600	50 000	1,7
Bx9x12x10	9	12	10	0,3	9,3	10,4	5 000	5 500	44 000	2
Bx10x13x9	10	13	9	0,3	10,3	12,4	3 800	3 950	40 000	2,4
Bx12x15x10	12	15	10	0,3	12,4	14,4	4 800	5 600	33 000	3,2
BBx14x17x20	14	17	20	0,2	14,4	16,4	10 500	16 000	28 500	8,8
Bx15x19x13	15	19	13	0,6	15,8	17,8	9 400	11 700	26 500	6,3
Bx16x20x13	16	20	13	0,6	16,7	18,7	9 700	12 500	25 000	6,6
Bx17x21x15	17	21	15	0,7	17,9	19,9	11 800	16 300	23 500	8,3
Bx18x22x13	18	22	13	0,6	18,8	20,8	10 400	14 000	22 000	7,4
Bx20x24x13	20	24	13	0,7	20,9	22,9	11 000	15 500	20 000	8,2
Bx22x26x13	22	26	13	0,4	22,5	24,9	11 200	16 500	18 000	9,5
Bx25x29x13	25	29	13	0,5	25,6	28	12 000	18 800	16 000	10,8
Bx28x33x17	28	33	17	0,6	28,8	31,2	20 000	32 500	14 300	18,8
Bx30x35x17	30	35	17	0,8	31	33,4	20 500	34 000	13 300	20
Bx32x37x17	32	37	17	0,8	33,1	35,5	21 500	36 500	12 500	21,5
Bx35x40x17	35	40	17	0,7	35,9	38,5	22 000	39 500	11 500	23
Bx40x45x17	40	45	17	0,7	40,9	43,4	23 800	45 000	10 000	26

**Figure 18** : Cages à aiguilles - Données Nadella (extraits)



# Document 13

**Roulement à une rangée de billes à contact radial ouvert avec 1 rainure pour segment d'arrêt**

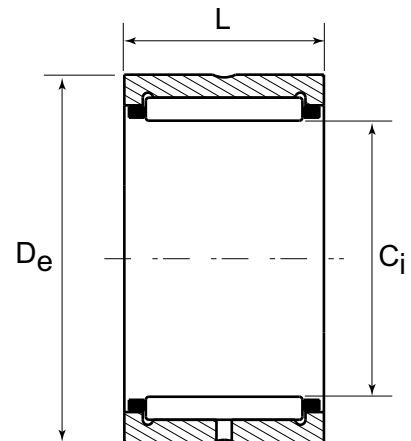


Désignation	$D_i$ mm	$D_e$ mm	L mm	C N	$C_0$ N	Vitesse limite $\text{min}^{-1}$
6303N	17	47	14	1 350	660	18 000
6004N	20	42	12	940	500	20 000
6204N	20	47	14	1 280	660	17 000
6304N	20	52	15	1 590	790	16 000
6005N	25	47	12	1 010	580	18 000
6205N	25	52	15	1 400	790	14 000
6305N	25	62	17	2 360	1 210	13 000
6006N	30	55	13	1 260	820	15 000
6206N	30	62	16	1 950	1 130	12 000
6306N	30	72	19	2 800	1 580	10 000
6007N	35	62	14	1 600	1 030	13 000
6207N	35	72	17	2 550	1 530	11 000
6307N	35	80	21	3 350	1 910	9 900
6208N	40	80	18	2 900	1 790	9 600
6308N	40	90	23	4 050	2 390	8 800
6408N	40	110	27	6 300	3 650	7 600

**Figure 19** : Roulement à billes à contact radial avec rainure pour segment d'arrêt – Données SNR (extraits)

# Document 14

## Roulement à aiguilles à cage sans bague intérieure



Désignation	C <sub>i</sub> mm	D <sub>e</sub> mm	L mm	C N	C <sub>0</sub> N	Vitesse limite min <sup>-1</sup>	Masse g
RNA4900	14	22	13	10 600	11 600	28 500	24,3
NBx14x22x16	14	22	16	13 100	15 300	28 500	30
NBx15x23x16	15	23	16	13 800	16 500	27 000	30
RNA4901	16	24	13	11 700	13 700	25 000	27,5
NBx18x26x16	18	26	16	15 700	20 500	22 000	40,5
NBx19x27x16	19	27	16	15 500	20 800	21 000	40
RNA4902	20	28	13	13 100	16 900	20 000	36
NBx20x28x20	20	28	20	20 000	29 000	20 000	56
NBx21x29x16	21	29	16	16 800	23 500	19 000	43,5
RNA4903	22	30	13	14 000	18 900	18 000	39
NBx22x30x16	22	30	16	17 400	24 800	18 000	49
NBx22x30x20	22	30	20	21 500	32 500	18 000	61
NBx24x32x16	24	32	16	18 500	27 500	16 700	49
NBx24x32x30	24	32	20	22 800	36 500	16 700	62
NBx25x33x16	25	33	16	19 000	29 000	16 000	55
RNA4904	25	37	17	25 000	30 000	16 000	79
NBx26x34x20	26	34	20	23 300	38 000	15 400	67
RNA29/2217	28	39	17	27 000	34 500	14 000	84
NBx28x37x20	28	37	20	27 500	42 500	14 000	83
NBx29x38x20	29	38	20	27 300	42 500	13 800	80

**Figure 20** : Roulement à aiguilles à cage sans bague intérieure –  
Données Nadella (extraits)

Document 15

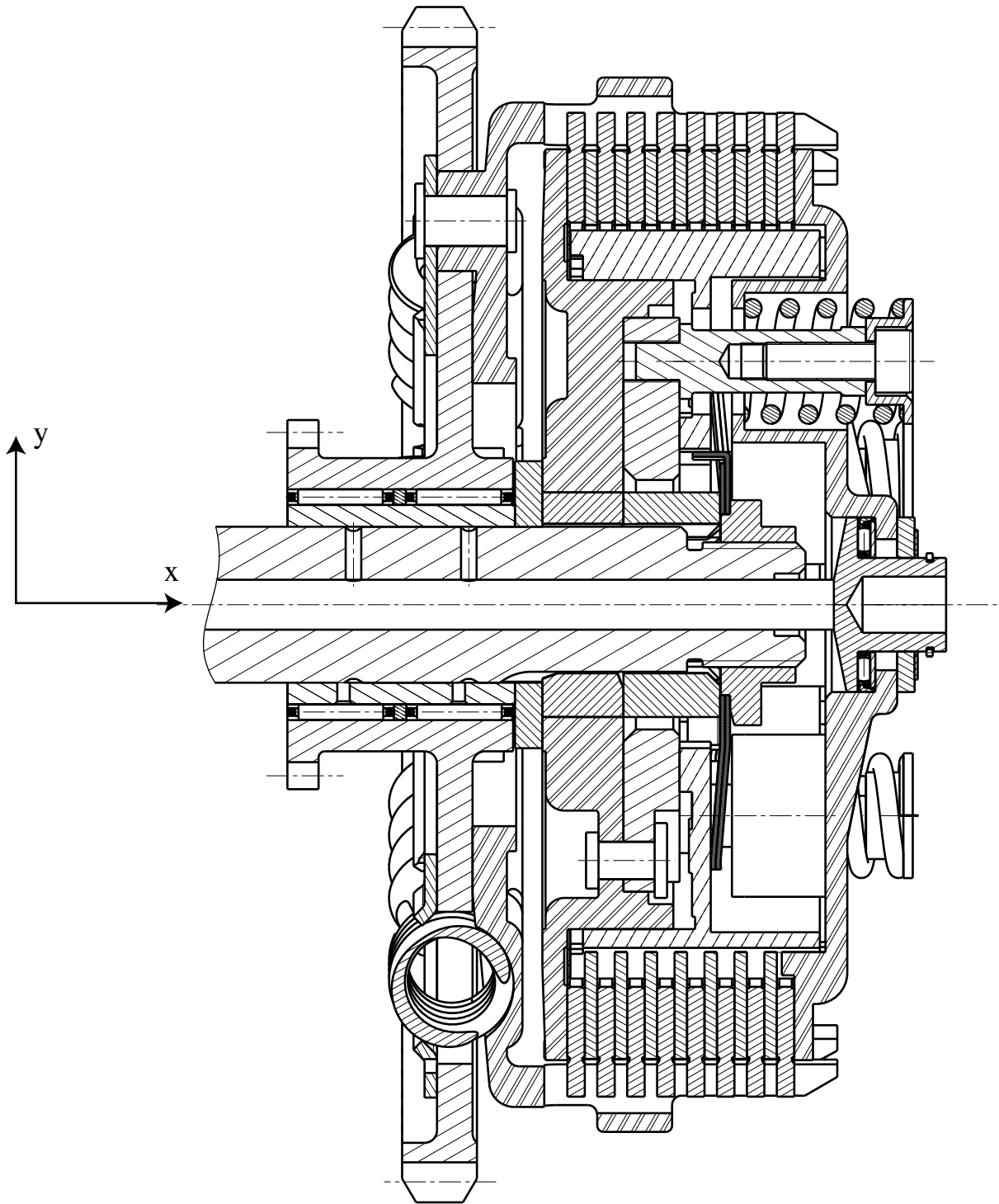


Figure 21 : Vue en coupe brisée de l'embrayage « sliding-clutch »

# Document 16

Paramètre	Désignation	Valeur numérique
$R_i$	Rayon interne des surfaces frottantes	
$R_e$	Rayon externe des surfaces frottantes	
$f$	Coefficient de frottement et d'adhérence des surfaces frottantes	0,2
$R_{eq}$	Rayon équivalent des surfaces frottantes	70mm
$n$	Nombre de surfaces frottantes	
$K_h$	Raideur d'un ressort hélicoïdal	9N.mm <sup>-1</sup>
$l_0$	Longueur à vide d'un ressort hélicoïdal	39mm
$l_1$	Longueur en phases E et A d'un ressort hélicoïdal	24mm
$C_{m,crit}$	Couple maximal transmissible par l'embrayage en mode frein	40N.m
$r$	Rayon moyen du filet de la rampe hélicoïdale	40mm
$\beta$	Angle d'hélice de la rampe hélicoïdale	45°
$K_e$	Raideur d'un ressort en étoile	80N.mm <sup>-1</sup>
$h_0$	Hauteur à vide d'un ressort en étoile	3,2mm
$h_1$	Hauteur en phase E d'un ressort en étoile	2,2mm
$j$	Jeu initial entre la noix <b>N</b> et la plaque de poussée <b>P</b>	0,8mm
$L_0$	Projection d'une branche d'un ressort en étoile	
$L$	Longueur d'une branche d'un ressort en étoile	
$\gamma$	Inclinaison d'une branche de ressort en étoile	
$e$	Epaisseur d'une branche	
$b$	Largeur d'une branche	
$E$	Module d'Young d'un ressort en étoile	
$K_e^{th}$	Raideur théorique d'un ressort en étoile	
$\rho$	Rayon primitif de fonctionnement du pignon de cloche <b>C</b>	
$\alpha$	Angle de pression du pignon de cloche <b>C</b>	
$N_m$	Vitesse de rotation de la cloche <b>C</b> en tr.min <sup>-1</sup>	
$L_h$	Durée de vie en heures	

**Tableau 2** – Récapitulatif des notations utilisées

NOM : .....

CONCOURS BANQUE PT

Prénom : .....

SCIENCES INDUSTRIELLES B

Académie : .....

**NOTICE JUSTIFICATIVE 1/3**

N° d'inscription : .....

**A rendre à la fin de l'épreuve**

**Dépliez la feuille S.V.P.**

Ne rien écrire dans ce cadre

**R1**

Expression de la pression  $p$  :

**R2**

Expression du couple transmissible  $C_0^1$  pour une surface frottante :

Expression du rayon équivalent  $R_{eq}$  :

**R3**

Nombre de surfaces frottantes  $n$  :

**R4**

Expression de l'effort presseur  $N_0$  :

**R5**

Expression du couple maximal transmissible  $C_0^n$  :

**R6**

Valeur numérique du couple maximal transmissible  $C_0^n$  :

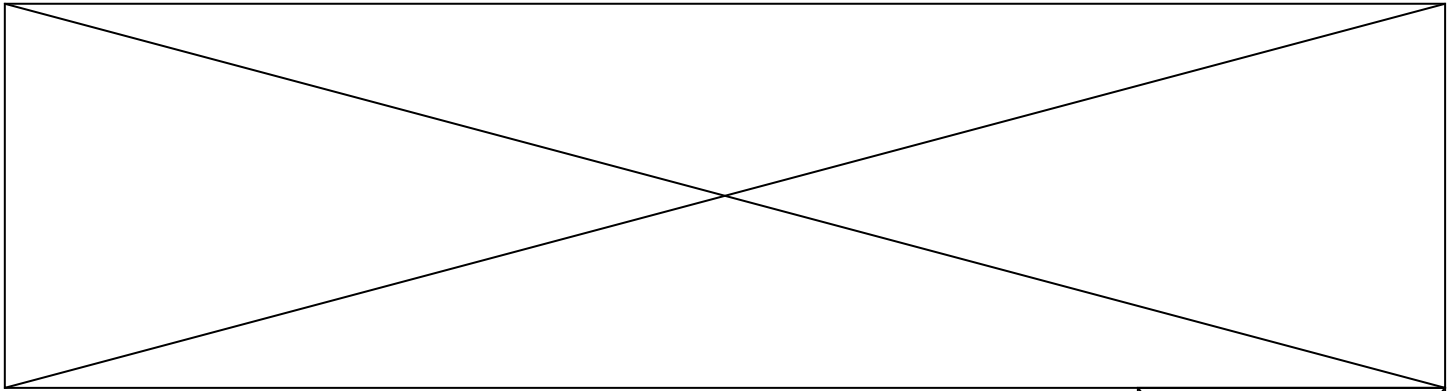
**R7**

Couple maximal transmis par l'embrayage  $C_{m,max}$  :

Conclusion :

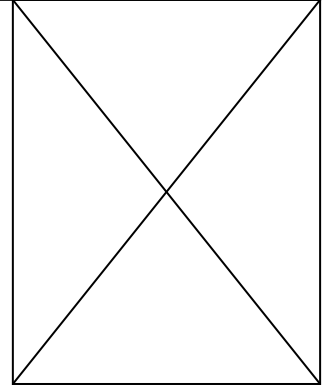
**Dépliez la feuille S.V.P.**

**Tournez la page S.V.P.**



**R8** Théorème de la résultante sur  $\vec{x}$  appliqué à {N;P} :

Théorème du moment en O sur  $\vec{x}$  appliqué à {N;P} :



**R9** Théorème du moment en O sur  $\vec{x}$  appliqué à {F;AP} :

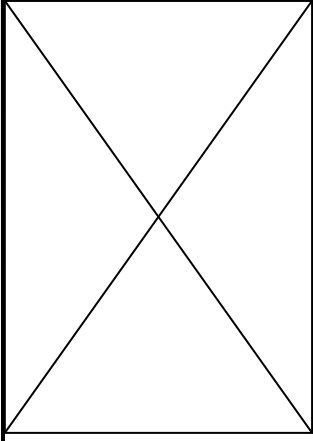
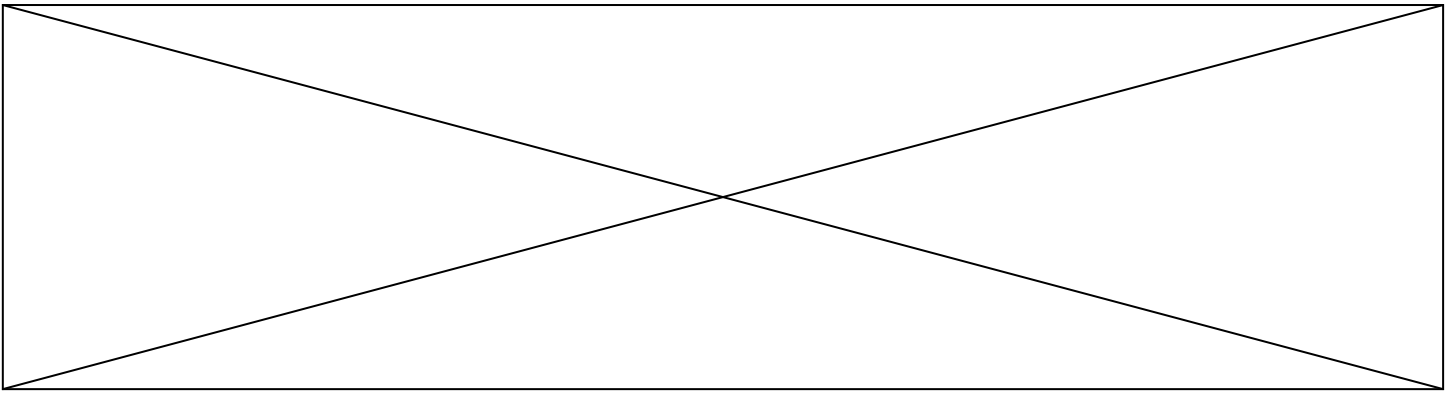
**R10** Théorème du moment en O sur  $\vec{x}$  appliqué à DI :

**R11** Expression de  $N$  :

Expression de  $C_A$  :

**R12** Expression de  $F_E$  :

Expression de  $F_H$  :



**R13** Expression de  $C_A$  :

**R14** Valeur numérique de  $C_A$  :

Conclusion :

**R15** Expression du torseur de cohésion :

$N =$	$M_t =$
$T_v =$	$M_{fv} =$
$T_w =$	$M_{fw} =$

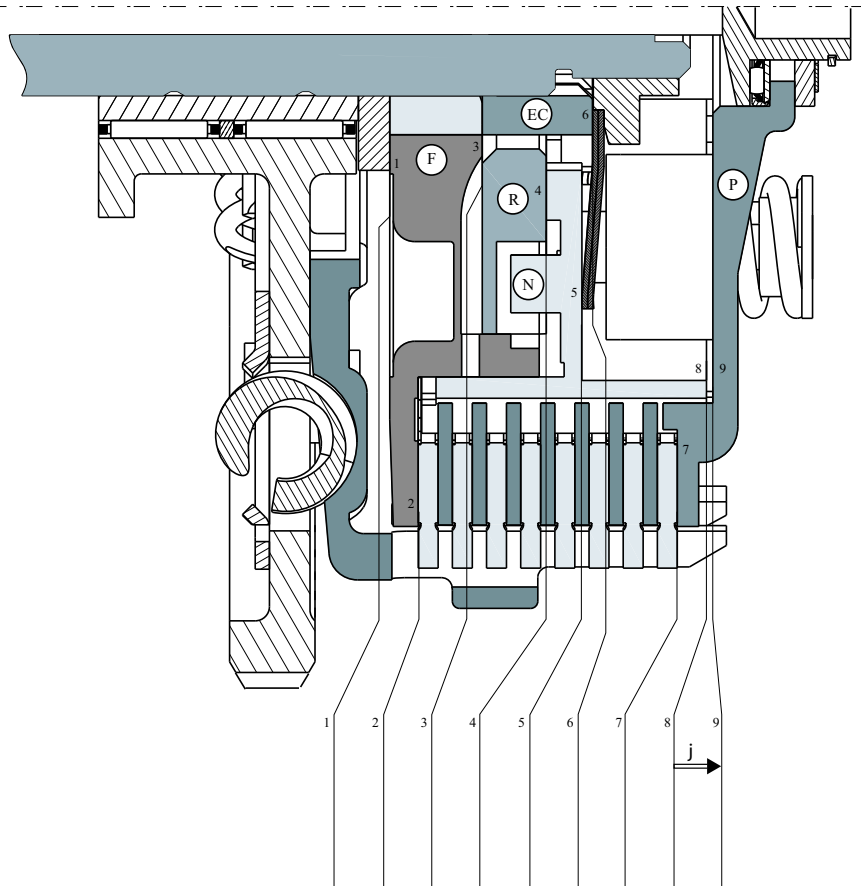
**R16** Expression de la déformée  $v(s)$  :

Expression du déplacement au point B  $v_B$  :

**R17** Expression du déplacement  $\delta$  :

**R18** Raideur théorique  $K_e^{th}$  du ressort en étoile :

**R19** Chaîne de cotes relative au jeu  $j$  :



Ecriture des chaînes de cotes :

- $j_{\min} =$
- $j_{\max} =$



Ne rien écrire dans ce cadre

NOM : .....

Prénom : .....

Académie : .....

N° d'inscription : .....

CONCOURS BANQUE PT

SCIENCES INDUSTRIELLES B

**NOTICE JUSTIFICATIVE 2/3**

**A rendre à la fin de l'épreuve**

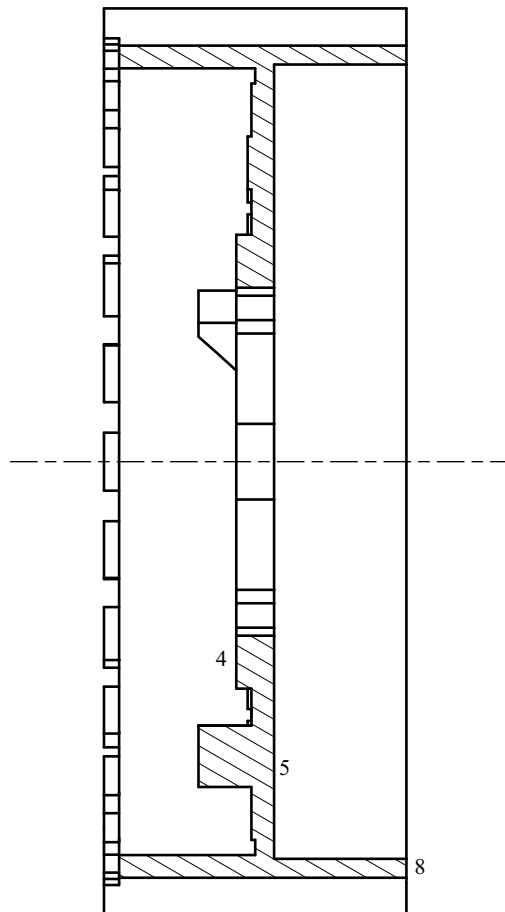
***Dépliez la feuille S.V.P.***

**R20**

Conséquence de la modification de l'empilage de disques sur le couple transmissible :

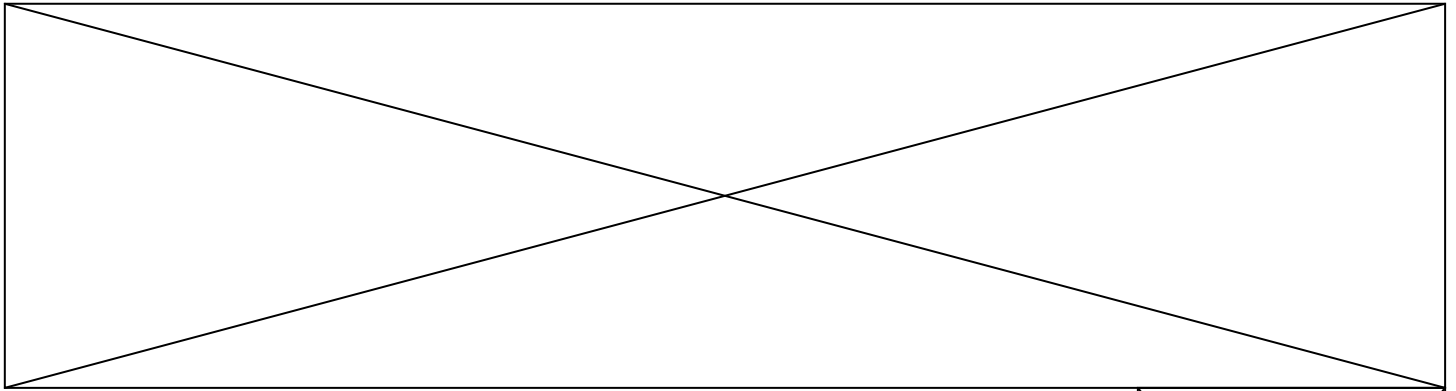
**R21**

Spécifications fonctionnelles pour la noix :



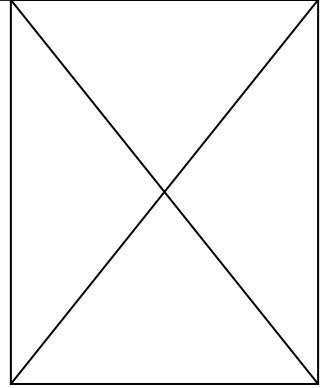
***Dépliez la feuille S.V.P.***

***Tournez la page S.V.P.***



**R22**

Expression de la charge radiale R :



**R23**

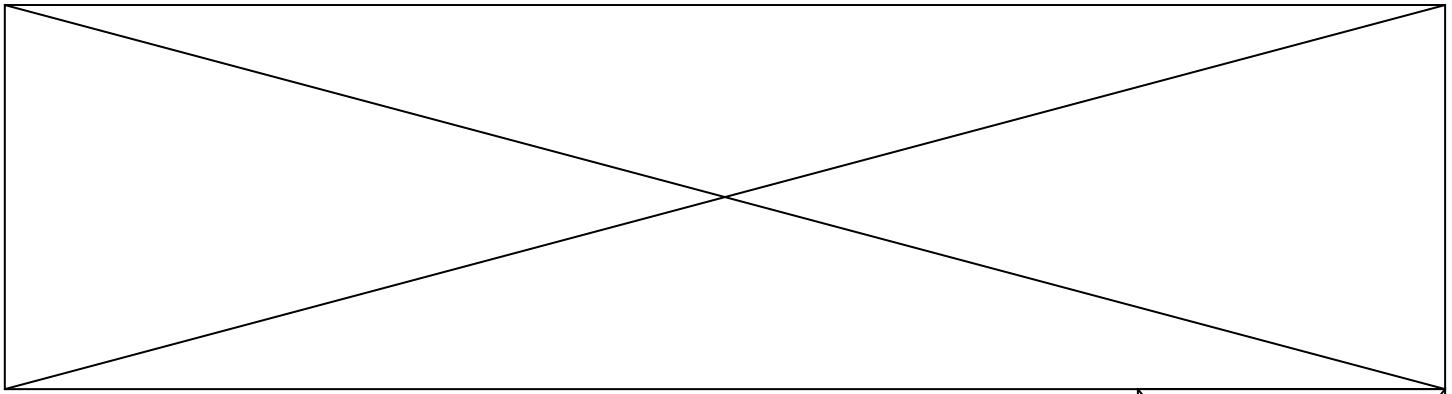
Démarche de choix des cages à aiguilles :

**R24**

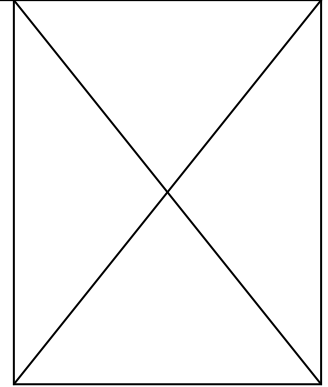
## LIAISONS GLISSIERE

### Caractérisation partielle de quelques solutions techniques

Descriptif	Solution isostatique		Forme de la surface de mise en position prépondérante			Nature du contact			Possibilité de réglage du jeu		Croquis
	oui	non	cylindrique	plane	autre	Contact direct	Eléments anti-friction	Eléments roulants	oui	non	
<b>Guidage prismatique</b>	<b>X</b>			<b>X</b>		<b>X</b>				<b>X</b>	
<b>Vis de pression à téton dans une rainure longitudinale</b>			<b>X</b>			<b>X</b>				<b>X</b>	
<b>Guidage par cannelure</b>	<b>X</b>										



**R24**



**LIAISONS GLISSIERE**  
Caractérisation partielle de quelques solutions techniques

Descriptif	Solution isostatique		Forme de la surface de mise en position prépondérante			Nature du contact			Possibilité de réglage du jeu		Croquis
	oui	non	cylindrique	plane	autre	Contact direct	Eléments anti-friction	Eléments roulants	oui	non	
<b>Guidage par queue d'aronde avec dispositif de rattrapage de jeu</b>		<b>X</b>				<b>X</b>			<b>X</b>		
<b>Guidage à colonnes</b>						<b>X</b>				<b>X</b>	
<b>Guidage à galets</b>									<b>X</b>		

NOM : .....

CONCOURS BANQUE PT

Prénom : .....

SCIENCES INDUSTRIELLES B

Académie : .....

**NOTICE JUSTIFICATIVE 3/3**

N° d'inscription : .....

**A rendre à la fin de l'épreuve**

***Dépliez la feuille S.V.P.***

Ne rien écrire dans ce cadre

**R25**

Fonctions du lubrifiant :

**R26**

Différents dispositifs de lubrification :

Dispositif le plus adapté – Justification :

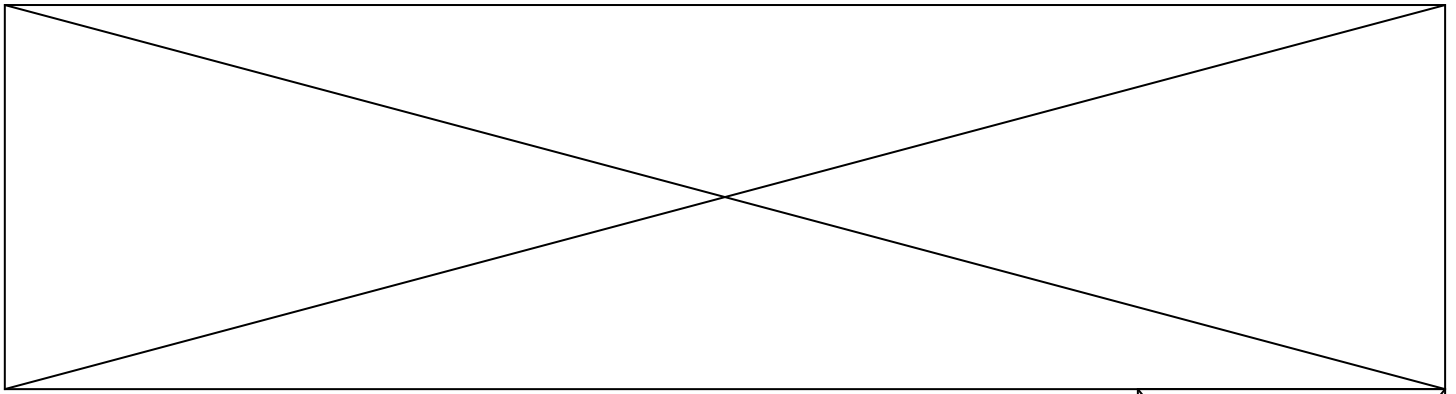
**R27**

Type d'étanchéité :

Solution technique retenue :

***Dépliez la feuille S.V.P.***

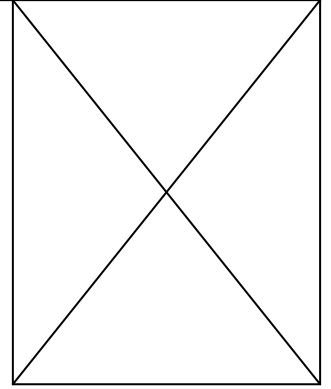
***Tournez la page S.V.P.***



**R28**

Matériau pour la plaque de poussée **P** :

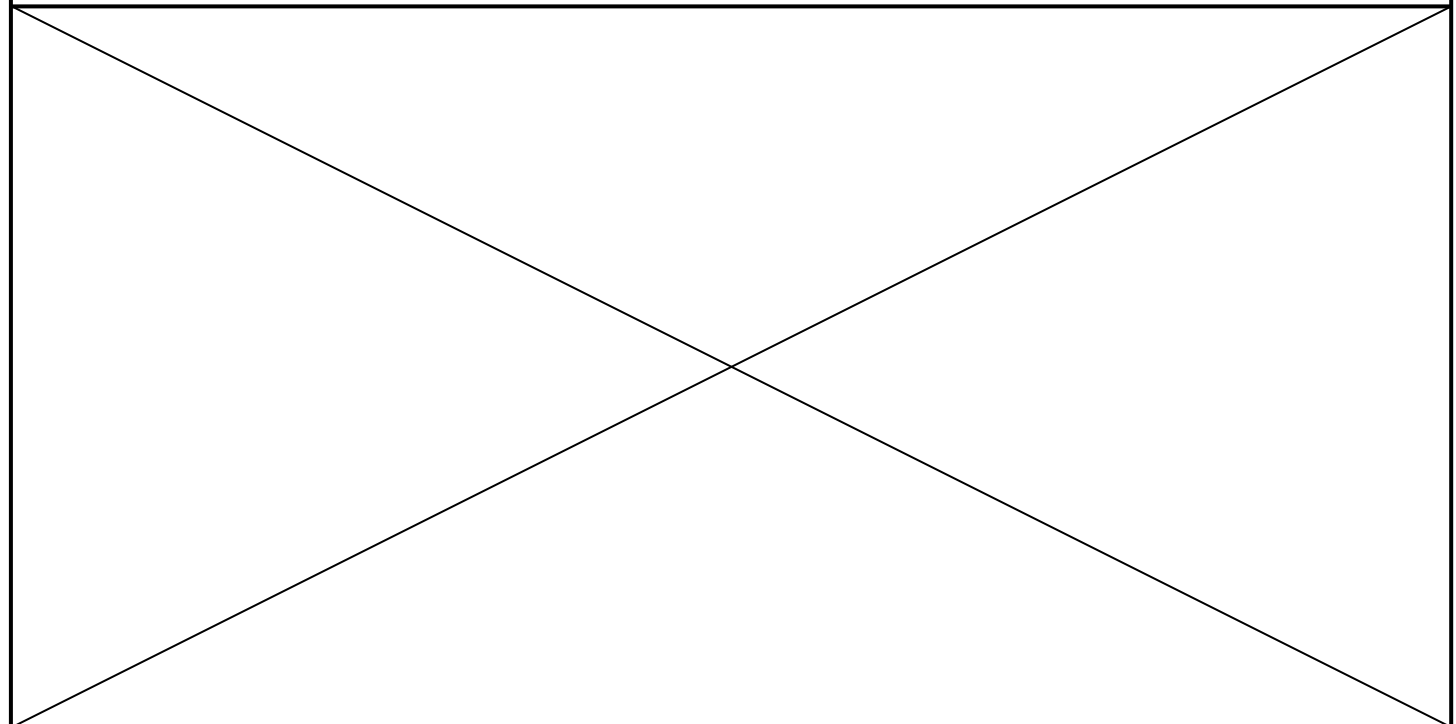
Justification :

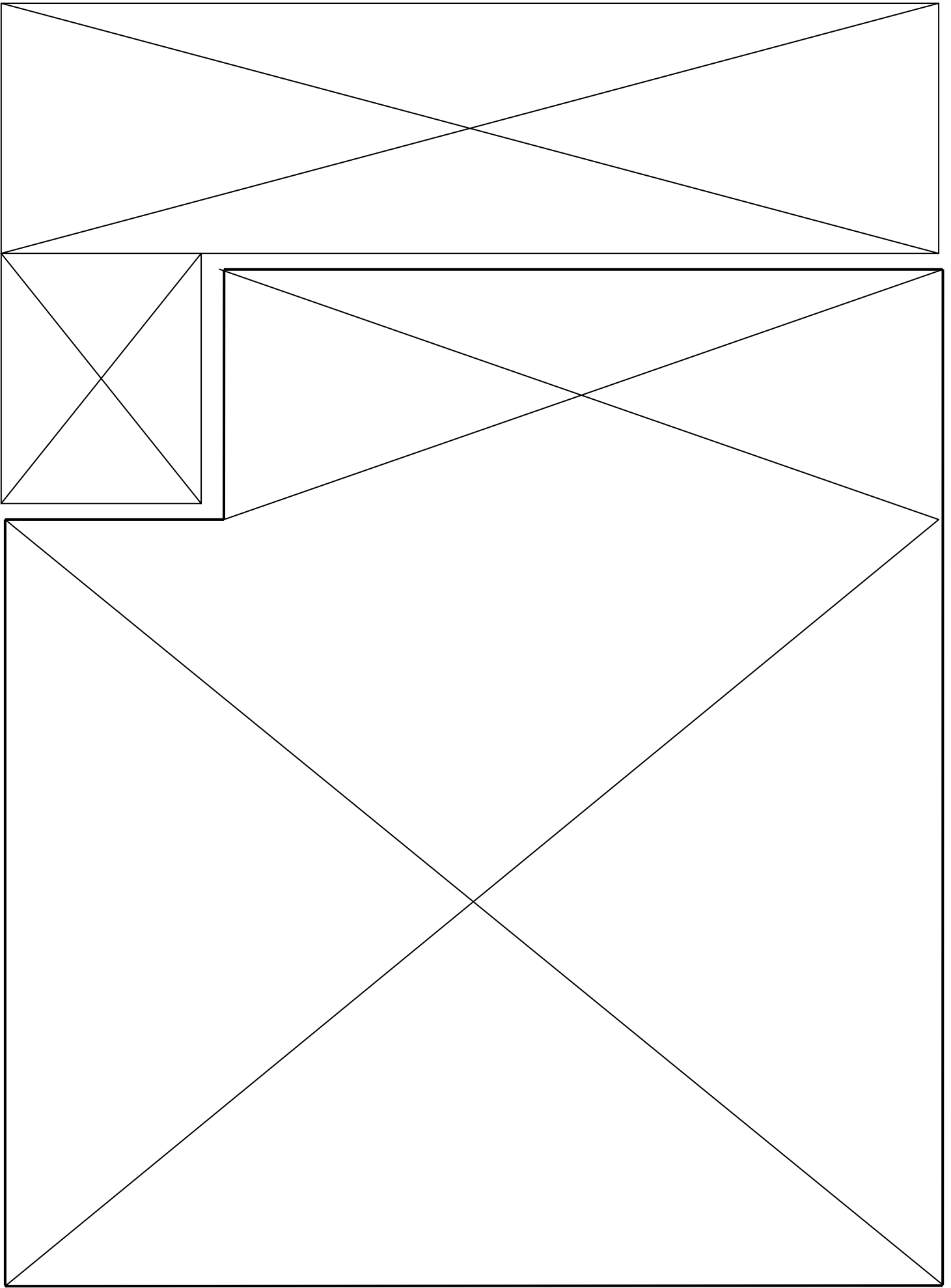


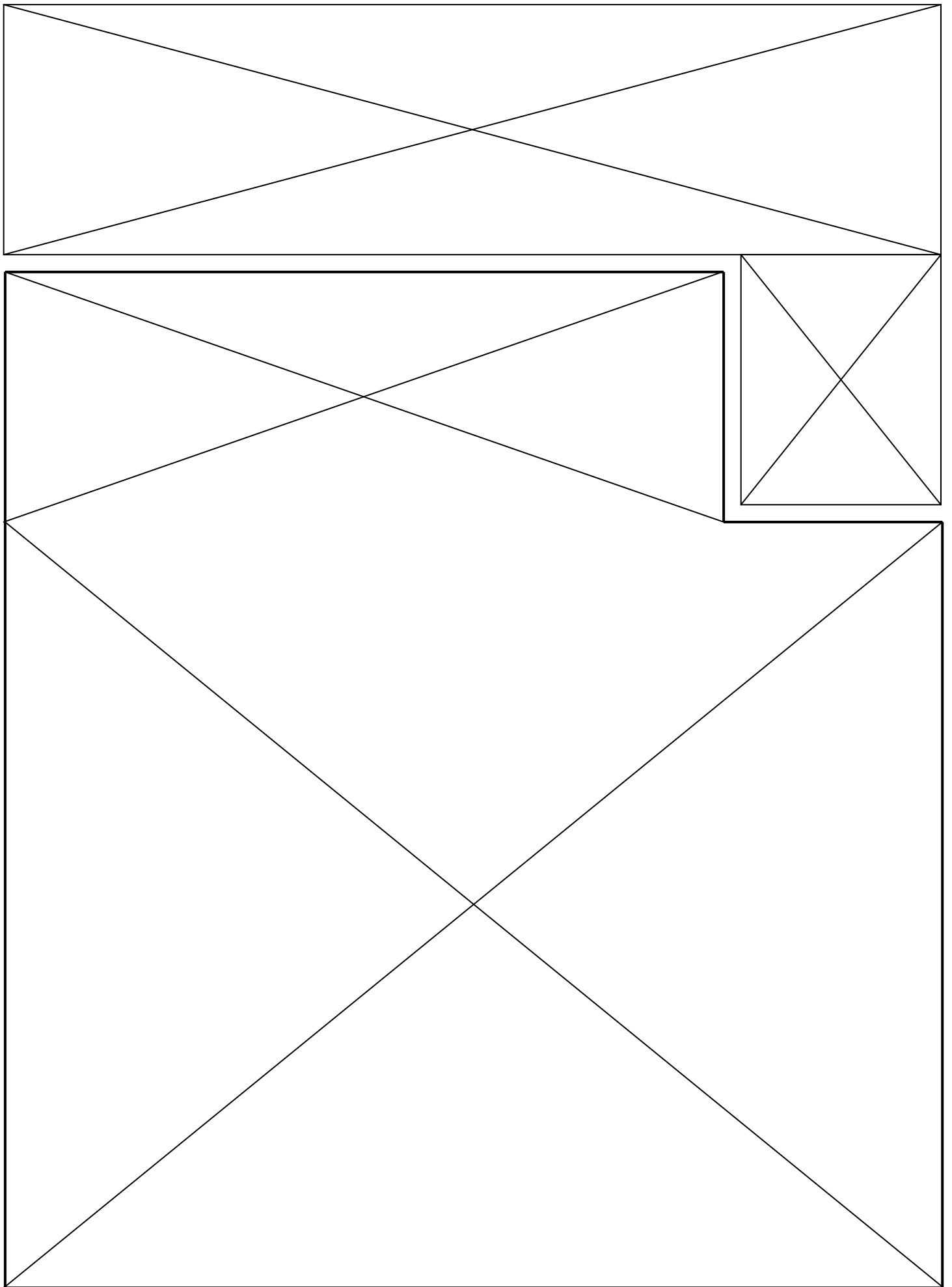
**R29**

Matériau pour les ressorts hélicoïdaux **RH** :

Justification :



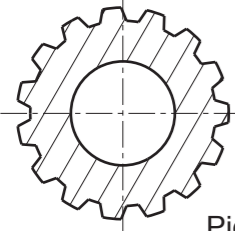




**Dépliez la feuille S.V.P.**



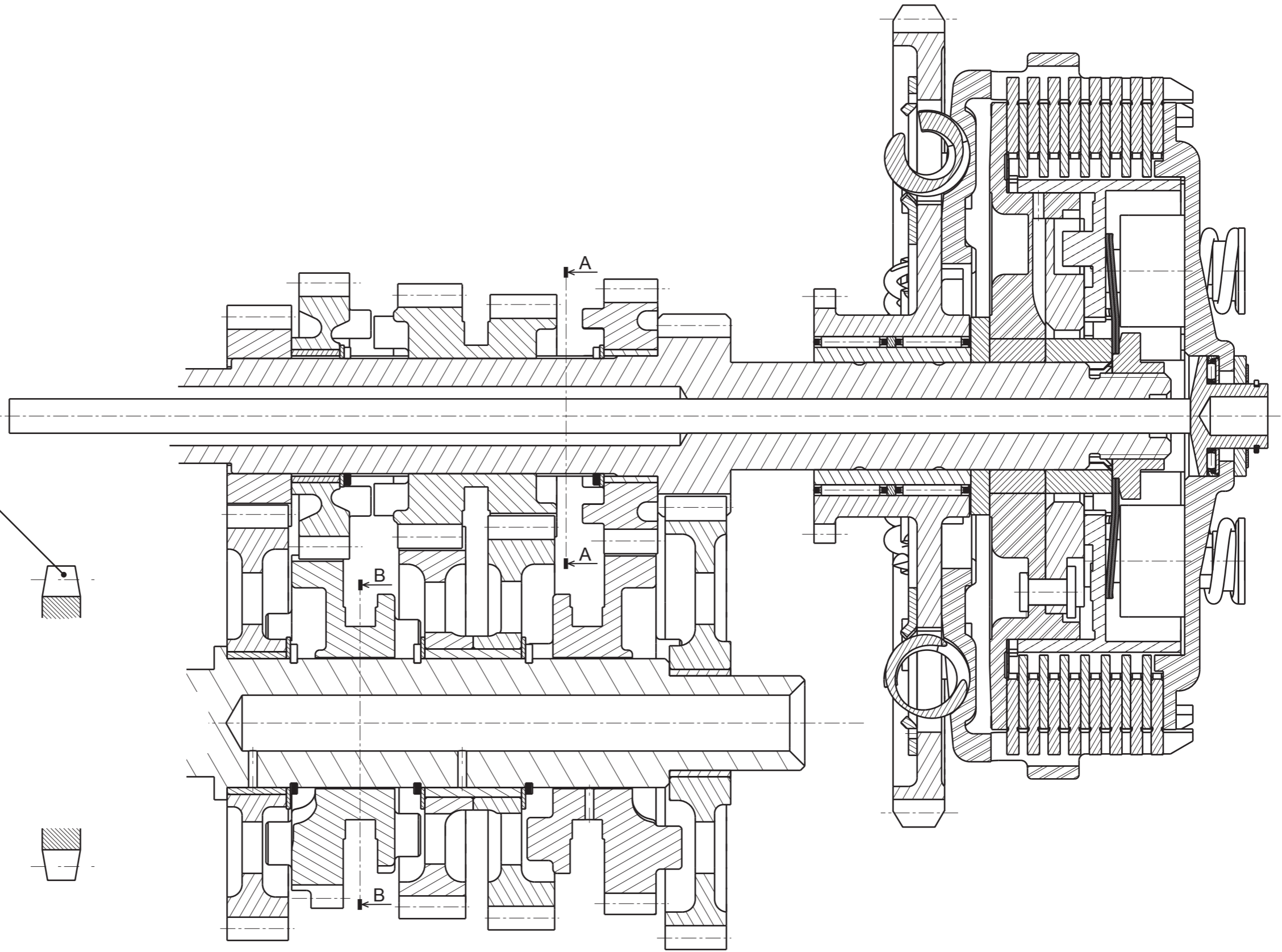
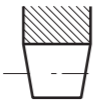
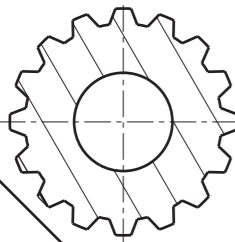
A-A  
Arbre primaire seul



Pignon de  
sortie de boîte



B-B  
Arbre secondaire seul



Concours banque PT  
Sciences Industrielles B  
Construction Mécanique  
Nom : .....  
Prénom : .....  
N° : .....

Cadre réservé

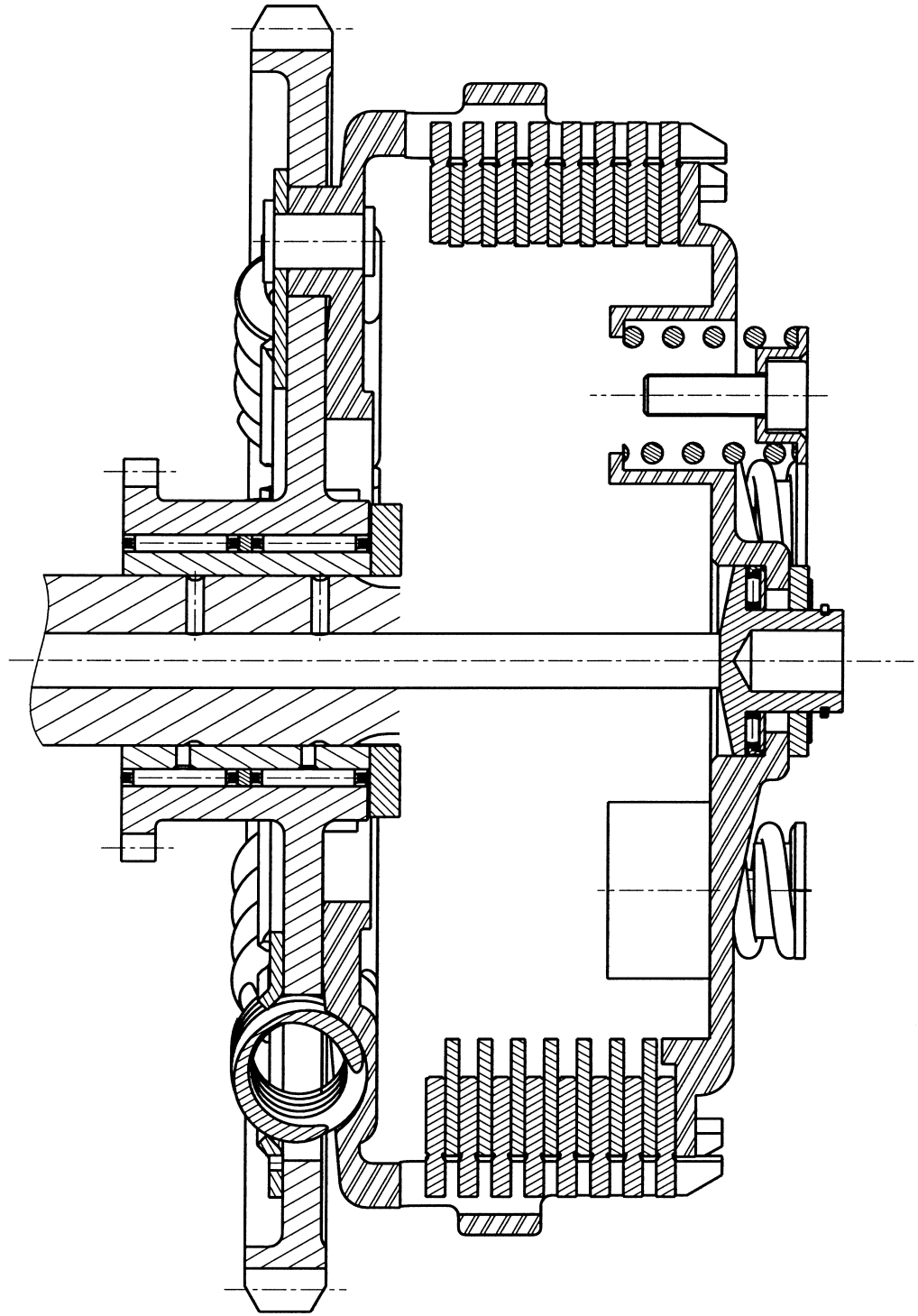
A	B	C	T
---	---	---	---

Cadres réservés

CALQUE N°1

A rendre obligatoirement  
en fin d'épreuve

Echelle 1



Concours banque PT  
 Sciences Industrielles B  
 Construction Mécanique

Nom : .....  
 Prénom : .....  
 N° : .....

Cadre réservé

**CALQUE N°2**

A rendre obligatoirement  
 en fin d'épreuve

Echelle 1

A	B	C	T
---	---	---	---

Cadres réservés