

✱ Banque filière PT ✱

## Epreuve de Sciences Industrielles C

Durée 6 h

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

---

### Composition du sujet :

- 1 cahier de 12 pages de texte, numérotées de 1 à 12 ;
- 11 documents format A4, intitulés « **DOCUMENT RESSOURCE  $i$**  », avec  $i = I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI$ , tous imprimés au recto seulement ;
- 3 documents format A4, intitulés « **DOCUMENT REPONSE  $i$**  », avec  $i = 2, 3, 4$ , tous imprimés au recto seulement ;
- 2 documents format A3, intitulés « **DOCUMENT REPONSE  $i$**  », avec  $i = 1, 5$  tous imprimés au recto seulement ;

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

**TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE**

**LES CALCULATRICES SONT AUTORISEES**

**Gestion du temps :** En admettant une durée de 30min pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer environ 20% du temps à la partie I, environ 15% du temps à la partie II, environ 20% du temps à la partie III, environ 15% du temps à la partie IV et environ 30% du temps à la partie V.

# ÉTUDE DE LA PARTIE CYCLE D'UNE MOTOCYCLETTE DE TYPE KAWASAKI NINJA ZX-6RR

## Présentation

Ce texte, composé de 5 parties largement indépendantes, vous propose d'étudier la partie cycle d'une moto, destinée à une utilisation à la fois routière et sportive sur circuit. Nous nous intéresserons aux différents organes qui permettent à la roue arrière de guider sainement la moto et de transmettre la puissance du moteur à la route.

La première partie vous propose d'étudier le bras oscillant, d'un point de vue comportement sous charge, puis d'un point de vue fabrication.

La deuxième partie s'intéresse au mécanisme de suspension arrière.

La troisième et la quatrième partie vous proposent d'étudier le système de freinage de la roue, d'un point de vue conception, fabrication puis commande.

La cinquième partie vous propose de concevoir le guidage en rotation de la roue arrière par rapport au bras oscillant.



## Récapitulatif des notations utilisées

Partie	Données	Nom	Valeur
I - A	Moment quadratique polaire du tube	$I_0$	
	Diamètre extérieur de la partie tubulaire	$D$	46 mm
	Diamètre intérieur de la partie tubulaire	$d$	40mm
	Angle de torsion unitaire	$\Theta$	
	Module d'élasticité transversal	$G$	26000 MPa
	Effort exercé sur le premier bras	$F_1$	200 daN
	Effort exercé sur le second bras	$F_2$	200 daN
	Longueur des bras	$L_B$	580 mm
	Longueur de la partie tubulaire	$L_T$	180 mm
	Écartement des bras au niveau de l'axe de la roue	$e$	300 mm
	Défaut de positionnement angulaire de la roue par rapport au plan de symétrie de la moto	$\alpha$	
I - B	Moment d'inertie de la section du bras	$I_{Gx}$	
	Module d'Young du matériaux utilisé pour le bras oscillant	$E$	
	Masse d'un bras	$m$	
	Masse volumique du matériau	$\rho$	
II	Déplacement vertical du cadre de la moto par rapport au sol	$d_v$	132 mm
	Charge appliquée sur la selle de la moto	$Q$	500 daN
	Masse de la moto complète	$M$	180 Kg
	Raideur globale de la suspension arrière	$R$	
	Effort exercé par l'axe de la roue en bout de bras oscillant	$T$	
	Ecrasement du ressort de la suspension	$\Delta L$	
	Effort transmis au ressort de la suspension	$F$	
	Rapport entre l'effort exercé en bout de bras et l'effort transmis au ressort	$q$	
	Raideur du ressort de la suspension	$r$	
III - C	Hauteur maximale du profil de rugosité	$Rt$	
	Avance par tour et par dent	$f_z$	
	Rayon de plaquette	$r_\epsilon$	1,2 mm

## I. Etude du bras oscillant

### I-A. Comportement du bras oscillant

Dans cette partie, on s'intéresse au comportement sous charges du bras oscillant. Celui-ci a plusieurs fonctions, dont celle de garantir l'alignement de la roue arrière par rapport à l'axe de symétrie de la machine. Il doit donc être d'une grande rigidité. Le bras oscillant étudié dans cette question est celui du document ressource II.

Il est composé de deux bras, supposés indéformables, reliés à une partie tubulaire.

On s'intéresse au comportement du bras oscillant lorsque la moto est en virage.

**I-A1.** On modélise les efforts exercés sur les bras lors d'un virage comme indiqué sur le **document ressource II**. On s'intéresse au comportement sous charge de la partie tubulaire, que l'on considérera ici comme une poutre.

Isolez la partie tubulaire.

Faites le bilan des actions mécaniques extérieures auxquelles elle est soumise.

Calculez le torseur des efforts de cohésion en tout point de cette poutre.

À quel(s) type(s) de sollicitation(s) est-elle soumise ?

**I-A2.** Calculez numériquement le moment quadratique polaire ( $I_0$ ) du tube, dont les dimensions sont données sur le **document ressource II**.

**I-A3.** Donnez l'expression de l'angle de torsion unitaire ( $\Theta$ ), en fonction de  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $L_B$  et  $L_T$ , (**document ressource II**).

Application numérique dans le cas où les forces  $F_1$  et  $F_2$  ont chacune une intensité de 200 daN.

On donne : module d'élasticité transversal de l'alliage utilisé :  $G = 26\,000$  Mpa.

**I-A4.** En déduire, pour ce cas de chargement, l'expression du défaut de positionnement angulaire ( $\alpha$ ) de la roue arrière par rapport au plan de symétrie de la moto. On fera l'hypothèse que les liaisons bras / axe de roue ne participent pas à rigidifier l'ensemble.

Application numérique dans le cas où les forces  $F_1$  et  $F_2$  ont chacune une intensité de 200 daN.

**I-A5.** Conclure sur la fonction du renfort existant sur la version 2004 du bras oscillant présenté sur le **document ressource II** et commentez l'évolution de la géométrie du modèle 2005 présenté sur le **document ressource III**.

## **I-B. Choix du matériau et des procédés**

On souhaite tenir compte également des sollicitations mécaniques et du poids du bras oscillant pour effectuer le choix du matériau. L'objectif est de minimiser la masse  $m$  de chaque bras. On isole le bras latéral 1. Il est soumis à des contraintes de flexion. Par ailleurs, on impose un déplacement maximal (flèche)  $\delta$  au niveau de l'axe de la roue arrière pour un effort  $F_1$  donné.

En première approximation, on considérera l'expression suivante de la flèche en bout de bras  $\delta = F_1 L_B^3 / C_1 E I_{Gx}$  pour une poutre encastree avec  $E$  module d'Young,  $I_{Gx}$  moment d'inertie de la section du bras par rapport à l'axe  $\vec{x}$  et  $C_1$  une constante. Pour simplifier les calculs dans cette partie, on considérera que la section du bras est pleine et carrée de longueur  $a$  et d'aire  $A$ .

**I-B1.** Donnez l'expression du moment d'inertie de la section du bras  $I_{Gx}$ .

**I-B2.** Déterminer les fonctions  $f$  et  $g$  telles que :  $m = f(E, \rho) \cdot g(F_1, \delta, L_B)$  avec  $\rho$  la masse volumique.

Le diagramme (log-log) Module d'Young / Masse volumique (**document ressource IV**) permet de choisir un matériau en fonction de l'indice de performance  $I_p = E^{1/2} / \rho$ .

**I-B3.** Parmi les matériaux retenus dans le diagramme (**document ressource IV**), quel est le matériau le plus performant et celui le moins performant ?

Le bras oscillant 2005 n'est pas symétrique et n'est pas constitué d'une seule pièce monobloc mais de l'assemblage de plusieurs parties assurant des fonctions différentes et obtenues par des procédés de fabrication différents, la fonderie, l'emboutissage, le pliage et l'extrusion (**document ressource III**)

**I-B4.** Expliquez le principe d'obtention des formes pour les procédés de fonderie, d'emboutissage et d'extrusion retenus et proposez deux matériaux compatibles par procédé.

**I-B5.** L'assemblage des différentes parties est réalisé par soudage. Expliquez ce qu'est l'assemblage par soudage. Quels sont les avantages et inconvénients de ce procédé d'assemblage en ce qui concerne le bras oscillant?

**I-B6.** Décrivez le procédé de soudage à l'arc. Précisez à quels types d'applications est plus particulièrement réservé le soudage TIG (Tungsten Inert Gas).

**I-B7.** En vous appuyant sur le diagramme (**document ressource IV**) et sur les procédés de mise en forme et d'assemblage étudiés précédemment, proposez un matériau minimisant le poids et adapté à la réalisation du bras oscillant. Justifiez votre réponse.

## **II. Etude de la suspension arrière**

On s'intéresse maintenant au comportement du mécanisme de suspension arrière dont la représentation schématique est donnée sur le **document ressource V**, et le plan sur le **document réponse 1**.

Les liaisons aux points A, B, C, D, E, H, et K, sont toutes modélisées dans le plan par des articulations parfaites, et les solides sont ici supposés indéformables.

L'objet de cette partie est de déterminer la raideur du ressort de la suspension arrière de cette machine.

Le cahier des charges impose un déplacement ( $d_v$ ) vertical, parallèle à lui-même, du cadre par rapport au sol de 132 mm lorsqu'on applique une charge verticale (Q) de 500 daN sur la selle de la moto, en S.

Le constructeur précise que la masse (M) de la machine est de 180 Kg (avec les pleins).

**II-1.** Effort exercé par l'axe de roue sur le bras oscillant : en isolant successivement la moto complète, puis la roue arrière, calculez l'effort (T) exercé par l'axe de la roue au point (C) sur le bras oscillant lorsque l'on applique la charge verticale (Q) de 500 daN sur la selle de la moto (au point S).

On fera ici l'hypothèse que la moto est placée droite sur un sol horizontal. Les dimensions sont celles précisées sur le **document ressource V**. G est le centre de gravité de la moto complète (le poids de la machine sera pris en compte dans cette question).

**II-2.** Raideur de la suspension : calculez la raideur globale R de la suspension arrière, soit le rapport entre l'effort vertical (T) exercé en bout de bras oscillant (C) et le déplacement vertical de ce même point.

On fera ici l'hypothèse que le comportement global de la suspension arrière est quasi linéaire.

**II-3.** Ecrasement du ressort sous charge : déterminez la position de chacun des points (A, B, C, D, E, H, et K) lorsque la moto passe de la position non chargée à la position chargée (**document réponse 1**). En déduire la valeur de l'écrasement du ressort ( $\Delta L$ ) de la suspension. On utilisera une méthode graphique en relevant les dimensions directement sur le **document réponse 1**.

**II-4.** Charge appliquée sur le ressort : déterminez dans la position chargée le rapport (q) entre l'effort (T) appliqué en bout de bras oscillant (C) et l'effort transmis au ressort (F) . On utilisera une méthode graphique en relevant les dimensions directement sur le **document réponse 1**. En utilisant les résultats de la question II-1 calculez la charge (F) appliquée au ressort. Dans cette question, on négligera le poids propre des pièces devant les efforts mis en jeu.

**II-5.** Déduire de ce qui précède la raideur (r) du ressort à monter à l'arrière de cette machine.

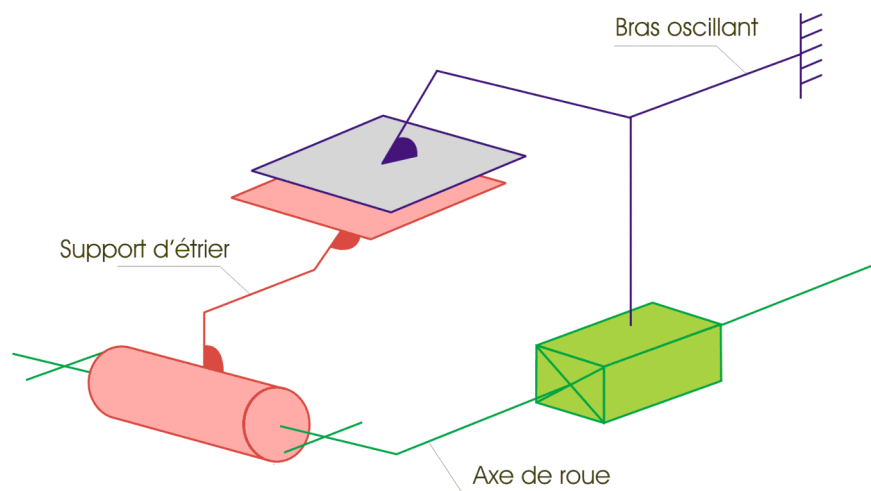
**II-6.** Un calcul plus complet du comportement sous charge du bras oscillant a permis d'établir que sous une charge de 400 daN sur de l'axe de la roue, la flèche en bout de bras est de l'ordre de 1,4 mm. Que dire de l'hypothèse « solides indéformables » faite dans cette partie de l'étude ?

### III. Conception du support d'étrier de freins arrière

Le support d'étrier a pour rôle de mettre en position l'étrier de frein par rapport au disque et de le maintenir lors d'un freinage. Le support, réalisé en alliage d'aluminium, est en liaison avec l'axe de la roue et le bras oscillant.

#### III-A. Pré-conception

**III-A1.** À l'aide du schéma cinématique suivant déterminer le degré d'hyperstatisme du système composé du support d'étrier, du bras et de l'axe de roue.



**III-A2.** En fonctionnement, la glissière est bloquée. On a donc une liaison complète entre le bras oscillant et l'axe de roue. Calculez le torseur des efforts transmissibles par la liaison équivalente entre le support d'étrier et l'ensemble axe de roue et bras oscillant.

À supposer que l'ensemble axe de roue et bras oscillant soit de géométrie parfaite, en déduire les contraintes géométriques à respecter par le support d'étrier en s'aidant d'une analyse d'hyperstatisme de la liaison équivalente.

Un premier modèle géométrique 3D situant la position (au nominal) des surfaces fonctionnelles entre elles est donné sur le **document ressource VI**. Le support d'étrier, positionné sur l'axe de roue, est en contact avec deux pièces ce qui nécessite d'avoir deux surfaces planes de part et d'autre du contact cylindre/cylindre. La liaison plane entre le support d'étrier et le bras oscillant est en fait bilatérale ce qui génère deux plans parallèles (la matière se situe entre les deux plans au niveau du bras). Les trous de fixation des étriers sur



le support ont également été ajoutés, ce qui génère un cylindre (passage de vis) et un plan (face d'appui de la tête de vis) par trou.

**III-A3.** On utilise un modelleur volumique (un logiciel de CAO) pour concevoir le modèle numérique de la pièce. Précisez à l'aide d'un arbre de construction les opérations de création de surface (extrusion, révolution, poche, etc.) que vous utiliseriez pour modéliser les entités fonctionnelles de la pièce dans un prisme dont vous préciserez également la géométrie du contour.

**III-A4.** Explicitez sur les **documents réponses 2, 3 et 4** les spécifications dimensionnelles et géométriques issues du **document ressource VI** :

$\varnothing 25\ H7\ (\text{E})$

$\parallel\ 0,05\ A$

2x  $\varnothing 8\pm 0,1$

$\oplus\ \varnothing 0,1\ A\ B$

### III-B. Gamme d'usinage

Afin de garantir la qualité requise sur les surfaces fonctionnelles, celles-ci doivent être usinées.

**III-B1.** Déterminez les opérations d'usinage adaptées à chacune des entités géométriques précédemment définies en tenant compte des exigences de qualité indiquées par les tolérances dimensionnelles. On précisera le nom de l'opération et des outils employés et on dessinera les outils de coupe.

**III-B2.** En tenant compte des contraintes technologiques d'usinage ainsi que des contraintes dimensionnelles entre entités, déterminez le nombre de phases d'usinage nécessaires à l'obtention de la pièce. Pour chaque phase, vous préciserez le type de machine-outil utilisée et les opérations d'usinage effectuées.

### III-C. Processus d'usinage de l'entité cylindrique

On étudie plus particulièrement l'opération de finition permettant de réaliser la surface cylindrique  $\varnothing 25H7$  assurant la liaison pivot avec l'axe de la roue arrière. Cette opération est réalisée avec une barre à aléser munie d'une plaquette carbure (**document ressource VII**).


## Aspect macro géométrique

**III-C1.** Modélisez et représentez les actions mécaniques qui s'exercent sur l'outil durant l'usinage. Vous préciserez vos hypothèses.

**III-C2.** Quels sont les effets de ces actions mécaniques sur l'outil et donc sur la qualité géométrique du cylindre ? Comment assurer la qualité dimensionnelle du cylindre ?

## Aspect micro géométrique

**III-C3.** Expliquez la signification du symbole suivant porté sur le cylindre (**document ressource VI**) ainsi que sa définition mathématique, assortie d'un dessin explicatif.

Ra=1,6 

**III-C4.** Établir la relation liant le paramètre de hauteur maximale du profil de rugosité  $R_t$ , l'avance par tour et par dent  $f_z$  et le rayon de plaquette  $r_\epsilon$ . La démonstration s'appuiera sur une représentation graphique faisant intervenir les paramètres considérés.

**III-C5.** À partir de l'abaque du **document ressource VII** et pour un rayon de plaquette  $r_\epsilon$  de 1,2 mm, déterminez la valeur de l'avance  $f_z$  pour respecter la spécification précédente. Expliquez pourquoi il existe une zone dite *de dispersion* sur l'abaque.

## IV. Etude du système de freinage

La ZX6R, comme toutes les motos sportives, elle est équipée d'un système de freins à disques commandés par un système hydraulique. Son principe repose sur la propriété d'incompressibilité du fluide. Le pilote, par l'intermédiaire de la poignée, actionne le frein avant, et par la pédale, actionne le frein arrière (freinage non intégral).

La poignée actionne le maître-cylindre, assimilable à un piston, qui comprime le fluide dans le circuit hydraulique jusqu'aux pistons situés dans les étriers qui viennent pincer les plaquettes de freins sur les disques (**document ressource VIII**).

**IV-1.** Les efforts mis en jeu au niveau des freins sont largement supérieurs à ceux qu'un pilote peut exercer manuellement. Expliquez comment grâce à ce système, le pilote peut

malgré tout générer un effort suffisant sur les pistons des étriers pour assurer le freinage et stopper la moto.

On envisage d'intégrer un système d'antiblocage de roues. Le circuit hydraulique contient alors un ensemble supplémentaire, une électrovanne, dont le rôle est de modifier la circulation du fluide entre le maître-cylindre et les pistons des étriers. Cette électrovanne est commandée par un calculateur électronique.

**IV-2.** Proposez une solution technologique permettant de déterminer si une roue est bloquée ou non. Vous justifierez la nature du capteur employé et expliquerez son principe de fonctionnement.

La modélisation fonctionnelle de la partie opérative et son comportement temporel sont donnés sur le **document ressource IX**.

**IV-3.** Identifiez les actionneurs et pré-actionneurs du schéma fonctionnel et donnez leurs caractéristiques.

**IV-4.** Expliquez comment ce système permet d'éviter le blocage des roues à l'aide des différentes phases de fonctionnement du système décrites par le chronogramme et du schéma fonctionnel.

**IV-5.** Établir le GRAFCET fonctionnel à partir de l'inventaire des entrées et sorties du système anti-blocage étudié (**document ressource IX**).

**IV-6.** Existe-t-il un cas d'utilisation du véhicule pour lequel les spécifications modélisées précédemment ne permettraient pas au système de freinage de fonctionner correctement ?

## **V. Conception de la transmission finale**

Cette partie conduit à la conception du sous-ensemble transmission finale et roue arrière. La transmission du mouvement entre la couronne et la jante s'appuie sur un système par

obstacles similaire à des crabots axiaux. Pour amortir les chocs dans la transmission, on utilise quatre pièces en élastomère. La vue d'ensemble du système sur la jante et des crabots est fournie sur le **document ressource X**.

L'ensemble des liaisons pivots et rotules sera réalisé à l'aide de roulements à billes (**document ressource XI**).

Il est demandé de répondre sur le **calque pré-imprimé format A3 document réponse 5** (à rendre non plié avec la copie) et comprenant 3 vues (la coupe A-A, la vue de gauche partielle et la vue de droite à dessiner).

Une attention particulière sera portée sur la qualité graphique, sur les ajustements fonctionnels permettant le fonctionnement et le montage ainsi qu'à la définition des formes nécessaires à la compréhension du système.

En s'inspirant des formes déjà définies sur le calque, on concevra en particulier :

**IV-1** La liaison complète démontable entre le bras oscillant et l'axe de roue :

- réglage de la tension de chaîne.

À réaliser sur la coupe AA et sur la vue de gauche.

**IV-2** La liaison pivot entre l'axe de roue et la jante :

- débrochage rapide,
- étanchéité vis-à-vis de l'extérieur.

À réaliser sur la coupe AA.

**IV-3** La conception du porte couronne :

- Liaison complète démontable avec la couronne
- Transmission par obstacle avec la jante
- Liaison rotule avec l'axe
- Étanchéité vis-à-vis de l'extérieur

À réaliser sur la coupe AA et seul sur la vue de droite.

**IV-4** L'assemblage global :

- Mise en position
- Serrage de l'ensemble

À réaliser sur la coupe AA et sur la vue de gauche.