

**EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B**  
**CONCEPTION D'UN TRAIN ROULANT MOTEUR ET MODULAIRE POUR VEHICULE TOUT TERRAIN.**

**DUREE DE L'EPREUVE :** 6 heures

**PRESENTATION DU SUJET**

Le sujet portait sur la reconception d'un pont avant moteur et directeur destiné à des véhicules « tout terrain » ; ce pont est entièrement conçu et réalisé par la société TEXELIS POWER TRAIN. En vue de l'adaptation d'un pont existant à de nouveaux véhicules, le sujet proposait d'étudier les exigences liées au besoin de modularité. La « scission » du carter en trois parties distinctes, ainsi que les caractéristiques des nouveaux véhicules envisagés nécessitaient de dimensionner les assemblages entre les parties du carter en fonction des efforts mis en jeu, de vérifier les critères de dimensionnement des liaisons par éléments roulants, de mener à bien le choix d'un dispositif de freinage adapté, de justifier le choix d'une solution constructive basée sur un train épicycloïdal, et enfin de proposer et de représenter une conception globale guidée par des choix indiqués aux candidats.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Notice justificative 50 %
- Dessin d'étude de construction mécanique 50 %

Thématiquement, dans la notice justificative, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

- Etude de l'assemblage des trois parties du carter (Q1 à Q9)	11,2 %
- Etude des liaisons par éléments roulants (Q10 à Q16)	11,2 %
- Etude de dimensionnement du dispositif de freinage (Q17 à Q27)	13,3 %
- Etude de l'architecture de la réduction finale (Q28 à Q32)	14,3 %

**COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE**

Le sujet était structurellement long, en particulier la notice, afin que les candidats puissent s'exprimer sur le vaste champ des compétences attendues tout en montrant leur capacité à aborder un problème technique et scientifique dans sa globalité. Une lecture complète du sujet était conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner du sujet. Les différentes parties proposées étaient indépendantes, et à l'intérieur de chaque partie, des résultats intermédiaires permettaient éventuellement de passer certaines questions plus difficiles.

Les changements intervenus suite à la modification des programmes de CPGE ne semblent pas avoir perturbé les candidats. La problématique proposée, présentée avec les outils de communication technique dédiés, a été globalement bien comprise par l'ensemble des candidats.

Les candidats ont fréquemment abandonné la notice justificative pour se consacrer au dessin : ils obtiennent en moyenne 35 % de leurs points sur la notice et 65 % sur le dessin d'étude de construction mécanique. Concernant la notice, une grande majorité des candidats a entamé chaque partie, avec une préférence pour les trois premières.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension. Chacune des exigences étudiées était détaillée. Toutes les questions posées étaient au niveau des candidats. A chaque question, plusieurs candidats ont obtenu le maximum des points, et, pour 73% des questions, au moins 10 % des candidats ont obtenu le maximum des points. Dans toutes les parties du sujet, des connaissances

de base étaient évaluées. Bon nombre de candidats n'ont pas montré une maîtrise suffisante de ces bases.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques étaient un peu délicates et demandaient donc une aptitude à effectuer des approximations afin d'obtenir le résultat. Ainsi, lors de l'évaluation des copies, une tolérance a été systématiquement appliquée sur la précision des résultats attendus. Malgré cela, le jury constate et regrette que beaucoup de candidats aient choisi de laisser de côté les applications numériques qui pouvaient pourtant rapporter des points facilement.

Toujours à propos des applications numériques, le jury note que nombre de candidats se trompent sur les unités de certaines grandeurs classiques en sciences de l'ingénieur. Beaucoup aussi, ayant commis des erreurs dans leurs calculs, rapportent des résultats dont les ordres de grandeur sont complètement aberrants, sans revenir sur les calculs effectués, sans même effectuer le moindre commentaire tendant à indiquer qu'une erreur a probablement été commise (environ 80 candidats trouvent plus de 1600 vis pour assembler les deux carter, seule une petite vingtaine s'en étonne par écrit).

Point positif de cette épreuve, les candidats ont bien compris que :

- savoir communiquer sur des solutions techniques était essentiel dans notre environnement industriel international. Le respect stricto sensu des normes n'était pas évalué dans cette épreuve, mais lire et représenter clairement une solution permet de démontrer ses compétences d'analyse, de conception et de créativité ;
- avoir un regard critique sur les résultats numériques que l'on produit et principalement sur les ordres de grandeur est un gage de crédibilité.

## **ANALYSE PAR PARTIE**

### **Remarques sur la partie notice justificative**

#### **Remarque générale :**

Dans l'ensemble, cette partie a été traitée de manière décevante, les candidats ne réalisant en moyenne que 35% de leurs points malgré l'étendue des questions proposées. Les candidats ont su profiter des parties indépendantes. La quatrième partie, à l'exception de quelques questions très simples, a souvent été laissée de côté.

#### Etude de l'assemblage des trois parties du carter :

Les questions de cette partie ont été abordées en moyenne par 88% des candidats. En moyenne à chaque question, une part non négligeable des candidats (26%) n'obtient aucun point tandis que 28% d'entre eux obtiennent le maximum des points.

Moins d'un candidat sur deux identifie correctement les mobilités, et moins de 5% des candidats est capable de mener à bien le calcul du degré d'hyperstatisme du système proposé. La troisième question portait sur les actions mécaniques extérieures au pont étudié, en vue de l'identification des sollicitations sur le carter. Seuls 10% des candidats ont su identifier les actions mécaniques extérieures ; en particulier la plupart des schémas présentés ne respectaient pas l'équilibre du système. Globalement, seuls quatre candidats sur dix sont capables de représenter correctement les sollicitations extérieures dans le cas d'une flexion trois points. Suite à ces questions, il s'agissait de recenser correctement les dimensions nécessaires pour mener l'étude de théorie des poutres (réussie dans son intégralité pour 2% des candidats). Les données pour l'application numérique étant fournies, le calcul suivant concernait la contrainte normale maximale résultant de l'état de flexion ; il n'a été réussi que dans 37% des cas. Cependant le choix de matériau en découlant a été correct pour un

candidat sur deux. La finalité de cette partie, à savoir le dimensionnement du nombre de vis dans l'assemblage, est juste dans 28% des cas, tandis que 45% des candidats ont su proposer une solution raisonnable pour permettre d'augmenter la marge de sécurité sur ce calcul.

#### Etude des liaisons par éléments roulants :

Les questions de cette partie ont été abordées en moyenne par 67% des candidats. En moyenne à chaque question, une part importante des candidats (47%) n'obtient aucun point tandis que 25% d'entre eux obtiennent le maximum des points.

A la première question, qui abordait la justification du dimensionnement des roulements du système en fonction de la charge statique ou dynamique, seuls 29% des candidats ont obtenu la bonne réponse. Le jury note beaucoup de confusions entre la notion de charge « tournante » par rapport à l'une des bagues, et celle de vitesse de rotation du roulement. Le choix de l'axe de roue était une question plus difficile (9% de bonnes réponses), impliquant la compréhension des efforts réels exercés sur le pneumatique. Ensuite une application numérique simple, consistant à calculer les composantes des efforts dans une base proposée, n'a été maîtrisée que dans 18% des copies, la plupart des candidats se trompant sur la masse maximale du véhicule ou dans les projections suivant les axes. Les équations du problème issues du principe fondamental de la statique ne sont correctes que dans un tiers des cas ; cependant les candidats analysent correctement (77% des copies) que le système ne peut pas être résolu directement. L'application numérique qui suit n'obtient les bons résultats que dans 4% des cas, et seul un candidat sur quatre est capable de mesurer correctement les dimensions des roulements sur le plan fourni en appliquant la bonne échelle. Pour les deux dernières questions de cette partie, il s'agissait d'utiliser un algorithme de calcul proposé par un constructeur de roulement. Une coquille s'était glissée dans le cahier réponse à la question 15 mais semble avoir été détectée aisément par les candidats ayant abordé cette question ; le jury a tenu compte du flou possible lié à cette question dans sa correction. Malgré cela, les deux dernières questions n'ont connu que peu de réussite (moins de 20% des candidats obtiennent des points) ; la plupart des candidats les ont d'ailleurs délaissées.

#### Etude de dimensionnement du dispositif de freinage :

Les questions de cette partie ont été abordées en moyenne par 68% des candidats. En moyenne à chaque question, une part non négligeable des candidats (34%) n'obtient aucun point tandis que 28% d'entre eux obtiennent le maximum de points.

Dans cette partie, les équations du problème étaient données aux candidats. Seulement 40% d'entre eux ont été capables d'expliquer correctement le signe des efforts exercés par la route sur les pneumatiques, et à peine 6% des candidats ont su justifier rigoureusement l'origine de l'ensemble des équations fournies. Dans les questions qui suivaient, il s'agissait d'exploiter les équations fournies pour obtenir l'expression des couples de freinage sur l'essieu avant et arrière. Ces questions ont été réussies par environ 20% des candidats, excepté pour l'application numérique qui ne compte qu'1% de bonnes réponses. Un résultat intermédiaire était fourni afin de tester la capacité des candidats à analyser un document constructeur. Cette question a été globalement bien traitée (par presque six candidats sur dix), mais les applications numériques qui suivaient n'ont correctement abouti que dans 5% des cas ou moins. Les avantages de la solution proposée en termes de sécurité de la solution choisie n'ont été compris que par 20% des candidats. A noter que nombre de candidats pensent qu'une pression de 0,7 MPa dans un piston ne peut être exercée que par une énergie hydraulique.

#### Etude de l'architecture de la réduction finale :

Cette partie a été beaucoup moins abordée que les précédentes. Pour des raisons de manque de temps ou de difficulté, les candidats ont majoritairement choisi de se reporter sur le dessin. Ainsi les questions de cette partie ont été abordées en moyenne par 30% des candidats. En moyenne à chaque question, une part importante des candidats (54%) n'obtient aucun point tandis que 23% d'entre eux obtiennent le maximum des points.

Les questions les mieux traitées (entre 20% et 30% de bonnes réponses) concernent le bilan énergétique du réducteur et les explications et justifications de la solution constructive basée sur un train épicycloïdal. Les autres questions de cette partie, ont été dans l'ensemble relativement mal traitées (moins de 10% de bonnes réponses), et notamment les applications numériques nécessaires à la justification de la solution constructive.

## **Remarques sur la partie « dessin d'étude de construction mécanique »**

### **Remarques générales :**

Le dessin était constitué de trois zones, dans lesquelles devaient être représentées :

- la solution de guidage en rotation du différentiel dans la partie centrale du carter ;
- l'assemblage de la couronne conique sur le boîtier du différentiel ;
- l'assemblage de la partie gauche du carter sur la partie centrale.

Les candidats n'ont pas eu de difficulté à appréhender l'environnement.

Dans l'ensemble, cette partie a été traitée de manière plus satisfaisante que la précédente. Les études proposées par les candidats ont généralement laissé peu d'ambiguïté sur les solutions techniques choisies.

### Zone 1 : guidage en rotation du différentiel par rapport à la partie centrale du carter

Quasiment tous les candidats (97%) ont proposé une solution pour ce montage de roulement. Un schéma des roulements était fourni avec la bonne échelle dans les documents ressources, permettant aux candidats de « décalquer » directement la solution à implanter.

Cependant, une part significative d'entre eux (20%) ne réalise pas correctement le montage en « X » demandé, mais plutôt en « O », voire même implante les deux roulements dans le même sens ou oublie les portées de roulement dans le carter. De même, 20% ne sont pas capables de positionner correctement les arrêts axiaux des bagues. Enfin seuls 40% des candidats indiquent correctement les ajustements nécessaires pour le montage des bagues des roulements. Il s'agissait également de permettre un réglage de la précontrainte des roulements. Ce point a été correctement réalisé par environ un candidat sur deux.

### Zone 2 : liaison complète de la couronne sur le boîtier de différentiel

Une solution a été proposée par 84% des candidats. Cependant une solution adéquate n'est obtenue que pour 26% d'entre eux. Les oublis principaux concernent le centrage de la couronne sur le boîtier, et le réglage de la position axiale par rapport au pignon conique. Les solutions proposées pour le montage du différentiel (en lien avec le guidage par éléments roulants) ne sont montables que dans 58% des solutions proposées.

### Zone 3 : assemblage entre les deux parties du carter

Une solution pour assembler les parties gauche et centrale du carter est proposée par 90% des candidats. Pour plus de 70% d'entre eux, l'idée d'une mise en position est réalisée correctement par

un appui-plan, mais le centrage court correspondant n'est pas toujours présent (dans 44% des solutions seulement). Près de 25% des candidats omettent également d'assurer le maintien en position. Pour environ 50% des candidats, la conception des pièces du carter respecte à peu près une obtention du brut par procédé de moulage. En particulier, la vue en coupe B-B est souvent apparue incorrecte, ne représentant que la portée du roulement, et omettant la partie externe du carter. Enfin les solutions proposées pour l'assemblage des pièces du carter sont montables dans près de 70% des cas.

Pour résumer, quelques candidats proposent des solutions complètement satisfaisantes fonctionnellement, mais aussi du point de vue des formes des pièces. La grande majorité des candidats ont su montrer des éléments de solution intéressants sans complètement satisfaire l'ensemble des exigences. Des éléments importants comme la montabilité, la réalisation des guidages, la mise en position ou le maintien en position, la forme des pièces liée au procédé d'obtention, sont souvent oubliés ou alors maîtrisés de façon incomplète. Enfin quelques candidats, plus rares, ont montré une compréhension très insuffisante des notions de conception.

## **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

Le jury conseille aux futurs candidats de :

- parcourir l'ensemble du sujet afin d'identifier les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise ;
- dans la partie « dessin d'étude de construction mécanique », de privilégier les solutions qui soient les plus simples possibles. L'indication d'éléments de compréhension à l'attention du jury, comme les jeux fonctionnels ainsi que les ajustements ne peut être qu'encouragée ;
- de ne pas appliquer systématiquement des solutions types vues ailleurs, mais plutôt d'analyser en profondeur les spécificités du système étudié et de respecter les exigences décrites dans l'énoncé ;
- de connaître et maîtriser les connaissances de base théoriques (torseur de cohésion, formules de résistance de matériaux, application du principe fondamental de la statique ou de la dynamique, du théorème de l'énergie puissance, lois du frottement, etc...), y compris les hypothèses et limitations sous-jacentes, au même titre que les principes de conception élémentaires (matériaux, procédés, réalisation des liaisons élémentaires notamment encastrement et pivot, réalisation d'un montage de roulements, etc) ;
- d'effectuer les applications numériques. En dépit de l'interdiction des calculatrices des points peuvent être très facilement gagnés sur quelques calculs qui sont assez simples. Le jury invite également les candidats à porter un jugement sur la crédibilité des résultats obtenus : certains ordres de grandeurs alertent sans ambiguïté sur une erreur dans l'application numérique. Dans ce cas, il s'agit de corriger, ou à minima de mentionner le fait que le résultat est inexact ;
- de multiplier les activités d'analyse sur des systèmes réels afin de développer une culture technologique suffisante pour proposer des solutions réalistes et le plus souvent simple