

## **5 - EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES**

### **5.1 - Épreuves écrites - filières MP et PSI**

#### **I) REMARQUES GENERALES**

Cette année le support retenu pour le sujet est un « bras maître à retour d'effort de système de réalité virtuelle », produit industriel conçu réalisé et diffusé par la société Haption. Ce bras a comme particularités :

- de recueillir les mouvements imposés par l'opérateur pour les communiquer à un « esclave virtuel ».
- de restituer à l'opérateur, par le retour d'effort, une image des résistances mécaniques rencontrées par l'esclave virtuel dans son environnement (virtuel).

#### **Le sujet filière MP comporte deux parties :**

##### **Première partie : « Analyse fonctionnelle et structurelle »**

Pour situer ce bras maître dans le système de réalité virtuelle, ses échanges d'informations avec les autres éléments sont étudiés à l'aide de l'outil SADT. Élément structurel fondamental, le système d'équilibrage statique voit son rôle étudié analytiquement dans le but de préparer les études suivantes.

##### **Seconde partie : « Vérification de performances »**

Les candidats ont à valider deux fonctions, « Assurer l'isotropie des efforts » et « Coupler le bras maître et le système virtuel ».

La validation de la première fait appel aux savoirs du domaine de la mécanique, tandis que la deuxième validation mobilise les savoirs du domaine des systèmes linéaires continus. Outre ces connaissances issues du cours de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur, les candidats doivent mobiliser celles acquises dans d'autres champs disciplinaires (par exemple des éléments de calcul matriciel).

Cette capacité à mobiliser les savoirs nécessaires, en fonction du problème posé, est une caractéristique du métier d'ingénieur qu'un sujet de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur se doit d'évaluer. Aussi, les candidats qui restent dans une approche scolaire et cloisonnée des disciplines enseignées en CPGE ne peuvent prendre en compte cette dimension dans leur composition et s'interdisent de réussir cette épreuve.

La durée prévue pour la résolution de l'ensemble des questions posées doit être compatible avec la durée de l'épreuve. Le temps nécessaire à la résolution des questions faisant appel aux outils de la mécanique est relativement important, de ce fait, celui nécessaire à la résolution des questions relatives aux asservissements est réduit en conséquence.

Par conséquent, les candidats qui lisent le sujet attentivement pour en évaluer les difficultés et en comprendre l'organisation peuvent structurer dans la durée le traitement des questions et optimiser leur composition. Les bonnes et très bonnes copies sont révélatrices de cette approche.

#### **Le sujet filière PSI comporte comme le sujet MP, deux parties :**

##### **Première partie : « Analyse fonctionnelle et structurelle »**

L'appropriation nécessaire du système avant toute étude détaillée est proposée, comme en MP, à l'aide de l'outil SADT. Trois fonctions techniques sont ensuite étudiées.

La première s'intéresse au maintien horizontal de la poignée de manœuvre du bras maître par l'opérateur. La deuxième valide l'étendue d'un domaine « atteignable » par l'extrémité du bras. La troisième prend en compte le nécessaire équilibrage statique du bras, pour mettre en place des équations scalaires utiles à la résolution dynamique à suivre.

## **Seconde partie : « Vérification de performances »**

Les candidats sont amenés à valider trois fonctions dans cette partie : « Assurer l'isotropie en masse », « Asservir les actions mécaniques générées par le bras maître à celles rencontrées par le système virtuel » et enfin, « Coupler le bras maître au système virtuel ».

Comme en MP, ces fonctions permettent l'utilisation des outils issus de la Mécanique et de l'Automatique.

### **II) REMARQUES PARTICULIERES**

Comme chaque année, le jury relève une grande disparité dans la qualité et le niveau des copies. Certaines, d'un excellent niveau d'ensemble, montrent la qualité de préparation et mettent en évidence une grande maîtrise de la discipline par leurs auteurs. D'autres, de très faible niveau, révèlent un manque d'investissement en Sciences Industrielles pour l'Ingénieur. Le jury met en garde les futurs candidats contre ce type de « non préparation » : il est illusoire d'espérer réussir l'épreuve sans maîtriser les bases, outils et concepts de la discipline. Les acquis des autres disciplines ne peuvent en aucun cas compenser les lacunes et impasses faites en sciences industrielles.

#### **Filière MP**

##### **A- ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE**

Cette partie permet au candidat de s'approprier le système en le faisant réfléchir à deux questions fondamentales : « à quoi ça sert ? » et « comment ça marche ? ».

Dans ce travail d'analyse où le « pourquoi » et le « comment » sont sans cesse examinés et confrontés, le candidat, s'il veut percevoir tous les aspects de l'architecture du système et leur impact sur les solutions retenues, doit réaliser une lecture attentive et complète des documents. A la différence d'autres disciplines scientifiques, les Sciences Industrielles pour l'Ingénieur abordent des supports qui sont complexes et ne peuvent se présenter par une simple description associée à un croquis. Leur présentation nécessite un volume d'informations et de schémas plus important que celui requis dans d'autres épreuves. Les appréhender nécessite un dépouillement soigneux de la documentation, les comprendre requiert méthodes et outils. Les candidats qui ont réussi cette partie sont ceux qui ont su mettre en œuvre toutes ces compétences.

##### **1- Etude des flux d'information - Question 1**

Les candidats qui ont réussi cette question sont ceux qui, non seulement maîtrisent les codes du SADT, mais qui ont aussi compris toutes les interactions entre les différents sous-ensembles. Il est à noter que les candidats ayant apporté une grande attention à la rédaction de cette question ont généralement bien traité l'ensemble des questions. A contrario cette question a été très souvent mal traitée dans les copies de très faible niveau.

La méconnaissance de l'outil (d'un niveau à l'autre, les entrées, sorties, moyens et contrôles doivent se retrouver), de ses codes (entrée d'un bloc à gauche, sortie à droite) et le manque de pertinence dans la compréhension des liaisons (rôle de l'interface et de ses échanges d'information avec le bras et l'esclave virtuel) sont la source des erreurs les plus fréquentes.

##### **2- Fonction « Maintenir la platine en position horizontale » - Question 2**

Cette étude classique de cinématique sur un système de poulies courroies n'a été menée correctement que par un nombre trop réduit de candidats. Ceux qui ont su conclure avaient la maîtrise des compositions de mouvements et des propriétés des mouvements de translation.

Le jury tient à préciser aux candidats que dans ce type de question où l'on demande de montrer un résultat particulier clairement énoncé (ici la nullité d'un vecteur rotation), il ne faut pas recourir à des artifices permettant d'établir coûte que coûte le résultat. Le jury apprécie les candidats qui ont l'honnêteté intellectuelle de reconnaître leur incapacité à établir le résultat et l'admettent pour la suite des questions.

Pour illustrer les propriétés des mouvements de translation par la dualité efforts-mouvements, les candidats ont à utiliser la notion de puissance transmise par une liaison parfaite. Très peu de candidats ont su exploiter cette hypothèse et l'expliquer à l'aide d'un moment de torseurs. Beaucoup de confusions ont été faites entre moments et résultantes des deux torseurs caractéristiques d'une liaison. La nullité d'une composante de moment selon une direction dans le torseur d'inter-effort a souvent été associée à tort à la suppression du degré de liberté en rotation correspondant. Cette erreur est symptomatique d'un manque évident de maîtrise de l'outil torseur et de son rapport à la réalité physique.

### 3- Fonction « assurer l'équilibrage statique » - Question 3

Cette étude de statique sur une chaîne ouverte n'a pas correctement été traitée et a révélé de graves lacunes. Beaucoup de candidats sont dans l'incapacité de développer la procédure habituelle de ce type d'étude :

- a- poser le problème à partir d'un schéma simple,
- b- choisir les solides ou ensemble de solides à isoler et les énoncer clairement,
- c- recenser les actions mécaniques extérieures,
- d- écrire l'équilibre et choisir les équations scalaires utiles à la résolution du problème posé.

Pour chacun de ces points le jury a relevé comme erreurs fréquentes :

- à la place d'un schéma « filaire » issu des modèles cinématiques fournis, l'emploi de graphes de liaisons enrichis d'une symbolique complexe censée représenter les actions extérieures. Cet outil est peut-être adapté aux chaînes fermées complexes, mais le manque de clarté de ces représentations ne facilite pas la stratégie « d'isolement » dans le cas d'une chaîne ouverte.
- des isolements baroques : tout l'ensemble, bâti compris ; deux solides de la chaîne qui ne sont pas en liaison l'un avec l'autre ; généralement des choix qui font intervenir des actions de liaisons. Dans ce type de chaîne ouverte l'obtention des équations de mouvement se fait en isolant le solide terminal puis en remontant vers le bâti en incluant à chaque fois un solide supplémentaire.
- de nombreux candidats annoncent l'utilisation d'un théorème général sans préciser sur quel isolement ils l'appliquent ! Dans ces conditions il leur est difficile de recenser correctement les actions mécaniques extérieures.
- pour obtenir un couple à exercer dans une liaison pivot, de nombreux candidats s'obstinent à écrire une équation de résultante...ce qui dénote un manque de connaissance et de pratique des bases de la mécanique !

Les candidats qui ont réussi cette question sont ceux qui ont identifié le problème, à savoir : trouver le couple à appliquer sur un ensemble soumis uniquement à son poids et en mouvement de rotation autour d'un axe horizontal pour le maintenir en équilibre. Ces mêmes candidats avaient remarqué que le texte leur indiquait de préciser les systèmes isolés.

### B- VÉRIFICATION DE PERFORMANCES

#### 4- Fonction « assurer l'isotropie des efforts » - Questions 4 à 8

Les trop rares candidats qui ont réussi la question 4 sont ceux qui ont remarqué que l'étude proposée était strictement la même que la précédente. Il suffit de reprendre les mêmes isolements, d'interpréter les hypothèses émises, de réutiliser les résultats précédents pour obtenir les équations scalaires. Les erreurs précédemment énoncées se retrouvent dans les copies. On note là encore que des candidats ont renoncé en se perdant dans leurs calculs pour la simple raison qu'ils n'ont pas défini le système qu'ils étudiaient !

Dans la suite des questions le recours au calcul matriciel n'a pas posé de problème particulier. Seule l'expression de la relation entre les couples d'entrée et de sortie des réducteurs a présenté des difficultés. L'utilisation du principe fondamental de la dynamique appliqué à l'ensemble du réducteur fait fatalement intervenir des actions de liaison au bâti. Peu de candidats en ont eu conscience et ont conclu par l'égalité des couples....dans un réducteur ! Seule l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique avec les hypothèses adaptées permet de faire apparaître rapidement le rapport de transmission.

## 5- Fonction « Coupler bras maître et système virtuel » - Questions 9 à 12

Cette partie a pour objectif de valider les connaissances de base dans le domaine des systèmes linéaires continus et invariants et ne doit pas présenter de difficulté particulière pour les candidats qui connaissent leurs cours. Il leur est proposé de participer au réglage de l'interface de couplage.

La question 9 a été en général correctement traitée. Les candidats maîtrisent les techniques associées aux schémas-blocs et n'ont pas été déroutés par la structure atypique du schéma proposé. Cependant certains dans leur empressement n'ont pas remarqué qu'était demandée l'expression de la FTBO en fonction de la FTBF et ont consciencieusement fourni l'expression habituelle...inverse de la réponse attendue !

Le jury regrette cependant que de trop nombreux candidats qui livrent un résultat inachevé pour les fonctions de transfert mises sous la forme d'une fraction où dénominateur et numérateur sont des empilages de fractions elles-mêmes empilages de fractions... Le jury a bonifié les réponses exprimées sous forme canonique où numérateur et dénominateur sont des polynômes dont le terme constant est unitaire.

Obtenir le gain statique d'une fonction de transfert en annulant la variable de Laplace  $p$  semble une technique ignorée de certains candidats.

Le critère de raideur étudié en question 10 a révélé la confusion que font certains candidats entre la FTBO et la FTBF. Ceux qui ont su choisir la bonne fonction de transfert ont su exprimer la relation demandée pour satisfaire le critère.

En question 11 le candidat est amené à restituer ses connaissances sur la stabilité des systèmes à l'aide de différents résultats graphiques : une réponse indicielle, le diagramme de Bode de la réponse fréquentielle en boucle ouverte et le diagramme de Black de la réponse fréquentielle de la boucle fermée. Le déphasage lu sur la réponse fréquentielle (en boucle ouverte ou fermée) permet d'obtenir facilement l'ordre du système. On peut signaler aux candidats qu'il n'existe pas de système de classe négative, qu'un déphasage supérieur à  $180^\circ$  est un risque d'instabilité, que la stabilité sans risque est acquise si le déphasage reste inférieur à  $180^\circ$ . Enfin comme chaque année le jury rappelle aux candidats que la stabilité est une caractéristique intrinsèque d'un système, qu'il n'est pas « plus ou moins stable », il est stable OU instable. (la réponse indicielle le montrait !) A ce sujet le jury a relevé de trop nombreuses copies où le caractère oscillatoire d'un comportement est systématiquement associé à l'instabilité et où le dépassement ne provient pas d'une nature oscillatoire.

Dans leur méconnaissance des représentations graphiques, certains candidats ont invoqué le critère de Routh, malheureusement en l'absence des expressions mathématiques celui-ci ne leur était d'aucun secours.

La question 12 qui porte sur le critère de bande passante a été plutôt bien traitée par l'ensemble des candidats l'ayant abordée.

### **Filière PSI**

#### **A- ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE**

##### **1- Etude des flux d'information - Question 1**

Cette question, commune aux deux filières relève des mêmes remarques qu'en MP.

Il est à noter toutefois qu'elle a été traitée par presque tous les candidats et a donc rempli pleinement son rôle de découverte et d'appropriation du système, la complexité de ce dernier nécessitant la lecture détaillée du dossier ressources.

La réussite dans ce domaine passe évidemment par une maîtrise syntaxique du modèle (sans laquelle aucune communication n'est possible), mais aussi par la nécessité de faire une distinction précise entre les différents flux d'Informations et/ou de Matière d'œuvre échangés.

## 2- Fonction « Maintenir la platine en position horizontale » - Question 2

Très souvent abordée par les candidats, cette question, commune aux deux filières relève des mêmes remarques qu'en MP.

## 3- Fonction « Balayer un espace suffisant » - Question 3 et 4

Cette partie à dominante graphique demande au candidat de mettre en œuvre sa découverte de la géométrie du bras maître pour construire en deux projections l'espace atteignable par l'extrémité du bras. Il s'agit ensuite d'y inscrire un cube dont la dimension et la situation validaient le cahier des charges.

Ces questions ont souvent été abordées, mais l'épure de construction a souvent souffert d'un manque de soin lors du tracé qui, au mieux ne permettait pas une validation fiable du critère et au pire rendait illisible la réponse.

Les candidats qui ont le mieux réussi cette partie sont ceux qui ont utilisés des outils élémentaires de tracé (règle et compas) ainsi que quelques artifices de présentation (couleurs différentes, type de traits..), bref qui ont eu le souci de communiquer leur découverte.

## 4- Fonction « assurer l'équilibrage statique » - Question 5

Très souvent abordée par les candidats, cette question, commune aux deux filières relève des mêmes remarques qu'en MP.

Il est utile de rappeler les bons principes de réussite dans cette typologie de problème :

a- choisir le système à isoler et l'énoncer clairement : il existe ici une façon de procéder dans le cadre identifiable des systèmes « à chaîne ouverte » que tout candidat devrait posséder ;

b- recenser les actions mécaniques extérieures au système choisi.

c- écrire l'équilibre du système et choisir l'équation scalaire utile à la résolution du problème posé (ici recherche d'un couple).

Le point a est d'évidence le plus délicat parce qu'il conditionne les trois autres. Tous les moyens et techniques utiles doivent être, ici, mis en œuvre (graphe de structure, typologie de problème, cohérence d'ensemble).

A ce propos, il est intéressant de noter que les équations scalaires obtenues ici sont utiles à la suite dans laquelle les systèmes à isoler sont, soit donnés pour l'un d'entre eux, soit déductibles des équations fournies. Cette dépendance n'a pas été perçue de nombreux candidats qui n'ont pas su utiliser les résultats des questions suivantes pour rectifier éventuellement leurs réponses à cette partie.

Rappelons à cette occasion qu'il est utile de prendre le temps de vérifier la cohérence d'ensemble de son travail, lequel ne peut pas seulement être l'addition de réponses élémentaires sans lien les unes avec les autres.

## B-VÉRIFICATION DE PERFORMANCES

### 5- Fonction « assurer l'isotropie des efforts » - Questions 7 à 12

Il s'agit ici de vérifier une donnée du cahier des charges concernant la valeur de la « masse ressentie » par l'opérateur lors de la manœuvre du bras à vide, puis de vérifier que cette valeur est isotrope.

Le questionnement est volontairement très progressif : le premier système à étudier est donné et il s'agit pour le candidat d'obtenir l'équation scalaire utile ; les deux autres équations utiles étant données, il s'agit de désigner les systèmes à isoler pour les obtenir.

Cette partie, faisant appel à des techniques et des outils classiques de résolution de problèmes de dynamique, a eu beaucoup de succès : nombreuses sont les copies dans lesquelles l'équation était bonne et les systèmes demandés bien choisis.

Le jury regrette (et en a tenu compte dans sa notation) que ceci se soit fait sans justification précise concernant les hypothèses de travail, ici fondamentales, pour l'obtention du résultat. Il n'a ainsi été fait souvent aucune mention :

- de l'influence du dispositif de maintien en position horizontale du bras ;

- de l'influence du dispositif d'équilibrage statique du bras (ce qui renvoi à la remarque de la partie 4) ;
- de la position particulière de l'axe de la pivot 1/0 par rapport aux poids.

La fin de cette partie, questions 9 à 12 a eu moins de succès sans doute parce qu'elle était plus atypique, faisant appel à des outils d'algèbre linéaire plus rares d'utilisation en Sciences Industrielles.

#### 6- Fonction « Asservir les actions mécaniques générées par le bras maître à celles rencontrées par le système virtuel » - Questions 13 et 14

Le cœur de cette partie est un exercice de synthèse sur les critères qui permettent dans le cadre des systèmes asservis de valider un réglage vis à vis d'un cahier des charges.

C'est avant tout une mobilisation du cours pour ordonner, hiérarchiser, comparer, synthétiser et finalement communiquer son choix qui n'est pas forcément unique.

Dans cet exercice la méthode de communication est primordiale. Les candidats qui ont réussi sont ceux qui ont (répondant d'ailleurs à l'intitulé de la question !) utilisé un tableau de comparaison pour réaliser leur choix.

Toute autre solution et en particulier l'explication littérale qui prend deux pages n'a pas été validée.

#### 7- Fonction « Coupler bras maître et système virtuel » - Questions 9 à 20

Cette partie, commune aux deux filières relève des mêmes remarques qu'en MP.

Le jury a noté de façon générale :

Un intérêt important pour cette partie du programme dont certains aspects sont sans doute plus facilement abordables pour beaucoup de candidats. En revanche, un manque de recul criant dès qu'il s'agit d'interpréter le résultat d'un calcul ou d'une simulation.

Cette confrontation au réel est de toute évidence une des caractéristiques de l'enseignement des Sciences Industrielles pour l'Ingénieur et elle ne peut être négligée des candidats soucieux de réussir.

D'une façon générale également, beaucoup trop de candidats ne respectent pas la consigne qui leur est donnée dans l'intitulé de la question (par exemple de laisser apparaître leurs constructions sur les graphes utiles du document réponse) et se contentent pour toute réponse d'une grandeur quelquefois sans unité.

### **III) CONCLUSION**

Il est important de rappeler que l'épreuve de Sciences Industrielles pour l'ingénieur du concours MINES-PONTS vise à évaluer la capacité des candidats à conduire la résolution d'un problème technique dans le cadre de la démarche de l'ingénieur, à savoir : modéliser, analyser, comparer un modèle au réel, communiquer.

Le jury constate et regrette que plus de la moitié des candidats sous-estime l'influence de la présentation de leur copie sur les appréciations portées par le correcteur. Trop de copies comportent des calligraphies illisibles, sont rédigées sans brouillon préalable. Des pages complètes remplies de calculs intermédiaires ne peuvent qu'indisposer le correcteur. Faut-il rappeler l'intérêt qu'il y a à encadrer les résultats figurant au sein d'un document scientifique ?

Le jury est convaincu que la réussite du candidat à l'épreuve de Sciences Industrielles pour l'ingénieur est directement lié à son degré d'investissement tout au long des deux années de préparation (cours, TD, TP de première année).

Le jury a éprouvé, cependant, un vif plaisir à évaluer un nombre significatif de copies dont l'excellente qualité tant scientifique que rédactionnelle témoigne du sérieux de la préparation de leur auteur. Il est convaincu qu'une telle réussite est largement à la portée du plus grand nombre des candidats.