

**EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A**  
**PT SI-A : TUYÈRE À OUVERTURE VARIABLE POUR BANC D'ESSAIS DE TURBORÉACTEURS**

Durée : 5 heures

**PRESENTATION DU SUJET**

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 3 pages ;
- du travail demandé (parties A, B, C, D et E) : 17 pages ;
- des annexes : 6 pages ;
- du cahier réponses à rendre : 25 pages.

Cette étude était l'occasion de traiter une problématique des sciences de l'ingénieur en cinq parties indépendantes constituées de nombreuses questions émaillées de résultats intermédiaires évitant les blocages :

- **la Partie A** (durée conseillée 20 min) proposait de décrire la structure topo-fonctionnelle du système en mettant en œuvre des outils d'analyse et de communication (diagrammes SADT et FAST). Cette description permettait d'appréhender les interactions entre les différents éléments constitutifs du système. Un schéma hydraulique à compléter était ajoutée à cette description afin de préciser la circulation de l'énergie au sein du système ;
- **la Partie B** (durée conseillée 2h) s'attachait de construire pas à pas un modèle de connaissance de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'information complétée par une modélisation des actions mécaniques extérieures. Une étude en boucle fermée permettait de valider cette construction notamment la modélisation du comportement dynamique du vérin hydraulique ;
- **la Partie C** (durée conseillée 40 min) abordait la synthèse du correcteur afin d'obtenir les performances attendues au cahier des charges. La modélisation du vérin hydraulique était affinée par identification de sa réponse harmonique ;
- **la Partie D** (durée conseillée 1h), s'intéressait à la redondance des actionneurs de la chaîne d'énergie. La structure mécanique était analysée afin de saisir cette redondance et d'en comprendre les effets au travers du degré d'hyperstatisme ;
- **la Partie E** (durée conseillée 40 min), traitait de la commande des vérins redondants en cherchant une stratégie de commande synchronisée.

**COMMENTAIRES GENERAUX**

Le sujet abordait au travers de la construction d'un modèle de comportement, une large part des connaissances du programme de première et de deuxième année de classe préparatoire. Certaines questions plus ouvertes permettaient aux candidats de mettre en œuvre les compétences développées en Sciences industrielles pour l'ingénieur.

La progressivité des difficultés et quelques résultats intermédiaires devaient permettre à tous les candidats d'aborder l'ensemble du sujet. Globalement la construction du sujet et le support du cahier réponse mis en place l'an dernier ont amené un grand nombre de candidats à balayer l'ensemble du sujet. En revanche il est regrettable que le cahier réponse soit souvent considéré comme un simple tableau de résultats sans qu'aucune justifications ni explications de la méthode utilisée ne soit indiquée. Ceci pénalise les candidats qui par ailleurs savent traiter la question.

On trouve des copies où le candidat récite son cours sans chercher à résoudre la question posée. Rappelons que les compétences ne se résument pas à de simples connaissances.

La qualité « graphique » des copies est globalement satisfaisante. Les candidats ont également pris soin d'utiliser les notations proposées. L'évaluation a tenu compte, comme il était précisé sur la

page de garde du sujet, de l'effort de certains candidats à traiter dans sa continuité et correctement d'une partie entière. Il est important de rappeler qu'un résultat numérique sans unité explicite n'a ni sens ni valeur et ne rapporte donc aucun point. Trop de candidats persistent cependant dans cette voie.

L'impression générale de la qualité des copies, sur un sujet qui ne présentait pas de difficultés majeures, est plutôt bonne. On ne peut qu'encourager les futurs candidats à poursuivre dans cette voie.

## COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

### Partie A – Analyse fonctionnelle et structurelle du système

**Diagramme SADT** : Cette question est mieux traitée que les années passées. De nombreux candidats ont assuré la cohérence des flux aussi bien interne qu'externe entre les différents niveaux de description SADT. Il n'en reste pas moins qu'un nombre significatif de candidats ne traite pas cette question ou la traite sans avoir assimilé les concepts de l'outil.

**Schéma hydraulique** : Globalement la schématisation des circuits hydrauliques est ignorée des candidats.

**Diagramme FAST** : Cette question a été traitée par la majorité des candidats et globalement de manière satisfaisante, ce qui montre que la lecture du diagramme et la compréhension de la structure du système ont été correctes.

### Partie B – Modélisation de la chaîne fonctionnelle réalisant la fonction de service "Faire varier le diamètre de la veine fluide"

#### Modélisation du comportement cinématique du mécanisme

La mise en équations issue de la fermeture géométrique est traitée correctement dans de nombreuses copies. Quelques candidats ont pris la locution "en éliminant  $\square$ " au pied de la lettre, quelques autres ont considéré  $\square=0$ . Seuls quelques rares candidats ont réussi à exprimer  $\square$  en fonction des données.

La traduction du cahier des charges, donné pour la tuyère, aux exigences attendues pour un vérin, n'a généralement pas été correctement traitée.

#### Modélisation du comportement du servo-distributeur hydraulique

Trop de résultats sans unité.

#### Modélisation du comportement du capteur de déplacement

Trop de résultats sans unité et une détermination du nombre de bits parfois fantaisiste. Le code Gray est bien connu mais souvent confondu avec son application au codeur incrémental. Cependant cette partie n'a pas été traitée par la majorité des candidats.

#### Modélisation du comportement du vérin hydraulique – Hypothèse de fluide incompressible

La détermination des fonctions de transfert est correctement traitée ainsi que le calcul de l'écart de position. En revanche le réglage du correcteur a souvent été mené sur la performance de précision alors qu'il était nécessaire pour atteindre la performance de rapidité. On constate à ce sujet qu'un nombre significatif de candidats ne connaissent pas l'expression du temps de réponse à 5% en fonction de la constante de temps d'un système du premier ordre.

#### Modélisation du comportement du vérin hydraulique – Hypothèse de fluide compressible

La recherche de la masse équivalente est une notion connue par la majorité des candidats. En revanche beaucoup de candidats ont trouvé des valeurs numériques aberrantes souvent supérieures à 50 tonnes qui n'ont surpris que quelques rares candidats.

Quelques candidats ont confondu moment d'inertie et opérateur d'inertie. Le calcul du moment

d'inertie d'un pavé est la plupart du temps faux. Quelques candidats trouvent un moment d'inertie négatif sans en être surpris.

La détermination de l'énergie cinétique galiléenne a donné lieu à de nombreuses réponses correctes mais trop souvent sans justifications.

Même commentaires concernant la détermination de l'effort équivalent.

La question 26 qui faisait suite à ces deux déterminations, a cependant été traitée par de nombreux candidats sans y faire véritablement appel alors que c'était l'objectif de cette question.

La détermination de  $K_V$  et  $a_2$  n'a pas donné lieu à de nombreuses réponses justes.

Si le terme "critère de Routh" est connu, sa mise en œuvre l'est beaucoup moins notamment dans le cas où un des coefficients du polynôme est nul.

La prise en compte du débit de fuite a été peu traitée et quand elle l'a été, les calculs sont souvent faux.

## **Partie C – Synthèse du correcteur de la commande en position d'un vérin**

### **Modélisation de la boucle ouverte non corrigée**

L'identification d'une fonction de transfert du troisième ordre par sa réponse harmonique a donné lieu à des réponses très diverses. Certains candidats y ont vu un système du deuxième ordre. Parmi ceux qui ont compris qu'il s'agissait d'un système du troisième ordre certains ont cru qu'il comportait un intégrateur sans doute à cause de la forme du résultat donné à la question 28. Pour le reste l'identification est correcte avec une partie des candidats pour qui le temps de réponse optimum est obtenu pour un facteur d'amortissement égal à 1.

La lecture d'une échelle logarithmique n'est pas acquise pour de nombreux candidats.

Ensuite le gain statique du vérin quand il était correctement déterminé a souvent été confondu avec le gain statique en boucle ouverte.

### **Analyse des performances en correction proportionnelle**

La notion d'ordre et de classe d'un système est loin d'être maîtrisée.

Le calcul des erreurs donne souvent lieu à des résultats fantaisistes quand la question est traitée.

Le risque d'instabilité est trop souvent évalué non pas à partir du point critique mais de valeurs conventionnelles des marges de phase et de gain.

### **Réglage d'une correction proportionnelle**

Certains candidats ont confondu le tracé du diagramme de Bode d'un correcteur à avance de phase avec le correcteur PI demandé. Rappelons qu'un diagramme de Bode est constitué de deux tracés, le rapport d'amplitude et la phase.

La notion de mode dominant est connue de très nombreux candidats.

Ensuite le tracé du diagramme de Bode du système corrigé, le réglage du gain du correcteur assurant les performances de précision et l'estimation des marges de stabilité ont été très peu traités.

## **Partie D – Validation de l'architecture mécanique de la structure réalisant la chaîne d'énergie**

### **Étude d'une commande avec un seul actionneur**

L'identification des liaisons et des torseurs associés est globalement correcte. En revanche l'écriture des torseurs pose problèmes à certains candidats qui ne précisent pas la base utilisée, le point de réduction ou pire confondent le moment et la résultante.

La recherche par le calcul d'une liaison équivalente donne lieu à des réponses très mitigées même quand le principe est connu. Quant à s'apercevoir que parmi les cinq composantes non nulles du torseur des actions transmissibles de la liaison équivalente, deux sont liées, seuls quelques très rares candidats en sont capables.

### **Étude d'une commande avec deux actionneurs**

Même si pour cette partie il n'était pas exigé de faire la détermination par le calcul, une justification de la nature des liaisons équivalentes était attendue.

### **Étude de la structure adoptée par le constructeur**

Le degré d'hyperstatisme de cette structure a donné lieu à un florilège de valeurs toutes aussi erronées les unes que les autres. Seuls quelques candidats capables de prendre un peu de recul vis-à-vis du problème ont trouvé un degré d'hyperstatisme correct.

## **Partie E – Validation de la commande synchronisée des vérins**

### **Fonction de transfert en boucle fermée d'un axe**

Cette partie a été traitée correctement par la majorité des candidats.

### **Commande asynchrone**

Cette partie a été abordée par de nombreux candidats. L'expression de l'écart de synchronisme a été obtenue par l'ensemble des candidats qui ont abordé cette partie. L'expression de l'erreur statique et surtout de l'erreur de traînage a posé plus de problème. Le théorème de la valeur finale est connu et exploité correctement.

### **Commande maître esclave**

Cette partie relativement peu abordée a souvent été correctement traitée par les meilleurs candidats qui ont pu atteindre la fin du sujet.

## **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

Il est conseillé aux candidats de prendre le temps de lire la totalité du sujet pour assimiler les problématiques proposées ainsi que les démarches de résolution associées. L'évaluation porte sur les compétences acquises en Sciences de l'ingénieur pendant les deux années de préparation (dont la première...). Ainsi les correcteurs sont sensibles aux candidats qui traitent une partie dans sa continuité montrant ainsi des compétences manifestes plutôt que des connaissances parcellaires en traitant une question par ci par là. Il ne faut pas oublier également que la gestion du temps reste essentielle dans une épreuve de concours.

Le cahier réponse ne doit pas se limiter à un simple catalogue de réponses. Les candidats doivent se préparer à justifier le plus précisément possible les réponses apportées aux questions posées.

Il est également conseillé aux candidats de s'approprier les outils d'analyse fonctionnelle et de communication. Le poids et l'impact sur la compréhension du sujet, de la partie consacrée à l'analyse du système est loin d'être négligeable.

Ne pas oublier que l'étude des performances d'un système asservi commence par s'assurer de sa stabilité. La connaissance du concept et des outils d'évaluation sont donc essentiels.

La recherche du comportement mécanique (cinématique, cinétique, dynamique...) des mécanismes doit s'appuyer sur des méthodes rigoureuses. Il semble que nombre de candidats n'ont pas acquis dans ce domaine les compétences nécessaires.

Même si la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation. Il est en effet impensable qu'un candidat qui souhaite montrer ses capacités ne le fasse pas dans les meilleures conditions, tout comme il chercherait à se présenter avantageusement lors d'un entretien d'embauche.