

SCIENCES INDUSTRIELLES 1

Durée : 5 h 00

PTSI 1 : ROAD SIMULATOR

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet proposé cette année permet de découvrir un simulateur de route dont les mouvements sont assurés par des vérins hydrauliques, système original face aux processus électriques habituellement étudiés.

Ce sujet comporte quatre parties indépendantes :

- une étude d'automatique qui porte sur la modélisation d'un ensemble servovalve + vérin hydraulique puis asservissement en position du vérin par différentes stratégies,
- une analyse cinématique qui porte sur la mise en mouvement longitudinale et en rotation de la roue du véhicule,
- une étude statique qui porte sur les efforts mis en jeu dans le but de dimensionner certaines pièces,
- une modélisation du comportement dynamique du système permettant la simulation du profil vertical de la route.

L'ensemble est peut-être un peu long, mais la quantité et la variété des questions permettaient aux candidats de faire montre de leurs capacités dans de nombreux domaines.

ANALYSE PAR PARTIE

Partie A : Automatique

Dans cette partie on s'intéresse à l'étude de l'asservissement en position de l'axe vertical sur une roue afin d'étudier les caractéristiques du système de suspension d'une roue.

Le but de l'étude est de mettre en place une structure asservie en position afin de répondre au cahier des charges suivant :

- Bande Passante à -3dB désirée $> 50\text{Hz}$.
- Erreur de position en réponse à une rampe nulle.

Cette partie a été abordée par tout le monde ou presque.

Modélisation du vérin avec servovalve

La première partie concernait la modélisation du vérin avec servovalve avec fluide incompressible. Cette partie, simple, a été bien traitée.

Toutefois il est regrettable de constater que bien souvent une erreur de signe sur l'équation de déplacement lié au débit fourni à la chambre 2 est faite (les candidats confondent vitesse et précipitation).

Attention à l'écriture de vitesse de sortie de vérin de plusieurs km/min.

La création de schéma-bloc et les formes canoniques sont, en général, satisfaisantes.

Le calcul d'une erreur statique et d'une bande passante (clairement définie dans le sujet) pose problème sur un 1er ordre.

La deuxième partie concernait la modélisation du vérin avec servovalve avec prise en compte de la compressibilité du fluide.

Les équations des débits ont posé problèmes. Beaucoup de modèles non-linéaires ont fleuri sans interpellé les candidats (transmittance mettant en œuvre les variables).

Modélisation de la charge + actionneur

Le modèle de la charge a été bien traité, mais l'association avec le vérin + servovalve est un échec massif.

Les candidats n'ont pas jugé nécessaire de reprendre correctement la partie modélisation du vérin + servovalve en s'aidant des structures schéma-bloc.

C'est dommage, la suite de cette partie était du calcul de transmittance très abordable.

Étude de la stabilité

La définition de l'équation caractéristique d'un processus n'est pas assimilée.

Par contre, certains candidats, ont présenté à partir d'un polynôme la méthode du critère de ROUTH et l'analyse et conclusion que l'on pouvait en attendre. Attention à ce type d'exercice « je montre que je sais faire » : la présentation doit être rigoureuse et en adéquation avec le sujet, la question du sujet pour être, en partie, prise en compte.

Correction

Le diagramme asymptotique de Bode n'a quasiment jamais été effleuré (même remarque que ci-dessus quant à la nécessité d'avoir le modèle vérin + servovalve).

A ce propos on peut regretter que la deuxième partie (qui ne nécessitait aucun résultats précédents) sur la lecture des diagrammes de Bode avec implantation d'un filtre ait été boudé.

2 explications :

- Soit les candidats ne parcourent pas l'ensemble du sujet.
- Soit l'analyse du diagramme de Bode n'est pas acquise.

Précision

Partie très peu abordée. Sans avoir de résultat intermédiaire mis à part l'intégrateur (formule très souvent trouvée en question A.1.1.4), on constate que l'effet d'un pôle nul dans la chaîne directe d'un système bouclé n'est pas assimilé.

B. Partie 2 : Cinématique

La partie cinématique proposait, dans une première étude, la mise en place d'un modèle utilisé par la suite dans l'analyse des différents mouvements. Puis, on demandait de retrouver ce modèle dans les mécanismes isolés les uns après les autres afin d'aider les candidats à comprendre le fonctionnement.

Étude préliminaire

La recherche du nombre de mobilité du système a souvent donné lieu à une partie de poker menteur entre les candidats et le correcteur. De nombreux "escrocs", le résultat étant donné à démontrer, ont arrangé les chiffres dans les formules pour retrouver ce qui était demandé. Ceci est visible au nombre de couches de correcteur, appliquées sur la copie. D'autres ont bien du mal à cacher qu'ils ne trouvent pas le résultat attendu et concluent par un "donc" démonstrateur. D'autres encore mélangent l'analyse géométrique, cinématique et statique pour trouver un résultat faux et concluent qu'ils ont démontré le résultat. Un examen simple de la géométrie devait permettre de retrouver le résultat sans formule magique. Le fait que le système soit plan ne peut pas impliquer qu'il n'y a que 2 mobilités possibles.

Par la suite, une équation de fermeture permettait de traiter les autres questions de façon logique et mathématique. Certains connaissaient déjà le système évoqué (le parallélogramme déformable) et ont su rapidement traiter cette partie.

Étude cinématique liée au vérin V1 seul

Après une étude sur les mouvements engendrés par ce vérin sur la roue du véhicule, on demandait la détermination graphique de la vitesse du centre de la roue. Certains candidats se méfient tellement des poseurs du sujet qu'ils ont pensé que l'étude préliminaire était un leurre. Ainsi, lorsqu'il est demandé de retrouver des parallélogrammes déformables dans le mécanisme, la réponse est qu'il n'y en a pas ! La suite est alors plus difficile pour eux. D'autres ont des difficultés à concevoir qu'un parallélogramme doit présenter des cotés parallèles 2 à 2. On retrouve donc des parallélogrammes "triangulaires", "trapézoïdaux" ou "croisés" du plus bel effet. On pourra également regretter que l'utilisation de couleurs, pourtant demandée dans le sujet reste difficile à obtenir. C'est pourtant une aide efficace à la compréhension des mécanismes. Enfin, un

parallélogramme n'a d'intérêt dans le mécanisme que s'il est déformable : bien que la question ait été vague sur ce point, il a été apprécié que les parallélogrammes cités soient pertinents.

Le tracé des vitesses a souvent donné lieu à une erreur sur la première vitesse, du fait d'une mauvaise direction dans le triangle de vitesses au point B8. La correction n'a pas pénalisé l'ensemble du tracé si cette première vitesse était fautive. On trouve la plupart du temps un tracé correct, avec un certain soin et un bon suivi des consignes (traits de construction visibles). La vitesse du centre de la roue, bien que le système semble avoir été correctement analysé, est souvent fautive (environ la moitié des réponses) et prise égale à la vitesse du point C3.

Le comportement qu'il fallait reconnaître est un effet d'accélération ou de freinage du véhicule, ce qui a été plutôt bien analysé par ceux qui ont répondu (plus de la moitié des réponses).

Étude cinématique liée au vérin V2 seul

Cette partie débutait comme la précédente par une étude du schéma et la recherche des parallélogrammes déformables. Les mêmes remarques s'appliquent ici (utilisation faible de la couleur, forme des parallélogrammes, pertinence des parallélogrammes cités). L'achèvement du schéma a rarement donné lieu à des erreurs dans le tracé, mais les pièces rigides entre elles sont rarement identifiées de façon correcte.

La rotation du centre est très souvent reconnue et la nature du comportement simulé (effet de couple sur la roue) assez souvent identifiée. Par contre, le calcul des normes des vitesses, qui reposait exclusivement sur la rotation des pièces est peu mais bien traité. Lorsque les formules sont justes, les applications numériques sont justes, à de très rares et inexplicables exceptions près. L'absence de réflexion sur les unités employées a parfois coûté à certains candidats la justesse du résultat sur la vitesse de rotation.

Cette partie a été traitée par la quasi-totalité des candidats.

C. Partie 3 : Statique et R.D.M.

Cette partie reprenait les supports de travail des deux études de cinématiques, désormais bien analysées dans leur cinématique. Dans chacune des deux études de statique C.2 et C.4, on demandait, par calculs ou graphiquement, de retrouver les efforts appliqués sur certaines pièces, connaissant l'effort appliqué par les vérins. Cette connaissance devait alors permettre une première approche du dimensionnement de ces pièces en C.3 ou à la fin de C.4.

Étude statique liée au vérin V1 seul

Cette partie débutait par le calcul de l'effort exercé par le vérin en fonction du sens de fonctionnement et de la pression d'alimentation. Les notions de "poussée" et de "traction" d'un vérin n'ont pas été comprises de la même façon par les candidats, alors que le schéma cinématique était donné et semblait clair sur ce point. Les valeurs calculées, outre leur inversion une fois sur deux, sont souvent victimes de l'attention des candidats quant aux unités employées. Enfin, la formule " $F = P \times S$ " est inversée en " $P = F \times S$ " encore trop fréquemment, ce qui conduit donc à des résultats faux et souvent monstrueux !

On demandait par la suite de démontrer la nature des actions exercées par le vérin V1 sur la pièce 8 ou encore par la pièce 9 sur la pièce 8. Les démonstrations (?) proposées relèvent là encore de l'escroquerie intellectuelle tant on rencontre des raisonnements du genre : "le torseur doit être un glisseur et comme la forme proposée est un glisseur donc c'est un glisseur". On relèvera aussi des raisonnements du genre "ça ne tourne pas donc il n'y a que des forces", alors qu'on pouvait s'attendre à lire qu'un solide en liaison rotule avec deux autres pièces, n'est donc soumis qu'à deux glisseurs que le principe fondamental de la statique (et non pas "fondémmental" comme lu sur une copie) donne comme égaux en norme, de même direction (celle donnée par leur point d'application) et de sens opposé. Certains en ont rempli deux pages.

L'application du PFD n'est pas toujours menée à son terme et souvent les produits vectoriels ont un signe faux (les formules ont pourtant été rappelées). Certains candidats n'ont-ils pas vu la ligne sous le titre qui indiquait que la situation de calculs était celle du schéma cinématique, et notamment que certains angles étaient égaux à 0. Bien évidemment, ne trouvant pas la valeur de ces angles, ils ne peuvent conclure.

Résistance des matériaux

Cette partie reprenait donc les calculs de la partie précédente.

On demandait de déplacer un torseur en un point particulier afin de faciliter le tracé des diagrammes des efforts de la RDM. Le calcul, s'il est souvent juste en norme, ne l'est pas en signe, une fois sur deux.

Pour le tracé des diagrammes, on donnait sur la poutre, les efforts extérieurs appliqués sur celle-ci ... Ce qui aurait dû permettre aux candidats d'avoir un regard critique sur les résultats de la parties précédentes. Reste que, lorsqu'elle est abordée, cette partie est moyennement traitée. L'effort normal et l'effort tranchant sont inversés pour un tiers des candidats et le moment de flexion n'est évalué correctement que dans de rares cas. Les deux conventions ont été considérées justes, à partir du moment où il y avait cohérence entre les grandeurs tracées.

Étude statique liée au vérin V2 seul

Cette partie débutait, elle aussi, par le calcul de l'effort exercé par le vérin. Si on retrouve l'erreur liée à l'inversion du sens de travail du vérin, elle est moins fréquente. Dans l'ensemble, la valeur calculée est souvent plus juste que dans la première partie. La sollicitation, subie par la barre 6, est moyennement identifiée comme de la traction-compression.

Le tracé du dynamique des forces est là encore moyennement bien traité. Les axes des autres pièces ayant été laissés sur le dessin, certains candidats n'ont pas fait attention à ce que ces traits pouvaient représenter. Le manque de soin apporté au tracé a conduit parfois à des valeurs un peu éloignées de la réalité.

La contrainte demandée est bien calculée lorsque la sollicitation dans la barre 6 est bien identifiée. La consigne de correction a été de ne pas pénaliser deux fois le fait que les efforts issus du dynamique des forces soient faux. Un calcul à partir d'une formule juste mais de données fausses en effort était compté juste.

La lecture de l'abaque est parfois fantaisiste et les valeurs données varient de 0,5 à plus de 6, valeurs qui ne sont pas dans le graphique. L'utilisation du facteur de concentration de contrainte n'est erronée qu'à de rares exceptions.

Ce même abaque est utilisé de façon intelligente par quelques candidats pour proposer une amélioration. En général, les solutions proposées sont réalistes et pertinentes.

Cette partie a été traitée par de nombreux candidats mais pas toujours avec beaucoup de réussite.

D. Partie 4 : Dynamique

Cette partie reposait sur une situation nouvelle : le vérin V3 appliqué seul. On décrivait dans l'introduction le mouvement obtenu sur la roue et l'objectif recherché : la simulation des irrégularités du profil de la route. Dans les hypothèses, on précisait bien de respecter les repères liés aux pièces. Dans ce problème où les pièces bougent, on ne peut plus traiter les repères comme tous identiques au repère $\square 0$.

La moitié des candidats qui répondent ne voit pas le parallélogramme principal, celui qui permet le mouvement de translation vertical.

Par contre, les candidats qui calculent la vitesse le font bien. Il en est de même pour l'expression du déplacement du centre de la roue, bien qu'on rencontre encore des expressions du déplacement sinusoïdal sous la forme : " $U = V_0 \times t$ " !!!

On attendait ensuite l'expression des forces d'inertie ($-m\gamma$), souvent calculées comme les quantités d'accélération ($+m\gamma$), ce qui est un moindre mal par rapport à ceux qui donnent le poids du système (mg).

Le Principe Fondamental de la Dynamique sur l'ensemble S est en général bien traité par ceux qui le font.

Le bilan des actions extérieures sur 7 est la plupart du temps complet.

Par contre, de façon quasi systématique, les directions des vecteurs sont ramenées à celle du schéma cinématique, ce qui fausse le résultat.

Cette partie a été traitée par peu de candidats, rarement plus loin que la troisième question. Un seul candidat sur un paquet de 700 copies traite de façon correcte les dernières questions de cette partie.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Lecture du texte et détermination des objectifs

Rappelons qu'il faut commencer par lire intégralement le sujet. L'épreuve, qui dure cinq heures, mérite une approche globale. Si les quatre parties sont indépendantes ce n'est pas pour réaliser une impasse sur une (surtout la partie automatique qui représente près de la moitié des questions donc du poids de la note finale). Dans certaines parties, les candidats pouvaient trouver des indications sur les résultats à trouver dans les questions qui suivaient : bien peu semblent en avoir profité.

Soin et rédaction

La rédaction des copies est toujours quelque chose de très variable et parfois pénible à lire pour les correcteurs. Certaines copies sont illisibles. L'utilisation de la couleur, pourtant fortement conseillée voire exigée pour certains tracés, n'est pas respectée et a pu influencer sur la notation.

La "pêche" aux résultats dans certaines copies de couleur uniforme et compacte en texte devient vite pénible et peut avoir été sanctionnée. Peu ou pas de progrès dans ce sens est à relever.

Le manque de respect de l'orthographe ou de la grammaire fait parfois craindre le pire pour des épreuves où la rédaction est le support principal.

Vérification de l'homogénéité, de la vraisemblance d'un résultat

Le nombre de copies qui comportent des erreurs dans l'homogénéité reste élevé. Il n'est pas logique qu'après deux années passées dans l'enseignement supérieur, tant de candidats n'aient pas acquis le réflexe de vérifier systématiquement la validé dimensionnelle des résultats littéraux qu'ils écrivent. N'ont-ils pas compris qu'un résultat qui n'est pas homogène est inéluctablement faux, ainsi que tout ce qu'on peut ensuite en déduire ?

Cela aurait certainement aidé, entre autre, sur la partie modélisation du vérin + servovalve en automatique, mais aussi en statique où le calcul de la force exercée par un vérin est parfois divinatoire.

De même, le fait d'écrire des systèmes non-linéaires en automatique n'effraie pas les candidats outre mesure malgré le fait que cela ne soit pas au programme des classes préparatoires P.T..

Le bon sens et les ordres de grandeur

Les applications numériques sont des questions comme les autres ; elles méritent la même attention et le même sérieux. Les résultats obtenus doivent être regardés d'un œil critique, tant en ce qui concerne l'ordre de grandeur que pour le choix du nombre de chiffres significatifs.

Mentionner simplement que « ça doit être faux » parce qu'on a trouvé une vitesse de sortie de vérin de plusieurs km/min, puis à passer à la question suivante au lieu de chercher l'origine de l'erreur – vérifier l'homogénéité de l'expression littérale par exemple – elle ne correspond guère aux qualités qu'on espère détecter chez un futur ingénieur. Trouver qu'un effort de vérin, pour une pression de 150bar, peut être égal à 0,05N ("5g") ou encore à 5.1010N ("5 millions de tonnes") est toujours surprenant.

CONCLUSIONS

La réussite à une telle épreuve nécessite une connaissance approfondie de l'ensemble des notions de mécanique et d'automatique qui figurent au programme ; les candidats qui avaient fait des « impasses » n'obtiennent généralement que des notes médiocres.

Les questions qui invitaient à interpréter, c'est-à-dire à donner du sens aux résultats, ne sont traitées que très rarement en automatique (c'est dommage), plus fréquemment en mécanique et avec une assez bonne vision des choses.

Enfin, le fait de couper court à une partie complète dès qu'une question bloque le candidat démontre le manque de recul qu'il peut avoir face à une épreuve.