

Concours PSI Ecole Polytechnique - InterENS
Rapport de l'épreuve écrite de Sciences Industrielles

Etude d'une pompe à chaleur à compresseur Scroll
pour simuler des conditions climatiques extrêmes

Présentation du sujet

L'étude proposée dans ce sujet portait sur un mécanisme de pompe à chaleur, utilisé comme climatiseur dans diverses applications pratiques. Elle visait à analyser la conception du système, notamment du compresseur réalisé à partir d'un mécanisme très particulier à doubles spirales, et à vérifier certaines de ses performances. La richesse du support permettait d'aborder une large partie du programme de Sciences de l'Ingénieur : description et analyse de système, cinématique, statique, et dynamique des solides indéformables, énergétique, asservissement, technologie de capteurs, comparaisons entre modèle et réel, etc.

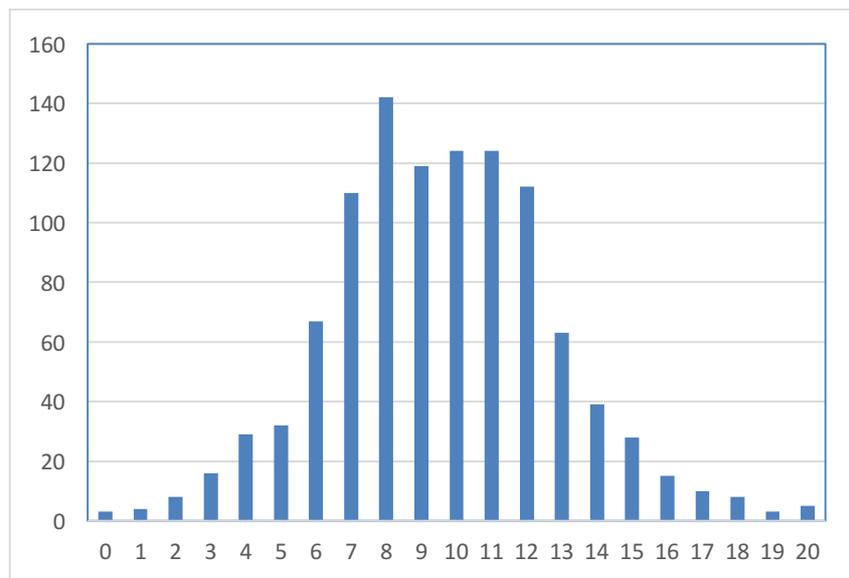
Le sujet comportait 64 questions et était construit autour de 5 parties indépendantes, même si la très grande majorité des candidats a traité les parties dans l'ordre proposé par le sujet. En complément de la partie 1 de présentation générale du système étudié (à partir de diagrammes SysML notamment), l'organisation était la suivante :

- la partie 2 s'intéressait à la cinématique de compression, avec l'étude préliminaire d'un joint de Oldham puis le détail du mouvement des spirales (12 questions) ;
- la partie 3 étudiait le guidage en rotation de l'arbre, avec des études de statique permettant de justifier l'étanchéité du mécanisme (10 questions) ;
- la partie 4 proposait une démarche pour le choix de motorisation du compresseur, à partir de considérations énergétiques (6 questions) ;
- la partie 5 proposait une étude dynamique sur l'équilibrage en rotation du système, avec exploitation de mesures pour définir l'équilibrage à appliquer (9 questions) ;
- enfin, la partie 6 étudiait l'asservissement en température d'une chambre climatique équipée de la pompe à chaleur (27 questions).

Commentaires sur la prestation des candidats

Une centaine de candidats a abordé l'intégralité du sujet. La partie 5 (Q32 à Q37) et la fin de la partie 6 sur le diagramme de Bode (Q60 à Q64) ont souvent été les moins abordées, par manque de temps. La note maximale (20/20) a été obtenue par des candidats ayant traité correctement les 4/5 du sujet. Les statistiques de l'épreuve donnent une moyenne de 10,01 et un écart-type de 3,21. La répartition des notes est indiquée ci-dessous. Une analyse globale montre qu'un groupe d'une centaine de candidats (sur un ensemble de 1500) a un excellent niveau en SI et est très bien préparé à cette épreuve. Les 350 premiers ont un bon niveau en SI. Les 200 derniers ne répondent par contre pas du tout aux exigences du concours.

Un constat frappant est la faible aptitude des candidats à faire correctement les diverses applications numériques demandées : soit elles sont laissées de côté, soit les résultats obtenus sont erronés de plusieurs ordres de grandeur (une simple considération de bon sens permettrait souvent de s'en apercevoir...). Ceci est dommageable car ces applications numériques, souvent très simples, permettent d'apporter une conclusion et de mettre un terme à une étude.



Répartition des notes

Commentaires sur l'évaluation des copies

Les questions étaient de difficulté variable. Plusieurs questions, assez basiques (Q1,Q2,Q3,Q7,Q10,Q11,...), ont été correctement traitées par beaucoup de candidats et n'ont pas permis de sélection, ce qui a occasionné une révision à la baisse de leur pondération. L'objectif de ces questions était principalement de familiariser le candidat avec le sujet et de valider des compétences élémentaires. Quelques questions mal comprises dans la partie 6 (Q44 par exemple) ont également vu leur impact minimisé. Au contraire, les questions sélectives (Q9, Q19 ou Q27 par exemple) demandant une réflexion poussée ou un développement plus conséquent, par utilisation rigoureuse d'outils adaptés, ont été pondérées à la hausse. De plus, pour l'établissement du barème final, il a été choisi de valoriser les candidats ayant fait l'effort d'analyser une partie dans sa globalité (par exemple celle liée au théorème de l'énergie cinétique pour le choix de motorisation), sans survoler l'ensemble du sujet.

Globalement, le jury a apprécié les candidats sachant mettre en place une démarche rigoureuse d'analyse, expliquant en détails les hypothèses faites, les principes ou théorèmes utilisés, et allant droit au but sans considérations superflues ou calculs mal menés et inefficaces.

Un intérêt particulier a également été apporté à la qualité de la forme des copies. Généralement, les copies sont propres et la rédaction est soignée. Les quelques copies qui étaient difficilement lisibles ou dans lesquelles les propos et raisonnements des candidats étaient difficilement compréhensibles (4% du volume) ont été sanctionnées.

Enfin, le jury a fortement sanctionné ceux qui ont présenté comme démontré un résultat ciblé par l'énoncé mais sans avoir mis en œuvre l'argumentation cohérente et rigoureuse requise. Un exemple typique est la Q7, dans laquelle plusieurs candidats ont abouti au bon torseur de liaison équivalente à partir d'une méthode et de torseurs élémentaires faux... L'épreuve est avant tout une épreuve scientifique, la rigueur et l'honnêteté intellectuelle associées doivent être présentes tout au long des copies.

Plus spécifiquement, le jury a noté plusieurs incohérences récurrentes dans le raisonnement des candidats :

- à la Q5, on demandait explicitement de raisonner en statique. Ainsi, la réponse de ceux qui ont utilisé la cinématique a été comptée fautive, même si le résultat était juste ;
- à la Q6, des solutions de substitution de liaisons avec plus de degrés de liberté sont proposées (rotule à doigt) pour relaxer l'hyperstatisme, mais sans tenir compte des mobilités internes qu'elles ajoutent. Pour ces copies, la notion d'hyperstatisme est abordée de manière calculatoire sans en maîtriser les enjeux ;
- à la Q12, le mouvement de translation circulaire n'est pas reconnu par environ un tiers des candidats. De plus, ce n'est pas parce qu'un solide est en translation que son moment dynamique est nul ;
- à la Q17, certains candidats calculent le torseur dynamique indirectement, comme la somme des torseurs d'actions mécaniques qui l'équilibrent, ce qui évite des calculs fastidieux mais ne répond pas à la question ;
- à la Q23, la non-symétrie de révolution du vilebrequin est parfois justifiée uniquement par la diversité des matériaux qui le constituent. De plus, beaucoup de candidats ont trop rapidement lu cette question et ont voulu montrer que la matrice d'inertie était diagonale (ce qui n'est pas le cas sans hypothèse complémentaire) ;
- à la Q28, au moment de choisir le moteur électrique moins de la moitié des candidats abordant la question pensent à évoquer la limitation en vitesse maximale ;
- à la Q45, pour calculer le couple que doit fournir le moteur, la plupart des candidats pensent à utiliser le théorème de l'énergie cinétique mais certains oublient le terme correspondant à l'énergie des inter-efforts ou n'en comptent qu'une partie (celle du vilebrequin sur la spirale mobile par exemple)

Préconisations du jury

- le traitement d'une partie complète du sujet étant valorisé, les candidats sont encouragés à ne pas survoler les questions mais à faire l'effort de traiter l'intégralité d'une partie ou d'une étude, ce qui permet d'arriver jusqu'à la conclusion de cette étude (choix de dimensionnement, validation de performances).
- plus généralement, il est rappelé que la qualité est à privilégier par rapport à la quantité. Il est possible d'obtenir une très bonne note sans forcément aborder l'ensemble du sujet. Il faut donc préférer faire juste plutôt que survoler l'ensemble des questions du sujet.
- un soin particulier est à apporter aux applications numériques qui jouent un rôle essentiel dans les sujets. Un nombre de points non négligeable est associé à ces applications, qui sont généralement faciles et rapides à mener (seule une valeur approchée, avec le bon ordre de grandeur et les unités, est demandée), ainsi qu'à leur interprétation. Ainsi, s'exercer à faire des applications numériques sans calculatrice tout au long de l'année est une bonne pratique.
- pour les questions de type « Montrer que », le jury rappelle qu'il est demandé un raisonnement rigoureux. L'écriture directe du résultat, sans fondement scientifique précis et argumenté, n'a aucune valeur.
- les documents réponse (DR) sont très souvent remplis sans aucune justification. Le jury rappelle que ces documents servent simplement à représenter plus efficacement les solutions trouvées par le candidat, pas à les justifier.
- une écriture lisible et des raisonnements clairs sont appréciés et valorisés par le jury. Pour les questions demandant des développements de calcul, il est conseillé de ne pas se contenter de l'écriture d'équations, l'ajout de texte précisant la démarche facilite la compréhension des correcteurs.