

Sciences industrielles de l'ingénieur

Présentation du sujet

Au cours de cette épreuve orale d'une durée de quatre heures, le jury évalue les candidats selon l'ensemble des compétences suivant, permettant de mener une démarche globale afin d'appréhender une problématique issue d'un système industriel :

- s'approprier le support matériel du TP ;
- analyser et s'approprier la problématique des activités proposées ;
- élaborer et/ou justifier, conduire et exploiter un(des) protocole(s) d'expérimentation ;
- modéliser au regard des objectifs de la problématique abordée ;
- valider et/ou recalculer un modèle au regard des objectifs définis au préalable ;
- maîtriser/conduire une simulation numérique et exploiter les résultats obtenus ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;

Cette épreuve nécessite ainsi de la part des candidats de montrer des capacités d'abstraction pour comprendre, établir et utiliser des modèles, et expérimentales pour imaginer, conduire et exploiter des protocoles expérimentaux au regard d'objectifs définis à priori.

Ainsi, les activités proposées aux candidats, construites à partir des compétences définies précédemment, les amènent à :

- analyser les fonctions d'un système pluri-technologique industriel (réel ou à échelle réduite) instrumenté ;
- développer un modèle de connaissances ou de comportement, le valider et/ou le recalculer (expérimentalement et/ou à l'aide d'outils de simulation numérique) ;
- modifier son comportement afin de satisfaire les exigences issues d'un cahier des charges. Il pourra, par exemple, s'agir du choix d'une structure de commande, du réglage des paramètres d'un correcteur, de faire évoluer un composant matériel, d'implanter une modification d'un programme dans une cible matérielle, etc.

La formulation de conclusions étayées et les capacités de communication et de synthèse sont indispensables aux ingénieurs évoluant dans un contexte professionnel de plus en plus international et sont à ce titre également évaluées durant l'épreuve. L'ensemble des sujets est conçu de façon à aborder des aspects aussi bien méthodologiques qu'expérimentaux qui doivent, in fine, amener les candidats dans une posture de formulation de conclusions et de prise de décision.

Analyse globale des résultats

La session 2023 a permis d'évaluer 255 candidats. Le jury constate que la grande majorité connaît les attendus, l'organisation et la structuration de l'épreuve de TP de sciences industrielles de l'ingénieur. En particulier, les attendus de la partie réalisée en autonomie sont désormais bien compris.

Concernant les capacités d'abstraction et méthodologiques, les prestations réalisées montrent que les fondamentaux de sciences industrielles de l'ingénieur sont généralement bien présents dans les compétences des candidats. Le jury note une certaine maîtrise dans la manipulation des modèles même lorsque ceux-ci nécessitent quelques développements calculatoires, ainsi qu'une progression dans l'utilisation des méthodologies de modélisation, d'analyse et de formulation de problèmes, même si des progrès sont toujours possibles dans la rigueur et la justification des développements présentés.

Concernant les aspects expérimentaux, la majorité des candidats de la filière TSI montre de très bonnes capacités dans les champs explorés par l'épreuve de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur : prise en main des supports contextualisant l'étude et l'appropriation de la problématique, mise-en-œuvre des procédures expérimentales en vue de valider (ou non) les modèles proposés / manipulés, exploitation des résultats obtenus, et développement de procédures numériques et/ou informatiques pour la résolution des problèmes. Pour la session 2023, le jury note néanmoins une moindre aisance dans l'utilisation et la justification des choix technologiques s'appuyant sur une connaissance des principes physiques, ainsi qu'un léger recul dans l'interprétation d'un résultat vis-à-vis du système étudié et de la problématique proposée.

Enfin, la capacité à effectuer une **synthèse globale en temps limité** fait partie des compétences recherchées pour un ingénieur, et le jury a noté que pour la majorité des candidats les attendus de cette partie de l'épreuve sont bien intégrés. Le jury a noté une amélioration du niveau global de ces synthèses qui intègrent généralement une restitution claire et assimilée de la problématique étudiée. Néanmoins, des axes de progrès sont possibles :

- en évitant des propos trop génériques hors du contexte, et du support, de l'étude ;
- en s'appuyant sur des données quantitatives à l'occasion de la mise en évidence de la problématique et de la conclusion ;
- en veillant à une synthèse dans le temps imparti de trois minutes ;
- par le choix d'un vocabulaire précis et pertinent.

De manière générale, les échanges avec les examinateurs pourraient être de meilleure qualité grâce à l'utilisation judicieuse et soignée de schémas explicatifs.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le jury rappelle aux candidats que les compétences spécifiques aux activités de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur ne peuvent s'acquérir que par un travail régulier durant les deux années de formation. Afin de faciliter la préparation de l'épreuve, le jury présente ci-dessous son organisation et les éléments d'évaluation, ainsi qu'un ensemble de commentaires, confirmant en partie certaines observations des sessions précédentes, au regard de l'analyse des prestations de la session 2023. Ainsi, le jury sensibilise les futurs candidats à la nécessité d'axer la préparation de l'épreuve sous l'angle de son organisation et de s'imprégner des attendus.

Les supports utilisés lors de la session 2023 étaient les suivants :

- nacelle gyrostabilisée ;
- robot cameraman ;
- robot d'impression 3d ;
- hoverboard ;
- slider de caméra ;
- robot nettoyeur de vitres.

Éléments d'organisation et d'évaluation de l'épreuve

Organisation de l'épreuve

L'organisation de cette épreuve, d'une durée de quatre heures, est décomposée en quatre parties de durées et d'objectifs différents :

1. appropriation du support, du contexte, mise en évidence de la problématique et des objectifs ;
2. activité de modélisation adaptée à la problématique en autonomie encadrée ;
3. exploitation des modèles proposés permettant de construire progressivement une réponse à la problématique ;
4. évaluation de solutions et synthèse globale.

Les objectifs, le déroulement et les compétences évaluées dans ces différentes parties sont décrits plus précisément ci-dessous.

La première partie est conçue pour une durée d'environ quarante cinq minutes. L'ensemble des activités amène les candidats à montrer leur capacité à s'imprégner du contexte de l'étude, s'approprier le support matériel fourni, analyser un système complexe, vérifier un ensemble d'exigences attendues du système industriel associé, comprendre la problématique et les objectifs de l'étude. Pour cela, les activités de cette partie sont conçues de façon à permettre aux candidats :

- de s'approprier et de présenter le support, de dégager son organisation structurelle le plus souvent sous forme de chaînes fonctionnelles d'information et/ou de puissance, etc. ;
- d'évaluer et analyser l'écart éventuel entre un niveau de performance attendu et un niveau de performances mesuré (ou simulé) ;
- et de s'approprier la problématique retenue pour la suite de l'étude.

Pour les chaînes de puissance et d'information, les candidats doivent être capables :

- de préciser les fonctions constitutives ;
- de localiser sur le système les différents constituants associés ;
- de décrire leur principe de fonctionnement, notamment pour les capteurs les plus classiques ;
- de détailler les choix de motorisation effectués pour le système.

La deuxième partie, d'une durée de 60 minutes maximum, est conçue autour d'une activité de modélisation et réalisée en autonomie encadrée. Elle permet aux candidats de montrer leur capacité à prendre des initiatives, à formuler et justifier avec rigueur des hypothèses, à progresser en autonomie et à critiquer leurs résultats. La démarche proposée est évaluée et le jury intervient en fournissant des informations en vue de faciliter, ou de débloquer si besoin, leur progression.

La construction de cette partie a comme objectif d'élaborer et / ou de compléter un modèle qui sera exploité dans la suite de l'étude. Par exemple :

- développement d'un modèle potentiellement multi-physique de niveau adapté aux objectifs de l'étude tout en restant réalisable durant le temps imparti
 - mise en équation d'un modèle de complexité raisonnable pour les candidats (des éléments sont fournis afin de les aider), en formulant des hypothèses clairement énoncées et justifiées, pour définir la forme du modèle qui fera l'objet d'une identification / validation ultérieure ;

- identification d'un modèle de comportement au regard de réponses expérimentales ;
- développement et mise en œuvre d'une identification expérimentale d'un modèle fourni ;
- enrichissement et/ou raffinement d'un modèle donné en ajoutant des éléments fonctionnels complémentaires (capteurs, actionneurs, etc.) ;
- etc.

Cette partie nécessite d'imaginer, de développer, de justifier et de réaliser des protocoles expérimentaux permettant d'identifier et de valider expérimentalement et / ou par simulation des paramètres d'un modèle et de les recalculer si besoin.

Dans tous les cas, toute mise en équation, lorsqu'elle est nécessaire, reste limitée à des relations simples, et les objectifs sont généralement de définir la forme du modèle qui sera identifié et / ou recalculé et de justifier rigoureusement les hypothèses ayant conduit à ce modèle ainsi que son domaine de validité.

Dans le cadre de ces activités, l'appel à des outils de modélisation causale et / ou acausale peut être nécessaire.

La démarche amenant à une solution au problème étudié est rarement unique. Ainsi, des démarches ou hypothèses différentes peuvent conduire à des solutions distinctes du problème abordé lors de cette deuxième partie. Les examinateurs s'attachent à dissocier l'exactitude des valeurs voire des équations trouvées de la cohérence et de la pertinence de la démarche. Le jury évalue ainsi les capacités à prendre des initiatives, à formuler rigoureusement des hypothèses, à évoluer en autonomie, à critiquer les choix effectués, à justifier les solutions apportées aux problèmes rencontrés.

Ainsi, de manière générale, cette partie entend valoriser le travail des candidats qui ont préparé spécifiquement l'épreuve de travaux pratiques durant toute l'année pour acquérir les compétences nécessaires à l'étude et la modélisation d'un système complexe de façon autonome.

La troisième partie est conçue pour amener les candidats à l'exploitation, entre autres, des modèles développés lors de la deuxième partie afin de construire progressivement une réponse à la problématique de l'étude. La deuxième partie ayant pu conduire à des modélisations différentes, les éléments complémentaires sont systématiquement fournis, si nécessaire, afin de permettre une progression dans la troisième partie indépendamment de niveau de réussite de la partie précédente. Les activités proposées dans cette partie ont pour objectif global la prévision des performances et l'évolution du système en vue de satisfaire le besoin exprimé.

Cette partie doit permettre :

- de valider et / ou recalculer des modèles à partir d'essais expérimentaux et de résultats de simulations numériques des modèles élaborés ;
- d'enrichir un(des) modèle(s) ;
- d'imaginer et choisir des solutions d'évolution du système en vue de répondre à un besoin du point de vue de l'utilisateur et exprimé par les exigences d'un cahier des charges.

La quatrième partie, d'une durée de 40 minutes, est décomposée en 30 minutes pour l'évaluation des solutions et 10 minutes pour la préparation d'une synthèse globale. Elle est conçue autour des thématiques de conception / optimisation / adaptation des solutions envisagées lors de la partie précédente. Les activités de cette partie ont pour objectif de permettre de conclure vis-à-vis de la problématique abordée dans le sujet de travaux pratiques et ainsi de fournir des éléments nécessaires pour la synthèse finale, et ce quel que soit le niveau d'avancement des études réalisées dans les parties précédentes. Le cas échéant, le jury fournit systématiquement aux candidats les éléments leur permettant d'aborder cette partie.

Synthèse finale. À la fin de la quatrième partie, et en conclusion globale de l'étude, une synthèse courte, **limitée à trois minutes au maximum après dix minutes de préparation**, est demandée. Au cours de cette synthèse orale, **en appuyant explicitement leur présentation sur le support étudié** et sur les résultats obtenus **et quantifiés**, les candidats doivent être capables :

- de présenter rapidement le système, en se limitant à sa/ses fonction(s) ainsi que la structure de la chaîne fonctionnelle plus particulièrement étudiée ;
- de présenter, d'une manière structurée, la problématique abordée ;
- d'exposer la démarche adoptée avec sa justification et éventuellement les difficultés rencontrées avec les solutions apportées ;
- de proposer un ensemble de conclusions de l'étude **en s'appuyant explicitement et quantitativement** sur les performances finalement obtenues au regard de la problématique mise en évidence.

Chaque candidat présente sa synthèse devant un membre du jury qui ne l'a pas suivi au cours des trois heures et cinquante minutes précédentes.

Afin de faciliter la progression des candidats lors de l'épreuve, un aide-mémoire quant au déroulé et les attendus de l'épreuve leur est systématiquement distribué.

Capacité de synthèse et de communication

Les capacités de synthèse et de communication sont essentielles pour un futur ingénieur, elles ont ainsi un rôle important lors de cette épreuve de travaux pratiques et **contribuent pour un quart à la note** sur l'ensemble des 4 heures de l'étude. La clarté des présentations, la précision des explications, le dynamisme et la réactivité en réponse au questionnement du jury et la capacité à effectuer une synthèse sont prises en compte dans l'évaluation.

L'évaluation tient compte des capacités à utiliser les informations données dans le sujet et les documents techniques mis à disposition ou les aides ponctuelles des examinateurs, de la clarté et précision des explications, du choix et de la rigueur du vocabulaire utilisé et de la capacité de synthèse.

Pour faciliter les échanges avec le jury et en vue de préparer la synthèse, les postes informatiques disposent d'un ensemble complet de suites bureautiques (Microsoft Office et / ou Libre Office) permettant de conserver temporairement une mémoire des activités, des courbes suite à des mesures ou de rassembler des graphiques dans un document. **Il est rappelé néanmoins qu'aucun compte-rendu écrit n'est demandé, les brouillons ayant servi au travail sont détruits et tous les fichiers enregistrés systématiquement supprimés dès le départ du candidat.**

En ce qui concerne la synthèse finale, les différents éléments fournis par le jury durant toute l'épreuve, et notamment lors des changements de parties, doivent permettre de conclure sur l'étude quel que soit le niveau d'avancement dans les activités. Ainsi, un candidat qui n'aurait pas réalisé avec succès toutes les activités du sujet proposé peut tout à fait effectuer une synthèse de qualité et ne sera pas pénalisé s'il réussit à assimiler toutes les informations disponibles pour en dégager la problématique, la démarche proposée et les réponses obtenues vis-à-vis de la problématique. À contrario, une énumération linéaire des activités effectuées, même correctes, est à proscrire. Le jury attend des candidats une prise de recul par rapport à l'étude menée et au fil conducteur qui la sous-tend.

Logiciels utilisés

Cette épreuve de travaux pratiques fait appel à l'outil informatique et plus précisément à des logiciels de modélisation / simulation de systèmes dynamiques (**Scilab**) et un langage de programmation informatique (**Python**) prévus dans le programme de CPGE. Pour l'utilisation de ces langages et logiciels,

un aide-mémoire est systématiquement fourni sous la forme d'un document ressources et l'ensemble du programme de l'informatique ITC en CPGE peut être utilisé lors de cette épreuve.

Lors des activités faisant appel aux outils de modélisation et simulation, les compétences évaluées sont : analyser le(s) modèle(s) proposé(s), comprendre les algorithmes implantés, identifier et/ou modifier un nombre limité de paramètres, compléter des procédures associées à des algorithmes fournis et exploiter les résultats de simulation.

L'utilisation de la programmation peut être demandée pour compléter une activité de développement algorithmique portant sur des thèmes comme, entre autres :

- optimiser des paramètres en vue de recalculer ou d'identifier un modèle, de déterminer un régulateur au regard d'un cahier des charges, etc. ;
- mettre en œuvre un traitement numérique d'un signal ;
- exploiter des signaux en vue d'analyses énergétiques (rendement, inertie, etc.), de traiter des signaux (intégration, dérivation, analyse statistique, etc.) ;
- analyser un diagramme d'états et compléter le programme informatique associé à son fonctionnement.

D'une façon générale, la mise en œuvre d'une programmation informatique reste limitée et il s'agit, généralement, de compléter un programme. Une progression efficace dans ces études ayant recours à l'outil informatique demande néanmoins une préparation régulière lors des deux années. L'utilisation de `Python` étant au programme de CPGE, plusieurs environnements de programmation parmi les plus courants sont utilisés (`Idle`, `Spyder` ou `Pyzo`).

Concernant la simulation numérique des systèmes dynamiques, la connaissance préalable des logiciels retenus n'est en aucune façon exigée et l'évaluation ne porte pas sur l'aptitude à connaître et maîtriser leurs fonctionnalités.

La mise en œuvre d'une simulation numérique est limitée à :

- un apport d'informations facilitant la compréhension du système ;
- la simplification de la résolution d'une partie de l'étude ;
- une modification paramétrique d'un modèle déjà construit pour l'adapter au système étudié (les valeurs des paramètres sont issues des documents fournis, obtenus au préalable par identification expérimentale ou encore en utilisant un modèle de connaissances fourni) ;
- la détermination de résultats dont l'obtention sans outil de calcul ou de simulation numérique est fastidieuse ou difficile.

Conseils aux futurs candidats

Appropriation du sujet et présentations orales

Les sujets de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur comportent une importante quantité d'informations. **Le jury attire l'attention des candidats sur le besoin de lire précisément les sujets et la documentation technique.** En ce sens, des approches proposées ou des informations fournies (par exemple afin de faciliter la démarche de modélisation ou la réalisation d'un protocole expérimental) ne sont pas toujours scrupuleusement suivies. **Les excès de précipitation peuvent conduire à des erreurs qui, finalement, se traduisent par une perte de temps pénalisante pour la progression de l'étude.**

Une part des candidats, en diminution pour la session 2023, oublie de restituer oralement l'ensemble des activités menées. Le jury rappelle à ce titre que **seuls les éléments verbalisés** sont pris en compte pour l'évaluation. Pour la session 2023, les questions formulées par les membres du jury lors des interrogations ont généralement permis néanmoins de rattraper ces oublis au bénéfice des candidats.

Lors des activités de la première partie, dédiée à la découverte du support et de la problématique, une partie des candidats ne prend pas le temps de présenter **en une ou deux phrases** le système et le contexte sur lequel porte l'étude et aborde directement la présentation sous la forme « à l'activité 1, on m'a demandé de... ». Le jury ne souhaite surtout pas une présentation interminable, mais quelques phrases permettant de situer le contexte de l'étude proposée. À l'inverse, certains candidats ont tendance à prendre beaucoup de temps lors des interrogations et ont du mal à évaluer le niveau de détails à présenter (détails de simplifications de calculs pourtant déjà simples et qui ne sont pas supposés poser problèmes en fin de seconde année de CPGE, détails parfois très longs sur les diagrammes de chaîne de puissance et d'information, répétition orale de la question en détails). Si cela dénote une volonté de bien faire dans la communication et les échanges avec l'examinateur, cela fait perdre beaucoup de temps. Un résumé en quelques phrases courtes de l'objectif de l'activité suffit généralement.

Lors des échanges, le jury note que beaucoup de candidates et de candidats ne font pas suffisamment appel à l'utilisation des schémas ou des diagrammes illustratifs et lorsque ces représentations sont utilisées le formalisme utilisé peut largement être amélioré. L'utilisation de schémas simples, et bien réalisés, facilite la communication, clarifie la présentation et **fait gagner du temps dans la progression de l'étude**. De plus, la qualité des explications, le soin et la clarté des éléments utilisés pour la présentation font partie de l'évaluation. À ce titre, les brouillons fournis doivent s'entendre comme un élément important du panel de supports de communication mis à disposition des candidats pour faciliter leurs échanges avec l'examinatrice, et le jury a noté une grande marge de progression possible sur ce point.

Le jury sensibilise les candidats à choisir avec pertinence les courbes/résultats de façon à éviter une inflation de résultats enregistrés en les limitant à ceux qui apportent une information et à utiliser des schémas/tracés explicatifs (directement sur une feuille si besoin) qui permettent simplement et efficacement d'illustrer les présentations.

De la même façon, le jury conseille d'éviter de rédiger de manière trop détaillée des diaporamas lorsque ce mode de présentation est choisi : ceux-ci doivent être considérés comme un aide-mémoire facilitant la structuration de l'échange avec le jury.

Pour rappel, les brouillons, captures d'écran et supports de communication sont systématiquement et immédiatement détruits à l'issue de l'épreuve.

Le jury note aussi que trop de candidats ont tendance à inventer des exigences à l'aide de leur bon sens au lieu de **consulter le cahier des charges fourni** qui donne les critères à évaluer et le niveau d'exigence quantifié requis.

Le jury note que certains candidats se pénalisent au niveau du temps en présentant en fin d'échange avec l'examinateur les activités qu'ils auraient que faire mais n'ont pas explicitement effectuées. Dans le même ordre d'idée, le jury remarque également que certains candidats perdent du temps en présentant des réponses qui ne sont pas en rapport avec le questionnement posé (description du principe de fonctionnement d'un composant qui aurait pu être présent, écriture d'un modèle non demandé, etc.).

Partie en autonomie

Le principe de la partie en autonomie encadrée étant conçue autour d'une problématique de modélisation, une meilleure appréhension de la modélisation selon ses différentes formes et des protocoles expérimentaux pour identifier / recalibrer les paramètres associés (moment d'inertie, coefficient de frottement, couple perturbateur...) doit être le fil conducteur dans la préparation des candidats pour aboutir à de meilleures prestations.

Les activités menées doivent conduire à un modèle validé mais le jury rappelle que l'évaluation porte aussi sur la réactivité des candidats, la capacité à analyser de façon critique les résultats, la cohérence dans la démarche et, si besoin, la remise en question d'une façon argumentée. L'échec n'est pas pénalisé si la démarche est cohérente. Ainsi le jury est-il plus en attente d'une justification et d'une analyse de la démarche que d'un simple résultat, quand bien même celui-ci soit exact. La démarche d'un candidat, qui ne réalise pas l'ensemble des activités proposées mais qui justifie rigoureusement en quoi la proposition mise en œuvre est partiellement erronée (mauvaise hypothèse initiale, mauvais choix d'équation, simplification abusive, etc.), est valorisée. À contrario, une démarche apprise par cœur et réutilisée sans réflexion quant à son bien-fondé pour l'étude menée ne sera pas nécessairement valorisée si elle n'est pas rigoureusement justifiée, même si le résultat numérique déterminé est correct.

En écho à la remarque sur la précision de lecture de sujets, les candidats qui par précipitation ne s'imprègnent pas suffisamment du contenu (et donc des pistes d'études proposées) et ne voient pas un certain nombre d'informations simples données en vue de faciliter leur progression (récupération de données constructeurs par exemple) se pénalisent fortement dans cette partie. De manière générale, le jury conseille aux candidats de commencer cette partie par une étape préalable de réflexion sur la démarche qu'ils vont suivre, avant de se lancer immédiatement dans la réalisation de calculs, de mesures ou de schémas.

Analyse

Si les éléments composant les chaînes fonctionnelles d'information et de puissance sont bien connus, les difficultés constatées consistent à les situer précisément sur le support et **à faire une présentation formalisée** de leur organisation mettant en évidence l'architecture du système analysé (alimentation, pré-actionneur, actionneur, effecteur, etc.). Par ailleurs, le vocabulaire technologique est parfois peu approprié et approximatif. Le jury note en particulier qu'un certain nombre de candidats présente des chaînes d'information et de puissance constituées de composants classiques rencontrés durant leur formation, sans se poser la question de leur présence réelle ou non sur le système considéré durant l'épreuve et leur enchaînement logique. Une part importante des candidats propose des chaînes de puissance et d'information génériques issues directement de leur cours sans vérifier la cohérence par rapport à celles du support objet de l'étude, en particulier sur la zone de prise d'information sur la chaîne d'énergie qui est systématiquement faite sur l'actionneur quand bien même ce ne soit pas le cas sur un certain nombre de systèmes.

Le jury rappelle à ce titre que les diagrammes SysML fournis (notamment les diagrammes de définition des blocs et des blocs internes) doivent permettre d'identifier les constituants et de comprendre l'architecture d'une chaîne fonctionnelle.

Sur un aspect expérimental :

- les mesures sont souvent interprétées à minima, ce qui traduit un manque d'analyse. Une comparaison de résultats souvent non chiffrée et sans valeur quantifiée n'est pas admise. Les expressions « cela satisfait les exigences », « les mesures ressemblent à la simulation », « la courbe est bonne », « les résultats sont similaires », etc. ne sont pas acceptables ;
- l'absence de vérification de l'homogénéité des relations manipulées et de la validation des modèles utilisés (effectuée expérimentalement ou en utilisant la simulation numérique) conduit une part non négligeable de candidats à des erreurs d'analyse. Ce constat est particulièrement mis en évidence lors de l'utilisation de documents techniques où les valeurs des différents paramètres ne sont pas systématiquement données dans les unités SI (par exemple l'oubli assez récurrent de conversion d'une vitesse de rotation donnée en tours/min en rad/s, de constantes de couple données en $\text{mN} \cdot \text{m/A}$, etc.). Cette absence de vérification élémentaire de l'homogénéité est d'autant plus pénalisable durant la partie réalisée en autonomie où le jury s'attend explicitement à ce que le candidat réalise une analyse critique de ses résultats ;

- dans le même ordre d’idée, le jury note une absence de recul et de vérification de la cohérence des ordres de grandeur des valeurs numériques obtenues pour les paramètres identifiés (inerties, coefficients de frottement, inductances... parfois gigantesques au regard du composant étudié). Si ces valeurs erronées proviennent le plus souvent d’une simple erreur dans l’application numérique, alors que l’expression littérale est correcte, elles traduisent un manque de recul vis-à-vis de la problématique et du système étudié qui devrait pourtant être le fondement du travail expérimental en Travaux Pratiques. Si le jury sait faire preuve d’indulgence pour l’ordre de grandeur de certaines variables moins intuitives, il est particulièrement surpris de voir certains candidats ne pas s’étonner de trouver des vitesses de déplacement ou des cadences de traitement astronomiques au regard du problème étudié et du système présent sur le poste de travail ;
- le jury note souvent un manque de rigueur dans la comparaison de résultats (issus de simulation et/ou de mesures). Les indicateurs liés à cette comparaison doivent être systématiquement chiffrés (valeurs maximale, finale, dépassement, etc.). Une validation uniquement qualitative du type « on constate que c’est à peu près pareil... » n’est évidemment pas suffisante.

Un manque de recul vis-à-vis des différences entre une courbe théorique et une mesure expérimentale est observé pour une partie des candidats, en progression lors de cette session. Ainsi, la présence inévitable de bruit de mesure peut perturber et certains candidats qui analysent à tort ce bruit comme des instabilités du système. De la même façon, les conditions expérimentales (instant de déclenchement d’un échelon, conditions initiales non nulles) entraînent des erreurs sur la détermination d’un temps de réponse ou du gain statique. Le jury conseille aux candidats de bien s’imprégner de ces différences inévitables liées aux conditions de l’expérience, ce qui ne peut s’acquérir que par un travail régulier et spécifique sur les activités expérimentales durant les deux années de formation.

Le jury note des difficultés chez certains candidats pour réutiliser des compétences dans un contexte légèrement différent de celui vu durant les deux années de formation. Par exemple, si la très grande majorité des candidats peut exposer parfaitement le principe de fonctionnement d’un codeur incrémental, peu sont capables d’estimer une vitesse de rotation à partir des signaux mesurés sur ce type de capteur. Dans le même ordre d’idée, si les candidats maîtrisent généralement la détermination de modèles dynamiques linéaires (premier ou second ordre), peu sont conscients de faire ainsi l’hypothèse implicite de linéarité, et très peu sont capables de proposer un protocole expérimental pour la vérifier. Le jury encourage les candidats à ne pas cloisonner leurs apprentissages : compréhension des solutions technologiques, méthodes « théoriques » et déterminations expérimentales forment un ensemble indissociable qui permet une prise de recul sur les concepts et outils manipulés. Le jury s’attend à ce que l’épreuve de Travaux Pratiques soit le lieu où les candidats montrent le caractère transverse de leurs compétences.

En automatique :

- le choix ou la justification d’une loi de commande (structure, correcteur, etc.) repose souvent sur des critères trop généraux de rapidité / stabilité / précision, non étayés à l’aide **d’arguments quantifiés et contextualisés** liés au cas d’étude concerné. Par exemple, pour beaucoup de candidats, un correcteur PI est choisi car il augmente la classe du système sans chercher à comprendre ce que cela traduit et s’il y a la présence ou non d’une perturbation. On peut choisir par exemple les critères usuels comme la marge de phase au regard d’une pulsation de coupure souhaitée, la nécessité (ou non) d’une action intégrale selon le type de consigne et/ou la présence de perturbations, etc. ;
- les comparaisons entre les courbes réponses simulées et les courbes réponses du système réel sont souvent très mal réalisées (effet des conditions initiales, stimuli injecté, comparaison modèles simplifiés/modèles plus complexes/système réel) ;

- la connexion entre les résultats d'analyse harmonique en boucle ouverte et le comportement du système en boucle fermée dans le domaine temporel ne sont pas suffisamment connus ;
- les capacités à manipuler et exploiter les réponses fréquentielles en boucle ouverte (diagrammes de Bode) pour déterminer des critères de performances classiques (stabilité, marges de stabilité) sont en progrès mais des améliorations sont encore possibles. Le jury conseille aux candidats de conserver des formes factorisées des fonctions de transfert considérées et de manipuler des formes canoniques simples pour en garder l'intuition sur le comportement du système.

L'analyse du fonctionnement d'une structure d'électronique de puissance n'est souvent comprise que si elle est présentée en détails dans le sujet. Ainsi, l'analyse du fonctionnement de circuits simples en commutation (convertisseurs statiques) pose des problèmes importants à la majorité des candidats de la filière TSI qui devraient pourtant être capables d'analyser et de justifier les formes des tensions et des courants, de préciser les relations caractéristiques, etc.

La manipulation des filtres simples dans les opérations de traitement des signaux est bien comprise d'un point de vue théorique. Cependant leur exploitation pose des problèmes à une part très importante des candidats : choix d'une bande passante au regard du spectre des signaux, vérification de leurs propriétés avant implantation ou encore vérification élémentaire de la période d'échantillonnage lorsque la réalisation est numérique.

Lors des activités d'identification le choix des grandeurs (tensions ou courants) à utiliser doit être analysé au regard des paramètres à identifier, des mesures disponibles et des points de mesures accessibles des capteurs présents. Lorsque les grandeurs nécessaires ne sont pas directement disponibles par la mesure, **les candidats doivent se poser la question de leur reconstitution par les grandeurs mesurées.**

Modélisation

La modélisation est un besoin fort en sciences industrielles de l'ingénieur, aussi le jury rappelle la nécessité de justifier ou proposer un modèle de connaissance dynamique. Une phrase du type « j'applique le PFD ... » n'est pas une réponse pertinente, une épreuve orale exige la même rigueur scientifique qu'une épreuve écrite :

- le jury attire l'attention sur la nécessité de préciser le système isolé, le bilan exhaustif des actions mécaniques extérieures, le théorème utilisé (TRD, TMD ou TEC), la direction éventuelle de projection, le point de réduction pour le théorème du moment, les hypothèses de modélisation, etc. Retrouver des relations par analyse dimensionnelle sans être capable de les justifier avec les différents théorèmes vus en cours n'est pas acceptable ;
- l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique (TEC) pour l'établissement des lois de comportement dynamique n'est pas assez maîtrisée. La présence d'une inertie équivalente dans une loi d'évolution doit fortement suggérer l'utilisation du TEC ce qui ne semble pas acquis par tous les candidats ;
- la notion de quantités équivalentes rapportées à l'axe d'un actionneur est mal connue (inertie/masse équivalente, couple/force équivalent(e), coefficient de frottement équivalent). Leur utilisation est pourtant indispensable pour construire le modèle de comportement utilisé pour la conception et la mise au point de la commande d'un système ;
- la notion de rendement ne semble pas bien maîtrisée. En particulier pour mettre en évidence les quantités équivalentes couple/force équivalent(e) l'appel à un bilan de puissance et au rendement d'une chaîne de transmission est un outil efficace. Néanmoins, pour beaucoup de candidats un rendement traduit un rapport entrée/sortie sans se poser de questions sur la notion de rendement, et en particulier sur sa cohérence uniquement en régime permanent (estimer un rendement lors d'une phase transitoire n'a aucun sens, ce que semblent découvrir de nombreux candidates et candidats).

Le développement de modèles pertinents passe souvent par une modélisation rigoureuse des liaisons mécaniques : une analyse précise par observation des surfaces en contact ou des mouvements élémentaire est alors requise. Le jury regrette que cette analyse rigoureuse soit souvent remplacée par un raisonnement intuitif. De plus, certains candidats cherchent à dessiner immédiatement le schéma sans avoir au préalable mené une réflexion les conduisant par exemple à un graphe de liaisons. L'activité de travaux pratiques donne la possibilité, **par une observation et des manipulations du système** présent sur le poste de travail, de faire des **propositions** de modèles cohérents vis-à-vis des surfaces observées. Les formules de mobilité sont bien connues, mais sont généralement appliquées avec peu de recul, sur des modèles parfois équivalents cinématiquement au modèle attendu. Par ailleurs, les connaissances et savoir-faire élémentaires concernant la géométrie et la cinématique des solutions classiques de transmission mécanique sont rarement maîtrisés. Une partie des candidats éprouve des difficultés à proposer un schéma cinématique d'un système de transformation de mouvement, même en modélisation plane. L'oubli de certaines classes d'équivalence ou de certaines liaisons peut être également noté.

L'identification de modèles comportementaux pose des problèmes à un certain nombre de candidats lorsque le type de modèle (2^e ordre ou 1^{er} ordre sous forme canonique) ou la démarche ne sont pas explicitement donnés, même si le jury a noté une nette progression sur ce point. La reconnaissance d'un tel type de modèle ou le protocole d'identification expérimentale doivent être maîtrisés.

Pour l'identification des constantes de temps d'une fonction du premier ordre, il est utilisé quasi systématiquement le temps de réponse à 5 %. Cette approche conduit à une sensibilité trop importante de l'estimation de ce temps de réponse vis-à-vis des incertitudes de mesure. L'utilisation de la valeur à 63 % de la variation de la grandeur considérée est, d'une part, plus facile à mettre en œuvre, et, d'autre part, est moins sensible aux erreurs de mesure. Une autre solution est l'appel à la tangente à l'origine, plus rapide à mettre en œuvre et qui peut donner une estimation avec une marge d'erreur acceptable dans la plupart des cas d'étude.

Le jury note des difficultés pour la mise en équation de circuits électriques simples lorsqu'une démarche n'est pas précisée d'une façon explicite, par exemple lors d'activités préparatoires à l'identification des valeurs des paramètres du circuit ou pour définir la forme d'un modèle à identifier.

Lors de l'identification de paramètres électriques mettant en jeu des grandeurs mesurées sinusoïdales, le jury a noté que certains candidats restent bloqués sans penser à utiliser les valeurs des amplitudes de ces grandeurs.

Aspects expérimentaux

Le jury a constaté un manque d'autonomie à l'occasion de cette session d'oral et une plus grande difficulté dans la prise en main des supports objet de l'étude.

Les protocoles de mesure proposés ne sont pas toujours bien suivis. Cela conduit à des suites d'échantillons de mesure ne caractérisant pas le modèle recherché, des valeurs erronées, etc. Avant toute mesure, le jury conseille aux candidats de bien lire les conseils donnés et lorsqu'un protocole est proposé de le suivre avec rigueur.

Quelques candidats montrent des inquiétudes à l'occasion de la réalisation de protocoles expérimentaux par crainte de mauvaise utilisation du matériel mis à disposition. Le jury encourage les candidats à s'engager dans les aspects expérimentaux sans crainte quant à une mauvaise mise-en-œuvre.

Utilisation de l'outil informatique

L'optimisation numérique est devenue un outil de base pour l'ingénieur et le jury constate que le niveau des candidats continue d'augmenter sur les méthodes associées. Dans le cadre de l'épreuve :

- lorsque l'optimisation d'un critère est nécessaire, le problème posé n'est pas de développer la procédure d'optimisation mais de mettre en place la modélisation et la démarche nécessaires pour poser le critère

à optimiser. L'optimisation est résolue ensuite au moyen d'une fonction fournie ou disponible dans une bibliothèque ;

- dans une phase d'optimisation, il s'agit d'analyser
 - comment la formulation du problème d'optimisation modifie le niveau de performance de la solution obtenue ;
 - l'influence du choix des paramètres d'optimisation sur le niveau de performance obtenu.

Les environnements de programmation classiques pour Python sont connus des candidats, et leur capacité à traduire un algorithme simple sous la forme d'un programme informatique est en progrès. Les difficultés de ceux n'arrivant pas à produire une procédure fonctionnelle sont dues à l'absence de maîtrise des bases de la programmation (manipulation de listes, etc.) et à une démarche non structurée dans l'écriture du programme.

Synthèse globale

Les attendus de la synthèse globale de fin d'épreuve et le principe d'une présentation en temps limité sont bien intégrés par les candidats. Le jury en conclut avec satisfaction que la majorité des candidats a lu les rapports des années précédentes et s'est appropriée l'organisation de l'épreuve de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur.

Cependant une partie des candidats hésite encore sur les attendus de la synthèse globale. Lors des présentations effectuées, certains candidats ont tendance à rentrer dans des détails inutiles. En plus de déborder du temps imparti, un niveau de détails trop important conduit souvent à un exposé confus, mal structuré et montre un manque de recul sur le lien entre la problématique et les activités proposées. De même, une présentation trop générale, indépendante du support étudié, sans lien précis ni quantification avec la problématique abordée n'est pas bien considérée. Le fil conducteur de la présentation doit être organisé autour de trois mots clés : **problématique, démarche, conclusion ... contextualisées sur le support de l'étude**. Cette activité **demande un réel entraînement**. Le jury conseille :

- de s'entraîner à ce type d'activité avec une structure de présentation articulée autour des trois points
 - **mise en évidence de la problématique étudiée ;**
 - présentation des points clés de la **démarche** amenant aux solutions élaborées en s'appuyant sur les résultats quantifiés ayant permis de conduire la réflexion. En particulier, l'utilisation conjointe et complémentaire de la modélisation et de l'expérimentation dans le but de répondre à un objectif sont à mettre en avant ;
 - **conclusion argumentée** au regard de résultats quantifiés et de la problématique initiale, **en veillant à une présentation en temps limité (3 minutes) ;**
- d'exposer cette dernière phase d'évaluation en s'appuyant sur des résultats graphiques et numériques ;
- de travailler le choix du vocabulaire technologique qui doit être mieux maîtrisé, le jury constate que cet aspect est en recul par rapport aux années précédentes ;
- de ne pas présenter en détails la chaîne fonctionnelle étudiée.

Il est indispensable que les présentations soient fondées sur le support étudié, les modèles développés ou étudiés, les mesures et analyses réalisées en rappelant systématiquement les principaux résultats obtenus.

De manière assez surprenante et différente des sessions précédentes, le jury a noté que beaucoup de candidats n'utilisent aucun support visuel durant cette synthèse. Alors que de nombreuses captures d'écrans

ont été effectuées durant toute l'épreuve comme support des échanges avec le jury, aucune de ces captures d'écran n'est réutilisée pour illustrer cette dernière phase de l'épreuve.

À l'inverse, certains candidats finissent par se perdre dans les multiples figures conservées sans structuration et sont conduits à faire défiler rapidement un grand nombre de résultats, rendant la présentation très difficile à suivre.

Le jury encourage les candidats à sélectionner de façon pertinente les résultats principaux obtenus, et à les utiliser judicieusement durant cette synthèse pour illustrer et appuyer la présentation. De la même façon, la synthèse finale est faite sur le poste de travail, avec le système à disposition, et il est donc tout à fait possible voire souhaitable de s'y référer de façon très concrète.

Les résultats présentés doivent être retenus en raison de leur pertinence **en nombre limité et quantifiés** compte tenu des exigences formulées par le cahier des charges. **Le jury n'attend, en aucun cas, un compte rendu linéaire des activités abordées au cours de la séance.**

Conclusion

Pour la session 2024, les objectifs généraux et l'organisation de l'épreuve orale de sciences industrielles de l'ingénieur seront dans la continuité de ceux de la session 2023. La partie en autonomie encadrée prévue sur une durée d'une heure environ et la synthèse globale en temps limité effectuée devant un membre du jury, n'ayant pas suivi le candidat lors des quatre heures de l'épreuve, seront conservées.

La préparation de cette épreuve ne s'improvise pas et l'acquisition des compétences évaluées est le fruit d'un travail régulier au cours des deux années de préparation. Il est donc indispensable de s'approprier :

- une démarche de mise en œuvre des fonctions d'un système industriel pluri-technologique ;
- une méthodologie de résolution de problèmes permettant d'aborder et d'appréhender les activités d'évaluation proposées par le jury dans l'esprit des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- une maîtrise suffisante des principes d'utilisation d'outils de simulation numérique et d'analyse des résultats obtenus.

Le jury de sciences industrielles de l'ingénieur souhaite que les futurs candidats s'imprègnent des conseils donnés dans ce rapport pour bien réussir cette épreuve.