

# Sciences industrielles de l'ingénieur

## Présentation du sujet

Au cours de cette épreuve orale d'une durée de quatre heures, le jury évalue l'ensemble des compétences des candidats permettant de mener une démarche globale afin d'appréhender une problématique issue d'un système industriel. Il leur est nécessaire de faire preuve, d'une part, de capacités d'abstraction indispensables pour comprendre, établir et utiliser des modèles, et, d'autre part, expérimentales pour imaginer, conduire et exploiter des protocoles expérimentaux au regard d'objectifs définis a priori.

Les candidats sont ainsi évalués selon différentes compétences touchant à l'analyse fonctionnelle et structurelle d'un système, à l'appropriation d'une problématique scientifique et industrielle, aux démarches de modélisations de niveaux adaptés en réponse à un objectif spécifique, à la formulation de problèmes bien posés dans une optique de recherche de solution, à la simulation et la résolution numérique, à la validation des modèles et solutions proposés à l'aide de confrontations expérimentales avec le système réel.

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 décisions.

## Analyse globale des résultats

La session 2023 a permis d'évaluer 1780 candidats. Le jury constate que la très grande majorité connaît les attendus, l'organisation et la structuration de l'épreuve de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur.

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 et les développements calculatoires, ainsi que dans l'utilisation des méthodologies de modélisation, d'analyse et de formulation de problèmes.

Concernant les aspects expérimentaux, la majorité des candidats de la filière PSI montre de très bonnes capacités dans les champs explorés par l'épreuve de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur : dans la prise en main des supports contextualisant l'étude et l'appropriation de la problématique, dans la mise-en-œuvre des procédures expérimentales en vue de valider (ou non) les modèles proposés / manipulés, dans l'exploitation des résultats obtenus, et dans le développement de procédures numériques et / ou informatiques pour la résolution des problèmes. Pour la session 2023, le jury note néanmoins une moindre aisance dans la conception des procédures expérimentales lorsque celles-ci ne sont pas entièrement guidées, ainsi qu'un léger recul dans l'interprétation d'un résultat vis-à-vis du système étudié et de la problématique proposée. Le jury invite en conséquence les futurs candidats à porter une attention particulière sur ces deux points lors de leurs deux années de formation.

Ainsi, les prestations réalisées attirent les commentaires suivants :

- les besoins de modélisation et les différentes approches possibles (modèles de connaissance, de comportement, etc.) sont bien appréhendés et permettent ainsi aux candidats d'aboutir à un modèle en cohérence avec un objectif d'autant plus que celui-ci aura été au préalable explicitement défini a priori ;

- la démarche de formulation d'un problème d'ingénieur sous forme algorithmique et sa résolution au moyen des méthodes et des outils du programme de CPGE semble bien intégrée dans la démarche des candidats.

En ce sens, cela montre leur capacité à conceptualiser les problèmes d'ingénieur posés dans l'épreuve.

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 assimilés. Le jury a noté une amélioration du niveau global de ces synthèses qui intègrent généralement une restitution claire et assimilée de la problématique étudiée. Cette synthèse, tout comme les autres aspects de l'épreuve, peut être développée au moyen des conseils donnés dans la suite de ce rapport.

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le jury rappelle aux candidates et 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 les 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 selon l'angle de son organisation et de s'imprégner des attendus.

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

- attelle de mobilisation du genou ;
- bras à retour d'effort ;
- bras asservi pour le contrôle de tubes de générateur de vapeur ;
- bras de pelleuse didactisé ;
- hoverboard ;
- robot d'impression 3D ;
- nacelle gyrostabilisée ;
- robot à câbles ;
- robot caméraman PIXIO ;
- robot delta ;
- robot nettoyeur de vitres ;
- robot porte-endoscope pour chirurgie laparoscopique ;
- slider de caméra ;
- trieuse de pièces ;
- véhicule autonome Park-Lab.

## 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, permettant d'évaluer spécifiquement certaines compétences :

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.

**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'appropriier 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'appropriier et de présenter le support, de dégager son organisation structurelle généralement sous forme de chaînes fonctionnelles d'information et / ou de puissance, etc. ;
- d'évaluer et analyser l'écart éventuel entre un niveau de performances attendu et un niveau de performances mesuré (ou simulé) ;
- de s'appropriier 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 du système ;
- de localiser sur le système les différents constituants associés ;
- de décrire, quand cela est demandé, leur principe de fonctionnement, notamment pour les capteurs les plus classiques en précisant le type de signal de sortie, ses propriétés, etc.

**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 rigoureusement et justifier des hypothèses, à construire ou justifier des modèles, à progresser en autonomie et à critiquer leurs résultats, à proposer et réaliser des protocoles expérimentaux. La démarche proposée est évaluée et les examinateurs interviennent au cours de cette partie en fournissant des informations en vue de faciliter, ou de débloquer si besoin la 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. Il s'agit par exemple de :

- développer 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 ou validation ultérieure ;
  - identification d'un modèle de comportement au regard de réponses expérimentales ;
- développer et mettre en œuvre l'identification expérimentale des paramètres d'un modèle fourni ;
- enrichir et/ou raffiner 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.

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. Le jury s'attache à dissocier l'exactitude des valeurs, voire des équations, trouvées de la cohérence et de la pertinence de la démarche. Les examinateurs évaluent 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 les deux années de formation 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, avec pour ambition de construire progressivement une réponse à la problématique de l'étude. Les candidats ayant pu proposer des éléments de réponse et de modèles différents durant les deux premières parties, les éléments complémentaires sont systématiquement fournis par le jury, si nécessaire, afin de permettre une progression normale dans la troisième partie.

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. Elle doit donc 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) plus particulièrement étudié(s) ;
- 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, 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, du dynamisme des candidats, 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 de la candidate ou 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 à des logiciels de modélisation / simulation de systèmes dynamiques (Scilab) et un langage de programmation informatique (Python). Pour l'utilisation de ces langages et logiciels, un aide-mémoire est systématiquement fourni sous la forme d'un document ressources. Il est rappelé que l'ensemble du programme d'informatique ITC en CPGE peut être utilisé lors de cette épreuve.

Lors des activités faisant appel aux outils de modélisation et de 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, choisir le scénario de simulation en fonction de l'objectif suivi, et exploiter les résultats de simulation.

**Concernant l'outil informatique**, 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 recaler 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 ;
- utiliser ou finaliser un algorithme d'optimisation ou d'apprentissage.

D'une façon générale, la mise en œuvre d'une programmation informatique reste limitée et il s'agit, généralement, de compléter ou de commenter 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`).

Pour la simulation des systèmes dynamiques, l'environnement `Scilab/Xcos` est utilisé et pour les évolutions futures des bibliothèques Python spécialisées pourront être adoptées, notamment pour l'utilisation de l'Intelligence Artificielle.

**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 alors issues des documents fournis, ou obtenues 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 référencée dans les sujets.** Il rappelle en particulier :

- que la documentation fournie a pour but d'aider et guider les candidats (contextualisation, description structurelle et fonctionnelle, procédures de mesure, données techniques...). Les sujets sont rédigés pour pointer, le plus souvent possible, vers les documents ou annexes les plus utiles ;
- que la capacité à extraire, assimiler et utiliser une information technique pertinente est une compétence de base de l'ingénieur ; dans les sujets proposés, il est nécessaire de mettre en œuvre cette capacité, même si elle restera limitée du fait de la contrainte de temps.

En ce sens, il est regrettable que des approches proposées ou des informations fournies (par exemple afin de faciliter la démarche de modélisation ou la réalisation d'un protocole expérimental) ne soient 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 néanmoins depuis la session précédente, 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 examinateurs lors des interrogations ont généralement permis néanmoins de rattraper ces oublis au bénéfice des candidats.

Dans le même ordre d'idée, lors de l'établissement de modèles, certains candidats oublient de donner les hypothèses utilisées et se contentent du résultat. Là aussi, les questions formulées par le jury permettent,

au bénéfice des candidats, d'évaluer l'ensemble du travail effectué. Il convient néanmoins de noter que la rigueur de la démarche et des présentations demeure l'un des aspects évalués dans la prestation orale.

Lors des activités de la première partie, dédiée à la découverte du support et de la problématique, quelques candidats ne prennent pas le temps de présenter **en une ou deux phrases** le système et le contexte sur lequel porte l'étude et abordent 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, première étape dans l'optique d'une prise de recul sur le travail qui sera mené. 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 deuxième 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 les examinateurs, cela fait perdre beaucoup de temps. Un résumé en quelques phrases courtes de l'objectif de l'activité suffit généralement. Une telle attitude dans la progression de l'étude est, de plus, une méthodologie permettant de gagner en prise de recul, et de conserver un esprit synthétique.

Lors des échanges, le jury note que les 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 le jury.

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 réellement une information et à utiliser des schémas/tracés explicatifs (directement sur une feuille si besoin) qui permettent simplement et efficacement d'illustrer les présentations. Si l'utilisation des outils de capture d'écran se généralise et permet de fluidifier les échanges avec l'examineur lors des différentes phases d'interrogation, certains candidats ont tendance à stocker de manière déstructurée tout un ensemble de résultats de mesures ou de simulation et peinent à retrouver le résultat pertinent au moment opportun lors des échanges. Le jury rappelle aux candidats que la réflexion menée pour sélectionner et ordonner les résultats d'intérêt tout au long de l'étude est une des méthodes permettant de prendre le recul nécessaire sur le travail proposé.

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 l'examineur au même titre que les schémas réalisés. 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 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/recaler 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 l'analyse critique de leurs résultats, la cohérence dans leur démarche et, si besoin, leur remise en question d'une façon argumentée. L'échec n'est pas pénalisé si la démarche est cohérente.

Le jury est 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. Ainsi, 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, quand bien même le résultat numérique déterminé serait 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. 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 et également les liens entre la chaîne d'informations et de puissance (alimentation, pré-actionneur, actionneur, transmetteur, effecteur, capteur, 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 ainsi 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 de puissance qui est systématiquement faite sur l'actionneur (quand bien même ce ne soit pas le cas sur un certain nombre de systèmes) ou sur la transmission du mouvement (où, par exemple, le terme générique de « réducteur » revient régulièrement sans réflexion préalable).

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. Le jury a remarqué une augmentation significative et inquiétante du nombre de candidats se contentant de ce vocabulaire approximatif au lieu d'une démarche rigoureuse et quantitative d'analyse des mesures ;
- dans le même ordre d'idée, le jury note souvent un manque de rigueur dans la validation des modèles à partir de comparaisons de résultats de simulation et de mesures. Les indicateurs liés à cette com-



paraison doivent être systématiquement chiffrés (valeurs maximale, finale, dépassement, etc.). Une validation uniquement qualitative du type « on constate que c'est à peu près pareil... » (parfois sur des courbes ayant des échelles différentes...) n'est évidemment pas suffisante ;

- 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, plus encore que lors des sessions précédentes, 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). Ces valeurs erronées proviennent le plus souvent d'une simple erreur dans l'application numérique, alors que l'expression littérale est correcte ; elles traduisent néanmoins 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 des difficultés de 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, ou de justifier la phase d'initialisation du système du fait de la présence de ce composant. 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.

Un manque de recul vis-à-vis des différences entre une courbe théorique et une mesure expérimentale est encore observé pour une partie des candidats, même si ce point est en nette amélioration depuis la session précédente. Ainsi, la présence inévitable de bruit de mesure peut perturber 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.

En automatique :

- le choix ou la justification d'une loi de commande (structure, correcteur, etc.) repose encore souvent et malgré les remarques des sessions précédentes sur des critères trop généraux sur la stabilité, la rapidité et la précision, non étayés à l'aide **d'arguments quantifiés et contextualisés** liés au cas d'étude concerné. La justification peut être argumentée rigoureusement, par exemple, en faisant appel aux

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. ;

- le calcul des correcteurs (PI, avance de phase par exemple) repose souvent sur l'utilisation de relations apprises par cœur, souvent mal utilisées, et sans faire le lien avec les spécifications du cahier des charges du problème traité. Il est rappelé que le jury s'intéresse essentiellement à la démarche dans le calcul de la loi de commande et non pas à la connaissance de formules qui sont rappelées dans le sujet, sans pénalisation, en cas de besoin par l'examineur ;
- 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 n'est pas suffisamment connue ;
- 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 conserver l'intuition liée à la position des pôles et des zéros.

### Modélisation

La modélisation est un besoin fort et indispensable 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 en effet 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, et doit, au contraire et comme rappelé plus haut, être utilisé pour valider la cohérence d'un résultat obtenu ;
- l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique (TEC) pour l'établissement des lois de comportement dynamique, quoiqu'en progression lors de cette session, n'est pas assez maîtrisée. La présence d'une inertie équivalente dans une loi d'évolution doit fortement suggérer, si ce n'est imposer, 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. En particulier, si les inerties ou masses équivalentes sont plutôt assimilées, les couples/forces équivalent(e)s ou coefficients de frottement équivalents posent de nombreux problèmes à beaucoup de candidats. Leur utilisation est pourtant indispensable pour construire le modèle de comportement utilisé pour la conception et la mise au point de l'asservissement 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. Pour beaucoup de candidats néanmoins, un rendement traduit seulement un rapport entre une grandeur d'entrée et une grandeur de sortie (pas nécessairement homogènes) sans se poser de questions sur le lien entre rendement et puissance (en particulier estimer

un rendement lors d'une phase transitoire n'a aucun sens, ce que semblent découvrir de nombreux candidats) ;

- l'utilisation des lois de Coulomb pour la prise en compte du frottement doit toujours être accompagnée d'hypothèses justifiées et validées sur le système étudié.

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 élémentaires 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 TP 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<sup>e</sup> ordre ou 1<sup>er</sup> ordre sous forme canonique) ou la démarche ne sont pas explicitement donnés. La reconnaissance d'un tel type de modèle ou le protocole d'identification expérimentale doivent être maîtrisés. En particulier, l'obtention d'une mesure « faisant penser à un système du premier / second ordre » n'a pas de sens si elle ne s'accompagne pas d'une réflexion sur le stimulus d'entrée qui a conduit à cette mesure au risque de conduire à une démarche complètement erronée, en particulier lors d'essais réalisés en boucle fermée.

Malgré les remarques des sessions précédentes, pour l'identification des constantes de temps d'une fonction du premier ordre, beaucoup de candidats utilisent 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.

#### Utilisation de l'outil informatique

L'utilisation de l'outil informatique, et en particulier de l'optimisation numérique, est devenue indispensable pour l'ingénieur et le jury constate que le niveau des candidats a augmenté lors de cette session sur les méthodes associées. Dans le cadre de l'épreuve :

- lorsque l'optimisation d'un critère est nécessaire, le problème posé aux candidats 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 net 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.

En accord avec les évolutions du programme de CPGE, certaines études menées dans les sujets proposés ont conduit à l'utilisation de techniques d'Intelligence Artificielle. Les questionnements proposés se sont limités à quelques éléments et ont reposé le plus souvent sur l'analyse d'un code informatique et des résultats produits par exemple lors d'un apprentissage à partir d'une base de données fournie. Le jury a noté une disparité compréhensible dans le niveau des candidats pour cette première session intégrant ces aspects. De tels outils continueront, à dose raisonnable, d'être utilisés en fonction de la pertinence de leur utilisation au regard des problématiques abordées dans les sujets.

### Synthèse globale

Les attendus de la synthèse globale de fin d'épreuve et le principe d'une présentation en temps limité faite à un examinateur n'ayant pas suivi l'étude 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.

Lors des présentations effectuées, certains candidats ont tendance à rentrer dans des détails inutiles. 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 de l'évaluation en s'appuyant sur des résultats graphiques et numériques ;
- de travailler le choix du vocabulaire technologique qui doit être mieux maîtrisé ;
- 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.

Un sujet type sera publié au cours du mois de novembre 2023 sur le site du concours CentraleSupélec.

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.