

TP de Sciences Industrielles

1 Objectifs de l'épreuve

L'objectif de cette épreuve est d'évaluer les compétences des candidats dans les domaines de l'analyse et de la mise en œuvre de systèmes ou sous-systèmes réels. Les supports employés pour l'évaluation sont variés et pluri-techniques. Ils permettent ainsi de balayer une grande partie du spectre des enseignements de sciences industrielles de l'ingénieur.

Les problématiques étudiées s'articulent autour des performances attendues/simulées/mesurées des systèmes.

2 Organisation de l'épreuve

2.1 Déroulement

L'épreuve de TP de Sciences Industrielles a eu lieu pour la première année dans les nouveaux locaux de l'ENS Paris-Saclay à Gif-sur-Yvette, au sein du nouveau campus Paris-Saclay. Malgré une année 2020 sans session d'oral, ce changement de lieu, et les contraintes liées à la pandémie de COVID-19, les 18 jours d'interrogation se sont très bien déroulés. Il faut souligner que les candidats ont parfaitement respecté les consignes (port du masque, lavage des mains en entrant sur le lieu d'interrogation par exemple).

L'épreuve de TP de Sciences Industrielles dure 4 heures. Les candidats sont donc évalués sur une demi-journée (matin ou après-midi). Chaque demi-journée, 48 candidats peuvent être évalués en parallèle au sein de 8 jurys. Chaque jury est composé d'un binôme de deux interrogateurs qui évaluent conjointement 6 candidats.

En début de demi-journée, les candidats sont accueillis dans une grande salle où le jury leur rappelle les principales compétences sur lesquelles ils vont être évalués. Ils sont ensuite répartis dans les différents jurys et le déroulement des 4 heures d'interrogation leur est expliqué plus en détail durant quelques minutes.

Chaque candidat est ensuite invité à tirer au sort un support, se rend sur l'espace de travail associé, et peut commencer à travailler.

Dans un premier temps, les candidats sont invités à réaliser une analyse globale du système à partir de leurs observations, de quelques expérimentations simples sur le système lui-même, et à l'aide de différents diagrammes SysML fournis en nombre raisonnable. Les points abordés lors de cette introduction sont :

- les performances attendues et le contexte d'utilisation,
- l'organisation structurelle,
- la description des chaînes d'énergie et d'information.

Dans un deuxième temps, les candidats sont invités à évaluer certaines performances au moyen d'expérimentations judicieusement choisies. En complément de cette démarche expérimentale, les candidats sont amenés à proposer des modèles de comportement puis à les exploiter analytiquement, numériquement à l'aide de logiciels de simulation adéquats (sans que la connaissance de logiciels spécifiques ne soit nécessaire), ou encore à l'aide d'un programme informatique à compléter et exploiter (Python ou Scilab au choix), en vue de parfaire leur compréhension du système, de proposer des évolutions techniques adaptées, de valider un modèle, ou de remettre en question telle ou telle hypothèse de modélisation.

Enfin, tout au long de l'épreuve, les candidats sont invités à synthétiser leurs travaux et à les exposer clairement aux examinateurs. Ceux-ci peuvent alors questionner le candidat pour l'aider à préciser sa démarche et l'amener à remettre en question une hypothèse ou une conclusion qu'il a formulée.

L'organisation de ces interrogations est clairement planifiée de manière à accorder un temps d'échange comparable entre tous les candidats. Il est néanmoins rappelé aux candidats en début d'épreuve qu'ils peuvent interpellier un membre du jury à tout moment, en cas de problème technique par exemple, afin qu'ils ne restent pas bloqués et puissent exprimer tout leur potentiel.

2.2 Les supports proposés

L'organisation des interrogations en 8 jurys parallèles disposant chacun de 6 supports d'interrogation (plus 1 en secours), nécessite l'usage de 56 systèmes techniques instrumentés distincts dont une petite partie est renouvelée chaque année. Bien que chaque candidat soit confronté à un support différent, l'esprit de l'évaluation est commun et les trames d'interrogation ont été conçues pour avoir une longueur et une difficulté homogènes (voir partie 2.3). Les problématiques techniques associées à ces systèmes sont données dans la liste ci-dessous. Il faut noter qu'un même intitulé peut en réalité exploiter deux systèmes différents et que deux intitulés différents peuvent exploiter un support identique.

- Etude des performances cinématiques et dynamiques d'un système de trancannage;
- Etude d'un bras rotatif asservi en position;
- Problématique du positionnement spatial d'une charge suspendue;
- Etude des performances cinématiques et dynamiques d'un berce-bébé motorisé;
- Validation d'un banc de roulement et d'un régulateur de vitesse véhicule;
- Caractérisation des performances d'un système d'étalonnage automatisé;
- Etude d'un axe linéaire asservi en position;
- Etude d'un robot manipulateur d'instruments;
- Validation des performances d'un axe asservi en vitesse;
- Etude d'un système d'assistance automobile;
- Validation des performances d'un ouvre-portail automatisé;
- Étude des exigences d'un système de mise en tension de câble;
- Etude mécanique et dynamique d'un système d'excitation sismique;
- Validation des performances énergétiques et cinématiques d'un pilote de bateau;
- Validation des exigences dynamiques et d'asservissement d'un drone;
- Validation des exigences d'un dispositif haptique;
- Etude des performances des asservissements d'un bras motorisé à 2 axes;
- Validation des performances mécaniques et énergétiques d'un ouvre portail;
- Etude des performances d'un système d'ouvre barrière automatique;
- Etude d'un système d'équilibrage de roues de voiture;
- Etude du pilotage d'une nacelle de prise de vues;
- Etude des performances d'un système de pilotage automatique de bateau;
- Etude comparative des performances de deux mécanismes de suspension;
- Etude du comportement d'un gyromètre au moyen d'une plateforme 6 axes;
- Etude du comportement d'une machine d'essais de traction;
- Validation d'un système de transmission et d'un régulateur de vitesse véhicule
- Etude d'un banc d'essai pour système de transport autonome;
- Etude et performances d'un système de préhension mécanisé;
- Etude et performances d'un système de mesure in situ;
- Etude et performances d'un axe numérique de machine outil;
- Caractérisation des performances énergétiques et géométriques d'un axe de centre d'usinage;
- Etude et performances d'un axe numérique;
- Caractéristiques d'un robot pour la télémanipulation;
- Analyse du comportement d'un système de prise de pièce;
- Caractérisation d'un essai mécanique;
- Vérification des performances d'une imprimante 3D;
- Aptitudes d'une architecture delta pour la fabrication de pièces;
- Etude des performances d'un système de transmission discontinue;
- Modélisation et analyse des performances d'un axe rotatif asservi en position;

2.3 L'outil d'évaluation

Durant les 4 heures d'interrogation, les examinateurs disposent d'une grille d'évaluation pour chaque candidat. Cette grille d'évaluation a été présentée une première fois dans le rapport de la session 2018. Son principe est rappelé dans ce rapport d'épreuve de la session 2021.

La structure de la grille est commune à tous les supports d'interrogation et figée. L'objectif est d'évaluer les candidats, à travers le questionnement qui leur est proposé (activités), selon les compétences suivantes :

- Analyser une réalisation industrielle :
 - Imaginer l'usage du support, les composants qui simulent l'environnement
 - Identifier les composants du système, caractériser les grandeurs mesurables
- Expérimenter
 - Proposer une démarche expérimentale
 - Réaliser les mesures et interpréter les résultats expérimentaux
- Modéliser
 - Proposer un modèle
 - Réaliser les calculs et analyser les résultats
- Analyser les écarts, recalcr, identifier
 - Identifier des paramètres, recalcr le modèle par rapport au réel
 - Conclure sur une performance
 - Remettre en cause les hypothèses, critiquer et faire évoluer le modèle
- Communiquer, agir de façon raisonnée (transversal)
 - Utiliser un vocabulaire scientifique et technologique adapté
 - Utiliser des schémas et graphes de façon adéquate
 - Faire preuve de bon sens pratique

Construction de la grille d'évaluation

Lors de l'élaboration d'un sujet (voir figure 1), les zones colorées en jaunes sont à personnaliser en fonction du support de l'interrogation. Les activités proposées diffèrent d'un support à l'autre, mais l'ensemble des compétences citées précédemment doivent être évaluées à travers le questionnement à des poids comparables. Pour cela, le concepteur du sujet peut jouer sur son questionnement ou/et sur la pondération associée. Le poids relatif des différentes parties est également estimé et doit être relativement uniforme. Dans la phase de conception d'un sujet d'interrogation, la grille est donc un évaluateur de la qualité du sujet. Une fois que la pondération des compétences évaluées par activité est réalisée et validée, la grille peut être utilisée pour l'évaluation des candidats.

Usage de la grille d'évaluation

Dans cette configuration d'évaluation (voir figure 2), seules les notes affectées aux différentes activités ou aux trois compétences plus transversales sont à remplir dans les zones colorées en vert avec une note comprise entre 0 et 3. Un 0 signifie que l'activité n'a pas été comprise ou a été très mal réalisée, un 3 signifiant une très bonne maîtrise de l'activité proposée. Lorsqu'une activité n'est pas traitée par le candidat, aucune note n'est renseignée. Les commentaires généraux ou associés aux différentes parties permettent de justifier la notation, de préciser les éléments qui étaient en cours de développement par le candidat lors du dernier entretien, etc. A tout moment, le candidat peut revenir sur des propos tenus précédemment à l'un ou l'autre des interrogateurs et l'évaluation de l'activité peut être aisément modifiée en conséquence à la hausse ou à la baisse. A l'issue de la session, le dépouillement automatisé de l'ensemble des grilles de notation permet d'établir des statistiques telles que les moyennes par support, les taux de réponse et la qualité des réponses pour chaque activité de chaque support. Ces éléments peuvent servir :

- à dresser un bilan des points positifs et négatifs ressortant de l'ensemble des prestations (voir section 3.2) ;
- à orienter les évolutions futures des supports d'interrogations et des sujets associés.

Libellé du support d'interrogation		Légende des couleurs de fond				
Nom :	Date :	A ne pas modifier				
Prénom :	Heure début :	Spécifique au support d'interrogation				
N° candidat :	Heure fin :	A remplir pendant l'évaluation				
Note retenue /20						
Commentaires généraux du jury:						
		Evaluation sur 4 niveaux				
		Notes				
Organisation du sujet	Liste des activités proposées au candidat	0	1	2	3	
Partie 1 Commentaires	Activité 1			1		0,0275
	Activité 2				1	0,0206
	Activité 3			1		0,0275
	Activité 4			1		0,0137
	Activité 5			1		0,0412
Partie 2 Commentaires	Activité 1				1	0,0515
	Activité 2				1	0,0619
	Activité 3			1		0,0137
	Activité 4	1				0
	Activité 5					0
Partie 3 Commentaires	Activité 1			1		0,0412
	Activité 2				1	0,0206
	Activité 3			1		0,0412
	Activité 4			1		0,0275
	Activité 5					0
Partie 4 Commentaires	Activité 1		1			0,0275
	Activité 2					0
	Activité 3					0
	Activité 4					0
	Activité 5					0
Partie 5 Commentaires	Activité 1				1	0,0206
	Activité 2				1	0,0206
	Activité 3			1		0,0275
	Activité 4			1		0,0275
	Activité 5			1		0,0275
		Manipulations / 15		8,0847		
		Synthèse / 5		2,7778		
Interrogateurs		Note proposée				
Xxxx YYYYY		10,9 /20				
Zzzz TTTTT						

Utiliser un vocabulaire scientifique et technologique adapté	1	1	1	
Utiliser des schémas et graphes de façon adéquate	1	1		2
Faire preuve de bon sens pratique				1
				0
	1	2	2	

Oraux
Banque PT

Grille
d'évaluation

Travaux
Pratiques de
Sciences
Industrielles

Site ENS
Paris-Saclay

Figure 2 – La grille d'évaluation dans la phase d'utilisation - Les interrogateurs évaluent la performance du candidat sur les différentes activités qui lui sont proposées ainsi que les compétences transversales liées à la communication technique ou au sens pratique

2.4 Les outils à disposition des candidats

L'usage de la calculatrice est autorisé pendant l'épreuve. Néanmoins, il est rappelé que les téléphones portables sont interdits et ne peuvent être utilisés comme calculatrice, comme chronomètre, ou enfin comme montre. Par ailleurs, l'usage d'un tableur permettant de réaliser des calculs efficacement ou de tracer des courbes à partir de résultats expérimentaux est autorisé, et même encouragé. Il est déconseillé aux candidats de se former sur des outils de traitement de données non classiques qui, de fait, ne seraient pas forcément disponibles lors de l'interrogation.

3 Bilan de la session 2021

3.1 Statistiques

Sur les 1653 candidats devant passer cette épreuve orale, 1600 se sont présentés (53 absents). Les notes s'échelonnent de 1/20 à 20/20, avec une moyenne de 10,15/20 et un écart-type de 3,4. La figure 3 présente l'histogramme de répartition des notes.

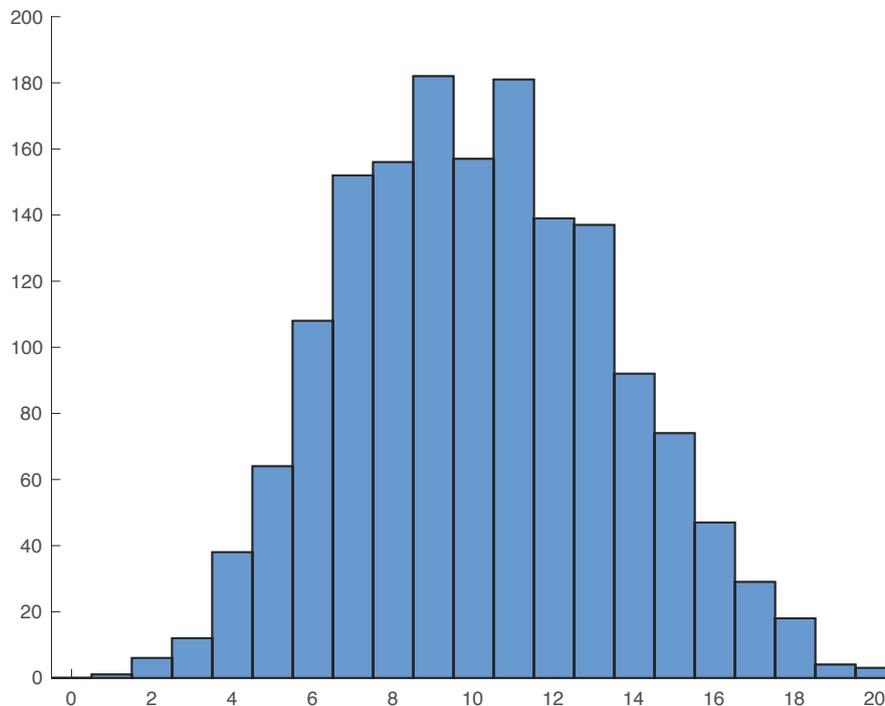


Figure 3 – Histogramme de répartition des notes de la session 2021

3.2 Commentaires et recommandations du jury

Comportement des candidats

Dans la grande majorité, les candidats ont fait preuve d'une motivation visible. Malheureusement, certains se découragent rapidement au fur et à mesure de l'interrogation. Quelques-uns ont même souhaité quitter l'épreuve avant la fin des 4 heures.

Les candidats, dans l'ensemble, s'expriment correctement et font un effort de synthèse lors des exposés réalisés aux examinateurs. Certains sont néanmoins trop lents dans la réalisation de cette synthèse. En cherchant leurs mots, en hésitant, ou au contraire en partant dans de longs discours, ils perdent un temps précieux qui leur permettrait de traiter le sujet de façon plus large.

La moyenne est d'ailleurs en léger recul par rapport à celle de la session 2019, notamment parce que les sujets proposés, bien qu'inchangés dans leur esprit et en longueur, ont été traités moins en profondeur. Cela peut être expliqué par un entraînement moins poussé lors de la préparation dont on sait qu'elle a pu être contrainte ou raccourcie (confinement, enseignement à distance, etc).

Les examinateurs ont de nouveau été surpris d'interroger quelques candidats qui étaient venus sans aucun matériel (pas de trousse, de stylo, de crayon) ou alors avec le strict minimum : un stylo. Le jury rappelle que certes, il s'agit d'une évaluation orale, mais qu'elle nécessite de réaliser des développements écrits, des schémas ou des croquis. De ce fait, il est très fortement conseillé de se présenter à cette épreuve avec :

- crayon à papier, stylo ;
- crayons ou feutres de couleur permettant de réaliser des schémas clairs ;
- règle graduée ;
- calculatrice, puisqu'elle est autorisée et qu'il est indispensable de réaliser des applications numériques.

Les axes de progrès identifiés

- Compétences liées à l'analyse des systèmes :
 - les candidats ne prennent souvent pas le temps de présenter au début de l'interrogation, et en quelques phrases, le système étudié et son contexte d'utilisation;
 - les chaînes d'information et d'énergie sont trop souvent décrites de façon superficielle en citant du vocabulaire appris par cœur, générique, ou lu dans la documentation, mais sans faire le lien avec le système réel;
 - certains candidats manquent cruellement de connaissances technologiques ce qui engendre des confusions surprenantes lors de l'identification des capteurs ou des actionneurs sur le système réel;
 - certains candidats se lancent très rapidement dans l'épreuve en oubliant de parcourir le sujet; ils négligent ainsi des documents ou des explications qui leur permettraient de percevoir la cohérence du sujet et de répondre plus efficacement aux problématiques posées dans celui-ci;
 - les candidats s'appuient trop peu sur les différents diagramme SysML fournis dans le sujet pour étayer leur propos;
 - la notion fondamentale d'isolement d'un système ou sous-système (identification des blocs et des flux entrants/sortants) n'est pas assez maîtrisée;
- Compétences liées à l'expérimentation des systèmes :
 - les candidats ne lisent pas suffisamment en détails les protocoles expérimentaux lorsqu'ils leur sont proposés; certains vont ainsi réaliser des mesures non demandées et perdre du temps; d'autres ne vont réaliser qu'un nombre réduit de mesures, ce qui ne permettra pas de mettre en évidence le comportement recherché; enfin, certains vont demander une aide technique alors que toutes les informations sont clairement données dans le sujet;
 - lorsque le choix de l'échantillonnage d'un paramètre d'entrée est laissé libre, le pas choisi est parfois bien trop grossier ou certains points de mesures sont volontairement écartés car jugés de façon très arbitraires non pertinents;
 - certains candidats se contentent de réaliser des tableaux de données sur un papier alors que la mise en données directe dans un tableur fourni permettrait de gagner du temps, de réaliser des calculs *a posteriori*, et de tracer efficacement les courbes permettant d'analyser puis de conclure;
- Compétences liées à la modélisation et à la résolution :
 - la mise en équation d'un problème de statique ou de dynamique se fait très souvent avec un grand manque de rigueur : les isollements ne sont pas précisés, le bilan des actions mécaniques n'est pas réalisé, si bien que les candidats se contentent d'appliquer des formules ou raisonnements simplistes qui aboutissent à des résultats erronés : le couple est l'effort multiplié par le bras de levier, la puissance est donnée par la force multipliée par une vitesse, une liaison parfaite est supprimée de l'analyse car elle ne transmet aucun effort; pourtant, lorsque le jury aide à proposer une démarche rigoureuse, un bon nombre de candidats sait la développer;
 - la dénomination d'une action mécanique d'un solide sur un autre est rarement précisée; on parle trop souvent d'une force, d'un couple sans plus de précision;
 - les développements cinématiques sont régulièrement peu rigoureux; par défaut, les raisonnements sont souvent scalaires, et le calcul d'une vitesse linéaire se résume alors au produit d'un rayon multiplié par une vitesse de rotation;
 - souvent, les modélisations proposées par les candidats sont 3D et ne tiennent pas compte des particularités du système étudié (mécanisme plan par exemple) malgré les schémas souvent fournis pour aider les candidats; la résolution s'en trouve complexifiée et conduit à une perte de temps importante;
 - la recherche d'une liaison équivalente à un ensemble de liaisons mécaniques est trop souvent faite à partir de règles toutes faites dont la justification n'est pas claire;
- Compétences liées à l'analyse, éventuellement comparative, de résultats de simulation, de calcul, ou d'expériences :
 - la comparaison de résultats issus de l'expérience et d'un modèle est souvent qualitative; trop rares sont les candidats qui comparent ces courbes avec rigueur en se basant sur des critères scientifiques précis;
 - les commentaires associés à un degré d'hyperstatisme obtenu via un modèle sont souvent pauvres (c'est rigide, c'est isostatique, c'est hyperstatique, etc); le modèle cinématique retenu est rarement remis en question et les solutions techniques utilisées pour réaliser les liaisons sont mal analysées;

- l'analyse de la réponse d'un système asservi se fait souvent à partir de discours très théoriques appris par coeur mais dont, encore une fois, le cadre de validité n'est pas précisé; cela conduit les candidats à des erreurs d'interprétation;
- Compétences de communication :
 - quelques candidats peinent à synthétiser leur exposé, sont trop hésitants et perdent donc beaucoup de temps lors des phases de restitution; certains tentent également de répondre aux questions du sujet en temps réel, notamment en fin d'épreuve; sans temps d'analyse et de réflexion, cette démarche pour tenter de glaner des points est généralement improductive, voire pénalisante, et donc déconseillée;
 - à part lorsqu'ils sont explicitement demandés, les candidats n'utilisent pas spontanément les schémas alors qu'ils permettent souvent un gain de temps dans la phase d'échange avec les examinateurs; par ailleurs, la réalisation des schémas ne se fait toujours pas dans le respect des normes ou conduit à des tracés monochromes et/ou de taille très réduite ce qui rend laborieux l'échange avec l'interrogateur;
 - le vocabulaire technique de certains candidats est pauvre et manque de précision;
 - de façon assez fréquente, les candidats lisent trop rapidement le questionnement et oublient de répondre à une ou plusieurs "sous-questions"; cela peut pénaliser leur avancée dans la suite du sujet.

Remarques spécifiques sur la partie informatique

Il est proposé aux candidats d'utiliser Python ou Scilab. Les programmes sont donc fournis dans les deux langages. Néanmoins, l'immense majorité des candidats, pour ne pas dire la totalité, utilise Python.

Dans l'ensemble, le jury constate que la grande majorité des candidats aborde les questions associées à cette partie. Les algorithmes de base (schéma d'intégration par exemple) sont généralement connus, mais l'explication du principe est parfois difficile ou partielle : certains candidats tentent d'appuyer leur discours par un schéma trop souvent brouillon, d'autres se basent sur une formule en ayant du mal à la justifier. Les candidats ne prennent pas toujours assez de recul par rapport au programme fourni pour le commenter autrement que ligne par ligne. Lorsqu'il est nécessaire de lire un fichier texte contenant des données expérimentales, et malgré l'aide fournie dans le sujet, trop de candidats ne respectent pas les consignes élémentaires fournies (localisation du fichier, format, etc) et se pénalisent eux-mêmes en perdant un temps précieux. Lorsqu'une erreur apparaît, les candidats semblent souvent démunis pour analyser le message d'erreur, pour proposer des tests élémentaires, pour trouver son origine précise, et résoudre le problème. Enfin, il faut noter que quelques candidats isolés ne semblent pas du tout connaître les langages Python ou Scilab.

Points positifs et recommandations

Les examinateurs ont apprécié les candidats qui ont su :

- analyser, s'approprier rapidement le support à l'aide des ressources fournies;
- particulariser la présentation de la chaîne fonctionnelle au système étudié en ne se contentant pas de réciter un schéma général préparé à l'avance;
- manipuler un système en respectant les règles de sécurité élémentaires, le solliciter avec pertinence, évaluer des comportements, faire preuve d'esprit d'initiative et de sens pratique, en vue de mettre en évidence un niveau de performance associé à une exigence;
- exposer spontanément le protocole d'essai, le choix des grandeurs imposées lors de l'essai, les dispositions prises pour mettre en évidence un phénomène tout en maîtrisant l'influence d'un autre;
- à partir d'observations, proposer et justifier une modélisation adaptée à une problématique posée;
- proposer des modèles statiques, cinématiques, dynamiques en se basant sur une démarche systématique et claire, sans omettre les hypothèses;
- résoudre rigoureusement les problèmes mathématiques qui découlent des modélisations effectuées, exploiter un modèle numérique fourni ou encore un programme informatique adapté au besoin;
- utiliser avec rigueur leurs connaissances théoriques en vue d'analyser les écarts entre résultats expérimentaux, numériques et analytiques, puis éventuellement remettre en question la modélisation, les hypothèses associées et/ou la démarche de résolution retenues;
- choisir les outils adaptés à la mise en forme rapide des résultats issus d'expériences ou de modèles; par exemple, utiliser un tableur se révèle plus efficace qu'une programmation python mal maîtrisée; de même

stocker proprement des impressions d'écran représentatives des résultats numériques ou expérimentaux obtenus permet une restitution efficace et structurée devant les examinateurs;

- synthétiser et communiquer avec clarté les analyses réalisées, à l'aide notamment d'outils pertinents et d'un vocabulaire scientifique et technique adapté.

Dans l'objectif de se préparer efficacement à cette épreuve de travaux pratiques, le jury recommande à un futur candidat de développer, tout au long des deux années de préparation au concours :

- une méthodologie permettant d'analyser les systèmes pluri-techniques proposés et d'identifier rapidement les problématiques techniques associées;
- une aptitude à gérer son temps d'épreuve en approfondissant certes la réflexion, mais en ne se focalisant pas uniquement sur une question ou une petite partie du sujet;
- une aisance dans la mise en oeuvre et le dépouillement d'activités expérimentales variées;
- un esprit critique lui permettant, en s'appuyant sur des acquis scientifiques et techniques, de prendre le recul nécessaire devant des résultats expérimentaux ou issus de modélisations diverses;
- une culture technique lui permettant de communiquer avec un vocabulaire adéquat et de proposer des évolutions pertinentes au niveau des solutions techniques ou des moyens de fabrication;
- une rigueur dans l'établissement de modèles de comportement, en s'astreignant à poser les problèmes plutôt qu'en se basant sur des formules ou des recettes toutes faites qui conduisent très souvent à des résultats erronés;
- une démarche de recherche et de résolution de bogues lors de l'établissement et le test d'un programme informatique;
- une organisation et un esprit de synthèse lui permettant de conclure relativement sur les problématiques proposées et d'exposer clairement ces conclusions; *a contrario*, le jury déconseille fortement à un futur candidat de se contenter, lorsque le support étudié lors de l'épreuve a déjà été rencontré durant les années de formation, de réciter une leçon correspondant à un scénario qui n'est pas celui qui lui est proposé durant l'interrogation; en ce sens, la mémorisation d'un matériel particulier et d'expérimentations associées ne constitue pas un avantage pour le candidat.