

# S2I

## Présentation du sujet

Cette épreuve a pour objet la robotisation du désherbage mécanique des vignes dans le contexte du développement durable par des véhicules exclusivement électriques, pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre, et capables de suivre le rang de vigne de manière autonome. L'étude proposée s'appuie sur l'un de ceux qui sont aujourd'hui commercialisés, le robot autonome Bakus dont la conception et la réalisation font appel à l'ingénierie des systèmes multi-physiques complexes. Il s'agit d'un quadriporteur, enjambeur de rang, dont chaque roue est motrice et orientable et dont l'autonomie de l'énergie électrique est assurée par des batteries et des panneaux solaires.

Dans ce sujet, l'étude est limitée au désherbage mécanique avec lame décavaillonneuse car il est le plus exigeant vis-à-vis des performances attendues du robot. Ce décavaillonnage, qui consiste à retourner la terre dans la zone « sous le rang » demande un guidage très précis des outils et une dépense énergétique accrue pour vaincre l'effort du sol sur les lames et assurer le mouvement de retrait de ces dernières à l'approche d'un cep qu'il ne faut pas blesser.

La problématique retenue pour ce sujet est la validation des solutions retenues pour suivre le rang de manière autonome et assurer le retrait des lames décavaillonneuses à l'aide d'un actionneur électrique tout en optimisant la consommation énergétique et en respectant les exigences du désherbage mécanique. Le sujet est décomposé en deux parties.

*La première partie* a pour finalité l'élaboration de la consigne de guidage du robot Bakus le long du rang à partir des informations issues des capteurs installés et la vérification des performances du guidage vis-à-vis du désherbage mécanique dans le cas de sols glissants en dévers. Les candidats sont invités successivement à élaborer les lois permettant de générer les consignes d'orientation à envoyer à chacune des quatre roues orientables du robot, afin qu'il puisse se déplacer le long d'un rang de vigne avec la même précision qu'un tracteur piloté par un chauffeur, puis à établir un modèle exploitable décrivant les déplacements du robot Bakus sur un sol naturel, c'est-à-dire en tenant compte d'un éventuel glissement des roues sur le sol lorsqu'il est en dévers (phénomène de dérive latérale et angulaire). Puis, pour justifier le choix du modèle de comportement en déplacement latéral du robot assurant sa convergence à une valeur de consigne, les candidats doivent s'assurer de l'indépendance du modèle cinématique étendu de la vitesse linéaire du robot le long d'un rang de vigne, et du découplage de la gestion des écarts latéraux à celui de la vitesse d'avance. Cette partie se conclut par l'établissement des deux relations qui permettant de déterminer la consigne d'orientation des roues avant et arrière.

*La deuxième partie* du sujet est consacrée à l'estimation de la puissance économisée lors de l'évitement d'un cep par une étude du mécanisme de retrait d'une lame décavaillonneuse, puis au choix d'un actionneur électrique par une étude dynamique pour in fine concevoir une stratégie de commande de ce dernier. Les candidats sont invités successivement à adapter un outil intercep non motorisé utilisé avec les tracteurs traditionnels pour ensuite concevoir un outil avec motorisation électrique pour le robot Bakus. Ils doivent alors choisir un mécanisme de transformation du mouvement qui permette de diminuer d'au moins 15 % la puissance de cette action mécanique lorsque l'outil est en position moyenne de retrait par rapport à sa position déployée. Ils doivent enfin ajouter, dimensionner et commander un actionneur électrique permettant d'assurer le mouvement de retrait et le déploiement de la lame. Cette partie se termine par la validation du pilotage séquentiel de l'actionneur et le choix d'un correcteur pour la boucle de vitesse.

*Deux questions de synthèse* terminent ce sujet. Elles permettent de conclure à propos de l'aptitude du robot Bakus à être capable de désherber mécaniquement sous un rang de vigne à l'aide d'un outil intercep, en respectant les exigences de guidage.

## Analyse globale des résultats

Les prestations des candidats suscitent cette année, de la part du jury, les mêmes remarques générales que celles des années précédentes. Manifestement les rapports, rédigés ces dernières années, pour les candidats et leurs professeurs, n'ont pas eu l'impact attendu sur la préparation en CPGE. Malgré ce constat, le jury reprend les remarques antérieures.

D'une façon récurrente :

- les meilleures notes sont attribuées aux candidats qui montrent de réelles capacités à analyser, modéliser, calculer, critiquer et à communiquer par écrit ;
- les réponses données sans aucune justification, ne sont pas prises en compte par les correcteurs. Les pages de « verbiage écrit » doivent être remplacées par des explications claires et concises ;
- les résultats numériques sans unité sont lourdement pénalisés. Le jury conseille aux candidats de prendre le temps de vérifier l'homogénéité des résultats, de faire les applications numériques lorsqu'elles sont demandées et d'en faire une analyse critique (ordre de grandeur, nombre de chiffres significatifs) ;
- les réponses aux questions confirment la dérive du manque de rigueur dans les raisonnements et dans l'application des théorèmes. Le jury sanctionne bien sûr les fautes dans les formules littérales, mais aussi les manquements ou insuffisances, et les imprécisions ;
- les questions de dynamique mettent en évidence les lacunes de connaissances et de méthodes dans ce domaine. Les candidats ne respectent pas les notations usuelles (absence du repère de dérivation en cinématique, mouvements relatifs non précisés...) et aboutissent régulièrement à des résultats faux ou non homogènes.

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

### De manière générale

Le jury regrette de trouver des copies dont la qualité de présentation n'est pas du niveau attendu pour ce concours. De plus en plus de réponses sont illisibles. Les lettres ne sont pas identifiables en étant mal ou pas du tout formées. Les signes dans les formules ne sont pas reconnaissables. Le jury, cette année encore, a fait beaucoup d'efforts pour déchiffrer les copies. Dans le doute, ces candidats sont sanctionnés par les correcteurs.

Le jury recommande aux candidats d'indiquer le numéro des questions correspondant aux réponses qu'ils développent et de mettre en relief les résultats.

Le jury souligne le nombre d'erreurs de signe anormalement élevé.

Le jury conseille enfin aux candidats de s'appropriier le problème posé avant de se lancer dans les calculs de sa résolution et de respecter la chronologie des questions.

### I Génération des consignes d'orientation des roues avant et arrière pour le guidage du robot

**Q1, Q2.** Une manipulation simple d'angles coplanaires suffisait pour trouver les expressions demandées sans faire de longs développements calculatoires. Ces développements sont trop souvent dus à des problèmes de projection de vecteurs sans identifier la somme algébrique des angles sur la figure. Beaucoup d'erreurs sont liées à l'orientation négative de l'angle sur le schéma de la figure A.

**Q3.** La relation finale est trouvée par une majorité de candidats. La démonstration est, par contre, très souvent mal rédigée ou inexistante.

**Q5.** Parmi les quelques candidats qui évoquent la différence entre codeurs incrémentaux et absolus par la nécessité d'une prise d'origine, trop peu présentent les inconvénients, dans l'application considérée, de la nécessaire prise d'origine. En revanche, de nombreux candidats affirment une meilleure précision pour les codeurs absolus ou que seule la valeur absolue des angles était nécessaire.

**Q7.** Les démonstrations sont souvent très approximatives, notamment par l'intégration hasardeuse par rapport au temps avant la dérivée partielle par rapport à l'espace.

**Q8.** Cette question est assez bien traitée. Cependant, les paramètres du second ordre ne sont pas toujours explicités et la tangente à l'origine n'est pas toujours nulle dans la représentation. Enfin, l'intérêt du facteur d'amortissement pour le système le plus rapide sans dépassement n'est pas toujours évoqué par rapport à l'application étudiée. Beaucoup de candidats cherchent à résoudre l'équation différentielle. Ce n'était pas demandé. Enfin, le jury constate que trop peu de candidats sont capables de passer de l'expression temporelle de l'équation différentielle à sa mise sous forme canonique en faisant apparaître ses caractéristiques : coefficient d'amortissement, gain et pulsation propre.

**Q9.** Cette question a produit beaucoup trop de réponses « automatiques ». Des candidats parlent de 95 % ou de 5 % sans préciser de quoi il s'agit ou en évoquant 5 % d'une valeur nulle. De plus, l'application numérique a été rarement réalisée car peu de candidats connaissent la valeur du temps de réponse réduit pour un coefficient d'amortissement égal à 1.

**Q10.** Dans beaucoup de copies les calculs ne sont pas terminés alors qu'ils étaient bien commencés. Les candidats donnent l'impression de ne pas vouloir poursuivre les développements.

## **II Optimisation énergétique du mouvement de retrait d'une lame décavillonneuse, choix d'un actionneur et conception de sa commande**

**Q11.** Le bouclage géométrique est bien réalisé dans la plupart des copies.

**Q12.** Presque tous les candidats pensent à élever au carré mais beaucoup font des erreurs de calcul.

**Q13.** De façon étonnante, un nombre important de candidats obtient la bonne expression pour l'évaluation de l'écart en puissance, mais se trompe dans l'application numérique, voire ne la fait pas alors qu'il n'y a plus qu'à saisir le rapport de cosinus dans une calculatrice

**Q14.** Le calcul de la projection du moment cinétique ne pose pas de gros soucis, sauf aux candidats qui ne connaissent pas bien l'expression du moment cinétique au centre de gravité et qui se lancent dans de longs calculs. L'expression de l'énergie cinétique est quant à elle bien traitée car la forme est assez classique. Il y a cependant encore des oublis du carré dans l'expression.

**Q15.** Beaucoup de candidats n'ont pas bien appréhendé les mouvements et obtiennent donc une expression incomplète de la vitesse demandée. De plus, la majorité n'a pas su obtenir une expression simple alors que le modèle du mécanisme met seulement en jeu des liaisons pivot dans un mouvement plan. Le jury regrette que de nombreux candidats projettent systématiquement les expressions vectorielles.

**Q16.** L'algorithme de dérivation en Python n'a été que rarement proposé par les candidats ; mais la plupart de ceux-ci l'ont bien traité.

**Q17.** La majorité des fautes semble être des fautes d'étourderie.

**Q18.** Certains candidats éprouvent des difficultés dans la définition d'une puissance des interefforts. Des résultats sont corrects plus par sens physique que par détermination rigoureuse. La manipulation des formules de trigonométrie n'est pas encore naturelle pour de nombreux candidats.

**Q20.** La qualité des réponses est variable. Peu de candidats mènent correctement une démarche rigoureuse d'application du TEC et le cas le plus critique n'est pas bien analysé.

**Q21.** Trop peu de candidats analysent la rapidité nécessaire du vérin. Certains confondent la rapidité du vérin avec la vitesse maximale du robot de  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

**Q22.** Le jury est surpris que l'analyse du graphe d'états ne soit que rarement effectuée et, dans les cas où elle est abordée, ne soit pas correctement réalisée alors que la compréhension du graphe fourni était très abordable. L'échelle des temps n'est que rarement respectée.

**Q23.** Cette question, qui permettait de tester les compétences de conception de la commande d'un système asservi est mal réussie. La FTBO n'a pas été correctement analysée et appréciée de classe 2 par certains candidats ; en effet la chaîne directe comporte deux intégrateurs dont le dernier est extérieur à la FTBO. Cela n'a pas été compris. Extrêmement peu de candidats pensent à exclure le correcteur intégral en analysant l'instabilité consécutive à la présence du double intégrateur dans la Boucle Ouverte.

### III Synthèse

**Q24.** La plupart des candidats se contente d'écrire une demi-page pour décrire l'évolution des courbes, et il est souvent difficile d'en extraire l'information ou le morceau de phrase qui correspond à la réponse attendue. Certaines copies révèlent à cet endroit, que les candidats, à l'aise dans des développements mathématiques, n'ont, en fait, pas réfléchi au système étudié.

**Q25.** Trop de candidats se contentent de réponses vagues et incomplètes. Pour ces questions de lecture de document, les candidats doivent rédiger de manière claire en incluant, d'une part, la mesure lue sur le graphe obtenu par simulation, et d'autre part l'exigence du cahier des charges auquel elle est associée. La mise en évidence des écarts est un des points structurant de la discipline des sciences industrielles de l'ingénieur.

### Conclusion

Les sujets de sciences industrielles pour l'ingénieur sont construits autour d'une problématique industrielle. Découpés en plusieurs parties, ils proposent une progressivité dans la démarche de compréhension du système, d'analyse et de modélisation. Ainsi, les candidats qui papillonnent, en ne traitant pas les problèmes dans l'ordre, éprouvent davantage de difficultés à répondre aux questions. Le jury rappelle tout le bénéfice que les candidats peuvent tirer de la lecture complète du sujet avant de commencer proprement la rédaction.

La validation de l'étude en sciences industrielles pour l'ingénieur est conduite par l'analyse de l'écart entre les performances attendues, données dans le cahier des charges et les performances simulées, calculées au fil des questions. Le jury conseille donc de lire attentivement le cahier des charges pour identifier ces écarts en s'appuyant sur le critère ou le niveau d'exigence demandé. Il attend qu'ensuite les candidats se prononcent sur la pertinence de la solution, analysent ces écarts, en identifient les causes et imaginent des remèdes. Le jury ne peut se satisfaire de réponses superficielles.

Comme chaque année, le jury se réjouit de trouver d'excellentes copies qui sont manifestement le fruit d'un travail soutenu et de compétences affirmées. Par la qualité de leur prestation, ces candidats valident la longueur et l'adéquation de l'épreuve au public visé. Par leur exemple, ils encouragent les futurs candidats et leurs formateurs à persévérer dans la voie de l'excellence de la préparation.

Ces excellentes copies montrent également que, malgré le contexte particulier d'une épreuve de concours, il est possible de rédiger les réponses avec un graphisme clairement lisible et une présentation soignée. Cette capacité n'est pas partagée par tous. Aussi, le jury invite les professeurs de CPGE à exiger un niveau de qualité dans les copies que les étudiants leur remettent au cours des deux années de préparation.