



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
ET DE LA JEUNESSE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : AGREGATION EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Session 2022

Rapport de jury présenté par : Hélène PILLET, professeur des universités
Présidente du concours

Sommaire

Remerciements	3
Résultats statistiques de la session 2022	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	20
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	23
Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	34
Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	39
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	47
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	51
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	56
Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	64
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	69
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	76
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	81

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2022 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 13 juin au 21 juin 2022 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Ces remerciements s'adressent aussi à monsieur le directeur général des Arts et Métiers à Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion préparatoire du 1^{er} décembre 2021.

Résultats statistiques de la session 2022

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis sur liste principale	Admis sur liste complémentaire
503*	32	244**	92***	32	1

*dont 123 candidats à l'agrégation marocaine

** dont 64 candidats à l'agrégation marocaine

*** dont 23 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	18,4
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	8,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	16,3
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	10,3

Avant-propos

La session 2022 de l'agrégation de Sciences Industrielles de l'Ingénieur marque la première session postérieure à la crise sanitaire consécutive à l'épidémie de Covid-19. Les épreuves ont donc pu se dérouler dans des conditions normales. Les candidats ont ainsi pu être évalués pleinement sur leurs compétences expérimentales et sur leur transversalité dans le domaine des Sciences Industrielles de l'Ingénieur conformément aux exigences des jurys.

Dans cet avant-propos, je souhaite insister sur quelques éléments de nature à aider les préparateurs des sessions suivantes et leurs formateurs. Tout d'abord, il est rappelé la forte dimension pédagogique des épreuves d'admission qui répondent au besoin exprimé par la direction générale des ressources humaines. En particulier, cette dernière insiste auprès des présidents de concours de recrutement de professeurs sur la professionnalisation du contenu des épreuves de concours : « *Ainsi, les épreuves d'admissibilité évaluent la capacité du candidat à mobiliser des savoirs et des techniques dans une perspective professionnelle, tandis que les épreuves d'admission évaluent la capacité à élaborer une activité pédagogique à destination des élèves, à investir une situation d'enseignement en tant que futur professeur et à maîtriser des gestes techniques et professionnels* ». Les candidats sont donc invités à se préparer spécifiquement à l'élaboration de séquences pédagogiques en accord avec les programmes d'enseignement. Ensuite, il est vivement recommandé de lire attentivement le contenu du présent rapport de jury ainsi que sur les arrêtés qui décrivent les épreuves et le programme du concours disponible sur le site devenir enseignant.

Enfin, il est indispensable de se préparer aux épreuves orales dès l'inscription au concours en particulier pour l'épreuve de soutenance d'un dossier industrielle qui nécessite une élaboration longue depuis le choix d'un support issu du milieu industrie jusqu'à sa mise en œuvre dans le contexte d'une application pédagogique. Il est regrettable de voir que certains dossiers restent éloignés de problématiques technologiques ou que certaines exploitations pédagogiques sont peu pertinentes, malgré la qualité du support. Les deux épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique sont des épreuves exigeantes qui imposent une préparation importante. Ceux qui enseignent déjà au collège ou au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves.

Compte tenu du coefficient double des épreuves d'admission par rapport à ceux des épreuves d'admissibilité, il est indispensable que les candidats destinent une part importante de leur préparation à ces épreuves. Les candidats doivent veiller à présenter les notions abordées avec exactitude et à mettre en évidence les compétences et connaissances qui seront mobilisées par les élèves en phase d'apprentissage. Chaque épreuve comporte également une dimension professionnelle évaluée au cours de l'entretien qui suit l'exposé du candidat. Elle vise, en rapport avec les attentes d'un concours de recrutement de professeurs, à évaluer « *la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République* ». Si la majorité des candidats réagit correctement aux questions posées à l'oral, il est parfois étonnant de constater que certains d'entre eux ne connaissent pas la structure du système éducatif ou encore les particularités des programmes d'enseignement pourtant largement abordés dans les communications institutionnelles. Ceci ne leur permet pas de se projeter de façon réaliste dans l'exercice de leur futur métier.

Les modalités et les objectifs des épreuves sont rappelés par le directoire du jury au cours de l'accueil avant le début des épreuves d'admission, il est impératif de les respecter pour répondre correctement

aux attendus du jury. En particulier, pour les épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique il est indispensable que le candidat fasse preuve d'une réflexion personnelle à partir du support de travaux pratiques proposé ce qui proscrit l'utilisation de séquences ou de documents prêts à l'emploi déconnectés de ce support. En particulier, il est recommandé aux candidats de limiter l'usage d'internet à son rôle de base documentaire dans l'élaboration d'une séquence pédagogique originale et personnelle. Il est rappelé que **seuls les sites ne nécessitant pas d'identification, indexés et accessibles par tous, sont autorisés**. Enfin, le jury rappelle une nouvelle fois le caractère prestigieux du concours qui impose un comportement et une présentation irréprochables, compatibles avec les circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique d'État.

Cette session 2022 a conduit à l'admission de 32 candidats sur la liste principale et 1 candidat sur la liste complémentaire. Il est à noter une augmentation du nombre de candidates femmes parmi les admissibles : dix cette année. Parmi elles, huit ont été admises dont cinq parmi les dix premières places.

Les candidats admis ont tous plus de 10/20. Le jury félicite les candidats et leurs formateurs.

Les épreuves d'admission ont vu certains candidats progresser de plus de vingt places à l'épreuve orale, ce qui montre l'importance de se préparer à ces épreuves en amont des résultats des épreuves d'admissibilité dont elles sont complémentaires. Cette session a également vu l'admission de certains candidats qui avaient été admissibles les années précédentes, ce qui montre l'importance de persévérer en tenant compte de l'expérience acquise et des remarques du rapport de jury.

Pour conclure cet avant-propos, je souhaite que les informations contenues dans ce rapport aident les candidats à se préparer sereinement et efficacement au concours de l'agrégation de Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Pour cela, je les invite, à nouveau, ainsi que leurs formateurs, à lire de façon approfondie les recommandations du jury afférentes aux différentes épreuves.

Helene PILLET, Présidente du jury

Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session, quelle que soit l'option choisie.

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique automatique.

Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/07/3/s2022_agreg_externer_sii_1_1425073.pdf

Ce sujet porte sur la construction d'un habitat social dans la ville de Nantes par impression 3D multi-matériaux. Cette impression 3D est réalisée à l'aide d'un dispositif de fabrication additive robotisée conçue et brevetée par la société Batiprint3D(TM) et par l'Université de Nantes. Cette technologie innovante a été mise en œuvre pour la première fois lors de la construction d'un prototype de maison nommée « Yhnova(TM) ».



Maison « Yhnova(TM) » terminée

Partie 1 :

Question 1 : Les deux couches extérieures de PU servent de coffrage dans un premier temps puis assurent l'isolation thermique du mur une fois la construction terminée. La mousse est bien « à fonctionnalité évolutive ».

Question 2 : On divise les 51 m linéaire par 4 m soit 13 stations. Il y a en réalité 18 stations de travail, d'une part pour permettre un recouvrement entre les stations de travail et d'autre part pour tenir compte des ouvertures de la maison.

Question 3 : 3 piliers du développement durable : enjeu social, enjeu économique et enjeu environnemental. Les avantages sont les suivants :

Enjeu social : permet, grâce à des coûts moindres, de construire des maisons individuelles pour de l'habitat social ;

Enjeu économique : chantier plus court en temps avec retour sur investissement d'un point de vue énergétique sur le long terme ;

Enjeu environnemental : possibilité de maximiser la surface habitable sans enlever la végétation existante, amélioration de l'isolation thermique, impact carbone réduit.

Partie 2 :

Question 4 : On a : $e = 2.e_s + 2 \cdot \frac{e_{\max} - e_s}{2} + e_b = e_{\max} + e_s + e_b = 340 \text{ mm}$

il faut donc positionner une épaisseur de béton auto plaçant de :

$$e_b = e - e_{\max} - e_s$$

$$e_b = e - e_{\max} - e_s = 340 - 110 - 80 = 150 \text{ mm.}$$

$$\text{Enfin on a : } e = d + 2 \cdot \frac{e_s}{2} \rightarrow d = e - e_s = 340 - 80 = 260 \text{ mm}$$

Les cornières sont placées à 260 mm l'une de l'autre.

Question 5 : Une vitesse d'avance de $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ permet d'obtenir une épaisseur e_s de 80 mm avec une épaisseur $e_{\max} = 80 + 15 + 15 = 110 \text{ mm}$.

Question 6 : Pour le tronçon numéro 2 étudié on est à $h = 3,34 \text{ m}$ et $L = 3,6 \text{ m}$.

$$\text{On a } n = \frac{h_{\min.i}}{h_s} = \frac{3,34}{0,054} = 61,85 \text{ soit } 62 \text{ couches de polyuréthane à déposer.}$$

Avec une vitesse d'avance de $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, il faut 18 secondes pour faire un cordon de 3,6 m soit un temps de coulée de $2 \times 18 \times 62 = 2232$ secondes soit 37 minutes et 12 secondes pour les 2 parois polyuréthane du tronçon numéro 2.

Question 7 : La classe S5 de béton auto plaçant est choisie car on doit aller remplir tous les espaces internes à la mousse qu'il faut absolument bien remplir pour que les qualités de solidité du mur persistent.

Avantages : Absence de vibration pour sa mise en place, facilité et rapidité de la mise en œuvre, amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonores, excellent remplissage des coffrages, béton de qualité et surface plane, régulière, possibilité de bétonner des formes complexes

Inconvénients : Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire et le prix est plus élevé suite aux adjuvants hyper plastifiants.

Question 8 : En remplissant en une seule fois $h_r = h$, la pression hydrostatique est maximale en pied de mur ($z = 0$) $\rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h$.

$p_{\text{maxi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h = 2500 \times 10 \times 3,34 = 83500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} > 50 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow$ le mur ne résiste pas à la pression hydrostatique.

Question 9 : Modèle local : sur chaque élément de surface $dS = dy \cdot dz$ situé autour d'un point M de la paroi s'exerce un effort élémentaire $d\vec{F}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = p(M) \cdot \vec{x} \cdot dy \cdot dz$. Le point M est tel que $\vec{OM} = y \cdot \vec{y} + z \cdot \vec{z}$

avec $y \in \left[-\frac{L}{2}, \frac{L}{2}\right]$ et $z \in [0, h]$. Les lois de l'hydrostatique permettent d'écrire $p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h - z)$

où $\rho_{\text{béton}}$ est la masse volumique du béton ($\rho_{\text{béton}} = 2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), g est l'accélération de la pesanteur ($g \approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) et h la hauteur de béton ($h = 3,34 \text{ m}$).

$$\text{Modèle global : } \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int d\vec{F}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \\ \vec{M}_{B(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} \vec{BM} \wedge d\vec{F}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \end{array} \right\} \text{ où B est un point quelconque.}$$

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int_{(S)} d\vec{F}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int_{(S)} \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot \vec{x} \cdot dy \cdot dz$$

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \vec{x} \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} dy$$

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \vec{x} \cdot \left[h_r \cdot z - \frac{z^2}{2} \right]_0^{h_r} \cdot L \rightarrow \vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{h_r^2}{2} \cdot L \cdot \vec{x}$$

Question 10 : Le point pour lequel le moment résultant est nul est dans le plan (O, \vec{x}, \vec{y}) . Calcul du moment résultant pour un point Q appartenant au plan (O, \vec{x}, \vec{y}) :

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \int_{(S)} \overrightarrow{QM} \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot \vec{x} \cdot dy \cdot dz$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \int_{(S)} (\overrightarrow{QO} + \overrightarrow{OM}) \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot \vec{x} \cdot dy \cdot dz$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \int_{(S)} (-z_Q \cdot \vec{z} + y \cdot \vec{y} + z \cdot \vec{z}) \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot \vec{x} \cdot dy \cdot dz$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \int_{(S)} (-\rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot y \cdot \vec{z} \cdot dy \cdot dz + \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot (z - z_Q) \cdot \vec{y} \cdot dy \cdot dz)$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = -\rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \vec{z} \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} y \cdot dy + \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \vec{y} \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot (z - z_Q) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} y \cdot dy$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \vec{y} \cdot \int_0^{h_r} (h_r \cdot z - h_r \cdot z_Q - z^2 + z \cdot z_Q) \cdot dz$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \vec{y} \cdot \left[h_r \cdot \frac{z^2}{2} - h_r \cdot z_Q \cdot z - \frac{z^3}{3} + \frac{z^2}{2} \cdot z_Q \right]_0^{h_r}$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_r^3}{2} - h_r^2 \cdot z_Q - \frac{h_r^3}{3} + \frac{h_r^2}{2} \cdot z_Q \right) \cdot \vec{y}$$

$$\overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_r^3}{6} - \frac{h_r^2}{2} \cdot z_Q \right) \cdot \vec{y} \rightarrow \overrightarrow{M_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})}} = \vec{0} \text{ pour } z_Q = \frac{h_r}{3}$$

Question 11 : Portion 1 $z_M \in [0, z_Q]$: on a $\{\tau_{\text{cohésion}}\} = \{\mathbf{F}_{\text{ext, supprimée}}\}$ avec :

Effort tranchant : $T_x = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}$

Moment de flexion : $M_{fy} = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot (z_Q - z)$

Question 12 : Équation de la déformée : $E \cdot I_y \cdot \frac{d^2 \lambda_1}{dz^2} = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot (z_Q - z)$

$$E \cdot I_y \cdot \frac{d \lambda_1}{dz} = -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q - z)^2 + C_1$$

$$E \cdot I_y \cdot \lambda_1 = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q - z)^3 + C_1 \cdot z + C_2$$

Question 13 : Portion 2 $z_M \in [z_Q, z_A]$: On a $\{\tau_{\text{cohésion}}\} = \{\mathbf{F}_{\text{ext, supprimée}}\}$ avec :

Effort tranchant : $T_x = 0$

Moment de flexion : $M_{fy} = 0$

Équation de la déformée : $E \cdot I_y \cdot \frac{d^2 \lambda_2}{dz^2} = 0 \rightarrow E \cdot I_y \cdot \frac{d \lambda_2}{dz} = C_3 \rightarrow E \cdot I_y \cdot \lambda_2 = C_3 \cdot z + C_4$

Conditions limites :

$$z = 0 \rightarrow \lambda_1 = 0 \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = 0$$

$$z = z_Q \rightarrow \frac{d\lambda_1}{dz} = \frac{d\lambda_2}{dz} \text{ et } \lambda_1 = \lambda_2$$

Calcul des constantes d'intégration :

$$z = 0 \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = 0 \rightarrow -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2 + C_1 = 0 \rightarrow C_1 = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2$$

$$z = 0 \text{ et } \lambda_1 = 0 \rightarrow \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3 + C_2 = 0 \rightarrow C_2 = -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3$$

$$z = z_Q \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = \frac{d\lambda_2}{dz} \rightarrow C_3 = C_1$$

$$z = z_Q \text{ et } \lambda_1 = \lambda_2 \rightarrow C_1 \cdot z_Q + C_2 = C_3 \cdot z_Q + C_4 \rightarrow C_4 = C_2$$

Question 14 : Flèche en A : $E \cdot I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2 \cdot h - \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3$

$$E \cdot I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3h - z_Q)$$

Question 15 : AN de : $E \cdot I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3h - z_Q)$ (question 11) avec

$$R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{h_r^2}{2} \cdot L \text{ (question 9) et } h_r = 3 \cdot z_Q \text{ (question 10).}$$

$$R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{9 \cdot z_Q^2}{2} \cdot L = 2500 \times 10 \times \frac{9 \cdot z_Q^2}{2} \times 3,6 = 405000 \cdot z_Q^2$$

$$7 \cdot 10^6 \times 0,156 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^{-2} = \frac{405000 \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3 \times 3,34 - z_Q)$$

Par dichotomie (ou à la machine à calculer) on trouve $z_Q = 0,094$ m afin d'obtenir une flèche de 5 cm en bout de mur. $z_Q = 0,094$ m \rightarrow $h_r = 0,284$ m.

Pour $h_r = 0,284$, la pression hydrostatique est maximale en pied de mur ($z = 0$)

$\rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h_r = 2500 \times 10 \times 0,284 = 7100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} < 50 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow$ le mur résiste dans ces conditions à la pression hydrostatique.

Question 16 : Graphiquement on voit que la loi $U_1 = f(T)$ est linéaire. On lit 48 mV pour 1200 °C. La

pende de la droite vaut $K_{\text{th}} = \frac{48}{1200} = 0,04 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (c'est la sensibilité du capteur).

Question 17 : Graphiquement on lit : $N_{(10)} = 290$ soit $U_4 = \frac{290 \times 5}{1024} = 1,41 \text{ V}$

→ $U_1 = 1,41 \text{ mV}$ (amplification de 1000)

→ $T^\circ\text{C} = \frac{1,41}{0,04} = 35,25 \text{ }^\circ\text{C} < 50^\circ\text{C}$ du cahier des charges → pas de problème lié à l'hydratation du ciment.

Question 18 : E23 : Ajout couche PU mur intérieur

E25 : Temporisation pour ajout entretoises

E27 : Remplissage béton

Condition 1 : $n_{\text{strate}} = 6$

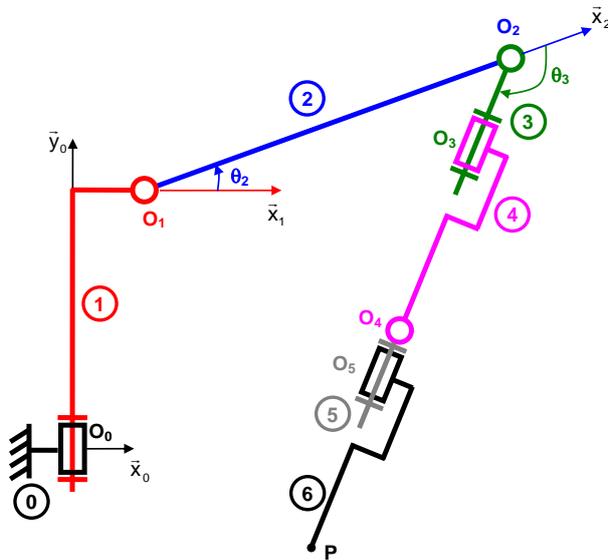
Condition 2 : $n_{\text{strate}} < 6$ ou $n_{\text{strate}} \neq 6$

E24 : Ajout couche PU mur extérieur

entry / $n_{\text{strate}} = n_{\text{strate}} + 1$

Partie 3 :

Question 19 :



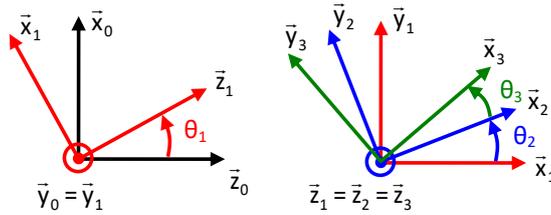
Question 20 : On veut trouver h_0 tel que $\vec{OP} \cdot \vec{y}_0 = 0,2 \text{ m}$

$$\vec{OP} \cdot \vec{y}_0 = h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_2) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2$$

$$\text{AN : } h_0 = -0,55 - 0,825 \cdot \sin(20) - (0,2 + 0,425 + 0,11 + 0,39) \cdot \sin(20 - 132,2) + 0,2$$

$$h_0 = 0,4094 \text{ m.}$$

Question 21 : **Modèle géométrique direct :**



$$\overrightarrow{OP} = d_c \cdot \vec{x}_0 + 0,2 \cdot \vec{y}_0 + d_c \cdot \tan \theta_1 \cdot \vec{z}_0 = \overrightarrow{OO_0} + \overrightarrow{O_0O_1} + \overrightarrow{O_1O_2} + \overrightarrow{O_2P}$$

$$\overrightarrow{OP} = h_0 \cdot \vec{y}_0 + a_1 \cdot \vec{x}_1 + b_1 \cdot \vec{y}_0 + a_2 \cdot \vec{x}_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \vec{x}_3$$

$$\overrightarrow{OP} = h_0 \cdot \vec{y}_0 + b_1 \cdot \vec{y}_0 + a_1 \cdot \vec{x}_1 + a_2 \cdot (\cos \theta_2 \cdot \vec{x}_1 + \sin \theta_2 \cdot \vec{y}_1) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \vec{x}_1 + \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \vec{y}_1)$$

$$\overrightarrow{OP} = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \vec{x}_1 + (h_0 + b_1) \cdot \vec{y}_0 + (a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \vec{y}_1$$

$$\overrightarrow{OP} = \begin{cases} (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \cos \theta_1 = d_c \\ h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 \\ b_0 - (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \sin \theta_1 = d_c \cdot \tan \theta_1 \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 \\ -(a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) = d_c \cdot \frac{\tan \theta_1}{\sin \theta_1} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 & (1) \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 & (2) \\ a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = -\frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 & (3) \end{cases}$$

Sur ce problème θ_1 est imposé et comme la 3ème équation du système ci dessus est linéairement dépendante de la 1ère équation, on peut alors substituer dans le système cette 3ème équation par la 1ère équation pour la résolution à venir.

$$\rightarrow \begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 \\ a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \end{cases}$$

Question 22 : Dans le triangle OEA rectangle en E on a $\theta_1 = -\arctan \frac{1,8}{0,5} = -74,5^\circ$ et après AN on

obtient si on ne conserve finalement que les équations (1) et (2) de la question précédente :

$$\begin{cases} 0,825 \cdot \cos \theta_2 + 1,125 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = 1,72 \\ 0,825 \cdot \sin \theta_2 + 1,125 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = -0,76 \end{cases}$$

→ ce qui donne bien le système de 2 équations demandé.

$$\text{Question 23 : } \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{O_0 P} \Big|_0 = \frac{d}{dt} a_1 \cdot \bar{x}_1 + b_1 \cdot \bar{y}_1 + a_2 \cdot \bar{x}_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \bar{x}_3 \Big|_0$$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = -a_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \bar{z}_1 + a_2 \cdot \frac{d}{dt} \bar{x}_2 \Big|_0 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \frac{d}{dt} \bar{x}_3 \Big|_0$$

$$\text{avec } \frac{d}{dt} \bar{x}_2 \Big|_0 = \frac{d}{dt} \bar{x}_2 \Big|_2 + \overrightarrow{\Omega_{2/0}} \wedge \bar{x}_2 = (\dot{\theta}_1 \cdot \bar{y}_1 + \dot{\theta}_2 \cdot \bar{z}_2) \wedge \bar{x}_2 = -\dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot \bar{z}_1 + \dot{\theta}_2 \cdot \bar{y}_2$$

$$\text{et } \frac{d}{dt} \bar{x}_3 \Big|_0 = \frac{d}{dt} \bar{x}_3 \Big|_3 + \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \bar{x}_3 = (\dot{\theta}_1 \cdot \bar{y}_1 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \bar{z}_3) \wedge \bar{x}_3 = -\dot{\theta}_1 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \bar{z}_1 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \bar{y}_3$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = & -(a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \bar{z}_1 + a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \bar{y}_2 \\ & + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \bar{y}_3 \end{aligned}$$

Question 24 : La vitesse d'avance s'écrit : $V_A = \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\bar{z}_0) = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\bar{z}_0) = & (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_0 - a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{z}_0 \\ & - (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \bar{y}_3 \cdot \bar{z}_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\bar{z}_0) = & (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 - a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \theta_1 \\ & - (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin \theta_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\bar{z}_0) = & (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 \\ & - (a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \sin \theta_1 \end{aligned}$$

Question 25: On a $10^\circ \cdot \text{s}^{-1} \ll 200^\circ \cdot \text{s}^{-1}$. En supposant que les amplitudes et vitesses angulaires des autres axes sont dans le même ordre de grandeur, on peut conclure que le robot est largement capable d'assurer cinématiquement la vitesse de dépose du cordon de PU.

Question 26 : Le cas le plus pénalisant est lorsque le bras est à l'horizontale. On suppose par ailleurs qu'il n'y a aucun aspect dissipatif dans cette portion de chaîne mécanique.

On isole l'ensemble 2+3+4+5+6 et on applique le PFS. TMS en O_1 suivant l'axe \vec{z}_1

$$C_{12} = m_2 \cdot g \cdot \frac{a_2}{2} + m_3 \cdot (a_2 + \frac{a_3}{2}) + m_4 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + \frac{a_4}{2}) + m_5 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + a_4 + \frac{a_5}{2}) \\ + m_6 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + \frac{a_6}{2})$$

AN :

$$C_{12} = 10 \times (70 \cdot \frac{0,825}{2} + 20 \cdot (0,825 + \frac{0,2}{2}) + 30 \cdot (0,825 + 0,2 + \frac{0,425}{2}) + 10 \cdot (0,825 + 0,2 + 0,425 + \frac{0,11}{2}) \\ + 50 \cdot (0,825 + 0,2 + 0,425 + 0,11 + \frac{0,39}{2})) = 1873 \text{ N.m}$$

$$C_{m12} = C_{12} \times r = \frac{1873}{100} = 18,7 \text{ N.m}$$

Question 27 : Précision angulaire coté moteur : $\frac{360^\circ}{2^{10}} = 3,5 \cdot 10^{-1} \text{ }^\circ \cdot \text{impulsion}^{-1}$

Donc coté bras : précision = $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ \cdot \text{impulsion}^{-1}$

En bout de bras (longueur 2,1 m) : précision = $3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 2,1 = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Largement suffisant pour la précision nécessaire pour couler le béton auto plaçant ou la mousse expansive (expansion pas toujours extrêmement régulière).

Question 28 : On obtient $\omega_m = \frac{\omega}{p}$ et donc pour la vitesse maximale de $349 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ correspondant à une vitesse de $200^\circ \cdot \text{s}^{-1}$, on obtient sachant que $p = 4$: $f_{\max} = 222 \text{ Hz}$

Question 29 : On écrit d'abord la loi des mailles : $\underline{V} = R \cdot \underline{I} + j \cdot X \cdot \underline{I} + \underline{E}$

Diagramme de Fresnel : triangle rectangle pour $\psi = 0$. $V = \sqrt{(E + R \cdot I)^2 + (X \cdot I)^2}$

Le réglage de l'angle à 0 permet d'obtenir le couple maximal et de limiter la valeur du courant dans les bobinages.

Question 30 : Valeur du courant : $C_{em} = K_T \cdot I$ donc $I = \frac{C_{em}}{K_T} = \frac{20}{2,4} = 8,33 \text{ A}$

Pour déterminer la tension, il faut connaître E , ω et ω_m :

Le bras a une vitesse de $1 \text{ }^\circ \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow$ le moteur a donc une vitesse de $100 \text{ }^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ soit $1,745 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

et une pulsation $\omega = 4 \times 1,745 = 6,98 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

$$E = K_E \cdot \omega_m = 0,8 \times 1,745 = 1,4 \text{ V}$$

$$\rightarrow V = \sqrt{(E + R \cdot I)^2 + (X \cdot I)^2} = \sqrt{(1,4 + 0,25 \times 8,33)^2 + (1,15 \cdot 10^{-3} \times 6,98 \times 8,33)^2} = 3,48 \text{ V}$$

On a donc un courant sinusoïdal avec une valeur $I_{\max} = 8,33 \cdot \sqrt{2} = 11,8 \text{ A}$ et une période $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 0,9 \text{ s}$.

Question 31 : Le moteur est donc capable de respecter les contraintes de couple et de vitesse pour diriger convenablement la tête de dépose dans cette application à vitesse lente.

Question 32 : Le lidar tourne dans le sens horaire.

$$d = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \text{ avec } c \text{ célérité de la lumière } 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

On obtient alors $\Delta t = \frac{2 \cdot d}{c}$, soit $\Delta t = 38,9 \text{ ns}$.

Question 33 : On transmet $5 \times (1+8+1) = 50$ bits en $435 \mu\text{s}$ environ d'où un débit de $114942 \text{ bits}\cdot\text{s}^{-1}$ environ aux erreurs de lecture près débit normalisé de la transmission : $115\,200 \text{ bits}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 34 : Pour la 1^{ère} mesure :

$$\text{angle} = 0010\,0000\,0010\,010 = 4114, \text{ d'où } \theta_1 = \frac{4114}{64} \text{ soit } \theta_1 = 64,28125^\circ$$

$$\text{distance} = 0000\,0010\,0100\,1010 = 586, \text{ d'où } d_1 = \frac{586}{4} \text{ soit } d_1 = 146,5 \text{ mm}$$

Question 35 : Pour la 2^{ème} mesure :

$$\text{angle_q6} = 0010\,0000\,1011\,010 = 4186, \text{ d'où } \theta_2 = \frac{4186}{64} \text{ soit } \theta_2 = 65,40625^\circ$$

On en déduit que le lidar a fait $1,125^\circ$ en $500 \mu\text{s}$.

Donc le temps mis par le LiDAR pour faire un tour est de $\frac{360}{1,125} \times 500 \cdot 10^{-6} = 160 \cdot 10^{-3} = 160 \text{ ms}$, soit une

fréquence de $\frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ Hz}$ correspondant à une vitesse de rotation de $6,25 \text{ tours}\cdot\text{s}^{-1} = 375 \text{ tours}\cdot\text{min}^{-1}$

$$^1 = 2250^\circ \cdot \text{s}^{-1}.$$

Le lidar permet donc de connaître l'emplacement exact de l'AVG par rapport aux mires et de corriger éventuellement le programme de déplacement des buses.

Partie 4 :

Question 36 : La température ne dépend pas de y et z. On considère les symétries. On travaille avec un mur « infini ».

Question 37 : On a $R_{\text{béton}} = \frac{e_b}{\lambda_{\text{béton}} \cdot S_{\text{mur}}}$ et $R_{\text{pu}} = \frac{e_s}{\lambda_{\text{pu}} \cdot S_{\text{mur}}}$

Les couches de matériaux sont en série $R_{\text{mur}} = R_{\text{béton}} + 2 \cdot R_{\text{pu}} = \frac{e_b}{\lambda_{\text{béton}} \cdot S_{\text{mur}}} + 2 \cdot \frac{e_s}{\lambda_{\text{pu}} \cdot S_{\text{mur}}}$

$$\text{AN : } R_{\text{mur}} = \frac{0,15}{1,65 \times 3,6 \times 2,5} + 2 \cdot \frac{0,08}{0,025 \times 3,6 \times 2,5} = 0,72 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{mur}} = \frac{e}{R_{\text{mur}} \cdot S_{\text{mur}}} \rightarrow \lambda_{\text{mur}} = \frac{0,31}{0,72 \times 3,6 \times 2,5} = 0,048 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Question 38 : En régime stationnaire on a : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

$$\text{div}(\overrightarrow{\lambda \cdot \text{grad}(T)}) = \lambda_{\text{mur}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$$

On intègre 2 fois : $\frac{\partial T}{\partial x} = a$ et $T = a \cdot x + b$

Conditions initiales : $x = 0 \rightarrow T = T_{\text{int}}$ et $x = e \rightarrow T = T_{\text{ext}}$

$$\rightarrow x = 0 \rightarrow b = T_{\text{int}}$$

$$\rightarrow x = e \rightarrow T_{\text{ext}} = a \cdot e + T_{\text{int}} \rightarrow a = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e}$$

\rightarrow Le champ de température en régime stationnaire est de la forme : $T = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e} \cdot x + T_{\text{int}}$

$$\text{Question 39 : } \phi = \int_S -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}(T)} \cdot dS \cdot \vec{x} \rightarrow \phi = -\lambda_{\text{mur}} \cdot \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e} \cdot S_{\text{mur}}$$

Avec $T_{\text{ext}} - T_{\text{int}} < 0$ le flux va de l'intérieur vers l'extérieur, cela correspond bien à une dispersion vers l'extérieur.

$$\text{AN : } \phi = -0,048 \cdot \frac{273,15 - 293,15}{0,31} \times 3,6 \times 2,5 = 27,9 \text{ W}$$

soit $3,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} < 4,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ Ce qui fait un flux thermique 33% plus faible que la valeur minimale imposée.

Question 40 : Sur le modèle multiphysique le flux est de 26,75 W, l'écart est dû à la prise en compte de la convection au niveau entre l'air et les murs intérieurs et extérieurs.

Question 41 : Pour $L = 3,6 \text{ m}$, on a d'après la simulation 26,75 W de déperditions, il faudrait donc à priori un apport de chauffage de 26,75 W. Pour les 51 m linéaires, il faudrait donc une puissance de

$$\text{chauffe de } 26,75 \times \frac{51}{3,6} \approx 379 \text{ W.}$$

L'approche est relativement limitée car dans la maison, les déperditions plus importantes auront lieu au niveau des ouvrants et de la toiture en fonction des matériaux et des ponts thermiques. Le renouvellement d'air peut également influencer mais une VMC double flux pourra limiter ces pertes.

Question 42 : $\Delta x = \frac{e}{N+1}$ et $x_i = i \cdot \Delta x$.

$\Delta x = \frac{e_s}{8} = 10$ mm pour discrétiser le polyuréthane en 8 pas d'espace.

Question 43 : L'équation de la chaleur discrétisée est $\frac{T_{i+1}^k + T_{i-1}^k - 2 \cdot T_i^k}{(\Delta x)^2} = \frac{\rho \cdot C}{\lambda} \cdot \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t}$

$$\rightarrow \frac{\lambda \cdot \Delta t}{\rho \cdot C \cdot (\Delta x)^2} \cdot (T_{i+1}^k + T_{i-1}^k - 2 \cdot T_i^k) = T_i^{k+1} - T_i^k$$

$$\rightarrow r \cdot T_{i+1}^k + r \cdot T_{i-1}^k - 2 \cdot r \cdot T_i^k = T_i^{k+1} - T_i^k \text{ si on pose } r = \frac{\lambda \cdot \Delta t}{\rho \cdot C \cdot (\Delta x)^2}$$

$$\rightarrow T_i^{k+1} = r \cdot T_{i+1}^k + r \cdot T_{i-1}^k + (1 - 2 \cdot r) \cdot T_i^k$$

Cette expression n'est valide que si T_i^k existe $\rightarrow (1 \leq i \leq N)$.

T_0^k et T_{N+1}^k correspondent aux conditions limites : $T_0^k = T_{int}$ et $T_{N+1}^k = T_{ext}$

Question 44 : Le schéma numérique converge si $r = \frac{\lambda \cdot \Delta t}{\rho \cdot C \cdot (\Delta x)^2} \leq 0,5 \rightarrow \Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho \cdot C \cdot (\Delta x)^2}{\lambda}$

Dans le cas du polyuréthane : $\Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho_{pu} \cdot C_{pu} \cdot (\Delta x)^2}{\lambda_{pu}} = 0,5 \cdot \frac{40 \times 1760 \times 0,008^2}{0,025} = 90,1$ s

Dans le cas du béton : $\Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho_{béton} \cdot C_{béton} \cdot (\Delta x)^2}{\lambda_{béton}} = 0,5 \cdot \frac{2500 \times 880 \times 0,008^2}{1,65} = 42,6$ s

En discrétisant les $5 \times 24 \times 3600$ s de temps simulation en 14400 pas de temps on a

$$\Delta t = \frac{5 \times 24 \times 3600}{14400} = 30 \text{ s} < 66,7 \text{ s} \rightarrow \text{il y aura convergence.}$$

Question 45 et question 46 :

...

```
27 def schema_explicite(Nd,M,Tint,Text,r):
```

```
28 # Initialisation du tableau T
```

```
29 T=zeros((Nd,M))
```

```
30 # Conditions initiales et limites
```

```
31 for x in range(0,Nd):
```

```
32     T[x][0]=Tint
```

```
33 for t in range(0,M):
```

```
34     T[0][t]=Tint
```

```

35      T[Nd-1][t]=Text
36
37      # Schéma numérique explicite
38      for k in range(0,M-1): # boucle discrétisation temporelle
39          for i in range(1,Nd-1): # boucle discrétisation spatiale
40              T[i][k+1]=T[i][k]+r*T[i+1][k]-2*r*T[i][k]+r*T[i-1][k]
41      return T

```

Question 47 : Les performances de la maison avec murs différents sont en moyenne 5% au-dessus de celle de la maison Yhnova^(TM). Elle se comporte plutôt bien vis à vis de la RT2012 même si l'amélioration de la performance du Tic est en dessous des 2 autres.

	Maison Yhnova ^(TM)	Maison murs différents	RT2012
Bbio ([1])	-43% / RT2012	+5% / Yhnova	60
Cep (kWh _{ep} ·m ⁻² ·an ⁻¹)	-34% / RT2012	+5% / Yhnova	50
Tic (°C)	-8% / RT2012	+5% / Yhnova	31,8

Partie 5 :

Question 48 : Le robot respecte bien l'ensemble des exigences imposées :

- assurer les performances géométriques et cinématiques attendues lors de la dépose du matériau (exigence 1.2.1) ;
- système robotisé choisi est capable de supporter le surplus de masse amené par la tête de dépose placée en bout de bras afin de valider l'exigence 1.2.2 ;
- peut se repérer dans l'espace (exigence 1.1.1).

Limite : la hauteur puisque le bras a une longueur maximale dépliée et il faut une intervention humaine pour changer de buse.

Pour améliorer le temps avoir peut-être deux têtes simultanées sur 2 bras plutôt qu'un bras avec tête interchangeable et avoir une plus grande longueur de bras disponible.

Question 49 : Afin de respecter la topologie et la nature environnante, la forme de la maison s'adapte aux emplacements des arbres et à la topologie du terrain, ce qui permet de gagner des m² par rapport à une construction plus classique. En gérant convenablement l'inclinaison des ouvertures par rapport aux constructions voisines, on peut facilement limiter le vis-à-vis. On limitera l'impact environnemental puisqu'on garde la végétation, que le chantier sera beaucoup plus court avec peu de déchets et moins de nuisances sonores pour le voisinage. De plus, la qualité de l'isolation permettra au bailleur social un gain économique important sur le long terme.

Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Le sujet se focalise principalement sur les murs de la maison et le robot d'impression 3D utilisé pour les élévations des murs de la maison. Les différentes parties proposent de vérifier plusieurs des exigences du cahier des charges de la maison et du robot d'impression :

- exigence 1.20.3.1 « utiliser une technique d'impression multi-matériaux à fonctionnalité évolutive » ;
- exigence 1.20.3.1.1 « élever avec précision les murs » ;
- exigence 100.10 « respecter la réglementation thermique RT2012 » ;
- exigence 100.20 « respecter les caractéristiques dimensionnelles » ;
- exigence 100.3.1 « respecter les caractéristiques d'une strate en mousse » ;
- exigence 100.30.2 « respecter les caractéristiques du béton autoplaçant » ;
- exigence 1.2 « déplacer les buses de dépose de la mousse ou du béton pour suivre une trajectoire définie » ;
- exigence 1.1.1 « se repérer dans l'espace avec précision ».

Bien que les 5 parties du sujet soient indépendantes, il était conseillé de traiter ce sujet dans l'ordre.

L'objectif de la partie 1 est d'analyser l'environnement de l'étude et de mettre en évidence l'intérêt d'une technique d'impression à fonctionnalité évolutive sur ce projet de construction afin de valider l'exigence 1.20.3.1.

Les objectifs de la partie 2 sont :

- de valider le principe de fabrication retenu pour l'élévation des murs (exigences 1.20.3.1.1 « élever avec précision les murs », 100.20 « respecter les caractéristiques dimensionnelles » et 100.20.1 « respecter les caractéristiques liées à la fabrication du mur ») ;
- de définir les conditions de mise en œuvre à imposer lors des phases opérationnelles sur le chantier (exigences 100.30.2 « respecter les caractéristiques du béton autoplaçant » et 100.30.1 « respecter les caractéristiques d'une strate en mousse PU »).

Les objectifs de la partie 3 sont, pour une station de travail de la maison (station n°2) :

- de vérifier que le système robotisé permet d'assurer les performances géométriques et cinématiques attendues lors de la dépose du matériau (exigence 1.2.1) ;
- de vérifier que la motorisation du système robotisé choisi est capable de supporter le surplus de masse amené par la tête de dépose placée en bout de bras afin de valider l'exigence 1.2.2 ;
- de vérifier que le robot peut se repérer dans l'espace (exigence 1.1.1).

Les objectifs de la partie 4 sont :

- de mettre en place les modèles permettant d'évaluer les pertes thermiques sur les murs ;
- de valider le choix d'isolation et le principe de fabrication innovant des murs ;
- de valider finalement les performances thermiques globales de la maison vis-à-vis de la Réglementation Thermique 2012 (exigence 100.10)

Enfin l'objectif de la partie 5 était de conclure en effectuant une synthèse sur le travail réalisé.

Analyse globale des résultats

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- la première partie d'ordre général était accessible à l'ensemble des candidats. Elle a d'ailleurs été abordée par tous les candidats mais seulement 52% d'entre eux l'ont traitée correctement ;
- la deuxième partie a été abordée par tous les candidats. Elle a été traitée correctement par 47% des candidats ;
- la troisième partie a été abordée par 97% des candidats. Elle a été traitée correctement par seulement 38% des candidats mais aucun candidat ne l'a très bien traitée ;
- la quatrième partie a été abordée par 67% des candidats. Elle a été traitée correctement par 36% des candidats ;
- la cinquième et dernière partie a été abordée par 26% des candidats et 50% d'entre eux l'ont traitée correctement.

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder chacune des parties. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection. Le jury ne peut qu'encourager les futurs candidats à s'orienter encore plus vers cette transversalité technologique qui fait la particularité des futurs enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur.

Conseils aux futurs candidats

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder de façon conséquente chacune des parties. Le jury encourage fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et sélectionnent les questions relatives aux différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des corpus des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur.

Les candidats doivent également s'attacher à utiliser leurs connaissances universitaires afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, les justifications et les choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. Il doit aussi respecter les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible. Le jury ne peut valoriser une justification qui se limite à une suite de mots clés juxtaposés.

Les réponses doivent être détaillées et argumentées : des résultats donnés directement, sans calcul, sans justification de principe, ne peuvent pas être pris en compte comme étant justes. Par ailleurs, les réponses montrant une maîtrise de la démarche mais n'arrivant pas jusqu'à la conclusion sont valorisées. Le jury apprécie aussi l'esprit critique face à des résultats aberrants et admet le choix délibéré de commenter ces résultats pour continuer le traitement du sujet.

Le jury souligne enfin la grande qualité d'expression constatée dans certaines copies, rédigées avec soin et un souci de clarté.

Réussir cette épreuve demande :

- de s'approprier en un temps limité un sujet technique pluridisciplinaire décrit avec les outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- de maîtriser les modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie ;
- d'analyser et d'interpréter des résultats d'étude, afin de formuler des conclusions cohérentes et pertinentes en concordance avec une problématique scientifique et technique.

Conclusion

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus de l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié.

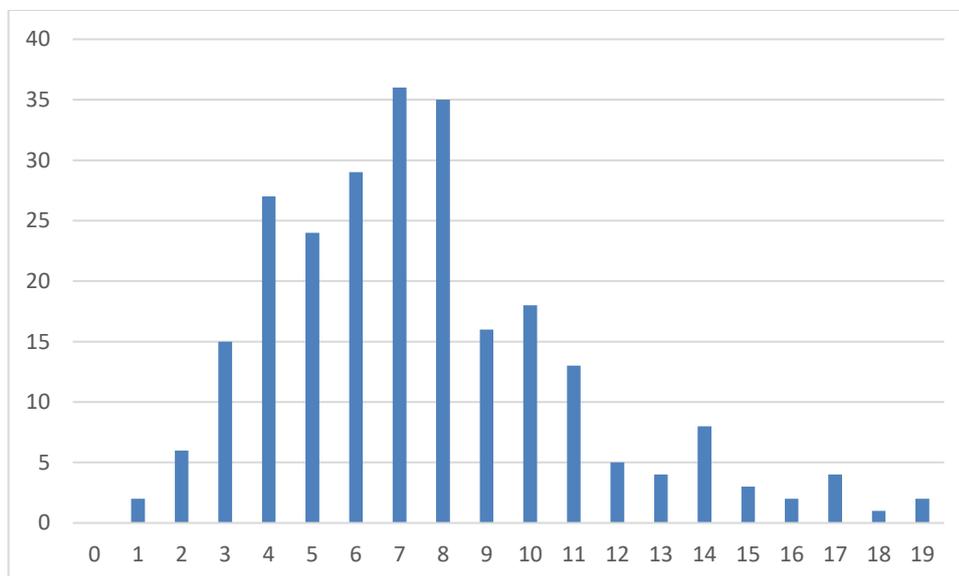
Les auteurs remercient la société Batiprint3D pour l'ensemble des données communiquées et les précieux conseils apportés pour proposer une analyse conforme aux problématiques industrielles.

Résultats

250 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5/20 avec :

- 19,64/20 comme meilleure note ;
- 1,28/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

Durée totale de l'épreuve : 6 heures

– Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/concours-examens/14380/14380-agregation-ext-2022-sii-opt-sii-et-im-epreuve-2.pdf>

Éléments de correction

II. Validation du choix du robot ABB IRB 6620

Question 2 : À l'impact le joueur fournit un effort de poussée qui peut atteindre un maximum de 3000N, puis qui se stabilise autour de 2000N. L'effort de poussée maximal défini dans les exigences 1.1.2.1 et 1.1.2.2 est de 4000N. On satisfait donc au cahier des charges. Dans l'annexe A4.6, on donne une force z maximale de 11kN +-2, soit 13kN au grand maximum. Cela nous donne une sécurité d'environ 3, ce qui est suffisant.

Question 3 : La masse maximale de 25 kg pour la tête de joug est donnée dans l'exigence 1.5.3. Le document constructeur indique pour un Z=300mm et un L de 0 une masse maxi de 150kg.

Question 4 : L'étude précédente valide les exigences décrites dans le diagramme. Le coefficient de sécurité de 3 sur la poussée en z garantit la sécurité du joueur et l'intégrité du robot.

III. Étude de la commande

Question 5 : La tête doit avoir être en translation rectiligne selon l'axe z dans son mouvement par rapport au sol.

Question 6 : La somme des trois angles est constante de plus 5+6 restent parallèles au sol, il faut donc que la somme soit nulle.

III.1 Modèle géométrique direct

Question 7 :

$$\overline{P}_{02} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 \\ 0 & \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{pmatrix}$$

$$\overline{P}_{03'} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos (\theta_2 + \theta_3') & -\sin (\theta_2 + \theta_3') \\ 0 & \sin (\theta_2 + \theta_3') & \cos (\theta_2 + \theta_3') \end{pmatrix}$$

$$\overline{P}_{06} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ pour le mouvement de translation de la tête de joug}$$

Question 8 :

$$\overrightarrow{O_0M} = b_1 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + l_2 \cdot \overline{P_{02}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + l_3 \cdot \overline{P_{02}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + (c_5 + c_6) \cdot \overline{P_{02}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Question 9 :

$$x_M = 0$$

$$y_M = b_1 + l_2 \cos \theta_2 - l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$z_M = c_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + (c_5 + c_6)$$

III.2 Modèle géométrique inverse

Question 10

$$y_M^* = l_2 \cos \theta_2 - l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$z_M^* = l_2 \sin \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

$$y_M^{*2} = l_2^2 \cos^2 \theta_2 + l_3^2 \sin^2(\theta_2 + \theta_3) - 2l_2l_3 \cos \theta_2 \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$z_M^{*2} = l_2^2 \sin^2 \theta_2 + l_3^2 \cos^2(\theta_2 + \theta_3) + 2l_2l_3 \sin \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

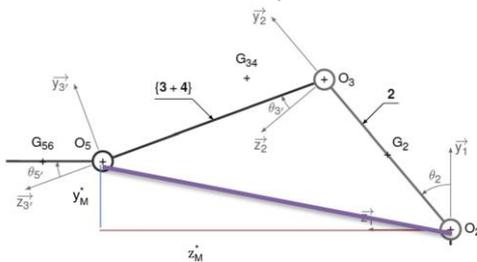
$$y_M^{*2} + z_M^{*2} = l_2^2 + l_3^2 - 2l_2l_3 \sin \theta_3$$

$$\theta_3 = \arcsin \frac{-y_M^{*2} - z_M^{*2} + l_2^2 + l_3^2}{2l_2l_3}$$

Question 11

$$y_M^* = l_2 \cos \theta_2 - l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$z_M^* = l_2 \sin \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)$$



Une figure représentant y_M^* et z_M^* permet d'obtenir la position singulière et oblige pour une position donnée, l'intégration du signe des commandes lors de la programmation afin de positionner par exemple le bras 2 dans la partie supérieure ou inférieure.

Question 12 :

En position initiale, on a : $\theta_2 + \theta_3 + \theta_5 = -63 + 68 - 5 = 0$

En position finale, on a : $\theta_2 + \theta_3 + \theta_5 = 78 - 86 + 8 = 0$

$$z_M = c_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + (c_5 + c_6)$$

$$z_{Mi} = 556,8 \text{ mm et } z_{Mf} = 2377,71 \text{ mm}$$

d'où une course de 1821 mm (1.1.1.1 course de 1800 mm)

$$y_M = b_1 + l_2 \cos \theta_2 - l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$y_{Mi} = 1009 \text{ mm}$$

$$y_{Mf} = 1043 \text{ mm}$$

On est à une hauteur de 1043 mm (exigence 1.1.1.4. entre 80 cm et 120 cm)

On conclue que le robot est dans le scénario 2.

III.3 Modèle dynamique du robot

Question 13 :

Par définition, on détermine

$$\overrightarrow{V_{G_{34},3+4/0}} = l_2 \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} + y_{G_{34}} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \overrightarrow{z_3} - z_{G_{34}} (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \overrightarrow{y_3}$$

$$\overrightarrow{V_{G_{56},5+6/0}} = l_2 \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - l_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \overrightarrow{y_3}$$

Question 14 :

$$\overrightarrow{\Gamma_{G_{34},3+4/0}} = l_2 \ddot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cdot \overrightarrow{y_2} + (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) (y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3}) + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 (-y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3})$$

$$\overrightarrow{\Gamma_{G_{56},5+6/0}} = l_2 \ddot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cdot \overrightarrow{y_2} - l_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) \cdot \overrightarrow{y_3} - l_3 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 \cdot \overrightarrow{z_3}$$

Question 15 :

On applique le PFD en négligeant les masses de l'ensemble 5+6 qui est en mouvement de translation. Le théorème du moment statique donnera directement C_{m5}

$$C_{m5} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_5,RExterieur/5+6}} + \overrightarrow{M_{O_5,R3+4/5+6}} = \overrightarrow{0}$$

$$\overrightarrow{M_{O_5,RExterieur/5+6}} = \overrightarrow{O_5 M} \wedge (Y_e \cdot \overrightarrow{y_1} + Z_e \cdot \overrightarrow{z_1}), \text{ on trouve ainsi}$$

$$C_{m5} = (C_5 + C_6) Y_e$$

Question 16 :

On isole {3+4+5+6}.

IAME Poids P3, P5(négligé) et P6(négligé), C3, Fe, liaison pivot de 2/3

Équation utile : TMD suivant l'axe $\overrightarrow{x_1}$

$$C_3 \cdot \overrightarrow{x_1} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_3,P3/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_3,2/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_3,RExterieur/5+6}} = \overrightarrow{\delta_{O_3(3+4+5+6)}} \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$C_3 \cdot \overrightarrow{x_1} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_3,P3/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + 0 + \overrightarrow{M_{O_3,RExterieur/5+6}} = \overrightarrow{\delta_{O_3(3+4+5+6)}} \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{\sigma_{G_{34}(3+4)}} = \begin{vmatrix} A_{34}(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \text{ on derive } \overrightarrow{\delta_{G_{34}(3+4)}} = \begin{vmatrix} A_{34}(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$\overrightarrow{\delta_{O_3(3+4)}} = \overrightarrow{\delta_{G_{34}(3+4)}} + m_{34} \overrightarrow{O_3 G_{34}} \wedge \overrightarrow{\Gamma_{G_{34},3+4/0}} = \overrightarrow{\delta_{G_{34}(3+4)}} + m_{34} \overrightarrow{O_3 G_{34}} \wedge (l_2 \ddot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cdot \overrightarrow{y_2} + (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) (y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3}) + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 (-y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3}))$$

$$\overrightarrow{x_1} = A_{34}(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_{34} [(y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3} + z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3}) \wedge (l_2 \ddot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - l_2 \dot{\theta}_2^2 \cdot \overrightarrow{y_2} + (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) (y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3}) + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2 (-y_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{y_3} - z_{G_{34}} \cdot \overrightarrow{z_3}))]$$

$$\overrightarrow{x_1} = A_{34}(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_{34} [y_{G_{34}} \cdot l_2 (\ddot{\theta}_2 \cos \theta_3 + \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_3) + (y_{G_{34}}^2 + z_{G_{34}}^2) (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + z_{G_{34}} l_2 (-\ddot{\theta}_2 \sin \theta_3 + \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_3)]$$

$$\overrightarrow{M_{O_3,P3/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} = (-O_3 \cdot \overrightarrow{G_{34}} \wedge m_{34} g \cdot \overrightarrow{y_1}) \cdot \overrightarrow{x_1} = m_{34} g \cdot (y_{G_{34}} \sin(\theta_2 + \theta_3) + z_{G_{34}} \cos(\theta_2 + \theta_3))$$

$$\overrightarrow{M_{O_3,RExterieur/5+6}} = \overrightarrow{O_3 \cdot M} \wedge (Y_e \cdot \overrightarrow{y_1} + Z_e \cdot \overrightarrow{z_1}) = l_3 \cdot (Y_e \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + Z_e \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) - (C_5 + C_6) \cdot Y_e$$

$$C_3 = -m_{34} g \cdot (y_{G_{34}} \sin(\theta_2 + \theta_3) + z_{G_{34}} \cos(\theta_2 + \theta_3)) + A_{34}(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + m_{34} [y_{G_{34}} \cdot l_2 (\ddot{\theta}_2 \cos \theta_3 + \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_3) + (y_{G_{34}}^2 + z_{G_{34}}^2) (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + z_{G_{34}} l_2 (-\ddot{\theta}_2 \sin \theta_3 + \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_3)] + l_3 \cdot (Y_e \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + Z_e \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) + (C_5 + C_6) \cdot Y_e$$

Question 17 :

On isole {2+3+4+5+6},

IAME Poids P2 P3 P5(négligé) et P6(négligé), C2, Fe, liaison pivot

Équation utile / Equation TMD suivant l'axe $\overrightarrow{x_1}$

$$C_2 \cdot \overrightarrow{x_1} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_2,P3/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_2,P2/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_2,2/3}} \cdot \overrightarrow{x_1} + \overrightarrow{M_{O_2,RExterieur/5+6}} = \overrightarrow{\delta_{O_2(2+3+4+5+6)}} \cdot \overrightarrow{x_1}$$

Question 18 :

On relève $C_{m2Max} = 4700Nm$ et $C_{m3Max} = 2000Nm$. En annexe A4.4, on donne un couple nominal de 10 Nm. Le rendement du réducteur étant donné à 1, le couple en sortie de réducteur est de 6660Nm, ce qui dépasse les valeurs maximales relevées sur la figure 10. Le robot est donc capable de fournir la poussée demandée.

IV. Étude de la commande de l'axe 1

Partie plutôt classique, un bon nombre de candidats semblent avoir fait l'impasse sur celle-ci.

Question 19 :

$$E_{CT} = \sum E_{Ci} = E_{C1} + E_{C2} + E_{C34}$$

$$E_{C1} = \frac{1}{2} (B_1 + m_1(x_{G1}^2 + z_{G1}^2)) \dot{\theta}_1^2$$

$$E_{C2} = \frac{1}{2} (C_2 + m_2(x_{G2}^2 + (c_1 + y_{G2})^2)) \dot{\theta}_1^2$$

$$E_{C34} = \frac{1}{2} (B_{34} + m_{34}(c_1 + z_{G34})^2) \dot{\theta}_1^2$$

$$I_{eq} = B_1 + m_1(x_{G1}^2 + z_{G1}^2) + C_2 + m_2(x_{G2}^2 + (c_1 + y_{G2})^2) + (B_{34} + m_{34}(c_1 + z_{G34})^2)$$

$$AN I_{eq} = 193.5kg.m^2$$

On applique le TEC on trouve

$$C_1 = I_{eq} \cdot \frac{d}{dt} \dot{\theta}_1(t) - (c_1 \cdot b_2 + c_3 \cdot c_4 + c_5 + c_6 + c_{ij}) X_e$$

Question 20 :

On applique le TEC à l'ensemble

$$C_m(t) = \left(\frac{I_{eq}}{\rho^2} + I_m \right) \cdot \frac{d}{dt} \omega_m(t) + C_r(t) + f_v \omega_m(t)$$

Question 21:

$$U(p) = R_{eq} \cdot I(p) + E(p)$$

$$U(p) - E(p) = R_{eq} \cdot I(p)$$

$$E(p) = k \cdot \Omega_m(p)$$

$$C_m(p) = k \cdot I(p)$$

Question 22:

$$\Omega_1(p) = H_1(p) \cdot I(p) - H_2(p) \cdot C_r(p)$$

$$\Omega_1(p) = \frac{1}{r} \cdot \frac{k}{f_v + \left(\frac{I_{eq}}{\rho^2} + I_m\right)p} I(p) - \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{f_v + \left(\frac{I_{eq}}{\rho^2} + I_m\right)p} C_r(p) \text{ avec } I_{tot} = \frac{I_{eq}}{\rho^2} + I_m$$

Question 23 :

$$\lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \Omega_1(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\rho} \cdot \frac{22k_T}{f_v + I_{tot} \cdot p} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{10}{f_v + I_{tot} \cdot p} \right)$$

$$\lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \Omega_1(p) = \frac{1}{\rho \cdot f_v} \cdot (22k_T - 10) = 0,352 \text{ rad/s}$$

Question 24 :

Par la mesure on obtient :

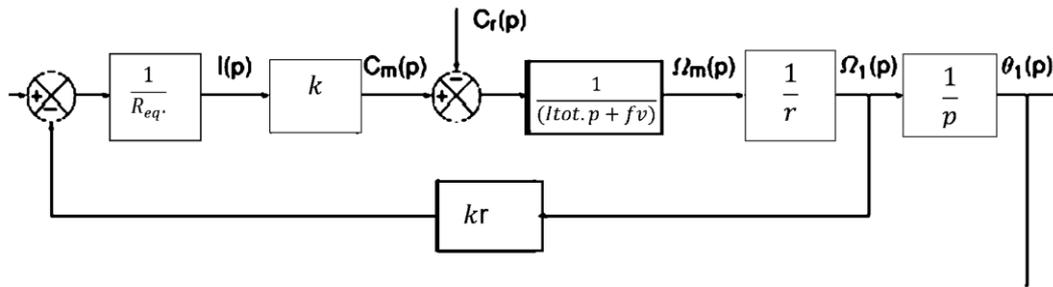
à 63 % $t = 0.45s$

à 95% $t = 1.4s$. ou la pente à l'origine

Le comportement à l'infini nous donne $K = 0,34 \text{ rad/s}$.

On retrouve la valeur à l'infini de la question 23.

Question 25 : document réponse



Question 26 :

$$\theta_1(p) = H_3(p) \cdot \theta_c(p) - H_4(p) \cdot C_r(p)$$

On calcule la FTBF

$$H_3(p) = \frac{\frac{k_T}{p^2 [\rho R_{eq} (l_{tot} \cdot p + f_v) + \rho k_E k_T]}}{1 + \frac{k_T}{p^2 [\rho R_{eq} (l_{tot} \cdot p + f_v) + \rho k_E k_T]}} = \frac{k_T}{p^2 [\rho R_{eq} (l_{tot} \cdot p + f_v) + \rho k_E k_T] + k_T}$$

$$H_3(p) = \frac{1}{1 + \rho \left[k_E + \frac{f_v \cdot R_{eq}}{k_T} \right] p^2 + \left[\frac{\rho R_{eq} l_{tot}}{k_T} \right] p^3}$$

Question 27 :

On place un intégrateur en amont de la perturbation pour annuler l'erreur.

Question 28 :

On peut appliquer le critère algébrique de Routh-Hurwitz, mais pour un système du 3^{ème} ordre, et à cause de la classe de FTBO élevée, on n'a pas de terme en p au dénominateur, le système est déjà nécessairement instable.

Question 29 :

La phase à ω_{0db} est légèrement inférieure à 180°, en tout cas, la marge de phase est négative (système instable), mais il s'agit du système corrigé par l'intégrateur pur.

Question 30 :

On doit ajouter 45° de phase. On calcule a : $\sin 45^\circ = \frac{a-1}{a+1}$

$$a = \sin 45^\circ = \frac{-\sin 45^\circ - 1}{\sin 45^\circ - 1} = 5,82$$

On calcule $\omega_m = \frac{1}{\sqrt{a\tau}}$ donc pour 3 rad/s, on a : $\tau = \frac{1}{3\sqrt{a}} = 0,138s$

Question 31 :

Le gain à 3 rad/s est de -20dB. On calcule K pour $20 \log K / \sqrt{a} = 20dB$, donc K=24

Question 32 :

Le système est précis $\epsilon_s = 0$ car le système est de classe 2 avec une intégration en amont de la perturbation avec le correcteur PI

On a introduit la correcteur à avance de phase 45° pour régler la marge de phase ainsi que pour une bande passante à 3 rad. s⁻¹

Question 33 : 4 liaisons pivot-glissant (4 inconnues statiques), 2 solides (bâti compris), 1 mobilité utile (translation suivant z) : $h = 1 - 6x1 + 4x4 = 11$

La liaison équivalente est une liaison glissière de direction z.

Les capteurs d'effort uniaxiaux ne doivent être soumis qu'à une seule composante de résultante, toutes les autres composantes de la poussée doivent être supportées par la liaison glissière. Le constructeur fait donc le choix d'un assemblage d'une très grande rigidité pour assurer une bonne direction de mesure.

Question 34 : 2 capteurs permettront de déterminer Z_{j8} et M_{j8} . L'action du joueur sur le joug ne pourra pas être intégralement déterminée. En revanche, on pourra connaître la poussée sur chaque épaule (lecture directe de chaque capteur). L'exigence 1.2.2 est satisfaite.

Question 35 : Méthode des coupures. On regarde les actions mécaniques s'appliquant sur la partie « aval » de la poutre. Il n'y a qu'une action mécanique extérieure :

$$\{T_{coh}\}_P = \left\{ \begin{array}{c} \vec{F}_{p1} + \vec{F}_{p2} = \vec{F}_P \\ \vec{0} \end{array} \right\}_P = \left\{ \begin{array}{c} -F_P \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_P$$

Moment en G(q) : $\vec{M}_{G(\theta), \vec{7} \rightarrow \vec{7}} = \vec{M}_{P, \vec{7} \rightarrow \vec{7}} + \vec{G}(\theta) \vec{P} \wedge \vec{F}_P = \vec{0} + R \cdot \vec{z}_L \wedge -F_P \cdot \vec{z} = RF_P \sin \theta$

En projetant dans la base locale :

$$\{T_{coh}\}_N = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & RF_P \sin \theta \\ -F_P \sin \theta & 0 \\ -F_P \cos \theta & 0 \end{array} \right\}_{b_L}$$

La poutre est soumise à de la flexion simple (résultante selon z_L et moment selon x_L) et à de la compression (résultante selon y_L).

En faisant l'hypothèse du problème plan, on ne fait plus la distinction entre les efforts exercés par les 2 épaules. La torsion suivant y_L résultant d'une différence de poussée entre les 2 épaules n'est pas quantifiable avec cette hypothèse.

Question 36 : Si la flexion est prépondérante, le moment sera maximal pour l'angle maximisant le sinus ($\theta = \frac{\pi}{2}$), donc $M_{fmax} = RF_P$. On a alors :

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{fmax}|}{I_{G_x}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{RF_P}{\frac{bh^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{6RF_P}{bh^2}$$

La poutre ne plastifie pas si : $\sigma_{max} < \frac{R_e}{s}$

On trouve alors : $h_{mini} > \sqrt{\frac{6RsF_P}{R_e b}}$ soit $h_{mini} > 65,5 \text{ mm}$

Question 37 : On observe une concentration de contrainte au sommet de l'ancrage avec le changeur (contrainte maximale supérieure à 60MPa), qui dépasse la limite admissible.

Il faudrait envisager une modification de la forme de la fourche, avec notamment une augmentation du rayon de courbure.

Question 38 : Méthode des coupures pour chaque tronçon :

Tronçon AB :

$$\{T_{coh}^1\}_C = \{F_{7 \rightarrow 8}^C\}_C = \left\{ \begin{array}{c} F_P \cdot \vec{y}_1 - Y_D \cdot \vec{x}_1 \\ L_D \cdot \vec{z}_1 \end{array} \right\}_C \Rightarrow \{T_{coh}^1\}_{G_1} = \left\{ \begin{array}{cc} -Y_D & 0 \\ F_P & 0 \\ 0 & L_D + (R - u_1)F_P - eY_D \end{array} \right\}_{b_1}$$

Tronçon BC :

$$\{T_{coh}^2\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{cc} -F_P & 0 \\ -Y_D & 0 \\ 0 & L_D - (e - u_2)Y_D \end{array} \right\}_{b_2}$$

Tronçon CD :

$$\{T_{coh}^3\}_{G_3} = \left\{ \begin{array}{cc} Y_D & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & L_D \end{array} \right\}_{b_3}$$

Question 39 : Énergie de déformation : $W_3 = \frac{1}{2} \int_0^R \left(\frac{N^2}{E_3 S_3} + \frac{M_z^2}{E_3 I_3} \right) du_3$

$$W_3 = \frac{1}{2} \int_0^R \left(\frac{Y_D^2}{E_3 S_3} + \frac{L_D^2}{E_3 I_3} \right) du_3 = \frac{R}{2E_3} \left(\frac{Y_D^2}{S_3} + \frac{L_D^2}{I_3} \right)$$

Question 40 : D'après le théorème de Castigliano : $u_{zc} = -\frac{\partial W}{\partial F_p}$

D'après le théorème de Ménabréa : $\frac{\partial W}{\partial y_D} = 0$ et $\frac{\partial W}{\partial L_D} = 0$

Question 41 : Par lecture graphique : $k_z = \frac{F_p}{u_{zc}} = \frac{2800}{25} = 112 \text{ N/mm}$

L'exigence 1.4.1.1 précise que la raideur doit être située entre 100 et 150 N/mm ; elle est donc satisfaite.

Question 42 : La pression se répartit de façon linéaire. A $z=0$, $P(0)=0$ et à $z=L/2$, $P(L/2) = p_0$, d'où :

$$P(z) = \frac{2p_0}{L} z$$

Modèle local, avec le modèle de Coulomb : $d\vec{F}_p(z) = P(z)(-\vec{x} + f\vec{z}) dz = \frac{2p_0}{L} z(-\vec{x} + f\vec{z}) dz$

Question 43 : Modèle global : $\{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^{\text{inf}}\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{7 \rightarrow 8} \\ \vec{M}_{B,7 \rightarrow 8} \end{Bmatrix}$

Calcul de la résultante :

$$\vec{R}_{7 \rightarrow 8} = \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{2p_0}{L} z(-\vec{x} + f\vec{z}) dz = \frac{2p_0}{L} \int_0^{\frac{L}{2}} z(-\vec{x} + f\vec{z}) dz = \frac{p_0 L}{4} (-\vec{x} + f\vec{z})$$

Calcul du moment :

$$\vec{M}_{B,7 \rightarrow 8} = \frac{2p_0}{L} \int_0^{\frac{L}{2}} \left(\frac{d}{2} \vec{x} - \left(\frac{L}{2} - z \right) \vec{z} \right) \wedge (-\vec{x} + f\vec{z}) z dz = \frac{L p_0}{24} (L - 3df) \vec{y}$$

Soit :

$$\{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^{\text{inf}}\} = \begin{Bmatrix} \frac{p_0 L}{4} (-\vec{x} + f\vec{z}) \\ \frac{L p_0}{24} (L - 3df) \vec{y} \end{Bmatrix}$$

Question 44 : Pour que le torseur $\{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^b\}$ soit un glisseur au point I il faut que le moment $\vec{M}_{I,7 \rightarrow 8}$ soit nul.

$$\vec{M}_{I,7 \rightarrow 8} = \vec{M}_{B,7 \rightarrow 8} + \vec{IB} \wedge \vec{R}_{7 \rightarrow 8} = \frac{L p_0}{24} (L - 3df) \vec{y} - \left(\frac{d}{2} \vec{x} + z_1 \vec{z} \right) \wedge \frac{p_0 L}{4} (-\vec{x} + f\vec{z}) = \frac{L p_0}{24} (L - 6z_1) \vec{y}$$

$$\vec{M}_{I,7 \rightarrow 8} = \vec{0} \Leftrightarrow \frac{L p_0}{24} (L - 6z_1) = 0 \Rightarrow z_1 = \frac{L}{6}$$

Question 45 : Par analogie : $\{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^{\text{sup}}\} = \begin{Bmatrix} \frac{p_0 L}{4} (\vec{x} + f\vec{z}) \\ \frac{L p_0}{24} (L + 3df) \vec{y} \end{Bmatrix}$

Question 46 : On applique le PFS à 8 : $\{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^{\text{inf}}\} + \{\vec{T}_{7 \rightarrow 8}^{\text{sup}}\} + \{\vec{T}_{j \rightarrow 8}\} = \{0\}$

TRS en projection sur \vec{z} : $\frac{p_0 L f}{4} + \frac{p_0 L f}{4} - F_p = 0 \Leftrightarrow F_p = \frac{p_0 L f}{2}$

Moments au point O_g en projection sur \vec{y} :

$$\vec{M}_{O_g,7 \rightarrow 8}^{\text{sup}} = \vec{M}_{A,7 \rightarrow 8}^{\text{sup}} + \vec{O_g A} \wedge \vec{R}_{7 \rightarrow 8} = \frac{L p_0}{24} (L + 3df) \vec{y} + \left(-\frac{L}{2} \vec{z} \right) \wedge \frac{p_0 L}{4} (\vec{x} + f\vec{z}) = -\frac{L p_0}{24} (2L - 3df) \vec{y}$$

De la même façon, on obtient : $\vec{M}_{O_g,7 \rightarrow 8}^{\text{inf}} = -\frac{L p_0}{24} (2L + 3df) \vec{y}$

$$\vec{M}_{O_g, j \rightarrow 8} = \vec{O_g P} \wedge \vec{F}_{P, j \rightarrow 8} = (X_{\text{lim}} \vec{x} + \lambda \vec{z}) \wedge -F_p \vec{z} = X_{\text{lim}} F_p \vec{y}$$

$$\text{TMS en } O_g \vec{y} : -\frac{Lp_0}{24} (2L-3df) - \frac{Lp_0}{24} (2L+3df) + X_{\text{lim}} F_P = 0. \quad \Leftrightarrow \quad X_{\text{lim}} = \frac{p_0 L^2}{6F_P} = \frac{L}{3f}$$

On doit avoir $X_{\text{lim}} < \frac{e+L_T}{2}$. Alors : $L_{\text{min}} < \frac{3f(e+L_T)}{2} = 141\text{mm}$

Question 47 : Le fait d'écarter les points de contact favorise le bon fonctionnement. Si on reprend le

calcul précédent, par analogie, on obtient : $X_{\text{lim}} = \frac{p_0 L}{12F_P} (2L+3fe) = \frac{L}{3f} + \frac{e}{2}$

Et : $L_{\text{min}} > \frac{3}{2} f L_T = 91,5\text{mm}$

On a $L_{\text{min}} < 95\text{mm}$. Il n'y a donc aucun risque d'arc-boutement sur le système.

Question 48 : Au regard de la géométrie du contact, on peut modéliser l'assemblage par une liaison cylindre/plan et une liaison appui plan en parallèle :

$$\{V_{9a/6}\}_{O_{9a}} = \begin{Bmatrix} 0 & v_x \\ \omega_y & v_y \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{et} \quad \{V_{9a/6}\}_{O_{9a}} = \begin{Bmatrix} 0 & v_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & v_z \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

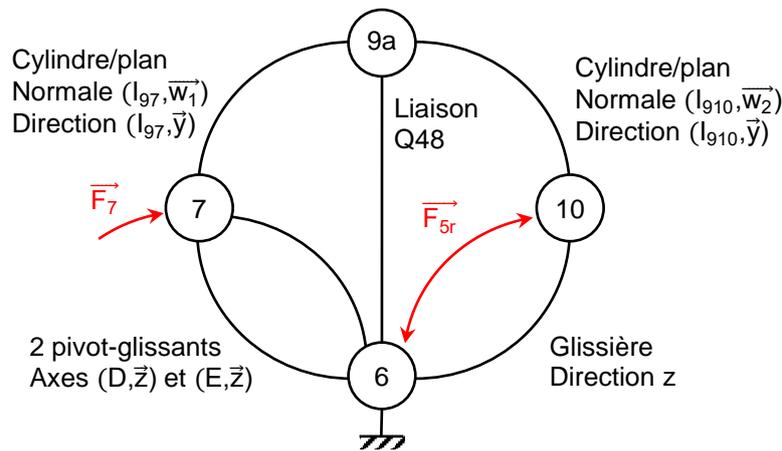
Liaison équivalente (on égalise les torseurs) : $\{V_{9a/6}\}_{O_{9a}} = \begin{Bmatrix} 0 & v_x \\ \omega_y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$

Hyperstatisme (approche statique) : $m=2$, $E_s=1 \times 6$, $I_s=1 \times 3 + 1 \times 2$

Soit : $h = 2 - 1 \times 6 + (1 \times 3 + 1 \times 2) = 1$

La rainure a été ajoutée pour éviter que les axes ne pivotent autour de l'axe z. Compte tenu de la taille de la zone de contact surfacique, on pourrait assimiler la liaison appui plan à une sphère/plan.

Question 49 :



Question 50 : Calcul du degré d'hyperstatisme :

Mobilités : 6 internes, 1 utile

Inconnues statiques : $I_s = 2 \times 4 + 6(2 \times 2) + 6 \times 4 + 5 = 61$

Nombre de solides : 9 (bâti compris)

$h = 7 + 61 - 6 \times (9 - 1) = 20$

Pour réduire l'hyperstatisme, on peut commencer par revoir les deux pivot-glissant en parallèle, et remplacer l'une d'elles par une sphère/plan. La solution de glissière équivalente devient isostatique.

On a une géométrie de contact assez étendue entre les pièces 9 et (7 et 10). On pourrait diminuer la longueur de contact pour tendre vers une liaison sphère/plan, même si cela risque d'accroître la pression de contact.

Question 51 : En position verrouillée, $F_{5rv} = 5k(l_0 - l_v) = 5 \times 940 \times (0,11 - 0,03) = 376\text{N}$

Le déverrouillage s'amorce quand $p \frac{\pi(d_p^2 - d_f^2)}{4} > F_{5r} + p_0 \frac{\pi d_p^2}{4}$

Ce qui amène à : $p > \frac{1}{d_p^2 - d_f^2} \left(\frac{4}{\pi} F_{5r} + p_0 d_p^2 \right)$

Application numérique : $p > \frac{1}{80^2 - 24^2} \left(\frac{4}{\pi} \times 376 + 1 \times 80^2 \right) = 1,18\text{bar}$

Cette pression est très faible et largement en-deçà de la pression disponible sur une alimentation industrielle classique (<10bar).

Question 52 : Démarche de résolution :

1. Isolement de 10, Théorème de la résultante statique en projection sur \vec{z} ;
2. Isolement de 9a, Théorème de la résultante statique en projection sur \vec{x} ;
3. Isolement de 7, Théorème de la résultante statique en projection sur \vec{z} .

Isolement de 10, TRS \vec{z} : $F_{5r} + 6F_{910} \vec{w}_2 \cdot \vec{z} = 0 \Rightarrow F_{910} = -\frac{F_{5r}}{6 \cos \beta}$

Isolement de 9a, TRS \vec{x} : $-F_{910} \vec{w}_2 \cdot \vec{x} + F_{79} \vec{w}_1 \cdot \vec{x} = 0 \Rightarrow F_{79} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} F_{910}$

Isolement de 7, TRS \vec{z} : $-6F_{79} \vec{w}_1 \cdot \vec{z} + F_{lim} = 0 \Rightarrow F_{lim} = -\frac{\tan \beta}{\tan \alpha} F_{5r}$

Application numérique : $F_{lim} = -\frac{\tan 106}{\tan 62} \times 376 = 697\text{N}$

L'exigence 1.5.2.1 (résister à un effort de traction de 5000N suivant z) n'est pas vérifiée en l'absence d'alimentation pneumatique.

Question 53 : Non, car on se trouve alors dans une situation de blocage ; si le piston se déplace vers le haut, il n'y a plus qu'un seul point de contact avec 10, en I_{910} .

Il en résultera une poussée suivant x, compensée par les galets opposés. Théoriquement, F_{lim} n'est limité que par les pressions de contact admissibles entre les surfaces.

Question 54 : D'après l'annexe 7 : $p_{max} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1}{2k_1 d_g L_g} \frac{kF_7}{L_g}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\pi E k F_7}{(1-u^2) L_g d_g}}$

On se place à $R_g = 0,315 p_{max}$, en souhaitant $\tau_{max} < R_g$:

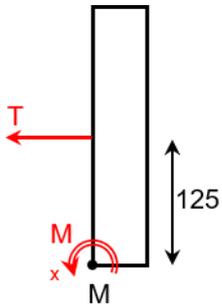
$$F_{lim} = \frac{\pi R_g^2 (1-u^2) L_g d_g}{0,315^2 E k} = \frac{\pi 340^2 (1-0,3^2) 16 \times 14}{0,315^2 \times 210000 \times 0,35} = 10150\text{N}$$

L'annexe 6.2 indique un effort de traction maximal $T = 5340\text{N}$ Cela nous donne un coefficient de sécurité voisin de 2.

Question 55 : On isole la charge et on applique le Théorème du moment dynamique au point M en projection sur \vec{X} : $-L \underset{P}{\text{Mg}} \alpha = M_{teff} + LP \Rightarrow M_{teff} = -LP(1+\alpha)$

(la formule du constructeur est donnée en valeur absolue)

Cette approche est plus pertinente que l'effort de traction maximal, car elle tient compte aussi de la géométrie de l'élément déplacé.



Question 56 : Il faut calculer le moment de T en M. Par la méthode des bras de levier, on trouve immédiatement :

$$M_x = 0,125 T$$

Or, en annexe 6.2, le constructeur donne :

$$\left. \begin{array}{l} T = 5340 \text{ N} \\ M_x = 2490 \text{ N.m} \end{array} \right\} \Rightarrow M_x = \frac{2490}{5340} T = 0,47 T$$

La différence s'explique par la non prise en compte dans ce modèle des 2 colonnes d'indexage, qui augmentent considérablement le moment maximum admissible.

Question 57 : Immédiatement : $\delta_x = -b_{10} \vec{u}_2 \cdot \vec{x} = -b_{10} \cos \beta$

Question 58 : Géométriquement : $\delta_z = \delta_x \tan \alpha$. Grâce à la question précédente, on trouve alors :

$$\{U_{7/6}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -b_{10} \cos \beta \tan \alpha \vec{z}_H \end{array} \right\}$$

Application numérique : $\delta_z = -3 \times \cos 106 \times \tan 62 = 1,56 \text{ mm}$

$\delta_z < 2 \text{ mm}$: l'exigence 1.5.1 est satisfaite.

Question 59 : D'après l'annexe 7 : $\delta_w = 3,48 \cdot 10^{-5} \frac{kF_7^{0,9}}{L_9^{0,8}}$

Or : $\delta_z = \delta_w \cos \alpha$ d'où : $\delta_z = 3,48 \cdot 10^{-5} \frac{kF_7^{0,9}}{L_9^{0,8}} \cos \alpha$

Application numérique : $\delta_z = 3,48 \cdot 10^{-5} \times \frac{0,35 \times 5340^{0,9}}{16^{0,8}} \times \cos 62 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

Ce phénomène est donc négligeable.

Question 60 : Les parties II et III ont montré que le robot industriel choisi était largement capable de satisfaire les exigences relatives au système Strongarm.

Bien que non exhaustive, la partie IV permet de valider la commande du robot. Il faudrait analyser cette commande dans son ensemble pour pouvoir conclure de manière définitive sur l'adéquation entre la commande choisie par les concepteurs au regard des performances attendues.

La partie V démontre que le choix de la géométrie et de la structure de la tête de joug est adapté aux performances attendues.

La partie VI a enfin permis de valider le choix de l'interface entre la tête de joug et le robot, complétant ainsi la validation de l'ensemble de la structure du Strongarm.

Question 61 : En relevant en temps réel les valeurs des différents couples moteurs et des grandeurs cinématiques (position angulaire, vitesse et accélération angulaires) relatives aux 6 axes du robot, on pourrait effectivement reconstruire le torseur d'action mécanique du joueur sur la tête de joug (en connaissant bien sûr la géométrie de l'ensemble).

Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

1. Présentation du sujet

Le sujet portait sur la modélisation du joug de mêlée robotisé « Strongarm », destiné aux clubs et comités de Rugby. L'objectif du sujet était de valider la conception du système au regard des exigences formulées dans le cahier des charges. Le système « Strongarm » est constitué d'une tête de joug instrumentée montée sur un robot industriel 6 axes. Il doit être capable de simuler 4 scénarios de mêlée.



L'étude se décomposait en sept parties :

- la première partie, dépourvue de questions permettait de s'appropriier le sujet et le contexte d'étude ;
- la deuxième partie avait pour objectif de valider le choix du robot ABB IRB 6620 ;
- la troisième partie portait sur l'étude de la cinématique du robot afin de valider l'adéquation du robot avec les performances attendues ; elle avait également pour objectif de vérifier le dimensionnement des moteurs ;
- la quatrième partie s'intéressait quant à elle à la validation de l'asservissement choisi pour la commande de l'axe 1 du robot ;
- la cinquième partie avait pour objectif de valider la conception de la tête de joug instrumentée ;
- la sixième partie avait pour objectif de vérifier si l'interface tête de joug - robot était correctement dimensionnée ;
- la dernière partie consistait enfin à effectuer la synthèse des études menées au fil du sujet.

2. Analyse globale des résultats

L'évaluation des copies montre une très forte hétérogénéité dans le traitement du sujet. Quelques candidats très bien préparés ont pu aborder la quasi-totalité des parties du sujet, en étant efficaces dans la conduite des études pour l'aborder dans son ensemble.

La qualité de rédaction et de présentation des copies se révèle diverse. La présentation claire des méthodes et raisonnements, ainsi qu'un soin tout particulier porté sur l'orthographe sont des compétences fondamentales pour tout lauréat de l'agrégation. Les candidats qui ont démontré ces qualités ont en grande majorité bien réussi l'épreuve.

La correction des copies révèle une maîtrise insuffisante des outils de modélisation et de résolution des problèmes posés : théorèmes généraux de la mécanique, outils mathématiques dont le calcul vectoriel ce qui apparaît surprenant au niveau d'un concours d'agrégation. De fait, le manque de rigueur dans la mise en œuvre de ces outils conduit nécessairement à des erreurs de calcul, à une moindre efficacité.

Le jury tient à rappeler que la résolution d'un problème technique authentique de sciences de l'ingénieur nécessite de mettre en œuvre un raisonnement scientifique rigoureux avec la formulation d'hypothèses (qui peuvent être vérifiées a posteriori) afin de valider ou non un résultat. Si l'énoncé des lois est un préambule à la résolution, cela ne saurait être suffisant pour une véritable valorisation de la copie. Le raisonnement est privilégié par rapport à l'exactitude du résultat.

Les réponses aux questions d'analyse de solutions technologiques revêtent un caractère trop souvent décontextualisé du problème à traiter ; elles s'avèrent également insuffisamment étayées technologiquement et scientifiquement. L'analyse doit reposer sur la modélisation proposée, au regard des exigences définies au préalable. Certains candidats s'éloignent du modèle, ce qui conduit à des réponses convenues décorréliées de la problématique.

Enfin, le jury a constaté que nombre de candidats ont traité avec maîtrise et rigueur le début du sujet, mais que peu ont maintenu cette qualité de rédaction sur l'ensemble de l'épreuve. Le jury encourage vivement les candidats à s'entraîner dans les conditions du concours afin de satisfaire les exigences de rédaction et de rapidité que nécessite la participation à une épreuve en temps limité.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

II. Validation du choix du robot ABB IRB 6620

Cette partie avait pour objectif de valider le choix du robot ABB IRB 6620.

Le jury attendait que les candidats identifient les exigences du cahier des charges puis comparent ces valeurs avec les performances du robot. Le jury a valorisé les copies dont les réponses sont étayées et bien rédigées.

III. Étude de la commande

Cette partie portait sur l'étude de la cinématique du robot afin de valider l'adéquation du robot avec les performances attendues. Elle avait également pour objectif de vérifier le dimensionnement des moteurs. Elle est largement abordée, avec un succès très variable selon les candidats.

Le mouvement particulier aurait permis à bon nombre de candidats de simplifier les calculs. De nombreuses erreurs dues à un manque de maîtrise des outils de résolution (projections, matrice de passages...)

Le jury regrette l'impréparation des candidats sur des parties aussi fondamentales de la mécanique :

- le calcul de vitesses et d'accélération ;
- l'utilisation des modèles mécaniques (calcul de moment d'une force, PFD...)

Le raisonnement n'étant pas été rigoureusement énoncé, les calculs ont très rarement abouti.

IV. Étude de la commande de l'axe 1

L'objectif est de valider la robustesse de l'asservissement. Trop peu de candidats ont su calculer une inertie ramenée sur un axe en appliquant le théorème de Huygens sur un axe, ce qui simplifiait le calcul. L'application du théorème de l'énergie cinétique a été correctement abordée. Il est regrettable de constater que beaucoup de candidats ne maîtrisent pas l'asservissement des systèmes.

V. Modélisation de la tête de joug instrumentée

L'objectif de la partie V est de valider la conception et le dimensionnement de la tête de joug instrumentée, au regard des exigences définies en annexe.

V.1 Principe de la mesure d'effort

L'objectif de cette sous partie était de déterminer les informations que peut recueillir le système instrumenté, afin de voir si les exigences en termes de mesure d'effort étaient bien respectées.

Cette partie a été traitée par la majorité des candidats. L'étude de l'architecture de la liaison a globalement été bien menée, même si le calcul du degré d'hyperstatisme a posé quelques problèmes.

V.2 Validation de la géométrie retenue pour la tête de joug

L'objectif de la partie V.2 était de vérifier le dimensionnement de la fourche qui sert d'interface entre la tête de joug et le robot. Il s'agissait principalement d'une étude de résistance des matériaux, avec la mise en œuvre d'une démarche de dimensionnement classique.

La détermination du torseur des actions mécaniques de cohésion a posé problème du fait de la courbure de la poutre. Les candidats ayant répondu correctement sont ceux qui en maîtrisaient le mieux la définition, ainsi que la modélisation des actions mécaniques. Le jury attend une maîtrise approfondie des outils de modélisation permettant de traiter ce type de question ; la seule connaissance des cas « classiques » n'est pas suffisante.

La détermination de la hauteur minimale de la section de la poutre a été menée correctement par un peu moins de la moitié des candidats. De trop nombreux candidats ont oublié de prendre en compte le coefficient de sécurité. Enfin, la dernière question de cette partie portait sur l'analyse de résultats issus d'un calcul par éléments finis. Les phénomènes mécaniques ont été correctement identifiés mais l'argumentation quant aux modifications à apporter à la géométrie de la pièce a été bien souvent trop approximative.

V.3 Prise en compte de la déformation des plaques (7) et (8)

Cette sous-partie proposait au candidat d'évaluer la raideur de la tête de joug soumise à la poussée. Il s'agissait de résoudre un problème d'hyperstatisme en mobilisant une méthode énergétique.

Dans un premier temps, il fallait déterminer les torseurs d'actions mécaniques de cohésion pour chacun des trois tronçons. Cette question a été traitée par un faible nombre de candidats, et parmi ceux-ci, trop peu ont respecté les consignes en exprimant les torseurs dans la base locale de chaque tronçon.

De rares candidats ont su déterminer l'énergie de déformation pour le tronçon 3. Les théorèmes de Castigliano et Ménabréa sont inconnus pour une écrasante majorité des candidats. Alors que le sujet mentionnait explicitement qu'aucun développement n'était attendu, certains candidats ont malgré tout tenté de développer les calculs, ce qui s'est avéré inutilement chronophage.

Enfin, l'identification graphique de la raideur n'a pas posé de problème, sauf pour quelques candidats qui ont mal interprété les grandeurs tracées (confusion entre les axes, problème d'homogénéité pour une raideur).

V.4 Évaluation du risque d'arc-boutement

Dans cette partie, il était proposé au candidat d'étudier le risque d'arc-boutement dans la glissière réalisée entre les deux plaques de la tête de joug.

Trop peu de candidats ont su traiter cette partie correctement, notamment en raison du choix de modélisation proposé par le sujet (chargements répartis). Le passage du modèle local au modèle global des actions mécaniques est insuffisamment maîtrisé. De même, l'utilisation du modèle de Coulomb pour un chargement réparti a posé énormément de problèmes. De fait, seuls quelques candidats ont pu déterminer la condition limite d'arc-boutement.

Le jury rappelle que la maîtrise de la modélisation des actions mécaniques est essentielle pour les futurs lauréats de l'agrégation en Ingénierie Mécanique.

VI. Modélisation et choix de l'interface Tête de joug – Robot

L'objectif de cette partie VI était de valider le dimensionnement du changeur afin de vérifier que le modèle choisi pour le « Strongarm » était bien adapté. La difficulté de cette partie résidait essentiellement dans la compréhension du mécanisme et de la modélisation plane proposée par le sujet. À ce titre, le jury rappelle que la compréhension d'un mécanisme à partir de son schéma cinématique est une compétence fondamentale pour tout enseignant en Sciences de l'Ingénieur.

VI.1 Détermination de l'effort d'arrachement limite

Dans cette partie, le candidat était amené à analyser la modélisation proposée par le sujet.

VI.1.a Analyse de la liaison axes de verrouillage/cage

Cette sous-partie demandait au candidat d'analyser la géométrie des contacts entre les axes et leur cage, afin d'aboutir à l'établissement du torseur cinématique caractérisant les mobilités permises par cette liaison.

L'analyse technologique a été menée de façon trop sommaire, et le calcul d'hyperstatisme a été très mal conduit (même si les candidats connaissaient la plupart du temps les formules).

VI.1.b Modélisation du mécanisme

Dans cette sous partie composée de deux questions, le candidat devait dans un premier temps tracer le graphe de structure du mécanisme (graphe des liaisons + actions mécaniques). Trop souvent, les candidats n'ont pas fait le lien entre le schéma cinématique plan (représentant 2 axes) et le système réel (composé de 6 axes). De même, le sujet demandait de ne représenter sur le graphe qu'un seul axe, information qui a visiblement échappé à la majorité des candidats.

Enfin, aucun candidat n'a su correctement mener le calcul d'hyperstatisme. Les propositions de modification du système pour réduire le degré d'hyperstatisme ont donné lieu à de trop nombreux commentaires vagues ou généraux, déconnectés de la réalité du support étudié.

V.1.c Calcul de l'effort d'arrachement limite

Cette sous-partie proposait au candidat de mettre en œuvre une étude de statique sur le système complet. La détermination de l'effort exercé par les ressorts sur le piston a posé problème, notamment du fait d'une mauvaise analyse des pressions mises en jeu.

Trop peu de candidats ont par ailleurs réussi à établir une démarche de résolution nécessaire à la détermination de l'effort d'arrachement limite. Le jury rappelle que la capacité à modéliser et paramétrer un mécanisme, à établir une stratégie d'isolement et à choisir les équations pertinentes fait partie des compétences essentielles pour un futur lauréat de l'agrégation. De fait, le jury conseille aux futurs candidats de s'entraîner à cet exercice sans se limiter à la mise en œuvre de démarches et méthodes déjà établies.

Enfin, seuls quelques candidats ont pu expliquer le fonctionnement du système de verrouillage, conçu pour pallier le problème mis en évidence à la question précédente.

V.1.d Modélisation des contacts galets/rainures

Cette partie, composée d'une seule question, proposait d'utiliser le modèle de Hertz pour vérifier si la déformation des axes était suffisamment faible au regard des exigences. Aucun candidat n'a su traiter cette partie correctement, et ce malgré le fait que toutes les données nécessaires à la résolution étaient fournies en annexe.

VI.2 Analyse de la méthode de dimensionnement retenue par Destaco

Dans cette partie, le candidat était amené à justifier la méthode de calcul proposée dans la documentation constructeur.

Le jury déplore que beaucoup de candidats ont tenté d'aboutir à tout prix à la formule du constructeur, en oubliant que seule une démarche rigoureuse de modélisation et d'utilisation du principe fondamental de la dynamique permettait d'aboutir au résultat souhaité. In fine, aucun candidat n'est parvenu à faire une proposition satisfaisante.

VI.3 Vérification du jeu axial maximal sous charge

Pour cette partie, il s'agissait de déterminer le jeu axial sous charge entre les deux parties du changeur, par la méthode des petits déplacements. Le jury ne peut que constater que cet outil est très mal connu des candidats. Ainsi, personne n'a su répondre convenablement à ces questions. Il en va de même pour l'utilisation du modèle de Hertz.

VII. Synthèse et perspectives d'amélioration

Cette dernière partie avait pour objectif de permettre au candidat de montrer qu'il avait bien saisi la démarche poursuivie dans le sujet. Le jury s'est trouvé confronté à deux cas de figure. D'une part, certains candidats ont peu traité le sujet mais ont tout de même traité cette partie de synthèse, sous forme d'une simple paraphrase. D'autre part, les candidats qui avaient bien traité le sujet ont manqué de temps pour conclure sereinement. Le jury invite les candidats à préserver un temps suffisant pour ce travail de synthèse.

4. Conclusion

Le jury apprécie les copies des candidats qui justifient ou expliquent les démarches adoptées pour répondre aux questions posées. Le jury attend que les candidats fassent preuve de rigueur et de précision dans les réponses aux questions d'analyse des modèles et dans la démarche de résolution des problèmes.

De façon complémentaire, la rigueur scientifique et la maîtrise des outils mathématiques usuels nécessaires aux sciences industrielles de l'ingénieur sont des prérequis indispensables.

Le jury encourage de nouveau les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des différentes méthodes de modélisation nécessaires à la résolution de problématique de sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet. De nombreuses questions sont indépendantes et il est souvent possible de conclure malgré des résultats intermédiaires manquants.

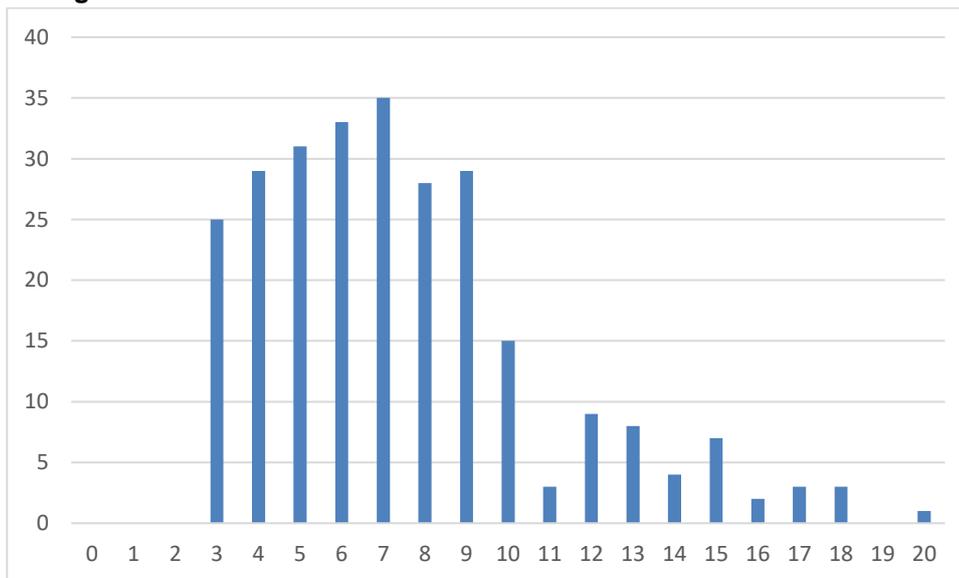
Enfin, le jury invite vivement les candidats à se préparer avec sérieux et rigueur, à lire attentivement les rapports de jury, à s'entraîner sur les épreuves des sessions passées et à s'inscrire dans les dispositifs de formation ou de préparation qui sont mis à leur disposition.

5. Résultats

242 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,49 avec :

- 19,95/20 comme meilleure note ;
- 2,5/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/08/1/s2022_agreg_externer_sii_mecanique_3_14_25081.pdf.

Éléments de correction

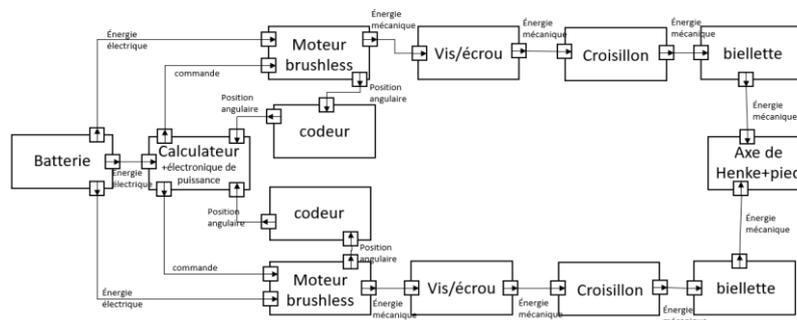
Q1 : Les deux moteurs doivent tourner à la même vitesse et dans le même sens.

Q2 : L'architecture A est plus simple pour commander les rotations mais en termes d'encombrement, le moteur M1 doit être à l'extérieur du pied au niveau de la rotation de la cheville ainsi que le moteur M2. L'encombrement est plus important et ne permet pas une ergonomie suffisante pour le pied du patient.

L'architecture B est plus compliquée pour la commande des moteurs mais permet une position facilitée du pied du patient. De plus, on peut retenir des actionneurs moins puissants pour la solution B par rapport à la solution A car les 2 actionneurs sont utilisés pour un même mouvement (symétriquement pour la rotation sagittale, en « opposition » pour une rotation de Henke).

L'utilisation d'un système vis-écrou irréversible peut être une sécurité en cas de charge trop faible de la batterie.

Q3 :



Q4 : La liaison 3/6 est une liaison pivot d'axe $(C, \vec{y}_6) = (C, \vec{y}_3)$ dont le torseur cinématique est :

$$\{V_{3/6}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ \omega_{y,36} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{C,B6}$$

La liaison 6/4 est une liaison pivot d'axe (C, \vec{x}_6) dont le torseur cinématique est :

$$\{V_{6/4}\} = \begin{Bmatrix} \omega_{x,64} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{C,B6}$$

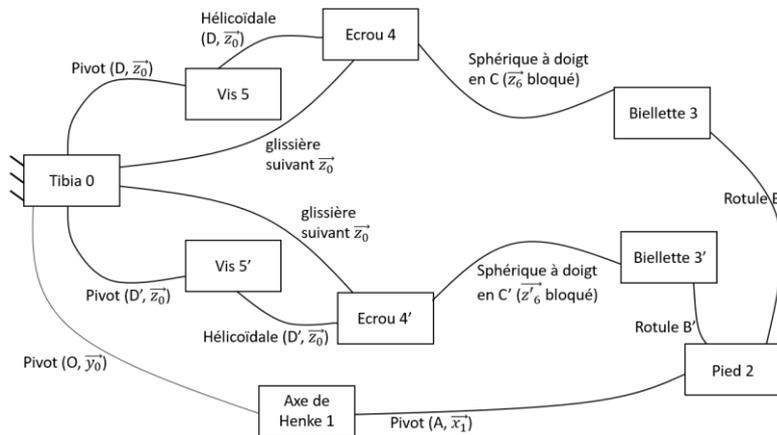
L'association de ces deux liaisons pivots d'axes perpendiculaires en série (addition des torseurs cinématiques) conduit à déterminer une liaison rotule à doigt (joint de cardan) de centre C.

$$\{V3/6\} + \{V6/4\} = \left\{ \begin{matrix} \omega_x 64 & 0 \\ \omega_y 36 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}_{C, B6}$$

Q5 : Comparaison : La liaison rotule à doigt (joint de cardan) est privée de la rotation sur \vec{z}_6 par rapport à la liaison sphérique de l'architecture B.

Ce choix supprime le degré de mobilité de la biellette tout en préservant les mobilités du mécanisme global. D'un point de vue réalisation, ce choix augmente la rigidité de l'ensemble. Il est cohérent avec le choix d'avoir l'écrou en translation et la vis en rotation. La biellette est ainsi décalée sur le côté.

Q6 : Graphe de liaisons avec la liaison équivalente.



Q7 : Avec les deux liaisons sphériques à doigt :

Méthode issue de la statique : deux mobilités utiles liées aux deux actionneurs (moteur), pas de mobilité interne. 9 solides dont le bâti.

$$H_{3D} = N_{inc} - N_{eq} + \text{mobilités}$$

$$H_{3D} = 8 \times 5 + 2 \times 4 + 2 \times 3 - (6 \times 8) + 2 = 8$$

Contraintes géométriques viennent des deux ensembles de liaisons {pivot, glissière et hélicoïdale suivant \vec{z} } qui ont chacun un degré d'hyperstatisme de 4. Sur l'écrou 4, parallélisme de l'axe de l'écrou et l'axe de la glissière coplanaires (bloque 2 rotations). Sur le tibia 0, parallélisme de l'axe de la liaison pivot et de l'axe de la glissière coplanaires (bloque 2 rotations). Envisager que les distances entre axes soient réglables sur le tibia ou sur l'écrou.

Q8 : Pour étudier la rotation sagittale uniquement, on considère $\theta_h = 0$ rad. Tous les mouvements utiles sont alors :

- soit des rotations d'axes perpendiculaires à \vec{y}_0 ;
- soit des translations de directions comprises dans le plan (\vec{z}_0, \vec{x}_0).

On réalise donc une modélisation plane du mécanisme. Les liaisons rotule et rotule à doigt sont simplifiées en liaisons pivot. Par symétrie du mécanisme, on considère une seule biellette et un seul écrou.

Q9 : La chaîne de solides 0-{1+2}-3-4-0 est fermée.

On écrit donc $\vec{OC} + \vec{CB} + \vec{BO} = \vec{0}$ soit $-l_0 \cdot \vec{x}_0 + \lambda(t) \cdot \vec{z}_0 + l_3 \cdot \vec{x}_3 + l'_1 \cdot \vec{x}'_1 = \vec{0}$. En projetant dans la base B_0 , on obtient :

$$\lambda(t) = l'_1 \sin(\theta_1) \pm \sqrt{l_3^2 - [l_0 - l'_1 \cos(\theta_1)]^2}$$

Q10 : $\lambda(t)$ paramètre le déplacement vertical (selon \vec{z}_0) du point C par rapport au point O. Ainsi, sur l'annexe 4 (pied à plat), on a $\lambda > 0$. Il faut donc retenir la solution 2 (celle du haut, pointillés).

Si λ devient trop négatif, il y a d'une part le risque de collision entre l'exosquelette et le sol et, d'autre part, un angle trop important imposé à la cheville du patient.

Autres arguments : loi entrée-sortie quasi linéaire pour cette solution donc facilité de modélisation de la commande. Loi ES symétrique par rapport à θ_{10} pour cette solution donc commande facilitée.

Q11 : On fixe $\theta_s = 0$ rad et on réalise deux fermetures géométriques (chaînes 0-1-2-3-4-0 et 0-1-2-3'-4'-0).

Q12 : Avec la figure 8, on vérifie que $\theta_s \in [-16 ; 9]^\circ$ pour $\lambda_1 = \lambda_2 \in [25;75]$ mm (environ). Exigence 1.1.1.1 validée.

Avec la figure 9, on vérifie que $\theta_h \in [-18 ; 18]^\circ$ pour $\lambda_1 \in [-16 ; 16]$ mm (environ) et $\lambda_2 \in [-16 ; 16]$ mm (environ). Exigence 1.1.2.1 validée.

Q13 : A partir des coordonnées des deux points, on détermine l'équation paramétrique de la droite passant par ces deux points pour $t \in \mathbb{R}$:

$$\begin{aligned} X &= X_{C1} + (X_B - X_{C1}) \times t \\ Y &= Y_{C1} + (Y_B - Y_{C1}) \times t \\ Z &= Z_{C1} + (Z_B - Z_{C1}) \times t \end{aligned}$$

On définit t pour $Z = Z_T$: $t = \frac{Z_T - Z_{C1}}{Z_B - Z_{C1}}$

Les coordonnées des points d'intersection sont évaluées pour la valeur de Z_T . On applique cette démarche pour l'ensemble des couples de points et on récupère l'ensemble des points intersections des droites et du plan.

Q14 : Equation de la droite à partir du vecteur unitaire et d'un point :

Altitude $\leftarrow z_T$

$[x_1, y_1, z_1] \leftarrow$ point1

$[x_2, y_2, z_2] \leftarrow$ point2

Norme $\leftarrow \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$

Vecteur_unitaire $\leftarrow [(x_1 - x_2)/\text{norme}, (y_1 - y_2)/\text{norme}, (z_1 - z_2)/\text{norme}]$

Intersection droite/plan

$[a, b, c] \leftarrow$ Vecteur_unitaire

$t \leftarrow (z_T - z_1)/c$

$x \leftarrow a \cdot t + x_1$

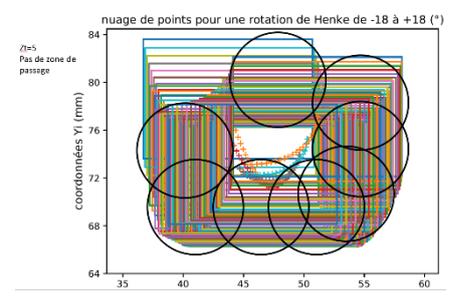
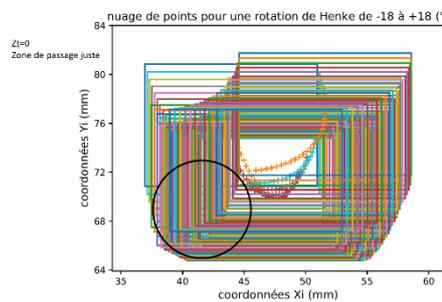
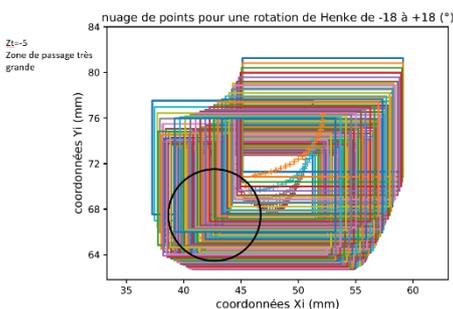
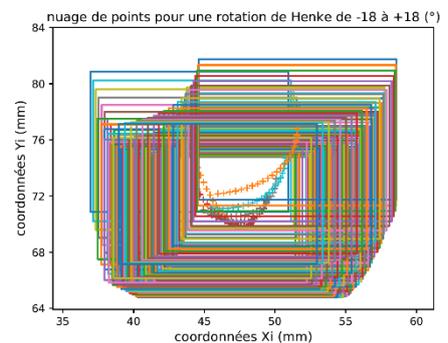
$y \leftarrow b \cdot t + y_1$

$l \leftarrow [x, y, z_T]$

Q15 :

La forme du trou avec la section de la biellette (10x14) qui reste parallèle à x et y est le contour décalé de 0.5 mm ci-dessus.

Q16 : En se plaçant à la limite de passage de la biellette, seule la solution à $Z=5$ ne présente pas de zone ouverte de 8 mm de diamètre. C'est aussi l'attitude la plus proche de la liaison en



translation donc avec le moins de débattement.

Q17 : L'énergie cinétique d'un ensemble de solides est la somme des énergies cinétiques de chacun des solides. Par ailleurs, E_{12} est en rotation d'axe fixe par rapport à R_0 et 4 est en translation rectiligne par rapport à R_0 . Donc :

$$T_{E/R_0} = T_{E_{12}/R_0} + T_{3/R_0} + T_{4/R_0} = \frac{1}{2} J_{12} \cdot \omega_{12}^2 + 0 + \frac{1}{2} m_4 \cdot v_4^2 = \frac{1}{2} (J_{12} + m_4 \cdot k^2) \omega_{12}^2$$

On identifie $J_{eq} = J_{12} + m_4 \cdot k^2$.

Q18 : On applique le TEC à E dans R_0 galiléen : $\frac{dT_{E/R_0}}{dt} = P_{int} + P_{ext}$ avec $\frac{dT_{E/R_0}}{dt} = J_{eq} \omega_{12} \dot{\omega}_{12}$.

Les liaisons sont supposées parfaites donc $P_{int} = 0$.

Pour déterminer P_{ext} , on réalise un BAME :

- Pesanteur $\{T_{pes \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{matrix} -m_{12}g \cdot \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_G$. Puissance associée : $-m_{12}g \cdot \vec{z}_0 \cdot \vec{V}_{G,E_{12}/R_0}$
avec $\vec{V}_{G,E_{12}/R_0} = -(x_G \dot{z}_2' + z_G \dot{x}_2') \dot{\theta}_2'$;
- Action motrice $\{T_{mot \rightarrow 4}\}$. Puissance associée : $F(mot \rightarrow 4) \cdot \vec{z}_0 \cdot \vec{V}_{C,4/R_0} = F(mot \rightarrow 4) \cdot v_4$;
- Effort du sol $\{T_{ext \rightarrow E_{12}}\}$. Puissance associée : $C_s \cdot \vec{y}_0 \cdot \vec{\Omega}_{E_{12}/R_0} = C_s \dot{\theta}_2'$.

Soit $J_{eq} \omega_{12} \dot{\omega}_{12} = m_{12}g(x_G \cos(\theta_2') - z_G \sin(\theta_2')) \dot{\theta}_2' + F(mot \rightarrow 4) \cdot v_4 + C_s \dot{\theta}_2'$ avec $\dot{\theta}_2' = \dot{\theta}_1 = \omega_{12} \neq 0$.

D'où : $C_s = J_{eq} \dot{\omega}_{12} - m_{12}g(x_G \cos(\theta_2') - z_G \sin(\theta_2')) - F(mot \rightarrow 4) \cdot k$.

Q19 : $\{T_{4 \rightarrow 5}\} = \left\{ \begin{matrix} X_{45} \cdot \vec{x}_0 + Y_{45} \cdot \vec{y}_0 + Z_{45} \cdot \vec{z}_0 \\ L_{45} \cdot \vec{x}_0 + M_{45} \cdot \vec{y}_0 + N_{45} \cdot \vec{z}_0 \end{matrix} \right\}_C$ avec $N_{45} = -\frac{p}{2\pi} Z_{45}$.

Q20 : Pour obtenir la figure 13, on a considéré :

$\omega_{mot} = 2000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} = \text{cste}$ (régime permanent) donc v_4 est constante et ω_{12} aussi.

Le TEC devient $C_s = -m_{12}g(x_G \cos(\theta_2') - z_G \sin(\theta_2')) - F(mot \rightarrow 4) \cdot k$;

$N_{45} = 2C_{max} = 1,2 \text{ N} \cdot \text{m}$ et $F(mot \rightarrow 4) = Z_{45}$ donc $F(mot \rightarrow 4) = -\frac{2\pi}{p} 2C_{max}$.

Le TEC devient $C_s = -m_{12}g(x_G \cos(\theta_2') - z_G \sin(\theta_2')) + \frac{4\pi}{p} C_{max} \cdot k$.

Enfin, θ_2' est lié à θ_1 : à une constante θ_{20} près : $\theta_2' = \theta_1 - \theta_{20}$. On peut estimer $\theta_{20} \approx 60^\circ$ car, sur l'annexe 4, $\theta_2 = 0$ et $\theta_1 \approx 60^\circ$.

On obtient finalement $C_s = -m_{12}g(x_G \cos(\theta_1 - \theta_{20}) - z_G \sin(\theta_1 - \theta_{20})) + \frac{4\pi}{p} C_{max} \cdot k$.

Q21 : Sur la figure 14, on relève $C_s \in [184 ; 192] \text{ N} \cdot \text{m}$. C'est toujours supérieur à $117 \text{ N} \cdot \text{m}$; l'exigence 3.1.1 est donc validée : les moteurs pourront lutter contre l'action mécanique extérieure quelle que soit la position du pied (quelques soient θ_s et θ_h).

Sur la figure 15, on relève $C_h \in [82 ; 90] \text{ N} \cdot \text{m}$. C'est toujours supérieur à $78 \text{ N} \cdot \text{m}$; l'exigence 3.1.2 est donc validée pour les mêmes raisons.

Q22 : Les biellettes 3 et 3' sont soumises chacune à deux actions mécaniques extérieures de type glisseur (liaisons rotules). Ainsi on en déduit :

$$\{T_{2 \rightarrow 3}\} + \{T_{4 \rightarrow 3}\} = \{0\}$$

$$\{T_{2 \rightarrow 3}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{X}_{23} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_B \text{ et } \{T_{4 \rightarrow 3}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{X}_{43} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_C$$

Ecriture du TMS en C, comme $\vec{CB} \neq \vec{0}$ et $\vec{X}_{23} \neq \vec{0}$ alors \vec{CB} et \vec{X}_{23} sont colinéaires.

Un solide soumis à deux glisseurs est en équilibre si et seulement si la direction des deux glisseurs est portée par la droite qui passe par les deux points d'application (ici B et C) et que les actions mécaniques représentées par les glisseurs sont opposées.

La direction des efforts dans la biellette 3 est la droite (BC).

La direction des efforts dans la biellette 3' est la droite (B'C').

Q23 : On isole le pied 2 en équilibre dans le référentiel galiléen. Bilan des actions mécaniques extérieures :

- action de l'axe de Henke (liaison pivot d'axe \vec{x}_1') : $\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{pmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{pmatrix}_{A,B_1}$
- action de la biellette 3 (rotule de centre B) : $\{T_{3 \rightarrow 2}\} = \begin{pmatrix} X_{32} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{B,B_3}$

- action de la biellette 3' (rotule de centre B') : $\{T_{3' \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} X_{3'2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B', B'3}$
- action extérieure du sol
- $\{T_{sol \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} 0,6 \cdot F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0,8 \cdot F & 0 \end{Bmatrix}_{P, B_2}$

Q24 : On isole le pied 2, on applique le PFS au point A, après projection des torseurs dans la base B_1 , on obtient 6 équations et 7 inconnues. On ne peut pas résoudre. Le modèle de l'ensemble de la cheville proposé est isostatique, l'étude statique globale a une solution. Pour résoudre, il faut isoler l'axe de Henke qui donne une relation entre M_{12} et Z_{12} (voir question suivante).

Q25 : On isole l'axe de Henke 1 en équilibre dans le référentiel galiléen :

Bilan des actions mécaniques extérieures :

$$\{T_{2 \rightarrow 1}\} = - \begin{Bmatrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_{A, B_1} \quad \text{et} \quad \{T_{0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X_{01} & L_{01} \\ Y_{01} & 0 \\ Z_{01} & N_{01} \end{Bmatrix}_{O, B_1}$$

PFS au point A, on obtient 6 équations :

$$\begin{aligned} -X_{12} + X_{01} &= 0 \\ -Y_{12} + Y_{01} &= 0 \\ -Z_{12} + Z_{01} &= 0 \\ 0 + L_{01} - l_2 Z_{01} &= 0 \\ -M_{12} - l_1 Z_{01} &= 0 \\ -N_{12} + N_{01} + l_1 Y_{01} + l_2 X_{01} &= 0 \end{aligned}$$

$$\{T_{0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} X_{12} & l_2 Z_{12} \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & N_{12} - l_1 Y_{12} - l_2 X_{12} \end{Bmatrix}_{O, B_1}$$

$-M_{12} - l_1 Z_{01} = 0$ donne la relation $M_{12} = -l_1 Z_{12}$ utile pour la relation du PFS sur le pied 2.

Q26 : Le dimensionnement du palier se fait avec les critères de pression P , de vitesse de glissement V_g et du produit PV_g .

Les éléments utiles sont :

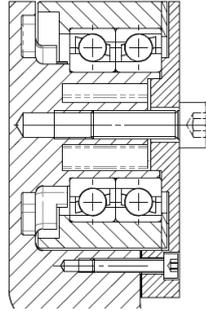
- Dimensionnels : diamètre 30 et longueur 26 mm, soit une surface projetée de 780 mm²
- Un effort axial : 493 N
- Les efforts radiaux : 9700 N
- Le moment de 837 Nm
- La vitesse de rotation $\omega = 1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, soit une vitesse de glissement de 0,015 m/s
- La longueur de 26 mm ne permet pas d'installer deux paliers de 16 mm (32 mm > 26 mm), la charge n'est pas répartie uniformément du fait du moment sur \vec{x}_0 . Le palier n'est pas retenu.

Q27 : Les éléments utiles sont :

- Dimensionnels : diamètre 30 et longueur 26 mm, soit une surface projetée de 780 mm²
- Un effort axial : 493 N
- Les efforts radiaux : 9700 N
- Le moment de 837 Nm
- La vitesse de rotation $\omega = 1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- La longueur de 26 mm peut recevoir les deux roulements à billes à contact oblique, $F_a/F_r = 0,05$, ainsi $X = 1$ et $Y = 0$ et $L_{10} = 10,97 \cdot 10^6$ tours soit 18230 h de fonctionnement.

Q28 : On choisit un montage de roulement en O pour éloigner les points de réductions des efforts, l'arbre est un arbre court et montage en porte-à-faux.

Q29 :



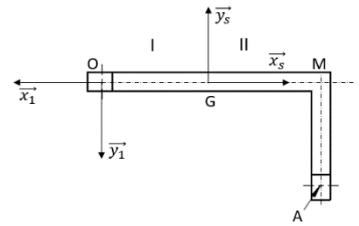
Q30 : La poutre présente une discontinuité géométrique, étude sur le tronçon OM : $\vec{x}_s = -\vec{x}_1$, $\vec{y}_s = -\vec{y}_1$ et $\vec{OG} = \lambda \vec{x}_s$

On isole la partie I

$$\begin{cases} \{T_{0 \rightarrow 1}\} + \{T_{II \rightarrow 1}\} = \{0\} \\ \{T_{II \rightarrow 1}\} = -\{T_{0 \rightarrow 1}\} \end{cases}$$

PFS au point G,

$$\{T_{II \rightarrow 1}\} = \begin{pmatrix} -6000 & -400 \\ 0 & 7500\lambda \\ 7500 & -300 \end{pmatrix}_{G, B_s} = \begin{pmatrix} 6000 & 400 \\ 0 & -7500\lambda \\ 7500 & -300 \end{pmatrix}_C$$



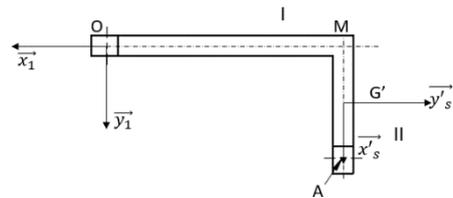
Etude sur le tronçon MA : $\vec{x}'_s = \vec{y}_1$, $\vec{y}'_s = -\vec{x}_1$ et $\vec{OG}' = l_1 \vec{y}'_s + v \vec{x}'_s$

On isole la partie I

$$\begin{cases} \{T_{0 \rightarrow 1}\} + \{T_{II \rightarrow 1}\} = \{0\} \\ \{T_{II \rightarrow 1}\} = -\{T_{0 \rightarrow 1}\} \end{cases}$$

PFS au point G',

$$\{T_{II \rightarrow 1}\} = \begin{pmatrix} 0 & -7500l_1 \\ -6000 & -400 + 7500v \\ 7500 & -300 + 6000v \end{pmatrix}_{G', B'_s} = \begin{pmatrix} 6000 & 400 - 7500v \\ 0 & -7500l_1 \\ 7500 & -300 + 6000v \end{pmatrix}_{G', B_1}$$



Q31 : Pour le tronçon OM, le torseur de cohésion prend les valeurs maximales pour G en M. Ce tronçon est sollicité en :

- traction et cisaillement (pas de cisaillement sur \vec{y}_1) ;
- flexion combinée et torsion.

Le tronçon MA est sollicité quant à lui en :

- Cisaillement ;
- Flexion combinée et torsion.

$v \in [0, 77\text{mm}]$ à lire sur le dessin de l'axe de Henke si besoin,

Ainsi, pour G' en M, $v = 0$:

$$\{T_{II \rightarrow 1}\} = \begin{pmatrix} 0 & -7500l_1 \\ -6000 & -400 \\ 7500 & -300 \end{pmatrix}_{M, B'_s} = \begin{pmatrix} 6000 & 400 \\ 0 & -7500l_1 \\ 7500 & -300 \end{pmatrix}_{M, B_1}$$

Ainsi, pour G' en A, $v = 77\text{mm}$:

$$\{T_{II \rightarrow 1}\} = \begin{pmatrix} 0 & -7500l_1 \\ -6000 & 177 \\ 7500 & 162 \end{pmatrix}_{A, B'_s} = \begin{pmatrix} 6000 & -177 \\ 0 & -7500l_1 \\ 7500 & 162 \end{pmatrix}_{A, B_1}$$

Le torseur de cohésion prend les valeurs maximales pour G' en M.

La section étant supposée constante, c'est en M que les contraintes seront maximales.

Q32. Les zones de sollicitations maximales se situent dans la partie la plus fine de la pièce, proche de la zone du montage de roulement de la liaison pivot avec le tibia.

L'écart entre les résultats de la simulation et ceux du calcul précédent s'explique par le modèle de poutre qui est très éloigné de la réalité.

Q33 : Les formes de l'axe de Henke présentent des zones où la contrainte simulée dépasse légèrement la limite élastique du matériau. On dépasse aussi cette limite dans la zone de contrainte maxi déterminée précédemment.

L'axe de Henke seul ne supporte pas les efforts imposés. Le montage de roulement, le couvercle apportent une rigidité supplémentaire qui permettent de diminuer la contrainte maximale réelle.

Q34 :

$$\overrightarrow{F_{axe}^0 F_{axe}^1} = \begin{Bmatrix} 1.294 \\ 1.12 \\ -0.5274 \end{Bmatrix}_{B_0} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{G_{axe}^0 G_{axe}^1} = \begin{Bmatrix} 1.137 \\ 1.12 \\ -1.094 \end{Bmatrix}_{B_0}$$

On connaît (dimensions en mm) :

$$\{D_{tibia/0}\} = \begin{Bmatrix} \alpha & 1.294 \\ \beta & 1.12 \\ \gamma & -0.5274 \end{Bmatrix}_{F, B_0}$$

$$\{D_{tibia/0}\} = \begin{Bmatrix} \alpha & 1.137 \\ \beta & 1.12 \\ \gamma & -1.094 \end{Bmatrix}_{G, B_0}$$

En O :

$$\overrightarrow{M_O}(tibia/0) = \overrightarrow{M_F}(tibia/0) + \overrightarrow{OF} \wedge (\alpha \overrightarrow{x_0} + \beta \overrightarrow{y_0} + \gamma \overrightarrow{z_0})$$

$$\overrightarrow{M_O}(tibia/0) = \overrightarrow{M_G}(tibia/0) + \overrightarrow{OG} \wedge (\alpha \overrightarrow{x_0} + \beta \overrightarrow{y_0} + \gamma \overrightarrow{z_0})$$

Avec $\overrightarrow{OF} = -15\overrightarrow{y_0}$ et $\overrightarrow{OG} = 15\overrightarrow{y_0}$

$$\overrightarrow{M_O}(tibia/0) = 1.294\overrightarrow{x_0} + 1.12\overrightarrow{y_0} - 0.5274\overrightarrow{z_0} + 15\alpha\overrightarrow{z_0} - 15\gamma\overrightarrow{x_0}$$

$$\overrightarrow{M_O}(tibia/0) = 1.137\overrightarrow{x_0} + 1.12\overrightarrow{y_0} - 1.094\overrightarrow{z_0} - 15\alpha\overrightarrow{z_0} + 15\gamma\overrightarrow{x_0}$$

On en déduit :

$$1,294 - 15\gamma = 1,137 + 15\gamma$$

$$1,12 = 1,12$$

$$-0,5274 + 15\alpha = -1,094 - 15\alpha$$

$$\alpha = \frac{-1,094 + 0,5274}{30} = -0,019 \text{ rad} = -1,08^\circ$$

$$\gamma = \frac{1,294 - 1,137}{30} = 0,0052 \text{ rad} = 0,3^\circ$$

$$\{D_{tibia/0}\} = \begin{Bmatrix} -0,019 & 1,216 \\ \beta & 1,12 \\ 0,0052 & -0,8124 \end{Bmatrix}_{O, B_0}$$

Q35 : Optimisation topologique avec un modèleur 3D qui définit les zones de matière à partir des surfaces de contact du mécanisme à conserver et des efforts appliqués sur la pièce.

Q36 : La biellette subit une sollicitation de compression (pas de risque de flambage).

Q37 : $\sigma = \frac{N}{S} = \frac{5350}{14 \times 10} = 38,2 \text{ MPa}$, $\sigma' = \frac{N}{S} = \frac{2000}{14 \times 10} = 14,3 \text{ MPa}$

Valeurs largement inférieures au Rp0.2 de 850 MPa

Q38 : Pour une sollicitation de compression simple, $\Delta l = \frac{\sigma}{E} \times l$

Applications numériques :

$$\Delta l_C = \frac{38,2}{205000} \times 147 = 0,0274 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{C'} = \frac{14,3}{205000} \times 147 = 0,0102 \text{ mm}$$

Q39 : A partir des petits déplacements du point O de l'axe de Henke, la rotation autour de $\overrightarrow{x_0}$ de $-0,019 \text{ rad}$ entraîne un déplacement de la hanche de 18 mm vers l'intérieur.

Le centre de gravité du corps est alors déplacé à gauche alors qu'il devait être déplacé au-dessus du pied à droite (vers l'extérieur).

Q40 : L'exigence n'est pas vérifiée. Le patient risque d'avoir le pied gauche qui reste au sol... les autres liaisons motorisées permettent de garantir le bon placement de la hanche.

Q41 : Fonctions :

{Cyl1, PI1} pour mise en position du montage de roulement, cylindre prépondérant et appui

{Cyl3, PT1, PI3} pour centrage du couvercle et maintien

{Cyl2, PI2} pour mise en position du montage de roulement, cylindre prépondérant et appui

{Cyl4, PT2} pour centrage du couvercle 2 (non défini et maintien) du second montage de roulement.

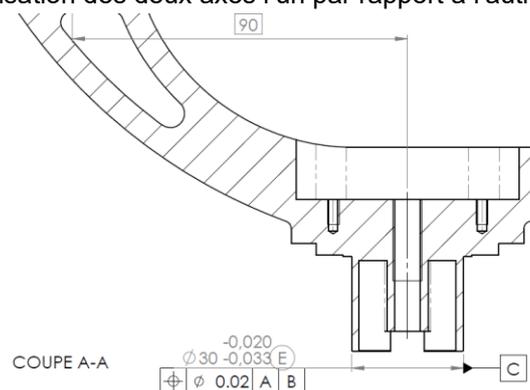
Antériorités : deux cas soit Cyl1 parent de Cyl2 (ou l'inverse)

Cyl1 – PI1 et Cyl3 et PT1 – PI3

Cyl1 – Cyl2 – PI2 et Cyl4 et PT2

Q42 : {Cyl1, PI1} pour mise en position du montage de roulement, cylindre prépondérant et appui.

Q43 : Perpendicularité ou localisation des deux axes l'un par rapport à l'autre.



Q44 :

Élément toléré : ligne réputée rectiligne dérivée d'une surface réputée cylindrique ;

Élément de référence : surface réputée cylindrique et surface réputée plane ;

Référence spécifiée : DROITE A, axe du plus petit cylindre circonscrit construit tangent extérieur matière minimisant l'écart maxi ;

PLAN B tangent extérieur matière et contraint perpendiculaire à la DROITE A ;

Zone de tolérance : Volume d'un cylindre de diamètre 0,02 mm dont l'axe est contraint perpendiculaire à A et à 90 mm de B.

Q45 : 2 phases pour accéder à l'ensemble des surfaces,

Prise de la pièce dans un étau avec suppression des 6 ddl par appui plan, linéaire rectiligne et ponctuelle.

Phase 1 : usinage des surfaces fonctionnelles et des surfaces accessibles

Phase 2 : MIP sur les surfaces fonctionnelles usinées avec suppression des 6 ddl par centrage long, et deux ponctuelles

Choix d'outils : fraises 2 tailles et de forme, forêts et tarauds

Q46 : Pour la très petite série, on peut envisager l'impression 3D métallique avec usinage de finition pour les surfaces fonctionnelles.

Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Cette épreuve est d'une durée de 6 heures, coefficient 1. Elle a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système pluritechnologique dans le cadre de l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique.

1. Présentation du sujet



Le support du sujet est la cheville de l'exosquelette Atalante de la société Wandercraft conçu pour la verticalisation de patients ayant souffert d'un AVC.

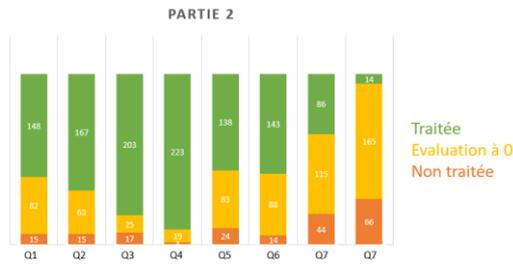
L'objectif général de l'étude est l'analyse et la vérification des choix de conception de la cheville.

Ce sujet est construit avec 7 parties distinctes (la partie 1 concerne la présentation) :

- partie 2 : choix d'une architecture de cheville puis appropriation de la solution retenue par le constructeur et mise en place d'un modèle ;
- partie 3 : validation d'une géométrie vis-à-vis des débattements angulaires à atteindre ;
- partie 4 : optimisation de forme d'une pièce vis-à-vis des normes de sécurité ;
- partie 5 : dimensionnement des actionneurs vis-à-vis des efforts extérieurs ;
- partie 6 : dimensionnement et conception du guidage en rotation de l'axe du plan sagittal vis-à-vis des efforts extérieurs ;
- partie 7 : analyse des déformations de deux pièces pour améliorer la commande de la cheville ;
- partie 8 : étude d'industrialisation de l'axe de Henke.

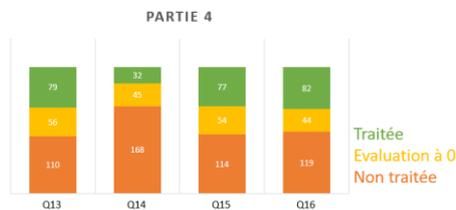
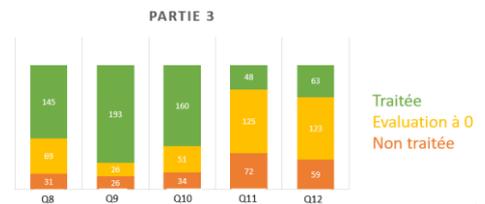
2. Analyse globale des résultats

Un petit nombre de candidats bien préparés traite correctement la quasi-totalité du sujet. Pour bon nombre de candidats, il se dégage un manque de maîtrise des compétences et des connaissances élémentaires. Les nombres inscrits dans les bâtons des histogrammes correspondent au nombre de candidats.



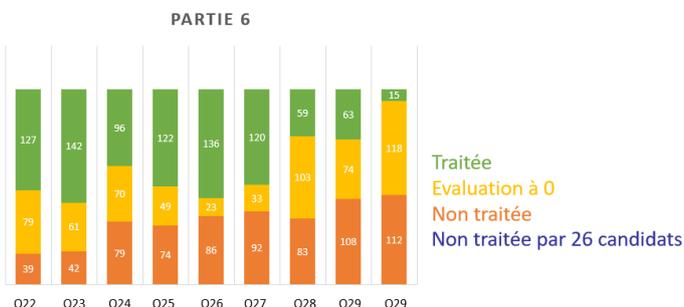
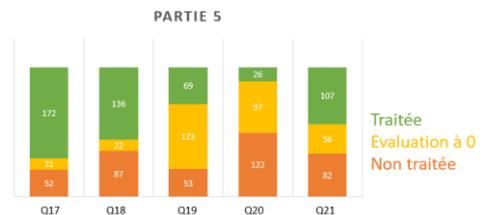
La partie 2 composée des questions 1 à 7 aborde l'analyse du mécanisme d'un point de vue géométrique. Cette partie a été traitée par l'ensemble des candidats.

La partie 3 composée des questions 8 à 12 propose la validation de la géométrie en fonction des contraintes de déplacement en simplifiant le mouvement pour être dans une configuration plane. Elle a été traitée complètement par environ 70% des candidats.



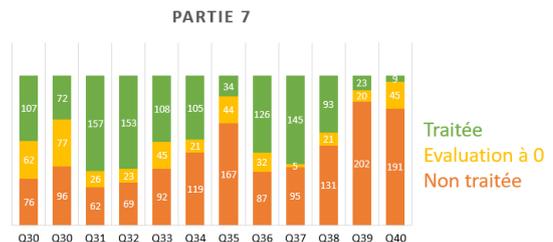
La partie 4 composée des questions 13 à 16 porte sur la définition de la forme de l'ouverture pour le passage de la bielle dans le carter. Cette partie a été peu traitée et avec une réussite assez faible bien que l'approche ait été comprise, les réponses n'ont été que partielles.

La partie 5 composée des questions 17 à 21 est une partie d'étude dynamique permettant la validation du choix des moteurs. Seuls 29% des candidats ont traité la question 19 (théorème de l'énergie cinétique).

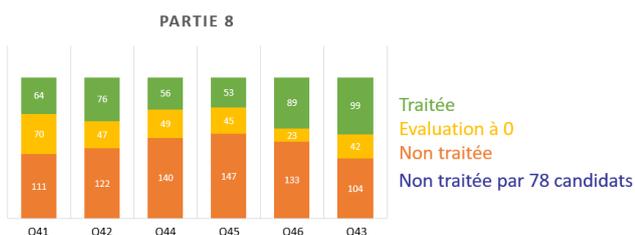


La partie 6 composée des questions 22 à 29 traite du dimensionnement de la liaison pivot à partir d'une étude statique puis de sa conception (croquis). 25% des candidats ont réussi totalement ou partiellement la conception de la liaison pivot.

La partie 7 composée des questions 30 à 40 traite du comportement des biellettes et de l'axe de Henke sous les efforts de la marche. Les questions 30 et 31 (modélisation de RDM) n'ont permis qu'à 29% des candidats de gagner des points.



La partie 8 composée des questions 41 à 46 propose une approche pour la cotation ISO d'un point de vue concepteur avec analyse des antériorités. Puis il est proposé, une « approche fabricant » pour la réalisation de l'axe de Henke.



3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 2 : Les premières difficultés rencontrées portent sur la définition des liaisons et le calcul du degré d'hyperstaticité du mécanisme global pour ensuite se placer sur un modèle simplifié. La question 4, détermination de la liaison équivalente, bien qu'abordée par l'ensemble des candidats n'est que partiellement rédigée. Le jury constate que la résolution ne s'appuie que rarement sur la définition des torseurs. Les paramètres géométriques des liaisons sont souvent oubliés (point, axe...).

Partie 3 : La définition attendue d'un problème plan est généralement incomplète. Le terme de problème plan n'est parfois même pas cité. Le calcul de projection dans une base n'est maîtrisé que par quelques candidats. Ainsi, la relation attendue est partielle ou au signe près. L'exploitation des courbes est incomplète et l'ensemble des paramètres non exploités, les candidats ne font pas le lien entre les débattements angulaires et les courses des écrous.

Partie 4 : L'intersection du plan et de la droite est globalement proposée et les candidats qui réalisent des schémas pour appuyer leur choix améliorent l'explicitation de leur démarche. La mise en équation n'a pas été bien traitée. Quelques candidats ont proposé des instructions en Python pour coder la construction des points d'intersection. Le croquis du passage des bielles est rarement coté et justifié. Le jury rappelle aux candidats que les schémas doivent être lisibles et compréhensibles (annotations ou commentaires).

Partie 5 : La définition de l'énergie cinétique est connue, la méthodologie conduisant à la détermination de l'inertie équivalente n'a pas fait l'objet des développements attendus. Le jury constate un manque de rigueur dans la justification des éléments pris en compte. La question 19 qui porte sur la définition de la liaison hélicoïdale a été traitée et réussie par 28% des candidats. La question 20 n'a pas été réussie, cette question faisait appel aux données du sujet, vitesse constante (maxi) et couple moteur donné. Certaines réponses concernant la conclusion relative à la validation des moteurs apparaissent déconnectées de la simple lecture des graphiques fournis.

Partie 6 : Seulement 50% des candidats réussissent à définir la direction des efforts dans un solide soumis à deux glisseurs. Pourtant, il s'agit d'un cas particulier, fondamental de la résolution d'un problème d'équilibre statique. La modélisation des actions mécaniques des liaisons entre solides sous forme de torseur est réussie. La conception est ébauchée par 50% des candidats.

Partie 7 : Cette partie d'étude de résistance des matériaux et d'exploitation des résultats de la simulation numérique met en évidence les difficultés rencontrées par certains candidats pour travailler avec un modèle tridimensionnel. Le calcul de la rotation du tibia à partir du torseur des petits déplacements n'est que très rarement fait.

Partie 8 : L'axe de Henke présente deux liaisons pivot avec le tibia et le pied. Le jury regrette que très peu de candidats ont traité cette partie. La mise en place d'une spécification fonctionnelle entre les deux axes des liaisons pivots pose des difficultés à bon nombre de candidats ce qui reste pourtant un cas élémentaire de spécification géométrique de produit entre liaisons.

4 Conseils aux futurs candidats

Le jury encourage fortement les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines de la spécialité Ingénierie Mécanique. Cette épreuve permet de faire des choix technologiques. Ceux-ci s'appuient sur des critères scientifiques issus de modèles et ne peuvent relever uniquement de savoirs faire. Certains candidats ont choisi de ne traiter que les parties scientifiques, d'autres uniquement les questions technologiques sans faire de lien avec les résultats de modélisation. La note finale s'en trouve alors fortement altérée.

Le jury constate parfois un manque de rigueur, notamment dans la mise en œuvre de fondamentaux de la mécanique (théorème de l'énergie cinétique, principe fondamental de la dynamique, projection vectorielle dans des bases autres que celle associée au bâti...). Il en est de même des expressions littérales. La présentation des copies et leur rédaction doivent être irréprochables. Les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées, les résultats doivent être clairement mis en évidence. Les croquis doivent être accompagnés d'une explication ou d'une légende. Les argumentations relatives aux choix technologiques doivent s'appuyer sur des performances chiffrées, en accord avec le cahier des charges du système étudié. Le jury a constaté avec satisfaction que certaines copies revêtent un caractère exemplaire avec des argumentations claires et concises.

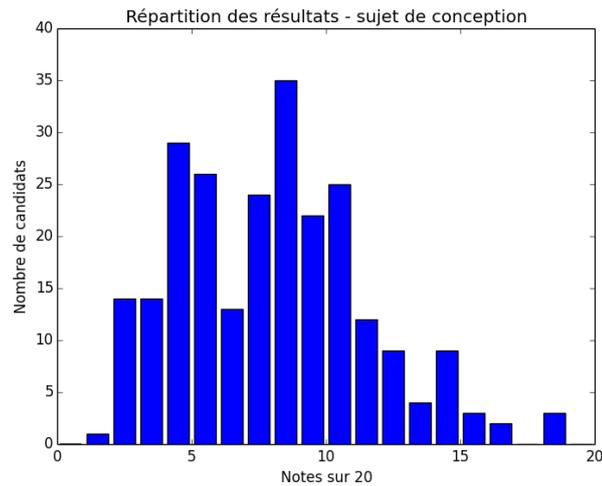
Réussir cette épreuve demande :

- une lecture attentive du sujet dans son ensemble ;
- une bonne maîtrise des outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- une bonne maîtrise des modèles de connaissance de tous les domaines de l'ingénierie mécanique ;
- une culture technologique riche adossée à une connaissance des normes en vigueur.

5. Résultats

245 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5/20 avec :

- 18,19/20 comme meilleure note ;
- 1,94/20 comme note la plus basse.



6 Conclusion

Le sujet avait pour objectif de permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents aspects de l'étude d'un système pluritechnologique. Le choix d'un système innovant, conçu et fabriqué en France, en constante amélioration, a permis aux candidats de composer sur des problématiques industrielles authentiques à la pointe de la technologie. Le jury rappelle qu'un produit industriel fait appel à des connaissances transversales et que les candidats ne peuvent se limiter à des connaissances mono disciplinaires.

Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

Étude d'un robot haptique

Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)

Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0h45)

Objectifs : s'approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l'architecture de la séquence de formation.

Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

La séquence pédagogique à construire est associée à un des deux contextes pédagogiques suivants, à choisir par le candidat :

	Choix 1	Choix 2
Titre de la séquence	Vérifier les performances cinématiques d'un système	Régler la partie commande d'un système
Niveau de formation visé	CPGE – filière scientifique – voie PTSI	CPGE – filière scientifique – voie PT
Supports pédagogiques	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : - berceur pour bébé ; - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; - barrière automatique de parking ; - pilote hydraulique de bateau ; - drone I2C ; - robot haptique ; - suspension de moto BMW 1100 RS type « paralever » ; - plateforme 6 axes ; - portail automatisé ; - COMAX.	
Effectif	classe de 48 élèves, groupe à effectif réduit de 24 élèves	
Volume horaire	8,5 heures hebdomadaires (2 h cours + 4 h TD + 2,5 h TP)	

Les documents suivants sont fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

- le programme du niveau de formation visé (fichier *Programme PTSI-PT.pdf*) ;
- une proposition de liste de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier *Progression didactique PTSI-PT.xlsx*).

Production attendue

Une architecture de séquence pédagogique doit être proposée en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, ...), leurs coordinations et leurs organisations.

Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectifs : découvrir le robot haptique, support de l'épreuve de travaux pratiques et présenter de manière appropriée une analyse externe et interne (partielle) du système.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- un robot Falcon autonome qui permet de découvrir les fonctionnalités du produit ;
- un robot didactisé avec pied à coulisse numérique et capteur d'effort, contraint à fonctionner suivant un seul axe, qui permet d'étudier son comportement ;
- une carte électronique de commande et d'acquisition des signaux programmable Arduino Mega.

Les matériels suivants sont disponibles dans le laboratoire :

- un oscilloscope avec sondes ;
- un jeu de masses.

Un dossier ressource est fourni sous forme papier. Il comprend la définition du contexte d'utilisation du robot haptique.

Un dossier technique sous forme papier fournit les éléments suivants :

- les différentes données constructeurs utiles pour les études à mener ;
- les explications relatives à la maquette numérique CAO fournie, au format Solidworks, et son exploitation à l'aide de Méca3D ;
- les éléments utiles pour la programmation de la carte Arduino Mega et l'exploitation des résultats.

Prendre connaissance du document « Le domaine de l'haptique » du dossier ressource.

Activité 1 En manipulant le système « robot haptique » avec l'application « Falcon tutorial » sur le bureau du poste informatique noté PC LOCAL et à l'aide des dossiers technique et ressource, effectuer une mise en fonctionnement du robot. Compléter le tableau du document réponse DR1.

Prendre connaissance du document Interface « Falcon Test » du dossier technique.

Activité 2 Lancer l'application « Falcon test » sur le bureau du PC LOCAL. Manipuler la poignée d'avant en arrière et observer les informations « position sensors ». Depuis l'interface, tester les voyants. Compléter le document réponse DR2 en indiquant la nature de l'information portée par les signaux encadrés sur le diagramme des blocs internes.

Pour la suite de l'épreuve, les manipulations seront effectuées sur le banc du robot haptique didactisé, connecté au poste noté PC RESEAU.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode télé robotique, le robot esclave doit être asservi en position. L'expérience se limite à un mouvement à une seule mobilité, les trois bras ayant alors le même mouvement (même commande moteur).

Activité 3 Suivre le protocole 1 (cf. dossier technique) permettant, à l'aide du logiciel de pilotage Falcon-piloter (raccourci présent sur le bureau du poste noté PC RESEAU), d'acquérir la position du bras. Lancer une acquisition (appui sur le bouton « départ ») pour un échelon d'amplitude 400, avec un réglage de $K_p = 5$. Commenter les performances temporelles du système au regard du contexte en mode télé opération.

Partie 1.3 –expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique : Comment un robot haptique permet-il à un utilisateur d'interagir avec un environnement virtuel ?

Mise en évidence de la fonction haptique

Activité 4 En suivant le protocole 2 du document technique, après avoir téléversé le programme « Commande_moteur_position_poignee.ino » dans la carte Arduino Mega, et vérifié dans les outils que la carte Arduino Mega et le port adéquat ont été sélectionnés, réaliser une série d'essais permettant de ressentir l'effet haptique programmé. Décrire cet effet haptique programmé.

Activité 5 Tracer à l'aide d'Excel (en utilisant les protocoles 2bis et 3 du dossier technique) la commande_moteur en fonction de la position de la poignée. Observer et proposer un modèle de comportement de cette loi de commande.

Un listing du programme « Commande_moteur_position_poignee.ino » se situe dans le dossier technique.

Activité 6 Identifier certaines parties du programme :

- reconnaître la déclaration des différents ports de la carte d'acquisition-commande ;
- retrouver la loi de commande des moteurs ;
- expliquer chacun des termes de la commande moteur en lien avec votre ressenti haptique précédent.

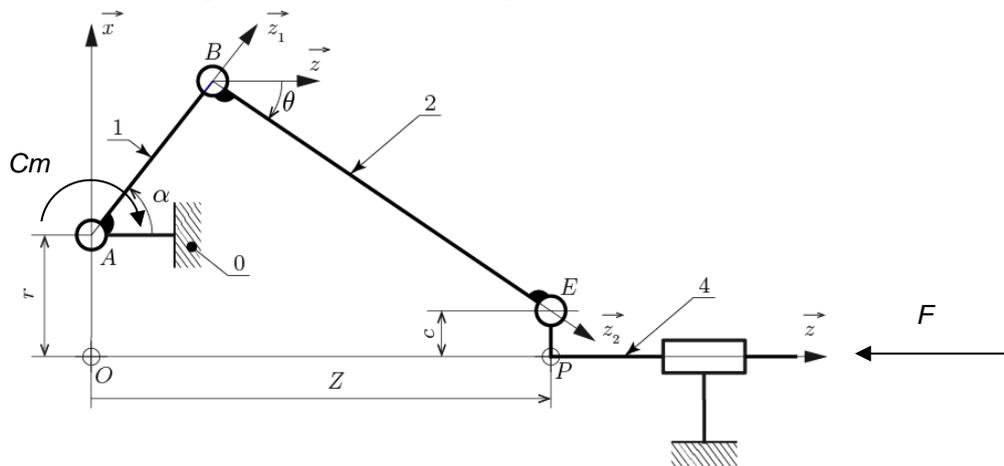
Prendre connaissance de l'annexe 12 « Brochage des sorties des codeurs sur la carte de mesure » du document technique.

Activité 7 À l'aide du document technique, visualiser à l'oscilloscope les signaux du codeur 1. En vous appuyant sur le programme Arduino fourni et sur vos oscillogrammes, expliquer la méthode de mesure de position.

Activité 8 Proposer à l'examineur une modification du programme Arduino permettant de réaliser une butée franche à partir de la position 300 des encodeurs (cf. p7 du dossier technique). Une fois le programme validé, téléverser et tester. Commenter le comportement obtenu et proposer d'éventuelles améliorations.

Identification de la loi de comportement en effort

Dans cette section, l'objectif est de relier l'effort F appliqué sur la poignée au couple C_m imposé par chaque moteur et à l'angle α des bras des moteurs. Le cas d'étude correspond à un couple moteur identique sur les 3 moteurs. L'angle α est introduit sur la figure ci-dessous :



Activité 9 Suivre le protocole 4 (cf. document technique). L'étude se focalise sur un des trois parallélogrammes déformables. Situer l'un d'entre eux sur le graphe des liaisons. Mettre en relation le modèle des liaisons mécaniques fourni dans le document technique avec les solutions constructives sur l'objet réel d'une part, et avec le modèle Méca3d d'autre part. Justifier les adaptations qui ont été nécessaires au niveau du modèle renseigné dans Méca3d.

Activité 10 À l'aide du protocole 5 (cf. document technique), réaliser une simulation permettant d'obtenir, sur un débattement imposé au niveau du bras moteur de 93° , l'effort théorique en fonction du couple moteur. Le couple moteur choisi correspondra à une intensité identique de 470 mA pour chacun des 3 moteurs (cf. dossier technique). Tracer dans Excel la loi de comportement théorique : $F_{th} = f(\alpha)$.

Activité 11 En suivant le protocole 2 du document technique, téléverser le programme « mesure_commande_moteur_lmot_encodeur1_F_z.ino » dans la carte Arduino Mega. Ce programme permet de mesurer l'intensité I_{mot} des courants dans les moteurs, la force F de poussée du bras, une image de l'angle α et la position du bras z pour une visualisation sur le moniteur série. Solliciter le capteur d'effort à l'aide des masses marquées (cf. document technique). Analyser le résultat obtenu au regard du programme Arduino.

Activité 12 Au vu des mesures récupérables par le fichier téléversé et à l'aide des données techniques fabricant, expliquer comment obtenir le couple moteur Cm et la valeur de position angulaire α du bras moteur.

Activité 13 Proposer un protocole de mesure utilisant le banc, permettant de tracer la caractéristique liant l'effort F au couple moteur Cm pour différentes positions α du bras moteur. Réaliser ces mesures pour le couple moteur défini à l'activité 10.

Activité 14 Tracer sous Excel la loi de comportement expérimentale $F_{exp} = f(\alpha)$. Comparer ce tracé avec la courbe issue de la simulation Meca3D. Conclure vis-à-vis des performances affichées dans les documents constructeurs.

Synthèse

Dans le cas général, le robot n'est pas contraint à un seul déplacement suivant \vec{z} , mais possède trois degrés de liberté.

Activité 15 Proposer sous une forme simplifiée un algorithme généralisant le fonctionnement du bras haptique dans le cas d'un usage suivant les 3 degrés de liberté.

Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

Production attendue

Une séance à caractère expérimental pertinente doit être proposée après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...)
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Les éléments suivants sont fournis pour mener cette partie :

- Le robot haptique Falcon didactisé ;
- Les interfaces Falcon de pilotage et d'acquisition ;
- Les différents fichiers Arduino utilisés au cours de l'épreuve ;
- Un fichier Arduino supplémentaire « mesures globales » permettant de réaliser toutes les mesures en même temps ;
- Un oscilloscope avec son matériel de câblage ;
- Une carte interface permettant la mesure des signaux des codeurs.

Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

Production attendue

Un document numérique doit être réalisé afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;
- présenter la séance à caractère expérimental.

Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)

Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

A. Présentation de l'épreuve

Textes de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

[Arrêté du 24 juin 2019 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation](#)

- Durée totale 6 heures (activités pratiques 4 heures, préparation de l'exposé 1 heure, exposé 30 minutes maximum, entretien 30 minutes).
- Coefficient 2.
- 10 points sont attribués à la partie liée aux activités pratiques et 10 points à la partie liée à l'exposé et à l'entretien avec le jury.

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options.

Le candidat est amené au cours de cette épreuve à élaborer **une séquence pédagogique dont le contexte est imposé**. Il doit notamment y intégrer le développement d'une séance à caractère expérimental. Elle sera construite autour d'activités pratiques proposées par le candidat, sur un support didactique imposé.

Pour la session 2022, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), à l'enseignement des sciences de l'ingénieur de la voie générale et aux classes préparatoires aux grandes écoles.

Le support didactique fourni est un système pluritechnologique qui permet une analyse systémique globale.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation. Il est amené à expliquer et justifier les choix didactique et pédagogique qu'il a opérés notamment dans l'élaboration de la séquence de formation présentée ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental conçue.

Déroulement de l'épreuve

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs compétences pour s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable d'élaborer une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.

Le titre d'une séquence pédagogique étant imposé, le candidat doit d'abord préparer la trame détaillée de celle-ci en respectant le niveau de formation visé et les effectifs de la classe. Il doit ensuite répondre à une problématique technique et scientifique comprenant des activités pratiques. Le candidat prépare enfin une séance à caractère expérimental s'inscrivant dans la séquence imposée. **Les activités expérimentales proposées doivent être différentes de celles déjà effectuées pour répondre à la problématique technique et scientifique et être adaptées au niveau du sujet.**

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques.

Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- concevoir, organiser et décrire une séquence dans un contexte pédagogique imposé ;
- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases.

Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée 4h00)

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 compte quatre parties.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

➤ Première partie (durée 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Pour cette première partie, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation parmi deux qui lui sont proposées. Pour chacune d'entre elles, le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre d'une des deux séquences imposées ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Il doit ensuite proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les pré-requis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression didactique proposée et présentée. Le candidat doit justifier ses choix pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique, qui sera présenté et évalué lors de la troisième phase.

➤ Deuxième partie (durée 0h30) – Prise en main du support

Pour cette deuxième partie, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examinateur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

➤ Troisième partie (durée 2h00) – Expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités à caractère expérimental proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation. L'exploitation des résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), la mise en évidence des écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et la proposition de solutions pour les réduire doivent permettre d'apporter une réponse aux problèmes posés.

➤ Quatrième partie (durée 0h45) – Élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental

Pour cette quatrième partie, le candidat doit décrire une séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique en :

- situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;
- précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots,...) ;
- décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet,...) ;
- détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux qu'il a effectués dans la troisième partie ;
- explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

Pendant toute la durée de cette partie, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat doit donc entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séance. Les examinateurs n'évaluent pas durant cette partie mais sont disponibles en tant qu'assistant technique.

Phase 2 – Préparation de l'exposé (durée 1h00)

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors de la phase précédente qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h00)

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury. L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury et doit comporter :

- la description du contexte pédagogique imposé ;
- la présentation de ses réflexions pédagogiques et la justification de ses choix de modalités pédagogiques ;
- la présentation de la trame de la séquence pédagogique en y intégrant l'évaluation ;
- la présentation des savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans un contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

Il est à noter que durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est absolument pas attendu des candidats qu'ils présentent à nouveau les résultats aux activités menées dans le cadre des deuxième et troisième parties de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà conduit à une évaluation par le jury en salle de TP. Seule est attendue la présentation des activités envisagées de faire réaliser aux élèves lors de la séance à caractère expérimentale incluse dans la séquence pédagogique exposée. Néanmoins les résultats expérimentaux ou de simulation numérique peuvent être utilisés afin d'illustrer la séquence ou la séance expérimentale.

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes.

Le jury est amené à interroger les candidats, afin d'apprécier leur connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, sur la manière dont ils envisagent d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, ou bien sur leur positionnement au sein de la communauté éducative.

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leur présentation ;
- expliciter et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'ils ont opérés.

Utilisation des logiciels pendant l'interrogation

Aucun pré-requis ne peut être exigé du candidat concernant l'utilisation d'un logiciel. Les consignes d'utilisation sont indiquées dans le sujet ou fournies oralement. Les modeleurs volumiques ne sont pas utilisés comme outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2022 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental ;
- identification des comportements de constituants ou d'un système ;
- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'information ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de puissance ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithmes simples ou de quelques lignes de programmes simples (en langage python, arduino, etc) ;
- recalage d'un modèle multiphysique ou non ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

B. Commentaires du jury

• Analyse des résultats

Les candidats préparés mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils ont réalisées durant la quatrième partie de la première phase. Les pré-requis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité. La conduite des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique est traitée par la majorité des candidats.

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la troisième partie de la première phase sont souvent reprises dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

• Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Phase 1 – Première partie : réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec une thématique sociétale. Elle doit faire apparaître les pré-requis, les compétences et connaissances associées, le positionnement temporel, le déroulement des différentes séances et l'évaluation adéquate.

Il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Cette possibilité laissée au candidat est bien appréhendée. Pour tous les sujets, l'une et l'autre des propositions ont été traitées.

Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Le jury ne peut se satisfaire d'un exposé de pédagogie formel ou d'une récitation d'un extrait de programme. Il souhaite qu'il soit fait preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation des élèves.

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post-bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

Phase 1 – Deuxième partie : prise en main du support

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'appropriier le support du travail pratique et la problématique technique et scientifique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

Les manipulations proposées sont très guidées de sorte que le candidat peut rapidement appréhender l'environnement logiciel et matériel du support. Certains candidats se trouvent en difficulté dès cette phase de prise en main. Le jury leur recommande de se confronter plus régulièrement à la manipulation de systèmes réels et/ou didactisés.

Phase 1 – Troisième partie : expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée

Pour cette phase, le jury tient à porter à l'attention des candidats les points suivants :

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralités permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes de puissance et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnologique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;
- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modéleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation, environnements de programmation...).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

Lors des activités pratiques, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

Phase 1 – Quatrième partie : élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation de 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

Il n'est pas attendu des candidats la présentation des activités réalisées lors de la première phase de cette épreuve, déjà évaluées au cours de la première phase.

Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- décrire le déroulement de la séquence ;
- situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats

- attendus ;
- justifier les choix pédagogiques retenus ;
- présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

Le jury conseille aux candidats qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Les contenus scientifiques des séquences doivent être maîtrisés par les candidats, l'accès à Internet étant toujours possible sur des sites publics.

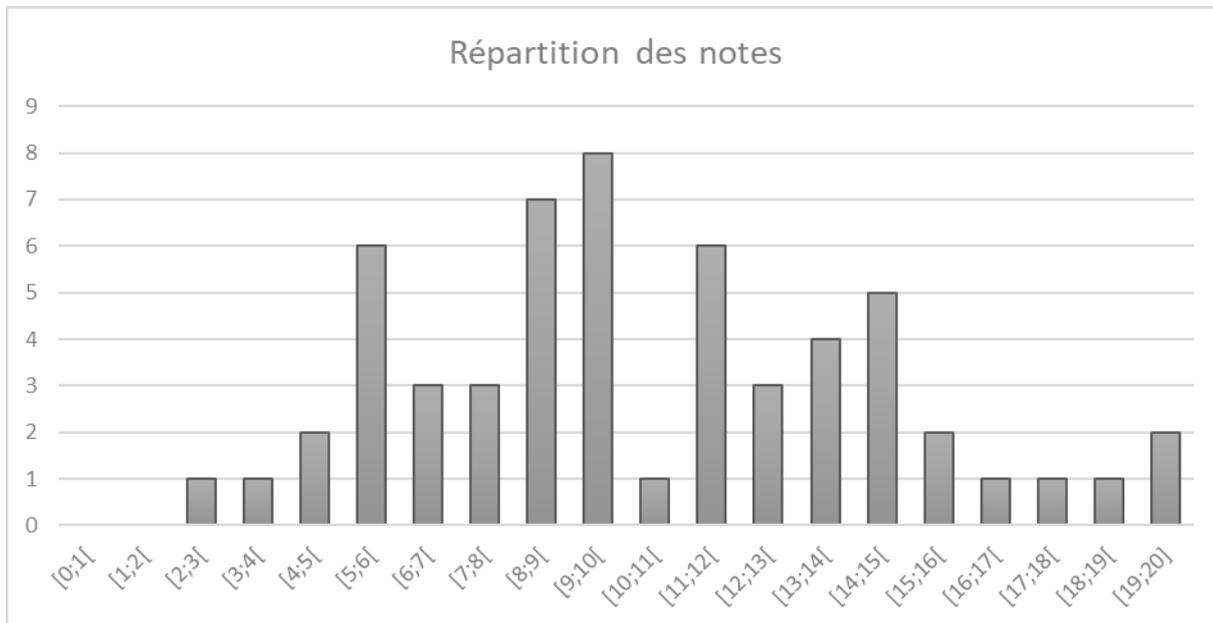
Le jury apprécie lorsque les diapositives sont numérotées lors de la présentation orale : cela lui permet de se référer plus facilement aux éléments de présentation. Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés ; elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

Conclusion

La session 2022 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

C. Résultats

57 candidats ont été évalués lors de cette épreuve



Moyenne	10,4
Ecart type	4,0
Min	2,8
Max	19,1

Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

SUPPORT ÉTUDIÉ : MAQUETTE DE PONT



Thème pédagogique	Études proposées
Modélisation de structure réelle	<ul style="list-style-type: none">• Choix de la modélisation des liaisons du tablier aux extrémités• Caractérisation de la rigidité de flexion du tablier• Modélisation du pont à haubans

Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases :

- phase 1 - activités pratiques de laboratoire (durée 4 h) ;
- phase 2 - préparation de l'exposé (durée 1 h) ;
- phase 3 - exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h).

LIBELLÉ DE LA SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE

Pour cette exploitation pédagogique, les contraintes de travail sont énoncées ci-dessous.

Niveau

- DUT – Génie Mécanique et Productive.

Objectifs de formation et compétences attendues

Le diplômé des départements de Génie et Productive (GMP) des IUT est un généraliste de l'industrie mécanique.

Le titulaire du DUT de la spécialité GMP est capable de participer aux étapes qui conduisent de l'expression du besoin au produit :

- analyser,
- organiser et communiquer,
- modéliser,
- produire,
- concevoir,
- valider.
- industrialiser

Sa formation lui permet de mener des actions de veille technologique et de recherche de solutions innovantes.

Le titulaire du DUT GMP s'insère dans les équipes spécialisées ou polyvalentes des services et départements industriels :

- R&D (recherche et développement), essais,
- organisation et gestion de la production,
- bureaux d'étude et d'outillage,
- production,
- méthodes, industrialisation,
- assurance et contrôle de la qualité,
- maintenance et supervision,
- achat, vente et après-vente...

Compétences transversales

Activités	Compétences
(e) Modélisation / Étude des milieux, des matériaux et des interactions	<ul style="list-style-type: none"> - Associer un modèle scientifique à une situation concrète. - Savoir délimiter les frontières du système sur lequel le raisonnement doit être mené. - Identifier les paramètres et les variables d'un problème concret. - Identifier les interactions mises en jeu dans un système et entre celui-ci et le milieu dans lequel il est plongé. - Tenir compte des propriétés et comportements de la matière (solides, fluides, gaz) mis en jeu dans un système. - Associer à des observations des quantités mesurables pertinentes et objectives, dans le domaine de la mécanique. - Élaborer des plans d'expériences.

PREMIÈRE PHASE – ACTIVITÉS PRATIQUES DE LABORATOIRE – 4h

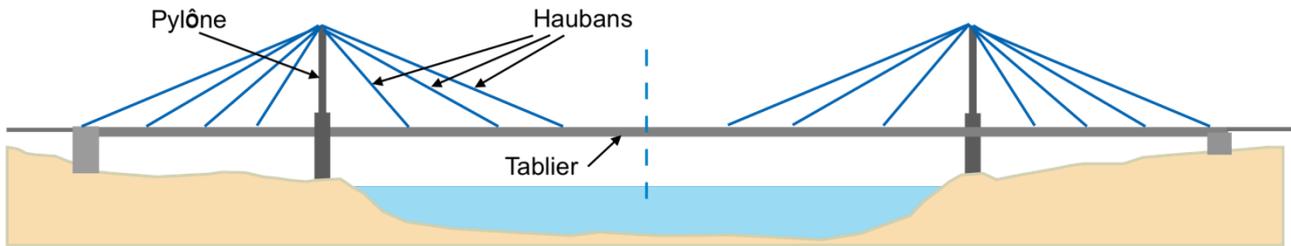
Première partie – 30 minutes

Remarque : cette partie propose des manipulations guidées dont la seule fin est de prendre en main le support. Toutes les questions relatives à la prise en main peuvent être posées aux membres du jury durant cette première demi-heure de façon à être autonome par la suite.

Présentation de la problématique

Les ponts à haubans se distinguent des ponts suspendus par le principe de maintien du tablier du pont :

- pont suspendu : le tablier est attaché par l'intermédiaire de tiges de suspension verticales à des câbles dont les extrémités sont reliées à des culées sur les berges et sur des piliers,
- pont à haubans : le [tablier](#) est suspendu par des [câbles](#), eux-mêmes étant directement soutenus par des [pylônes](#) (figure ci-dessous).



Les ponts à haubans se distinguent par :

- le nombre de haubans : depuis les premiers ponts à haubans construits dans les années 1950, l'écartement des haubans a régulièrement décru. Aujourd'hui, les systèmes multi-haubanés sont généralement utilisés,
- la position de la nappe de haubans : axiale (au milieu du tablier) ou latérale (sur les côtés du tablier),
- la forme de la nappe de haubans : en éventail où les haubans sont ancrés en un seul point d'ancrage en tête de pylône ; en semi-éventail où les haubans sont ancrés sur une hauteur limitée en tête de pylône et se déploient ensuite en éventail ; en harpe où les haubans sont parallèles entre eux.

Les ponts à haubans ont une portée limitée par rapport aux ponts suspendus car les piliers où sont rattachés les haubans sont élevés et doivent être dimensionnés au chargement de vent et de vibrations engendrées par la circulation. Ils présentent cependant les avantages suivants par rapport aux ponts suspendus :

- les forces sont mieux réparties au niveau des pylônes, ce qui ne nécessite pas de massifs d'ancrage imposants au niveau des berges (culées),
- pour la maintenance, le changement d'un hauban ne nécessite pas d'arrêter la circulation car les autres haubans peuvent supporter le poids du tablier.

La problématique qui guidera cette activité pratique et qui pourra aussi guider l'écriture de la séquence pédagogique est la suivante :

Comment modéliser le tablier du pont ? Comment les haubans répartissent-ils la charge dans le tablier ?

Moyens

- Maquette physique de pont à haubans,
- Masses,
- Matlab.

Activité 1 : Mise en œuvre d'une technique de caractérisation de structure

Objectif : caractériser le module de rigidité de flexion du tablier.

La lecture des fiches 1 (géométrie), 2 (RdM – Flexion), 3 (Funambule) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

On considère le **pont sans les haubans** dans un premier temps.

1.1 Proposer une méthode expérimentale simple qui permettrait de définir le module de rigidité en flexion EI du tablier. Il n'est pas demandé de la mettre en œuvre.

On propose ici d'identifier le module de rigidité par corrélation d'images virtuelles (VIC) avec le logiciel Funambule (en Matlab). La méthode VIC est une méthode d'identification de formes et de contours curvilignes. L'identification de forme est obtenue par la corrélation entre l'image physique et l'image virtuelle. **L'image virtuelle** consiste en une extension latérale d'une **courbe paramétrée**, avec un niveau de gris variant de noir à blanc. Lorsque la corrélation est optimale, la courbe épouse le contour d'intérêt. La VIC est une technique pouvant être utilisée pour le contrôle des structures pendant leur service.

Les courbes paramétrées proposées dans cette activité sont des courbes de déformées de poutre analytiques, paramétrée avec des paramètres suivants :

- La position d'une extrémité de la poutre,
- L'orientation de la poutre,

- La souplesse adimensionnée de la poutre.

1.2 En utilisant la masse blanche à votre disposition et le code Funambule dans Matlab, réaliser un essai permettant de caractériser le module de rigidité de flexion EI du tablier. Décrire succinctement les hypothèses du modèle analytique.

1.3 Comparer et analyser la répartition du moment fléchissant dans le tablier :

- avec la modélisation poutre choisie dans Funambule,
- avec la modélisation numérique du pont sans haubans.

Deuxième partie – 2h00

Activité 2 : Choix d'une modélisation du tablier

Objectif : déterminer les liaisons équivalentes aux extrémités du tablier modélisant au mieux les liaisons avec les piliers.

La lecture de la fiche 3 (Funambule) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

On considère le **pont sans les haubans**.

Les méthodes d'identification du module de rigidité EI nécessitent la connaissance *a priori* de la modélisation de la structure (géométrie et conditions aux limites de liaison). Cette partie est dédiée à la validation de cette modélisation du tablier et à l'identification du module de rigidité à la flexion qui en résulte.

2.1 Proposer une démarche permettant de choisir la courbe paramétrée la mieux adaptée pour modéliser le tablier à partir des résultats de Funambule. Quel que soit le modèle choisi dans l'activité 1, compléter vos mesures avec les modèles bi-appuyé et/ou bi-encasté. Mettre votre démarche en œuvre et choisir un des deux modèles de poutre proposés, bi-appuyée ou bi-encastée.

NB : La souplesse adimensionnée est stockée dans un vecteur c . La variable $c(i)$ contient la dernière souplesse identifiée par Funambule pour le i ème modèle de poutre (cf. fiche 3).

2.2 Calculer le module de rigidité de flexion EI du tablier en utilisant la commande suivante

```
>> calcEI_tablier
```

qui demandera la formule pour ce calcul. Le module de rigidité sera stocké dans la variable EI pour la suite.

Activité 3 : Caractérisation du matériau constituant le pont de la maquette

Objectif : estimer le module d'Young du matériau constituant la maquette

La lecture de la fiche 1 (Géométrie) et 4 (Polymères) sont nécessaires pour la réalisation de cette activité.

On propose comme hypothèses sur la maquette du pont :

- la rigidité de flexion du tablier identifiée dans l'activité 2,
- la géométrie de la section du tablier de la maquette composée de 3 tiges.

3.1 Estimer le module d'Young E du matériau constituant la maquette en utilisant la commande suivante

```
>> calcE_tablier
```

qui stockera le module d'Young dans la variable E . Discuter de l'hypothèse de la géométrie de la section à trois tiges.

3.2 Identifier le polymère qui constitue la maquette. Commenter le résultat.

Activité 4 : Réponse du pont

Objectif : identifier l'effet induit par les haubans

On considère le **pont avec les haubans**. La rigidité de flexion EI du tablier est celle identifiée dans l'activité 2.

Les haubans sont prétendus afin de conférer aux câbles un comportement de type barre pendant la mise en service du pont.

La simulation statique ou vibratoire du pont, avec et sans haubans, peut être réalisée avec la commande :

```
>> calcFEM_pont
```

4.1 Simuler la réponse du pont à un chargement de type force ponctuelle de votre choix. Analyser le comportement du pont et commenter l'action des haubans sur celui-ci. Attendre la fin des simulations avant de toucher sur les fenêtres de visualisation.

4.2 On considère le retrait d'un hauban pendant la maintenance du pont. Le pont à hauban peut encore être en service pendant cette phase de maintenance. Simuler le retrait d'un hauban avec la commande `calcFEM_pont` et analyser les résultats.

Activité 5 : Suivi de santé de la structure (SHM – Structural Health Monitoring)

Objectif : Identifier la tension dans les haubans

La lecture des fiches 1 (géométrie) et 3 (Funambule) sont nécessaires pour la réalisation de cette activité.

On considère le **pont avec les haubans**. On considère ici une tension identique dans tous les haubans. On s'intéresse à l'identification de la tension dans les haubans par analyse d'image avec Funambule pour assurer le suivi de la structure. Il faut donc définir la courbe paramétrée de déformée de poutre en flexion correspondant au tablier chargé avec les haubans qui sera utilisée dans Funambule.

5.1 Proposer une modélisation poutre du tablier pour le pont haubané (conditions aux limites et chargement) et une méthode de résolution analytique du problème pour calculer la déformée (cf. fiches 1 Géométrie et 2 Formulaire de flexion). Montrer en justifiant que la déformée du tablier précontraint par les haubans peut se mettre sous la forme

$$v(x) = \frac{FL^3}{EI} \sum_i a_i V(x, \lambda_i)$$

Où a_i , V , λ_i sont à identifier.

5.2 On considère une tension identique dans les 6 haubans. Avec le matériel à votre disposition, proposer et conduire un protocole expérimental reproduisant le pont avec les haubans identiquement tendus (cf. fiche 3). En utilisant Funambule avec le choix de la courbe paramétrée Poutre haubans, et en reprenant la rigidité de flexion EI du tablier identifiée dans l'activité 2, déterminer la tension dans les haubans identifiée avec ce modèle. Discuter la pertinence du modèle.

5.3 Proposer une évolution du modèle de chargement du tablier lorsque le nombre de haubans augmente considérablement.

Troisième partie – 1h30

Pour cette troisième partie, le candidat doit concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Cette séquence prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

Il est demandé, au cours de sa présentation orale, d'expliciter la démarche méthodologique, de mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa séquence de formation, de décrire et situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

L'exposé devant le jury a une durée maximale de 30 minutes. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, certains points de la présentation peuvent faire l'objet d'une demande de précision de la part du jury. Il peut être notamment demandé d'expliquer et de justifier les choix de nature didactique et pédagogique qui ont été opérés dans la construction de la séquence de formation présentée. De plus, des échanges peuvent porter sur les compétences communes aux métiers de l'Éducation

Pour la présentation devant jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique connecté à l'Internet et doté des logiciels courants de bureautique. Les éventuels résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils auront stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur. **Des documents ressources étaient à disposition du candidat.**

Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve « Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique » permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par les candidats au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases.

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire MENH2119786C du 17/06/2021).

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4 h)

Cette phase, d'une durée totale de 4 h, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports^[1] qui leurs permettent de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées.

Première partie (durée ≈ 0h30)

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, support de l'épreuve. À la fin de cette première partie, les examinateurs s'assurent que le support de TP, ses performances dans l'optique de l'épreuve ainsi que la problématique proposée ont bien été assimilés.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système aux examinateurs, les candidats doivent suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans le TP. Cette partie permet aux candidats, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre et analyser les problèmes posés puis d'exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, expérimentations, mesures, résultats numériques, etc.) pour justifier les solutions.

Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Les candidats doivent préparer la trame détaillée de leur séquence, en s'aidant des manipulations, investigations et analyses effectuées. Le jury attend d'eux qu'ils proposent et mettent éventuellement en œuvre d'autres

expérimentations, en précisant un ou plusieurs protocoles de simulation et/ou de mesure permettant de répondre à la problématique afin d'enrichir leur exploitation pédagogique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support utilisé.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leurs est proposé. Ils peuvent stocker les résultats obtenus dans l'espace numérique qui leur est alloué pour l'épreuve.

La phase 2 – Préparation de la présentation (durée 1 h)

Durant cette phase d'une heure, les candidats s'appuient sur la trame de la séquence qu'ils ont construite dans la troisième partie de la phase 1 et préparent l'intervention qu'ils feront devant le jury. Ils disposent d'un poste informatique relié à Internet doté des logiciels courants de bureautique et de tous les résultats de mesures, analyses ou investigations issus de la phase 1. En revanche, ils n'ont plus accès au matériel expérimental et logiciels spécifiques liés au support qui leur ont été proposé d'étudier

La phase 3 – Présentation des travaux devant le jury (durée 1 h)

L'exposé oral est d'une durée maximale de 30 minutes. Le jury n'intervient pas pendant leur exposé. L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Les candidats sont amenés au cours de la présentation orale à :

- présenter le système (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter une synthèse des activités menées dans la première phase de l'épreuve (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter leur exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leur présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'ils ont opérés.

Pour la présentation devant le jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. L'ordinateur est connecté à Internet, les candidats disposent des logiciels courants de bureautique et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans l'espace qui leur est dédié.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2022 :

- vérification de performances techniques ;
- validation de procédés et de matériaux ;
- identification et analyse de comportement de structure ;
- qualification d'un processus de réalisation de pièces usinées ;
- validation et choix de solution constructive;
- étude d'un avant-projet industriel
- dimensionnement d'une motorisation sur un critère de dissipation énergétique

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- modélisation comportementale de systèmes ;
- détermination de paramètres significatifs dans une modélisation ;
- analyse critique de modèles et proposition de modifications ;
- validation de modèles ;
- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- simulation et prédiction de performances ;

- mesure de paramètres du comportement de systèmes ;
- identification du comportement de composants, choix ou caractérisation d'un matériau ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- industrialisation de produits ;
- dimensionnement de système.

Compétences attendues par le jury

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences professionnelles de l'enseignant suivantes :

- faire preuve d'aptitudes liées à l'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités pratiques dans une séquence cohérente, inscrite dans une progression didactique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations nouvelles, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;
- s'approprier un support technique ;
- s'approprier la problématique associée ou le problème technique posé ;
- élaborer, conduire, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter et analyser des résultats expérimentaux ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- caractériser les différents écarts (spécifiés, simulés, réalisés) ;
- faire une synthèse au regard de la problématique proposée en s'appuyant sur les expériences menées et les modèles utilisés ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur.

2. Analyse globale des résultats

Les résultats pour cette session sont satisfaisants globalement du point de vue de la préparation des candidats, mais cependant en légère baisse. Les candidats avaient connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient bien préparés. Il semble toujours indispensable que les futurs candidats s'imprègnent de l'idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d'apprentissage. Le jury note que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels des BTS de la spécialité. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont parfois assez mal maîtrisées.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Concernant la compréhension du système (phase 1 – première partie)

Pour cette première partie, le questionnement est conçu pour permettre une compréhension globale du système et de son fonctionnement, quelles que soient les connaissances préalables des candidats. Cette partie leur permet de montrer leur capacité à aborder le système de façon globale en identifiant sa structure, ses caractéristiques et son fonctionnement. Il est conseillé de s'engager dans l'épreuve de façon ordonnée. Un dossier technique et des ressources documentaires numériques sont à disposition. Cette première phase d'appropriation est fondamentale pour permettre de comprendre la problématique proposée dans la suite des activités (deuxième et troisième partie de la phase 1). Le système proposé peut être le système réel ou un système didactisé. Il est important que les candidats prennent en compte les différences entre ces deux cas de figure. Cette première partie est conçue pour s'approprier rapidement le sujet par une présentation concise du support et du contexte et par une prise en main des logiciels à utiliser, le cas échéant. Pour cela, elle est assortie de questions pour permettre aux candidats d'être autonomes pour utiliser le matériel et les logiciels.

Pour cette partie, le jury recommande :

- de lire attentivement l'énoncé fourni ;
- d'analyser et d'identifier les informations pertinentes pour s'approprier le support ;
- d'associer les observations du système à la consultation des ressources documentaires ;
- d'utiliser des outils d'analyse externe et interne pour décrire le fonctionnement et/ou la structure du système ;
- de restituer le système réel dans son contexte.

Concernant les travaux pratiques de résolution des problèmes posés et d'exploitation des résultats (phase 1 – deuxième partie)

Pour cette partie de l'épreuve, les candidats peuvent être amenés à utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés. Une aide dans l'utilisation de ces instruments est fournie et le jury assiste les candidats en cas de difficultés matérielles. Les moyens de mesure peuvent être conventionnels ou numériques, isolés ou reliés à un système d'acquisition. L'usage des moyens numériques est de plus en plus développé : lors de cette session, l'exploitation du comportement réel s'est quelquefois opérée par digitalisation du réel, à partir d'un programme de corrélation d'image, cela n'implique cependant pas de négliger les moyens de mesure conventionnels.

Le jury prend en compte le soin et les précautions apportés par les candidats pour réaliser des mesures.

Les candidats peuvent également être amenés à mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, modeleurs volumiques, logiciels de simulation, de choix de matériaux, scripts python...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée, les membres du jury sont présents pour apporter une aide éventuelle à leur utilisation. Ces logiciels proposés peuvent, par leur possibilité de simulation, faciliter la compréhension des phénomènes et permettent d'éviter tout calcul analytique long et complexe. Ils ne dispensent pas les candidats de formuler l'ensemble des hypothèses et des justifications nécessaires. Les modèles numériques et analytiques peuvent également être utilisés pour de l'identification et/ou de la prédiction.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la mécanique, de l'automatique, de la conception, de la pré-industrialisation, de l'industrialisation, du contrôle et de la maintenance des produits est indispensable pour mettre en œuvre les différents équipements proposés et pour résoudre les problématiques auxquelles ils sont confrontés.

Les candidats ayant bien réussi la présentation de l'activité expérimentale se sont attachés à :

- analyser le sujet proposé ;
- exploiter la problématique ;
- s'approprier le matériel mis à disposition et identifier les paramètres modifiables ;
- interpréter les résultats obtenus ;
- présenter de manière synthétique le système proposé, la problématique posée, les données et l'environnement matériel ;
- faire une analyse critique, organisée et pertinente de ces résultats ;
- structurer l'exposé à partir d'un plan ;
- présenter la démarche de résolution du problème technique posé ;
- confronter le modèle et le réel ;
- présenter et justifier les protocoles ;
- mettre en œuvre une expérimentation avec les instruments mis à disposition et selon le protocole proposé ;
- corréler les phénomènes physiques observables et les mesures effectuées par des logiciels d'acquisition ou des appareils de mesure ;
- présenter les résultats de façon claire et précise ;

- tirer les conclusions vis-à-vis du problème posé;

La durée de présentation des activités expérimentales n'étant que de dix minutes, l'exposé des points ci-dessus nécessite un effort pour synthétiser les résultats et prendre du recul quant à la problématique posée.

Concernant la réalisation d'une activité pédagogique à caractère expérimental (phase 1 – partie 3)

Un contexte pédagogique et des activités expérimentales étant proposés par le jury, les candidats doivent préparer la trame détaillée de leur séquence pédagogique. Ils devront décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental en s'appuyant sur des manipulations pertinentes, partiellement issues des parties 1 et 2.

Le jury recommande aux candidats de :

- préciser les compétences visées et savoirs associés ;
- dégager les objectifs pédagogiques, les connaissances à transmettre et les points-clés de la séquence ;
- définir et justifier la place de la séquence dans la progression didactique du niveau proposé ;
- consulter les programmes, référentiels et documents d'accompagnement fournis ;
- respecter les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre (nombre d'élèves, de groupes, liste des systèmes présents dans le laboratoire ou l'atelier, etc.) ;
- décrire et justifier la structure de la séquence (cours, travaux dirigés, activités pratiques, projets, synthèse, etc.) ;
- définir les prérequis nécessaires à la mise en place de cette séquence ;
- développer le contenu d'au moins une séance de façon argumentée ;
- structurer la démarche pédagogique permettant le développement de compétences nouvelles au niveau imposé ;
- proposer et justifier les protocoles expérimentaux et/ou de simulation à mettre en œuvre avec les élèves ;
- définir les modalités d'évaluation des compétences visées.

Il est conseillé de ne pas opérer un transfert direct des activités réalisées dans l'épreuve dans la séquence pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats STI2D (enseignement spécifique de spécialité ITEC), des BTS et des DUT du champ de la spécialité et leurs évolutions ainsi que les modalités de certification (les programmes ou référentiels sont fournis en annexe aux candidats) et les documents d'accompagnement : ressources pour le lycée général et technologique et guides d'équipement (cf. Éduscol). Il rappelle également que seulement à partir de cette phase, le candidat doit s'attacher à la préparation de la séquence, en effet une proportion croissante de candidats aborde la préparation lors de la partie précédente au détriment de celle-ci.

Concernant la présentation orale devant un jury

Lors de cette phase de présentation d'une séquence pédagogique à caractère expérimental, les candidats doivent être capables :

- d'expliciter les compétences visées par la séquence en lien avec le programme ou référentiel;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les savoirs nouveaux ainsi que les points clés de la séquence ;
- de situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- de décrire le ou les systèmes retenus dont le support utilisé en phase 1 et 2 ;

- de proposer des organisations temporelles, matérielles et spatiales de la séquence et de la séance en indiquant l'effectif d'élèves ou d'étudiants dans chacune des activités ;
- de proposer, justifier et valider un ou des protocoles ;
- de décrire les mesures que devront réaliser les élèves ou étudiants ;
- de commenter la démarche pédagogique mise en œuvre ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir les documents qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les modalités d'évaluation retenues et les critères associés.

Le jury a apprécié lors de la présentation de la séance pédagogique développée, les candidats qui ont pu s'attacher à une présentation rigoureuse et une organisation structurée de la séquence pédagogique attendue, tout en ne reléguant pas l'approche pédagogique expérimentale à une problématique secondaire. Il est à noter que les prestations pour lesquelles cette activité était dûment étayée et illustrée par des protocoles expérimentaux et simulations construits en partie 3 ont été valorisées.

Le jury attend également que soient mises en œuvre des compétences professionnelles en matière de communication :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant capter l'attention de son auditoire ;
- utiliser un ou des supports adaptés à une présentation orale ;
- être pertinent et réactif dans les réponses aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel et de donner du sens aux connaissances développées.

Il constate que de nombreux candidats ne savent pas mettre à profit tout le temps qui leur est imparti pour présenter et justifier leur proposition pédagogique.

Lors de la phase de présentation de l'activité pédagogique, il est important d'aller à l'essentiel et de replacer la séquence proposée dans son contexte. Il n'est pas nécessaire que les candidats présentent de façon exhaustive l'organisation pédagogique générale de l'année de formation correspondante. On ne doit pas se contenter, dans la séquence pédagogique, de réutiliser *in extenso* les expérimentations menées et les résultats obtenus dans la première partie de l'épreuve. La présentation doit permettre d'appréhender rapidement les objectifs de la formation, de comprendre de manière détaillée la séquence et d'explicitier finement la ou les séances en exposant les activités de l'élève ou de l'étudiant.

Concernant le comportement des candidats

Le jury attend des candidats un savoir-être compatible avec les exigences d'un concours de recrutement de cadres A de la fonction publique. Il a constaté que de nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système dans sa complexité. L'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas, elle doit se préparer.

Certains candidats font une confiance aveugle aux modèles numériques et ont en revanche beaucoup de méfiance vis-à-vis des résultats expérimentaux. Même si c'est une évidence, il n'est pas inutile de rappeler ici qu'une épreuve d'activités pratiques est avant tout une épreuve expérimentale.

Au-delà de la structuration nécessaire à un discours cohérent, les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées qui ne permettent pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Le jury apprécie une présentation qui montre la logique de choix des objectifs pédagogiques de chaque séance et la cohérence de leur enchaînement au cours de la séquence proposée. Il recommande aux candidats — dans le cadre d'un recrutement au métier d'enseignant — de s'approprier le référentiel de compétences professionnelles du professeur (BOEN n°30 du 25 juillet 2013 et n°13 du 26 mars 2015). Il conseille de porter une attention particulière sur la maîtrise de la communication et d'éviter les fautes d'orthographe et les expressions maladroites.

4. Conclusion

Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante mais fondamentale en sciences industrielles de l'ingénieur. Pour cette session de l'agrégation, les résultats de la deuxième épreuve d'admission montrent une légère inflexion. Les candidats des prochaines sessions trouveront dans le rapport de cette épreuve les éléments relatifs à leur préparation.

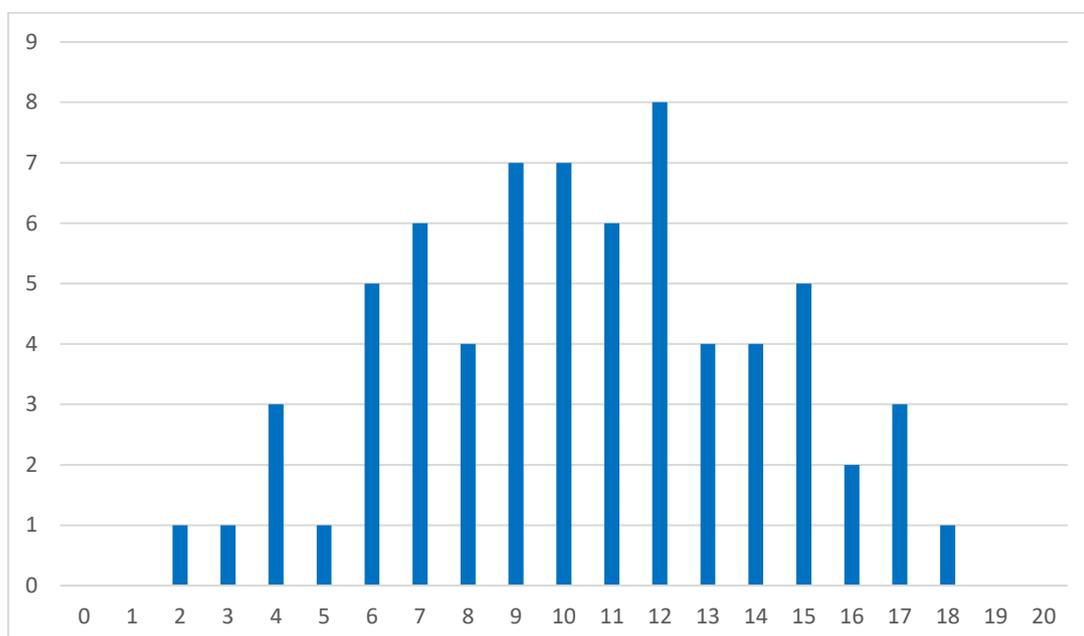
Le jury conseille de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement. La connaissance et l'appropriation de ces réflexions dans l'enseignement quotidien permettront de mieux maîtriser ces concepts et d'éviter de faire des propositions didactiques irréalistes et inappropriées dans le cadre habituel de fonctionnement des établissements scolaires.

5. Résultats

68 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 11,0/20, et l'écart-type 3,7 avec :

- 18,2 comme meilleure note ;
- 2,9 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



[1] Systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel

1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : arrêté du 24 juin 2019) précise :

« L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines de l'option préparée, suivie d'un entretien.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie. »

« Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes) ».

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

2. Analyse globale des résultats

De très bons résultats témoignent de la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats. Les dossiers et exposés insuffisamment préparés et/ou inadaptés aux exigences de l'épreuve n'ont pas permis à d'autres candidats de faire preuve de leurs compétences.

Le jury rappelle à tous les futurs candidats que cette seule épreuve ne représente pas un entretien d'embauche.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système technologique représentatif des technologies actuelles et en lien avec l'option présentée du concours, est déterminant pour permettre un transfert pertinent vers l'enseignement. Au-delà du choix du support en lui-même, l'identification d'une problématique claire et réelle nécessitant la mise en place d'une démarche d'ingénieur permet de présenter des développements cohérents. La problématique choisie ne doit pas se limiter à une simple vérification des performances indiquées dans le cahier des charges du support.

Le choix de la ou des formations considérées pour l'application pédagogique doit être en adéquation avec la nature du support et la problématique traitée.

Les développements scientifiques et technologiques, du niveau de l'agrégation, doivent être justifiés au regard de la problématique.

Le dossier industriel doit aborder plusieurs dimensions :

- socio-culturelle pour mettre en contexte le problème traité vis-à-vis d'une question sociétale, dont le développement durable ;
- scientifique pour appliquer des démarches, pour conduire et analyser des expérimentations, des modélisations, des simulations ;

- ingénierie pour analyser les résultats des développements scientifiques et apporter des réponses technologiques concrètes aux problématiques.

Ce dossier doit comporter une exploitation pédagogique qui s'appuie sur le support et les problématiques retenus, les investigations scientifiques et technologiques proposées. Elle doit être en cohérence avec le niveau d'enseignement choisi et les programmes ou référentiels associés.

L'exploitation pédagogique doit préférentiellement concerner l'enseignement du second degré : cycle terminal du baccalauréat général Enseignement de spécialité SI, cycle terminal du baccalauréat STI2D, l'enseignement supérieur : STS, CPGE.

Les candidats qui ont fait le choix de présenter une exploitation pédagogique en IUT, ont souvent été en difficulté car ils n'ont pas fait la preuve d'une réelle connaissance de ce cycle de formation, des élèves qui y sont accueillis.

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, les références scientifiques et pédagogiques doivent être citées explicitement dans le texte en lien avec une bibliographie (le jury utilise des moyens de détection de plagiat).

Le niveau de confidentialité ne doit pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Les fichiers numériques joints (sur clef USB) ne doivent pas se limiter au dossier au format pdf. L'ensemble des fichiers pertinents issus des « outils numériques métiers » doivent être joints. Ces derniers doivent cependant se limiter à ceux qui éclaireront le jury dans les développements proposés par le candidat. Ils ne doivent pas être un prétexte pour alourdir l'ensemble du dossier : documentations techniques trop complètes et inutiles, cours complet abordant un sujet traité par le candidat...

Le jury apprécie particulièrement :

- les dossiers élaborés autour d'une véritable problématique, clairement définie, résultant d'une relation authentique avec l'entreprise ;
- les dossiers clairement structurés comportant des schémas, graphes et autres images s'appuyant sur une documentation technique authentique et sur une maquette numérique... ;
- les dossiers n'excédant pas 40 pages (annexes comprises), rédigés dans une langue française soignée ;
- les dossiers rédigés de façon très lisible ;
- des démarches scientifiques et technologiques rigoureuses, adaptées, formalisées et étayées par des expérimentations et dont l'analyse critique permet de répondre à la problématique traitée ;
- les « outils métiers » adaptés aux développements scientifiques entrepris et utilisés avec pertinence ;
- un regard critique sur les résultats obtenus ;
- des exploitations pédagogiques cohérentes avec les considérations scientifiques et technologiques développées ;
- des exploitations pédagogiques précises (niveau d'enseignement, contexte, matériel choisi, position de la séquence dans la progression des apprentissages, contenu et déroulement de la séquence, modalités d'évaluation, détail d'une séance, traitement de la difficulté scolaire, documents pour le professeur, documents pour les élèves...) ;
- Des rédactions explicatives pour les développements scientifiques et les exploitations pédagogiques claires et concises : inutile de rédiger 2 pages descriptives pour dire ce qui est observable dans un tableau proposé à la suite.
- la capacité à se projeter sur différents niveaux de formation (second degré et enseignement supérieur) ;

- la connaissance et la prise en compte de la diversité de publics que peut rencontrer le professeur au sein d'une même formation ou au gré de ses affectations ;
- les propositions d'exploitations pédagogiques justifiées, mises en perspective dans un cadre interdisciplinaire.
- L'équilibre entre les développements scientifiques et les propositions pédagogiques.

Les dossiers, dans leur majorité, sont bien présentés et construits de manière cohérente. Cependant, le jury regrette que leur structure soit parfois stéréotypée notamment pour la partie pédagogique.

L'exposé et les échanges avec le jury

Durant les 30 minutes de l'exposé, les candidats doivent mettre en valeur leurs qualités de didacticien et de pédagogue pour expliquer leurs choix, leurs démarches et leurs analyses.

Certains candidats profitent de leur convocation plus tardive aux épreuves d'admission pour présenter au jury une exploitation pédagogique plus complète que celle présente dans le dossier transmis.

Le jury tolère quelques corrections entre le moment où le candidat remet son dossier et le moment où il présente oralement son travail. En revanche, il ne peut être question de modifier radicalement sa présentation au regard du contenu du dossier. Le jury étudie de manière approfondie les développements des candidats et n'apprécie pas de découvrir de nouvelles études ou développements le jour de l'épreuve.

Le jury rappelle qu'il veille à traiter tous les candidats de façon équitable et qu'il évalue donc tous les dossiers de façon équivalente, puisque tous transmis à une date unique et précisée à tous les admissibles.

Les présentations orales doivent être en lien avec le contenu du dossier.

Les 30 minutes d'échange avec le jury permettent d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé. Ces échanges portent autant sur les développements scientifiques et technologiques engagés que sur les propositions d'exploitations pédagogiques qui en découlent. Le jury élargit son questionnement pour vérifier que les candidats ont entrepris une réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement technologique et ses interactions avec d'autres disciplines ;
- les démarches d'apprentissage utilisées pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- les missions à assurer par un enseignant au sein du système éducatif ;
- la connaissance du contexte d'exercice et le fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les situations au cours desquelles il est en position de faire partager les valeurs de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

Le jury apprécie particulièrement :

- les exposés clairement structurés ;
- une expression maîtrisée, un vocabulaire technique adapté, une fluidité des propos ;
- les supports visuels, notamment les schémas, lisibles et judicieusement utilisés ;
- la bonne écoute des questions, les réponses argumentées et concises ;
- les réponses démontrant la connaissance du contexte d'exercice et du fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les échanges démontrant un vif intérêt pour les évolutions du système éducatif dans son ensemble et de la discipline en particulier.
- Les diaporamas paginés.

Les présentations orales ont été, pour une grande majorité de candidats, préparées soigneusement avec un temps d'exposé maîtrisé.

Afin d'assurer une équité entre tous, quel que soit le support choisi, les candidats ne sont pas autorisés à apporter et présenter des supports physiques (produits, échantillons, maquettes didactiques...). S'ils existent, ces éléments pourront être mis en valeur à travers les documents présentés.

4. Conclusion

Les candidats qui se sont distingués montrent en même temps une solide expertise scientifique et technologique, un esprit d'analyse et de synthèse couplé à une maîtrise pédagogique et didactique de leur discipline.

Le jury a constaté avec satisfaction que, pour la grande majorité des candidats, la dimension éducative du métier de professeur est correctement appréhendée et qu'une réelle réflexion a été menée sur la transmission des valeurs de la République.

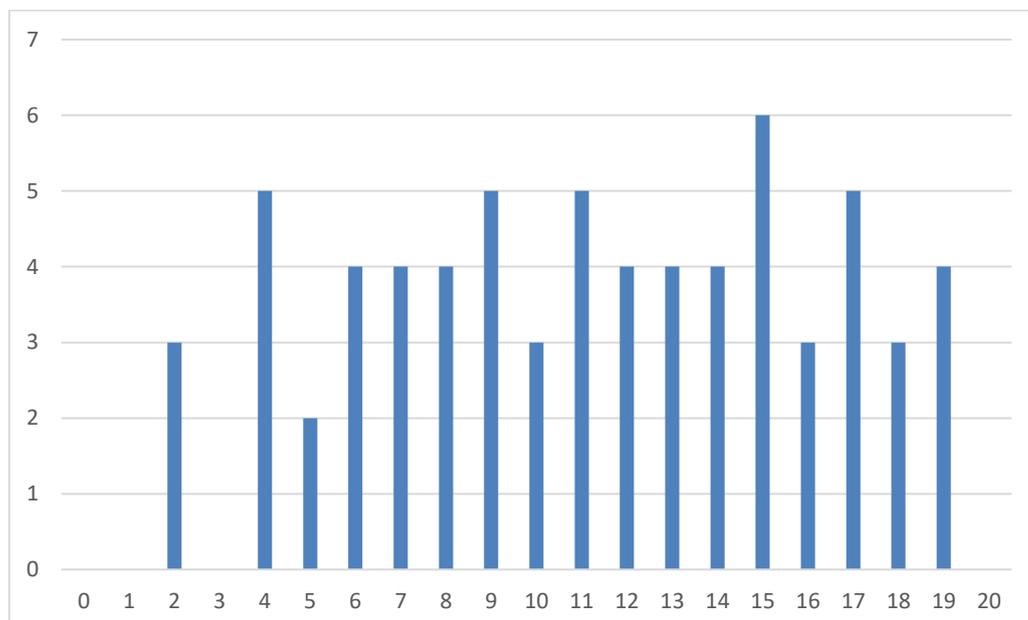
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

5. Résultats

68 candidats ont été évalués. La moyenne des notes obtenues est de 11,7 et l'écart-type 4,8 avec :

- 19,6 comme meilleure note ;
- 2,2 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité des candidats à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'ils intègrent dans l'organisation de leur enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...) ;
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

Les candidats doivent prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive des candidats lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable.

L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;

- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR – DGESCO) ;
- le parcours Avenir ;
- la banque de ressources « Pour une pédagogie de la laïcité à l'école » - Abdennour BIDAR - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire ;
- référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation – education.gouv.org.