MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Concours du second degré

Rapport de jury

Concours : agrégation

Section : sciences industrielles de l'ingénieur
Option : ingénierie mécanique

Session 2026

Rapport de jury présenté par : Hélène Chanal

© www.education.gouv.fr

Sommaire

Remerciements 3

Résultats statistiques de la session 2026 4

Avant-propos 5

Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur 7

Rapport du jury de l'épreuve de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur 20

Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation 33

Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation 36

Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation 52

Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique 58

Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique 68

Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique 78

Exemple de sujet pour l'activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique 87

Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel 100

Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République 106

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2026 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 4 juin au 13 juin 2026 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 et le professionnalisme dont ils ont fait preuve.

Ces remerciements s'adressent aussi à monsieur le Proviseur du lycée Raspail de Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion préparatoire du 13 janvier 2026.

Résultats statistiques de la session 2026

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
308[1]	25	143[2]	51[3]	25[4]

[1] dont 40 femmes inscrites (13 %)
[2] dont 13 femmes présentes au trois épreuves d'admissibilité (17 %)
[3] dont 3 femmes admissibles (5,5 %)
[4] dont 2 femmes admises (8 %)

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	16,47/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	9,59/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	14,9/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	9,9/20

Avant-propos

Cet avant-propos permet de mettre en avant des éléments pour aider les futurs candidats à préparer les sessions suivantes. Il est nécessaire de rappeler que d'excellentes compétences sur les outils et concepts scientifiques et technologiques sont nécessaires pour se présenter le concours, mais pour le réussir des qualités de savoir-vivre, de communications, didactiques et pédagogiques sont tout aussi déterminantes. En effet, «*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 ».* Ainsi, les trois épreuves écrites d'admissibilité et les trois épreuves orales pour l'admission sont complémentaires pour valider l'attitude et les compétences attendues d'un professeur agrégé.

Les trois épreuves d'admissibilités permettent d'évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques. La première épreuve est commune aux quatre options de l'agrégation SII, les deux autres sont spécifiques à l'option. Les épreuves d'admission consiste en une épreuve commune aux quatre options de l'agrégation SII, et deux autres spécifiques à l'option. Le déroulé et les objectifs de ces épreuves sont détaillés sur le site devenir enseignant :

https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur-949

Il convient de souligner la préparation indispensable aux épreuves orales dès l'inscription au concours. En particulier, l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel nécessite une élaboration longue depuis le choix d'un support issu du milieu industriel jusqu'à sa mise en œuvre dans le contexte d'une application pédagogique. Il est illusoire de considérer être en capacité d'élaborer un dossier de qualité dans le laps de temps entre les résultats d'admissibilité et la date limite de dépôt des rapports de dossier pour les épreuves d'admission. Les deux épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique sont des épreuves exigeantes qui imposent aussi 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. Il est essentiel que les candidats prennent connaissance en amont des programmes de formations dans lesquelles ils peuvent être amenés à exercer.

Chaque épreuve orale 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.

L'agrégation, comme tous les concours de recrutement de fonctionnaires, impose de la part des candidats un comportement et une présentation exemplaires. Le jury y est attentif et invite les candidats à adopter une présentation et une attitude adaptées aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Le jury a pu constater une croissance de l'utilisation des outils d'intelligence artificielle générative dans l'élaboration des dossiers ou lors des épreuves pratique. Si ces outils peuvent constituer une aide à la

réflexion ou une source d'inspiration légitime, tout contenu présenté doit témoigner d'une réelle appropriation du fond par le candidat. Un contenu reproduit sans distance critique à partir de propositions générées par une intelligence artificielle ne saurait satisfaire aux attentes du jury, lequel évalue précisément la capacité du candidat à mobiliser ses connaissances disciplinaires et didactiques, à justifier des choix scientifiques et pédagogiques et à projeter ses propositions dans le contexte singulier d'une classe.

Cette session 2026 a conduit à l'admission de 25 candidats. Le jury adresse ses félicitations aux lauréats de la session.

Certains candidats présentent des progressions spectaculaires dans le classement entre les épreuves d'admissibilité et d'admission. Ainsi, un candidat a progressé de 27 places, et un autre de 24. Ceci montre l'importance de se préparer avec sérieux aux épreuves d'admission autant qu'aux épreuves d'admissibilité. Notamment, l'épreuve de dossier, au vu de sa préparation en amont des épreuves d'admission, doit permettre au candidat de mettre en avant ses compétences pédagogiques, scientifiques et technologiques. Malheureusement, trop de candidats la néglige.

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. Je les invite donc, ainsi que leurs formateurs, à lire de façon approfondie les retours et recommandations du jury aux différentes épreuves.

Hélène Chanal, Présidente du jury

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

Présentation de l’épreuve

- Durée : 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://www.devenirenseignant.gouv.fr/sujets-et-rapports-des-jurys-concours-de-l-agregation-de-2026-1659

Le porte-conteneurs Meltem

D’après l’Organisation maritime internationale (OMI), le transport maritime représente au niveau mondial près de 3% des émissions de gaz à effet de serre.

Moyen de transport efficace d’un point de vue énergétique rapporté aux volumes transportés, le transport maritime n’en est pas moins quasi exclusivement dépendant des énergies fossiles. Il doit aujourd’hui opérer une transition énergétique sans précédent afin de respecter les engagements fixés au niveau international et européen, mais aussi contribuer à l’effort national de décarbonation. Pour répondre aux objectifs, plusieurs technologies sont à l’étude comme l’utilisation de piles à combustibles, la motorisation électrique et la propulsion vélique. C’est cette dernière qui est étudiée dans la suite.

Le porte-conteneurs Meltem (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), développé par l’entreprise Zéphyr Borée, est doté de quatre paires d’ailes, conçues par l’entreprise CWS. Il possède une passerelle 3/4 avant, de manière à pallier l’obstruction de la visibilité sur l’avant du navire. La propulsion mécanique est assurée par deux moteurs thermiques de 4 800 kW. Afin de limiter la hauteur du centre de voilure, la hauteur maximum des bays de conteneur est réduite par rapport à un navire conventionnel de mêmes dimensions. La capacité maximale géométrique est donc moindre, mais la capacité de chargement à 14 tonnes homogènes reste identique à celle d’un navire de mêmes dimensions sans ailes.



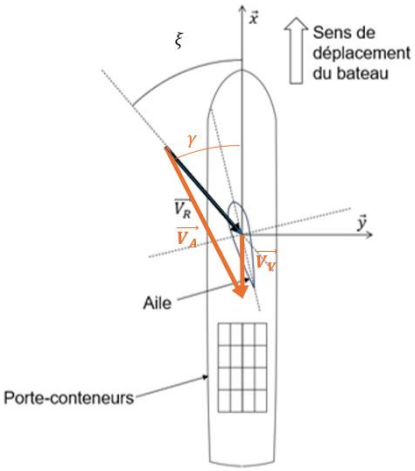
Figure 1 – Meltem Porte conteneur de Zéphyr et Borée, dotée de 4 paires d'ailes CWS.
Source : lemarin.ouest-France.fr

Éléments de correction

Partie 1 : Pertinence de l'usage d'ailes rigides

Q1.

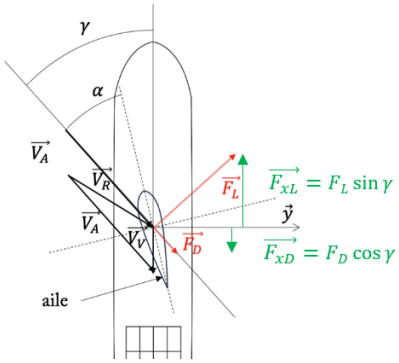
$\overrightarrow{V_V}$= 22,2 km.h^{-1} soit 2,2 cm
$\overrightarrow{V_A}$ (5,24cm en y et 2,68cm en x) soit 5,9cm. $\overrightarrow{V_A} = 59$ km.h^{-1}
γ =63°



Q2. $\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{V_R \sin\xi}{V_R \cos\xi + V_V}\right)$ ou $\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{V_R \sin\xi}{\sqrt{(V_R \sin\xi)^2 + (V_R \cos\xi + V_V)^2}}\right)$

$$V_A = \sqrt{(V_R \sin\xi)^2 + (V_R \cos\xi + V_V)^2}$$

Q3. Construction graphique de la trainée et portance **:**



Q4. $F_x = F_L \sin\gamma - F_D \cos\gamma$

Q5. $F_x = \frac{1}{2}\rho S V_A^2((a\alpha + b)\sin\gamma - (C_{D0} + c\alpha^2)\cos\gamma)$

Q6. Expression mathématique d'un extremum : $\frac{dF_x}{d\alpha} = 0$ $donc$ $2c\alpha\cos\gamma + a\sin\gamma = 0$.

$$\alpha = \frac{a\sin\gamma}{2c\cos\gamma} = \frac{a}{2c}\tan\gamma$$

$$\alpha = \frac{a}{2c} . \frac{V_R \sin \xi}{V_R \cos \xi + V_V}$$

Q7. Plage de variation de ξ : + ou – 45°

Plage de variation de α:

$\alpha = \frac{a}{2c} . \frac{V_R \sin \xi}{V_R \cos \xi + V_V}$ avec V_R =40 km.h^{-1}, V_V =22.2 km.h^{-1}

$\alpha = \frac{a}{2c} . \frac{V_R . \sqrt{2}/2}{V_R \sqrt{2}/2 + V_V} = 0.28 * \frac{a}{c}$ ou $-0.28 * \frac{a}{c}$

On souhaite avoir une précision correcte sur la variation de α, avec un pilotage du moteur cohérent et donc avoir un rapport de réduction suffisant pour cela.

Q8. Puissance moyenne propulsive vélique : $P_{moy} = 8 * F_x * V_V$= 543,25 kW

Q9. Expression de l'énergie moyenne produite par les ailes :

$E1 = 0.6 * P_{moy} * t$=85 073 kWh avec t=261h.

Q10. Expression de l'énergie moyenne consommée par les deux moteurs thermiques :

$E2 = 2 . P_{moteur} \times t = 2\,505\,600\ KWh$

Q11. Expression du gain de fioul: $G_{f\%} = \frac{E1}{E2} . 100 = 3.4\%$

Q12. Gain en $C0_2$: G_{CO2} = 49 t.CO_2

Q13. La présence d'aile n'ajoute que peu de poids supplémentaire et enlève un très faible volume de conteneurs. D'un point de vue écologique, elles permettent de réduire significativement l'empreinte carbone des navires. La baisse de consommation de fioul des moteurs thermiques permet également de générer un gain économique significatif avec l'augmentation des prix des carburants. La principale limite de ce système réside dans le fait que les ailes rigides ne fonctionnent qu'à de faibles vitesses de navigation. Ainsi, pour pouvoir maximiser les réductions de consommations, il est nécessaire d'augmenter les délais de livraison.

Partie 2 : Prédimensionnement du mât de l'aile

Q14. Sollicitations mécaniques : Compression (sous son poids propre+ équipement), flexion simple (sous la pression du vent). La torsion a été également acceptée.

Q15. Calcul des charges :

Calcul de G seule : G=50*9.81=490,5kN

Calcul de $P_{aéro}$ seule : P_{aero}=3601,5 N.m^{-2}

Prise en compte des coefficients de sécurité sur les deux actions :

W=11885 N.m^{-1}

G=663kN

Q16. 2 tronçons ici :

Coupure 1 : $z \in [17; 38m]$:

N=$-G$

$T_y = -W.(L-z)$

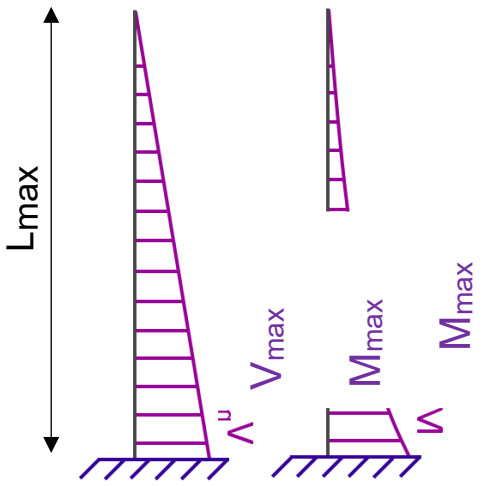
$M_x(z) = -W.(L-z)^2/2$

Coupure 2 : $z \in [0; 17m]$

N=0

$T_y = -W.(L-z)$

$M_x(z) = -W * \frac{(L-z)^2}{2}$



(Valeurs maximum : M_{max}=-8580970N.m, Tmax= -451630,0 N)

Q17. Au niveau du système de fermeture, à x=18m, on aura :

T_y =237,7 kN.m

M_x =2377 kN.m

Note : la modélisation considère une charge ponctuelle pour le poids à 17m, alors qu'en réalité le poids est réparti et des efforts de compression existent au niveau du système de fermeture.

Q18. Un profilé creux présente un moment quadratique plus élevé à masse équivalente.

Q19. Calcul de la surface minimale S_{min} permettant de reprendre la compression seule :

$$S_{min} = \frac{G}{\sigma_{c,max}} = \frac{663000}{355} = 1868\ mm^2$$

Surface du carré creux : $S = 700 * 700 - 600 * 600 = 130000\ mm^2$

$S > S_{min}$ Le profilé convient. Le flambement devra être ensuite vérifié par la suite.

Q20. Vérification du critère de dimensionnement :

Expression et valeur de la contrainte normale de compression $\sigma_c = \frac{G}{S} = 5{,}1 MPa$

Expression et valeur de la contrainte normale de flexion $\sigma_{fx} = \frac{M_{fx}}{I_{Gx}}.\vartheta = 326{,}2\ MPa$

(AN : $I_{Gx} = \frac{a^4}{12} - \frac{(a-2e)^4}{12} = 9{,}2084.10^9$ mm^4 , $\vartheta = 0{,}35m$, $M_{fx} = 8580{,}97\ kN.m$)

$\sigma_c + \sigma_f = 331{,}3\ arrondi$ à $332 MPa \leq 355\ MPa$ car on utilise de l'acier S355.

Le profilé étant en flexion composée, on aurait pu vérifier le déversement et le flambement.

Q21. Calcul de la flèche

Expression de la flèche $v(z) = \frac{W}{EI_{Gx}}.(L^2.\frac{z^2}{4} - L.\frac{z^3}{6} + \frac{z^4}{24})$

Maximale en L : $v(L) = \frac{W}{EI_{Gx}} . \frac{L^4}{8} = 1{,}6m$

Q22. Vérification des hypothèses

1ère hypothèse : calcul de l'angle d'inclinaison α= 2,29°, donc cos(α)=0.998, donc 1% d'erreur sur la valeur de l'effort.

2ème hypothèse : angle de 2.29° donc la longueur AB proposée sur le modèle serait de 38,03m. Soit 0.08% d'erreur sur la longueur.

Q23. Equation du moment fléchissant, sur le modèle déformé :

Coupure 1 : $z \in [17; 38m]$: $M_x(z) = -W.(L-z)^2/2$

Coupure 2 : $z \in [0; 17m]$ $M_x(z) = -W * \frac{(L-z)^2}{2} - G * \sin\alpha \,.(17-z)$

Valeur maximale : 9031,3 kN.m

Q24. Ecart relatif entre le modèle déformé et non déformé

Situation déformée : M_{max}= M(0)= 9031,3 kN.m
Situation non déformée : M_{max}= M(0)= 8581,0 kN.m

Écart relatif de 5% : Écart faible entre les deux modèles, mais le modèle déformé est plus pénalisant. Pour aller dans le sens de la sécurité, il est donc nécessaire de prendre la situation déformée en compte.

Q25. Comparaison des modèles en contraintes :

- Étude en grands déplacements (modélisation SolidWorks) : σ_{fx} =355,2 MPa
- Étude en petits déplacements : σ_{fx} =337,7 MPa

Écart relatif : 4.9 %, dans le sens négatif, c'est-à-dire qu'on sous-estime la contrainte réelle. Il est donc dangereux de ne pas se mettre en grands déplacements.

Vérification du profilé : en théorie non, en pratique on est très proche de la limite élastique donc on pourrait accepter pour éviter un surdimensionnement inutile.

Partie 3 : Dimensionnement, consommation et commande des moteurs de pivotement des ailes

Q26. Coefficient aérodynamique maximum angle d'incidence associé

$C_{Mz\,max}$=0,7 à l'angle d'incidence + 30°

Q27. Expériences et simulations

Les simulations aérodynamiques demandent beaucoup de temps de calcul et sont énergivores. Concernant l'essai en soufflerie, une fois l'installation opérationnelle, il est très facile et rapide de faire varier l'angle d'incidence et d'acquérir les données. La simulation est validée car les écarts sont plutôt faibles entre ses résultats et les résultats en soufflerie. Il sera alors possible d'utiliser le modèle de simulation pour faire varier la géométrie et les dimensions sans avoir besoin de réaliser une nouvelle maquette réelle.

Q28. Moment aérodynamique maximum

On trouve : $M_{z_{max}} = 1540\ kN \cdot m$ (3 chiffres significatifs maximum).

Q29. Couple moteur nécessaire

C_m = 10+ 2 000 000 / 1200 = 10+1670 = 1680 N·m.

Le couple de démarrage du réducteur est négligeable lors de vents forts.

Q30. Moteur choisi

Attention, le couple de démarrage n'est pas exprimé en N.m ou KN.m mais en ratio par rapport au couple nominal. Cela donne :

LS 315 SN : Couple de démarrage : 2,5*0,729 = 1,82 kN·m < 2 kNm → insuffisant

LS 315 MP : Couple de démarrage : 2,4*0,877 = 2,10 kN·m > 2 kNm → OK s=1,1

LS 315 MR : Couple de démarrage : 2,4*1,072 = 2,57 kN·m > 2 kNm → OK s=1,3

Vitesse de rotation : 1000/1200 = 0,83 tr·min-1 → Critère de vitesse respecté pour les 4.

Q31. Courant de démarrage

$I_{démarrage}$ = 7,2 * 164 = 1 180 A

$I_{démarrage\ 8\ voiles}$ = 7,2 * 164 * 8 = 9 450 A

Pour éviter cet appel de courant, il est envisageable d'étager les démarrages car la variation d'orientation sera très lente. Ainsi l'impact de ces 8 moteurs sur les circuits électriques du navire sera réduit.

Q32. Temps d'exécution

$$N_m = 980\ tr \cdot min^{-1} = 5880\ ° \cdot s^{-1}$$

Rampe de vitesse en 10s pour atteindre la vitesse nominale donc : $\ddot{\theta}_m = 588\ ° \cdot s^{-2}$
Réduction de 1200 donc : $\Delta\theta_m = 3 \cdot 1200 = 3600\ °$

Aire sous la courbe d'accélération et de décélération : $\Delta\theta_m = 2 \cdot \ddot{\theta}_m \cdot \frac{{t_f}^2}{2}$

$$t_f = \sqrt{\frac{\Delta\theta_m}{\ddot{\theta}_m}} = \sqrt{\frac{3600}{588}} = 5\ s$$

Q33. Consommation des moteurs

À partir des données météorologiques, les constructeurs évaluent qu'il est nécessaire de faire varier l'angle d'incidence de 3° chaque minute or pour réaliser ce mouvement le moteur n'a pas le temps d'atteindre sa vitesse nominale. Le contrôleur VFD impose donc une loi de commande écourtée qui comporte une accélération suivie d'une décélération : démarrage et freinage.

$$P_{instantanée\ consommée} = 3\ P_{nominale} = 270kW$$

$$P_{moyenne\ consommée} = \frac{5\ P_{instantanée\ consommée}}{60} = 22{,}5kW << 4800kW$$

Consommation d'1 moteur d'orientation : 0,5%
Consommation de 8 moteurs d'orientation : 3,7%

La consommation d'un seul moteur est négligeable mais la consommation moyenne des 8 moteurs augmenterait la consommation de 3,7% ce qui n'est pas négligeable et qui devra être pris en compte dans le bilan énergétique de l'installation des ailes.

Q34. Démonstration – Loi de Faraday

Le stator crée un champ tournant à la pulsation ω_S, et le rotor tourne à la vitesse Ω. Du point de vue électrique, le rotor a une pulsation de $\Omega \cdot p = \omega$. Dans le repère électrique du rotor, par composition, le stator a donc une pulsation de $\omega_S - \omega$.

D'après la loi de Faraday :

$$\underline{E_R} = -j(\omega_S - \omega)\underline{\psi_R}$$

Q35. Vitesse de synchronisme

On sait que $\omega_S = 2\pi f_S$, d'où :

$$\Omega_S = \frac{\omega_S}{p} = \frac{2\pi f_S}{p} = \frac{2\pi \times 50}{3} = 105\ rad/s$$
$$= \frac{2\pi \times 50}{3} \times \frac{60}{2\pi} = 1000\ tr/min$$

Q36. Glissement nominal

D'après la documentation, $\Omega_n = 980\ tr/min$ au rotor dans les conditions nominales donc :

$$g_n = \frac{1000 - 980}{1000} = 2\%$$

Q37. Expression de $\underline{E_R}$

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_R}{\Omega_S} = \frac{\omega_S - \omega_R}{\omega_S}$$

Donc :

$$\underline{E_R} = -j(\omega_S - \omega_R)\Psi_R = -jg\omega_S\Psi_R$$

Q38. Rotor en court-circuit - expression de $\underline{E_R}$

Rotor en court-circuit donc $V_R = 0$. Ainsi, d'après la loi des mailles et la loi d'Ohm : $\underline{E_R} = -R_R\underline{I_R}$.

Q39. Rotor en court-circuit - expression de $\underline{E_R}$

$\underline{E_R} = -R_R\underline{I_R}$ d'après la Q38

$= -jg\omega_S\Psi_R$ d'après la Q37

$= -jg\omega_S\Psi_S$ car il n'y a pas de fuite de champ magnétique

$= +g\underline{E_S}$ d'après la formule de $\underline{E_S}$ donnée dans le sujet

Par identification : $\underline{E_S} = -\frac{R_R}{g}\underline{I_R}$

Le couplage étant parfait (pas de fuite de champ magnétique), on a :

$$E_S I_S = E_R I_R$$

Donc :

$$\frac{1}{g} = \frac{E_S}{E_R} = \frac{I_R}{I_S}$$

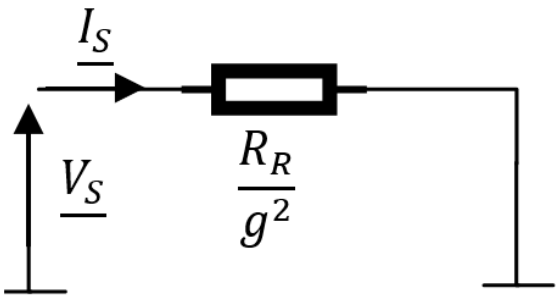
Remarque : ces deux équations (en module) peuvent aussi s'écrire en complexe. On aurait alors :

$$\underline{E_S} \cdot \underline{I_S^*} = \underline{E_R} \cdot \underline{I_R^*} \qquad \text{et} \qquad \frac{1}{g} = \frac{\underline{E_S}}{\underline{E_R}} = \frac{\underline{I_R}}{\underline{I_S}}$$

Dans tous les cas, on obtient :

$$\underline{E_S} = -\frac{R_R}{g^2}\underline{I_S}$$

donc la résistance équivalente du rotor ramenée au stator est R_R/g^2. Schéma :



Q40. Puissance active consommée

$$P_n = \frac{3V_S^2}{R_R/g_n^2} = \frac{U_S^2 g_n^2}{R_R}$$

Q41. Commande U/f constant

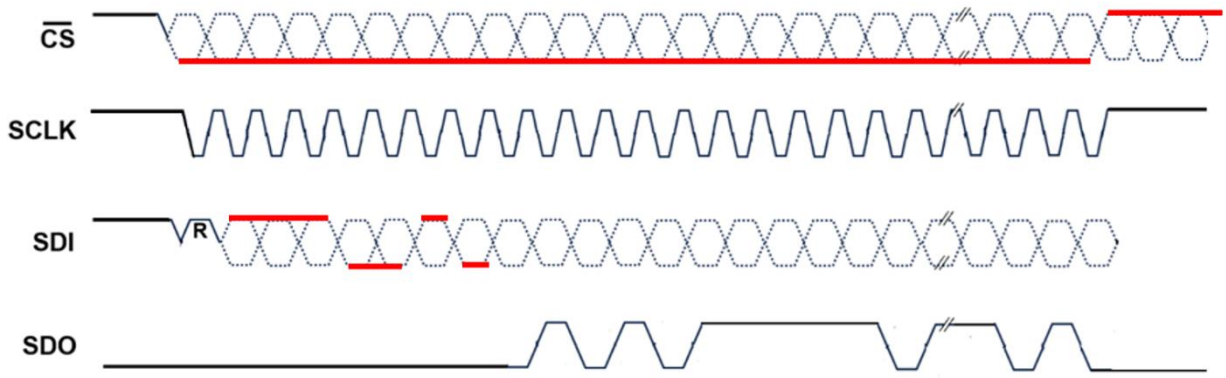
On alimente la machine avec une tension $V_S(t)$ telle que la quantité V_S/ω_S soit constante pour que le couple soit constant et maximal. Le convertisseur permettant de générer une tension alternative $V_S(t)$ de fréquence variable est l'onduleur (ou cyclo-convertisseur).

Partie 4 : Contrôle de la position des ailes

Q42. Lecture multiple

Tant que CS n'est pas désactivé, le capteur pointera vers le registre suivant. Les registres correspondant aux mesures (X-Axis Data 0, Data 1…) étant séquentiels (0x32, 0x33…), on doit donc pointer en premier vers 0x32, soit 110010 en binaire. Le bit MB doit être à 1.

Q43. Compléter la trame



Q44. Lecture

0101 0111 en binaire, soit 87.

Q45. Compléter le code Python

```
def PO(force, d_theta):
        theta = mesure_theta()
        consigne_position(theta + d_theta)
        sleep(10) # attendre 10 secondes
        force_prime = mesure_force()
        if force_prime < force :
                d_theta = -d_theta
        return force_prime, d_theta

# initialisation
force = mesure_force()
d_theta = 10

while True:
        force, d_theta = PO(force, d_theta)
```

Q46. Limitations et pistes d'améliorations de l'algorithme P&O

Consommation : Les puissances et les inerties mises en jeu sont très grandes, et en plus les moteurs consomment beaucoup au démarrage : changer l'orientation de chaque voile toutes les 10 secondes risque de coûter trop cher en énergie. On peut se permettre d'augmenter le délai Δt, jusqu'à par exemple 1min. De toute manière, on n'utilise pas les ailes pour changer abruptement la trajectoire du bateau !

Convergence : on remarque qu'avec cet algorithme, on risque d'osciller autour de la position d'équilibre (faire $\pm 10°$ en permanence). On pourrait mettre un seuil sur $\delta\theta$ en-deçà duquel on ne modifie pas l'orientation de l'aile.

Rapidité : On pourrait aussi paramétrer le pas : au lieu d'un pas fixe, on utilise un pas dynamique, qui diminue lorsqu'on se rapproche du maximum

Q47. Gradient

On a : $\Delta F = \frac{F'-F}{\theta'-\theta}$, d'où :

```
gradient = (force_prime – force) / (theta_prime - theta)
```

Q48. Discussion

Consommation : rien n'a changé donc non.

Convergence : si le paramètre d'apprentissage eta est trop grand, on peut toujours osciller autour de la position d'équilibre, voire diverger. En plus, l'estimation du gradient peut amener un risque de division par zéro si θ varie trop peu (notamment à l'approche du maximum). La solution serait toujours de mettre un seuil sur $\theta' - \theta$ en-deçà duquel on ne modifie pas l'orientation de l'aile. Rapidité : si le paramètre d'apprentissage est trop petit, ça va être lent.

Rapidité : s'il est bien réglé, il peut potentiellement être plus rapide que l'algo P&O, mais pas de garantie.

Conclusion : l'algo de montée de gradient n'est pas mieux que l'algo P&O, qui est plus simple, mais plus robuste.

Q49. Avantages et inconvénients de l'approche par apprentissage automatique

Avantage :

- Permet de réduire le nombre d'accéléromètres -> réduire coût (même si en réalité pas très cher, 25€), simplification matérielle

Inconvénients :

- Comportement imprévisible : Dépendance à la qualité des données d'entraînement (si nouvelles conditions météorologiques ?), manque de garanties théoriques sur les performances -> garde-fous ?
- Perte d'information : un unique accéléromètre central ne permet peut-être pas d'accéder aux forces spécifiques sur chaque voile, ce qui limite la précision
- Complexité algorithmique : ça introduit une complexité supplémentaire en termes de conception, d'entraînement et de mise à jour du modèle

Panne : en cas de défaillance du capteur unique, le système perd complètement sa capacité de mesure, alors que ce n'est pas le cas avec plusieurs capteurs répartis

Q50. Fonction de transfert

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{C_{mot}(p) - C_r(p)} = \frac{1}{f + J \cdot p} = \frac{\frac{1}{f}}{1 + \frac{J}{f} \cdot p} = \frac{K}{1 + T \cdot p}$$

Avec $K = 1/f$ et $T = J/f$.

Q51. Protocole expérimental

- On mesure pour chaque essai la valeur du couple moteur $c_{mot\infty}$ et de la vitesse de rotation ω_∞ en régime permanent.
- On trace le nuage de points $(\omega_\infty, c_{mot\infty})$ pour tous les essais.
  On a alors : $c_{mot\infty} - c_r - f.\omega_\infty = 0$, donc :
  $$c_{mot\infty} = c_r + f.\omega_\infty$$
- On fait une régression affine. Le coefficient directeur sera f et l'ordonnée à l'origine sera le couple résistant c_r en l'absence de vent.

Q52. Valeurs numériques des paramètres

En régime permanent, $\omega_\infty = K \cdot (c_0 - c_r)$ donc : $K = \frac{\omega_\infty}{c_0 - c_r} = \frac{997 \times 2\pi/60}{100-10} = 1{,}2\ rad.s^{-1}.N^{-1}.m^{-1}$. On détermine la valeur de la constante de temps en utilisant le fait que : soit après T on atteint 63% de la valeur finale, soit après $3T$ on atteint 95% de la valeur finale, soit la pente à l'origine coupe l'asymptote en T. On devrait trouver : $T \simeq 3{,}4\ s$

Q53. Choix du correcteur

Un correcteur PI permet d'augmenter la classe de la FTBO et de le rendre parfaitement précis. Un correcteur P, même s'il était plus rapide, ne permettrait d'améliorer la précision qu'au prix d'une grande valeur de gain car les grandeurs mises en jeu sont grandes.

Q54. Pulsation de coupure

$$|H(\omega_{0dB})| = 1 \Leftrightarrow \frac{K}{\sqrt{1 + (T \cdot \omega_{0dB})^2}} = 1 \Leftrightarrow \omega_{0dB} = \frac{1}{T}\sqrt{K^2 - 1} = 0{,}19\ rad.s^{-1}$$

On veut que $\omega_{0dB,corr} = 2 \cdot \omega_{0dB} = 0{,}39\ rad/s$

Q55. Réglage du correcteur

On place $1/T_i$ une décade avant la pulsation de coupure à 0 dB souhaitée, donc :

$$\frac{1}{T_i} = \frac{1}{10}\omega_{0dB,corr} \quad \Rightarrow \quad T_i = \frac{10}{\omega_{0dB,corr}} = 26\ s$$

Comme $1/T_i$ est placé bien avant ω_{0dB}, on a : $C(p) \simeq K_p$, donc :

$$\left|H(\omega_{0dB,corr}).C(\omega_{0dB,corr})\right| = 1 \Leftrightarrow \frac{K_p K}{\sqrt{1+\left(T\cdot\omega_{0dB,corr}\right)^2}} = 1 \Leftrightarrow K_p = \frac{\sqrt{1+\left(T\cdot\omega_{0dB,corr}\right)^2}}{K} = 1{,}4\ USI$$

Q56. Marges de stabilité

Graphiquement : La phase de la FTBO corrigée n'atteint jamais -180° donc marge de gain infini. Pour la marge de phase, on trace la flèche qui va de -180° jusqu'à la courbe en phase à la pulsation où le gain vaut 0dB (entre $0{,}6$ et $0{,}7\ rad/s$) : la flèche doit aller vers le haut ! Valeur : $M_\varphi \simeq 100°$. Le calcul analytique des marges de stabilité était aussi acceptable (bien que inutilement plus long).

Q57. Synthèse

Stabilité : très stable (d'après Q56) car marge de gain infini et marge de phase très supérieure à 45° (valeur habituelle). Précision : parfaitement précis en réponse à un échelon de vitesse (d'après Q53). Rapidité : temps de réponse deux fois plus rapide car pulsation de coupure à 0 dB deux fois plus grande (d'après Q54).

Partie 5 : Déploiement et inversion des ailes

Q58. Fermeture géométrique

Dans le polygone $OAHD$:

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HD} + \overrightarrow{DO} = \vec{0}$$

$$\lambda(t)\overrightarrow{z_2} + \frac{l_6}{2}\overrightarrow{y_6} - h_6\overrightarrow{z_6} - l\overrightarrow{y_0} - L\overrightarrow{z_0} = \vec{0}$$

En projection dans la base B_6 :

$$\begin{cases} /\overrightarrow{y_6}: & -\lambda(t)\sin\alpha_2 + \frac{l_6}{2} - l\cos\gamma - L\sin\gamma = 0 \\ /\overrightarrow{z_6}: & \lambda(t)\cos\alpha_2 - h_6 + l\sin\gamma - L\cos\gamma = 0 \end{cases}$$

D'où : $\lambda(t) = \sqrt{\left(\frac{l_6}{2} + l\sin\frac{\beta}{2} - L\cos\frac{\beta}{2}\right)^2 + \left(h_6 - l\cos\frac{\beta}{2} - L\sin\frac{\beta}{2}\right)^2}$

Q59. Course des vérins

$C = 2600$ mm pour 2750 mm sur la documentation technique. La course du vérin choisi est suffisante.

Q60. Relation affine

$a = -875$mm.rad^{-1} et $b = 612$mm

Q61. Matrice d'inertie

La matrice $\overline{\overline{I}}_{G_1}(1)$ présente la forme de celle d'un solide de plan de symétrie $(G_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1})$.

Q62. Energie cinétique

Les éléments d'inertie des solides 2 à 6 sont négligeables devant ceux du solide 1 : $E_{c,\Sigma/0} = E_{c,1/0}$

La matrice d'inertie est donnée en G_1, d'où : $E_{c,1/0} = \frac{1}{2}\left[m_1 \cdot \left\|\overrightarrow{V_{G_1,1/0}}\right\|^2 + \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \cdot \overline{\overline{I}}_{G_1}(1) \cdot \overrightarrow{\Omega_{1/0}}\right]$

$E_{c,1/0} = \frac{1}{2}\left[m_1 \cdot \left({e_1}^2 + {h_1}^2\right) + A_1\right]\dot{\beta}^2$ avec $J_{eq} = \left[m_1 \cdot \left({e_1}^2 + {h_1}^2\right) + A_1\right] = 1{,}29 \times 10^6$ kg.m²

Q63. Puissances galiléennes

$P_{v_1 \to 6/0} = \overrightarrow{R_{0\to 6}^{v}} \cdot \overrightarrow{V_{A,6/0}} = -pS\dot{\lambda}(t) = -apS\dot{\beta}(t)$

$$P_{\text{pes}\to 1/0} = \overrightarrow{R_{\text{pes}\to 1}} \cdot \overrightarrow{V_{G_1,1/0}} = -m_1 g\overrightarrow{z_0} \cdot (-e_1\overrightarrow{z_1} - h_1\overrightarrow{y_1})\dot{\beta} = m_1 g\dot{\beta}(e_1\cos\beta + h_1\sin\beta)$$

$$P_{\text{frott}\to 1/0} = \begin{Bmatrix} X_{01}\overrightarrow{x_0} + y_{01}\overrightarrow{y_0} + Z_{01}\overrightarrow{z_0} \\ -\mu\dot{\beta}\overrightarrow{x_0} + y_{01}\overrightarrow{y_0} + Z_{01}\overrightarrow{z_0} \end{Bmatrix}_D \otimes \begin{Bmatrix} \dot{\beta}\overrightarrow{x_0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D = -\mu\dot{\beta}^2$$

$$P_{6\overset{v}{\leftrightarrow}1} = \overrightarrow{R_{1\to v_2}} \cdot \overrightarrow{V_{B,6/1}} = -pS\dot{\lambda}(t) = -apS\dot{\beta}(t)$$

$$P_{\text{tot}} = -apS\dot{\beta}(t) + m_1 g\dot{\beta}(e_1\cos\beta + h_1\sin\beta) - \mu\dot{\beta}^2 - apS\dot{\beta}(t)$$

Q64. Théorème de l'énergie cinétique

$$\frac{dE_{c,\Sigma/0}}{dt} = P_{\overline{\Sigma}\to\Sigma/0} + P_{int}$$

$$J_{eq}\dot{\beta}\ddot{\beta} = -2apS\dot{\beta} + m_1 g\dot{\beta}(e_1\cos\beta + h_1\sin\beta) - \mu\dot{\beta}^2$$

$$p = -\frac{1}{2aS}\left[J_{eq}\ddot{\beta} + \mu\dot{\beta} - m_1 g(e_1\cos\beta + h_1\sin\beta)\right]$$

Q65. Loi en trapèze

Une loi en trapèze permet de limiter les effets dynamiques. Spécifiquement en hydraulique, cela permet de préserver l'intégrité du réseau.

Dans le trapèze, on écrit :

$$\dot{\beta}_{max}(T - T_a) = 180$$

$$\dot{\beta}_{max} = \ddot{\beta}T_a$$

On obtient : $T_a = 14$ s, d'où $\dot{\beta}_{max} = 0{,}7°.s^{-1}$.

Q66. Prédimensionnement vérin

Le vérin est utilisé en rentrée de tige. La surface utile est donc de $S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ avec $D = 230$mm et $d = 110$mm.

$S = \frac{\pi}{4}(0{,}23^2 - 0{,}11^2) = 0{,}032\text{m}^2$.

Q67. Dimensionnement vérin en phase d'accélération

En phase d'accélération : $\beta(T_a) = \beta(0) + \Delta\beta$

Avec $\Delta\beta = \frac{\ddot{\beta}}{2}T_a^2 = 5°$, d'où : $\beta(T_a) = -175°$

$$p = -\frac{1}{2aS}\left[J_{eq}\ddot{\beta} - m_1 g(e_1\cos\beta + h_1\sin\beta)\right]$$

$$p_{\max_acc} = -\frac{1}{2aS}\left[J_{eq}\ddot{\beta} - m_1 g(-e_1)\right]$$

$$p_{\underset{acc}{\max}} = -\frac{1}{2\times(-875\times10^{-3})\times0{,}032}\left[1{,}29\times10^6\times0{,}05\times\frac{2\pi}{360} - 16{,}4\times10^3\times9{,}81\times(-1{,}125)\right]$$

$p_{\max_{acc}} = 3\ 252\ 000$Pa = 32,5 bars

Q68. Dimensionnement vérin au bras de levier maximal

$p_{\max_cst} = -\frac{1}{2aS}[m_1 g h_1]$

$p_{\max_cst} = -\frac{1}{2\times(-875\times10^{-3})\times0,032}[16,4\times10^3\times9,81\times8,1]$

$p_{\max_cst} = 23\ 270\ 000$ Pa

$p_{\max_cst} = 233$ bars

Q 69. Conclusion dimensionnement

Le vérin répond aux exigences de course et de pression.

Q 70. Conclusion

$E = P * \Delta t$

AN : $8\times5\times270/3600\times20 = 60$ kWh.

Q 71. Conclusion finale

Les consommations du système pilotant les ailes représentent 8% de la production. Ces consommations ne sont pas négligeables - donc à prendre en compte dans le bilan énergétique - mais sont limitées.

Il faut rajouter à cette étude une analyse de l'ensemble de cycle de vie du produit : extraction des matériaux, fabrication, transport, installation, entretien et recyclage. Il faudra que la durée de vie de ce système soit grande pour diminuer significativement la consommation énergétique globale et l'empreinte écologique de ces moyens de transport.

Si la durée de vie du système est suffisante, le système pourra donc être performant et pertinent d'un point de vue développement durable :

- écologique : réduction des émissions de CO2 et possibilité d'une conversion éventuelle vers une autre source d'énergie bas carbone ; système de propulsion hydraulique moins puissant donc perturbant moins les écosystèmes marins.
- économique : réduction de la consommation de fioul suffisante à terme pour compenser le coût de l'installation ;
- social : création d'emplois locaux pour l'installation des ailes et du système de commande sur des bateaux existants. Création d'emplois moins locaux pour la fabrication des ailes et de leur système de commande.

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

Commentaires du jury

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.

Les candidats ont majoritairement traité les différentes parties dans l'ordre proposé par le sujet.

La première partie a été abordée par l'ensemble des candidats. Le jury a constaté que les expressions littérales ont été majoritairement correctement établies, il regrette cependant de nombreuses erreurs d'application numérique essentiellement liées à une mauvaise lecture du sujet.

La seconde partie portant sur le prédimensionnement du mât a été traitée par un grand nombre de candidats. Trop de candidats ont donné les valeurs maximales du moment fléchissant ou de l'effort tranchant mais rares sont ceux qui ont réalisé correctement les coupures et donné l'équation en fonction de « z » de ces éléments. Le jury regrette que peu de candidats ait traité la dernière question, qui était une question de lecture de résultats sur une modélisation.

La troisième partie concernait le dimensionnement, la consommation et la commande des moteurs de pivotement. Le dimensionnement moteur était abordable par l'ensemble des candidats mais un grand nombre de candidats a oublié de vérifier l'exigence de vitesse (et éventuellement de puissance) en sus du couple nécessaire. De trop nombreux chiffres significatifs dans les résultats numériques ont été pénalisés par le jury car ils montrent un manque de recul sur les incertitudes mais aussi sur la portée et les limites des modèles. La modélisation de la commande du moteur asynchrone est maitrisée par les candidats qui ont travaillé ce sujet lors de leur préparation.

La quatrième partie portant sur le contrôle de la position des ailes a été traitée par la majorité des candidats. Cependant, le jury fait état de nombreuses erreurs, notamment sur le protocole SPI dont la documentation est entièrement donnée dans le sujet et sur la mise à jour des paramètres dans la boucle infinie du code Python. Les questions portant sur l'asservissement ont été assez peu abordées.

La cinquième partie portant sur le déploiement des ailes a été traitée par peu de candidats. Les premières questions mêlaient géométrie et lecture de courbes. La fermeture géométrique et notamment les projections dans une base doivent être traitées de manière beaucoup plus rigoureuse.

Les calculs d'énergie cinétique (solide en rotation autour d'un axe fixe) et de puissances ont été très mal traités par la majorité des candidats. Dans la très grande majorité des cas, le théorème de l'énergie cinétique n'est pas su ou pas écrit. Les dernières questions nécessitaient d'avoir obtenu les résultats aux questions précédentes.

Dans l'ensemble, le jury enjoint les candidats à faire preuve de plus de rigueur dans la manipulation des expressions et des grandeurs. Par ailleurs, certains candidats ne remarquent pas les erreurs flagrantes d'ordres de grandeur (par exemple dans le calcul de la surface du piston ou de la pression dans celui-ci). Il est fondamental pour un futur enseignent de sciences de l'ingénieur de maitriser ceux-ci.

La conclusion finale pouvait être traitée par l'ensemble des candidats car les résultats nécessaires étaient donnés. Trop peu de candidats prennent le temps de répondre à cette question alors qu'il parait

incontournable de conclure pour répondre à la problématique générale proposée. Quelques candidats ont réussi à nuancer l'impact positif de l'installation des ailes en mentionnant la nécessité de réaliser une étude de l'ensemble du cycle de vie du système complet.

Le jury constate que les meilleurs résultats sont obtenus par les candidats ayant abordé au moins trois parties. Le jury encourage ainsi 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 sélectionnent les questions et se restreignent à celles relatives à une spécialité donnée 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 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 académiques afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficients 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. Trop de copies ressemblent à un brouillon tant au niveau de l'organisation que de l'écriture peu soignée. On rappelle que la rédaction des réponses doit toujours commencer par indiquer le numéro exact de la question traitée. 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 respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

Les réponses doivent être détaillées et argumentées : des résultats donnés directement, sans calcul, sans justification de principe, ne peuvent pas être considérés comme 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.

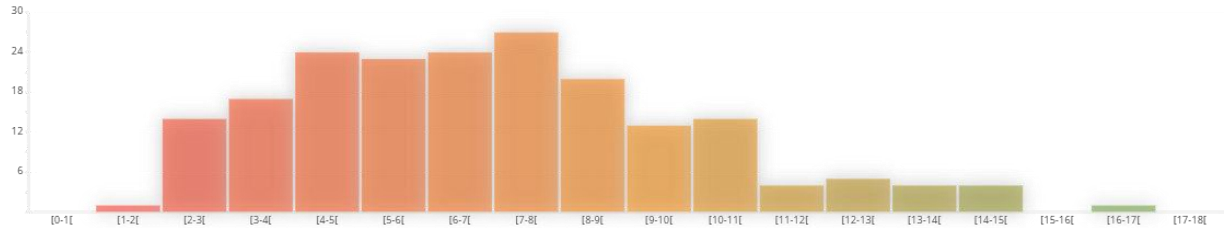
Réussir cette épreuve demande :

- 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.

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.

Analyse globale des résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve en option ingénierie mécaniques (sur un total de 195 candidats qui ont composé) sont :



Note minimum	1,90 / 20
Moyenne	7,00 / 20
Note maximum	16,79 / 20
Ecart type	3,00
Quartile inférieur	4,70 / 20
Médiane	6,75 / 20
Quartile supérieur	8,80 / 20
Ecart interquartile	4,10 / 0

195 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 07/20, avec un écart-type de 03/20 avec :

- 16,79/20 comme meilleure note ;
- 01,9/20 comme note la plus basse.

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.

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

https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/19042/download

Éléments de correction

ROBOT DE NETTOYAGE DE CARÈNE

PARTIE 1. ÉTUDE DE LA FLOTTAISON DU ROBOT ET DE SON PLACAGE SUR LA COQUE

Question 1.

La poussée d'Archimède B est une force verticale, dirigée vers le haut, dont la norme est égale au poids du volume d'eau déplacé par le robot. On peut donc écrire, dans un repère où $\vec{z}$ est l'axe vertical :

$\overrightarrow{P_A} = \rho \cdot V \cdot g \cdot \vec{z}$ avec V : volume total du robot (y compris cavité intérieure)

et g : accélération de la pesanteur ($\approx 9{,}81\ m.s^{-2}$)

Application numérique : $P_A = 1025 \cdot 0{,}0187 \cdot 9{,}81 = 188{,}03\ N$

$\vec{P} = m \cdot g \cdot \vec{z}$ avec $m \cdot g = 19 \cdot 9{,}81 = 186{,}39\ N$

Pour que le robot soit entièrement immergé, il faut que son poids soit égal à la poussée d'Archimède. C'est pourquoi des masselottes sont nécessaires pour que le poids atteigne 188 N.

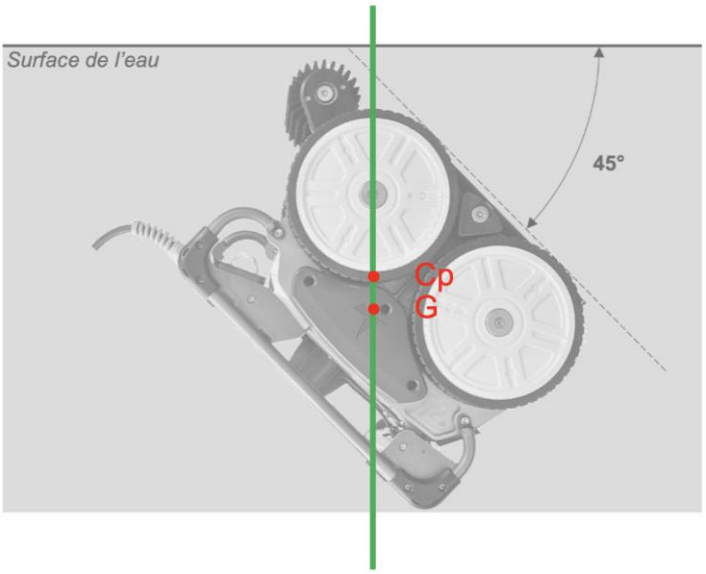
Question 2. À l'équilibre, le robot est soumis à deux forces $\vec{P}$ et $\vec{P}_A$.

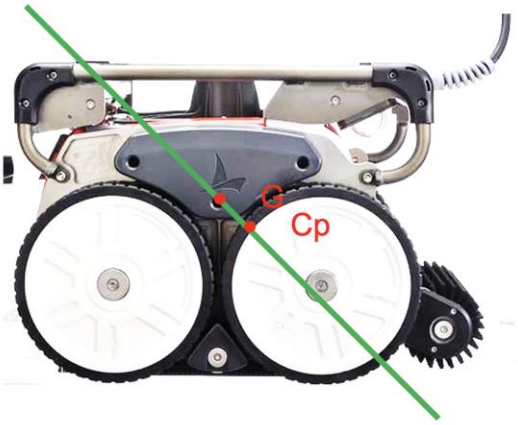
Le théorème d'un solide en équilibre statique soumis à 2 actions mécaniques de type forces permet d'écrire que :

Les 2 actions mécaniques sont de même direction (même droite support (GCp)) et de sens opposés ;

Leurs normes sont égales ;

La droite (GCp) est inclinée de 45° par rapport au plan des roues.





Question 3.

Avant l'hélice : $Q_{m,avant} = d_{m_{avant}} \cdot v_a$

Après l'hélice : $Q_{m,après} = d_{m_{après}} \cdot v_e$

avec $[v_a] = [v_e] = L.T^{-1}$ (unité S.I. : $m \cdot s^{-1}$) et $[d_m] = M.T^{-1}$ (unité S.I. : $kg \cdot s^{-1}$)

Donc $[Q_m] = M.L.T^{-2}$: Q_m est homogène à une force.

Question 4. Le débit massique se conserve avant et après l'hélice.

Question 5. $d_{m_{avant}} = d_{m_{après}} = \rho \cdot A \cdot v_a = \rho \cdot \frac{\pi(D^2 - D_{moyeu}^2)}{4} \cdot v_a$

Question 6.

La variation de quantité de mouvement est égale à la résultante des actions extérieures qui s'exercent sur le fluide (ici, les actions extérieures se résument à Fa).

$Q_{m,avant} = (\rho \cdot A \cdot v_a) \cdot v_a = \rho \cdot A \cdot v_a^2$

Comme le débit massique se conserve, on peut écrire :

$Q_{m,après} = (\rho \cdot A \cdot v_a) \cdot (v_a + 2w) = \rho \cdot A \cdot v_a^2 + 2 \cdot \rho \cdot A \cdot v_a \cdot w$

On a donc : $\Delta Q = Q_{m,après} - Q_{m,avant} = F_a = 2 \cdot \rho \cdot A \cdot v_a \cdot w$

Question 7.

Avec une hélice à 3 pales de diamètre D = 57,886 mm = 0,057886 m tournant à 4200 $tr \cdot min^{-1}$, on trouve :

$v_a = 2 \cdot a \cdot w \cdot D = 2 \cdot 0{,}62 \cdot \frac{n}{60} \cdot 0{,}057886 = 2 \cdot 0{,}62 \cdot \frac{4200}{60} \cdot 0{,}057886 = 5{,}02 \approx 5\ m.s^{-1}$;

Question 8.

$4k \cdot (1 + k) = C_T$ ou $4k^2 + 4k - C_T = 0$

On résout cette équation : il y a 2 solutions réelles de la forme $1/2(-1 \pm \sqrt{1+C_T})$, mais une seule est positive.

Donc $k = 0{,}5 \cdot (-1 + \sqrt{1+C_T}) = 0{,}204 \approx 0{,}2$ (s.u.)

$w = k \cdot v_a = 1{,}02 \approx 1\ m \cdot s^{-1}$

Question 9.

On calcule $F_a = 2.\rho.\frac{\pi(D^2-D_{moyeu}^2)}{4}.v_a.w = 2.1025.\frac{\pi.(0{,}057886^2-0.01565^2)}{4}.\ 5{,}02\ .\ 1{,}02 = 25{,}6$ N (NB : avec les valeurs approchées, on obtient 25 N).

Question 10.

Cet effort doit être compris entre 10 et 20 N, on est légèrement supérieur mais de peu (donc on peut se dire qu'il n'y aura sans doute pas détérioration de la coque).

Question 11.

On isole le robot : il est soumis à

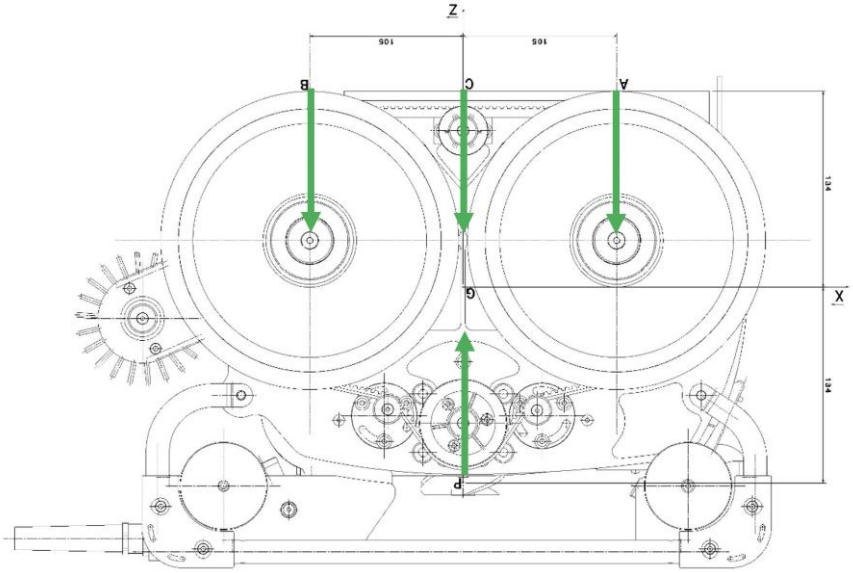
- la résultante des 2 forces exercées par la coque sur les brosses ventrales du robot, modélisée par un effort unique $\overrightarrow{F_C}$ dans le plan $(\vec{x}\ ;\vec{z})$ de droite support $(C,\vec{z}\ )$;
- les 4 forces exercées par les roues sur la coque, modélisées par 2 efforts $\vec{A}$ et $\vec{B}$ dans le plan $(\vec{x}\ ;\vec{z})$ de droites supports respectives $(A,\vec{z}\ )$ et $(B,\vec{z}\ )$;
- le poids $\vec{P}$ de droite support $(G,\vec{z}\ )$;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{P_A}$ de droite support $(C_P,\vec{z}\ )$;
- l'effort de placage $\overrightarrow{F_p}$ créé par la rotation de l'hélice de droite support $(P,\vec{z}\ )$.

Question 12.

A l'équilibre, $\overrightarrow{F_p}+\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}+\overrightarrow{P_A}+\vec{P}=\vec{0}$

Avec $\vec{A}=\vec{B}$ en raison de la symétrie du chargement et $\overrightarrow{P_A}+\vec{P}=\vec{0}$

Donc $\vec{A}=\vec{B}=-\frac{1}{2}(\overrightarrow{F_p}+\vec{C})$ avec $\left\|\overrightarrow{F_p}\right\| = 25{,}6$ N



Question 13. Soit un point B appartenant à la surface de l'eau dans le tube, côté libre.

D'après le théorème de Bernoulli, on a $P_A+\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot(v_A)^2+\rho\cdot g\cdot h_A = P_B+\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot(v_B)^2+\rho\cdot g\cdot h_B$

Quand la brosse est immobile : $v_A = 0$ et de même, $v_B = 0$ (la surface de l'eau dans le tube a une vitesse nulle).

On a donc : $P_{A0} = P_{B0}+\rho\cdot g\cdot(h_{B0}-h_A)$ avec $P_{B0} = P_{atmosphérique}$

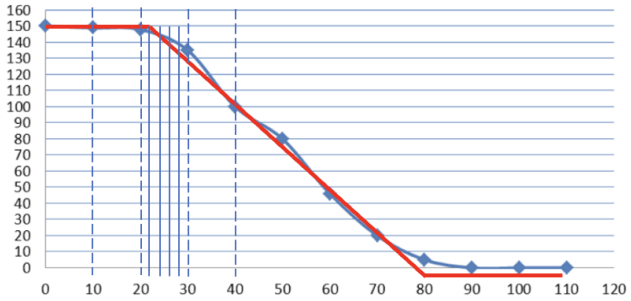
Quand la brosse tourne, on considère que la vitesse tangentielle v_A du fluide en A et la vitesse du fluide en B sont nulles. On a alors $P_{A1} = P_{B1} + \rho \cdot g \cdot (h_{B1} - h_A)$ avec $P_{B1} = P_{atmosphérique}$

$\Delta P = P_{A1} - P_{A0} = P_{B1} + \rho \cdot g \cdot (h_{B1} - h_A) - [P_{B0} + \rho \cdot g \cdot (h_{B0} - h_A)] = P_{B1} - P_{B0} + \rho \cdot g \cdot (h_{B1} - h_A - h_{B0} + h_A)$

$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$

Question 14. En linéarisant par morceaux la courbe expérimentale, on peut calculer la dépression maximale puis déterminer une estimation de la force axiale de brossage sur la coque.

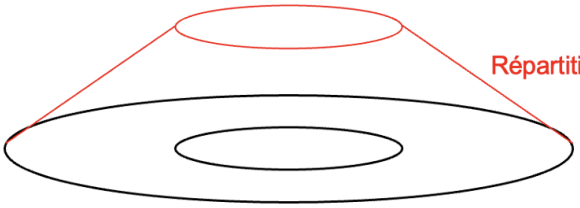
$\Delta P_{max} = \rho.g.\Delta h$ donc $\Delta P_{max} = \rho.g.\Delta h_{max} = 1025 \times 9{,}81 \times 150 \times 10^{-3} = 1508$ Pa



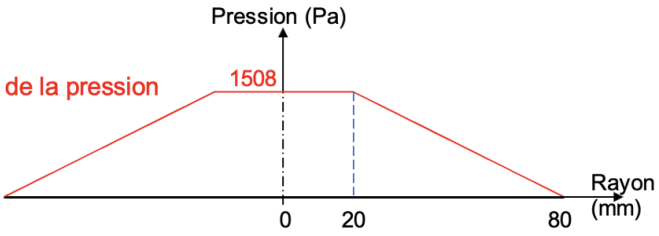
On approche la courbe expérimentale en la décomposant en 3 segments :

- Un segment horizontal entre 0 et 22 mm
- Un segment oblique entre 22 et 80 mm
- Un segment horizontal entre 80 et 110 mm

On peut alors considérer que la brosse est soumise à une pression uniforme de 1508 Pa sur un disque de rayon 22 mm, et à une pression uniformément décroissante de 1508 à 0 Pa sur un disque de rayon intérieur R_i = 22 mm et de rayon extérieur R_e = 80 mm.



Répartition de la pression

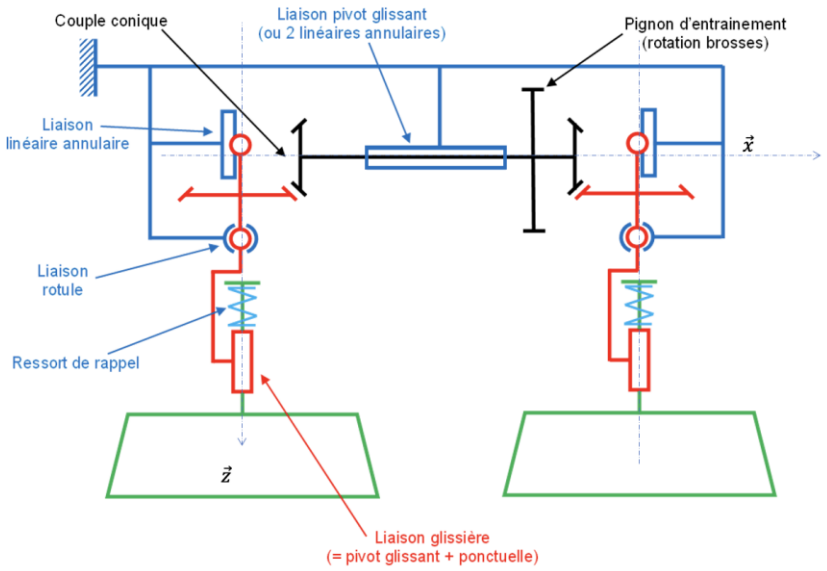


On a alors un effort axial $F = \Delta P_{max} \cdot \pi \cdot R_i^2 + \iint p(r) \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = 13{,}65$ N.

(remarque : l'approximation $F = \Delta Pmax \cdot \pi \cdot Ri^2 + (\Delta Pmax / 2) \cdot \pi \cdot (Re^2 - Ri^2) = 16{,}3$ N est acceptable)

Donc oui, l'effort axial est compatible avec le diagramme des exigences car $F \in [10\text{ N} ; 20\text{ N}]$, comme indiqué dans l'exigence 1.1.3.

Question 15. *On notera que les 2 ressorts de rappel ne sont présents que pour la compréhension du schéma cinématique*.



Question 16. L'effort mini de brossage est l'effort mini exercé par la coque sur la brosse et il a pour norme 10 N. L'effort exercé par le ressort sur la brosse, en appliquant le PFS à la brosse, a donc pour norme :

$F_{ressort \to brosse} = F_{dépression \to brosse} - F_{coque \to brosse} = 14 - 10 = 4$ N ;

Pour une compression de 16 mm. La raideur du ressort est donc égale à 4/16 = 0,25 N/mm.

Question 17.

$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$ donc $d = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot D^3 \cdot n \cdot K}{G}} = 8{,}04.10^{-4}$ m = 0,804 mm : on choisira $d_{normalisé} = 0{,}8$ mm.

PARTIE 2. ÉTUDE DE L'ASSERVISSEMENT EN VITESSE DU ROBOT

Question 18. Cas 1 : $\omega_{RG}(t)$ égale à $\omega_{RD}(t)$

Cas 2 : $\omega_{RG}(t)$ inverse à $\omega_{RD}(t)$

Cas 3 : $\omega_{RG}(t)$ supérieure à $\omega_{RD}(t)$

Question 19.

$k = \frac{\varnothing_{roue} \cdot \varnothing_{red}}{2 \cdot \varnothing_{courroie}} \cdot k_{red}$

Question 20.

$$v_{max} = k \cdot \omega_{m\,max}(t) = k \cdot N_{max}(t) \cdot \frac{2\pi}{60} = \frac{\varnothing_{roue} \cdot \varnothing_{red}}{2 \cdot \varnothing_{courroie}} \cdot k_{red} \cdot N_{max}(t) \cdot \frac{2\pi}{60}$$

$$v_{max} = \frac{204.10^{-3} \cdot 59.10^{-3}}{2 \cdot 184.10^{-3}} \cdot \frac{1}{25} \cdot 3000 \cdot \frac{2\pi}{60}$$

$v_{max} = 0{,}411$ m·s^{-1}

Cette vitesse est supérieure à la vitesse du cahier des charges (v = 0,25 m/s) donc le critère est validé.

Question 21. $D = V_{max} \cdot (T - \delta t)$

Question 22.

$$T = \frac{D}{V_{max}} + \delta t \qquad Q = \frac{l_n \cdot D}{\frac{D}{V_{max}} + \delta t} = \frac{V_{max} \cdot l_n \cdot D}{D + \delta t \cdot V_{max}}$$

autre formulation : $Q = V_{max} \cdot l_n \left(1 - \frac{\delta t}{T}\right)$ et il faut alors remplacer T ;

$Q = 0{,}0175\ m^2/s = 63{,}2\ m^2/h$

Question 23. Tout d'abord le robot peut glisser sur la coque, ce qui ralentit son débit de nettoyage. Ensuite, toutes les manœuvres pour être positionné « correctement » et sans nettoyer prennent du temps.

Question 24. En considérant les conditions initiales nulles, et en utilisant le théorème de la dérivation,

$U(p) = R_m \cdot I(p) + L \cdot p \cdot I(p) + E(p)$

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

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

$J_{eq} \cdot p \cdot \Omega_m(p) = C_m(p) - C_r(p) - f \cdot \Omega_m(p)$

Question 25.

$$H_m(p) = \left[\frac{\Omega_m(p)}{U(p)}\right]_{C_r(p)=0} = \frac{k_t}{k_e \cdot k_t + R_m \cdot f} \cdot \frac{1}{1 + \frac{J_{eq} \cdot R_m + L \cdot f}{k_e k_t + R_m \cdot f} \cdot p + \frac{L \cdot J_{eq}}{k_e k_t + R_m \cdot f} \cdot p^2}$$

$$H_r(p) = \left[\frac{\Omega_m(p)}{-C_r(p)}\right]_{U(p=0)} = \frac{R_m}{R_m.f + k_e k_t} \cdot \frac{1 + \frac{L}{R} \cdot p}{1 + \frac{(J_{eq} \cdot R_m + L \cdot f)}{R_m.f + k_e k_t} \cdot p + \frac{L \cdot J_{eq}}{R_m.f + k_e k_t} \cdot p^2}$$

Question 26.

$$\text{Gain} = K_m = \frac{k_t}{k_e \cdot k_t + Rm \cdot f} = 0{,}78\ (\ V \cdot rad^{-1} \cdot s\ )$$

$$\text{Coefficient amortissement} = \xi_m = \frac{1}{2}\left(J_{eq} \cdot R_m + L \cdot f\right)\sqrt{\frac{1}{L \cdot J_{eq}(k_e \cdot k_t + R_m \cdot f)}} = 2{,}24\ (\text{s.u.})$$

$$\text{Pulsation propre} = \omega_{0m} = \sqrt{\frac{k_e \cdot k_t + R_m \cdot f}{L \cdot J_{eq}}} = 140\ (rad \cdot s^{-1})$$

Question 27.

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega_{0m} \cdot \left(\xi_m + \sqrt{\xi_m^{\,2} - 1}\right)} = 1{,}68.10^{-3}\ s \qquad \text{ou} \qquad \tau_1 = \frac{\left(\xi_m - \sqrt{\xi_m^{\,2} - 1}\right)}{\omega_{0m}}$$

$$\tau_2 = \frac{1}{\omega_{0m} \cdot \left(\xi_m - \sqrt{\xi_m^{\,2} - 1}\right)} = 3{,}4.10^{-2}\ s \qquad \text{ou} \qquad \tau_2 = \frac{\left(\xi_m + \sqrt{\xi_m^{\,2} - 1}\right)}{\omega_{0m}}$$

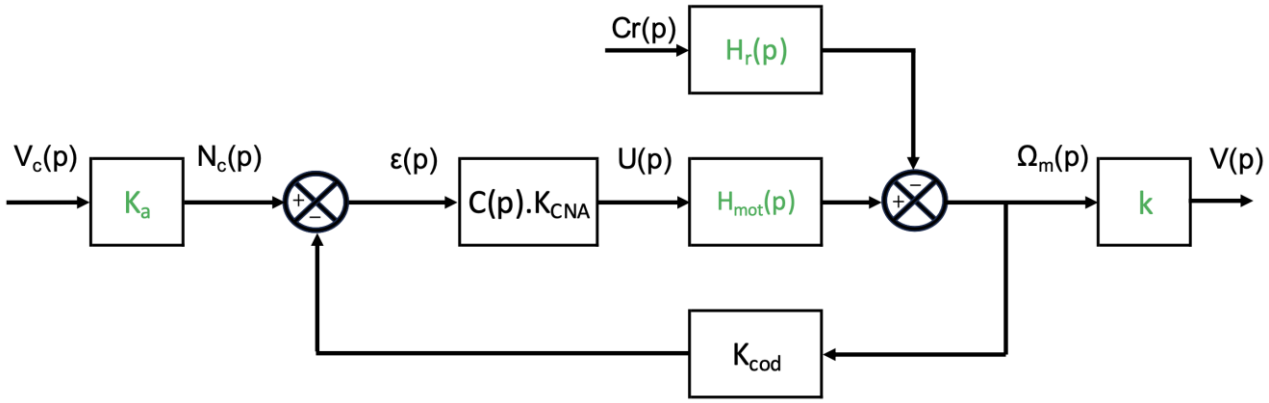
Question 28.

$$\omega_m(t) = K_m \cdot U_0 \left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2} e^{\frac{-t}{\tau_1}} + \frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} e^{\frac{-t}{\tau_2}}\right)$$

Question 29. En traçant l'asymptote pour $\omega_m(+\infty)$, on retrouve le gain d'environ 4,1 ($V \cdot rad^{-1} \cdot s$). On cherche la valeur de temps correspondant à $0{,}95 \cdot \omega_m(+\infty) = 3{,}9\ rad \cdot s^{-1}$, on trouve $t_{r5\%} = 0{,}5$ s. Ensuite on se place à $t_{r5\%}/3 = 0{,}17$ s et on cherche si pour ce temps, la réponse temporelle vaut $0{,}63 \cdot \omega_m(+\infty) = 2{,}6$ rad/s. Si c'est le cas, alors le système est assimilable à un ordre 1, de gain $G_m = 4{,}1\ V \cdot rad^{-1} \cdot$ s, et une constante de temps valant $\tau_m = 0{,}17$ s

$$H_{mot}(p) = \frac{G_m}{1 + \tau_m \cdot p} = \frac{4{,}1}{1 + 0{,}17 \cdot p}$$

Question 30.

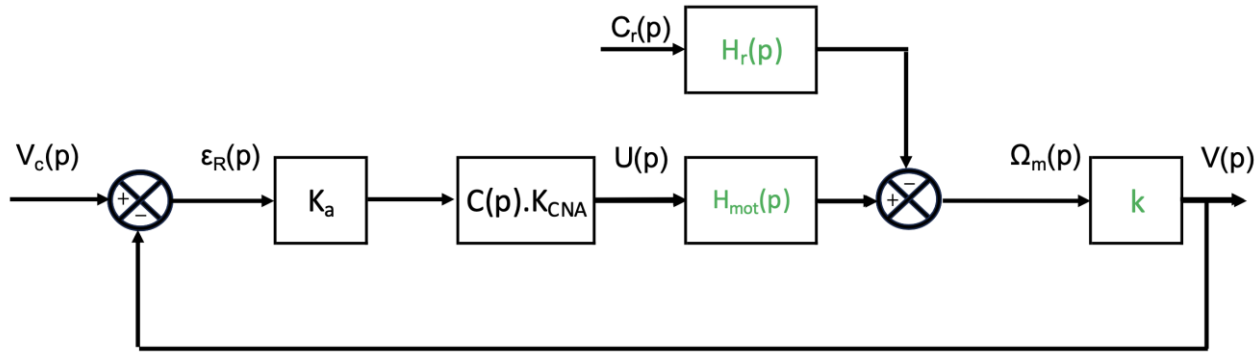


Question 31. $K_{cod} = 500/(2\pi) = 79{,}6\ inc \cdot rad^{-1}$

Question 32. On a $\varepsilon(t) = V_c(p) \cdot K_a - V(p) \cdot \frac{K_{cod}}{k}$

Donc pour que $\varepsilon(t)$ soit l'image de l'écart, on doit avoir $K_a = \frac{K_{cod}}{k}$ en inc/m.

Question 33.



$$FTBO(p) = K_a \cdot C(p) \cdot K_{CNA} \cdot H_{mot}(p) \cdot k = K_a \cdot C(p) \cdot K_{CNA} \cdot \frac{G_m}{1 + \tau_m \cdot p} . k = K_{cod} \cdot K_{CNA} \cdot C(p) \cdot \frac{G_m}{1 + \tau_m \cdot p}$$

Question 34.

$$FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1 + FTBO(p)} = \frac{K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot \frac{G_m}{1 + \tau_m \cdot p}}{1 + K_a \cdot K_{CNA} \cdot \frac{G_m}{1 + \tau_m \cdot p}} = \frac{K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot G_m}{1 + \tau_m \cdot p + K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot G_m}$$

$$FTBF(p) = \frac{K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot G_m}{1 + K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot G_m} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\tau_m}{1 + K_a \cdot K_{CNA} \cdot k \cdot G_m} \cdot p}$$

Question 35. Réponse courte : la FTBO est de classe 0 et ordre 1 donc l'erreur statique est non nulle ;

Réponse longue : d'après le théorème de la valeur finale, $\lim_{t\to\infty}(V_c(t) - V(t)) = \lim_{p\to 0} p\cdot(V_c(p) - V(p)) = ... = \frac{V_0}{1 + K_{BO}}$

L'erreur statique est non nulle et elle vaut $\frac{V_0}{1 + K_{BO}}$ avec $K_{BO} = K_a \cdot k \cdot G_m \cdot K_{CNA}$ et donc une erreur qui est non nulle (0,019 m/s). Cette valeur n'est pas strictement compatible avec le cahier des charges.

Question 36. La phase n'atteint jamais -180° car la FTBO est d'ordre 1.

Le système est stable, avec une marge de phase d'au moins 90°, ce qui est supérieur à la marge de phase de 45° demandée par le cahier des charges. Le système répond bien au critère de stabilité.

Question 37. Ce correcteur intégral proportionnel permet d'annuler l'erreur statique (en ajoutant une intégration en amont de la perturbation), mais on ralentit le système.

Question 38. Le couple résistant (perturbation) n'a pas d'influence sur la précision en vitesse du robot : il y a une intégration en amont de la perturbation, l'erreur statique en vitesse est toujours nulle.

Question 39.

$$FTBO(p) = K_a \cdot K_p \cdot \frac{1 + \tau_m \cdot p}{\tau_m \cdot p} \cdot K_{CNA} \cdot \frac{G_m}{1+\tau_m \cdot p} \cdot k = \frac{K_a \cdot K_p \cdot K_{CNA} \cdot G_m \cdot k}{\tau_m \cdot p} = \frac{K_{BO}}{p}$$

Question 40.

$$FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1+FTBO(p)} = \frac{K_{BO}}{p} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_{BO}}{p}} = \frac{K_{BO}}{p + K_{BO}} = \frac{1}{1 + \frac{p}{K_{BO}}}$$

Question 41. Pour respecter l'exigence de rapidité, on lit la valeur dans le diagramme des exigences, qui nous dit que $t_{r5\%} < 0,5$ s.

La FTBF est d'ordre 1 donc $t_{r5\%} = 3 \cdot \tau_{FTBF} = \frac{3}{K_{BO}}$

$\frac{3}{K_{BO}} < 0,5$ soit $K_{BO} > 6$, on peut alors écrire $\frac{K_a \cdot K_p \cdot K_{CNA} \cdot G_m \cdot k}{\tau_m} > 6$ donc $K_p > \frac{6 \cdot \tau_m}{K_a \cdot K_{CNA} \cdot G_m \cdot k}$

On doit régler le gain K_p avec une valeur strictement supérieure à 0,63.

Question 42. On a toujours une fonction de transfert boucle fermée d'ordre 1 donc le système est toujours stable. La FTBO est de la forme $\frac{K_{BO}}{p}$ donc la marge de phase est de 90°, elle est donc strictement supérieure à la marge de phase de 45° demandée.

Question 43. Synthèse :

- Erreur statique nulle : critère validé ;
- Temps de réponse inférieur à 0,5 s : critère validé (la question 41 a permis de trouver un gain adéquat) ;
- Stabilité du système : critère validé (FTBO d'ordre 1 donc marge de phase toujours supérieure à 45°).

PARTIE 3. ÉTUDE DU CARTER DU ROBOT

Question 44. Le principe des travaux virtuels stipule que pour un système en équilibre soumis à des charges extérieures, le travail des forces extérieures sur un déplacement virtuel doit être égal au travail interne des contraintes sur les déformations virtuelles. Dans notre cas, le travail des forces extérieures se réduit au travail de la pression uniformément répartie, et on va donc pourvoir déterminer les déformations assez facilement.

Question 45. Il s'agit de vérifier que la flèche est nulle pour x = 0 et x = a, ainsi que pour y = 0 et y = b :

$w(0,y) = \alpha\cdot(1-1)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right) = 0$

$w(a,y) = \alpha\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot a}{a}\right)\right)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{\pi\cdot y}{b}\right)\right) = 0$ car $\cos\left(\frac{2\pi\cdot a}{a}\right) = \cos(2\pi) = 1$

$w(x,0) = \alpha\cdot\left(1-\cos\left(\frac{\pi\cdot x}{a}\right)\right)\cdot(1-1) = 0$

$w(x,b) = \alpha\cdot\left(1-\cos\left(\frac{\pi\cdot x}{a}\right)\right)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{\pi\cdot b}{b}\right)\right) = 0$ car $\sin\left(\frac{\pi\cdot b}{b}\right) = \sin(\pi) = 0$

On vérifie ensuite que la dérivée est nulle pour x = 0 et x = a :

$w'(0,y) = \alpha\cdot(1-1)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right) = 0$

$w'(a,y) = \alpha\cdot\frac{2\pi}{a}\left(-\sin\left(\frac{2\pi\cdot a}{a}\right)\right)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{\pi\cdot y}{b}\right)\right) = 0$ car $\sin\left(\frac{2\pi\cdot a}{a}\right) = \sin(2\pi) = 0$

et idem pour y = 0 et y = b .

Donc cette fonction vérifie bien les conditions aux limites pour une plaque encastrée sur sa périphérie.

Question 46.

$w(x,y) \approx \alpha\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)\right)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right)$ donc $f_{max} = 4\cdot\alpha$ pour x = a/2 et y= b/2

Question 47.

$dW_{ext} = p\cdot dS\cdot w(x,y) = p\cdot w(x,y)\cdot dx\cdot dy$

Question 48.

$W_{ext} = p.\int_0^a\int_0^b \alpha\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)\right)\cdot\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right)dx\cdot dy$

$= p\cdot\alpha\cdot\int_0^a\int_0^b\left(1-\cos\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)-\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)+\cos\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)\cdot\cos\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right)dxdy$

$= p\cdot\alpha\cdot\left\{[x]_0^a[y]_0^b-\left[\frac{a}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)\right]_0^a-\left[\frac{b}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right]_0^b+\left[\frac{a}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi\cdot x}{a}\right)\right]_0^a\cdot\left[\frac{b}{2\pi}\sin\left(\frac{2\pi\cdot y}{b}\right)\right]_0^b\right\} = p\cdot\alpha\cdot a\cdot b$

Question 49.

$\frac{d(U-W_{ext})}{d\alpha} = 0 \Leftrightarrow 64D\pi^4\cdot\left(\frac{a^4+2\cdot a^2b^2+b^4}{a^3b^3}\right)\cdot\alpha - p\cdot a\cdot b = 0 \Leftrightarrow 64D\pi^4\cdot\left(\frac{a^4+2\cdot a^2b^2+b^4}{a^4b^4}\right)\cdot\alpha = p$

Question 50.

$$\alpha = \frac{p\cdot(a^4b^4)}{64D\pi^4(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4)}$$

Question 51.

$f_{max} = 4\cdot\alpha = \frac{4\cdot p\cdot(a^4b^4)}{64D\pi^4(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4)} = \frac{4\cdot 12\cdot p\cdot a^4b^4(1-\nu^2)}{64\pi^4Eh^3(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4)} = \frac{3\cdot p\cdot a^4b^4(1-\nu^2)}{4\pi^4Eh^3(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4)}$

donc $4\cdot f_{max}\cdot\pi^4\cdot E\cdot h^3\cdot(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4) = 3\cdot p\cdot a^4b^4(1-\nu^2)$

soit $h = \sqrt[3]{\frac{3\cdot p\cdot a^4b^4(1-\nu^2)}{4\cdot f_{max}\cdot\pi^4\cdot E\cdot(a^4+2\cdot a^2b^2+b^4)}}$

Application numérique : $h_{mini} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 72000 \cdot 0{,}174^4 \cdot 0{,}26^4 (1 - 0{,}35^2)}{4 \cdot 0{,}003 \cdot \pi^4 \cdot 2{,}2 \cdot 10^9 \cdot \left(0{,}174^4 + 2 \cdot 0{,}174^2 \cdot 0{,}26^2 + 0{,}26^4\right)}} = 3{,}18.10^{-3}$ m

Question 52. Le résultat est cohérent par rapport à la question 51, on avait trouvé une flèche de 3 mm pour une épaisseur de 3,18 mm, il est donc cohérent de trouver une flèche plus faible (2,83 mm) pour une épaisseur de 3,5 mm.

Question 53.

$\sigma_{max} = \frac{k \cdot p \cdot a^4}{h^2} = \frac{0{,}31 \cdot 72000 \cdot 0{,}26^4}{0{,}0035^2} = 8{,}33$ MPa : cette valeur est nettement inférieure aux 70 MPa que peut supporter l'ABS. On a un coefficient de sécurité de 4,8 pour résister à d'éventuels chocs qui s'ajouteraient à la pression de l'eau.

Question 54.

V= aire · épaisseur = 0,317 · 0,0035 = $1{,}11.10^{-3}$ m^3

donc M = ρ · V = $1{,}11.10^{-3}$ · 1040 = 1,154 kg

Ce résultat est bien inférieur à 1,4 kg.

Question 55. Comme prévu, on trouve une zone assez sollicitée au centre de la plaque, mais les contraintes maximales apparaissent au niveau des changements de géométrie brutaux : le phénomène de concentration de contraintes permet d'expliquer ces pics de contraintes.

Question 56.

Matériau : l'ABS est un matériau plastique qui allie une bonne résistance aux agressions chimiques de l'eau de mer à une résistance mécanique permettant un dimensionnement optimisé du châssis.

Les dimensions (et notamment l'épaisseur) permettent d'avoir une résistance mécanique suffisante, et sont compatibles avec une recherche de masse la plus faible possible.

En revanche, les formes pourraient être optimisées pour éviter les changements brutaux de section et donc, les concentrations de contraintes. On atteint localement des valeurs de contraintes proches de la résistance mécanique du matériau (sans coefficient de sécurité).

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

Analyse globale des résultats :

Le sujet a été conçu avec des parties indépendantes, composées de questions de difficulté croissante afin d'éviter que les candidats ne se retrouvent bloqués face à une difficulté. La majorité des candidats a suivi l'ordre des questions proposé dans le sujet. Celui-ci comprenait trois grandes parties. Si tous les candidats ont traité la première, moins de 80% ont abordé la partie 3.

Quelques candidats, grâce à leur qualité de travail, ont pu traiter l'intégralité du sujet et exprimer pleinement leur potentiel.

La différence entre candidats réside souvent dans la rigueur et la maîtrise des outils de modélisation. L'excellence dans les analyses, tant qualitatives que quantitatives, est également un critère déterminant. Le jury encourage les futurs candidats à explorer un maximum de parties et de questions. Il est crucial de ne pas négliger les questions de synthèse, qui permettent d'établir un lien entre les modélisations réalisées et les exigences à satisfaire.

Enfin, le jury remarque que si globalement les copies sont soignées, un certain nombre d’entre elles ressemblent à des brouillons difficilement lisibles.

Commentaire sur les réponses apportés et conseils aux candidats

Partie 1 : Étude de la flottaison du robot et de son placage sur la coque :

Les premières questions consistaient à faire une étude mécanique simple : détermination de la Poussée d’Archimède, conditions d’équilibre statique et détermination de la poussée d’une hélice.

Les réponses aux questions basiques ont souvent été confuses ou mal rédigées. Les calculs, bien que simples, sont souvent entachés d’erreurs.

Les réponses aux questions concernant la théorie des hélices manquent de cohérence : beaucoup de candidats ont émis l’hypothèse que le débit massique se conserve, et ne l’ont pas appliquée à la question suivante.

A la question 8, il s’agissait de résoudre une équation du second degré. Le jury a été surpris de voir que peu de candidats en sont capables, beaucoup se contentent d’une résolution numérique à l’aide de leur calculatrice.

Trop souvent, les unités ne sont pas mentionnées. On rappelle qu’un résultat sans unité doit être suivi de la mention (s.u.).

Trop peu de candidats ont dressé un bilan des actions mécaniques rigoureux.

Si quelques hypothèses étaient fournies, il était attendu des candidats de formuler les leurs afin de simplifier cette étude statique.

La question 14 était volontairement ouverte pour permettre aux candidats de montrer leur capacité à mettre en œuvre une démarche d’analyse de résultats expérimentaux afin de valider une exigence : linéarisation d’une courbe, calculs de pression puis d’efforts axiaux. Seulement un tiers des candidats ayant traité cette question ont obtenu la moyenne.

La question 15 consistait à tracer un schéma cinématique simple. Sur les 161 candidats qui ont traité cette question, seuls 6 ont obtenu le maximum des points !

La fin de cette première partie consistait à dimensionner le diamètre du fil d'un ressort hélicoïdal. Certains candidats ont trouvé un diamètre de fil supérieur au diamètre d'enroulement, sans remettre en cause leur résultat. Les données techniques figurant dans l'annexe 3 sont d'origine industrielle : en particulier, l'unité du module de torsion G était donnée en MPa (et pas en Pa) : un candidat doit vérifier l'homogénéité de ses résultats avant de remettre en cause les données du sujet.

Partie 2 : Étude de l'asservissement en vitesse du robot

Les premières questions concernaient la vitesse de déplacement du robot et la vérification de l'exigence de débit de nettoyage.

La question 19 demandant un rapport de réduction n'a été traitée correctement que par la moitié des candidats. La conclusion de la question 20 a été trop souvent erronée : le moteur du robot est capable d'atteindre une vitesse supérieure à celle indiquée par le diagramme des exigences, il fallait donc conclure que le critère était validé.

La question 23 concernait les arguments expliquant la différence entre le calcul du débit théorique de nettoyage et le débit indiqué dans le diagramme des exigences : sur les 131 candidats qui ont traité la question, seuls 12 ont obtenu le maximum des points.

Ensuite, on étudiait l'asservissement en vitesse des moteurs.

Trop peu de candidats justifient correctement l'écriture des équations dans le domaine de Laplace (conditions initiales nulles et utilisation du théorème de la dérivation).

La forme canonique d'une fonction de transfert n'est connue que par trop peu de candidats (à la question 25, seuls 15 sur 130 candidats ayant traité la question ont eu le maximum des points !).

Lorsqu'on donne les caractéristiques d'une fonction de transfert d'un système de classe 0 et d'ordre 2, il est impératif de donner toutes les unités. Par exemple, le coefficient d'amortissement est sans unité, il faut indiquer (s.u.).

Question 28 : il s'agissait d'exprimer la réponse temporelle à un échelon de tension pour un système d'ordre 2 amorti : le passage du domaine de Laplace au domaine temporel n'est pas du tout maitrisé.

Question 29 : il était demandé aux candidats d'avoir une démarche rigoureuse pour extraire des valeurs à partir d'une courbe expérimentale et justifier l'ordre de la nouvelle fonction de transfert. 120 candidats ont traité la question mais seulement un tiers des candidats a ébauché une démarche.

Question 36 : concernant la vérification du critère de stabilité, un système d'ordre 1 et d'ordre 2 est toujours stable. Par contre, il fallait vérifier la marge de stabilité, donc conclure par rapport à la valeur de 45° demandée dans le diagramme des exigences. Les conclusions des candidats ont souvent été trop mal exprimées.

Question 37 et 38 : les choix et l'influence des correcteurs sont à revoir.

Question 42 : il était demandé de rédiger une synthèse, donc de conclure par rapport aux différents paramètres du diagramme des exigence étudiés précédemment. Les candidats ont trop souvent oublié de rappeler les différents paramètres pour conclure (il était possible de les mettre sous forme de liste ou de tableau, par exemple).

Partie 3 : Étude du carter du robot

Dans cette partie, beaucoup de formules étaient fournies, il s'agissait de les utiliser pour valider des exigences.

Beaucoup de questions étaient facilement abordables, en faisant attention aux unités et aux conditions aux limites. On rappelle qu'un encastrement permet d'écrire des conditions de déplacement nulles aux limites et des conditions de tangence nulles aux limites.

Question 46 : il n'était pas nécessaire de dériver l'expression de w pour trouver la valeur maximale.

Question 51,53 et 54 : le jury attend une expression littérale puis une application numérique, on ne mélange jamais les deux.

Les questions 55 et 56 pouvaient être traitées sans avoir besoin des réponses précédentes.

Conclusion

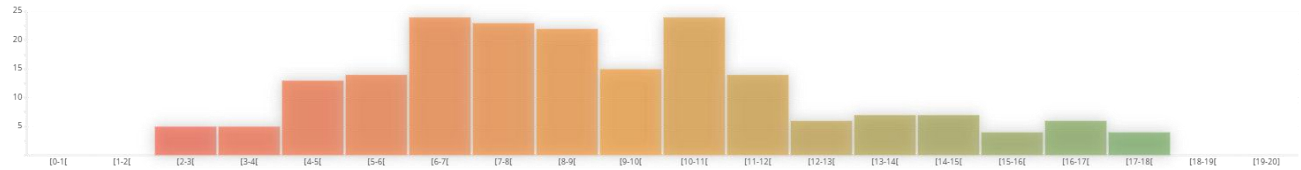
Le sujet avait pour objectif de permettre aux candidats d'exprimer au mieux leur potentiel et de montrer leur expertise dans la modélisation et la mise en données d'un problème d'ingénierie. Le spectre des compétences mobilisées était assez large et, pour une partie significative, relativement classique pour une épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation de l'agrégation externe.

Les outils mathématiques de base pour l'ingénierie mécanique doivent être maitrisés.

En cas de résultats aberrants, les candidats ont trop souvent tendance à indiquer la présence d'une erreur dans le sujet sans se remettre en question.

Le jury invite vivement les candidats à se préparer avec sérieux et rigueur et à s'inscrire dans les dispositifs de formation ou de préparation qui leurs sont mis à leur disposition.

Résultats



193 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 09/20, avec :

- 17,44/20 comme meilleure note ;
- 2,18/20 comme note la plus basse.
- 3,51/20 comme écart-type

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 19 avril 2013

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

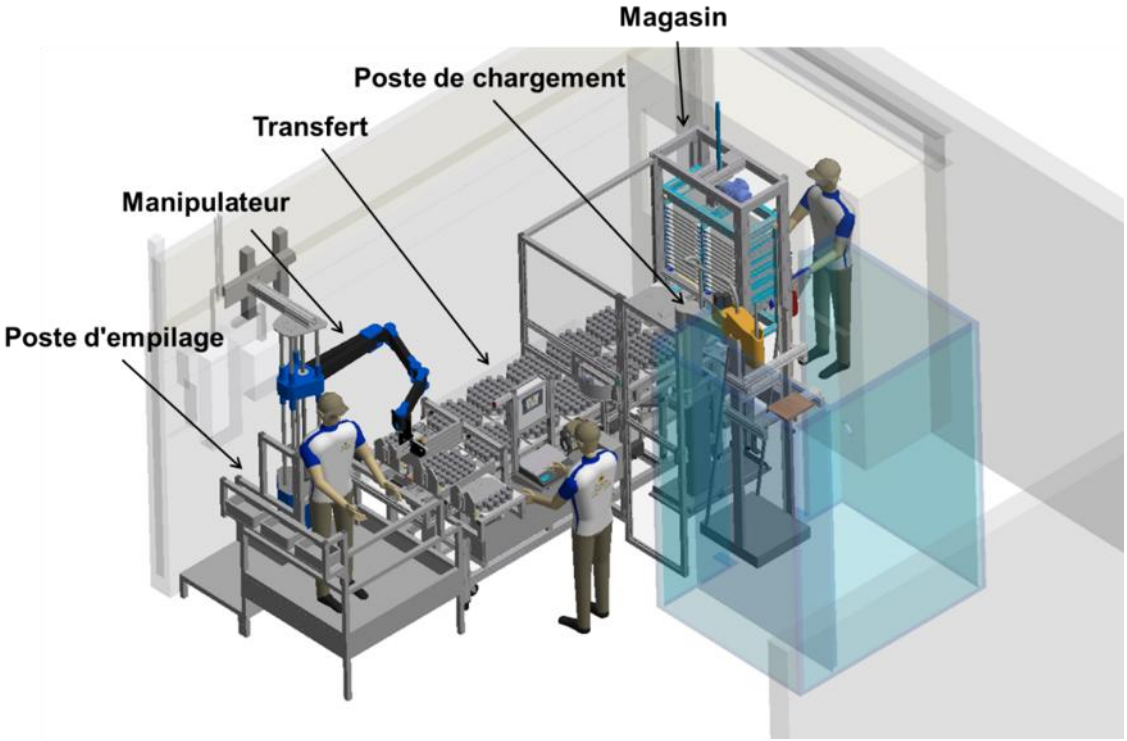
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la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

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

https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/19045/download

Sujet : ANALYSE DU PROCÉDÉ D’ENROULAGE DE PROFILÉS EN CAOUTCHOUC

Le sujet porte sur un système de déchargement et palettisation de varistances de parafoudre fabriquées à partir d'oxyde de zinc (ZnO) compacté puis fritté.



Question 1.

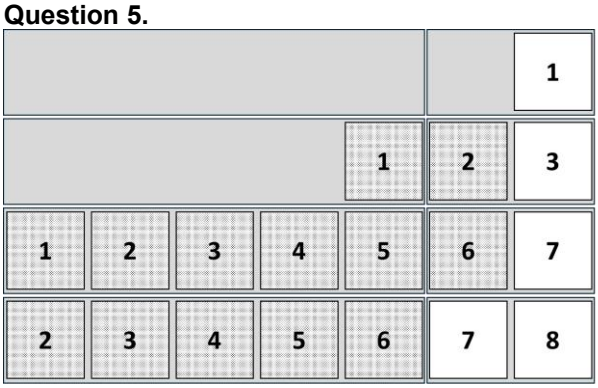
$$\frac{\text{Longueur de la zone} - \text{magasin} - \text{poste d'empilage}}{\text{Largeur d'une plaque + espacement}} = \frac{4557 - 462 - 1215}{397 + 30} = 7{,}2$$

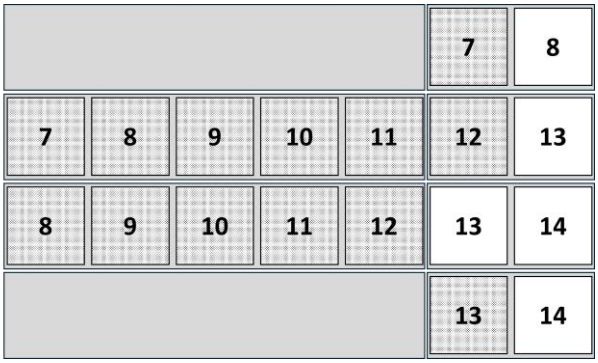
Question 2.
Une plaque peut contenir 38 varistances et la cadence est de 10 pièces / min.
T2 $= \frac{38}{10}$ = 3,8 min = 228 s
T3 = 2 × 3,8 = 7,6 min = 456 s
Tn = (n-1) × 3,8 min

Question 3.
L'ensemble des opérations de gestion et de surveillance de la presse (déchargement des plaques inclus) peut durer jusqu'à 15 minutes. Sachant que le temps entre le chargement de 2 places correspond au temps de production et de placement des varistances est de 228 s, l'opérateur n'aura pas suffisamment de temps.

Question 4.
Le convoyeur peut contenir 7 plaques (une plaque vide en sortie de magasin, une devant le poste de chargement et 5 en zone de stockage).Si l'on considère que la plaque en zone de chargement est pleine, 6 plaques peuvent être déchargées en une même opération.
228 × 6 = 1368 s = 22,8 min > 15 min
(228 × 5 = 1140 s = 19 min si on ne décharge que les plaque présentes en zone de stockage)
Le temps entre deux phases de déchargement permet donc d'effectuer les différentes opérations de gestion et de surveillance.

Question 5.





Question 6.

$$\mathcal{D}_{5/0} = \left\{ \begin{matrix} m_v \cdot a_{cv}\, \vec{x} \\ \overrightarrow{AG_v} \wedge m_v \cdot a_{cv}\, \vec{x} \end{matrix} \right\}_A = \left\{ \begin{matrix} m_v \cdot a_{cv}\, \vec{x} \\ -m_v \cdot \frac{h_v}{2} \cdot a_{cv}\, \vec{z} \end{matrix} \right\}_A$$

Question 7.

$$\mathcal{D}_{(4\cup5)/0} = \left\{ \begin{matrix} \left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot a_{cv}\, \vec{x} \\ \overrightarrow{BG_{pv}} \wedge \left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot a_{cv}\, \vec{x} \end{matrix} \right\}_B = \left\{ \begin{matrix} \left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot a_{cv}\, \vec{x} \\ -\left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot h_p \cdot a_{cv}\, \vec{z} \end{matrix} \right\}_B$$

Question 8.

Bilan des actions mécaniques : pesanteur sur **4** et **5** ; action de **3** sur **4**.

Théorème de la résultante dynamique sur $(\underline{\mathbf{4}} \cup \underline{\mathbf{5}})$:

$$\begin{cases} X_{34} = \left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot a_{cv} \\ Y_{34} = \left(m_p + n \cdot m_v\right) \cdot g \end{cases}$$

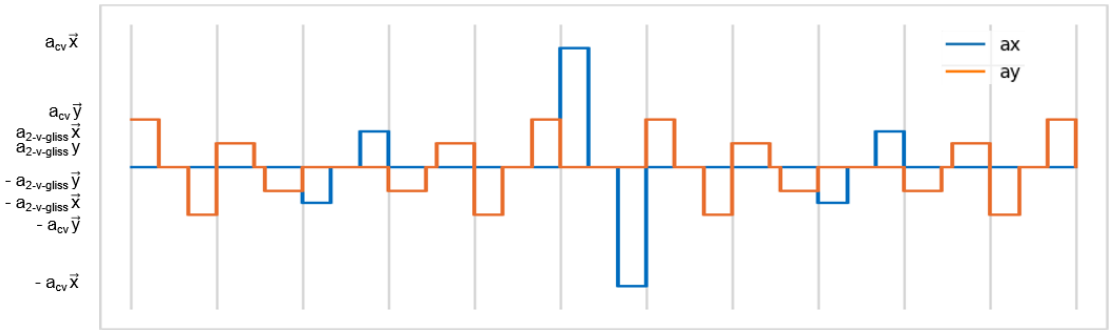
Loi de Coulomb : à la limite du glissement, $|X_{34}| = f_{cp}\,|Y_{34}|$ => $a_{2\text{-p-gliss}} = f_{cp}\, g = 5{,}89\ m \cdot s^{-2}$

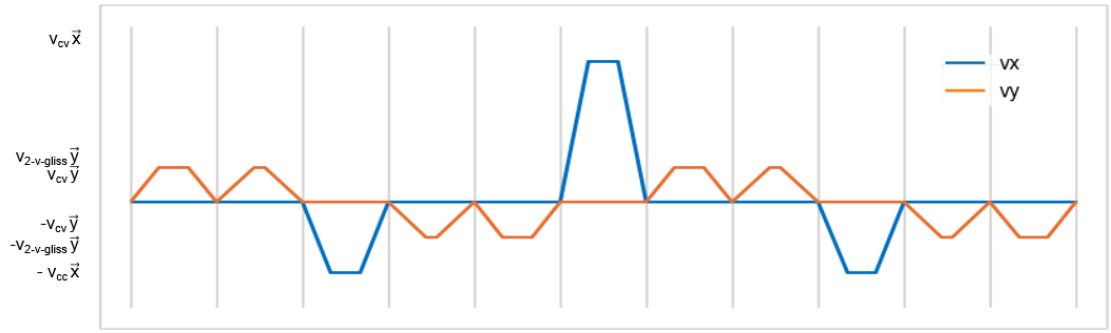
Question 9.
$a_{2\text{-v-gliss}} = f_{vp}\, g = 4{,}41\ m \cdot s^{-2}$

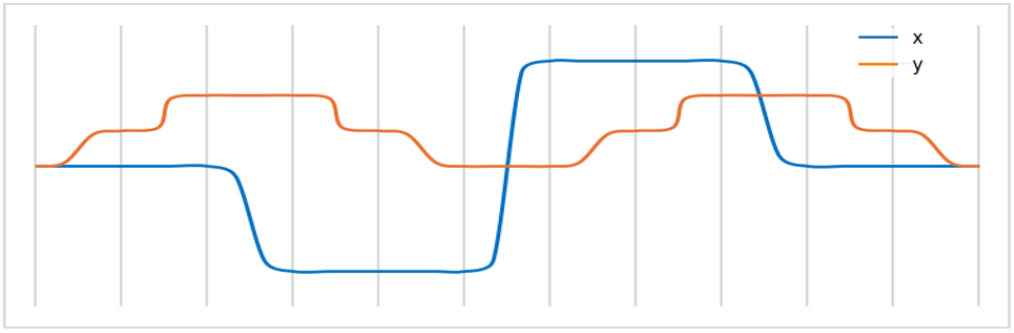
Question 10.

$a_{2\text{-v-basc}} = \frac{2R}{h_v} g = 9{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Question 11.







Question 12.

En prenant l'hypothèse d'une loi trapézoïdale :

Temps d'accélération :

$t_a = \frac{v_{m_axe}}{a_{2\text{-v-gliss}}} = \frac{5}{4.41} = 1{,}134 \text{ s}$

Distance pendant accélération + décélération :

$d_{acc+dec} = 2 \text{ x } \frac{1}{2} a_{2\text{-v-gliss}} t_a^2 = a_{2\text{-v-gliss}} t_a^2 = 4{,}41 \text{ x } 1{,}134^2 = 5{,}67 \text{ m}$

Or, la distance (d) à parcourir 0,395 m < 5,67 m => on n'atteint jamais la vitesse maximale.

On a donc une loi triangle.

Alors :

$t_a = \sqrt{\frac{d}{a_{2\text{-v-gliss}}}} = \sqrt{\frac{0{,}395}{4{,}41}} = 0{,}299 \text{ s}$

Durée totale du mouvement : $T = 2\ t_a = 2 \times 0{,}299 = 0{,}598$ s
Vitesse maximale atteinte : $v_{max} = a_{2\text{-v-gliss}}\ t_a = 4{,}41 * 0{,}299 = 1{,}32\ m \cdot s^{-1}$

Question 13.
Mouvements brusques qui risquent de déstabiliser les varistances et d'augmenter l'usure du moteur.
Alternatives : loi en S ou polynomiale

Question 14.
Durée totale
= 4 x translations verticales + 1 horizontale chargée de 0,395 m +
1 horizontale vide de 0,395 m + 1 horizontale vide de 2 x 0,395 m

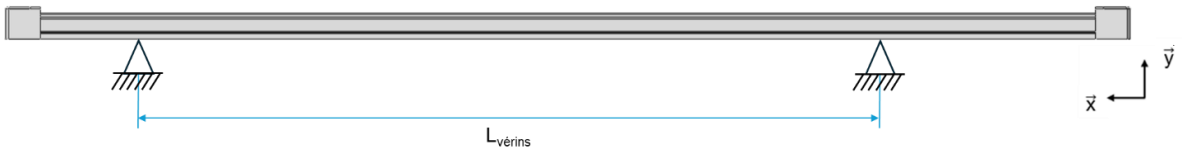
$$= 4 \times 0.5 + 2 \times \sqrt{\frac{0.395}{a_{cc}}} + 2 \times \sqrt{\frac{0.395}{a_{cv}}} + 2 \times \sqrt{\frac{2x0.395}{a_{cv}}} = 2 + 2 \times 0{,}42 + 2 \times 0{,}28 + 2 \times 0{,}40 = 4{,}20\ s < 228\ s$$

Le déplacement des plaques peut donc se faire en temps masqué durant la fabrication des varistances, sans impacter la cadence.

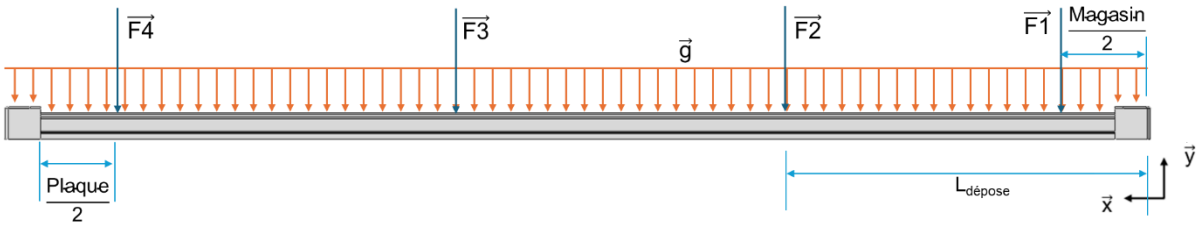
Question 15.
En considérant que 6 plaques stockées sur le système de transfert peuvent être déchargées en une même opération, le temps total de chargement des plaques sera de : 228 x 6 = 1368 s = 22,80 min > 15 min
Si l'on choisit de décharger uniquement les 5 plaques qui se trouvent dans la zone de stockage, le temps sera de 228 x 5 = 1140 s = 19 min > 15 min

Question 16.
La cadence de fabrication est de 228 s par plaque, soit environ 46 minutes pour 12 plaques.
Le temps nécessaire au déchargement (12 minutes) et aux opérations de gestion et de surveillance (au plus 15 minutes) est inférieur au temps de fonctionnement automatique de la machine.
L'opérateur peut donc effectuer l'ensemble de ses tâches pendant le cycle de fabrication, sans augmenter la durée de production.

Question 17.



Question 18.



- $\|\overrightarrow{F1}\| = (m_p + m_c) \times g = 34{,}335$ N : plaque vide en fin de course dans le magasin ;
- $\|\overrightarrow{F2}\| = (m_p + m_c + m_{pv}) \times g = 196{,}2$ N : plaque pleine de varistances devant le poste de chargement ;
- $\|\overrightarrow{F3}\| = \|\overrightarrow{F2}\|$: plaque pleine de varistances au niveau de la position de la flèche maximale de l'axe lorsque l'axe est soumis uniquement à son propre poids ;
- $\|\overrightarrow{F4}\| = \|\overrightarrow{F2}\|$: plaque pleine de varistances en fin de course au niveau de la zone d'empilage

Question 19.
Cas de l'axe soumis à son propre poids et une plaque pleine au niveau de la position de la flèche maximale de l'axe avec $\sigma_{VM} = 3{,}047 \cdot 10^6$ Pa < limite élastique = 35 MPa. Ce cas critique ne pose donc pas de problème.

Question 20.
Cas de l'axe soumis à son propre poids et une plaque pleine au niveau de la position de la flèche maximale de l'axe avec flèche = - 1,29 $\cdot 10^{-4}$ m < déviation maximale (DT6) $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ m. avec S = Lvérin et F = $\left\|\overrightarrow{F2}\right\|$. Ce cas critique ne pose donc pas de problème.

Question 21.
Ajout d'un vérin supplémentaire au niveau de la flèche maximale ou d'un profilé sous l'axe pour augmenter la section et la rigidité.

Question 22.
Les simulations EF montrent que les contraintes de flexion et les flèches restent très inférieures aux valeurs admissibles. Le dimensionnement en flexion de l'axe linéaire est donc validé, avec une marge de sécurité confortable.

Question 23

A vide : $Ce_{cv}=(m_c+m_p)\times a_{cv}\times\frac{D_p}{2}=0,57$ N.m

En charge : $Ce_{cc}=(m_c+m_p+m_{pv})\times a_{cc}\times\frac{D_p}{2}=1,44$ N.m

Donc $Ce_{max}=\max(Ce_{cv},Ce_{cc})=1,44$ N.m

Question 24

$$\omega_{max}=\frac{2\times V_{max}}{D_p}=30,65 \text{ rad.s}^{-1}$$

Question 25

Soit Σ = {plateau+plaque+varistance}. Le mouvement de Σ par rapport au profilé de l'axe linéaire est un mouvement de translation. En faisant l'hypothèse que le profilé de l'axe linéaire est fixe par rapport à un référentiel galiléen R_g :

$$Ec_{\Sigma/Rg}=\frac{1}{2}(m_p+m_{pv})V_{\Sigma/Rg}{}^2$$

Avec

$$V_{\Sigma/Rg}=\frac{D_p}{2}\times\omega_{poulie/Rg}$$

Donc

$$Ec_{\Sigma/Rg}=\frac{1}{2}\left[(m_p+m_{pv})\frac{D_p{}^2}{4}\right]\omega_{poulie/Rg}{}^2$$

Par identification

$$J_{ch}=(m_p+m_{pv})\frac{D_p{}^2}{4}$$

Question 26

$$J_{axe}=J_{ch}+J_0+J_c\times I_c$$

A.N. :

$$J_{axe}=(1,6+16,5)\frac{\left(65,254.10^{-1}\right)^2}{4}+29,3+2,5\times3000.10^{-3}=229\ kg.cm^2$$

Question 27

$$Ec_{axe/Rg}=\frac{1}{2}J_{axe}\omega_s{}^2=\frac{1}{2}J_{axe}r^2\omega_m{}^2$$

Par identification

$$J'_{axe}=J_{axe}\times r^2$$

Aussi

$$J_{eq}=J_{rotor}+J_{red}+J_{axe}\times r^2$$

Question 28

En appliquant le théorème de la résultante dynamique dans le référentiel galiléen à l'ensemble rotor + réducteur + axe linéaire :

$$J_{eq}\times\ddot{\theta}_m=C_m$$

Avec $\frac{\ddot{\theta}_s}{\ddot{\theta}_m}=r$

Donc $\ddot{\theta}_s=\frac{r\times C_m}{J_{eq}}$

$$\frac{\partial\ddot{\theta}_s}{\partial r}=\frac{C_m\left(J_{rotor}+J_{red}+J_{axe}\times r^2\right)-r\times C_m\times(2\times r\times J_{axe})}{(J_{rotor}+J_{red}+J_{axe}\times r^2)^2}$$

$\frac{\partial\ddot{\theta}_s}{\partial r}=0$ pour $J_{rotor}+J_{red}-J_{axe}\times r^2=0$

L'étude du signe de la dérivée permet de conclure que $\ddot{\theta}_s$ est croissante lorsque r croit jusqu'à $r_{opt}=\sqrt{\frac{J_{rotor}+J_{red}}{J_{axe}}}$ (r > 0), puis décroît.

D'où, $\ddot{\theta}_s$ est maximale pour $J_{axe}\times r^2=J'_{axe}=J_{rotor}+J_{red}$
Donc $\ddot{\theta}_s$ est maximale pour $\frac{J'_{axe}}{J_{rotor}+J_{red}}=1$ C.Q.F.D.
A.N. : $r_{opt}=\sqrt{\frac{0,59+0,118}{229}}=5.56.10^{-2}\ \left(\approx\frac{1}{18}\right)$

Question 29

$\frac{J'_{axe}}{J_{rotor}+J_{red}}=\frac{J_{axe}\times r^2}{J_{rotor}+J_{red}}=2,25$; $\omega_{nom}=\frac{N_{nom}\times2\pi}{60}\times r=26,2\ rad.s^{-1}$; $C_{nom}=\frac{C_{m_nom}}{r}=16,1\ N.m$

- Le rapport des inerties n'est dynamiquement pas optimal mais il est acceptable car compris entre $\frac{1}{5}$ et 5.
- Le couple est validé car $C_{nom}>>Ce_{max}$.
- On constate que $\omega_{max}>\omega_{nom}$ (+17% par rapport à ω_{nom}). Rappelons toutefois que la vitesse de rotation nominale n'est pas la vitesse de rotation la plus grande acceptable.

En conclusion, le moteur choisi devrait répondre aux exigences du cahier des charges. Il peut même être considéré comme surdimensionné au regard du couple nécessaire mais comme précisé dans le sujet c'est déjà le moins puissant de la gamme.

Question 30

En observant les contacts entre la classe d'équivalence {axe + anneaux élastiques} et les parties mâle et femelle de la chape nous pouvons identifier un contact surfacique cylindrique long (la longueur du guidage étant supérieure à 1,5 fois le diamètre de l'axe) ainsi que des contacts surfaciques plans au niveau des anneaux élastiques.

En faisant l'hypothèse d'un ajustement avec jeu entre l'axe et les parties mâle et femelle de la chape du type H8f7, il est justifié de modéliser cette liaison comme une liaison pivot.

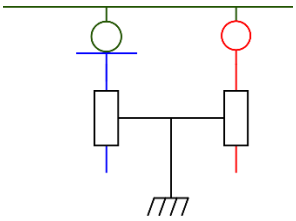
Degré d'hyperstatisme :

$h = m_u + m_i - I_c + E_c = 2 + 0 - (2\times1 + 2\times1) + 6\times1 = 4$

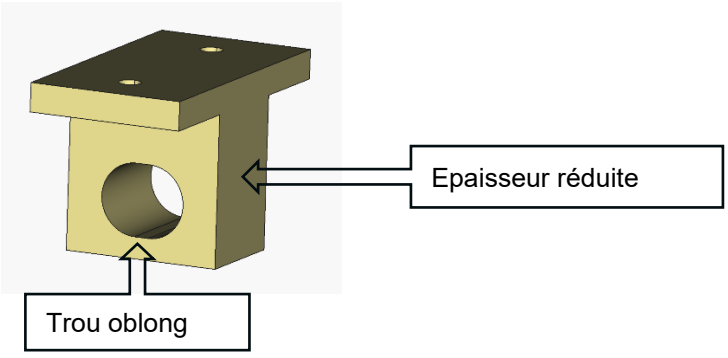
Le système est hyperstatique. Cela génèrera des contraintes d'assemblage du mécanisme ainsi que la nécessité de parfaitement synchroniser les mouvements des pistons pour maintenir l'axe linéaire horizontal afin de ne pas bloquer le système.

Question 31

Pour rendre le système isostatique il suffirait de remplacer la liaison pivot en B par une liaison sphère-plan de normale l'axe vertical du schéma cinématique.



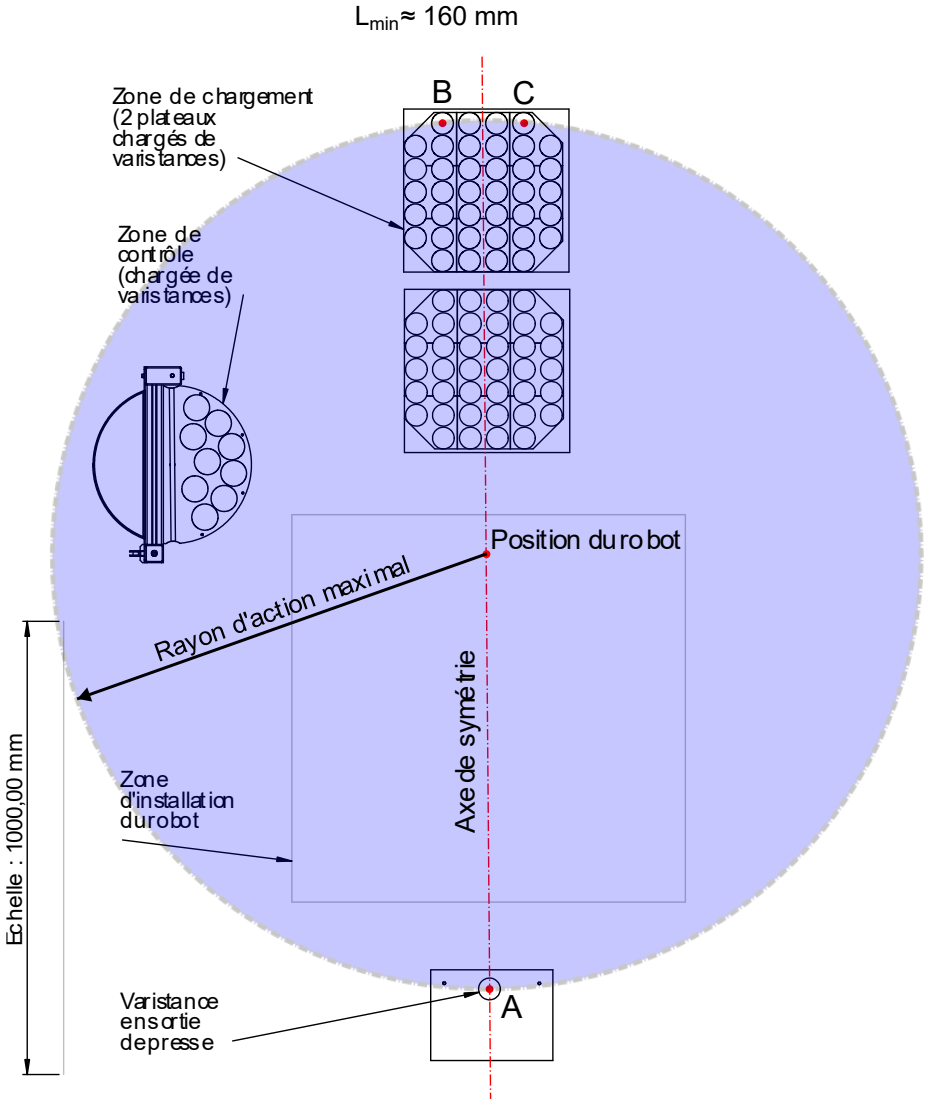
Cette liaison pourrait être réalisée en modifiant la partie supérieure de la chape ainsi :



Question 32

Après avoir identifié le centre A de la varistance en sortie de presse ainsi que les centres des varistances les plus éloignées de A (B et C). Il est possible de conclure que le robot peut être placé sur l'axe de symétrie (cf., tracé). Il reste à estimer la position du centre du cercle passant par A, B et C et à vérifier que l'ensemble des varistances sont à l'intérieur du cercle.

Ainsi le rayon d'action maximal utile peut être estimé à 960 mm. Le robot RS80 a un rayon d'action de 800 mm. Aussi :



Question 33

$$\{T_{coh}\}=\begin{Bmatrix}0 & -(L-y)F\\ 0 & 0\\ -F & 0\end{Bmatrix}_{G(y),(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

Sollicitation : flexion simple

Question 34

$$IGx(y) = \iint_S z^2.ds = \int_{x=-b(y)}^{x=b(y)} \int_{z=-\frac{e}{2}}^{z=\frac{e}{2}} z^2.dx.dz$$

Avec

$$b(y)=\frac{H}{2}+\frac{h-H}{2L}y$$

Soit

$$IGx(y) = \left(H+\frac{h-H}{L}y\right)\frac{e^3}{12}$$

Question 35

$$z''(y)=\frac{Mfx(y)}{E.IGx(y)}$$

donc

$$z''(y)=\frac{-F(L-y)}{E.IGx(y)}$$

Question 36

A partir des résultats des deux questions précédentes :

$$z''(y)=-\frac{12F}{Ee^3}\times\frac{L-y}{H+\frac{h-H}{L}y}$$

Sachant que F, L, H et h sont des constantes, $z''(y)$ peut être mis sous la forme :

$z''(y)=\frac{C}{Ee^3}\times f''(y)$

avec C une constante dépendant de F et f'' une fonction de variable y et dépendant des constantes L, H et h.

L'expression est à intégrer deux fois et doit vérifier les conditions aux limites $z'(0) = 0$ et $z(0) = 0$. Aussi z(y) sera de la forme $z(y)=\frac{C}{Ee^3}\times f(y)$ avec f une fonction de variable y et dépendant des constantes L, H et h.

La flèche de la poutre est la valeur de z(y) pour y=L aussi $f=\frac{C}{Ee^3}\times f(L)=\frac{K}{Ee^3}$

avec K=C×f(L) constante dépendant de F, L, H et h.

Question 37

Soit V le volume de la poutre est de la forme V = S×e avec S une surface constante. Donc la masse de la pièce est $m_p=\rho\times S\times e$ où ρ est la masse volumique de matière de la poutre.

Par ailleurs $f=\frac{K}{Ee^3}$ donc $e=\sqrt[3]{\frac{K}{E\times f}}$

A flèche constante : $m_p=\rho\times S\times\sqrt[3]{\frac{K}{E\times f}}=K'\times\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$ avec $K'=S\times\sqrt[3]{\frac{K}{f}}$ constante.

Question 38

Comme $m_p = K' \times \frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$, minimiser la masse de la poutre revient à minimiser le rapport $\frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$.

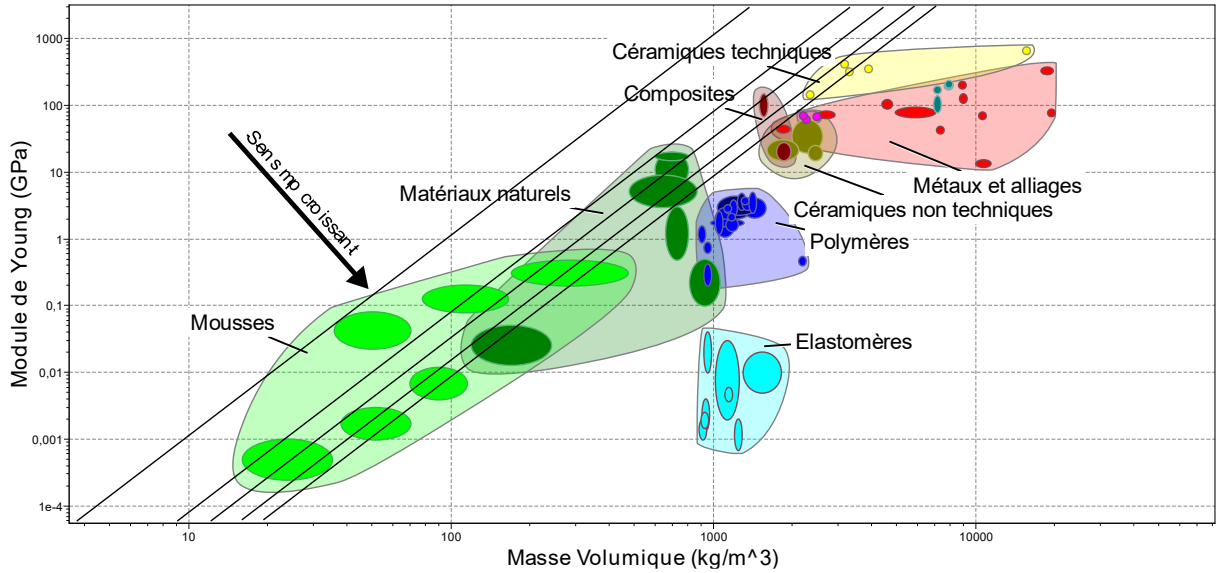
$E = \left(\frac{K' \times \rho}{m_p}\right)^3$ donc $\log(E) = 3 \times \log(\rho) + 3 \times (\log(K') - \log(m_p))$.

Aussi la pente de la droite est de 3 sur l'échelle log/log du document réponse.

Dans l'ordre les familles à retenir sont :

- Les mousses (mais elles sont peu compatible avec une production unitaire à moins d'envisager une découpe d'un panneau sandwich),
- Les matériaux naturels (mais ils peuvent nécessiter une maintenance importante),
- Les composites
- Les céramiques techniques (mais elles sont peu compatible avec une production unitaire)
- Les métaux et alliages

Aussi la réponse la plus pertinente est : les composites (puis les métaux et alliages)



Question 39

$$\frac{\text{Prix pièce Mg}}{\text{Prix pièce Al}} = \frac{\text{prix au kg Mg}}{\text{prix au kg Al}} \times \frac{\text{masse volumique Mg}}{\text{Masse volumique Al}} \times \frac{\text{épaisseur pièce Mg}}{\text{épaisseur pièce Al}} =$$

$$\frac{\text{prix au kg Mg}}{\text{prix au kg Al}} \times \frac{\text{masse volumique Mg}}{\text{Masse volumique Al}} \times \frac{\sqrt[3]{E_{Al}}}{\sqrt[3]{E_{Mg}}} \approx 1{,}09$$

La pièce en alliage de magnésium coûte 9% plus chère que celle en alliage d'aluminium.

Question 40

Le DT11 nous invite à prendre en considération l'emprunte CO2 et l'énergie grise :

$$\frac{\text{CO2 Mg}}{\text{CO2 Al}} = \frac{\text{emprunte CO2 Mg}}{\text{emprunte CO2 Al}} \times \frac{\text{masse volumique Mg}}{\text{Masse volumique Al}} \times \frac{\text{épaisseur pièce Mg}}{\text{épaisseur pièce Al}} \approx 2{,}4$$

La pièce en alliage de magnésium a une emprunte CO2 2,4 fois plus importante que la pièce en alliage d'aluminium.

Similairement, l'énergie grise et également à l'avantage des alliages l'aluminium.

Toutefois, la pièce n'étant pas produite en grande série l'impact environnemental restera négligeable.

Par ailleurs l'usinage d'alliage de magnésium peut présenter des contraintes supplémentaires d'usinage par rapport aux alliages d'aluminium (risque d'incendie).

D'autres critères tels que la tenue à la fatigue ou la disponibilité du matériau peuvent également être pris en compte.

Question 41

m_c=masse du support + masse du système de préhension et de la varistance

Donc $m_c=\rho\left(\frac{H+h}{2}\times L\times e\right)+m$

AN : m_c= 1,3 kg

Question 42

$$Joz=\iiint\left(x^2+y^2\right)\times\rho\times dx\times dy\times dz=\rho\int_{y=0}^{L}\int_{x=\frac{H-h}{2L}y-\frac{h}{2}}^{\frac{H-h}{2L}y+\frac{h}{2}}\int_{z=-\frac{e}{2}}^{\frac{e}{2}}\left(x^2+y^2\right)\times dx\times dy\times dz=\frac{Le\rho}{48}\left(H^3+H^2h+4HL^2+Hh^2+12L^2h+h^3\right)$$

Par identification : $D_1=D_2=D_4=D_6=\frac{1}{48}$; $D_3=\frac{1}{12}$; $D_5=\frac{1}{4}$

Question 43

$$Ic=JOz+mL^2$$

Question 44

Selon DT12, la charge transportable par le robot est de 8 kg > m_c (question 41), donc le critère de charge est validé.

Selon DT12, l'inertie nominale est de 0,05 kg.m² et l'inertie maximale est de 0,1 kg.m². L'application numérique de la question 43 donne $Ic = 0{,}0565\ kg.m^2$. L'inertie du support est 13% supérieure à l'inertie nominale, mais reste inférieure à l'inertie maximale. Aussi le critère d'inertie peut être validé sous réserve de réduire légèrement les vitesses et les accélérations du robot et en validant avec le fabriquant.

Question 45

Pour une varistance poreuse, la plage de vide est de 30 à 55%.

Le niveau de vide qui maximise les économies d'énergie est V% = 30%.

La varistance étant abrasive les matières conseillées sont SITON STN ou polyuréthane PU/TPU.

Question 46

Soit F l'effort de préhension pratique : $F=\frac{S\times V_{\%}\times 0,01013}{2\times s}$ avec $S=\frac{\pi d_v^2}{4}$;

s=2 (prise horizontale) ; coefficient 2 au dénominateur car il y a -50% de force générée en raison de la déformation de la ventouse.

Donc $d_v=\sqrt{\frac{400\times F\times 2\times s}{\pi\times V_{\%}\times 0,01013}}=\sqrt{\frac{25138\times F\times s}{V_{\%}}}$ avec d_v en mm, F en daN

A.N. : d_v=38,8 mm

La référence de la ventouse est VP 40 SIT 5.

Question 47

$$\theta_{max}=\arcsin\left(\frac{f}{2d_v}\right)$$

A.N. : θ_{max}= 2,15°

Question 48

En croisant les informations des DT 16 et 17 nous pouvons observer que la liaison encastrement entre le système de préhension à ventouse et le support est réalisée par vissage et est maintenue par un contre-écrou.

Or cette liaison vis-écrou ne permet pas de garantir une mise en position ou une orientation précise du système de préhension par rapport au support en raison du jeu entre le filetage et le taraudage.

Conclusion : aucun soin particulier n'est apporté pour garantir une bonne orientation de la ventouse. Cela se justifie par l'angle θ_{max} important (> 2°) déterminé à la question 47.

Question 49

La traction contrôlée, consiste à étirer les tôles épaisses dans le domaine plastique (de 1,5 à 3 % de déformation permanente pour les tôles épaisses) pour diminuer les contraintes internes. En effet, la trempe qui suit la mise en solution induit dans l'alliage des contraintes internes qui le déforme.

Question 50

La mesure de dureté HB est faite avec un pénétrateur de forme sphérique qui est enfoncé dans la matière avec une force et pendant un temps normalisés. La valeur de la dureté Brinell est obtenue en appliquant une formule fonction de la force, du diamètre du pénétrateur et du diamètre de l'empreinte laissée dans le matériau à tester.

Question 51

Phase 10 :

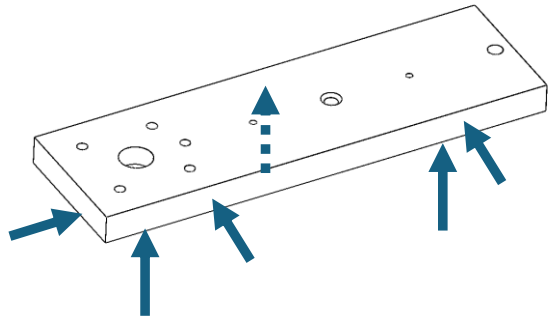
K : fraise à surfacer

H : fraise deux tailles coupe centrale Ø 9 mm (pour M10)

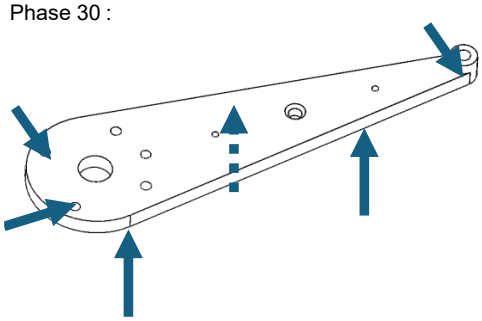
I : foret Ø 9 mm

M : fraise à chanfreiner

D : fraise à deux tailles coupe centrale ou foret carbure Ø 20 mm

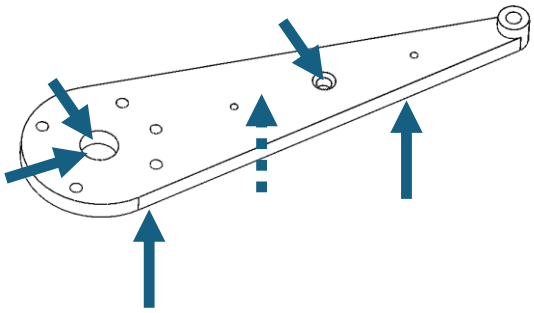


Phase 30 :



Ou

(plus simple à mettre en œuvre, mais moins proche de la logique des spécifications de la pièce)



Question 52

$$N_{e1}=\frac{1000\times Vc_1}{\pi\times D_1}=2884\ tr.min^{-1}\ ;\ N_{e2}=\frac{1000\times Vc_2}{\pi\times D_2}=11994\ tr.min^{-1}$$

$$Vf_{e1}=N_{e1}\times fz_1\times Z_1=6979\ mm.min^{-1}$$

$$Vf_{e2}=N_{e2}\times fz_2\times Z_2=11586\ mm.min^{-1}$$

$P_{c1}=\frac{a_{P1}\times 0,8\times D_1\times Vf_{e1}\times k_{c1}}{60.10^6}=11,28$ kW ($a_{P1}=1,5$ mm)

$P_{c2}=\frac{a_{P2}\times 0,8\times D_2\times Vf_{e2}\times k_{c2}}{60.10^6}=3,8$ kW ($a_{P2}=1,5$ mm)

La machine est capable (P_{c1}, P_{c2}<18,5 kW et N_{e1}, N_{e2} <12000 $tr.min^{-1}$).

Question 53

$$Q_1 = Vf_{e1} \times a_{p1} \times 0{,}8 \times D_1 = 840 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$$

$$Q_2 = Vf_{e2} \times a_{p2} \times 0{,}8 \times D_2 = 350 \text{ cm}^3.\text{min}^{-1}$$

L'outil à surfacer 1 maximise le débit. C'est l'outil à retenir pour usiner la face K.

Question 54

Type de spécification : position

Eléments non idéaux

- Eléments tolérancés : groupe, 4 lignes nominalement rectilignes extraites de 4 surfaces nominalement cylindriques.
- Elément de référence : unique, portion de surface nominalement plane.

Eléments idéaux

- Référence spécifiée : simple, plan tangent du côté libre de la matière respectant le critère minimax (Tchebychev).
- Zone de tolérance
    - composée, collection de 4 cylindres de diamètres 0,1 mm dont les 4 axes, perpendiculaires au plan A, sont répartis uniformément (à 90°) sur un cercle de diamètre 63 mm.
    - Contraintes en orientation mutuelles et position relatives des éléments théoriques exacts. Les éléments tolérancés doivent être contenus dans la zone de tolérance.

Question 55

Ra 3,2 désigne une rugosité moyenne arithmétique de 3,2 calculée ainsi : $Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Yi|$, où Yi est la déviation du profil par rapport à la ligne moyenne.

La rugosité est mesurée par un rugosimètre. Elle se réalise en passant une sonde sur la surface à mesurer. Le profil de rugosité correspond au profil primaire corrigé des défauts de forme et des effets d'ondulation.

Question 56

Mise en position : appui-plan, pas de centrage cylindrique court, positionnement par une goupille.

Maintien en position : par adhérence en serrant les 4 vis.

La transmission des actions mécaniques se fait par obstacle sauf pour le couple selon l'axe de la bride qui est transmis par adhérence.

Question 57

La mise en position n'est pas convenablement réalisée car il manque un centrage cylindrique court pour garantir un positionnement précis du support sur la bride. Cela peut conduire à des écarts de positionnement lors des phases de démontage-remontage du support sur la bride. Ces défauts de positionnement sont principalement en rotation autour de l'axe de la goupille en raison des jeux de passage entre les vis et les perçages.

Question 58

$$\alpha_{max}=2\times\arctan\left(\frac{D-d}{4\times R\times\sin(67,5)}\right)$$

A.N. : $\alpha_{max}\approx 0,295$ °

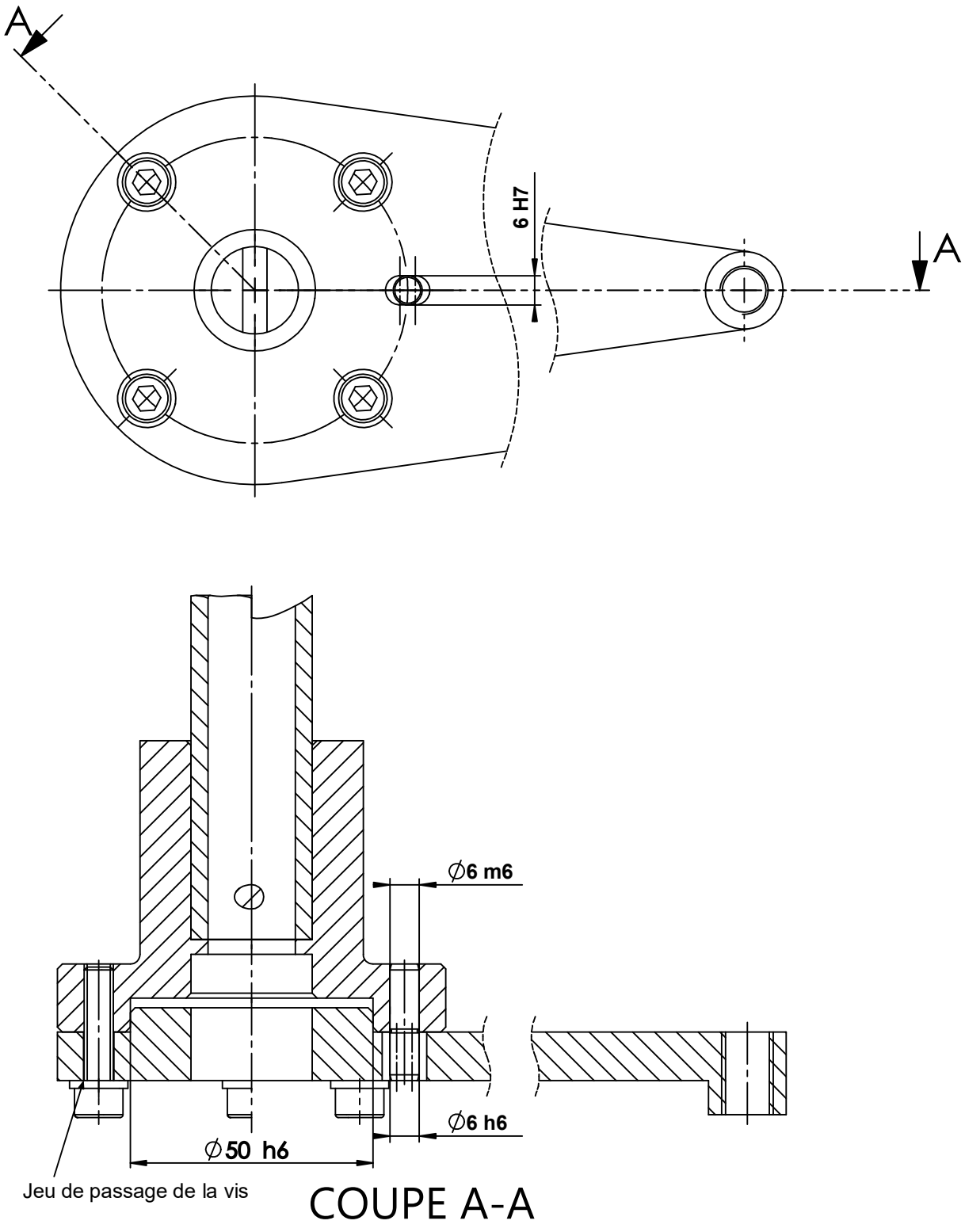
$$\delta_{max}=2\times L\times\sin\left(\frac{\alpha_{max}}{2}\right)$$

A.N. : $\delta_{max}\approx 1,02$ mm

Les jeux dans la liaison génèrent une erreur maximale de position de la ventouse d'environ 1 mm. L'exigence 1.1.2.3 est de ±0,5 mm. Aussi l'erreur de position se situe à la limite de ce qui est acceptable.

Question 59

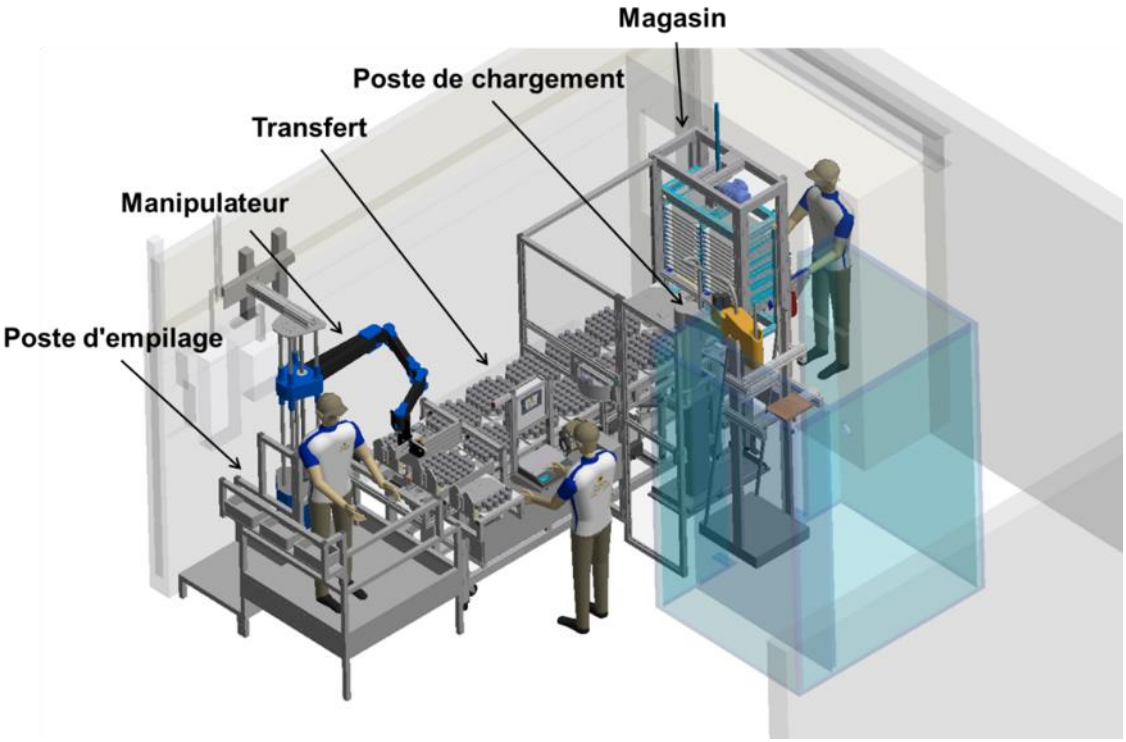
La modification porte sur la réalisation d'un centrage cylindrique court entre la bride et le support. Cette modification doit se faire sur une surface cylindrique fonctionnelle de la bride et ne doit pas empêcher le passage du tuyau pneumatique au centre de la bride. La goupille et les vis d'assemblage sont conservées.



Remarque : le bossage cylindrique Ø50 peut avantageusement être réalisé par une pièce rapportée frettée dans le support.

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

Présentation du sujet



Le sujet porte sur une ligne automatisée de déchargement et de palettisation de varistances destinées à la fabrication de parafoudres pour les réseaux électriques.

Cette ligne permet :

- l'alimentation automatique en plaques supports vides ;
- le transfert et le stockage temporaire des plaques chargées ;
- la récupération et le dépôt automatisés des varistances en sortie de presse ;
- l'assistance à la manutention et à l'empilage des plaques pleines ;
- l'augmentation de la productivité tout en réduisant les risques de troubles musculosquelettiques pour l'opérateur.

Le système étudié se compose de cinq sous-ensembles :

- un magasin de stockage des plaques vides ;
- un système de transfert des plaques ;
- un poste de chargement robotisé ;
- un manipulateur d'assistance à la manutention ;
- un poste d'empilage des plaques pleines.

Le sujet s'articule en trois grandes parties :

- Partie I : Respect des cadences de production
  - Analyse des capacités de stockage et de l'organisation du transfert
  - Étude dynamique du système de transfert
  - Calcul des temps de cycle et analyse des lois de mouvement
- Partie II : Dimensionnement du système de transfert

    - Étude mécanique et validation de l'axe linéaire par éléments finis
    - Validation de la motorisation et du réducteur de l'axe linéaire
    - Étude des inerties et optimisation dynamique de la transmission
    - Vérification des performances cinématiques de l'axe linéaire
    - Préconception isostatique du système de levage de l'axe linéaire
- Partie III : Étude du poste de chargement
    - Dimensionnement de l'outil de préhension et choix du matériau du support
    - Validation du système robotisé de préhension par ventouse
    - Définition du procédé de fabrication et contrôle du support
    - Analyse et reconception de la liaison entre le support et la bride du robot

Analyse globale des résultats

Le sujet a été élaboré de façon progressive, avec des parties largement indépendantes, afin de permettre aux candidats de poursuivre leur travail même en cas de difficulté sur certaines questions. La plupart des candidats ont suivi la progression proposée par l'énoncé. Par conséquent, les dernières parties relatives aux procédés de fabrication, au contrôle des spécifications et à la conception ont été moins fréquemment traitées.

Néanmoins, plusieurs candidats ont su, grâce à la qualité de leur préparation et de leur démarche, aborder une très grande partie du sujet et ainsi démontrer l'étendue de leurs compétences. Le jury invite les futurs candidats à explorer le plus grand nombre possible de questions et de parties.

Bien que la présentation des copies soit globalement satisfaisante, des progrès restent toutefois possibles concernant la qualité de la rédaction, la maîtrise de l'orthographe ainsi que le respect des normes de représentation graphique.

Commentaires sur les réponses apportées et conseil aux candidats

Partie I : Respect des cadences de production

La partie I consistait à vérifier que le système de transfert des plaques permettait de respecter les cadences de production tout en garantissant l'intégrité des varistances. Les candidats devaient d'abord analyser l'organisation du transfert des plaques et évaluer la capacité de stockage du système afin de déterminer le temps disponible pour les opérations de contrôle et de manutention réalisées par l'opérateur. L'étude se poursuivait par la comparaison de différentes architectures de transfert, conduisant à l'introduction de deux convoyeurs indépendants afin de dissocier les fonctions de chargement et de stockage.

Les candidats devaient ensuite valider le choix technologique d'une unité de translation composée d'un axe linéaire et de vérins pneumatiques. Une étude dynamique permettait d'établir les torseurs dynamiques de la plaque et des varistances, puis de déterminer les accélérations maximales admissibles afin d'éviter tout glissement ou basculement des pièces lors des déplacements. L'analyse se poursuivait par l'étude des lois de mouvement du système et par le calcul des durées des différentes phases de translation et de levage.

Enfin, la partie se terminait par le calcul du temps de cycle complet du système, la vérification de sa compatibilité avec les exigences de cadence du cahier des charges et l'évaluation de la nécessité de mettre en œuvre deux unités de translation fonctionnant en parallèle afin de permettre à l'opérateur de travailler en temps masqué sans interrompre la production.

Le jury relève que de nombreux candidats ne maîtrisent pas suffisamment le principe fondamental de la dynamique. Les erreurs les plus fréquentes concernent la détermination rigoureuse du torseur dynamique et sa distinction avec le torseur des actions mécaniques. Ces difficultés ont fortement pénalisé le traitement des questions relatives à l'analyse dynamique du système.

Partie II : Dimensionnement du système de transfert

La partie II consistait à dimensionner les principaux sous-ensembles du système de transfert afin de valider leurs performances mécaniques et cinématiques. Les candidats devaient d'abord étudier l'axe linéaire en définissant les conditions aux limites et les chargements à appliquer dans une simulation par éléments finis, puis analyser les résultats obtenus afin d'identifier les configurations les plus contraignantes en termes de contraintes et de flèche. L'étude se poursuivait par une réflexion sur les limites du modèle utilisé et sur les solutions envisageables pour améliorer la rigidité de l'axe.

Les candidats devaient ensuite valider le choix de la motorisation de l'axe linéaire. Cette partie conduisait au calcul des couples et vitesses nécessaires au déplacement des charges, puis à la détermination des inerties ramenées sur l'axe moteur. Une analyse du comportement dynamique de l'ensemble moteur–réducteur–axe permettait d'établir la condition d'optimisation de l'accélération par adaptation du rapport de transmission. L'étude se terminait par une vérification de l'adéquation entre les performances du motoréducteur retenu et les exigences du cahier des charges.

Enfin, la partie abordait la préconception du système de levage de l'axe linéaire. Les candidats devaient justifier la modélisation cinématique des liaisons, déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme puis proposer une modification permettant d'obtenir une architecture isostatique, en la traduisant par un schéma cinématique et une solution constructive cohérente.

Le jury attire l'attention des candidats sur la démarche à adopter pour identifier une liaison à partir de la géométrie des surfaces fonctionnelles en contact. Cette identification doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des mobilités autorisées et bloquées par les surfaces considérées, tout en intégrant l'influence des jeux fonctionnels lorsqu'ils existent.

Partie III : Étude du poste de chargement

Partie III.1 Dimensionnement du robot et choix de matériau du support

La partie III.1 consistait à valider le dimensionnement du poste de chargement et le choix du matériau de l'outil de préhension d'un robot SCARA chargé de manipuler les varistances. Les candidats devaient d'abord déterminer la position optimale du robot afin de minimiser la longueur de l'outil, puis étudier la déformation de son support à l'aide d'un modèle de poutre encastrée soumise à une charge appliquée à son extrémité. L'étude se poursuivait par l'établissement des expressions du torseur de cohésion, du moment quadratique, de la déformée et de la flèche de la poutre. Les candidats devaient ensuite comparer différents matériaux à partir de critères de masse, de rigidité et de coût afin de justifier un choix technologique. Enfin, la partie se terminait par le calcul de la charge et de l'inertie de l'ensemble support-préhenseur-varistance, puis par une vérification de la compatibilité de ces caractéristiques avec les spécifications du robot retenu.

Le jury rappelle que toute construction graphique doit être réalisée avec les instruments adaptés (règle graduée, compas, etc.) afin de garantir la précision des résultats obtenus. Le tracé permettant de déterminer la position du robot devait également être accompagné d'une justification écrite explicitant clairement la démarche suivie. Par ailleurs, la maîtrise des diagrammes de propriétés à échelles

logarithmiques demeure insuffisante. De nombreux candidats éprouvent des difficultés à tracer correctement les droites de sélection des matériaux, à exploiter les échelles log/log et à justifier les constructions graphiques réalisées pour conduire un choix de matériau pertinent. Le jury encourage les futurs candidats à s'entraîner à l'utilisation de ces outils graphiques, fréquemment mobilisés dans les démarches de conception et de choix technologiques.

Partie III.2 Étude du système de préhension

Cette partie consistait à dimensionner le système de préhension par ventouse et à valider les choix technologiques associés. Les candidats devaient déterminer le niveau de vide adapté à la saisie de varistances poreuses ainsi que la matière et la référence de la ventouse permettant d'assurer l'effort de préhension requis. L'étude se poursuivait par une analyse géométrique de la prise afin d'établir le défaut angulaire maximal admissible entre la ventouse et la surface de la pièce. Enfin, les candidats devaient exploiter ce résultat pour justifier la solution retenue pour réaliser la liaison encastrement entre le système de préhension et son support.

Le jury constate que la démarche de dimensionnement du système de préhension par ventouse a généralement été correctement appréhendée sur le plan méthodologique. En revanche, l'exploitation de la documentation technique associée s'est révélée plus délicate. De nombreux candidats n'ont pas su identifier et utiliser les coefficients correctifs nécessaires à l'application de la formule de dimensionnement. Le jury rappelle l'importance d'une lecture attentive et critique des documents techniques, indispensable pour sélectionner les données appropriées et justifier rigoureusement les choix technologiques retenus.

Partie III.3 Fabrication et contrôle du support

La partie III.3 consistait à définir le procédé de fabrication du support de l'outil de préhension et à vérifier sa conformité aux spécifications du dessin de définition. Les candidats devaient d'abord analyser les caractéristiques métallurgiques et mécaniques d'un alliage d'aluminium, notamment les traitements associés à son état métallurgique et sa dureté. L'étude se poursuivait par l'élaboration d'une gamme d'usinage sur fraiseuse à commande numérique, comprenant la mise en position isostatique de la pièce et le choix des outils adaptés aux différentes surfaces à réaliser. Les candidats devaient ensuite comparer deux solutions de surfaçage à partir du calcul des paramètres de coupe, de la puissance nécessaire et du débit de copeaux afin d'identifier la stratégie la plus productive tout en respectant les capacités de la machine. Enfin, la partie se terminait par l'analyse de spécifications dimensionnelles, géométriques et d'état de surface, ainsi que par la présentation des moyens de contrôle permettant de les vérifier.

Le jury constate que les connaissances relatives à la détermination des conditions de coupe demeurent insuffisamment maîtrisées par un nombre important de candidats. Les calculs permettant de définir les paramètres d'usinage, ainsi que l'analyse de leur cohérence vis-à-vis des capacités des machines-outils, ont souvent été mal conduits. Par ailleurs, le décodage et l'interprétation des spécifications GPS ont révélé de nombreuses lacunes. Cette partie a fréquemment été traitée de manière incomplète, voire totalement omise. Le jury rappelle l'importance de maîtriser ces compétences, qui constituent des prérequis essentiels pour l'élaboration et la validation d'un processus de fabrication conforme aux exigences fonctionnelles d'une pièce mécanique.

Partie III.4 Reconception de la liaison support-bride

La partie III.4 consistait à analyser puis reconcevoir la liaison entre le support de l'outil de préhension et la bride du robot afin d'améliorer la répétabilité du positionnement après les opérations de maintenance. Les candidats devaient d'abord étudier la liaison encastrement existante en identifiant ses fonctions de mise en position, de maintien en position et de transmission des actions mécaniques. L'étude se poursuivait par l'analyse des défauts de repositionnement engendrés par les jeux

d’assemblage entre les vis et leurs passages, conduisant à une erreur de positionnement de la ventouse lors des phases de prise et de dépose. Les candidats devaient alors déterminer l’expression de l’erreur maximale de positionnement et vérifier sa compatibilité avec les exigences du cahier des charges. Enfin, la partie se terminait par la proposition et la représentation graphique d’une solution constructive améliorée, incluant le choix des ajustements et des éléments de positionnement permettant de garantir un remontage plus précis du support sur la bride du robot.

Le jury attire l’attention des futurs candidats sur la nécessité de maîtriser les règles de représentation graphique normalisée utilisées en construction mécanique. Une attention particulière doit être portée au respect des conventions relatives aux axes de révolution, aux filetages, aux taraudages ainsi qu’à l’ensemble des éléments normalisés couramment rencontrés dans les dessins de définition et d’ensemble. Par ailleurs, la conception d’une liaison encastrement démontable a souvent été mal maîtrisée par les candidats.

Conseil 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. Certains candidats ont choisi de ne traiter que les parties scientifiques, d’autres uniquement les questions technologiques. La note finale s’en trouve alors fortement altérée.

Sur le fond, le jury constate parfois un manque de rigueur, notamment dans la mise en œuvre de fondamentaux de mécanique générale.

Sur la forme, le jury rappelle que la présentation des copies et leur rédaction doivent être soignées, aussi bien en termes de vocabulaire employé que d’orthographe et conjugaison. Les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées, les résultats doivent être clairement mis en évidence. Les expressions littérales doivent être présentées sous forme simplifiée, les résultats numériques doivent être exprimés avec l’unité idoine.

Réussir cette épreuve demande :

- une lecture attentive du sujet dans son ensemble et un esprit de synthèse;

- une bonne maîtrise des outils de modélisation de l’ingénierie système et des modèles de connaissance de tous les domaines de l’ingénierie mécanique;

- une solide culture technologique. Celle-ci ne se résume pas à la maîtrise des lois et théorèmes fondamentaux mais implique également une bonne connaissance des solutions techniques, des procédés de fabrication et des méthodes de conception et de réalisation propres à l’ingénierie mécanique. L’épreuve de conception constitue en particulier l’occasion d’exprimer cette culture. Le fait que la partie reconception ait été peu abordée a privé de nombreux candidats d’une occasion de valoriser leur culture technologique ;

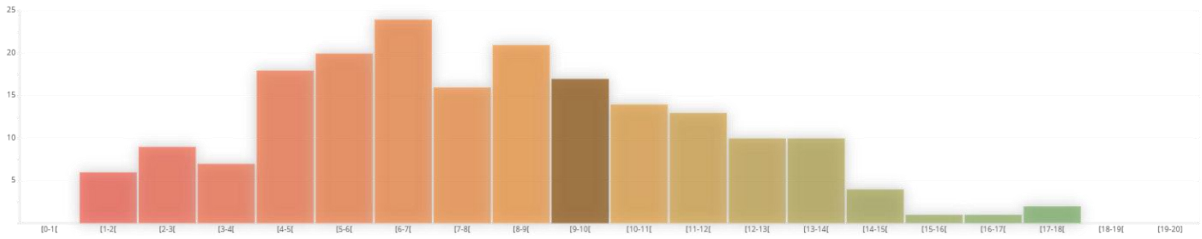
- un esprit critique : les candidats ne doivent pas se cantonner à réaliser des développements calculatoires au détriment de toute analyse critique. Les résultats et les ordres de grandeurs doivent être interprétés, hiérarchisés, critiqués. Ils doivent permettre au candidat de se positionner, de faire des choix, de valider ou d’invalider des modèles et solutions, de conclure.

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 de ce système présentant un large panel de solutions technologiques a permis aux candidats de composer sur des problématiques industrielles authentiques et diverses.

Par ailleurs, il est nécessaire de garder à l’esprit que les développements calculatoires seuls ne sauraient constituer un objectif, ils sont un moyen de mener un raisonnement critique et de proposer des solutions pragmatiques à des problématiques technologiques.

Résultats



Note minimum	1,12 / 20
Moyenne	8,00 / 20
Note maximum	17,80 / 20
Ecart type	3,50
Quartile inférieur	5,38 / 20
Médiane	7,78 / 20
Quartile supérieur	10,49 / 20
Ecart interquartile	5,11

193 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 08/20, avec un écart-type de 3,5/20 avec :

- 17,80/20 comme meilleure note ;
- 01,12/20 comme note la plus basse.

Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

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.

L'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général et des 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 ;
- 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 de formation visé précisé dans l'énoncé du sujet.**

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

L'épreuve permet d'évaluer l'aptitude du candidat 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 ;
- maitriser, 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 connecté 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**

Dans 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 de la séquence imposée ;
- 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 compétences associées, du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Puis, il doit 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**

Dans 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, sur un spectre large permettant une approche pluritechnologique. 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**

Dans 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 connecté 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. L'exposé 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 compétences et des connaissances associées 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 de la deuxième partie et de la troisième partie 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 que le candidat envisage 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 leurs présentations ;
- expliciter et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'ils ont opérés ;
- prendre en compte les propositions alternatives faites par le jury.

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 2026 étaient les suivants :

- voiture Tamiya ;

- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- maquette didactisée d'un bras de pelleteuse ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- exosquelette contre le mal de dos ;
- attelle de remobilisation du genou.

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, …) ;
- 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 ;
- analogie entre différents domaines.

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. Il n'est pas rare que des candidats ne se réfèrent pas du tout aux programmes en vigueur. 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.

Quelques rares candidats ne présentent pas du tout de séquence pédagogique, et se contentent de rappeler les résultats obtenus lors des activités pratiques. Un tel décalage avec les attendus de l'épreuve surprend au regard de l'exigence du concours de l'agrégation.

- **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 et connaissances visées sont peu ciblées, voire non identifiées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est souvent formaté et rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation et la remédiation sont souvent absentes 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 la constituant et l'évaluation adéquate.

Il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Ces deux séquences sont de difficulté équivalente. 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

Dans cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'approprier 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. Une lecture attentive et le respect des consignes fournies doit permettre d'avancer efficacement dans les activités de prise en main proposées. Le jury recommande aux candidats 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

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 s'appuient 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, modeleur, 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 maitrise 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 ;
- maitriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maitriser 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 ;
- suivre rigoureusement les protocoles expérimentaux qui leur sont proposés ;

- corréler 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 de SI, STI2D et 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. Des illustrations intégrant des captures d'écran montrant les résultats obtenus permettent de rendre plus concrètes les manipulations proposées.

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. Les éventuelles remédiations doivent être précisées.

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.

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 est amené à proposer des mises en situation permettant de vérifier la capacité du candidat à prendre en compte les conditions d'exercice de son métier futur (travail en équipe pédagogique, personnels ressources dans les établissements, construction des parcours des élèves et étudiants, etc.).

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 maitrisés par les candidats, l'accès à Internet étant toujours possible sur des sites publics. Quelques candidats ont fait le choix de s'appuyer sur des propositions émanant d'intelligences artificielles génératives. Cet étayage n'apporte pas de plus-value dans la mesure où il n'est pas accompagné des justifications appropriées quant aux choix pédagogiques et didactiques opérés.

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

L'augmentation du nombre de candidats présentant un niveau très insuffisant révèle leur impréparation à une épreuve qui est exigeante. Les candidats en capacité de mener à la fois des expérimentations

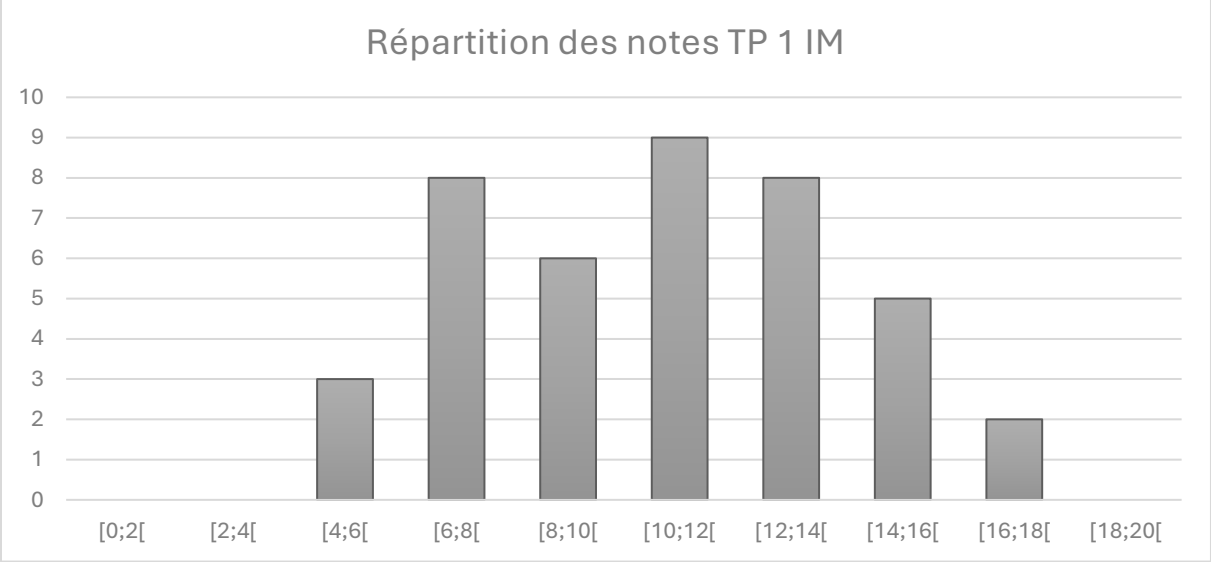
rigoureuses et une réflexion pédagogique approfondie ont été très peu nombreux.

La session 2026 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 aux candidats de s'approprier 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.

Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10,6/20. L'écart-type est de 3,20.

La meilleure note est 16,40, la plus faible est 4,90. La médiane est de 10,7.



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

Volet roulant solaire

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	Comment les nouvelles technologies peuvent-elles améliorer l'habitat ?	Comment optimiser l'utilisation de l'énergie de façon autonome tout en respectant l'environnement ?
Niveau de formation visé	STI2D enseignements communs de 2I2D en Terminale	
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 : - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ; - systèmes variés de chauffage ; - système d'éclairage communicant de salles de spectacles ; - thermostat connecté et intelligent ; - pompe à chaleur ; - …	
Effectif	Classe de 24 élèves, groupe à effectif réduit de 12 élèves	
Volume horaire	12 heures hebdomadaires (2h à effectif complet + 10h à effectif réduit)	

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

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme IT-I2D-2I2D.pdf) ;
- des documents d'accompagnement (dossier Ressources Pédagogiques STI2D) ;

- une proposition de séquences adaptées au niveau de formation visé (fichier Progression didactique STI2D.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)

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :

la maquette numérique d'une école élémentaire sous ArchiWizard ;

- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et du sous-système développement durable ;
- des appareils de mesures (multimètre et thermomètre) ;
- la documentation technique des différents constituants du banc didactique combiné ;
- trois modèles de simulation Matlab « VRS_S_model », « simumaquette » et « simubatiment ».

Maquette numérique d'une école élémentaire	Maquette didactisée de Velux
	

Le contexte d'étude est celui d'une commune décidant de créer une nouvelle classe au premier étage dans les combles de son école maternelle / primaire (voir plans au DT1).

L'architecte souhaite favoriser au maximum l'éclairement naturel grâce à des Velux tout en maitrisant le confort d'été en optimisant les besoins en chauffage et en éclairage.

Il souhaite notamment respecter la cible 10 « confort visuel » du label HQE (Haute Qualité Environnementale) préconisant un environnement intérieur satisfaisant sur le plan visuel sous une forme plus qualitative que quantitative.

L'accent est mis sur l'accès à la lumière naturelle avec la recherche de l'équilibre des luminances et la limitation de l'éblouissement ; l'indicateur opérationnel retenu est le facteur de lumière du jour (FLJ minimum de 2,5 % dans les bureaux et 2 % dans l'enseignement). Des données sur l'éclairage sont fournies par le DT3.

L'éclairage artificiel, conçu pour fonctionner en l'absence d'éclairage naturel ou en appoint de ce dernier, distingue comme indicateurs opérationnels :

- le niveau d'éclairement moyen à maintenir selon les usages (300 lux dans les bureaux, 300 lux dans les salles de classes primaire et secondaire et 500 lux dans les salles de cours du soir et d'enseignement pour adultes) ;
- le facteur d'uniformité (0,7 à 0,8 suivant l'implantation) ;
- l'équilibre de luminance et la limitation de l'éblouissement direct des sources d'éclairage ;
- la température de couleur et le rendu des couleurs.

La conception du bâtiment considéré amène, de plus, l'architecte à considérer les matériaux utilisés pour optimiser les échanges thermiques et ainsi la consommation énergétique globale du bâtiment.

Activité 1 Découverte de la maquette de l'école élémentaire

En suivant le protocole expérimental 1 (DT2) et en complétant le document réponse DR1, relever les grandeurs principales caractérisant les besoins de chauffage et d'éclairage, le confort d'été, l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel de la salle de classe située dans les combles du bâtiment. Indiquer dans quelle mesure la cible 10 du label HQE est respectée.

Activité 2 Exploitation de la maquette de l'école élémentaire

À partir de vos données et du DT4, formuler des hypothèses sur l'influence du nombre de Velux, du type de vitrage et de la composition des parois de la salle sur les paramètres relevés précédemment.

Le système instrumenté à disposition se compose :

- d'un banc didactique VRS 500 ;
- d'une maquette instrumentée simulant un local permettant de mesurer :
  - la température intérieure du local, notée T_{int}, à l'aide d'un capteur Grove MCP9808 ;
  - l'éclairement du local, notée E_L, à l'aide d'un capteur Grove LS06-S ;
  - les températures de surface de la vitre, notées respectivement T_{si} et T_{se} à l'aide de sondes de température PT1000.

Dans une habitation, l'installation d'un volet roulant automatisé nécessite, dans la pièce considérée, la présence d'un capteur d'éclairement, ainsi que celle d'un capteur de température.

Deux environnements virtuels sont disponibles (raccourcis sur le bureau) :

- VRS-500_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture du banc didactique ;
- VRS-500_DD_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture de la maquette instrumentée simulant un local.

Activité 3 Découverte du banc de mesure

Ouvrir le volet à l'aide de la télécommande afin de localiser les différents éléments du système instrumenté décrit ci-dessus. À partir de vos observations, de l'environnement virtuel VRS-500_EMP disponible sur le bureau (menu « le produit », puis « Description SSL-CK02 », puis « détail du mécanisme ») du sous-système volet roulant et du 2ème environnement virtuel VRS-500_DD_EMP, compléter le document réponse DR2 en indiquant les différents sous-systèmes formant la chaine de puissance et la chaine d'information :

- du dispositif de gestion de l'éclairement du local ;
- du dispositif de régulation de température intérieure du local.

Compléter les flux des chaînes de puissance et d'information.

Indiquer par ailleurs les différents composants présents faisant partie de la didactisation du banc d'étude, mais n'intervenant pas dans la gestion de l'éclairement ou la régulation de la température du local.

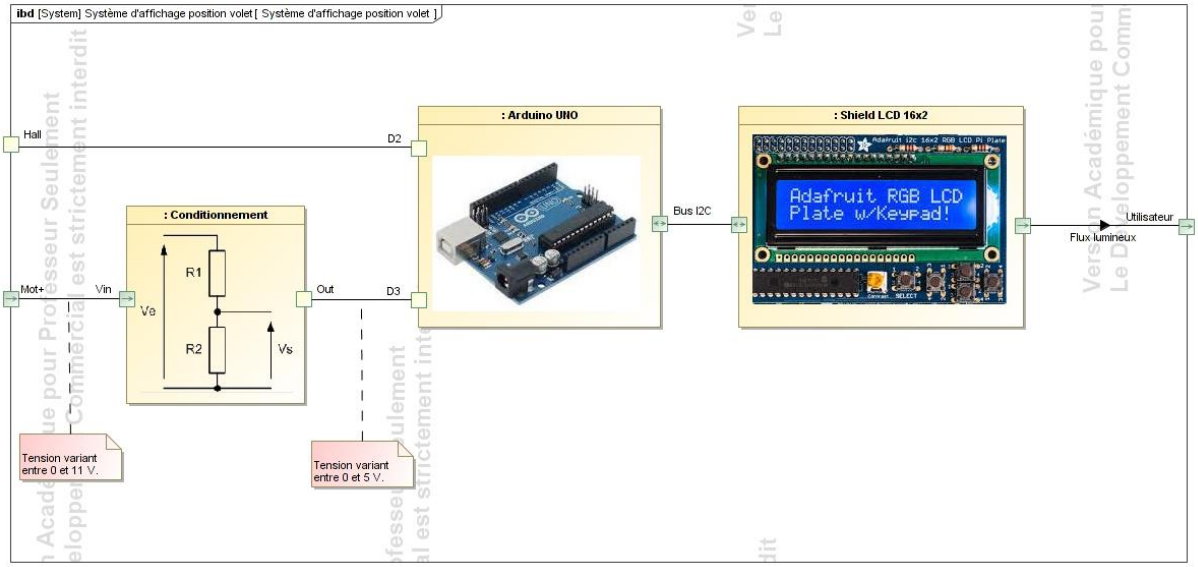
Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique : Comment optimiser l'éclairement naturel et artificiel, ainsi que la température d'un local ?

Étude de l'obtention de la position

Le positionnement du volet à sa position optimale nécessite de récupérer l'information de position. Le volet roulant étant dépourvu de capteurs de fin de course, l'information de position du volet roulant est obtenue par le compte/décompte des impulsions Hall générées au niveau du moteur. Le système exploite cette information pour anticiper les arrivées en fin de courses haute et basse et gérer de manière optimale l'arrêt dans ces conditions.

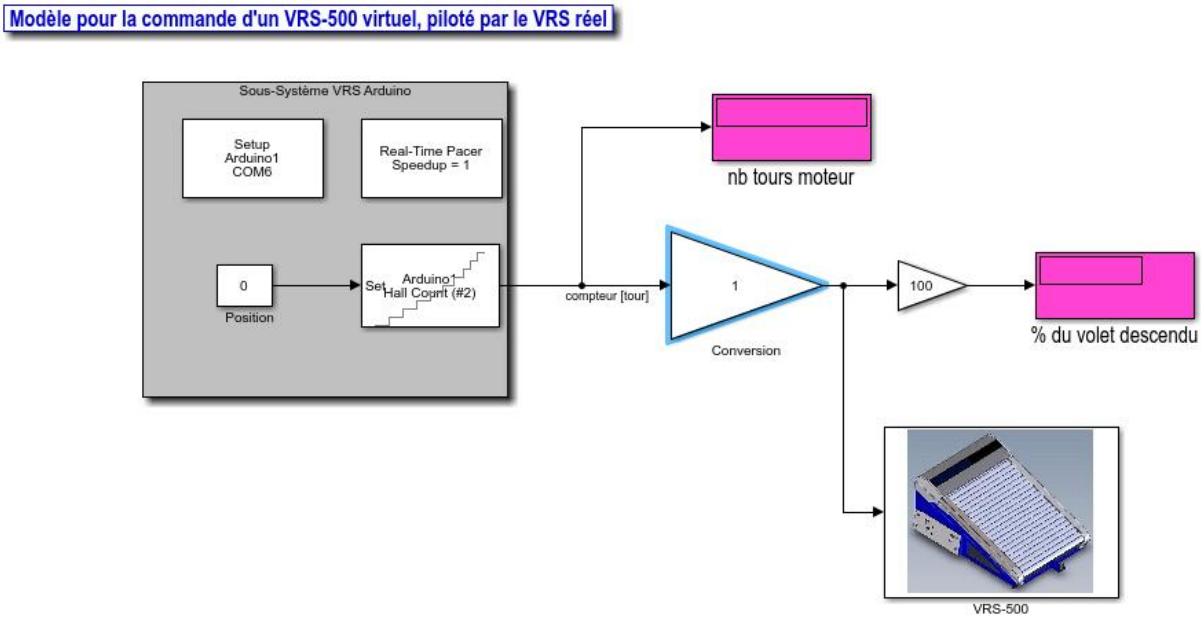
On dispose pour cela d'une interface programmable à base de microcontrôleurs constituée comme indiqué sur la figure suivante.



En plus du signal issu du capteur à effet Hall, les tensions aux bornes du moteur sont acquises via un étage de conditionnement. La carte Arduino se charge, selon les tensions mesurées aux bornes du moteur, d'incrémenter/décrémenter en conséquence la valeur d'un compteur. Cette valeur est remontée via une liaison USB au logiciel Matlab. On peut ainsi animer en temps-réel un modèle virtuel de la même manière que le système réel (on parle alors de « jumeau numérique »).



Mettre le volet en position « totalement ouvert ». Après avoir réalisé le câblage du sous-système, comme indiqué sur la figure précédente, ouvrir le modèle Matlab disponible dans le dossier « Fichiers Matlab/Virtual VRS-500 » par le fichier « VRS_S_model.mdl » et faire vérifier votre montage par votre examinateur.



Activité 4 Obtention de la position du volet

En étudiant la transmission de mouvement du moteur au volet (voir VRS-500_EMP « En savoir plus » onglet « Transmission et dispositif de tension lames », « Réducteur épicycloïdal » et « Le système à étoile d'avancement des lames »), déterminer le facteur de conversion (en bleu ci-dessus, fixé arbitrairement à 1) à appliquer dans le modèle Matlab pour que le jumeau se comporte de la même manière que le système réel. Renseigner la valeur et lancer la simulation en cliquant sur « Run ». Comparer le comportement du réel et du jumeau numérique lors d'une fermeture partielle puis complète, et faire valider votre modèle par votre examinateur.

Une fois l'activité 4 terminée, défaire le câblage du sous-système, fermer Matlab et relier le câble USB de la maquette instrumentée à l'ordinateur.

Étude de l'ouverture optimale du volet roulant

Le volet roulant du Velux a pour fonction de se protéger de la chaleur en été tout en optimisant l'éclairement intérieur naturel. L'objectif de cette partie est de déterminer expérimentalement l'ouverture optimale correspondant au réglage : « protection solaire sans obscurité complète » de ce volet roulant tel que le propose la société Velux (kit « Velux active ») dont la documentation est fournie en document ressource (voir Dossier Technique/VELUX Télécommande KRX100, page 62/113).

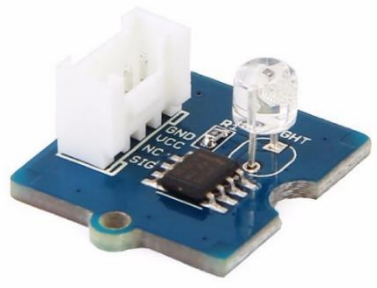
La maquette instrumentée, à l'avant du banc de mesure, est constituée (entre autres) :

- d'un capteur de température ambiante haute précision de type Grove MCP9808 ;
- d'un capteur d'éclairement intérieur.

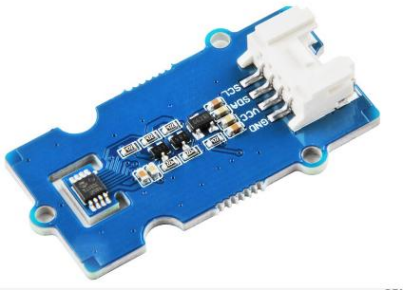
Le programme Arduino « activite5.ino » permet la mise en œuvre de ces capteurs, une fois la maquette instrumentée connectée via l'USB à l'ordinateur.

Après avoir lancé le logiciel Arduino, il faudra vérifier le numéro de port utilisé (« Outil/port ») et sélectionner le type de carte utilisée.

Pour visualiser les valeurs, il faudra cliquer sur le moniteur série (icône loupe en haut à droite) et éventuellement régler la vitesse de communication en bauds.



Capteur d'éclairement



Capteur de température ambiante

Activité 5 Variations des température et éclairement ambiants en fonction de l'ouverture du volet

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la température intérieure Ti et l'éclairement intérieur Ei en régime permanent en fonction de l'ouverture du volet, et le présenter à votre examinateur avant de le mettre en œuvre.

Tracer Ti = f(% ouverture volet) et Ei = f(% ouverture volet).

Conclure sur l'ouverture optimale de ce volet roulant et comparer avec les préconisations du constructeur.

Étude des échanges thermiques mis en jeu dans la régulation en température de la pièce

Dans le dimensionnement d'un bâtiment, afin d'optimiser la consommation énergétique globale, il est nécessaire de pouvoir évaluer les échanges thermiques mis en jeu. Ainsi le choix des matériaux entrant en jeu dans l'isolation revêt une importance toute particulière. En ce sens, il est nécessaire de connaitre les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés. Des valeurs théoriques sont données par les fournisseurs mais, bien souvent, afin d'aboutir à une solution optimale, les cabinets d'expertises en charge du projet mettent en œuvre une campagne expérimentale pour leur dimensionnement. La finalité de la maquette instrumentée est de pouvoir déterminer la résistance thermique de chaque matériau participant à l'isolation afin de pouvoir implémenter et/ou valider les modèles de simulations numériques du bâtiment considéré.

On s'intéresse ici à la détermination de la résistance thermique du matériau utilisé pour réaliser la vitre présente sous le volet roulant. Comme précisé précédemment, la vitre du banc d'essai est instrumentée à l'aide de deux sondes PT1000 sur chacun de ses cotés, afin de pouvoir évaluer la température réelle de chacune de ses parois. Une sonde PT1000 est aussi disponible hors du banc didactisé à toutes fins utiles.

La sonde PT1000 est un composant purement résistif dont la résistance R varie en fonction de sa température. On peut écrire :

$$R(T) = R_0 + K.T$$

avec :

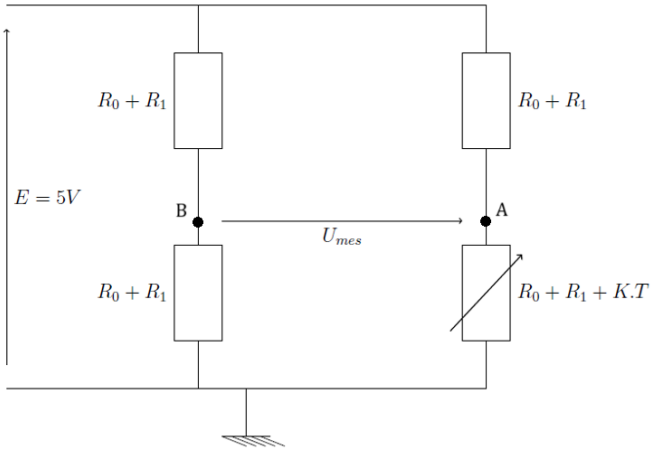
- T, la température en °C de la paroi sur laquelle la sonde est attachée ;
- R0, la valeur de R(T) pour T=0°C, en Ω ;
- K, la valeur du gain de la sonde en $\Omega.°C^{-1}$.

Attention : La sonde PT1000 est un capteur très fragile. Ne manipuler que la plaque sur laquelle il est soudé.

Activité 6 Étude de la loi de comportement du capteur

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer les valeurs de K et R_0 pour la sonde PT1000. Après avoir appelé l'examinateur pour valider ce protocole, le mettre en œuvre et déterminer alors la valeur des deux constantes K et R_0 de la sonde PT1000 mise à votre disposition.

Afin de mesurer la température de chacune des parois de la vitre, la sonde PT1000 est insérée dans le montage du pont de Wheatstone de la figure suivante.



On donne R1 = 10 kΩ. On obtient :

$$U_{mes} \approx \frac{E \cdot K \cdot T}{4 \cdot (R_0 + R_1)}$$

L'acquisition de la mesure est envisagée à l'aide d'une carte Arduino. Les entrées analogiques de la carte sont codées sur 10 bits pour une variation de tension allant de 0V à 5V.

Activité 7 Étude de la résolution de mesure

Donner la résolution de mesure (quantum de conversion) en V, r_v, d'une entrée analogique de la carte Arduino et en déduire alors la résolution de mesure en °C, r_c, obtenue si l'on branchait directement les points de mesure du pont de Wheatstone précédent sur des entrées analogiques de la carte. Commenter la valeur trouvée, en considérant une plage de variation de température à évaluer allant de 10°C à 70°C, et proposer une modification du dispositif de mesure afin d'obtenir une résolution de 0,2°C.

Une paroi peut être modélisée, en régime permanent, comme une résistance thermique vérifiant la relation :

$$r_{th,vitre} \cdot \varphi = (T_{se} - T_{si})$$

avec :

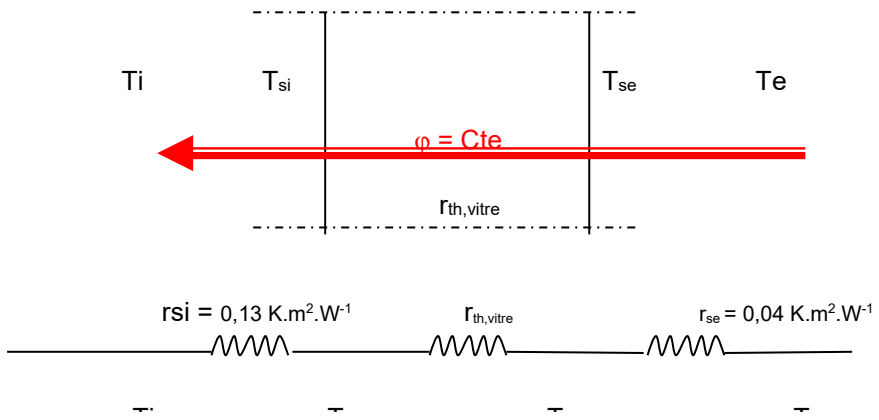
- Tse et Tsi, respectivement les températures de surface extérieure et intérieure en K ;
- rth,vitre, la résistance thermique du vitrage considéré en $K.m^2.W^{-1}$;
- φ : le flux thermique à travers la paroi en $W.m^{-2}$.

Afin de pouvoir implémenter un modèle de simulation pour dimensionner un local, et évaluer les échanges thermiques, il est nécessaire de connaitre la valeur de la résistance thermique $r_{th,vitre}$ du vitrage utilisé.

Le programme Arduino « activite8.ino » permet de lancer l'acquisition nécessaire pour traiter l'activité 8. Pour cette activité, allumer le spot.

Activité 8 Détermination de la résistance thermique de la vitre utilisée

À partir de mesures que vous effectuerez et du schéma ci-dessous, déterminer la valeur expérimentale de rth,vitre.



Le constructeur donne $r_{th,vitre}$ = 0,075 K.m².W^{-1}. Comparer la valeur expérimentale et la valeur constructeur et analyser.

Des modèles de simulation Matlab, « simumaquette » pour la maquette didactisée et « simubatiment » pour l'école considérée, sont fournis dans le dossier candidat. Ils permettent de simuler le fonctionnement du système de chauffage de la maquette et de l'école considérée. Seul le modèle « simumaquette » est utilisé dans les activités suivantes. Pour utiliser chaque modèle, il faut double-cliquer sur le fichier «.mat », cliquer sur « Finish », puis ouvrir le fichier « .slx » dans l'arborescence.

Activité 9 Analyse du modèle de simulation

Détailler le lien entre chacun des composants du modèle « simumaquette » avec le système réel en complétant les zones de commentaires en pointillés.

Activité 10 Mise en œuvre du modèle de simulation

Après avoir renseigné la valeur de $r_{th,vitre}$ déterminée précédemment (« clic droit » dans le modèle simulink, « Find Referenced Variables », « Based workspace »), lancer la simulation et analyser les résultats obtenus. Proposer des améliorations et/ou des modifications du modèle de simulation afin d'obtenir une réponse plus rigoureuse vis-à-vis de la réalité.

Activité 11 Synthèse

Au regard des différentes activités réalisées, répondre à la problématique posée et conclure sur les paramètres à prendre en compte pour optimiser le confort dans l'habitat (éclairement et température à l'intérieur).

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 documents fournis pour mener cette partie sont les suivants :

- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et et le sous-système complémentaire développement durable ;
- les différents fichiers Arduino permettant d'effectuer des acquisitions ;
- les différents fichiers de simulation Matlab ;
- une caméra thermique.

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'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

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 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 n°99-186).

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4h)

Cette phase, d'une durée totale de 4h, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports qui leur 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. Cette partie permet de rendre autonome le candidat pour les manipulations réalisées en deuxième partie. Cette première partie est évaluée.

- ✓ **Deuxième partie (durée ≈ 2h00)**

Pour cette partie, les candidats doivent suivre le questionnement proposé afin de répondre à la (ou les) problématique(s) proposée(s) 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 réfléchissent à la construction d'une séquence pédagogique. Ils disposent du matériel expérimental et de toutes ses ressources pour construire et étayer une séance en s'aidant des manipulations, investigations et analyses effectuées. Le candidat a la possibilité, s'il le souhaite, de mettre en œuvre d'autres expérimentations, en précisant un ou plusieurs protocoles de mesures et/ou de simulation permettant de répondre à sa problématique pédagogique.

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 leur 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 1h)

Durant cette phase, les candidats poursuivent la préparation à l'intervention qu'ils feront devant le jury. Ils s'appuient sur la trame de la séquence qu'ils ont construite dans la troisième partie de la phase 1, ainsi que sur la ou les séances envisagées. 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, ni aux logiciels spécifiques liés au support qui leur ont été proposé d'étudier.**La phase 3 – Présentation des travaux devant le jury (durée 1h)**

L'exposé oral est d'une durée maximale de 30 minutes. Le jury n'intervient pas pendant l'exposé. L'entretien avec le jury est d'une durée de 30 minutes.

Les candidats sont amenés au cours de la présentation orale à :

- présenter le système (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter les résultats des activités menées dans la première phase de l'épreuve et une synthèse en lien avec la ou les problématiques traitées (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, des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans leur espace et de leurs brouillons qu'ils devront restituer obligatoirement en fin d'épreuve.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2026 :

- vérification de performances techniques ;
- 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 ;
- qualification d'un processus d'assemblage.

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 ;
- exploitation des résultats d'expériences ;
- identification du comportement de composants, choix ou caractérisation d'un matériau ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- industrialisation de produits ;
- étude de la fonction d'assemblage ;
- dimensionnement.

Compétences attendues par le jury

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences professionnelles suivantes :

- faire preuve d'aptitudes liées à l'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités à caractère expérimental 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.

Analyse globale des résultats

Les résultats pour cette session restent globalement satisfaisant. 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 rappelle qu'une activité pratique ne peut en aucun cas se limiter à l'usage d'un outil numérique de simulation. Le jury note que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels et les effectifs des BTS de la spécialité. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont parfois assez mal maîtrisées.

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 outils numériques poursuit son développement. Lors de cette session, l'analyse du comportement réel a parfois été menée à partir d'une digitalisation du système étudié, notamment grâce à l'exploitation de logiciels de corrélation d'images. Cette évolution ne saurait toutefois conduire à négliger le recours aux moyens de mesure conventionnels, dont la maîtrise demeure indispensable. 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 les candidats sont confrontés.

Les candidats ayant bien réussi la présentation de l'activité expérimentale se sont attachés à :

- analyser le sujet proposé ;
- prendre connaissance de l'ensemble du sujet ;
- 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 en proposant des éléments pour expliquer les écarts observés ;
- 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.

L'exposé des points ci-dessus nécessitera 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 – troisième partie)**

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. Il est rappelé aux candidats qu'une séance d'activités pratiques ne peut se résumer à l'usage d'un outil numérique et que le caractère expérimental est un attendu impératif de cette séance.

Le jury recommande aux candidats de :

- préciser les compétences visées et savoirs associés ;
- dégager les objectifs pédagogiques, les nouvelles connaissances à construire 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, évaluations, 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 éventuellement de simulation à mettre en œuvre avec les élèves ;
- définir les modalités d'évaluation des compétences visées au cours de la séquence et pour la séance à caractère expérimental développée en s'appuyant sur des critères que le candidat aura précisé.

Il est recommandé 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 BUT (bachelors universitaires de technologie) 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 le candidat ne doit s'attacher à la préparation des activités pédagogiques qu'à partir de cette phase. En effet, plusieurs candidats abordent la préparation lors de la partie précédente de l'épreuve, au détriment de celle-ci.

Le jury a observé qu'une grande partie des candidats envisagent des séquences pédagogiques impliquant de trop nombreuses compétences et connaissances sans réellement identifier les apprentissages nouveaux. La séquence pédagogique doit présenter une certaine cohérence, concernant des objectifs atteignables sur la durée envisagée.

- ✓ **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 le référentiel;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les connaissances nouvelles 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 (ainsi qu'éventuellement leur format) qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les modalités d'évaluation retenues et les critères associés en s'appuyant sur les programmes ou les référentiels.

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, 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 ;
- maîtriser les compétences communes du référentiel métier.

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'expliciter 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. Ils doivent également être en mesure d'expliciter les termes (techniques et pédagogiques) utilisés dans leur présentation. 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.

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 amélioration des résultats. Les candidats des prochaines sessions trouveront dans le rapport de cette épreuve les éléments relatifs à leur préparation.

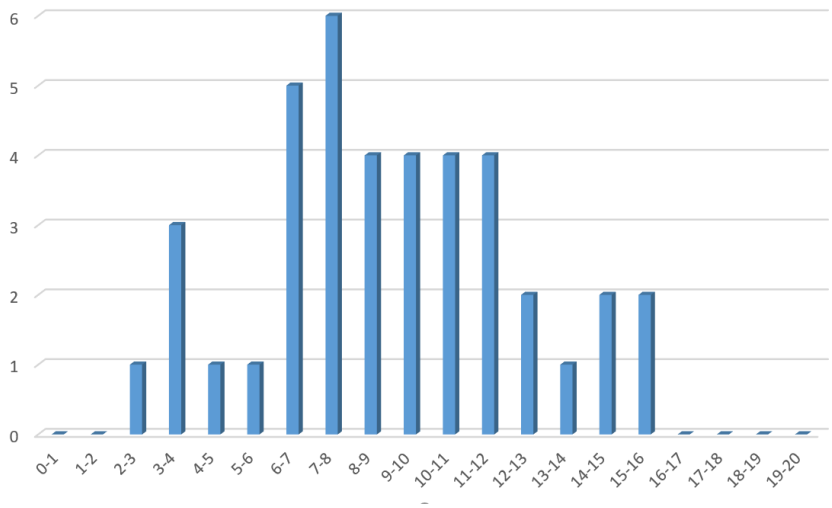
Le jury conseille de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement. La 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.

Résultats

40 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 9/20 et l'écart-type de 3,41 avec :

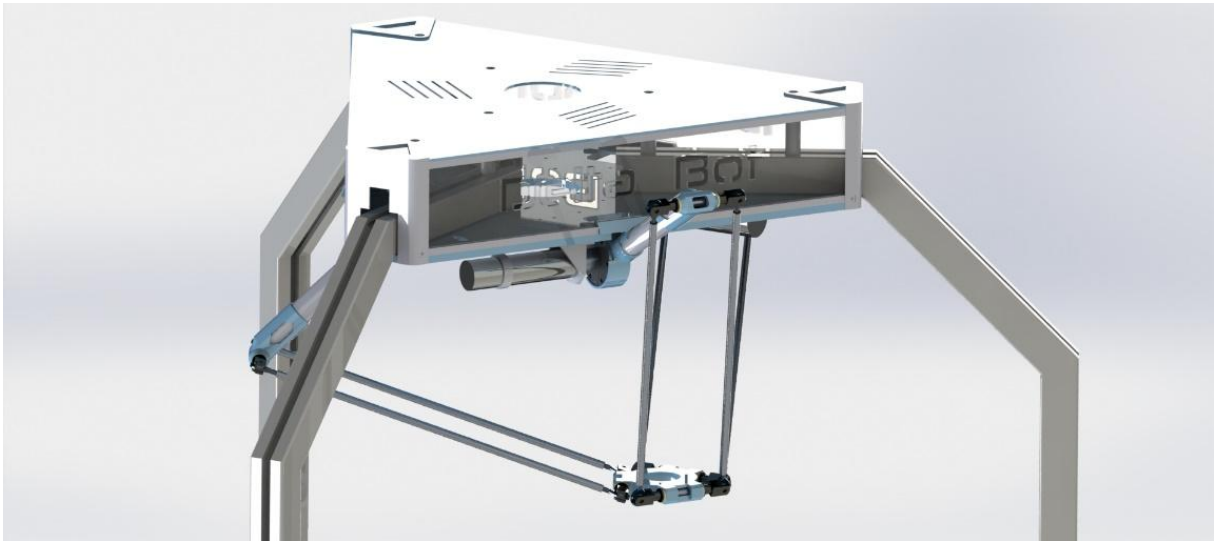
- 2,5/20 comme meilleure note ;
- 15,9/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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

Support étudié : robot à structure delta



Problématique	**Études proposées**
Dimensionner la motorisation suivant différents critères	• Analyse géométrique du robot • Caractérisation des frottements secs par analyse des écarts modélisation/expérimentation • Dimensionnement au couple thermique sur cas de charge cyclique

OBJECTIFS DE L'ÉPREUVE

L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat 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, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système pluritechnologique,

- 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 le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système pluritechnologique.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa proposition pédagogique.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.

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

- **phase 1 – activités pratiques (durée 4 h) ;**
- **phase 2 – préparation de l'exposé (durée 1 h) ;**
- **phase 3 – exposé oral (30 minutes maximum) et entretien avec le jury en salle (30 minutes maximum)**

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire n°99-186).

LIBELLE DE LA SEQUENCE PEDAGOGIQUE

Pour cette exploitation pédagogique, les contraintes de travail sont les suivantes.

Niveau

- Diplôme visé : **BTS** conception des produits industriels (**CPI**)

Objectifs de formation et compétences attendues

Compétences : C9 Dimensionner tout ou partie d'une chaîne d'énergie en autonomie et/ou en collaboration avec un spécialiste.

Savoirs associés :

S3.2 – Etude des comportements mécaniques des pièces et des systèmes

Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveaux taxonomiques 1	2	3	4	Limites de connaissances

S3.2.1 – Modélisation des mécanismes
- Cinématique des liaisons mécaniques :
  - nature du contact (ponctuel, linéique, surfacique),
  - repère local, degré de liberté,
  - modèle des liaisons mécaniques élémentaires,
  - modélisation des liaisons technologiques en liaisons cinématiques (avec prise en compte des jeux, mobilités de faible amplitude, rigidité, frottement).
- Chaînes de liaisons :
  - classe d'équivalence cinématique,
  - graphe des liaisons,
  - schéma cinématique (minimal ou architectural).
- Associations de pièces et de liaisons :
  - liaison équivalente à une association de deux à trois liaisons en parallèle ou en série,
  - comportement des mécanismes (degré de mobilité, degré d'hyperstaticité, isostaticité).
  - adaptation et évolution du modèle numérique prenant en compte les problèmes techniques à résoudre.
					Les notions seront abordées sans l'utilisation de la résolution torsorielle.
					Par contre, la description torsorielle des actions mécaniques transmissibles dans les liaisons est utilisée.
					
					La recherche du degré d'hyperstaticité devra permettre d'identifier les contacts surabondants afin de pouvoir en tirer des conséquences quant à leur positionnement géométrique relatif et leur cotation pour les cas suivants :
					- liaison glissière équivalente,
					- liaison pivot équivalente,
					- liaison ponctuelle équivalente.

S3.2.2 – Mouvements relatifs entre solides dans le cas d'une translation ou d'une rotation autour d'un axe fixe - Notion de référentiel et de repère. - Nature et définition des mouvements : rotation, translation. - Trajectoires des points du solide. - Vecteurs position, vitesse et accélération. - Champ des vecteurs vitesse.					Cinématique d'un solide en mouvement de rotation ou de translation par rapport à un repère fixe donné : position, trajectoire, vitesse, accélération, champ des vecteurs-vitesse (translation ou rotation autour d'un axe fixe). Représentation graphique et analytique des positions, vitesses et accélération dans les cas de mouvements uniformes ou uniformément variés.

S3.2.5 – Comportement mécanique des pièces et des systèmes
 	
- Isolement d'une pièce ou d'un système de solides :
  - graphe des actions mécaniques,
  - ordonnancement des isolements,
  - frontière, actions intérieures et extérieures.
- Equilibre statique des solides, principe fondamental de la statique : énoncé du principe en vue d'une résolution :
  - analytique,
  - graphique.
					Résolution graphique dans les cas de solides soumis à 2, ou 3 actions modélisées par des glisseurs de supports non parallèles.
					
					Résolution analytique dans les cas simples plans Les autres cas seront étudiés avec une assistance informatique.

La séquence pédagogique prend appui sur le support étudié ainsi que sur les activités pratiques ou expérimentales menées durant la **première phase**. Ces manipulations expérimentales pourront être modifiées et/ou adaptées au niveau visé.

Attention :

Dans le libellé de la séquence pédagogique, les objectifs et compétences attendues présentés ici sont donnés pour servir de base à votre progression. Vous êtes libre de ne traiter que ce qui vous semble utile. Le référentiel complet de BTS CPI vous est fourni dans les documents ressources de votre dossier candidat.

PREMIERE PHASE – ACTIVITES 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.

Mise en situation

Les robots à structure Delta constituent une solution privilégiée pour les opérations de Pick and Place sur des chaînes de convoyage et conditionnement. En effet, ces robots à architecture parallèle permettent d'obtenir de grandes dynamiques des mouvements, grâce à une structure mobile relativement légère.



Chaîne de conditionnement

Présentation de la problématique

Lors des opérations de pick and place, le robot peut être amené à déplacer, ou maintenir, des charges de masses distinctes, et ceci de façon très répétitive. Ainsi, en plus de la capacité de la motorisation à satisfaire la fonction « déplacer/maintenir un produit », celle-ci doit également le faire sans échauffement excessif qui mènerait à sa défaillance.

Moyens à disposition

- Moyens expérimentaux : Robot DeltaBot
- Moyens logiciels : Python (modélisation)

Le logiciel de pilotage du robot permet d'accéder aux coordonnées cartésiennes du centre de la plate-forme inférieure.

On peut connaître, à chaque instant, les coordonnées (x,y,z) de celui-ci, mais on peut aussi les imposer, grâce au mode « *Trajectoire CSV* ».

Ci-dessous figure un exemple de fichier texte contenant pour chaque ligne :

- un instant
- les coordonnées x,y,z du centre de la plate-forme inférieure à cet instant

Une fois téléversé ce ficher texte dans le logiciel, celui-ci le transforme en une suite de positions imposées à la plate-forme inférieure. Le fichier texte permet donc de définir une consigne de trajectoire.

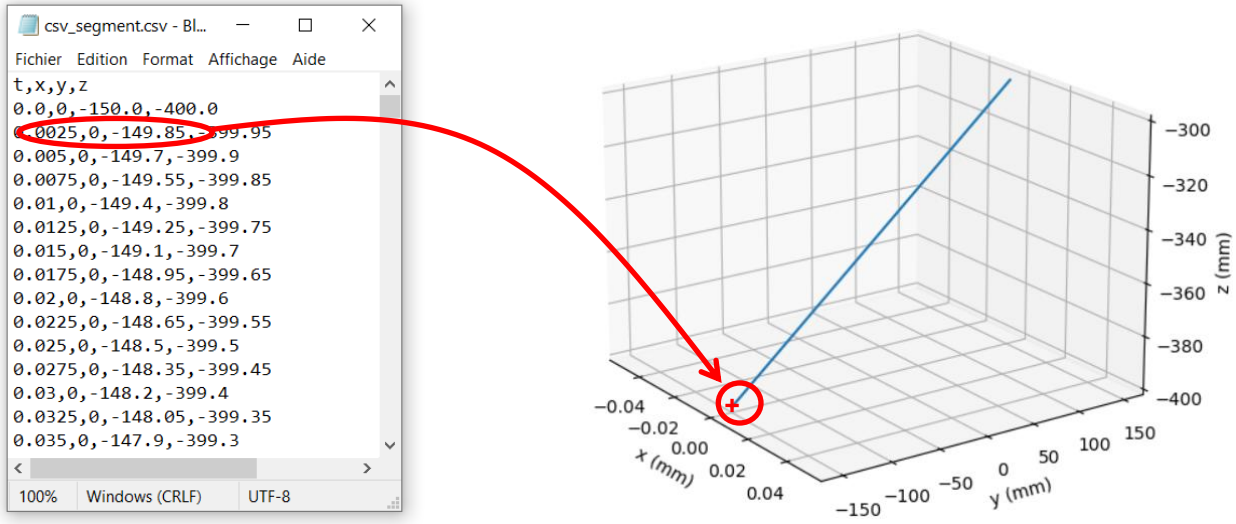


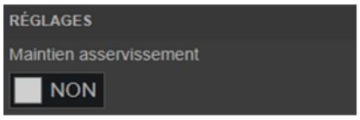
Illustration du mode de définition d'une trajectoire

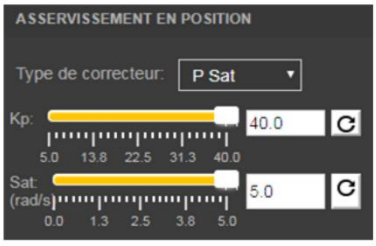
Activité 1 : Mise en œuvre du DeltaBot

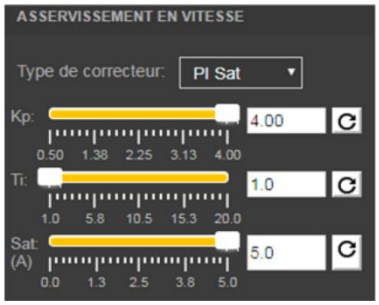
1.1 A votre arrivée, le robot est « connecté ». Après avoir vérifié que l'effecteur n'est chargé que d'une masse, lancer une « initialisation », et justifier la nécessité de cette phase.



Lancer le mode *Trajectoire CSV* (cf capture d'écran ci-contre), télécharger le fichier « *trajectoire.csv* » présent dans le dossier CANDIDAT, puis régler les paramètres d'asservissement au maximum, comme indiqué ci-dessous :







1.2 Faire exécuter (« exécution et acquisition ») au robot la trajectoire, puis :

- qualifier la nature du mouvement de la plateforme par rapport au bâti ;
- qualifier la trajectoire d'un point quelconque de celle-ci par rapport au bâti.

Activité 2 : Analyse de l'échauffement des MCC

On s'intéresse maintenant aux différentes grandeurs acquises au cours du temps.

2.1 Parmi celles-ci, laquelle (ou lesquelles) est (sont) à considérer si l'on souhaite quantifier l'échauffement produit par les MCC ?

2.2 Sachant que toutes les valeurs sont exportables au format texte, déterminer (sans le mettre en œuvre) un protocole expérimental et son analyse, qui permettraient de quantifier l'énergie calorifique dissipée par une MCC pour un cycle donné. Quel risque est lié à cet échauffement ?

Deuxième partie – 2h00

Dimensionnement statique de la MCC

Analyse structurelle

Activité 3 : Analyse mécanique

Objectif : Caractérisation d'un point de fonctionnement des MCC

Sur l'interface, passer en mode *Manipulation libre*

3.1 Déterminer la mobilité et le degré d'hyperstatisme du modèle du mécanisme dans une position quelconque.

3.2 En manipulant le robot exclusivement par les 3 bras :

- déterminer une position telle que les 6 biellettes soient parallèles. Que dire de m et h dans cette situation ?
- déterminer une nouvelle position telle que chaque paire de biellette soit parallèle avec le bras qui l'entraîne. Dans cette situation, une variation de charge sur l'effecteur entraîne-t-elle une variation de couple résistant sur chaque moteur ? Conclure sur le couple moteur de maintien dans cette situation.

Vérification expérimentale de dimensionnement

Dans toute la suite de ce TP, le mouvement de la plate-forme sera limité à une translation verticale d'axe : l'axe central du robot (c-à-d les angles des 3 bras sont égaux à chaque instant).

On appelle « couple nominal » d'un moteur le couple que celui-ci peut fournir continument sans subir de défaillance par échauffement excessif.

Concernant les moteurs du Delta Bot (Faulhaber série 3257 en 12V), les caractéristiques à retenir sont :

$C_{nominal}$= 63 mN.m

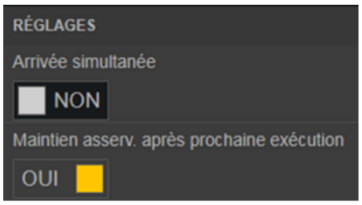
k_t=0.019 N.m/A (constante de couple électro-mécanique)

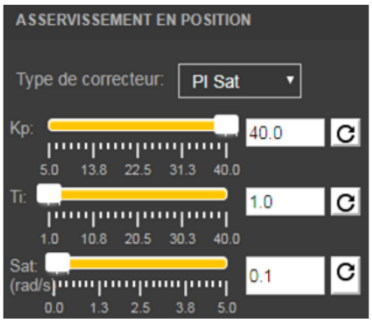
Activité 4 : Courant en quasi-statique sur la course maximale

Objectif : mettre en œuvre et exploiter un protocole expérimental pour dimensionner les MCC

Passer en mode *«Commande en échelon »*, charger l'effecteur avec un total de 5 disques (de 100 g chacun), et commander un mouvement pour amener la plateforme à z=-500 mm.

Commander alors un mouvement lent de la plate-forme, dans le sens de la montée, sur la plus grande course verticale possible, sur une durée de 20 s, en employant les paramètres ci-dessous.







Enregistrer votre acquisition à la racine du dossier *Dossier_CANDIDAT*, sous le nom : *mesure_act_4* (bouton « enregistrer » : cf ci-contre)

Ouvrir le script Python: *affichage_csv_act4.py* et lancer son exécution (touche F5)



4.1 Analyser les courbes de courants :

- où serait le point d'irréversibilité caractérisé en activité 3, sur le graphe obtenu ?
- quelle position peut être qualifiée de critique vis-à-vis d'un critère d'échauffement moteur à maintien de charge à position constante ?
- au vu des courbes, conclure sur la capacité des moteurs à maintenir la charge de 500 g à n'importe quelle côte.

4.2 Est-il possible d'extrapoler la mesure afin de se prononcer sur la masse maximum que le système peut maintenir à l'équilibre sans échauffement excessif ?

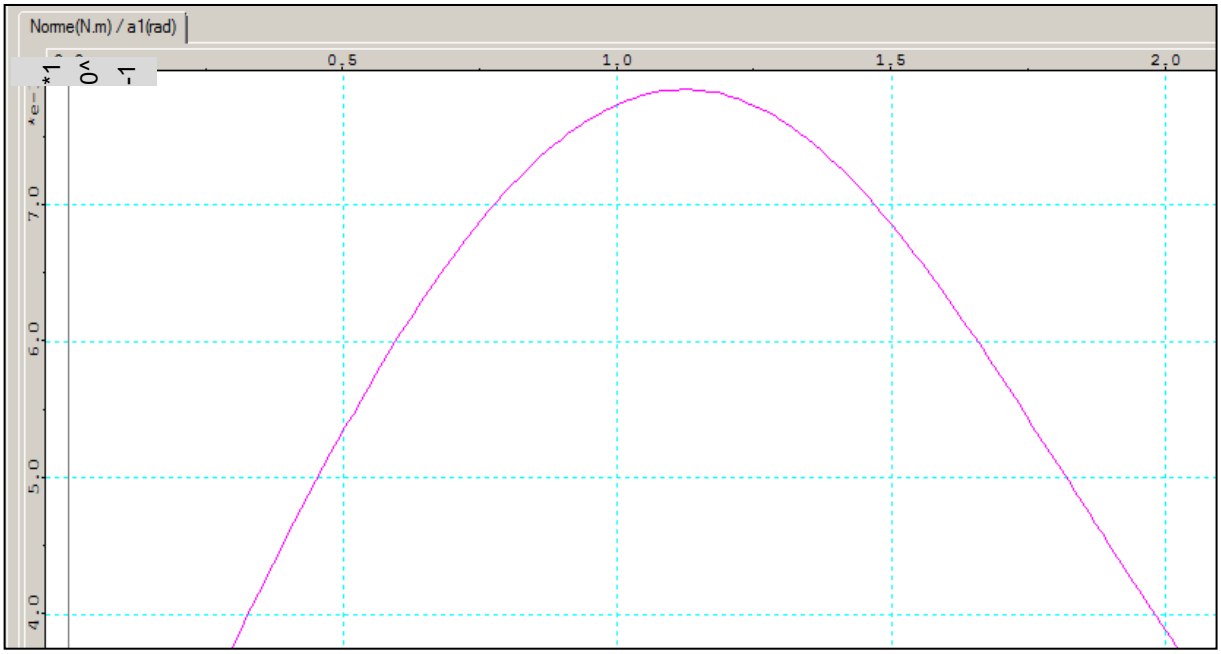
Analyse d'une simulation mécanique numérique

Vous disposez ci-dessous du résultat d'une étude de simulation permettant de modéliser l'expérience précédemment mise en œuvre.

Les paramètres mécaniques pour la simulation sont les suivants :

- l'étude est dite « cinématique et statique » : les effets dynamiques ne sont pas pris en compte ;
- les masses des pièces et d'une charge de 500 g sont prises en compte ;
- les frottements ne sont pas modélisés ;
- le rapport de réduction est k=1/43 ;
- en abscisse figure l'angle du bras ;
- en ordonnée figure le couple en sortie de réducteur, s'exerçant sur le bras.

Simulation Meca3D : Couple de maintien=f(angle des bras)



Activité 5 : Analyse de la simulation numérique

Objectif : Exploiter les résultats d'une simulation numérique pour affiner le modèle de comportement

5.1 Comparer l'allure de la courbe à celle obtenue expérimentalement.

5.1 Discuter de l'écart entre le couple de maintien mesuré expérimentalement, et celui obtenu par le modèle numérique ?

Mesure expérimentale du frottement sec

Activité 6 : Déterminer le couple résistant de frottements secs par application du théorème de l'énergie puissance.

Objectif : Corréler les conclusions précédentes avec une nouvelle approche expérimentale

On propose la manipulation expérimentale suivante (mise en œuvre à l'activité 6.2) :

- l'effecteur doit être chargé avec une masse de 500g ;
- on relève les angles des bras, et intensités dans les moteurs dans les deux situations ci-après :
- sur un mouvement lent (sans effet dynamique notable) vertical, ascendant ;
- sur un mouvement lent (sans effet dynamique notable) vertical, descendant.

6.1 Démontrer qu'en appliquant le théorème de l'énergie-puissance à l'ensemble des pièces mobiles, successivement pour les deux expériences décrites, on peut isoler le couple résistant dû aux seuls frottements, indépendamment de la charge soulevée.

6.1 Mettre en œuvre le protocole expérimental décrit, et déterminer le couple résistant de frottements secs dans la position des bras nécessitant le couple de maintien le plus élevé.

6.2 Conclure.

dimensionnement a charge maximale

On donne ci-dessous le résultat de l'expérience précédente (mesure du couple résistant sec) mesuré à charge nulle, à la côte z « critique » : C_{rsec0}=6,5 mN.m

Par une nouvelle simulation numérique, on détermine que le couple de maintien hors frottement sec, et à vide (on prend en compte la masse des pièces, mais pas de la charge), à la côte z critique vaut : C_{m0}=7,5 mN.m

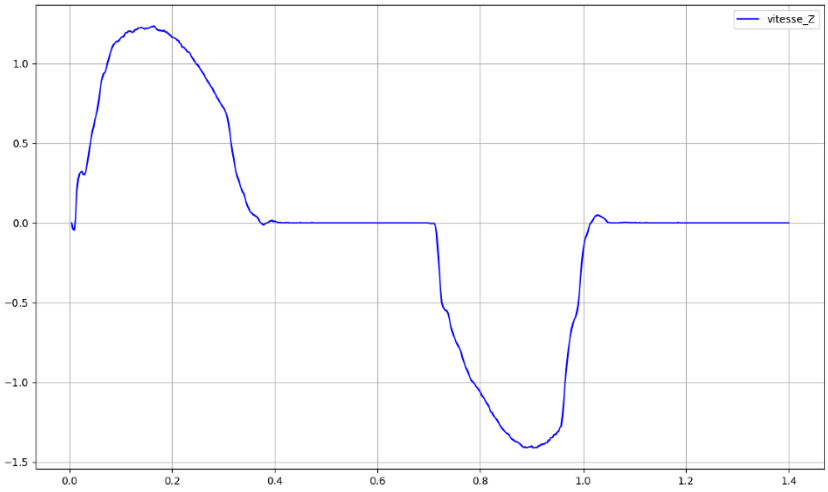
Activité 7 : Détermination de la masse maximale

Objectif : Déterminer la charge maximale que le DeltaBot peut maintenir à côte fixe

7.1 Déduire des données et activités précédentes la masse maximale que le robot peut maintenir continument à l'équilibre sur son axe central sans échauffement excessif menant à une défaillance des moteurs. Il ne s'agit pas ici de vérifier votre résultat expérimentalement.

Vérification pratique du dimensionnement de la MCC sur un cas de charge cyclique

Considérons le cas de charge cyclique suivant, correspondant à un mouvement d'aller-retour vertical du chariot, répété un nombre infini de fois (cas de charge caractéristique d'une opération de *pick and place*).



Vitesse verticale de la plateforme (en $m.s^{-1}$) en fonction du temps

L'acquisition du courant pour une période de ce cycle complet a été réalisée, et se trouve dans le fichier texte de votre dossier de travail : « *acq_intensite_1periode.txt* ».

On souhaite vérifier que le moteur employé est capable de dissiper l'énergie thermique qu'il va produire lors de la réalisation cyclique de ce mouvement. On dira que c'est le cas si la valeur C_t (couple thermique – ou efficace) définie ci-après est inférieure au couple nominal du moteur :

$C_t=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T C(t)^2 dt}$ avec T la période du cycle et C le couple moteur

Pour rappel : $C_{nominal}$= 63 mN.m

k_t=0.019 N.m/A (constante de couplage électromagnétique)

Activité 8 : Détermination numérique du couple thermique

Objectif : Conclure quant à la capacité du moteur à subir un cycle répétitif

6.1 Exécuter le script *couple_thermique.py* et interpréter la courbe obtenue vis-à-vis de la courbe de vitesse fournie

6.2 Compléter le code afin de déterminer le couple thermique dans ce cas de charge cyclique.

6.3 Se prononcer sur la capacité du moteur à ne pas s'échauffer jusqu'à défaillance lors d'un maintien de charge ou de l'exécution répétitive du cycle proposé.

Troisième partie – 1h30

Pour cette troisième partie, le but est de 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. Cette séquence prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable et au cours des activités pratiques.

Il est demandé, au cours de la 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 ont permis de construire la séquence de formation, de décrire et situer la séquence de formation 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 demandé notamment 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 Internet et doté des logiciels courants de bureautique. Les éventuels résultats obtenus lors des phases 1 et 2 sont stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur.

Rapport du jury de l’épreuve de soutenance d'un dossier industriel

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.

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système pluritechnologique dont la dominante est choisie par le candidat. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs.

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre de son enseignement.

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'études et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes.

Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points.

Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs au moins avant le début des épreuves d'admission.

- *Durée de la préparation des moyens de l'exposé : 30 minutes.*
- *Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum, entretien avec le jury : 30 minutes).*
- *Coefficient 2. »*

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.

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.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système pluritechnologique dont la dominante est choisie par le candidat, représentatif des technologies actuelles et en lien avec l'option présentée du concours, est déterminant pour permettre une transposition didactique pertinente 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 présentée doit être issue d'un réel besoin industriel et doit être élaborée en partenariat avec l'entreprise qui développe l'étude ou le produit. En aucun cas le jury ne peut se contenter d'une simple vérification d'une performance indiquée dans le cahier des charges du support ou d'une simple analyse de solutions constructives existantes.

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 et du profil des étudiants 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.

Le corps du dossier, fourni au format pdf, doit contenir au maximum 40 pages. Le candidat peut éventuellement rajouter 20 pages d'annexes.

Le jury apprécie particulièrement :

- les dossiers élaborés autour d'une véritable problématique, clairement définie, résultant d'une relation authentique avec l'entreprise ;
- les dossiers issus de supports pluritechnologiques innovants en lien direct avec des enjeux sociétaux et/ou environnementaux ;
- les dossiers clairement structurés comportant des schémas, graphes et autres images s'appuyant sur une documentation technique authentique et sur des modèles numériques (maquette numérique, modélisation multiphysique) ;
- les dossiers 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 ;
- le réalisme des organisations pédagogiques présentées (nombre d'élèves par division, nombre de groupes, matériel à disposition, etc…) ;
- 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’adaptation des documents techniques au regard des exploitations pédagogiques proposées ;
- 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 connaissances dans les domaines de la didactique et de la pédagogie 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 et correctement rythmée, 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.

Il convient d'éviter les diaporamas contenant trop de diapositives qui conduisent le candidat à accélérer sa présentation et son débit verbal. De même, les animations autres que celles permettant une bonne compréhension du système ne sont pas souhaitées.

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.

Pour les candidats ayant échoué à l'épreuve et qui souhaitent se représenter, ceux-ci doivent s'interroger sur les raisons de leur échec. Une note très basse est liée très souvent à un support industriel inadapté, des développements scientifiques et/ou technologiques d'un niveau insuffisant, des propositions pédagogiques qui manquent de réalisme ou encore une méconnaissance du contexte professionnel (prise en compte de la difficulté scolaire des élèves, l'évaluation, le fonctionnement d'un EPLE, les dispositifs institutionnels).

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.

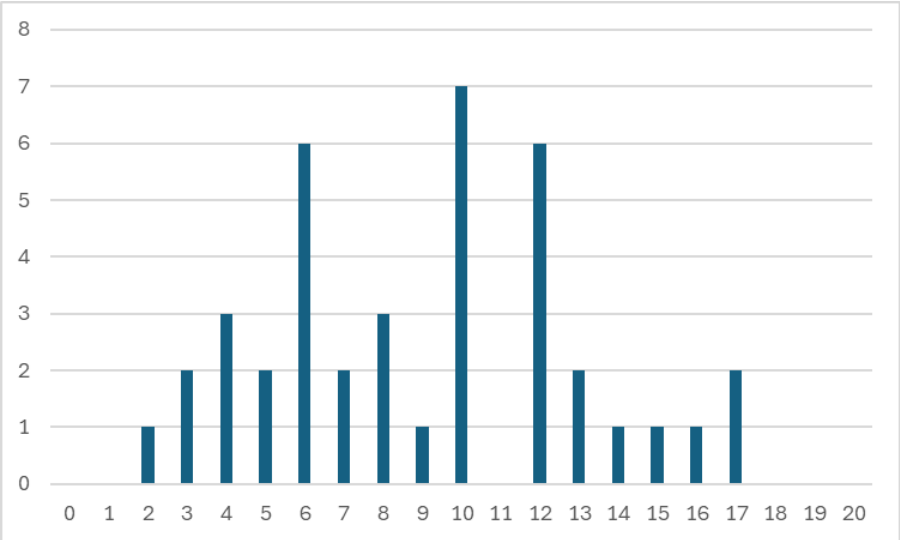
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

Résultats

41 candidats ont été évalués sur l'épreuve de dossier. La moyenne des notes obtenues est de 9,48 et l'écart-type = 3,93 avec :

- 17,8 comme meilleure note ;
- 2,4 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 ;
- le référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation – education.gouv.org.