



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2025

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Rapport de jury présenté par : Régis RIGAUD, Inspecteur général de l'éducation,
du sport et de la recherche
Président du concours

Sommaire

Remerciements	3
Résultats statistiques de la session 2025	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	17
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	21
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	39
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	47
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	50
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	56
Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	63
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	69
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	75
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	79

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2025 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 9 juin au 18 juin 2025 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Ces remerciements s'adressent aussi à monsieur le Proviseur du lycée Raspail de Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion préparatoire du 21 janvier 2025.

Résultats statistiques de la session 2025

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
389*	30	191**	75***	24

*dont 59 candidats à l'agrégation marocaine

** dont 36 candidats à l'agrégation marocaine

*** dont 8 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	15,83/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	7,86/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	14,59/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	9,09/20

Avant-propos

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

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

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/les-programmes-des-concours-d-enseignants-du-second-degre-de-la-session-2023-1064>

Une nouvelle fois, il convient de souligner le caractère indispensable de se préparer aux épreuves orales dès l'inscription au concours en particulier pour l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel qui 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 regrettable de constater de nouveau que certains dossiers restent éloignés de problématiques technologiques ou que certaines exploitations pédagogiques sont peu pertinentes, malgré la qualité du support. Par ailleurs, le jury a constaté une nette dégradation des développements scientifiques et technologiques qui restent en termes de niveau d'investigation très éloignés du niveau de l'agrégation. Les deux épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique sont des épreuves exigeantes qui imposent une préparation importante. Ceux qui enseignent déjà au collège où au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves et a contrario interroger une pratique professionnelle.

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

Les modalités et les objectifs des épreuves sont rappelés par le directoire du jury au cours de l'accueil avant le début des épreuves d'admission, il est impératif de les respecter pour répondre correctement aux attendus du jury. En particulier, pour les épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique il est indispensable que le candidat fasse preuve d'une réflexion personnelle à partir du support de travaux pratiques proposé ce qui proscrit l'utilisation de séquences ou de documents prêts à l'emploi déconnectés de ce support. En particulier, il est recommandé aux candidats de limiter l'usage d'Internet à son rôle de base documentaire dans l'élaboration d'une séquence pédagogique originale et personnelle. Enfin, le jury rappelle une nouvelle fois le caractère prestigieux du concours qui impose un comportement et une présentation irréprochables, compatibles avec les circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique d'État.

Cette session 2025 a conduit à l'admission de 24 candidats sur la liste principale. Le jury adresse ses félicitations aux lauréats de la session.

Certains candidats présentent des progressions spectaculaires. Ainsi, un candidat a progressé de 49 places, deux autres de 47 et 36 places. Ceci démontre une nouvelle fois l'importance de se préparer aux épreuves d'admission autant qu'aux épreuves d'admissibilité dont elles sont complémentaires. L'épreuve de soutenance d'un dossier, de coefficient identique aux deux autres épreuves d'admission ne bénéficie pas de toute l'attention qui devrait lui être portée. Cette session a également vu l'admission de certains candidats qui avaient été admissibles les années précédentes, ce qui démontre l'importance de persévérer en tenant compte de l'expérience acquise et des remarques du rapport de jury.

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

Régis RIGAUD, Président du jury

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

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

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

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

1. Présentation du sujet

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

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/16117/download>

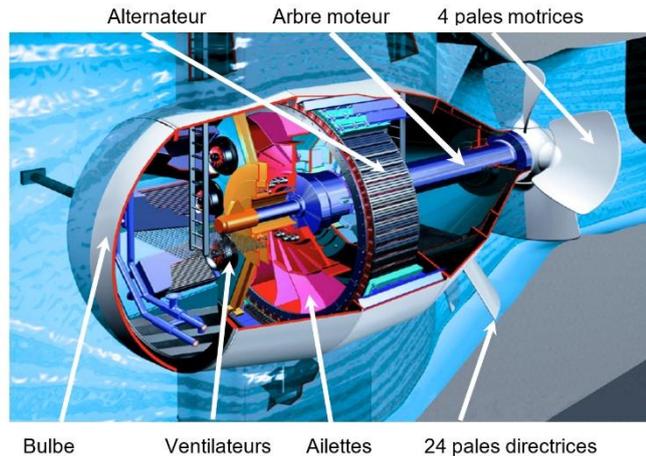
Cette épreuve porte sur la centrale hydroélectrique de Pierre-Bénite, située aux portes de Lyon, qui joue un rôle primordial pour la jonction du Rhône avec la Saône.

Elle est équipée de quatre groupes hydroélectriques à turbines installés chacun dans une conduite hydraulique, dont le débit d'eau peut être modifié en ouvrant plus ou moins la section de passage de la conduite, à l'aide de vingt-quatre pales orientables nommées « pales directrices », disposées autour de la turbine.



La Compagnie Nationale du Rhône (CNR), qui gère les dix-huit centrales hydroélectriques du Rhône, doit assurer en temps réel un équilibre entre la puissance électrique qu'elle produit et la puissance électrique consommée par ses clients, reliés au réseau électrique européen.

Dans ce contexte, les ingénieurs de la CNR ont choisi de réguler la vitesse de rotation des turbines des groupes hydroélectriques, qui sont en prise directe avec leurs alternateurs, afin de réguler la fréquence de ces derniers à celle du réseau (50 Hz). Pour que cette régulation se fasse avec un rendement optimal, ils utilisent deux systèmes asservis qui modifient la vitesse de rotation de la turbine : l'asservissement de la position angulaire des pales directrices et l'asservissement de la position angulaire des pales motrices.



2. Éléments de correction

Partie 1 : Étude de la production d'Électricité

Question 1. Afin de limiter les variations de fréquence sur le réseau, les producteurs d'électricité doivent disposer de réserves de puissances.

La réserve primaire qui permet rapidement de stabiliser la fréquence en cas de dérive.

La réserve secondaire qui permet de restaurer la fréquence à sa valeur nominale et de reconstituer les réserves primaires.

La réserve tertiaire qui permet d'ajuster les consignes de production.

La limite est la valeur de la puissance de réserve disponible.

Question 2. $\Delta f = 200 \text{ mHz}$ $K_{\min} = 5 \text{ MW.Hz}^{-1}$ $P_C = P_n = 20 \text{ MW}$
 $f_n = 50 \text{ Hz}$ $f = 50,2 \text{ Hz}$ $P = 20 - 5 \times (50,2 - 50) = 19 \text{ MW}$

Question 3. Une baisse de soutirage électrique par rapport à l'injection provoque une augmentation de la fréquence. Une hausse du soutirage électrique par rapport à l'injection diminue la fréquence.

Question 4. $s = \frac{(50,2-50) / 50}{(19 - 20) / 20} = - 0,08 = - 8\%$, le statisme est bien compris entre 3% et 12%.

Question 5. Avant incident : $P_{\text{prod}} = 392,4 \text{ MW}$ Après incident : pertes de 72 MW.
 Variation de fréquence : $\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{72}{392,4} \cdot 50 = - 0,734 \text{ Hz}$ soit $f_1 = 49,266 \text{ Hz}$.

Question 6. Après réglage primaire, les groupes sont à 100% : $P_{2\text{prod}} = 352 \text{ MW}$
 $\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{(392,4-352)}{392,4} \cdot 50 = - 0,412 \text{ Hz}$ soit $f_2 = 49,588 \text{ Hz}$

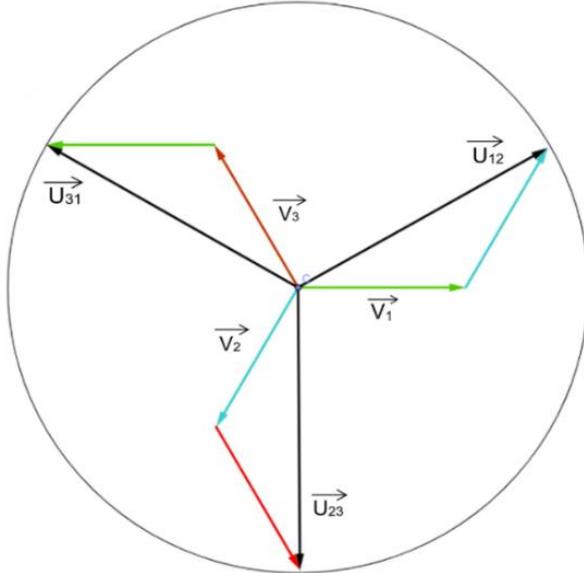
Le réglage primaire permet de ramener la fréquence des signaux électriques dans la plage de fréquence admissible par la norme soit entre $49,5 \text{ Hz} < f < 50,5 \text{ Hz}$.

Question 7. Le risque d'effondrement de la fréquence du réseau européen est faible car un incident majeur de 3000MW de pertes de production entraîne une faible baisse de fréquence.

L'intermittence de certaines énergies renouvelables, comme le solaire photovoltaïque et l'éolien, a tendance à provoquer des variations aléatoires de puissance.

La croissance de ces énergies peut impacter la stabilité en fréquence du réseau en provoquant des variations significatives et aléatoires de la fréquence.

Question 8.



$$V_1(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$V_2(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi/3)$$

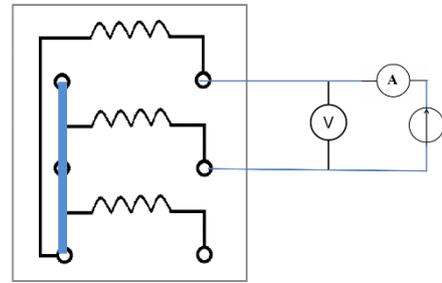
$$V_3(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 4\pi/3) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t + 2\pi/3)$$

$$U_{12}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/6)$$

$$U_{23}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - \pi/2)$$

$$U_{31}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - 7\pi/6) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + 5\pi/6)$$

Question 9. $R_{\text{entre phases}} = 24 \text{ m}\Omega$ $R = 12 \text{ m}\Omega$

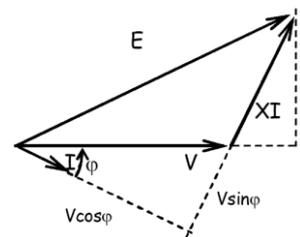


Question 10. $Z = E_0 / I_{cc} = 2000/1800 = 1,1 \Omega$

$$X = \sqrt{1,1^2 - 0,0012^2} = 1,099 \Omega \sim 1,1 \Omega$$

Question 11. $E = \sqrt{(V + XI \cdot \sin\phi)^2 + (XI \cdot \cos\phi)^2}$

La machine synchrone est supposée à son point de fonctionnement nominale.



Question 12. $f_p = 0,99$ $Q_N = 2850 \text{ kVAR}$ $I_N = 3\,332 \text{ A} = 3,33 \text{ kA}$

Question 13. $\cos\phi = 0,99$ $V = 2\,021 \text{ V}$ $E = 4\,427,6 \text{ V}$ $I_e = 664 \text{ A}$

Question 14. $P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$ et $E \cdot \sin\delta = XI \cos\phi$ $\delta = \arcsin \frac{P \cdot X}{3 \cdot V \cdot E} = 55^\circ < 90^\circ$ stable

Question 15. $\Omega_s = f / p = 83,3 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_{90\%} = p \cdot \Omega_s = 36 \times 75 / 60 = 45 \text{ Hz}$

Question 16. Le raccordement des machines synchrones sur le réseau exige les conditions suivantes sur les signaux électriques : égalité de la fréquence, égalité des tensions, même ordre de succession des phases, décalage angulaire nul.

Question 17. fonctionnement dans le quadrant B.

Partie 2 : Étude de la régulation de vitesse d'un groupe hydroélectrique

Question 18.

```
30     ligne = ligne.strip()
31     ligne = ligne.replace(';',',')
```

Question 19.

```
33     if not isinstance(valeurs_essai):
```

Pour cette instruction, la fonction « `isinstance(valeur_essais)` » permet d'identifier pour chaque ligne d'essais lue, si le deuxième élément (`essais[1]`) et le troisième élément (`essais[2]`) de la ligne sont des nombres.

Si ce n'est pas le cas, le programme est alors en train de lire une des trois lignes d'entête d'une série donnée.

Le test de la ligne 33 est vrai, et le programme passe à la ligne 34

```
34     Tester si la série courante contient des essais (sa longueur est non-nulle)
35     Si oui, enregistrer la série courante dans la liste de série
« series_list »
36     Puis réinitialiser la liste courante
37     Tester si la première valeur de la ligne est une date (elle contient deux //)
38     Si oui, enregistrer la dernière valeur de cette ligne comme un élément appelé 'hauteur'
    dans la série courante (il s'agit de la hauteur de la série)
```

Question 20.

```
41     turbinage=float(valeurs_essai[2])/reference_turbinage
```

Suite à cette instruction, le programme a calculé la valeur relative de turbinage de la ligne d'essais en cours de lecture, à l'aide de la valeur de référence de turbinage donnée en début de programme à 70 (car $70\% = 100\%$ de turbinage).

Question 21. L'exécution de l'instruction de la ligne 43, a permis d'enregistrer les vingt valeurs de vannage en première position de la chaîne `['essais']` de la série en cours de lecture.

```
43     serie_courante['essais'].append([vannage,turbinage])
```

```
60     for essai in series_list[0]['essais']:
```

```
61         V_vannage.append(essai[0])
```

Question 22.

```
88     def interpolation_lineaire(h):
89         i = 0 # Initialiser i à 0 (comptage de pas i des 3 valeurs du vecteur hauteurs)
90         while not(hauteurs[i] <= h and h < hauteurs[i+1]):
            # pour i=0 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [6 ;9.15]
            # ceci permet d'utiliser la fonction pour toute valeur de h
            # sans avoir à préciser qu'elle est forcément dans [6m ;14.8m] à la ligne 103
            # pour i=1 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [9.15 ;14.8]
91             i = i + 1
            # on incrémente pour aller au domaine suivant
92         alpha = (h - hauteurs_list[i]) / (hauteurs_list[i+1] - hauteurs_list[i])
            # calculer la valeur de «  $\alpha$  » dans domaine en cours
93         V_turbinage_lin = V_turbinages_list[i] * (1 - alpha) + V_turbinages_list[i+1] * alpha
            # calculer la valeur de turbinage théorique par interpolation
94         return V_turbinage_lin
            # renvoyer cette valeur (qui sera utilisée à l'instruction de la ligne 105)
```

Question 23. Lorsque le vérin se déplace de 0 m à $X_{Max} = 1$ m, les pales directrices s'inclinent de 0° à 90° , ce qu'on considère être une ouverture de conduite de 0% à $V_{0Max} = 100\% = 1$.

Alors, $K_M = \frac{V_{0Max}}{X_{Max}} = \frac{100\%}{1m} = 1 \text{ m}^{-1}$

Question 24. La tension de mode commun n'est pas amplifiée ni supprimée.

La tension différentielle est amplifiée d'un gain $G_d : R_g = \frac{2 \cdot R_1}{G_d - 1} = 20,02 \Omega$

Question 25. $V_3^+(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_1} \cdot V_{s1}(t) = \frac{V_{s1}(t)}{2}$ $V_3^-(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_1} \cdot (V_{s2}(t) + V_s(t)) = \frac{V_{s2}(t) + V_s(t)}{2}$

Question 26. $V_s(t) = \frac{A_d}{2 \cdot (1 + \frac{A_d}{2} \cdot \frac{A_{MC}}{4})} \cdot (V_{s1}(t) - V_{s2}(t)) + \frac{A_{MC}}{2 \cdot (1 + \frac{A_d}{2} \cdot \frac{A_{MC}}{4})} \cdot \frac{V_{s2}(t) + V_s(t)}{2}$

Si $A_d \gg 1$ et $A_d \gg A_{MC}$, alors $K_1 \approx 1$ et $K_2 \approx \frac{A_{MC}}{A_d}$

Question 27. $V_s(t) = K_1 \cdot G_d \cdot (V_d(t) + \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d} \cdot V_c(t))$ $G_{dt} = G_d \cdot K_1$ et $G_{MCT} = \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d}$

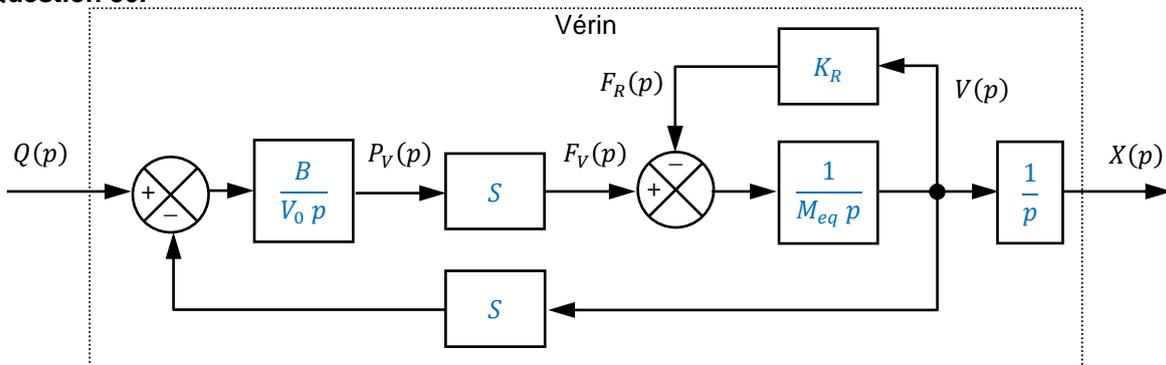
Le gain de l'étage 1 divise G_{MCT} et donc réduit l'influence du mode commun sur la tension $V_s(t)$. Un gain sur l'étage 2 aurait pour impact de ne pas influencer sur G_{MCT} et donc de ne pas réduire l'impact du mode commun sur $V_s(t)$.

Question 28. La résolution du capteur vaut : $5 \mu\text{m}$ Donc $K_c = 2 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$

$X_M = 1 \text{ m} \Rightarrow 2 \cdot 10^5$ impulsions. Finalement, puisque $2 \cdot 10^5 < 2^{18} \Rightarrow$ Un capteur codant au moins à 18 bits donc à 3 octets (24 bits), est donc nécessaire.

Question 29. $01d4c0_{(H)} = 120000_{(D)}$, correspond à une position $X(p) = \frac{1,2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} X_M = 600 \text{ mm}$

Question 30.



$$H_V(p) = \frac{1}{p} \frac{\frac{1}{S}}{1 + \frac{V_0 K_R}{B S^2} p + \frac{V_0 M_{eq}}{B S^2} p^2} = \frac{K_V}{p} \frac{1}{1 + \frac{2z}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Cette fonction de transfert est de classe 1 et d'ordre 3, avec :

- Le gain : $K_V = \frac{1}{S} = \frac{1}{0,08 \text{ m}^2} = 12,5 \text{ m}^{-2}$
- La pulsation propre : $\omega_0 = \sqrt{\frac{B S^2}{V_0 M_{eq}}} = 400 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- Le coefficient d'amortissement : $z = \frac{V_0 K_R}{2 B S^2} \sqrt{\frac{B S^2}{V_0 M_{eq}}} = \frac{1}{3}$

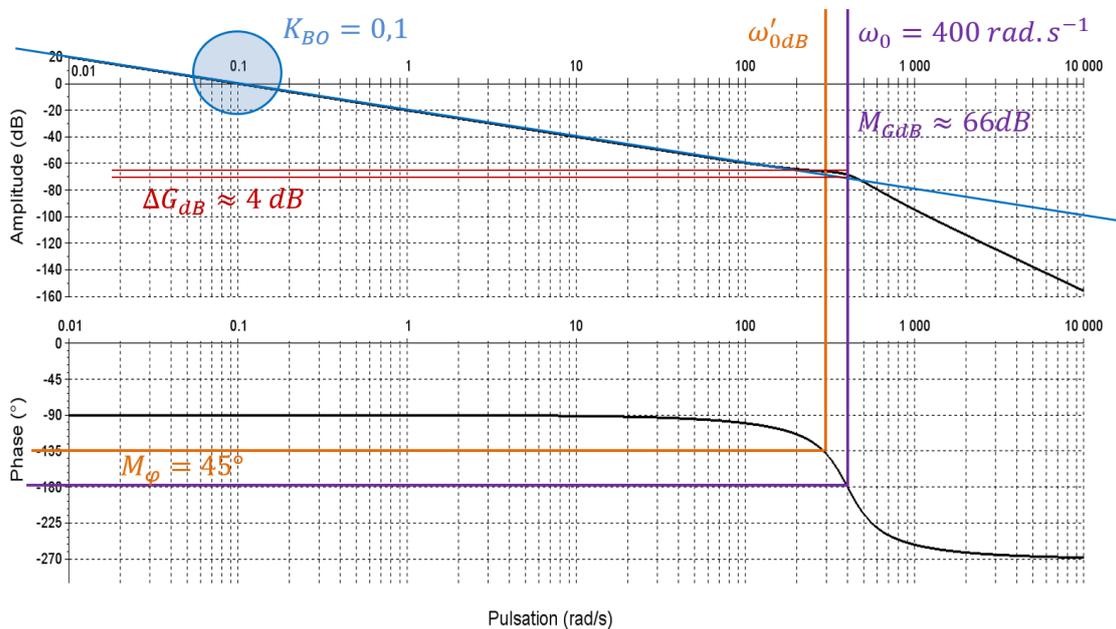
Question 31. $Q_{max} \geq S \cdot V_{max} = 72 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

$K_D = \frac{80 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}}{10 \text{ Volt}} = \frac{4}{3} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

Question 32. $H_A(p) = \frac{1}{H_M(p)} = \frac{1}{K_M} = 1m$

$K_A = K_C$

Question 33.



Graphiquement, il s'agit d'une FTBO de classe $\alpha = 1$ et d'ordre $n = 3$ avec $\omega_{0dB} = 0,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ et $K_{BO} = 0,1 \text{ s}^{-1}$

Question 34.

Exigence de stabilité : voir les tracés en orange

Les exigences de stabilité sont respectées. Pour garantir une marge de phase minimale de 45° , il est possible d'augmenter le gain K_P du correcteur de sorte que la nouvelle pulsation de bande passante atteigne $\omega'_{0dB} \leq 300 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Si le gain est relevé de 66dB, $\omega'_{0dB} = 300 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, mais le système ne respecte plus l'exigence de marge de gain. C'est donc cette dernière qui impose la valeur maximale du gain K_P du correcteur, qui doit alors relever le gain de 46 dB seulement.

$$\Rightarrow 20 \log(K_{Pmax}) \leq 46 \text{ dB} \Rightarrow K_{Pmax} \leq 10^{\frac{46}{20}} \approx 200 \text{ (adimensionnel)}$$

Exigence de précision :

Le système étudié est à retour unitaire, avec une FTBO $H_{BO}(p)$ de classe $\alpha = 1$.

Ainsi, le théorème de la valeur finale permet de prouver que :

- L'erreur statique de position en réponse à un échelon sera nulle.
- L'erreur statique de traînage en réponse à une rampe de $15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ sera égale à :

$$e_{s-t} = \frac{15}{K_{BO}} = \frac{15}{0,1 K_P} \text{ mm}$$

Alors, pour respecter le critère de précision en réponse à une rampe, il faut régler le gain K_P du correcteur à la valeur minimale :

$$K_{Pmin} \geq \frac{15}{0,1 e_{s-t}} = \frac{15 \text{ mm}}{0,1 \cdot 1 \text{ mm}} = 150 \text{ (adimensionnel)}$$

Conclusion : un simple correcteur proportionnel permet de respecter les critères de stabilité et de précision imposés par le cahier des charges. Mais le respect du critère de rapidité n'a pas été vérifié.

Question 35. La réponse à la question précédente a prouvé qu'il est possible de régler un correcteur proportionnel qui permette de respecter les exigences de stabilité et de précision du système d'asservissement de vannage.

Mais même si la conduite est ouverte de façon parfaitement précise, la vitesse de rotation de la turbine qui est prédite en conséquence, reste le résultat d'un calcul théorique (qui dépend de la dynamique des fluides, de l'asservissement de turbinage et de la hauteur de chute qui agit comme une perturbation) et il est possible qu'il y ait un écart avec la vitesse réelle de rotation de la turbine.

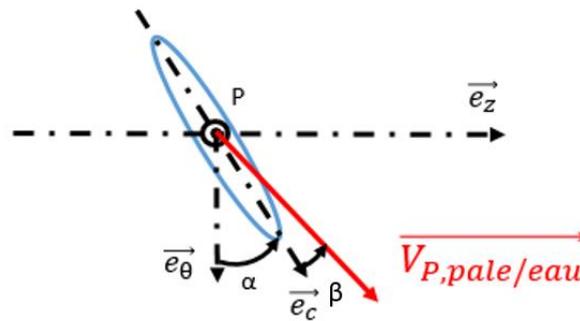
Un écart entre la fréquence du réseau à 50 Hz et la fréquence de l'électricité produite par l'alternateur, reste possible, malgré la précision de l'asservissement de vannage. Le correcteur PID sert à réguler la fréquence du groupe hydroélectrique de façon indépendante de la précision du vannage ou du turbinage.

Partie 3 : Étude dynamique de la turbine

Question 36. $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = r.\omega \overrightarrow{e_\theta} + V_e \overrightarrow{e_z}$

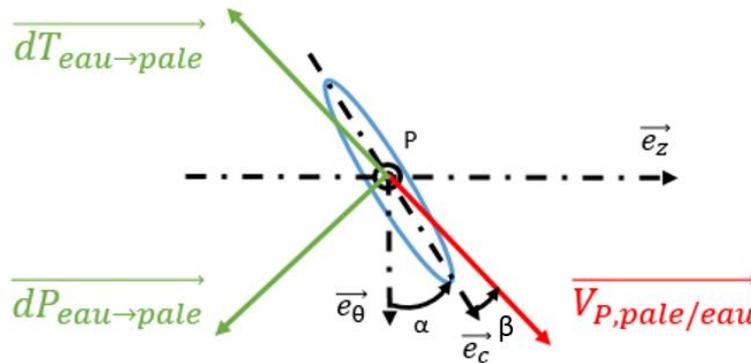
A.N. : $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = 26,5 \overrightarrow{e_\theta} + 25 \overrightarrow{e_z}$

Question 37.



Question 38. $\tan(\alpha+\beta) = \frac{V_e}{r.\omega}$

Question 39.



Question 40. $d\overrightarrow{M_{O,eau \rightarrow pale} \cdot \overrightarrow{Z_0}} = r. \left(\left\| d\overrightarrow{P_{eau \rightarrow pale}} \right\| \cdot \sin(\alpha+\beta) - r. \left\| d\overrightarrow{T_{eau \rightarrow pale}} \right\| \cdot \cos(\alpha+\beta) \right)$

Question 41. Pour conserver un angle d'attaque constant sur toute la longueur de la pale, il est possible de modifier l'angle de calage en vrillant la pale sur sa longueur, ce que l'on observe sur le document DT5.

Question 42. $\Gamma_{turbine/bulbe} = - \frac{\Omega_{emb}}{t_f} = - \frac{314 \times 2\pi}{60 \times 180} = -0,183 \text{ rad.s}^{-2}$

Question 43. Théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement ou théorème du moment dynamique en projection sur l'axe de rotation :

$C_T - C_a - C_f = J_{eq} \cdot \Gamma_{turbine/bulbe} \qquad C_f = 86,6 \cdot 10^4 \text{ N.m}$

Question 44. $\{\tau_{\text{pistons} \rightarrow \text{disque}}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.f.P_{ap} \frac{\pi d_p^2}{4} \end{Bmatrix} \begin{matrix} | \\ | \\ | \end{matrix} \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix}$ dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

Question 45. $P_{ap} = \frac{-J_{eq} \Gamma_{\text{turbine/bulbe}} + C_T - C_a}{2e.f.\pi.d_p^2}$

Question 46. $P_{ap} = 2,15 \text{ bars} < 7 \text{ bars}$. L'exigence est respectée.

Question 47. La charge, la vitesse de rotation, la viscosité du lubrifiant et donc la température, la rugosité, la présence d'aspérité ou de corps étrangers, ...

Question 48. Il faut que le centre de gravité G_1 soit équidistant des centres des paliers A et B.

Question 49. $p = \frac{Mg}{2(2r)} = \frac{1,58 \cdot 10^5 \cdot 9,81}{2(2 \cdot 0,45 \cdot 0,9)} = 0,96 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$

La marge est importante pour tenir compte des phases de démarrage avant que le film d'huile soit suffisant.

Question 50. $\frac{2\pi Q_f}{a r l \omega} = 0,7 \quad Q_f = 0,7 \frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,45 \cdot 0,9 \cdot 83 \frac{\pi}{30}}{2\pi} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Le débit prévu étant 8 fois supérieur au débit de fuite, la marge est suffisante pour garantir le bon fonctionnement du palier vis-à-vis de ce critère.

Question 51. La forme de la matrice est justifiée par :

- Une géométrie qui présente un axe de révolution,
- Un point d'expression de la matrice - G_1 - qui appartient à l'axe de révolution,
- Une base de calcul $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ qui est principale d'inertie

La condition d'équilibrage statique est vérifiée car le centre d'inertie G_1 appartient à l'axe de rotation. La condition d'équilibrage dynamique n'est pas vérifiée car l'axe de rotation n'est pas principal d'inertie (absence de plan de symétrie de normale \vec{z}_0) : la rotation du rotor va donc engendrer des vibrations dans les paliers.

Question 52. $\overline{\sigma(G_1, 1/0)} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_R \cdot \begin{bmatrix} -\varepsilon \cdot \dot{\theta} \\ 0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = -A_1 \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{x} + C_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{z}$

$\overline{\delta(G_1, 1/0)} = \frac{d\overline{\sigma(G_1, 1/0)}}{dt} \Big|_{R_0} = (-A_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \varepsilon \cdot \cos \varepsilon + C_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \varepsilon) \cdot \vec{y} = (C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \vec{y} \quad (dl1)$

Question 53. Isolons {1} pour écrire les équations issues du PFD avec $\overline{\Gamma(G_1, 1/0)} = \vec{0}$:

TRD / \vec{x}_1 : $X_{21} + X_{31} - m_1 \cdot g \cdot \sin \theta = 0$

TRD / \vec{y}_1 : $Y_{21} + Y_{31} - m_1 \cdot g \cdot \cos \theta = 0$

TMD en G_1 / \vec{x}_1 : $L \cdot Y_{21} - L \cdot Y_{31} = 0$

TMD en G_1 / \vec{y}_1 : $-L \cdot X_{21} + L \cdot X_{31} = (C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2$

La résolution de ce système de 4 équations à 4 inconnues donne :

$$Y_{21} = Y_{31} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2}$$

$$X_{21} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

$$X_{31} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} + \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

Et donc :

$$\begin{aligned} \vec{R}_A &= X_{21} \cdot \vec{x}_1 + Y_{21} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \left(\frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \right) \cdot \vec{x}_1 + \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} (\sin \theta \cdot \vec{x}_1 + \cos \theta \cdot \vec{y}_1) \\ &= \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} \cdot \vec{y}_0 \end{aligned}$$

$$\vec{R}_A = F_0 \cdot \vec{y}_0 + F_1 \cdot \vec{y}_1 \quad \text{avec} \quad F_0 = \frac{m_1 \cdot g}{2} \quad \text{et} \quad F_1 = \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

Question 54. $F_1 = F_0 \Leftrightarrow \frac{|(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon| \cdot \dot{\theta}^2}{2L} = \frac{m_1 \cdot g}{2}$ $\omega_{lim} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot L}{|(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon|}}$

Question 55.

Représentation de $-\vec{R}_A$ dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0)	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier est la circonférence entre les points M0 et M1.</p>	<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier couvre l'intégralité de la circonférence du palier.</p>

Représentation de $+\vec{R}_A$ dans la base (\vec{x}_1, \vec{y}_1)	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor couvre l'intégralité de la circonférence du rotor.</p>	<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor est la circonférence entre les points M'_0 et M'_1.</p>

Question 56. En phase de fonctionnement normal, la vitesse de rotation étant suffisamment inférieure à la vitesse limite, si le rotor était amené à se déformer alors la zone du palier où la charge s'appliquerait resterait limitée à celle prévue (à l'opposé des orifices d'injection du lubrifiant). Par contre, en phase de délestage lorsque la vitesse de rotation va augmenter, celle-ci intervenant au carré dans l'expression de F_1 , la zone du palier où la charge va s'appliquer va croître très rapidement entraînant un risque de portance insuffisante et donc une usure prématurée du palier.

Partie 4 : Étude des moyens de maintenance des éléments d'un groupe hydroélectrique

Question 57.

- Longueur \gg devant la section ;
- Matériau linéaire homogène et isotrope ;
- Les déformations sont petites ;
- Hypothèses de Navier-Bernoulli : les sections planes et perpendiculaires à l'axe de la poutre avant déformation restent planes et perpendiculaires à l'axe neutre après déformation ;
- Hypothèse de Saint Venant : les résultats de la RDM ne s'appliquent valablement qu'à une distance suffisamment éloignée de la région d'application des forces.

Question 58. Le poids propre de la poutre est modélisé par une charge uniformément répartie. La charge utile du pont roulant est modélisée par une charge ponctuelle. Le modèle possède 3 inconnues de liaisons que l'on peut déterminer grâce aux 3 équations du PFS dans le plan, le système est donc isostatique.

Question 59. $q = \rho \cdot g \cdot S = 56 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ $F_C = 600 \times 10 / 2 = 3000 \text{ kN}$

Question 60. $\{T_{coh}\} = \begin{pmatrix} N(x) & 0 \\ V(x) & 0 \\ 0 & M(x) \end{pmatrix}$

$N(x)$ = effort normal $V(x)$ = effort tranchant $M(x)$ = moment fléchissant

$0 < x < 5,8\text{m}$ $N(x) = 0$ $V(x) = q \cdot x - R_{yA}$ $M(x) = -q \cdot x^2 / 2 + R_{yA} \cdot x$

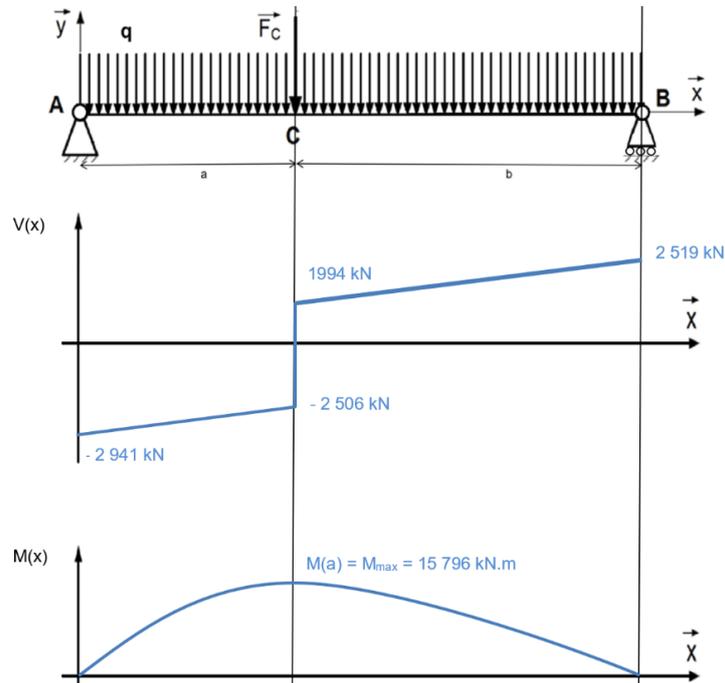
$$5,8\text{m} < x < 12,8\text{m}$$

$$N(x) = 0$$

$$V(x) = F_C + q \cdot x - R_{yA}$$

$$M(x) = -F_C \cdot (x - 5,8) - q \cdot x^2/2 + R_{yA} \cdot x$$

Question 61.



Question 62. $I = 0,2462 \text{ m}^4$ $\sigma_{\max} = 57,7 \text{ Mpa}$ $5 \sigma_{\max} = 288,5 \text{ Mpa} < 345 \text{ Mpa}$

Question 63. $E \cdot I \cdot f_r(x) = q \cdot L \cdot x^3/12 - q \cdot x^4/24 - q \cdot L^3 \cdot x/24$ $f_r(x) = \frac{q \cdot (2L \cdot x^3 - x^4 - L^3 \cdot x)}{24 \cdot E \cdot I}$

Question 64. $f_{r \text{ MAX}} = -\frac{5q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = -0,53 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible $L/400 = 12,8 / 400 = 32 \text{ mm}$, l'exigence est bien respectée.

Question 65. La valeur maximale de la déformée est observée au point d'abscisse $x = 6,24 \text{ m}$.

$f_r(6,24) = -0,32 \text{ mm}$ $f_p(6,24) = -3,95 \text{ mm}$

Flèche maximale : $\delta_{\max} = f_r(6,24) + f_p(6,24) = -0,32 - 3,95 = -4,27 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible : $f_{\max} = 12,8/750 = 17,06 \text{ mm}$

$\delta_{\max} < f_{\max}$ La poutre est correctement dimensionnée vis-à-vis de la flèche.

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

Cette épreuve, d'une durée de 6 heures, coefficient 1, est commune aux quatre options. Les candidats composent dans les mêmes conditions, sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié, « cette épreuve 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 ».

1. Présentation générale du sujet

Ce sujet porte sur l'étude de la centrale hydroélectrique de Pierre-Bénite, à proximité de Lyon, équipée de quatre groupes hydroélectriques à turbines installés chacun dans une conduite forcée. La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) doit assurer, en temps réel, un équilibre entre la puissance électrique qu'elle produit et la puissance électrique consommée par ses clients, reliés au réseau électrique européen.

Les installations électriques de la CNR doivent donc permettre de produire de l'électricité selon trois exigences principales :

- une exigence économique : l'électricité doit être produite au meilleur rendement possible ;
- une exigence technique : l'électricité doit être produite à une fréquence maintenue la plus proche possible de la fréquence du réseau électrique (50 Hz) afin de pouvoir s'y connecter ;
- une exigence de sécurité : la hauteur du Rhône doit être contrôlée au niveau de chaque aménagement.

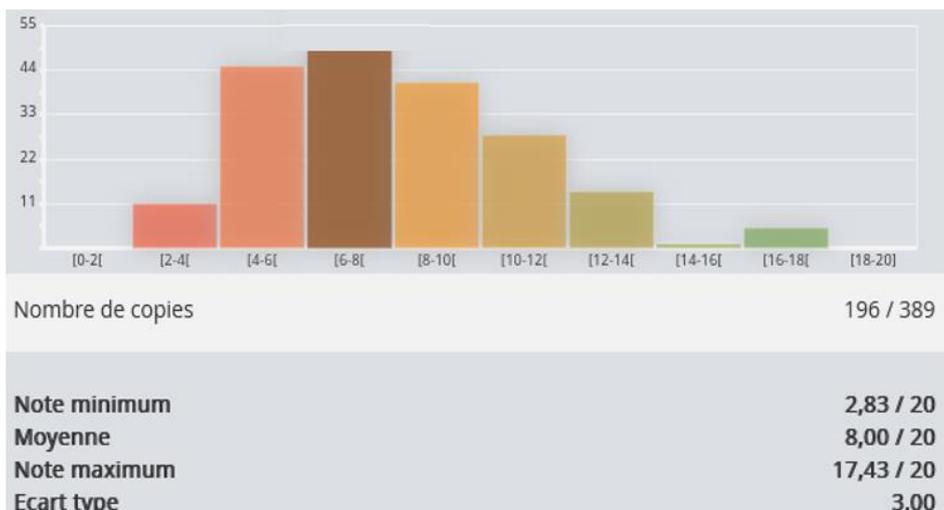
L'étude proposée s'articule autour des thématiques explicitées ci-après.

- partie 1 : étude de la production d'électricité. L'objectif est de valider la capacité du site à produire de l'énergie électrique à une valeur fixée et constante de fréquence ;
- partie 2 : étude de la régulation de vitesse du groupe hydroélectrique. L'objectif est de modéliser le système asservi qui permet de réguler la vitesse de rotation de l'alternateur d'un des groupes hydroélectriques, puis de valider les choix de composants et les performances de la boucle d'asservissement de vannage ;
- partie 3 : étude dynamique de la turbine. L'objectif est de modéliser les actions mécaniques transmises entre l'eau, la turbine et le bulbe (bâti), dans des conditions d'utilisations critiques telles qu'un emballement ou un délestage, afin de planifier le calendrier des phases de maintenance ;
- partie 4 : étude des moyens de maintenance des éléments d'un groupe hydroélectrique. L'objectif est de valider le dimensionnement des poutres transversales du pont roulant servant à la maintenance des turbines.

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

2. Analyse globale des résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve en option ingénierie mécanique (sur un total de 196 candidats qui ont composé) sont :

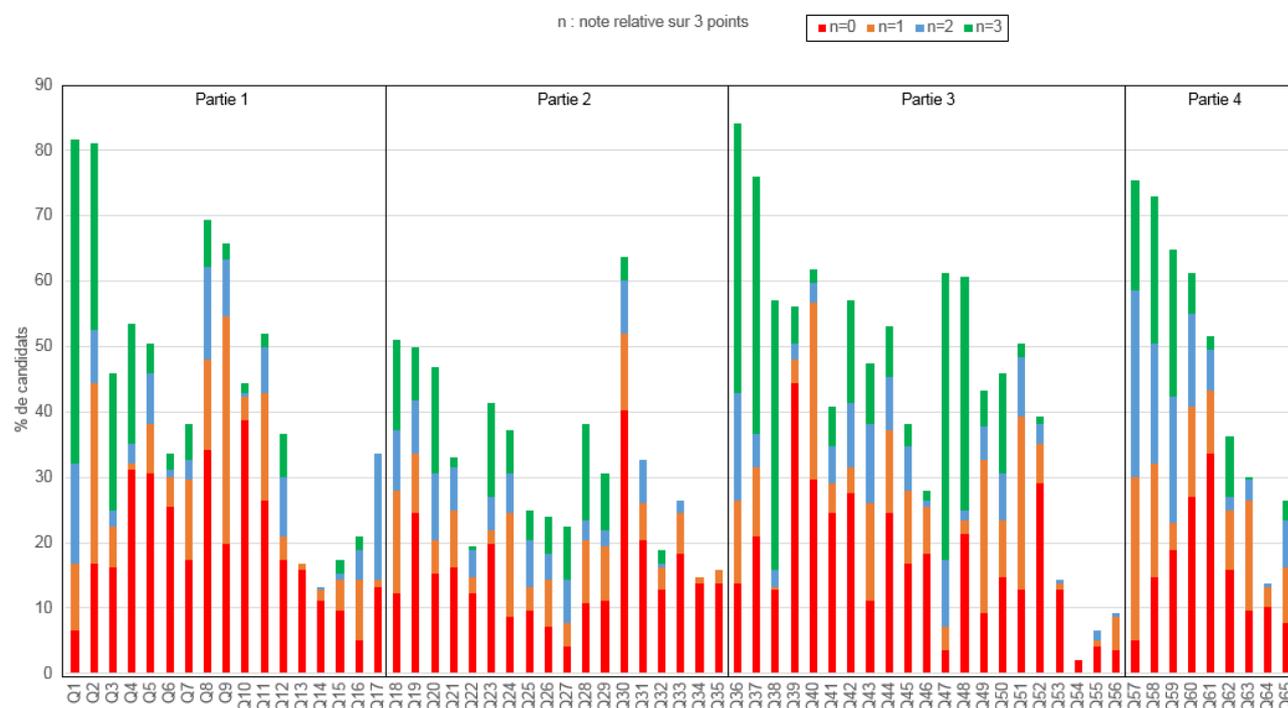


196 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 08/20, avec un écart-type de 03/20 avec :

- 17,43/20 comme meilleure note ;
- 02,83/20 comme note la plus basse.

3. Analyse spécifique aux candidats de l'option ingénierie mécanique

Les statistiques de réussite propre à chaque question du sujet sont synthétisées dans l'histogramme ci-dessous.



Le jury constate que toutes les parties du sujet ont été abordées. Comme les années précédentes, le jury a apprécié que la plupart des candidats fasse l'effort d'aborder des questions qui ne sont pas en lien direct avec leur spécialité. En effet, les lauréats du concours de l'agrégation seront appelés à intervenir dans les enseignements de sciences pour l'ingénieur en lycée pré-baccalauréat (enseignements de spécialité STI2D et Sciences de l'ingénieur) et post-baccalauréat

(Brevet de technicien supérieur et classe préparatoire aux grandes écoles). Les professeurs agrégés peuvent également être affectés dans des établissements tels que les IUT, les universités ou les écoles d'ingénieurs. Un travail de préparation sur les différentes options est donc fondamental en vue d'une potentielle affectation hors de son domaine de spécialité.

Le barème de cette épreuve n'évaluant pas exclusivement les résultats finaux, les candidats doivent accorder davantage d'importance à leurs justifications en proposant une rédaction qui permette aux correcteurs de comprendre la démarche suivie et les hypothèses formulées. Le jury constate trop souvent un manque de rigueur des candidats sur l'écriture des notations, en particulier sur l'écriture torsorielle et vectorielle. Le jury conseille vivement aux candidats de vérifier la cohérence des expressions littérales explicitées et surtout leur homogénéité.

De plus, même si l'évaluation ne tient pas compte de la qualité de l'écriture des candidats, le jury insiste sur le fait qu'un futur enseignant se doit de fournir des documents lisibles, et avec une orthographe et une grammaire correcte.

Partie 1 : Étude de la production d'électricité

La première partie a été abordée par environ 80% des candidats. Le jury s'étonne que beaucoup de candidats ne soient pas capables de réaliser correctement les applications numériques lorsque les relations sont données. De plus, lorsque l'application numérique semble aberrante, il est attendu que le candidat le mentionne dans sa copie. Les ordres de grandeur doivent être maîtrisés.

Le jury a souvent observé un manque de rigueur avec le formalisme, notamment avec la manipulation des complexes.

Partie 2 : Étude de la régulation

L'analyse des résultats montre que la deuxième partie est la moins réussie par les candidats.

Les premières questions de cette partie portaient sur la programmation en langage Python. Les réponses des candidats sont souvent approximatives, tant dans l'interprétation d'un code que dans l'écriture de celui-ci. Les raisonnements liés à la programmation et la syntaxe du langage sont souvent mal maîtrisés. Ces questions ont été abordées par moins de la moitié des candidats.

Les questions suivantes, qui portaient sur l'électronique et l'asservissement ont également été abordées par moins de la moitié des candidats. Les thématiques abordées tel que les fonctions de transfert dans le domaine de Laplace, les marges de stabilité,... font pourtant appel à des savoirs fondamentaux pour un futur professeur de sciences industrielles.

Partie 3 : Étude dynamique de la turbine

La partie 3 a été abordée par la quasi-totalité des candidats. Cependant, les théorèmes fondamentaux de la mécanique, tel que le théorème de l'énergie cinétique, sont souvent mal maîtrisés et/ou mal rédigés. De plus, les phénomènes physiques propres à la mécanique comme les notions de portance et de trainée, de pression de contact, de frottement ou d'équilibrage ne sont pas suffisamment maîtrisés. Le jury constate une rigueur insuffisante que ce soit au niveau du calcul d'un vecteur vitesse, ou au niveau de l'écriture d'un torseur d'action mécanique. Les candidats doivent être plus exigeants dans l'écriture mathématique de leurs calculs.

Le jury note que très peu de candidats ont traité la fin de cette partie qui nécessitait de prendre du recul sur les activités réalisées précédemment. Le jury constate que trop de candidats semblent traiter les questions indépendamment les unes des autres, sans bien comprendre leur enchaînement. Chaque partie du sujet répond à un objectif. Ainsi, les conclusions formulées doivent alimenter la réponse à cette problématique.

Partie 4 : Étude des moyens de maintenance

La dernière partie est la mieux réussie par les candidats. Cependant, trop de candidats ne savent pas déterminer les actions mécaniques au niveau des liaisons. Ainsi, l'étude de résistance des matériaux ne peut pas être conduite convenablement. Beaucoup de candidats ont réalisé de très longs calculs sans les mener à leurs termes. Cette partie ne pouvait pas être réussie sans connaître les relations fondamentales de la résistance des matériaux et permettant de déterminer les contraintes et les déformées des poutres.

4. Conseils aux futurs candidats

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder chacune des parties. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection.

Le jury 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 refusent d'évoluer vers une approche transversale et sélectionnent les questions relatives aux différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur.

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

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction.

La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible.

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

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.

5. Conclusion

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

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.

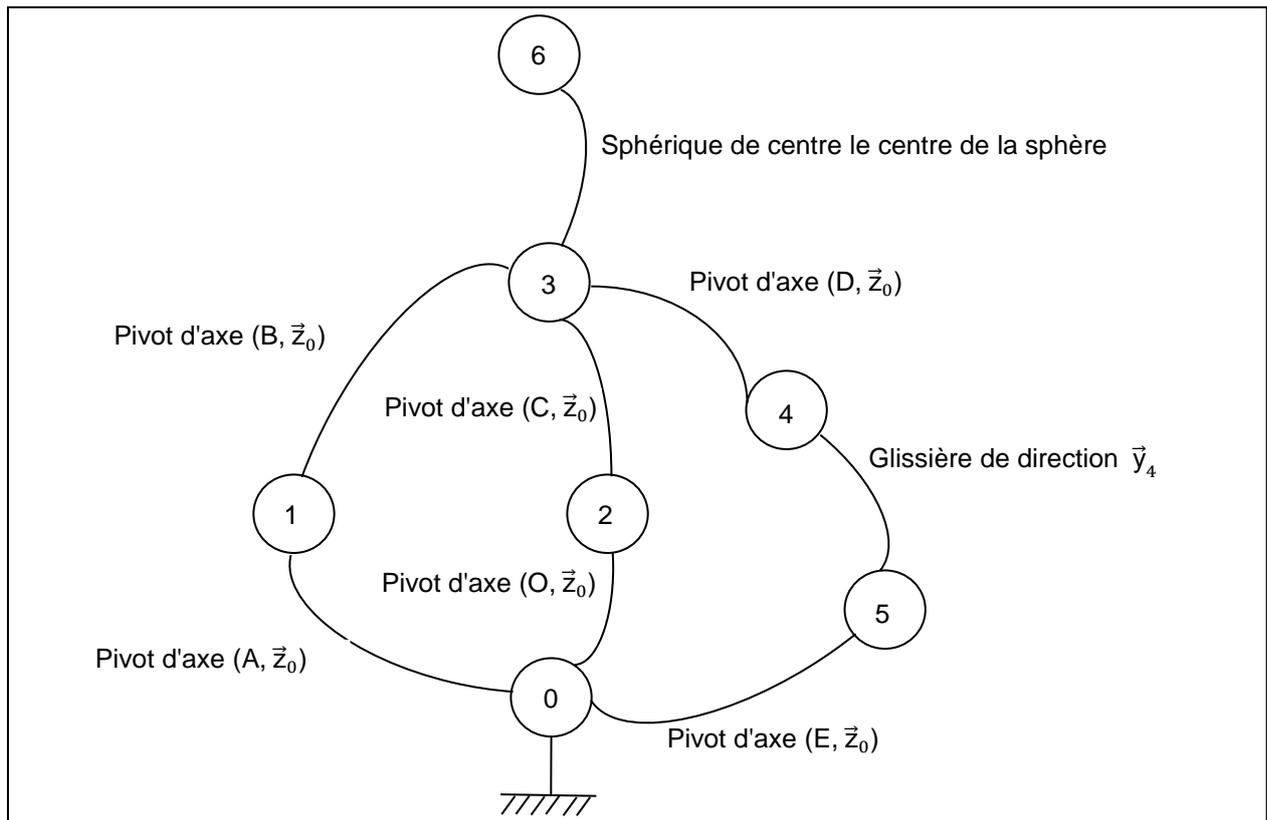
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou 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/15945/download>

1. Éléments de correction

Question 1



Question 2

Translation circulaire

Question 3

$$\overrightarrow{OF} = \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{CF} = \begin{cases} x_F(t) = L_2 \cdot \cos \theta(t) \\ y_F(t) = L_2 \cdot \sin \theta(t) + H \end{cases}$$

Trajectoire : cercle de centre (O,H,O) de rayon L_2

Question 4 D

$$\begin{aligned} y_{\min} &= L_2 \cdot \sin \theta_{\min} + H \\ y_{\min} - H &= L_2 \cdot \sin \theta_{\min} \end{aligned}$$

$$\theta_{\min} = \text{Arcsin} \left(\frac{y_{\min} - H}{L_2} \right)$$

$$\text{A.N : } \theta_{\min} = \text{Arcsin} \left(\frac{330-200}{304} \right) = 25,32^\circ = 0,44 \text{ rad}$$

Question 5

La documentation donne pour la référence Silent bloc 511157 une flèche = écrasement = 7 mm

Écrasement = $y_{\max} - y_{\min} = 7 \text{ mm} \rightarrow y_{\max} = y_{\min} + 7 = 330 + 7 = 337 \text{ mm}$

$$y_{\max} = 0,337 \text{ m}$$

Question 6

$$\theta_{\max} = \text{Arcsin} \left(\frac{y_{\max} - H}{L_2} \right)$$

$$\text{A.N : } \theta_{\max} = \text{Arcsin} \left(\frac{337-200}{304} \right) = 26,79^\circ = \theta_{\max} = 0,47 \text{ rad}$$

Question 7

Fermeture géométrique : $\overrightarrow{OE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CO} = \vec{0}$

$$L_0 \cdot \vec{x}_0 + \lambda \cdot \vec{y}_4 + a \cdot \vec{x}_0 - b \cdot \vec{y}_0 - L_2 \cdot \vec{x}_2 = \vec{0}$$

Après projection sur les axes \vec{x}_0 et \vec{y}_0 , on obtient :

$$\begin{cases} L_0 - \lambda \cdot \sin \alpha + a - L_2 \cdot \cos \theta = 0 \\ \lambda \cdot \cos \alpha - b - L_2 \cdot \sin \theta = 0 \end{cases}$$

On élimine α :

$$(\lambda \cdot \sin \alpha)^2 + (\lambda \cdot \cos \alpha)^2 = \lambda^2 = (L_0 + a - L_2 \cdot \cos \theta)^2 + (b + L_2 \cdot \sin \theta)^2$$

$$\lambda = \sqrt{(L_0 + a - L_2 \cdot \cos \theta)^2 + (b + L_2 \cdot \sin \theta)^2}$$

Question 8

λ_{\max} à partir de θ_{\max} .

$$\lambda_{\max} = \sqrt{(L_0 + a - L_2 \cdot \cos \theta_{\max})^2 + (b + L_2 \cdot \sin \theta_{\max})^2}$$

$$\text{A.N : } \lambda_{\max} = 557,64 \text{ mm}$$

La valeur limite supérieure donnée de λ est de 560 mm, le vérin électrique est donc capable d'assurer la compression maximale des silent blocs.

Question 9

Le document technique donne, pour le Silent bloc 511157, un effort de 120 daN pour une flèche (écrasement) de 7 mm.

Il y a quatre silent blocs donc l'effort total généré est : $F_{sb} = 1200 \cdot 4 = 4800 \text{ N}$

Question 10

On isole 1, système soumis à 2 glisseurs de direction (AB)

On isole 2, système soumis à 2 glisseurs de direction (OC)

On isole (4+5), système soumis à 2 glisseurs de direction (DE)

On isole le plateau, système soumis à l'action de 6 glisseurs parallèles de direction \vec{y}_0 (4 silents blocs, poids propre et action de 6 au point F). On en déduit $\vec{F}_{6 \rightarrow \text{plateau}}$

On isole (3+6), système soumis à 4 glisseurs dont toutes les directions sont connues donc on peut déterminer $\vec{D}_{4 \rightarrow 3}$.

Question 11

- On isole 1, système soumis à 2 glisseurs de direction (AB). On en déduit

$$\{T_{1 \rightarrow 3}\}_B = \begin{Bmatrix} \vec{B}_{1 \rightarrow 3} = B_{1 \rightarrow 3} \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

- On isole 2, système soumis à 2 glisseurs de direction (OC). On en déduit

$$\{T_{2 \rightarrow 3}\}_C = \begin{Bmatrix} \vec{C}_{2 \rightarrow 3} = C_{2 \rightarrow 3} \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C$$

- On isole (4+5), système soumis à 2 glisseurs de direction (DE). On en déduit

$$\{T_{4 \rightarrow 3}\}_D = \begin{Bmatrix} \vec{D}_{4 \rightarrow 3} = D_{4 \rightarrow 3} \vec{y}_4 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D$$

- On isole le plateau soumis à l'action de 6 glisseurs parallèles de direction \vec{y}_0 (4 silent-blocs, poids propre et action de 6 au point F). On en déduit

$$\{T_{\text{plateau} \rightarrow 6}\}_F = \begin{Bmatrix} \vec{F}_{\text{plateau} \rightarrow 6} = -(F_{sb} + Mg) \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_F$$

- On isole (3+6), système en équilibre sous l'action de :

$$\left\{ \begin{Bmatrix} \vec{B}_{1 \rightarrow 3} = B_{1 \rightarrow 3} \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B ; \begin{Bmatrix} \vec{C}_{2 \rightarrow 3} = C_{2 \rightarrow 3} \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C ; \begin{Bmatrix} \vec{D}_{4 \rightarrow 3} = D_{4 \rightarrow 3} \vec{y}_4 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D \right\} \text{ et } \left\{ \begin{Bmatrix} \vec{F}_{\text{plateau} \rightarrow 6} = -(F_{sb} + Mg) \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_F \right\}$$

Théorème de la résultante statique en projection sur \vec{x}_0 puis \vec{y}_0 ,

$$\begin{aligned} (B_{1 \rightarrow 3} + C_{2 \rightarrow 3}) \cos \theta - D_{4 \rightarrow 3} \sin \alpha &= 0 \\ (B_{1 \rightarrow 3} + C_{2 \rightarrow 3}) \sin \theta + D_{4 \rightarrow 3} \cos \alpha - (F_{sb} + Mg) &= 0 \end{aligned}$$

En combinant ces 2 équations, on obtient : $D_{4 \rightarrow 3} = \frac{F_{sb} + Mg}{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \theta}$

L'effort maximal correspondant à θ_{\max} et α_{\max} est donc $\vec{D}_{4 \rightarrow 3} = \frac{F_{sb} + Mg}{\cos \alpha_{\max} + \sin \alpha_{\max} \tan \theta_{\max}} \vec{y}_4$

A. N : $\theta_{\max} = 0,47 \text{ rad}$; $\alpha_{\max} = 1,07 \text{ rad}$; $F_{sb} = 4800 \text{ N}$; $M = 50,7 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

$$\|\vec{D}_{4 \rightarrow 3}\| = 5722,5 \text{ N}$$

On atteint presque la valeur maximale de poussée du vérin. Compte tenu des hypothèses simplificatrices de liaisons parfaites, la valeur pourrait être supérieure à 6000 N. De plus, le calcul est fait sans tenir compte du poids du patient. Il convient donc de changer de solution pour le système de levage.

Question 12

La pression maximale est déterminée dans le cas le plus défavorable : silent blocs déformés au maximum et poids du plateau (sans patient). L'effort au niveau du contact entre la sphère et le plan au point F est alors de $4800 + (50,7 \cdot 9,81) = 5297,4 \text{ N}$

On applique les formules de la théorie de Hertz données en annexe **b**.

$R = 20 \text{ mm}$; $N = 5297,4 \text{ Newton}$;

$$k_1 = k_2 = \frac{1-\nu^2}{\pi E} = \frac{1-0,3^2}{\pi \cdot 200000} = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ N}^{-1}\text{mm}^2$$

La formule ci-contre donne $a = 0,898 \text{ mm}$

$$p_{\max} = \frac{3 \cdot 5297,4}{2 \cdot \pi \cdot (0,898)^2} = 3136,5 \text{ MPa}$$

La pression locale au contact est très largement supérieure à la limite élastique du matériau, la zone de contact subit une déformation plastique. L'exigence de non matage n'est pas vérifiée.

Question 13

On applique le PFS au plateau isolé, TRS en projection sur \vec{y}_0 : $-P_{\text{plateau}} + 4F_r = 0$

$$\vec{F}_r = \frac{P_{\text{plateau}}}{4} \vec{y}_0$$

$$\text{A.N : } F_r = P_{\text{plateau}}/4 = (50,7 \cdot 9,81)/4 = \boxed{F_r = 124,34 \text{ N}}$$

Question 14

Pour un ressort, $F_r = k \cdot (L_1 - L_0)$

$$\boxed{L_1 = \frac{F_r}{k} + L_0} \quad \text{A.N : } L_1 = \frac{124,34}{2,04} + 290 = \boxed{L_1 = 351 \text{ mm}}$$

Question 15

$F_r = k \cdot (L_2 - L_0)$

$$\boxed{F_r = k \cdot [(L_1 + c_{\text{moy}}) - L_0]} \quad \text{A.N : } F_r = 2,04 \cdot [(351 + 60) - 290] = \boxed{F_r = 246,74 \text{ N}}$$

Question 16

On applique le PFS au plateau isolé, TRS en projection sur \vec{y}_0 : $4 \cdot F_r - m_{\text{plateau}} g - M_{\text{moy}} g + 3F_v = 0$

$$\vec{F}_v = \left[\frac{1}{3} (m_{\text{plateau}} + M_{\text{moy}}) g - 4F_r \right] \vec{y}_0$$

OU

$$\vec{F}_v = \left[\frac{1}{3} (m_{\text{plateau}} + M_{\text{moy}}) g - 4k(L_1 + c_{\text{moy}} - L_0) \right] \vec{y}_0$$

OU

$$\vec{F}_v = \left[\frac{1}{3} (m_{\text{plateau}} + M_{\text{moy}}) g - 4k(L_2 - L_0) \right] \vec{y}_0$$

$$\text{A.N : } F_v = 1/3 \cdot (70 \cdot 9,81 + 50,7 \cdot 9,81 - 4 \cdot 246,74) = \boxed{F_v = 65,7 \text{ N}}$$

Le vérin pousse vers le haut car l'effort est orienté positivement.

Question 17

On applique le PFS au plateau isolé, TRS en projection sur \vec{y}_0 :

$$-m_{\text{plateau}} g - P_{\text{patient}} + 4 \cdot F_r + 3F_v = 0$$

$$\vec{F}_v = \frac{1}{3} \left[(P_{\text{patient}} + m_{\text{plateau}} g) - 4F_r \right] \vec{y}_0$$

OU

$$\vec{F}_v = \frac{1}{3} \left[(P_{\text{patient}} + m_{\text{plateau}} g) - 4k(L_1 + c_{\text{moy}} - L_0) \right] \vec{y}_0$$

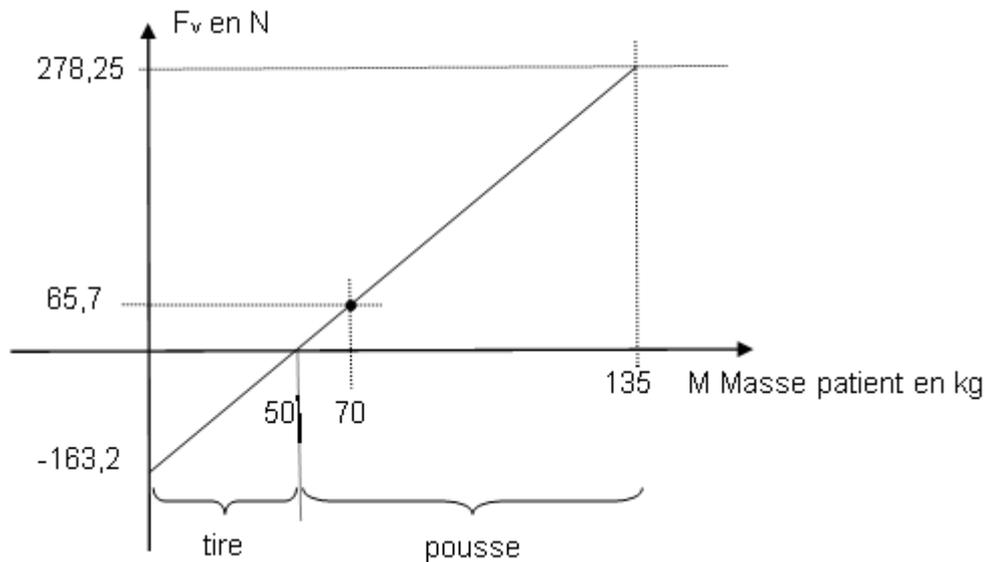
Question 18

D'après la question 17 et en remplaçant $P_{\text{patient}} = Mg$

$$F_v = \frac{1}{3}[(M + m_{\text{plateau}})g - 4Fr] \text{ La courbe } F_v(M) \text{ est une droite de pente } 1/3g$$

$$A.N : F_v = \frac{1}{3}[(M + 50,7)*9.81 - 4*246,74] = F_v(M) = 3,27 M - 163,2$$

C'est une droite de pente $1/3*g$.



Question 19

Les vérins tirent vers le bas si la masse du patient est inférieure à 50 kg

Les vérins poussent vers le haut si la masse du patient est supérieure à 50 kg

Question 20

La pression maximale est calculée pour le vérin en sortie de tige et un générant un effort maximal de 278,25 N :

$$F_v = p*S = p*\frac{\pi D^2}{4}$$

$$p = \frac{F_v}{S} = \frac{4 F_v}{\pi D^2}$$

$$A. N : = \frac{F_v}{S} = \frac{4 * 27.825}{\pi * 2,5^2} = 5,7 \text{ bars}$$

En tenant compte du taux de charge : $p_{\text{max}} = 5,7*(1/0.8) = 7,1 \text{ bars}$

Pression environ égale à 7 bars donc l'alimentation est possible dans le cas le plus défavorable. (On peut vérifier que le cas défavorable n'est pas celui où le vérin tire au maximum).

Question 21

$$\{T_{\text{plateau inf} \rightarrow \text{plateau sup}}\}_{C_i} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{C}_i = Z_i \vec{z} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{C_i}, i \in [1,2,3]$$

Question 22

$$\text{TMS en O : } \vec{OC}_1 \wedge \vec{C}_1 + \vec{OC}_2 \wedge \vec{C}_2 + \vec{OC}_3 \wedge \vec{C}_3 + \vec{OG} \wedge \vec{P}_{pa} + \vec{OO} \wedge \vec{P}_{ps} = \vec{0}$$

On exprime numériquement les coordonnées des points en fonction de R :

$$\vec{OC}_1 = R \vec{y}; \vec{OC}_2 = -\frac{R\sqrt{3}}{2} \vec{x} - \frac{R}{2} \vec{y}; \vec{OC}_3 = \frac{R\sqrt{3}}{2} \vec{x} - \frac{R}{2} \vec{y}$$

$$R \vec{y} \wedge Z_1 \vec{z} + \left(-\frac{R\sqrt{3}}{2} \vec{x} - \frac{R}{2} \vec{y}\right) \wedge Z_2 \vec{z} + \left(\frac{R\sqrt{3}}{2} \vec{x} - \frac{R}{2} \vec{y}\right) \wedge Z_3 \vec{z} + (X_G \vec{x} + Y_G \vec{y} + Z_G \vec{z}) \wedge P_{pa} \vec{z} = \vec{0}$$

Après calcul :

$$X_G = \frac{\sqrt{3} R}{2 P_{pa}} (Z_3 - Z_2)$$

$$Y_G = \frac{R}{P_{pa}} \left[Z_1 - \frac{1}{2} (Z_2 + Z_3) \right]$$

Question 23

$$d = \sqrt{X_G^2 + Y_G^2} = \frac{R}{P_{pa}} \sqrt{\frac{3}{4} (Z_3 - Z_2)^2 + \left[Z_1 - \frac{1}{2} (Z_2 + Z_3) \right]^2}$$

Question 24

$$\left\{ T_{\text{vérin} \rightarrow \text{support}} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R} = T\vec{x} + P\vec{y} \\ \vec{M}_A = \vec{M}_B + \vec{AB} \wedge \vec{R} = (C\vec{x} + M\vec{z}) + e\vec{y} \wedge (T\vec{x} + P\vec{y}) \end{array} \right\}_A$$

$$\left\{ T_{\text{vérin} \rightarrow \text{support}} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R} = T\vec{x} + P\vec{y} \\ \vec{M}_A = C\vec{x} + (M - eT)\vec{z} \end{array} \right\}_A$$

$$A.N : \left\{ T_{\text{vérin} \rightarrow \text{support}} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} -4000 \vec{x} - 200 \vec{y} \\ -14000 \vec{x} + 156000 \vec{z} \end{array} \right\}_A$$

Question 25 Déterminer l'expression du torseur des actions mécaniques de cohésion en tout point G(x) de la fibre moyenne du support. Nommer les sollicitations que subit le support.

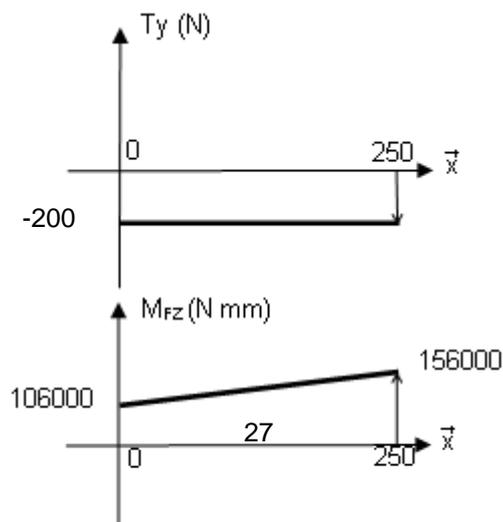
$$\left\{ T_{\text{cohésion}} \right\}_{G(x)} = + \left\{ T_{\text{ext} \rightarrow \text{droite}} \right\}_{G(x)}$$

$$\left\{ T_{\text{cohésion}} \right\}_{G(x)} = \left\{ \begin{array}{l} T\vec{x} + P\vec{y} \\ C\vec{x} + [M - eT + P(L - x)]\vec{z} \end{array} \right\}_{G(x)} = \left\{ \begin{array}{cc} T & C \\ P & 0 \\ 0 & M - eT + P(L - x) \end{array} \right\}_{(G(x), \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$A.N : \left\{ T_{\text{cohésion}} \right\}_{G(x)} = \left\{ \begin{array}{l} -4000 \vec{x} - 200 \vec{y} \\ -14000 \vec{x} + [156000 - 200(250 - x)] \vec{z} \end{array} \right\}_{G(x)}$$

Sollicitations subies : compression, cisaillement, torsion et flexion simple.

Question 26



Compte tenu des valeurs numériques du moment de torsion, on ne s'intéressera, dans la suite, qu'à la contrainte normale.

Question 27

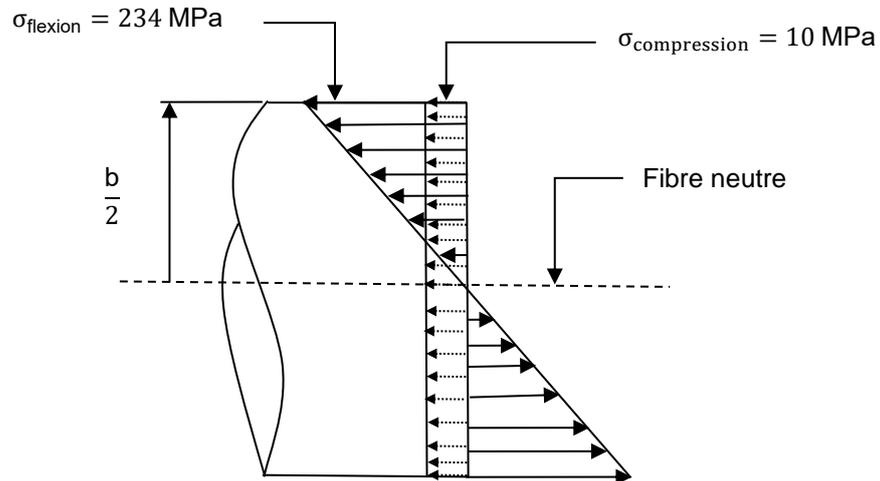
Les diagrammes de la question 24 montrent que la section la plus sollicitée est en A pour $x=L$. Elle subit une sollicitation composée due à un moment fléchissant maximal et à une compression.

- $$|\sigma_{\text{flexion}}|_{\text{max}} = \frac{|M_{fz}|}{I_{Gz}} = \frac{|M_{fz}|}{\frac{ab^3}{12} \cdot \frac{2}{b}} = \boxed{|\sigma_{\text{flexion}}|_{\text{max}} = \frac{6|M-eT|}{ab^2}}$$

$$I_{Gz} = \frac{ab^3}{12} = \frac{40 \cdot 10^3}{12}; v = \frac{b}{2}$$

A.N : $|\sigma_{\text{flexion}}|_{\text{max}} = \frac{156000 \cdot 6}{40 \cdot 10^2} = 234 \text{ MPa}$
- $$\boxed{|\sigma_{\text{compression}}| = \frac{|N|}{S} = \frac{|T|}{ab}}$$

A.N : $|\sigma_{\text{compression}}| = \frac{4000}{40 \cdot 10} = 10 \text{ MPa}$
- $|\sigma| = |\sigma_{\text{flexion}}|_{\text{max}} + |\sigma_{\text{compression}}| = 234 + 10 = 244 \text{ MPa}$. Cette contrainte de compression est maximale en $+\frac{b}{2}$, fibre supérieure.



Question 28

La déformée est donnée par l'équation suivante :

$$EI_{GZ}y''(x) = M_{fz}(x)$$

$$EI_{GZ}y''(x) = (M - eT) + P(L - x)$$

$$EI_{GZ}y'(x) = (M - eT + PL)x - P \frac{x^2}{2} + A$$

$$EI_{GZ}y(x) = (M - eT + PL) \frac{x^2}{2} - P \frac{x^3}{6} + Ax + B$$

Condition aux limites à l'encastrement en $x=0$, $y(0)=0$ et $y'(0)=0 \rightarrow A=B=0$

$$y(x) = \frac{1}{EI_{GZ}} \left((M - eT + PL) \frac{x^2}{2} - P \frac{x^3}{6} \right)$$

La flèche en A : $y(L) = \frac{1}{EI_{GZ}} \left((M - eT + PL) \frac{L^2}{2} - P \frac{L^3}{6} \right)$

$$f = y(250) = 5,47 \text{ mm}$$

Avec $I_{gz} = \frac{ab^3}{12} = \frac{40 \cdot 10^3}{12}$ et $E=210000 \text{ MPa}$

Question 29

La contrainte maximale n'atteint pas la limite élastique du matériau de 355 MPa. Mais, la flèche de 5,47 mm est largement supérieure à 0,1 mm. Donc l'exigence de rigidité du guidage du vérin n'est pas respectée.

Question 30

- Changer le matériau pour augmenter le module de Young et donc la rigidité.
- Modifier la forme de la pièce pour augmenter la section, poutre d'isocontrainte

Question 31

On observe bien 4 phases différentes de mouvement et 4 phases d'arrêt. Le dernier arrêt n'ayant pas été enregistré. Sur chaque mouvement les durées de démarrage et de freinage semblent similaires autour de 20s.

Question 32

En posant $t_1 = 2s$ (durée finale de fin d'augmentation de l'accélération) et $a_1(t=t_1)=a_1$ et $t_2 = 18s$ durée de fin de démarrage on obtient l'expression de l'accélération longitudinale :

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} a(t) = \frac{a_1}{t_1} t \\ \\ t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} a(t) = -\frac{a_1}{t_2-t_1} (t - t_1) + a_1 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

En intégrant, on obtient l'expression de la vitesse longitudinale avec $V(0) = 0$ car le métro est à l'arrêt au démarrage :

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} V(t) = \frac{a_1}{2t_1} t^2 \\ \\ t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} V(t) = -\frac{a_1}{2(t_2-t_1)} (t - t_1)^2 + a_1 \cdot (t - t_1) + V(t_1) = \\ = -\frac{a_1}{2(t_2-t_1)} (t - t_1)^2 + a_1 \cdot (t - t_1) + \frac{a_1 t_1}{2} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

On peut alors réintégrer pour avoir l'expression de la position longitudinale avec $x(0) = 0$ car le métro en position de référence au démarrage :

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} x(t) = \frac{a_1}{6t_1} t^3 \\ \\ t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} x(t) = -\frac{a_1}{6(t_2-t_1)} (t - t_1)^3 + \frac{a_1}{2} t^2 + \frac{a_1 t_1}{2} t + x(t_1) \\ = -\frac{a_1}{6(t_2-t_1)} (t - t_1)^3 + \frac{a_1}{2} (t - t_1)^2 + \frac{a_1 t_1}{2} (t - t_1) + \frac{a_1}{6} t_1^2 \end{array} \right. \end{array} \right.$$

On trouve alors en distance finale,

$$x(t_2) = a_1 \left[-\frac{(t_2 - t_1)^2}{3} + \frac{t_1(t_2 - t_1)}{2} + \frac{t_1^2}{6} \right]$$

L'application numérique donne 112,2m ce qui est beaucoup trop vis-à-vis de l'exigence d'encombrement de la machine de test.

Question 33

On peut commencer par calculer l'accélération $\vec{a}(O_1, 1/0)$

$$\vec{a}(O_1, 1/0) = \frac{d\vec{V}(O_1, 1/0)}{dt}_{R_0}$$

$$\vec{V}(O_1, 1/0) = \frac{d\vec{OO}_1}{dt}_{R_0} = \frac{dX_1\vec{x}_1 + Y_1\vec{y}_1}{dt}_{R_0} = \dot{\theta}(X_1\vec{y}_1 - Y_1\vec{x}_1)$$

Ainsi,

$$\vec{a}(O_1, 1/0) = \frac{d\vec{V}(O_1, 1/0)}{dt}_{R_0} = \ddot{\theta}(X_1\vec{y}_1 - Y_1\vec{x}_1) + \dot{\theta}^2(-X_1\vec{x}_1 - Y_1\vec{y}_1)$$

On obtient alors

$$\vec{a}(O_1, 1/0) \cdot \vec{x}_1 = -Y_1\ddot{\theta} - X_1\dot{\theta}^2.$$

On obtient alors l'expression de l'accélération ressentie :

$$a_r(t) = -Y_1\ddot{\theta} - X_1\dot{\theta}^2 + g\sin\theta(t).$$

Question 34

D'après le profil de la figure 18(b) on donne les valeurs de a_r , $\dot{\theta}$ et $\ddot{\theta}$.

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} a_r(t) = -X_1\theta_{p1}^2 + g\sin\theta(t) \approx -X_1\theta_{p1}^2 + g\theta(t) \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p1} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

$$t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} a_r(t) = -X_1\theta_{p2}^2 + g\sin\theta(t) \approx -X_1\theta_{p2}^2 + g\theta(t) \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p2} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

On obtient alors l'expression de sa variation,

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{da_r}{dt} = g\dot{\theta}(t) = g\theta_{p1} = a_{rp1} \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p1} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

$$t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{da_r}{dt} = g\dot{\theta}(t) = g\theta_{p2} = a_{rp2} \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p2} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

Question 35

D'après la question précédente

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} a_r(t) = -X_1\theta_{p1}^2 + g\theta(t) = a_{rp1} \cdot t = -X_1 \left(\frac{a_{rp1}}{g} \right)^2 + g\theta(t) \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p1} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

$$t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} a_r(t) = -X_1\theta_{p2}^2 + g\theta(t) = a_{rp2} \cdot (t - t_1) + a_r(t_1) = -X_1\theta_{p2}^2 + g\theta(t) \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p2} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

On obtient alors les expressions de θ .

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta(t) = \frac{1}{g} \left[a_{rp1} \cdot t + X_1 \left(\frac{a_{rp1}}{g} \right)^2 \right] \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p1} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

$$t \in [t_1, t_2] \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta(t) = \frac{1}{g} \left[a_{rp2} \cdot (t - t_1) + a_{rp1}t_1 + X_1 \left(\frac{a_{rp2}}{g} \right)^2 \right] \\ \dot{\theta}(t) = \theta_{p2} \\ \ddot{\theta}(t) = 0 \end{array} \right.$$

Question 36

En $t = t_1 = 2s$ le moment où l'accélération ressentie sera la plus fort, L'application numérique donne

$$t = t_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} a_r(t) = -X_1 \left(\frac{a_{rp1}}{g} \right)^2 + g\theta(t) = -3,1 \times 10^{-4} + 9,81 \cdot \theta(t) \\ a_r(t) = -X_1 \left(\frac{a_{rp2}}{g} \right)^2 + g\theta(t) = -4,9 \times 10^{-6} + 9,81 \cdot \theta(t) \end{array} \right.$$

On peut alors donner l'expression θ en t_1 :

$$t = t_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta(t) = 6.424^\circ \\ \theta(t) = 6.423^\circ \end{array} \right.$$

L'angle maximale est légèrement différent selon que l'on prenne une zone ou une autre mais à 10^{-3} .° près.

En $t = t_1$ L'accélération ressentie due à la pesanteur vaut $G \cdot \theta(t_1) = 1,1m \cdot s^{-2}$ alors que celle due aux mouvements de la plateforme vaut :

$$-X_1 \left(\frac{a_{rp1}}{g} \right)^2 = -3,1 \times 10^{-4} m \cdot s^{-2}.$$

La pesanteur est donc bien prépondérante.

Question 37

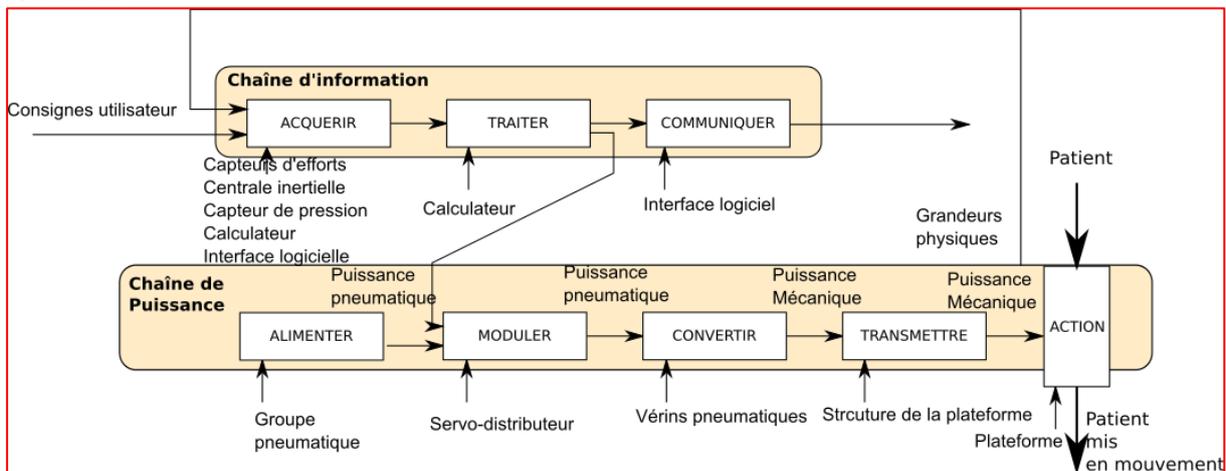
La question précédente montre bien que pour restituer une accélération ressentie qui varie de façon linéaire comme sur les phases de démarrage du métro, il convient de contrôler l'angle d'inclinaison de plateforme et lui donner la même régularité que l'accélération ressentie voulue. On peut donc proposer l'évolution de $\theta(t)$ suivante,

$$\theta(t) = \frac{a_r(t)}{g}.$$

Ce qui donne,

$$t \in [0, t_1] \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta(t) = \frac{a_{rp1}}{g} \\ \theta(t) = \frac{a_{rp2}}{g} \end{array} \right.$$

Question 38



Question 39

Il y a 5 mobilités utiles.

Question 40

Si les deux vérins sont pilotés simultanément et les 3 vérins verticaux bloqués, il ne reste plus qu'une mobilité utile liée à la translation des vérins. Le reste du mécanisme ayant un plan de symétrie on peut faire cette hypothèse de modélisation plane.

Question 41

Utilisons une fermeture géométrique :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DA} &= \vec{0} \\ \Leftrightarrow \\ \lambda_2 \vec{y}_2 + l \vec{x}_1 - \lambda_4 \vec{y}_4 - L \vec{x}_0 &= \vec{0} \end{aligned}$$

Ce qui donne en projection dans la base $B_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$

$$\begin{aligned} (a) \cdot \vec{x}_0 &\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_2 \sin \theta_{20} + l \cos \theta_{10} + \lambda_4 \sin \theta_{40} - L = 0 \\ \lambda_2 \cos \theta_{20} + l \sin \theta_{10} - \lambda_4 \cos \theta_{40} = 0 \end{array} \right. \\ (b) \cdot \vec{y}_0 &\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_2 \sin \theta_{20} + l \cos \theta_{10} - L = -\lambda_4 \sin \theta_{40} \\ \lambda_2 \cos \theta_{20} + l \sin \theta_{10} = \lambda_4 \cos \theta_{40} \end{array} \right. \end{aligned} \Leftrightarrow$$

En effectuant $(a)^2 + (b)^2$, on obtient :

$$\lambda_4 = \frac{\lambda_4}{\sqrt{(-\lambda_2 \sin \theta_{20} + l \cos \theta_{10} - L)^2 + (\lambda_2 \cos \theta_{20} + l \sin \theta_{10})^2}}$$

Question 42

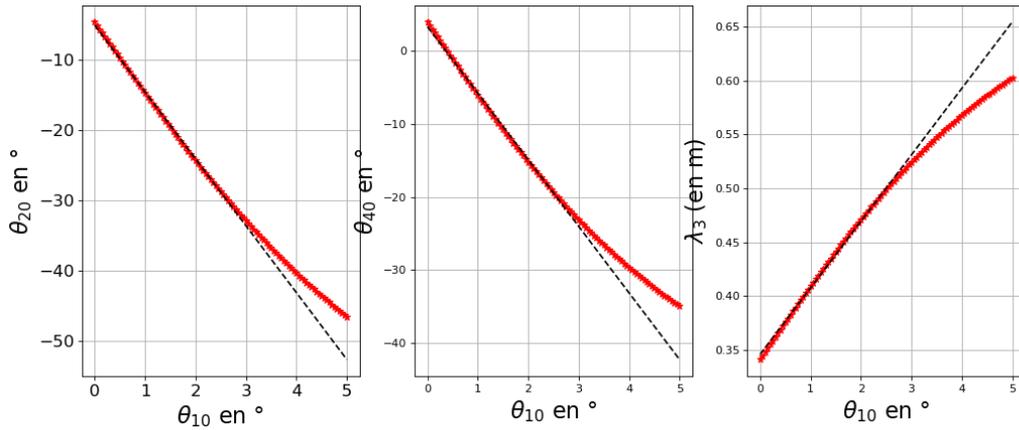
On commence par chercher une relation entre θ_{20} et θ_{10} . Dans la relation $\lambda_4 = f_1(l, L, \lambda_2, \theta_{10}, \theta_{20})$ toutes les grandeurs sont connues sauf θ_{10} et θ_{20} . On peut alors par exemple imposer θ_{10} sur $[0^\circ, 5^\circ]$ et résoudre l'équation $f_1(x)=0$ avec la méthode de Newton-Raphson avec $x=\theta_{20}$ et $f_1(x)=\lambda_4 - f_1(l, L, \lambda_2, \theta_{10}, x=\theta_{20})$.

On peut ensuite obtenir λ_3 avec $\lambda_3 = f_3(x_{BF}, y_{BF}, \lambda_2, x_{AE}, y_{AE}, \theta_{10}, \theta_{20})$.

Pour obtenir une relation entre θ_{40} et θ_{10} on peut alors résoudre l'équation $f_2(x)=0$ avec la méthode de Newton Raphson avec $x=\theta_{40}$ et $f_2=\lambda_2 - f_2(l, L, \lambda_4, \theta_{10}, x=\theta_{40})$.

Question 43

On peut alors effectuer une régression linéaire sur chaque courbe sur l'intervalle $\theta_{10} \in [0^\circ, 3^\circ]$.



On obtient alors,

$$\theta_{20}(t) = a_2 \theta_{10}(t) + b_2$$

$$\theta_{40}(t) = a_4 \theta_{10}(t) + b_4$$

$$\lambda_3(t) = a_3 \theta_{10}(t) + b_3$$

Les applications numériques donnent :

$$a_2 = \frac{-35 - (-5)}{3} \approx -10$$

$$b_2 \approx -5^\circ \approx -0,09 \text{ rad}$$

$$a_4 = \frac{-25 - 5}{3} \approx -10$$

$$b_4 \approx 3^\circ \approx 0,06 \text{ rad}$$

$$a_3 = \frac{0,52 - 0,34}{3} \approx 0,06 \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1} \approx 3,5 \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$b_3 \approx 0,34 \text{ m}$$

Tous les paramètres de mouvement peuvent être reliés à un seul : $\theta_{10}(t)$. Il ne reste donc plus qu'une seule mobilité et les paramètres peuvent être reliés entre eux. L'approche énergétique semble alors intéressante pour obtenir les équations de mouvement.

Question 44

Le plan $(G_{1a}, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ est un plan de symétrie de (G_{1a}, \vec{z}_1) est direction principale d'inertie ainsi,

$$D_{1a} = E_{1a} = 0 = D_1 = E_1.$$

Question 45

La matrice d'inertie de S_{1a} correspond à celle d'un solide de révolution de rayon R

$$I(G_{1b}, S_{1b}) = \begin{pmatrix} A_{1b} & 0 & 0 \\ 0 & B_{1b} & 0 \\ 0 & 0 & A_{1b} \end{pmatrix}_{\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1}$$

$$\text{Avec } A_{1b} = m_{1b} \left(\frac{R^2}{4} + \frac{H^2}{12} \right) \text{ et } B_{1b} = m_{1b} \frac{R^2}{2}.$$

Question 46

La formule du barycentre donne,

$$m_1 \overrightarrow{BG_1} = m_{1a} \overrightarrow{BG_{1a}} + m_{1b} \overrightarrow{BG_{1b}}$$

du fait des symétries : $\overrightarrow{BG_1} \cdot \vec{z}_1 = 0$.

On obtient alors,

$$\overrightarrow{BG_1} = \frac{1}{m_{1a} + m_{1b}} \begin{pmatrix} m_{1a}x_{G_{1a}} + m_{1b}x_{G_{1b}} \\ m_{1a}y_{G_{1a}} + m_{1b}y_{G_{1b}} \\ 0 \end{pmatrix}_{\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1}.$$

Pour calculer C_1 on peut utiliser le théorème de Huygens :

$$C_1 = C_{1a} + m_{1a}[(x_{G_1} - x_{G_{1a}})^2 + (y_{G_1} - y_{G_{1a}})^2] \\ + m_{1b}[(x_{G_1} - x_{G_{1b}})^2 + (y_{G_1} - y_{G_{1b}})^2] + m_{1b} \left(\frac{R^2}{4} + \frac{H^2}{12} \right).$$

Question 47

Torseur cinématique :

$$\{\mathcal{V}(S_1/R_0)\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\Omega}(S_1/R_0) = \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_{1,0} \\ \vec{V}(G_1, S_1/R_0) = \vec{V}(B, S_1/R_0) + \overrightarrow{G_1B} \wedge \vec{\Omega}(S_1/R_0) \end{array} \right\}_{G_1}.$$

On peut calculer : $\vec{V}(G_1, S_1/R_0)$:

$$\vec{V}(B, S_1/R_0) = \vec{V}(B, S_2/R_0) = \left[\frac{d\overrightarrow{AB}}{dt} \right]_{R_0} = -\lambda_2 \cdot \dot{\theta}_{20} \vec{x}_2$$

$$\overrightarrow{G_1B} \wedge \vec{\Omega} \left(\frac{S_1}{R_0} \right) = -(x_{G_1} \vec{x}_1 + y_{G_1} \vec{y}_1) \wedge \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_{1,0} = \dot{\theta}_{10} \cdot (x_{G_1} \vec{y}_1 - y_{G_1} \vec{x}_1).$$

On obtient finalement :

$$\{\mathcal{V}(S_1/R_0)\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\Omega}(S_1/R_0) = \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_{1,0} \\ \vec{V}(G_1, S_1/R_0) = -\lambda_2 \cdot \dot{\theta}_{20} \vec{x}_2 + \dot{\theta}_{10} \cdot (x_{G_1} \vec{y}_1 - y_{G_1} \vec{x}_1) \end{array} \right\}_{G_1}.$$

Torseur cinétique :

$$\{\mathcal{C}(S_1/R_0)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R_c}(S_1/R_0) = m_1 \vec{V}(G_1, S_1/R_0) \\ \vec{\sigma}(G_1, S_1/R_0) = I(G_1, S_1) \cdot \vec{\Omega}(S_1/R_0) \end{array} \right\}_{G_1}.$$

On obtient alors,

$$\{\mathcal{C}(S_1/R_0)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R_c}(S_1/R_0) = m_1 [-\lambda_2 \cdot \dot{\theta}_{20} \vec{x}_2 + \dot{\theta}_{10} \cdot (x_{G_1} \vec{y}_1 - y_{G_1} \vec{x}_1)] \\ \vec{\sigma}(G_1, S_1/R_0) = C_1 \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_0 \end{array} \right\}_{G_1}.$$

Question 48

Dans le cadre des petites variations de $\dot{\theta}_{10}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{20} \approx a_2 \cdot \theta_{10} + b_2 \rightarrow \dot{\theta}_{20} \approx a_2 \cdot \dot{\theta}_{10} \rightarrow \ddot{\theta}_{20} \approx a_2 \cdot \ddot{\theta}_{10} \\ \theta_{40} \approx a_4 \cdot \theta_{10} + b_4 \rightarrow \dot{\theta}_{40} \approx a_4 \cdot \dot{\theta}_{10} \rightarrow \ddot{\theta}_{40} \approx a_4 \cdot \ddot{\theta}_{10} \\ \lambda_3 \approx a_3 \cdot \theta_{10} + b_3 \rightarrow \dot{\lambda}_3 \approx a_3 \cdot \dot{\theta}_{10} \rightarrow \ddot{\lambda}_3 \approx a_3 \cdot \ddot{\theta}_{10} \\ \sin \theta_{10} \approx \theta_{10} \\ \cos \theta_{10} \approx 1 \end{array} \right.$$

Question 49

$$\begin{aligned} E_c(\Sigma/R_0) &= \frac{1}{2} \{C(S_1/R_0)\} \cdot \{V(S_1/R_0)\} = \\ &= \frac{1}{2} \left[m_1 (\vec{V}(G_1, S_1/R_0))^2 + (C_1 \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_0) \cdot \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}_0 \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[m_1 (\lambda_2^2 \cdot \dot{\theta}_{20}^2 + (x_{G1}^2 + y_{G1}^2) \dot{\theta}_{10}^2 + (-2\lambda_2 x_{G1} \cdot \vec{x}_2 \cdot \vec{y}_1 + 2\lambda_2 y_{G1} \vec{x}_2 \cdot \vec{x}_1) \dot{\theta}_{20} \cdot \dot{\theta}_{10}) + C_1 \dot{\theta}_{10}^2 \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[m_1 (\lambda_2^2 \cdot \dot{\theta}_{20}^2 + (x_{G1}^2 + y_{G1}^2) \dot{\theta}_{10}^2 + 2\lambda_2 (-x_{G1} \cdot \sin \theta_{21} + y_{G1} \cos \theta_{21}) \dot{\theta}_{20} \cdot \dot{\theta}_{10}) + C_1 \dot{\theta}_{10}^2 \right]. \end{aligned}$$

On obtient alors,

$$E_c(\Sigma/R_0) = \frac{1}{2} \dot{\theta}_{10}^2 \left[m_1 (\lambda_2^2 a_2^2 + x_{G1}^2 + y_{G1}^2 + 2\lambda_2 a_2 (-x_{G1} \cdot \sin b_2 + y_{G1} \cos b_2)) + C_1 \right]$$

Question 50

Les deux ressorts arrières sont en parallèles tout comme les deux ressorts avant. On trouve alors

$$k_{2av} = k_{2ar} = 2 \cdot k = 4,08 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}.$$

Question 51

Énergie potentielle des ressorts

$$E_p(av) = \frac{1}{2} k_{2av} (\lambda_6 - L_0)^2.$$

De même

$$E_p(ar) = \frac{1}{2} k_{2ar} (\lambda_5 - L_0)^2.$$

En utilisant les propriétés de linéarisation, on obtient,

$$E_p(av) = \frac{1}{2} k_{2av} (a_6 \cdot \theta_{10}(t) + b_6 - L_0)^2,$$

$$E_p(ar) = \frac{1}{2} k_{2ar} (a_5 \cdot \theta_{10}(t) + b_5 - L_0)^2.$$

Question 52

$$E_p(\text{pesanteur}) = -m_1 g \overrightarrow{AG_1} \cdot \vec{y}_0 = -m_1 g (a_{G1} \cdot \theta_{10}(t) + b_{G1})$$

Question 53

Les deux vérins sont en parallèles donc

$$F_{v2} = 2F_v = 2p_h \cdot S_h,$$

Ainsi $S_{h2} = 2 \cdot S_h$.

Question 54

$$\{\mathcal{T}(S_{3a} \rightarrow S_{3b})\} = \begin{Bmatrix} p_h(t) \cdot S_{h2} \vec{x}_3 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_F$$

On en déduit l'expression de la force généralisée $Q_{\theta_{10}}$:

$$Q_{\theta_{10}} = \{\mathcal{T}(S_{3a} \rightarrow S_{3b})\} \cdot \left\{ \frac{\partial \mathcal{V}(S_{3b}/S_{3a})}{\partial \dot{\theta}_{10}} \right\}$$

On peut alors calculer le torseur cinématique

$$\{\mathcal{V}(S_{3b}/S_{3a})\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{V}(F \in 3b/3a) = \dot{\lambda}_3 \vec{x}_3 = a_3 \dot{\theta}_{10} \vec{x}_3 \end{Bmatrix}_F$$

Ainsi,

$$\left\{ \frac{\partial \mathcal{V}(S_{3b}/S_{3a})}{\partial \dot{\theta}_{10}} \right\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ a_3 \vec{x}_3 \end{Bmatrix}_F$$

On en déduit,

$$Q_{\theta_{10}} = a_3 \cdot p_h(t) \cdot S_{h2}.$$

Question 55

$$A \cdot \ddot{\theta}_{10} + B \cdot \dot{\theta}_{10} = C \cdot p_h(t) + D$$

Déterminer alors l'expression des constantes A, B, C et D en fonction des différentes constantes du problème.

Le formalisme de Lagrange s'écrit,

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_{10}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_{10}} = Q_{\theta_{10}}$$

Avec

$$L = E_c(\Sigma/R_0) - E_p(\Sigma)$$

On peut alors calculer

$$\begin{cases} \frac{\partial E_c(\Sigma/R_0)}{\partial \dot{\theta}_{10}} = \frac{\partial \frac{1}{2} J_{eq} \dot{\theta}_{10}^2}{\partial \dot{\theta}_{10}} = J_{eq} \dot{\theta}_{10} \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial E_c(\Sigma/R_0)}{\partial \dot{\theta}_{10}} \right) = J_{eq} \ddot{\theta}_{10} \\ \frac{\partial E_c(\Sigma/R_0)}{\partial \theta_{10}} = 0 \end{cases}$$

Pour l'énergie potentielle,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial E_p(\text{ressorts})}{\partial \dot{\theta}_{10}} = 0 \\ \frac{\partial E_p(\text{pesanteur})}{\partial \dot{\theta}_{10}} = 0 \\ \frac{\partial E_p(\text{ressorts})}{\partial \theta_{10}} = k_{2av}(a_6 \cdot \theta_{10}(t) + b_6 - L_0)a_6 + k_{2av}(a_5 \cdot \theta_{10}(t) + b_5 - L_0)a_5 \\ \frac{\partial E_p(\text{pesanteur})}{\partial \theta_{10}} = -m_1 \cdot g \cdot a_{G1} \\ \frac{\partial E_c(\Sigma/R_0)}{\partial \theta_{10}} = 0 \end{array} \right.$$

On obtient alors,

$$J_{eq} \ddot{\theta}_{10} + k_{2av}(a_6 \cdot \theta_{10}(t) + b_6 - L_0)a_6 + k_{2av}(a_5 \cdot \theta_{10}(t) + b_5 - L_0)a_5 - m_1 \cdot g \cdot a_{G1} = a_3 \cdot p_h(t) \cdot S_{h2}$$

⇔

$$J_{eq} \ddot{\theta}_{10} + (k_{2av}a_6^2 + k_{2av}a_5^2)\theta_{10} = a_3 \cdot S_{h2} \cdot p_h(t) + m_1 \cdot g \cdot a_{G1} - k_{2av}a_6(b_6 - L_0) - k_{2av}a_5(b_5 - L_0)$$

On trouve alors,

$$\left\{ \begin{array}{l} A = J_{eq} \\ B = (k_{2av}a_6^2 + k_{2av}a_5^2) \\ C = a_3 \cdot S_{h2} \\ D = m_1 \cdot g \cdot a_{G1} - k_{2av}a_6(b_6 - L_0) - k_{2av}a_5(b_5 - L_0) \end{array} \right.$$

Question 56

Une centrale inertielle est généralement composée d'au moins un accéléromètre et d'un gyromètre.

- L'accéléromètre permet de mesurer les accélérations longitudinales selon 3 direction liée à la centrale inertielle. Ces accélérations comportent l'accélération du capteur et l'accélération de la pesanteur et plus particulièrement ses projections selon les 3 directions du capteur. Si la pesanteur est prépondérante devant l'accélération du capteur on peut en déduire l'inclinaison du capteur dans le référentiel terrestre.
- Le gyromètre permet de mesurer les taux de rotation selon les 3 directions du capteur. Par intégration numérique on peut en déduire les angles de rotation selon les trois directions du capteur.
- Généralement un algorithme de fusion permet d'utiliser les données de ces deux capteurs pour obtenir avec une bonne précision les angles de rotation du capteur par rapport au référentiel terrestre. Cet algorithme se base sur l'utilisation des filtres numériques spécifiques.

Question 57

On peut modéliser le système par une fonction de transfert du deuxième ordre du type :

$$H_{dyn}(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

avec ξ le coefficient d'amortissement, ω_0 la pulsation propre. La réponse indicielle du système possède une tangente horizontale à l'origine et un dépassement ($\xi < 1$).

On peut mesurer le premier dépassement :

$$D_1 = \frac{\theta_{10}^{max} - \theta_{10}^{\infty}}{\theta_{10}^{\infty}} \approx \frac{3,5 - 2,1}{2,1} \approx 0,66.$$

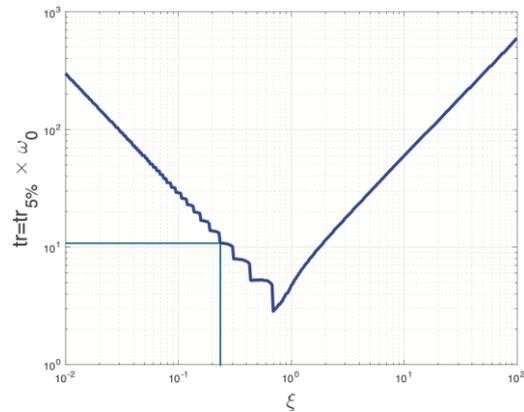
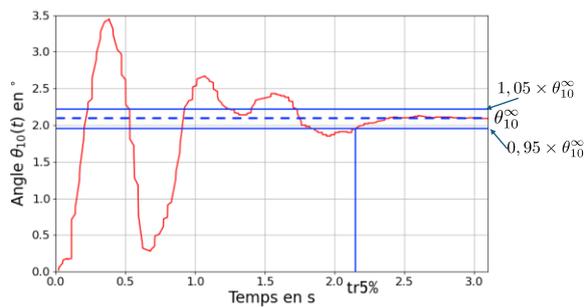
Avec l'abaque on peut lire $\xi \approx 0,13$. On peut aussi calculer ξ :

$$\xi = \frac{|\ln(D_1)|}{\sqrt{\pi^2 + (\ln D_1)^2}} \approx 0,13.$$

Pour trouver ω_0 on peut utiliser l'abaque du temps de réponse à 5%. On trouve alors $t_{r5\%} \approx 2,2s$. Sur l'abaque avec $\xi \approx 0,13$ on lit $t_r = t_{r5\%} \cdot \omega_0 \approx 20$. On obtient alors $\omega_0 \approx \frac{20}{2,2} = 9rad/s$. On peut alors calculer a_1 et a_2 :

$$a_1 = \frac{2\xi}{\omega_0} \approx 2,9 \times 10^{-2} s$$

$$a_2 = \frac{1}{\omega_0^2} \approx 1,2 \times 10^{-2} s^2$$



On peut déterminer K avec la valeur finale et un calcul de limite,

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \theta_{10}(t) = \theta_{10}^{\infty} = K \cdot p_h^0 ;$$

p_h^0 est l'amplitude de l'échelon d'entrée égale à 2,5bar. On mesure $\theta_{10}^{\infty} \approx 2,1^\circ$. On trouve alors,

$$K = \frac{\theta_{10}^{\infty}}{p_h^0} = \frac{2,1^\circ}{2,5bar} \approx 0,84^\circ \cdot bar^{-1} = 0,84 \times \frac{\pi}{180} \times 10^5 rad/Pa = 1466 rad/Pa$$

Question 58

L'équation de mouvement obtenu lors de la partie précédente ne possède pas de terme d'amortissement. On remarque ici que la réponse temporelle possède un amortissement. La différence peut s'expliquer par le fait que la modélisation ne tient pas compte des frottements visqueux qui peuvent être présents par le biais des différentes liaisons mécaniques mais également par les vérins pneumatiques qui peuvent jouer le rôle d'amortissement.

Question 59

La tension d'alimentation du servo-distributeur ($U_s(p)$) et la pression $Ph(p)$ est linéaire et pour 10V correspond 2,5 bar :

$$K_s = \frac{2,5bar}{10V} = 2,5 \times 10^4 Pa \cdot V^{-1} = 0,25 bar \cdot V^{-1}.$$

Le capteur délivre une tension de 5V pour 360° :

$$K_{capt} = \frac{5V}{360^\circ} = 1,4 \times 10^{-2} V \cdot ^\circ^{-1}.$$

Pour calculer $H_r(p)$, il faut exprimer $a_r(t)$ en fonction de $\theta_{10}(t)$:

$$a_r(t) = -(-g \cdot \vec{y}_0) \cdot \vec{x}_1 = g \sin \theta_{10}.$$

Avec l'approximation des petits angles,

$$a_r(t) = g\theta_{10}$$

d'où $H_r(p) = g \frac{\pi}{180}$.

Pour garantir un bon asservissement du système, il faut,

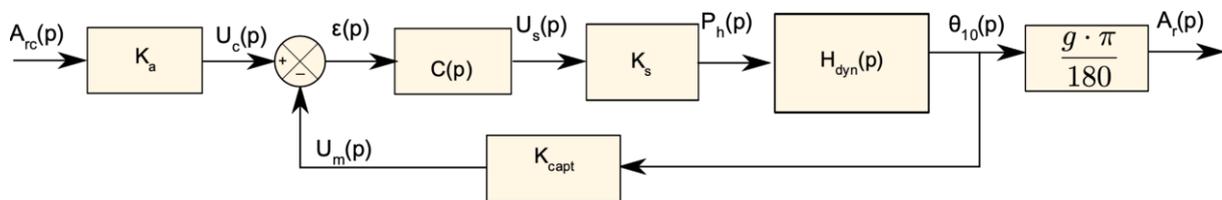
$$A_r^c(p) = A_r(p) \Leftrightarrow \varepsilon(p) = 0.$$

On obtient alors,

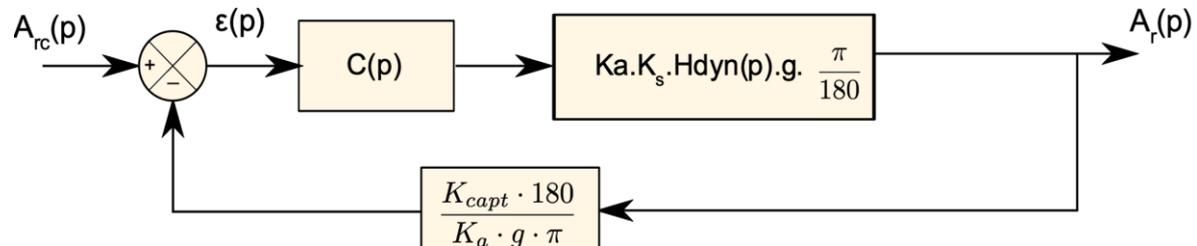
$$K_a = \frac{K_{capt} \cdot 180}{g \cdot \pi}.$$

Question 60

En utilisant les résultats des questions précédents on obtient le schéma bloc suivant :



En manipulant le schéma bloc et en passant le bloc K_a en aval du comparateur et les bloc g en amont du point de prélèvement, on obtient le schéma bloc équivalent suivant,



Or d'après la question précédente,

$$\frac{K_{capt} \cdot 180}{K_a \cdot g \cdot \pi} = 1.$$

On trouve ainsi,

$$H_{BO}^{nc}(p) = K_a \cdot K_s \cdot H_{dyn}(p) \cdot g \cdot \frac{\pi}{180}.$$

Question 61

La fonction de transfert en boucle ouverte est de classe nulle car

$$H_{BO} = \frac{K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot K}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2};$$

avec un gain statique égal à $K_{BO} = K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot K$. La boucle ouverte est de classe nulle, ainsi l'erreur statique est donnée par,

$$\varepsilon_s = \frac{1}{1 + K_{BO}}.$$

Le cahier des charges impose, $\varepsilon_s < 10\%$. On obtient alors l'inégalité suivante, $K_{BO} > 9$, qui se traduit par

$$K_p > \frac{9 \cdot 180}{K \cdot K_a \cdot K_s \cdot g \cdot \pi}$$

On trouve donc $K_p > 3086$.

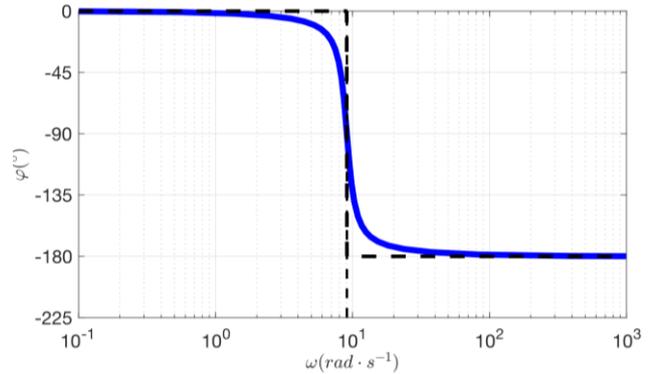
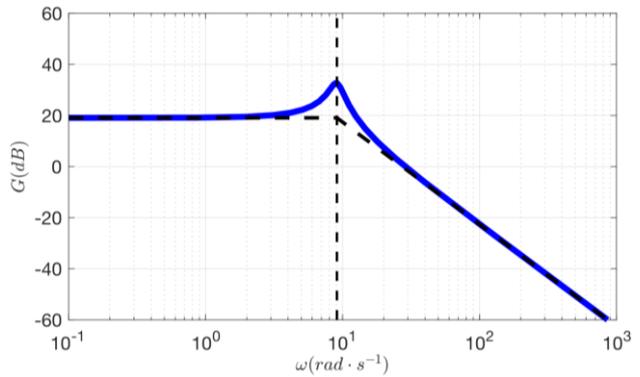
On obtient un diagramme de Bode d'un système du second ordre avec un gain de 9 soit $20 \log 9 \approx 19 \text{ dB}$. La pulsation de cassure est donnée par $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{a_2}} \approx 9,1 \text{ rad/s}$. Le coefficient d'amortissement est donné par, $\xi = \frac{\omega_0}{2} a_1 \approx 0,1$. On obtient donc une résonance. La pulsation de résonance est donnée par :

$$\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - 2\xi^2} \approx 9 \text{ rad/s}$$

On peut obtenir le gain de surtension,

$$Q_{ab} = 20 \log \left(\frac{1}{2\xi \sqrt{1 - \xi^2}} \right) \approx 13,6 \text{ dB}$$

Ce qui donne la hauteur du pic de résonance par rapport au diagramme asymptotique. On remarque que la marge de phase est inférieure à 45° ce qui n'est pas satisfaisant.



De plus, la FTBO est de classe 0 donc la précision dynamique est infinie ce qui n'est donc pas conforme au cahier des charges.

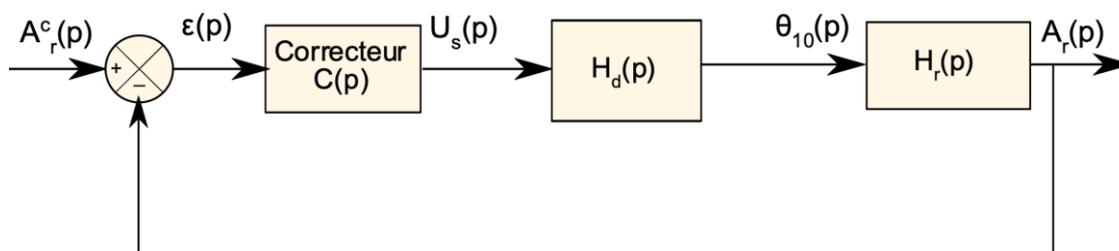
Question 62

On peut calculer la fonction de transfert de la boucle interne que l'on appellera $H_d(p)$

$$H_d(p) = \frac{\frac{H_{BO}^{nc}(p)}{H_r(p)}}{1 + \frac{H_{BO}^{nc}(p)}{H_r(p)} \cdot K_d \cdot p} = \frac{\frac{K_a \cdot K_s \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot K \cdot 180}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2} \cdot \frac{180}{g \cdot \pi}}{1 + \frac{K_a \cdot K_s \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot K \cdot 180}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2} \cdot \frac{180}{g \cdot \pi} \cdot K_d \cdot p}$$

On obtient alors après simplification,

$$H_d(p) = \frac{\frac{K_a \cdot K_s \cdot K}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2}}{1 + \frac{K_a \cdot K_s \cdot K}{1 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2} \cdot K_d \cdot p} = \frac{K_a \cdot K_s \cdot K}{1 + (K_a \cdot K_s \cdot K \cdot K_d + a_1) \cdot p + a_2 \cdot p^2}$$



On trouve alors,

$$H_{BO}^1(p) = \frac{K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot K \cdot \frac{g \cdot \pi}{180}}{1 + (K_a \cdot K_s \cdot K \cdot K_d + a_1) \cdot p + a_2 \cdot p^2}.$$

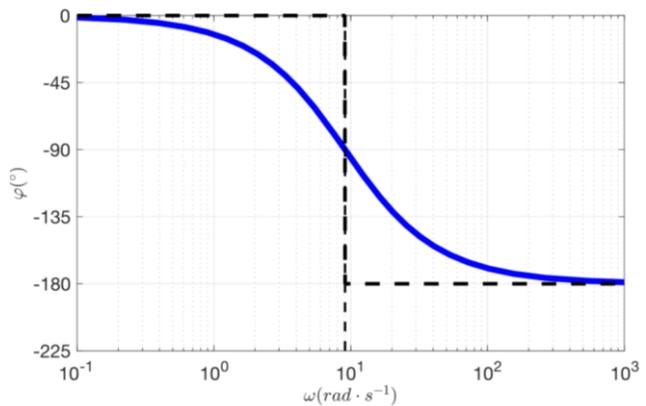
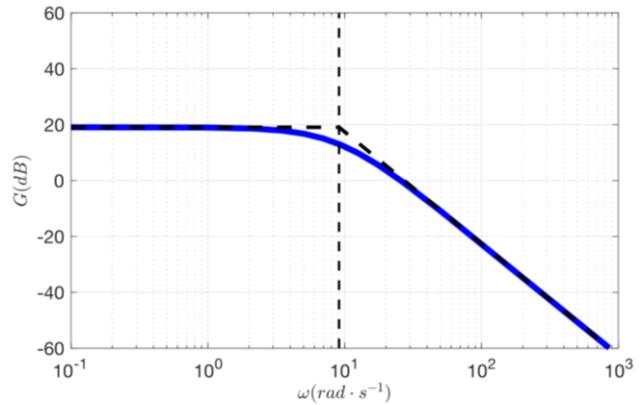
Le coefficient d'amortissement de cette fonction de transfert est donné par,

$$\xi_1 = \frac{1}{2\sqrt{a_2}} (K_a \cdot K_s \cdot K \cdot K_d + a_1).$$

On peut alors trouver K_d vérifiant $\xi_1 = 1$

$$K_d = (2\sqrt{a_2} \cdot \xi_1 - a_1) \cdot \frac{1}{K_a \cdot K_s \cdot K} = (2\sqrt{a_2} - a_1) \cdot \frac{1}{K_a \cdot K_s \cdot K}.$$

L'application numérique donne $K_d=11,56$. En traçant le diagramme de Bode on remarque que la marge de phase est tout juste respectée.



Question 63

L'action intégrale permet d'ajouter une classe à la fonction de transfert en boucle ouverte. Ainsi, l'erreur statique est nulle et l'erreur de trainage peut être bornée et égale à

$$\varepsilon_t = \frac{A_{rc}^0}{K_{BO}^c}.$$

Avec A_{rc}^0 l'amplitude de la consigne et K_{BO}^c le gain de la boucle ouverte corrigée. Ici la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée vaut,

$$H_{BO}^c(p) = \frac{1 + T_i \cdot p}{T_i \cdot p} \frac{K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot K \cdot \frac{g \cdot \pi}{180}}{1 + (K_a \cdot K_s \cdot K \cdot K_d + a_1) \cdot p + a_2 \cdot p^2}.$$

Ainsi,

$$K_{BO}^c = K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot K \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot \frac{1}{T_i}.$$

Pour régler T_i , il faut trouver un compromis entre vérification de la stabilité et précision. La stabilité étant déjà vérifiée il faudrait choisir T_i tel que $1/T_i$ soit inférieur à la pulsation de gain nulle (avec une marge d'une décade) que l'on peut approximer ici à 30 rad/s (conforme au critère de rapidité avec une bande passante supérieure à 10 rad/s). Cela impose donc $\frac{1}{T_i} = 3 \text{ rad/s}$ d'où $T_i \approx 0,3\text{s}$.

Il faut ensuite vérifier que cette valeur soit compatible avec la vérification de la précision

$$\frac{A_{rc}^0}{K_{BO}^c} < \varepsilon_t^{max}.$$

Ce qui donne,

$$\frac{A_{rc}^0}{K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot K \cdot \frac{g \cdot \pi}{180} \cdot \frac{1}{T_i}} < \varepsilon_t^{max}.$$

D'où

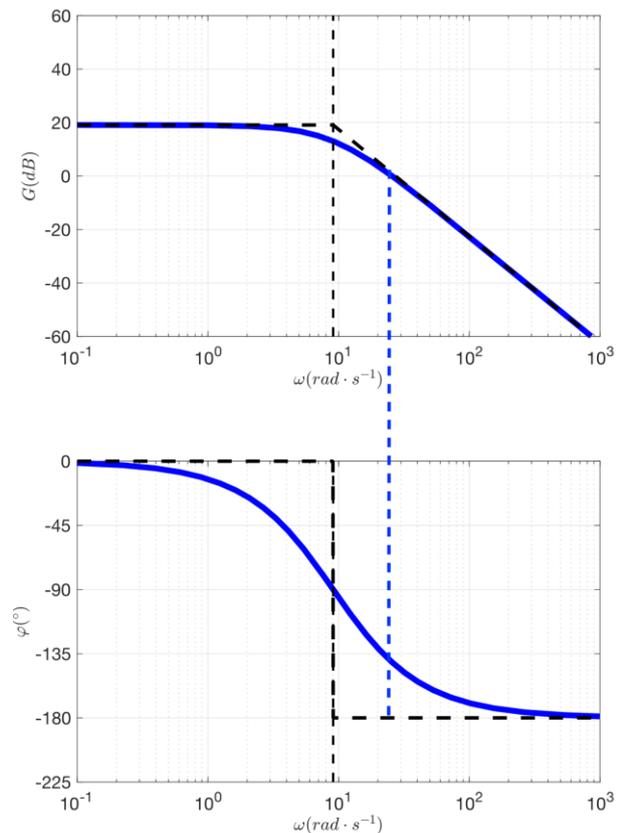
$$T_i < \frac{\varepsilon_t^{max} K_p \cdot K_a \cdot K_s \cdot K \cdot \frac{g \cdot \pi}{180}}{A_{rc}^0}$$

L'application numérique donne $T_i < 0,32$. Avec ce correcteur et $T_i = 0,3s$ on peut donc vérifier les critères de précision et de stabilité.

Question 64

Dans cette partie, l'objectif est de vérifier les exigences : 1.4.1 : Simulation des sensations ressenties dans les transports en commun et 1.4.2 : reproduction des sensations vestibulaires. On peut alors reprendre toutes les exigences énoncées en début de partie et les vérifier.

- Précision statique : Avec un correcteur proportionnel intégral, la classe de la boucle ouverte est égale à 1 et ainsi l'erreur statique est nulle donc le cahier des charges est vérifié.
- Précision dynamique : avec une classe de la boucle ouverte égale à 1, l'erreur de trainage est bornée et on peut régler la constante T_i comme précisé dans la question précédente pour vérifier le cahier des charges.
- Bande passante : à la question précédente, on a également choisi T_i pour vérifier le critère de la bande passante avec ici une bande passante réglée à 30 rad/s avec $T_i \approx 0,3s$.
- Les critères de stabilités sont vérifiés sans le correcteur proportionnel intégral. Le réglage de ce dernier permet de ne pas détériorer les performances de stabilité vérifiées à la question 62 :
 - Stabilité en marge de gain : la phase est toujours supérieure à -180° , ainsi la marge de gain est infinie, donc le critère stabilité est vérifié.
 - Stabilité en marge de phase : la marge de phase est tout juste vérifiée ici.



Question 65

L'asservissement a été validé sur une modélisation de l'ensemble {Système+patient} décrit par la figure 32. On remarque donc que le patient est modélisé par un volume cylindrique de révolution indéformable. Ce modèle peut être discuté par rapport à la répartition de masse réelle d'un patient telle qu'elle est présentée sur la figure 33.c. Il faudrait alors modifier les caractéristiques inertielles du système tenant compte de l'inertie réelle du patient même si les masses sont les mêmes. De plus, contrairement au volume présenté sur la figure 32, le patient peut bouger pendant l'essai. Il faudrait pour cela modéliser une perturbation et en tenir compte dans les simulations.

Question 66

- Partie 2. : exigence 1.3.1 :

Le système de levage doit permettre de conserver le plateau en position haute et stable. L'étude de la première version du système de levage montre que :

- l'effort nécessaire pour maintenir cette position n'est pas en adéquation avec le vérin de cette première version.
- La pression locale au niveau d'un contact génère une déformation plastique.

Pour ces deux raisons, l'exigence 1.3.1 n'est pas vérifiée. Il convient donc de changer de solution pour le système de levage.

- Partie 3 : exigence 1.5

Le système doit permettre la mise en position du plateau à une altitude définie, quel que soit le poids du patient. L'étude statique menée montre que cette mise en position est possible pour tous les patients. L'exigence est vérifiée.

- Partie 4 : exigence 1.2

Dans cette partie, le système doit permettre l'acquisition des données pour le test de stabilité. Ce test nécessite la connaissance de la position du centre de gravité du patient au cours du temps. Le traitement des mesures de capteurs le permet. L'exigence est vérifiée.

- Partie 5 : exigence 1.3.1

L'étude en résistance des matériaux montre que la résistance du support de vérin est validée. En revanche, la déformation est supérieure à celle du cahier des charges. Des solutions de reconception peuvent être proposées.

- Partie 6.a. Exigence d'encombrement 1.1

Le système doit tenir dans une salle d'un centre de rééducation vestibulaire de 50m². Dans cette partie on montre que pour restituer les sensations vestibulaires et donc les accélérations ressenties dans un métro tout en garantissant un encombrement réduit du système il faut contrôler l'inclinaison de la plateforme en utilisant l'accélération de la pesanteur.

- Partie 6.b analyse de l'architecture de la plate-forme d'essai et formuler les hypothèses pour l'étude dynamique

L'analyse structurelle montre qu'en combinant les mouvements des 5 vérins pneumatiques de la plateforme, le système ne possède plus qu'une mobilité et une approche énergétique pour déterminer les équations de mouvement peut être pertinente.

- Partie 6.c et 6.d : obtenir l'équation de mouvement du système

Dans cette partie les équations de mouvements sont obtenues par une approche énergétique utilisant le formalisme de Lagrange après avoir linéarisé les relations cinématiques entre les différents paramètres de mouvement.

- Partie 7 : mise en place de l'asservissement du système pour simuler un test de restitution des sensations lors d'un démarrage de métro : exigence : 1.4

L'asservissement du système repose sur la modélisation dynamique obtenue à la partie 6 et sur un modèle de comportement obtenu expérimentalement. La modélisation de l'asservissement permet alors ensuite de choisir et de concevoir un correcteur ici PID pour garantir que les critères du cahier des charges soient vérifiés.

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

1. Analyse globale des résultats

Le sujet a été conçu de manière progressive, avec des parties indépendantes, 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 huit parties, dont une partie introductive non évaluée. Environ 90 % des candidats ont traité les cinq premières parties, tandis que les deux dernières ont été moins abordées. Cependant, certains candidats, grâce à leur qualité de travail, ont pu traiter presque l'intégralité du sujet et exprimer pleinement leur potentiel.

- La différence entre candidats réside souvent dans leur rigueur et leur 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 les copies sont généralement soignées, bien que des améliorations soient encore possibles en termes de rédaction, d'orthographe et de qualité des schémas proposés.

2. Commentaire sur les réponses apportés et conseils aux candidats

Partie 2 : Étude de statique en 2D et de pression de contact

La partie 2 concernait l'étude du système en plateau stable. Il s'agissait d'une étude de statique classique en 2D d'un mécanisme de type « 4 barres ». On demandait aux candidats de déterminer l'effort dans le vérin pour maintenir le plateau en position haute et stable. La quasi-totalité des candidats a traité cette partie mais peu sont arrivés au résultat littéral et numérique final par manque de rigueur sur la démarche : ordre des différents isolements, bilan des actions mécaniques et écriture du PFS. Une deuxième étude était proposée pour calculer la pression de matage au niveau du contact sphère-plan. Le jury a rencontré des erreurs de lecture de la documentation technique fournie et de nombreuses erreurs dans les conversions d'unités. Le jury note que les ordres de grandeur des déformations ne sont pas connus et parfois des résultats aberrants ne sont pas remis en cause par le candidat.

Partie 3 : Loi de commande des vérins

La partie 3 consistait à déterminer la loi de commande des vérins verticaux par une étude de l'équilibre du plateau sous les actions de quatre ressorts, du patient et des trois vérins verticaux. Les candidats devaient tracer la courbe de l'effort généré par le vérin en fonction de la masse du patient. L'étude se terminait par un calcul classique de pression d'alimentation du vérin, dans le cas le plus défavorable d'utilisation. Cette partie a été correctement traitée par un grand nombre de candidats.

Partie 4 : Étude de statique en 3D

La partie 4 correspondait à une étude à plateau stable et avait pour but de vérifier la stabilité d'un patient en analysant la position de son centre de gravité. Elle consistait donc à déterminer cette position à partir d'efforts mesurés par trois capteurs. Il s'agissait ici d'une étude statique spatiale. Les candidats ayant traité cette étude l'ont bien réussie. Cette étude a été bien menée.

Partie 5 : Étude de résistance des matériaux

La partie 5 est l'étude de la résistance et de la déformation du support du nouveau système de levage. Le candidat était invité à écrire le torseur de cohésion, à tracer les diagrammes du moment fléchissant et de l'effort tranchant. Puis, une comparaison entre la contrainte normale maximale et la limite élastique du matériau lui permettait de conclure sur le critère de résistance.

- Dans un second temps, le calcul de la flèche, supérieure à la valeur du cahier des charges, permettait au candidat de proposer une solution pour rigidifier la structure. Le jury déplore de nombreuses erreurs de calcul dans cette partie, ainsi que des conclusions à partir des résultats irréalistes.

Les candidats rigoureux et méthodiques sont parvenus à la conclusion demandée.

Partie 6 : Modélisation dynamique

Dans cette partie, les candidats étaient invités à comprendre la dynamique de la plateforme pour reproduire les sensations ressenties lors d'un trajet en transport en commun. En s'appuyant sur l'analyse structurelle, l'objectif était d'obtenir une équation de mouvement du système dans une configuration restituant des sensations vestibulaires. Cette partie, bien que progressive, était exigeante, car elle nécessitait des compétences avancées en mécanique des solides indéformables. Elle a été globalement bien abordée mais rarement bien maîtrisée. Elle a permis de distinguer les candidats selon leur rigueur scientifique et leur aptitude à modéliser et résoudre des problèmes mécaniques complexes.

Partie 7 : Mise en place d'un asservissement du système

Cette partie consistait à construire un modèle d'asservissement pour reproduire les sensations vestibulaires ressenties lors d'un voyage en métro. À partir d'un modèle mécanique de la plateforme, il s'agissait de mettre en œuvre une démarche de réglage de correcteur répondant à un cahier des charges précis. Cette partie a été moins abordée que les précédentes et, dans l'ensemble, moins réussie. Cependant, certains candidats ont su mener à bien le réglage du correcteur, ce qui leur a permis de se démarquer par leur performance.

Partie 8 : Synthèse

Cette dernière partie demandait aux candidats de prendre du recul sur les études réalisées tout au long du sujet, de les analyser et d'envisager des pistes pour valider entièrement le cahier des charges. L'objectif n'était pas de dresser une simple liste des activités réalisées, mais de proposer une véritable analyse du travail accompli. Les candidats ayant traité ces questions ont, dans l'ensemble, réussi à démontrer de solides capacités de synthèse.

3. 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. 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.

4. Résultats



194 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 08/20, avec un écart-type de 3,01/20 avec :

- 16,25/20 comme meilleure note ;
- 0,87/20 comme note la plus basse.

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.

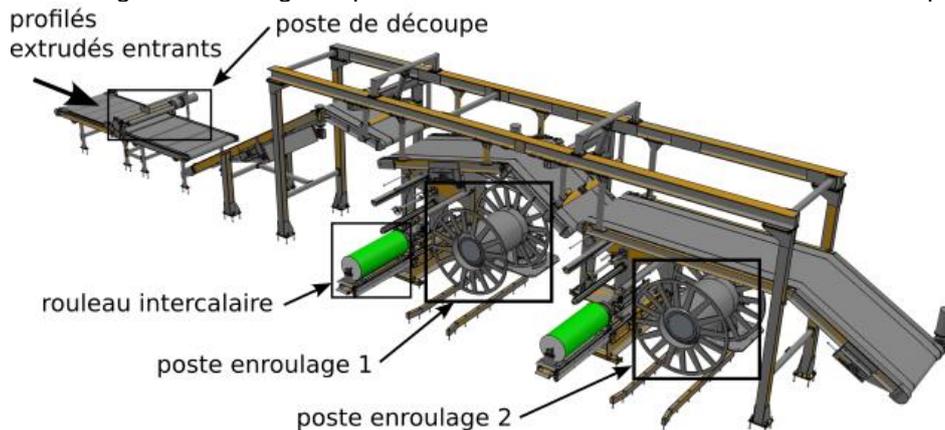
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la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

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

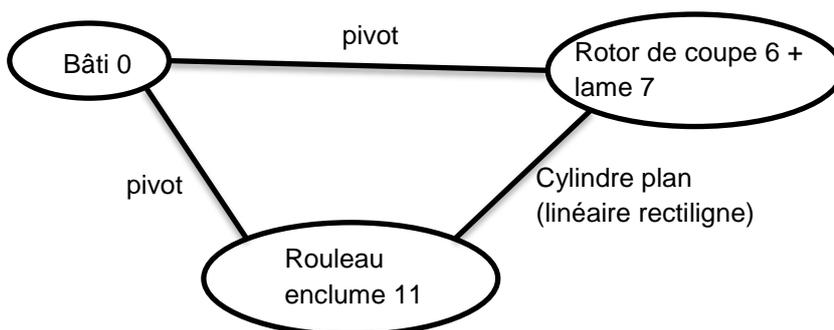
<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/15948/download>

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

Le sujet porte sur une ligne d'enroulage de profilé en caoutchouc destiné à la fabrication de pneumatiques.



Question 1



$$h = l_s - (6 \cdot (n-1) - m) = 2 \text{ car } l_s = 5 \cdot 2 + 2 = 12 \text{ et } m = 2 \quad (\text{ou } h = 6\gamma + m - l_c = 6 + 2 - (1 \cdot 2 + 4) = 2)$$

Afin que le contact entre le rouleau enclume et le rotor de coupe se fasse correctement, il faut être en mesure de contrôler le parallélisme et l'entraxe entre ces deux éléments.

Question 2 $T = \tau \cdot S = 5 \cdot 3,5 \cdot 700 = 12,25 \text{ kN}$

Question 3 on isole la poutre [AB]. Le chargement est symétrique, ainsi que les appuis, donc $F_A = F_B$.

$$\text{TRS} \vec{y} \quad F_A + F_B - \frac{p(L-2a)}{2} = 0 \text{ donc } F_A = F_B = \frac{p(L-2a)}{2} = 17,5 \cdot \frac{1240-540}{2} = 6125 \text{ N}$$

Question 4 $I_{Gz} = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4) = \frac{\pi}{64} (140^4 - 74^4) = 1,74 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$

Question 5 2 tronçons différents

Tronçon 1 : $x \in]0, a[$ si on isole {P-}, on a
$$\begin{cases} T_{y1}(x) = -F_A \\ M_{fz1}(x) = x \cdot F_A \end{cases}$$

Tronçon 2 : $x \in]a, L-a[$ si on isole {P-}, on a
$$\begin{cases} T_{y2}(x) = -F_A + p(x-a) \\ M_{fz2}(x) = x \cdot F_A - \frac{p(x-a)^2}{2} \end{cases}$$

Tronçon 3 : $x \in]L-a, L[$ si on isole {P+}, on a
$$\begin{cases} T_{y3}(x) = F_B \\ M_{fz3}(x) = (L-x) \cdot F_B \end{cases}$$

La poutre est sollicitée en flexion simple sur toute sa longueur.

Question 6 Étant donné que le chargement et les appuis sont symétriques, la déformée de la poutre sera donc également symétrique, ce qui justifie l'étude sur une demi-longueur.

Étant donné que $\frac{d^2 \delta_1(x)}{dx^2} = \frac{M_{fz1}(x)}{E \cdot I_{Gz}}$, on a donc 2 constantes d'intégration par tronçon. Il faut donc 4 équations pour les déterminer.

Appui au point A : $\delta_1(x=0) = 0$

Continuité de la déformée à gauche et à droite des tronçons 1 et 2 :
$$\begin{cases} \delta_1(x=a) = \delta_2(x=a) \\ \delta'_1(x=a) = \delta'_2(x=a) \end{cases}$$

Pente de la déformée nulle au milieu : $\delta'_2(x = \frac{L}{2}) = 0$

Question 7 l'A.N. donne $\delta_{12}(x=L/2) = -0,13 \text{ mm}$

Question 8 On a 2 équations issues de la statique exploitables et 5 inconnues d'actions mécaniques, ce qui donne un degré d'hyperstatisme $h = 3$

Question 9 $S = b \cdot h$ et $I_{Gz} = \frac{bh^3}{12}$

Question 10 Il y a 5 inconnues à déterminer. Les 5 appuis imposent un déplacement nul, ce qui donne les 5 équations suivantes : $\frac{\partial W_e}{\partial F_C} = 0, \frac{\partial W_e}{\partial F_D} = 0, \frac{\partial W_e}{\partial F_E} = 0, \frac{\partial W_e}{\partial F_F} = 0, \frac{\partial W_e}{\partial F_H} = 0$

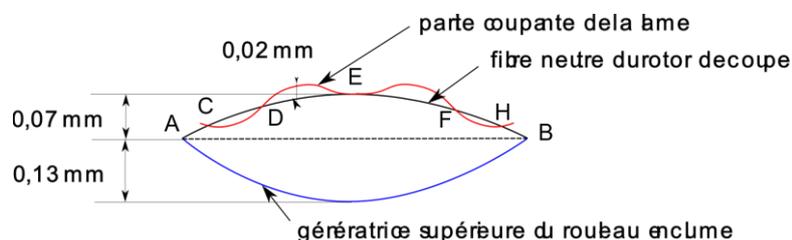
Question 11
$$\Delta L = \frac{NL}{ES} = \frac{-6130 \cdot 137}{220000 \cdot \pi \cdot \left(\frac{25^2 - 10,5^2}{4}\right)} = -0,01 \text{ mm}$$

Question 12

En faisant l'hypothèse que les appuis réglables sont infiniment rigides, on obtient un écart maximal entre le point le plus haut de la partie coupante de la lame et le point le plus bas de la génératrice supérieure du rouleau enclume de 0,22 mm (=0,02+0,13+0,07). La lame étant pré-enfoncée de 0,75 mm dans le tapis. On peut supposer que la lame traversera le profilé.

Le rouleau enclume est la pièce qui se déforme le plus. On peut proposer comme pistes de réduction de la déformation de cette pièce :

- augmenter le moment quadratique du rouleau ;
- ajouter un appui central de maintien du rouleau de type lunette de guidage.



Question 13

Le plan $(O, \vec{x}_{rc}, \vec{y}_{rc})$ est un plan de symétrie matérielle, donc $E_{rc} = D_{rc} = 0$

Le plan $(O, \vec{y}_{rc}, \vec{z}_{rc})$ est un plan de symétrie matérielle, donc $F_{rc} = D_{rc} = 0$

On aurait aussi pu dire que deux plans de symétrie matérielle parmi les plans de coordonnées de la matrice suffisent pour qu'elle soit diagonale.

Question 14

Le moment d'inertie du rotor seul autour de l'axe (O, \vec{z}_{rc}) est $C_{rc} = 0,744 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Le moment d'inertie de la lame seule autour de l'axe (O_L, \vec{z}_{rc}) est $\frac{M}{12}(h^2+b^2)$

Le moment d'inertie de la lame seule autour de l'axe (O, \vec{z}_{rc}) est $\frac{M}{12}(h^2+b^2)+M\cdot\Delta^2$

Donc $J=C_{rc}+\frac{M}{12}(h^2+b^2)+M\cdot\Delta^2$

La masse de la lame vaut $M=b\cdot h\cdot L_{\text{lame}}\cdot\rho=7800\cdot 18\cdot 45\cdot 1340\cdot 10^{-9}=8,46\text{ kg}$

$$J=0,744+\frac{8,46}{12}(45^2+18^2)\cdot 10^{-6}+8,46\cdot(80\cdot 10^{-3})^2=0,8\text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

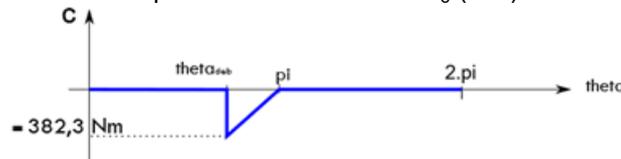
Question 15 On applique le TEGC à l'ensemble $\Sigma = \{\text{rotor} + \text{réducteur} + \text{arbre moteur}\}$

$$E_{C\Sigma/0}=\frac{1}{2}J_m\omega_m^2+\frac{1}{2}J\theta^2=\frac{1}{2}\left(\underbrace{J_m+J}_{=J_{\text{eq}}}\right)\omega_m^2 \quad \text{A.N. } J_{\text{eq}}=0,00488+\frac{0,8}{44,6^2}=5,3\cdot 10^{-3}\text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

Question 16 $\theta_{\text{deb}}=\pi-\arccos\left(\frac{R-e}{R}\right)=2,9\text{ rad}=166,3^\circ$

Question 17 $\vec{M}_0(\text{profilé}\rightarrow rc)=\vec{OP}\wedge\vec{F}(\text{profilé}\rightarrow rc)=R\cdot\vec{y}_{rc}\wedge F_c\cdot\vec{y}=\underbrace{R\cdot F_c}_{=C}\cdot(-\sin\theta)\cdot\vec{z}$

Question 18 pour $\theta_{\text{deb}}\leq\theta\leq\pi$ on peut donc écrire $C=-R\cdot F_c\cdot(\pi-\theta)$



Question 19 $C_m(t)=\frac{-9,4}{157,1-152,4}(\omega_m(t)-157,1)$

```
def Cm(wm):
    #wm : vitesse de rotation du moteur (rad/s)
    return (-9.4)/(157.1-152.4)*(wm-157.1)
```

Question 20

```
for k in range(N-1):
    tab_omegaM[k+1]=tab_omegaM[k]+pas*F(tab_omegaM[k],tab_thetaM[k])
    tab_thetaM[k+1]=tab_thetaM[k]+pas*tab_omegaM[k]
```

Question 21

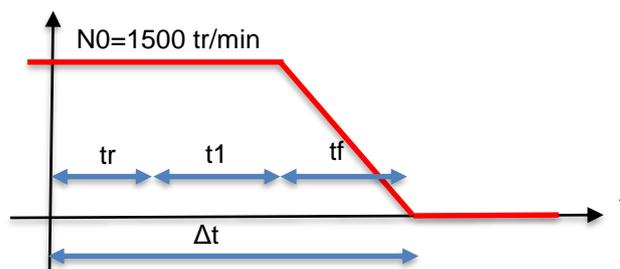
La puissance nominale du moteur est de 1,5 kW, ce qui est supérieur aux 1 kW que requière la découpe du profilé. De même, le couple nominal du moteur 9,4 Nm n'est pas dépassé (6,5 Nm maxi).

Question 21 bis

On isole l'ensemble en mouvement, à savoir {arbre moteur + réducteur + rotor de coupe + lame}. Le TEGC donne $\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J_{\text{eq}}\omega_m^2\right)=-C_f\cdot\omega_m$ lors du freinage avec les hypothèses retenues

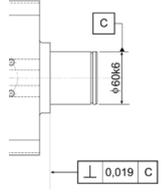
soit $\omega_m(t)=-\frac{C_f}{J_{\text{eq}}}\cdot t+c_{\text{ste}}$

$$t_f = \omega_0 \cdot \frac{J_{\text{eq}}}{C_f} = 1500 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot 6 \cdot \frac{10^{-3}}{10} \approx 94\text{ms}$$

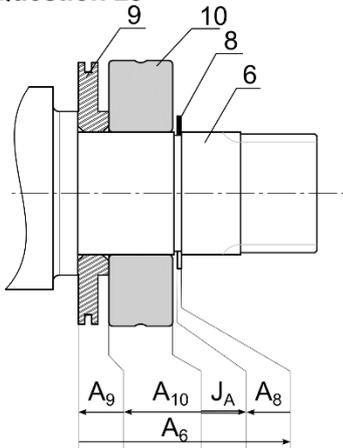


$$\Delta t = t_r + t_1 + t_f = 10 + 47 + 94 = 151\text{ ms} < 200\text{ms du cdcf.}$$

Question 22

Symbole de la spécification	Éléments Non-idéaux		Éléments Idéaux		
	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Type de spécification <input type="checkbox"/> forme <input type="checkbox"/> position <input checked="" type="checkbox"/> orientation	<input checked="" type="checkbox"/> unique <input type="checkbox"/> groupe	<input checked="" type="checkbox"/> unique <input type="checkbox"/> multiples	<input checked="" type="checkbox"/> simple <input type="checkbox"/> commune <input type="checkbox"/> système	forme/taile <input checked="" type="checkbox"/> simple <input type="checkbox"/> composé	Situation par rapport aux Références spécifiées
Schéma de la spécification sur le nominal 	description littérale Surface réputée plane	description littérale Surface réputée cylindrique	description littérale R.S : Droite, axe du plus petit cylindre circonscrit à l'E.R.	description littérale Z.T : Zone comprise entre deux plans parallèles distants de 0,019 mm	description littérale Z.T. orthogonale à la R.S.
	croquis	croquis	croquis	croquis	croquis
Expression de la contrainte fonctionnelle associée à cette spécification : Assurer un bon appui de l'arbre épaulé 6 avec le flasque 9					

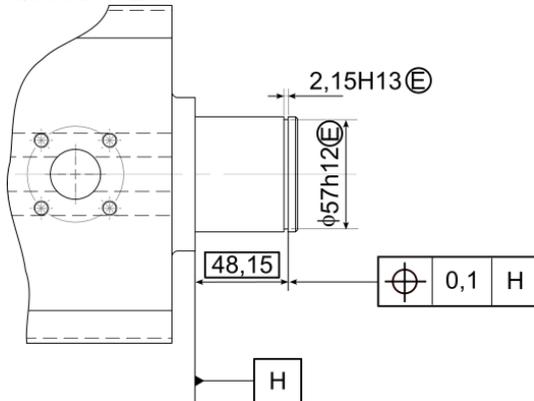
Question 23



$$J_A = A_6 - A_8 - A_9 - A_{10}$$

$$A_{6min} = J_{Amin} + A_{8max} + A_{9max} + A_{10max} = 0,1 + 2 + 15 + 31 = 48,1 \text{ mm}$$

Question 24



Question 25

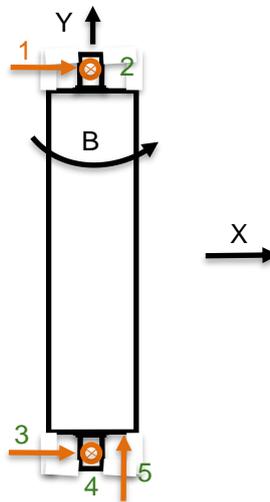
Phase 1 :

Machine : tour 2 axes
 Usinage : Perçage + chanfreinage
 Outils : forêt + outil à chanfreiner



Phase 2 :

Machine : tour 2 axes
 Montage : montage entre pointes : entraineur frontal : pointe à griffe pour entrainement + contre pointe.
 Usinage : opérations de contournage extérieur
 Outils : outil de contournage extérieur



Phase 3 :

Machine : centre usinage 4axes
 Montage : 2 centrages courts
 Usinage : alésages
 Outils : forêts+alésoirs
 Usinage : taraudages
 Outils : tarauds
 Usinage : vidage de poches
 Outils : fraise 2 tailles

Question 26.

Bilan des actions mécaniques extérieures sur une portion de bande :

Action :	Glisseur :
Tension dans la bande T0	$\vec{T0} = -T0 \cdot \vec{x}_{P1}$
Action de la pesanteur P	$\vec{P} = -\rho \cdot L_b \cdot e \cdot \ \vec{P1.P0}\ \cdot g \cdot \vec{y0}$
Action de la spire n-1 sur la spire n	$\vec{R}_{n-1 \rightarrow n} = t_0 \cdot \vec{x}_{P1} - R \cdot \vec{y}_{P1} = \frac{T0}{e \cdot \alpha \cdot \tan \varphi} \cdot \vec{x}_{P1} - R \cdot \vec{y}_{P1}$

Question 27.

Tension minimale pour assurer le contact entre la spire n et la spire n-1 au point P1
 = tension minimale pour que la portion de bande soit à l'équilibre
 On isole une portion de bande P0P1 , on applique le P.F.S.
 On écrit l'équation des efforts projetés sur \vec{x}_{P1} : $-T0_{min} + t_0 - P \cdot \sin \beta = 0$

$$\text{Soit : } T0_{min} = t_0 - P \cdot \sin \beta = \frac{T0_{min}}{e \cdot \alpha \cdot \tan \varphi} - \rho \cdot L_b \cdot e \cdot \|\vec{P1.P0}\| \cdot g \cdot \sin \beta = \frac{\rho \cdot L_b \cdot e \cdot \|\vec{P1.P0}\| \cdot g \cdot \sin \beta}{\left(\frac{1}{e \cdot \alpha \cdot \tan \varphi} - 1\right)}$$

A.N. :

$\rho = 930 \text{ kg.m}^{-3}$; $L_b = 700 \text{ mm}$; $e = 3,5 \text{ mm}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$; $\alpha = 2\pi$; $f = \tan \varphi = 0,3$

$R_p(t) :$	$P_0P_1 :$	$\beta :$	$T_{0min} :$
$R_{p0} = R_{pmini} = 370\text{mm}$	$P_0P_1 = 948 \text{ mm}$	$\beta = 45^\circ$	$T_{0min} = 17,7 \text{ N}$
$R_{p1} = R_{pmaxi} = 800 \text{ mm}$	$P_0P_1 = 593 \text{ mm}$	$\beta = 75^\circ$	$T_{0min} = 15,1 \text{ N}$

Tension $T_{0min} < 1500\text{N}$ largement suffisante.

Question 28.

$s \cdot \sigma_t < R_{pe} = 1,5\text{Mpa}$

$\sigma_t = \frac{T_0}{L_b \cdot e} = 1500 / (700 \cdot 3,5) = 0,6 \text{ Mpa} \rightarrow s = 2,45$. L'exigence est vérifiée

Question 29.

Risque d'écrasement :

Condition C2 de non écrasement : $\sigma_r < \sigma_{comp} = 0,4\text{Mpa}$

La Figure 22 montre que : $\sigma_r = 0,11\text{Mpa} < 0,4\text{Mpa}$: donc pas de risque d'écrasement.

Risque de glissement :

conditions C3 et C4 de non glissement : $\tau_{rt} < \sigma_r \cdot \tan\phi$ et $\tau_{rz} < \sigma_r \cdot \tan\phi$

$\sigma_r \cdot \tan\phi = 0,033 \text{ Mpa}$

La Figure 22 montre que $\tau_{rt} > 0,0033$ et $\tau_{rz} > 0,0033$ pour certaines valeurs de la rotations $d\theta_{1/0}$, les conditions de glissement ne sont pas toujours vérifiées : donc le risque de glissement existe.

Question 30.

Les conditions C2 $\tau_{rt} < \sigma_r \cdot \tan\phi$ et C3 $\tau_{rz} < \sigma_r \cdot \tan\phi$ sont respectées pour : $-0,55^\circ < d\theta_{1/0} < 0,55^\circ$

Question 31.

on isole l'ensemble $E_1 = \{\text{bobine ; produit enroulé}\}$

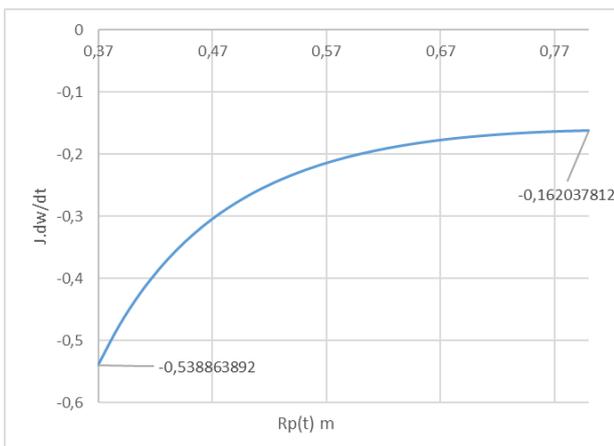
On compare $\sum \overrightarrow{M_{O1}(F_{ext \rightarrow E1})} \cdot \vec{z1}$ à $(J1 + Jp) \frac{d\omega_{1/0}(t)}{dt}$.

$\sum \overrightarrow{M_{O1}(F_{ext \rightarrow 1})} \cdot \vec{z1} = (T_0 - t_0) \cdot R_p(t)$

= 470 N.m pour $R_p = 370 \text{ mm}$

= 1017 N.m pour $R_p = 800 \text{ mm}$

$(J1 + Jp) \frac{d\omega_{1/0}(t)}{dt} = (J1 + 0,5 \cdot M_p(t) \cdot (R_p(t)^2 + R_{p0}^2)) \cdot \frac{-V_{ligne}^2 \cdot e}{2 \cdot \pi \cdot \left(R_{p0}^2 + \frac{V_{ligne} \cdot t \cdot e}{\pi}\right)^{1,5}}$



$(J1 + Jp) \frac{d\omega_{1/0}(t)}{dt}$ est très petit par rapport à $\sum \overrightarrow{M_{O1}(F_{ext \rightarrow E1})} \cdot \vec{z1}$

Les composantes du torseur dynamique pourront être négligées, une étude statique sera envisageable.

Question 32.

Actions mécaniques exercées sur E1 :

- $\overrightarrow{F}_{(tension \rightarrow E1)} = \left(T_0 - \frac{T_0}{e \cdot \bar{f}}\right) \cdot \overrightarrow{x_{P1}}$

- $\overrightarrow{dF}_{(\text{pesanteur} \rightarrow E1)}$
- $\overrightarrow{dF}_{(\text{membrane} \rightarrow E1)} = (p \cdot \vec{n} + \tau \cdot \vec{t}) \cdot dS$ avec $dS = Rm \cdot d\theta \cdot dz$

Après avoir appliqué le principe fondamental de la statique sur l'ensemble E1 :

$$\overrightarrow{M}_{O1(F(\text{tension} \rightarrow E1))} + \overrightarrow{M}_{O1(F(\text{pesanteur} \rightarrow E1))} + 6 * \overrightarrow{M}_{O1(F(\text{membrane} \rightarrow E1))} = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{M}_{O1(F(\text{tension} \rightarrow E1))} = \left(T0 - \frac{T0}{e^{\alpha \cdot f}} \right) \cdot \vec{x}_{P1} \wedge Rp \cdot \vec{y}_{P1} = \left(T0 - \frac{T0}{e^{\alpha \cdot f}} \right) \cdot Rp \cdot \vec{z}_0$$

$$\overrightarrow{M}_{O1(F(\text{pesanteur} \rightarrow E1))} = \vec{0} \text{ (hypothèse : centre de gravité confondu avec O1)}$$

$$\overrightarrow{M}_{O1(F(\text{membrane} \rightarrow E1))} = \int_0^\delta \int_0^{Lm} \overrightarrow{O1M} \wedge (-p \cdot \vec{n} + \mu_{12} \cdot p \cdot \vec{t}) = (-\mu_{12} \cdot p \cdot \delta \cdot Rm^2 \cdot Lm) \cdot \vec{z}_0$$

$$\rightarrow \left(T0 - \frac{T0}{e^{\alpha \cdot f}} \right) \cdot Rp - 6 \cdot \mu_{12} \cdot p \cdot \delta \cdot Rm^2 \cdot Lm = 0$$

Question 33.

$$\rightarrow p_{\min} = \frac{\left(T0 - \frac{T0}{e^{2\pi \cdot f}} \right) \cdot Rp}{6 \cdot \mu_{12} \cdot \delta \cdot Rm^2 \cdot Lm}$$

A.N. : $\mu_{12} = 0,8$; $\delta = 11^\circ$; $Rm = 0,345m$; $Lm = 1m$; $To = 1500N$; $Rp = 0,8m$ (pour déterminer Pmini maximale)
; $f = 0,3$

Résultat : $p_{\min} = 9279$

Condition de non glissement : $P_{\min} < P$ dans les membranes = 1,8 bars

Conclusion : il n'y a pas de risque de glissement

Question 34.

Phénomènes, autres que le glissement à considérer :

- variation de pression entre les différentes membranes
- déformation de la membrane sous l'action $\vec{\tau} \cdot \vec{t}$, la liaison entre la bobine 1 et le tambour 2 ne serait alors pas une liaison rigide, une petite rotation serait possible entre la bobine 1 et le tambour 2

Question 35.

$$\overrightarrow{dC}_{O3(2 \rightarrow 3)} = \overrightarrow{O3M} \wedge \vec{p} = r \cdot \vec{t} \wedge (\mu_a \cdot p) \cdot \vec{r} = r \cdot \mu_a \cdot p \cdot \vec{n} = r \cdot \mu_a \cdot \frac{n \cdot F_E}{\pi(R^2 - r^2)} \vec{n}$$

$$C_{O3(2 \rightarrow 3)} = \int_0^{2\pi} \int_{Ri}^{Re} (\overrightarrow{O3M} \wedge \vec{p}) dS = \mu_a \cdot n \cdot F_E \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{Re^3 - Ri^3}{Re^2 - Ri^2}$$

$$C_{O3} = F_E \cdot \mu_a \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{Re^3 - Ri^3}{Re^2 - Ri^2} \cdot n$$

Question 36.

Condition d'adhérence : $F_E > F_{0\min}$

$$\text{Soit : } n > \frac{C_{O3}}{F_{0\min} \cdot \mu_a \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{Re^3 - Ri^3}{Re^2 - Ri^2}}$$

A.N. : $C_{O3} = 1100 N \cdot m$; $Re = 210 mm$; $Ri = 175 mm$; $\mu_a = 0,15$

Vis :	M6	M8	M10	M12
$F_{0\min}$ (N)	4402	8057	12807	18660
Nombre de vis >	17,26	9,43	5,93	4,07

Choix : 6 vis M10

Question 37.

Longueur sous tête de vis :

$$Lv = 14 + L2 \text{ avec } 10 (1 \cdot d) < L2 < 38 mm$$

il faut choisir (longueurs standards) : $25 < Lv < 50 mm$

Raideur d'une vis : K_v

Allongement d'une vis : δ_v

$$K_v = \frac{F_E}{\delta_v}$$

$$\sigma = E_v \cdot \varepsilon \rightarrow \frac{F_E}{A_v} = E_v \cdot \frac{\delta_v}{L_v}$$

$$\rightarrow K_v = \frac{E_v \cdot A_v}{L_v}$$

Application numérique pour vis M10 :

Lv (mm)	25	30	35	40	45	50
Kv (N/mm)	487200	406000	348000	304500	270667	243600

Question 38.

Soit :

F_0 : l'effort de serrage

K_a : la raideur de l'assemblage autour d'une vis, δ_a : la rétractation de l'assemblage,

K_b : la raideur d'une vis, δ_b : l'allongement d'une vis

K_{v23} : la raideur de l'ensemble $E_{v23} = \{\text{tambour 2 ; arbre 3 ; vis}\}$ autour d'une vis, δ_{v23} : l'allongement de E_{v23} .

À l'équilibre, on a :

$$F_0 = K_a \cdot \delta_a = K_v \cdot \delta_v$$

$$\delta_{v23} = \delta_a + \delta_v = \frac{F_0}{K_a} + \frac{F_0}{K_v}$$

$$K_{v23} = \frac{F_0}{\delta_{v23}} = \frac{K_a \cdot K_v}{K_a + K_v}$$

Application numérique pour vis M10 :

Lv (mm)	25	30	35	40	45	50
Kv (N/mm)	487200	406000	348000	304500	270667	243600
Ka (N/mm)	3040735	3040735	3040735	3040735	3040735	3040735
Kv23 (N/mm)	419919	358176	312263	276783	248543	225532

Pertinence de considérer la non-rigidité de cet assemblage dans le calcul de déformation globale de l'ensemble E23 : la liaison 23 ne doit pas être considérée comme étant une liaison encastrement parfaite, il sera plus juste de modéliser la liaison 23 par un ensemble de ressorts de raideur K_{v23}

Question 39.

Justification emploi soudage pour la réalisation du brut de l'arbre 3 :

Autres solutions que le soudage pour l'obtention du brut :

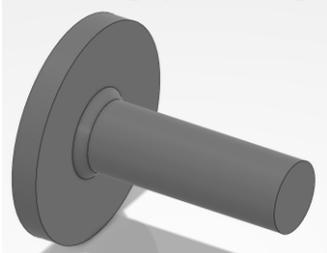
Brut = barre laminée : enlèvement de matière trop important

Brut = pièce forgée : peu adapté faible séries (doit être le cas ici)

Brut = pièce moulée = pas adapté au matériau ni à la série de production

25CrMo0 : acier faiblement allié -> assez bonne soudabilité (devrait être vérifié à l'aide du diagramme de Schaeffer ou par un calcul de carbone équivalent)

Procédé de soudage : préchauffage puis soudage à l'arc par exemple



Forme du brut soudé :

Question 40.

parachèvements (exemples) : meulage, refusion pour éliminer le caniveau entre le métal de base et celui d'apport

usinage : tournage, brochage ou fraisage des cannelures, alésage, perçages, chanfreinage

traitement : trempe, revenu, cémentation au niveau des cannelures

Question 41.

mise en position arbre 3 avec réducteur 4 : centrage court ($L/d=0,7$) + contact plan (cannelures), pas d'arrêt axial

maintien en position arbre 3 avec réducteur 4 : pas de MAP

mise en position arbre 3 avec tambour 2 : appui plan prépondérant + centrage court

maintien en position arbre 3 avec tambour 2 : 6 vis étudiées précédemment

Question 42.

Chargements (effort, moment, pression) qui seront appliquées sur le modèle de l'arbre 3 :

- Effort sur la surface en contact avec les têtes de vis : $F_E = F_{0max}$
- Pression sur les cannelures : $P_{34} = \frac{F_{cannelure}}{S_{cannelure}} = \frac{1}{n_{cannelures}} \cdot \frac{\frac{C_{O3}}{R_{moy}}}{(Re-Ri) \cdot L_{cannelure}}$
- A.N. $n_{cannelures} = 8$; $C_{O3} = 1100 \text{ N.m}$; $Re = 20\text{mm}$; $Ri = 18\text{mm}$; $L_{cannelure} = 22\text{mm}$; $R_{moy} = 1/2(Re + Ri) = 19\text{mm}$
 Résultat : $P_{34} = 82 \text{ Mpa}$

Question 43.

Conditions limites en déplacements :

sur les nœuds de la surface cylindrique en contact avec le réducteur : $\{U\} = \begin{pmatrix} u=0 \\ v=0 \\ w \end{pmatrix}$

sur les nœuds de la surface cylindrique en contact avec le tambour : $\{U\} = \begin{pmatrix} u=0 \\ v=0 \\ w \end{pmatrix}$

sur les nœuds de la surface plane en contact avec le tambour : $\{U\} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w=0 \end{pmatrix}$

Question 44.

Analyse des résultats de la simulation :

Au niveau de la soudure :

- condition : $\sigma < Re = 295 \text{ Mpa}$
- résultat de la simulation : $\sigma = 82 \text{ Mpa}$ donc la résistance de la soudure est validée avec un coefficient de sécurité de 3,5

Au niveau de l'arbre :

- condition : $\sigma < R_{p0.2} = 414 \text{ Mpa}$
- résultat de la simulation : $\sigma_{max} = 201 \text{ Mpa}$ donc la résistance de l'arbre est validée avec un coefficient de sécurité de 2

Le dimensionnement de l'arbre est vérifié

Question 45.

paramètres définis précédemment

- raideurs K_{v23} (voir résultats question 42)
- rotations $d\theta_{1/0}$, condition : $0,55^\circ < d\theta_{1/0} < 0,55^\circ$

Question 46.

rotation admissible du tambour 2 :

$$d\theta_{2/0lim} = d\theta_{2/1max} + d\theta_{1/0max}$$

$$\tan(d\theta_{2/1}) = \frac{J_{12}}{CD}$$

$$\text{petit angle} \rightarrow d\theta_{2/1} = \frac{J_{12}}{CD}$$

$$\rightarrow d\theta_{2/0lim} = \frac{J_{12}}{CD} + d\theta_{1/0max}$$

A.N. : $d\theta_{1/0} < 0,55^\circ$; $J_{12} = 10$; $CD = 1193$

Résultat : $d\theta_{2/0lim} = 1,03^\circ$

Question 47.

Modification du paramètre :	Amélioration des performances :	Détérioration des performances :
Augmentation de l'épaisseur e2 du tambour	<ul style="list-style-type: none"> - Rigidité du tambour 2 - Déformations du tambour 2 	Masse de l'ensemble avec pour conséquence : <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des coûts - Actions dans les liaisons plus importantes
Augmentation des diamètres DA et DB	<ul style="list-style-type: none"> - Encombrements disponibles plus importants pour le joint tournant et la structure 4 - Charge des roulements plus importantes - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Cout de la solution (plus important avec des roulements de grand diamètres) - Facilité de fabrication de l'arbre 3 (tolérances de perpendicularité, coaxialité moins faciles à respecter) - ...
Diminution de la distance O3A	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de fabrication de l'arbre 3 - Rigidité de l'arbre 3 plus importante - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Action dans la liaison en A plus importante - Réduction de l'encombrement disponible pour le joint tournant - ...
Augmentation de la distance AB	<ul style="list-style-type: none"> - Rigidité du tambour 2 plus importante - rotation $d\theta_{2/0}$ moins importante - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Rigidité de la structure 4 plus faible - ...

Question 48.

Bornes minimales et/ou maximales à renseigner pour le modèle d'optimisation :

Paramètre :	Bornes minimales :	Bornes maximales :
DA	\varnothing bague inférieure > \varnothing cannelures arbre 3 (40 mm)	\varnothing bague extérieure < \varnothing intérieur du tambour 2 (607 mm)
DB	\varnothing bague inférieure > \varnothing moteur + 2*épaisseur structure fixe 4	\varnothing bague extérieure < \varnothing intérieur du tambour 2 (607 mm)
O3A	largeur joint tournant + largeur roulement A	Longueur du tambour (1193 mm) – AB
AB		Longueur du tambour (1193 mm) – ½ largeur des roulements

Question 49.

Évaluation du modèle optimisé

Critère 1 = contraintes maximales de Von Mises

	Conditions	Vérification
Arbre 3	$\sigma_{max} < R_{p0.2} = 414 \text{ Mpa}$	$\sigma_{optimisé} = 208 \text{ Mpa}$ donc vérifié
Tambour 2	$\sigma_{max} < R_{p0e} = 235 \text{ Mpa}$ (acier S235)	$\sigma_{optimisé} = 72 \text{ Mpa}$ donc vérifié

Critère 2 : déplacements des extrémités du tambour

Torseur des petits déplacements : $\vec{dU}_{C2/0} = \vec{dU}_{D2/0} + \vec{CD} \wedge \vec{d\theta}_{2/0}$

À partir des résultats des déplacements des extrémités du tambour :

	Modèle initial	Modèle optimisé
$d\theta_{2/0x}$	0	0
$d\theta_{2/0y}$	0,0006051	0,00016915
$d\theta_{2/0z}$	-3,021E-03	-3,609E-04

Condition : $d\theta_{2/0} < d\theta_{2/0lim} = 1,03^\circ$ (vérifié d'après tableau ci-dessus)

Question 50.

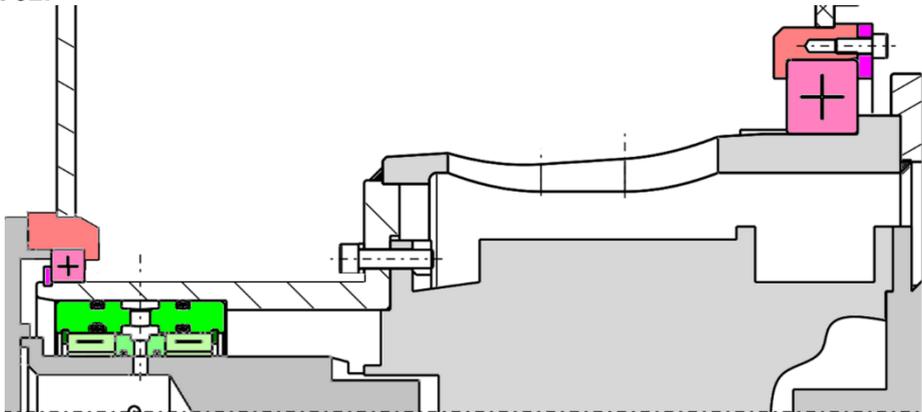
Justification du choix des roulements proposés :

- Les résultats des simulations montrent que les efforts axiaux sur les 2 roulements sont très faibles. Le choix d'un roulement à billes à contact radial se justifie.
- Le calcul de la durée des roulements n'est pas utile (il a été démontré que la vitesse de rotation du tambour est faible). Une étude statique est suffisante.

	Charge statique constructeur C0	Charge radiale Fr (Fa négligée)
Roulement A	46,5 kN	17 kN
Roulement B	245 kN	14 kN

$Fr < C0$ pour les 2 roulements, le choix des roulements est validé.

Question 51 et 52.

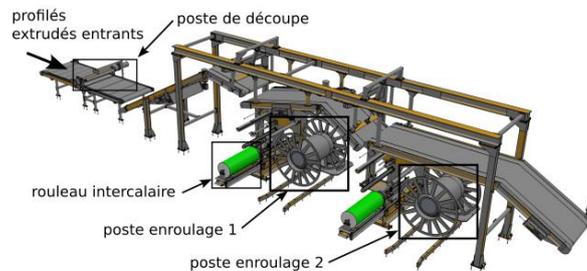


Montage de roulements : bague intérieure montées glissantes et bagues extérieures montées serrées.

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

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

1. Présentation du sujet



Le sujet porte sur une ligne d'enroulage en continu de profils en caoutchouc destinés à la fabrication de pneumatiques.

Cette ligne permet :

- un refroidissement et une stabilisation de la gomme,
- le transport et le stockage des profils,
- la préservation des caractéristiques géométriques des profils.

Le sujet s'articule en deux grandes parties, qui se déclinent respectivement en 5 et 7 sous parties :

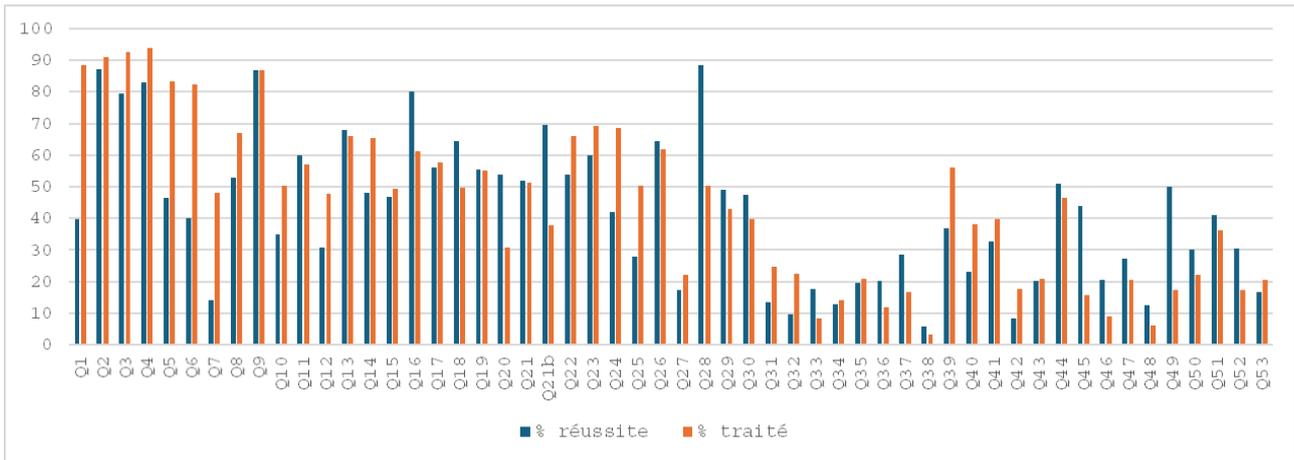
Partie I. Analyse de la fonction « découper le profilé »

- I.1 Analyse de la découpe du profilé
- I.2 Motoriser la lame pour effectuer la coupe
- I.3 Assurer la sécurité des utilisateurs
- I.4 Définition des contraintes géométriques du rotor de coupe
- I.5 Définition d'une gamme de fabrication du rotor de coupe

Partie II. Analyse de la fonction « enrouler la bande »

- II.1 Détermination de la tension minimale à appliquer à la bande
- II.2 Vérification des conditions de non-déformation la bande
- II.3 Dimensionnement de la liaison entre le tambour et la bobine
- II.4 Dimensionnement de la liaison entre le tambour 2 et l'arbre 3
- II.5 Conception de l'arbre 3
- II.6 Optimisation de l'ensemble arbre 3 + tambour 2
- II.7 Conception de la liaison entre l'arbre 3 et la structure fixe 4

2. Analyse globale des résultats



% de questions traitées par les candidats et % de réussite sur l'ensemble des questions

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseil aux candidats

Partie I

Cette première partie s'intéresse au découpage du profilé.

Partie I.1 Analyse de la découpe du profilé

Cette sous-partie avait pour objectif de quantifier les différentes déformations des pièces intervenant dans la découpe du profilé et de conclure quant à la solution proposée.

Beaucoup de candidats ont identifié le bon degré d'hyperstatisme du modèle mais ne font pas le lien entre un degré d'hyperstatisme et les contraintes géométriques à imposer qui en découlent (Q1).

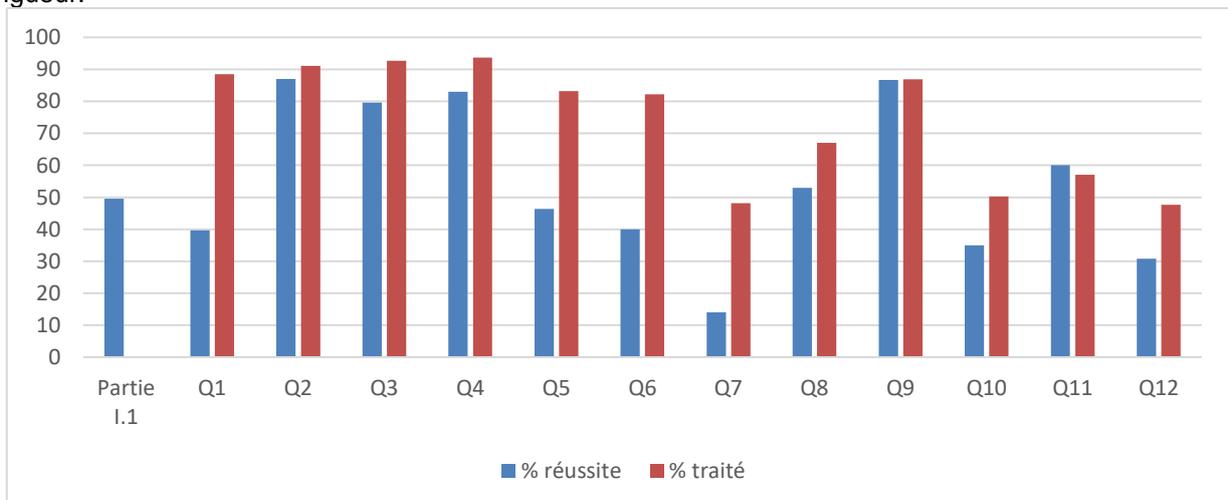
Les premières questions (Q2 à Q4), très simples, ont été abordées par une grande majorité de candidats et n'ont globalement pas posé de difficultés.

Les sollicitations de cisaillement, de flexion et de compression sont abordées dans cette partie.

Certains candidats ne savent pas que l'expression des composantes d'un torseur de cohésion dépend du tronçon où se situe la coupe (Q5).

Le calcul du raccourcissement de l'entretoise a été bien traité par les candidats connaissant la loi de Hooke, caractéristique du comportement élastique linéaire d'un acier (Q11).

Le tracé de la déformation des différentes pièces a été très souvent abordé. Néanmoins, peu de candidats proposent un raisonnement et une conclusion sur la capacité du système à découper le profilé sur toute la longueur.



Partie I.2 Motoriser la lame pour effectuer la coupe

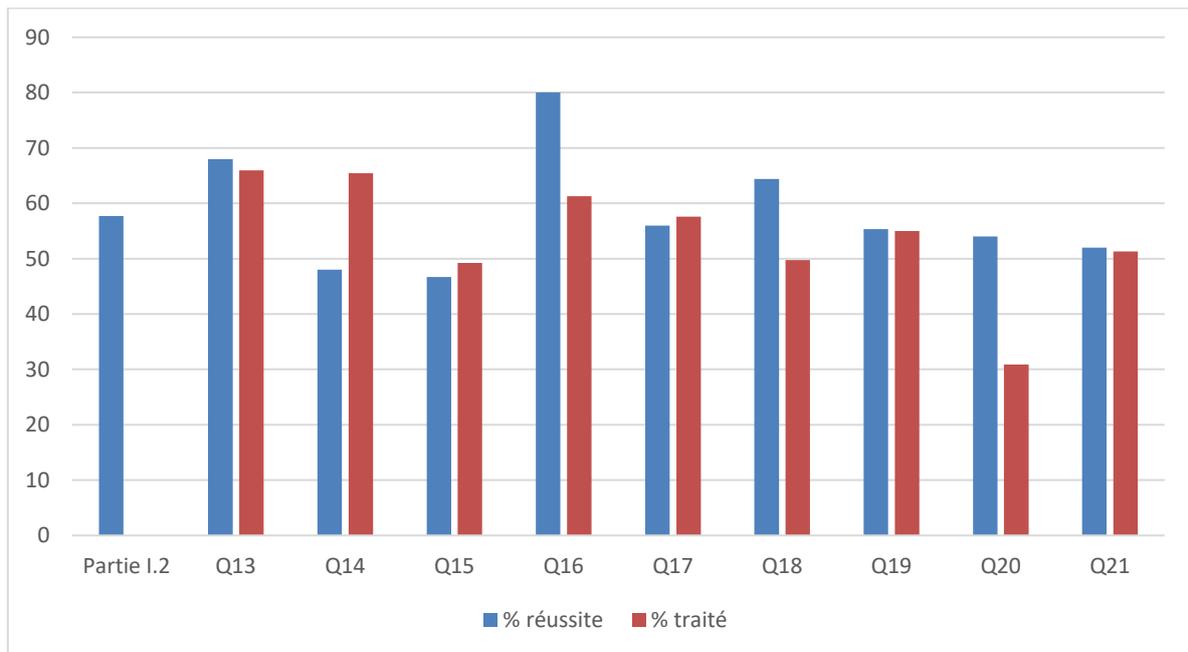
Cette sous-partie avait pour objectif de valider l'ensemble motoréducteur pour effectuer la coupe du profilé. Elle consistait à établir une équation du mouvement du rotor de coupe et à analyser les résultats de cette simulation.

Le jury rappelle aux candidats qu'il convient de préciser les plans de symétrie matérielle en les citant pour justifier la nullité de certains produits d'inertie (Q13).

L'expression du couple C demande de poser le calcul du moment de manière rigoureuse (Q17)

La maîtrise des algorithmes de calcul numérique sont indispensables pour résoudre des équations différentielles non linéaires (Q19 et Q20).

Il est normal de constater une variation de vitesse angulaire de la machine asynchrone du fait du glissement entre la vitesse de synchronisme et la vitesse de rotation du rotor. Cela ne remet pas en question le dimensionnement de l'ensemble « machine + réducteur » (Q21).



Partie I.3 Assurer la sécurité des utilisateurs

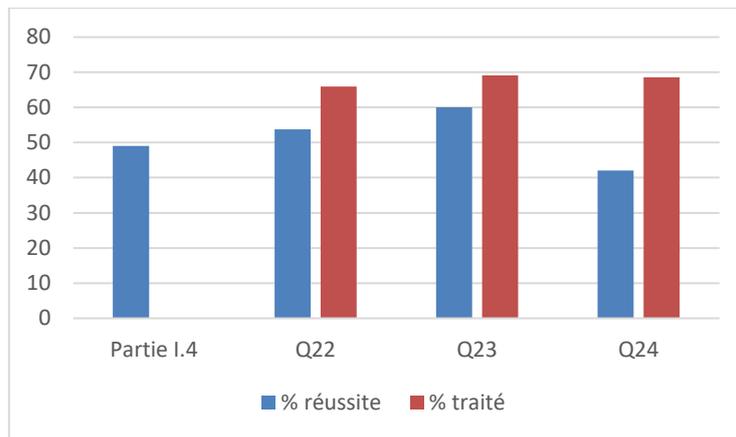
La question Q21b a été traitée par 38% des candidats et le pourcentage de réussite est de 70%.

Il s'agissait d'établir et résoudre une équation du mouvement simple en prenant en compte les hypothèses du sujet, ce qui n'a pas posé de problèmes aux candidats bien préparés.

Partie I.4 Définition des contraintes géométriques du rotor de coupe

L'explication des spécifications fonctionnelles (Q22) demande de maîtriser les normes en vigueur.

Afin de réaliser l'arrêt en translation de la bague intérieure du roulement, un anneau élastique était utilisé. Il convenait de s'assurer de sa montabilité. La chaîne de cotes n'a pas posé de difficultés particulières (Q23). Elle préparait la spécification de localisation attendue pour positionner la surface plane tolérancée (Q24). Une cote théorique exacte était attendue (encadrée). Elle spécifie la distance entre le plan médian de la zone de tolérance et la référence spécifiée. Il faut faire la différence entre cote théorique exacte et tolérancement linéaire.



Partie I.5 Définition d'une gamme de fabrication du rotor de coupe

La question Q25 a été traitée par 50% des candidats et le pourcentage de réussite est de 28%. Le jury attend des candidats qu'ils soient en mesure de proposer une gamme de fabrication cohérente, en précisant pour chaque phase d'usinage :

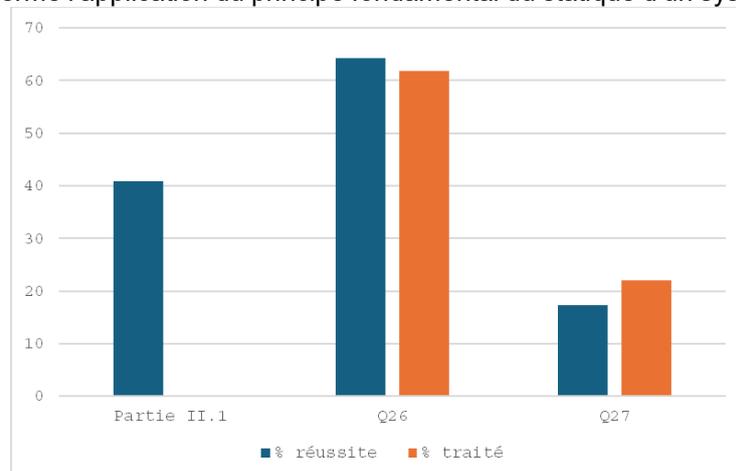
- la machine-outil utilisée,
- l'orientation des axes de la machine sur le brut en cours d'usinage,
- la mise en position de la pièce à partir d'un schéma actualisé pour chaque phase,
- les opérations d'usinage réalisées (en précisant les outils utilisés).

Partie II

L'objectif de cette partie était de concevoir et optimiser le système d'enroulage des bandes de produit.

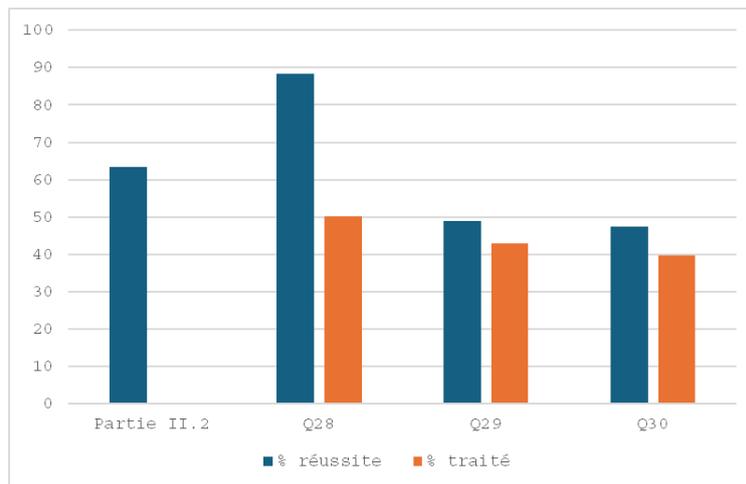
Partie II.1 Détermination de la tension minimale à appliquer à la bande

L'objectif de cette partie était de définir la tension à appliquer au produit. Cette partie fait appel à des développements issus de la statique. Si les bilans d'actions mécaniques ont été bien réalisés, peu de candidats ont mené à terme l'application du principe fondamental du statique d'un système plan à trois efforts.



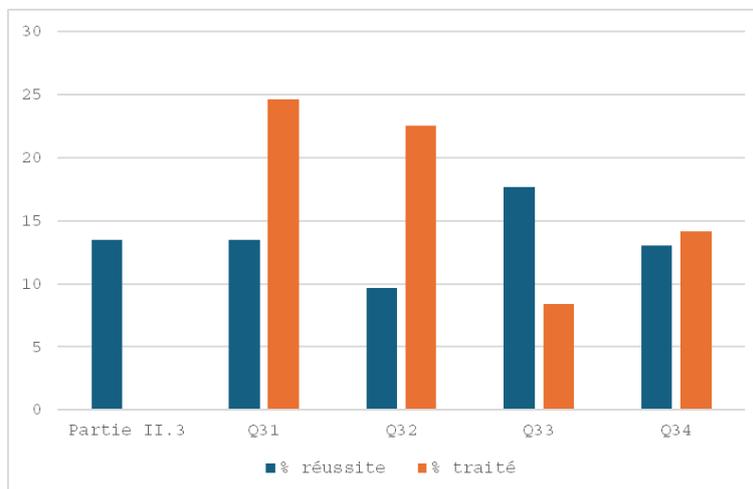
Partie II.2 Vérification des conditions de non-déformation la bande

L'objectif de cette partie était de discuter des risques de déformation du produit et de déterminer le défaut géométrique admissible dans le process de fabrication. Cette partie fait appel à des développements issus de l'étude des propriétés des matériaux. Le jury a apprécié lorsque les candidats ont proposé des argumentations basées sur des analyses exclusivement quantitatives dont les valeurs étaient justifiées, au contraire des analyses quantitatives non justifiées voire qualitatives.



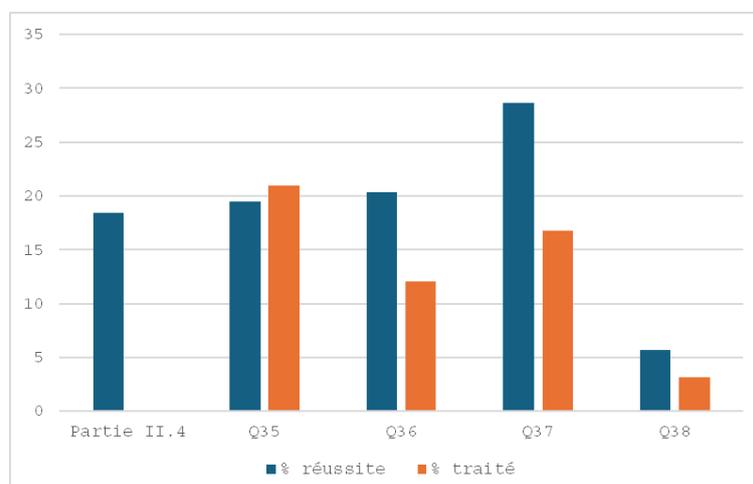
Partie II.3 Dimensionnement de la liaison entre le tambour et la bobine

L'objectif de cette partie était de vérifier le dimensionnement d'une liaison réalisée par des membranes sous pression. Cette partie fait appel à des développements issus de la statique et de l'étude des propriétés des matériaux. Beaucoup de candidats justifient une étude statique en analysant une accélération angulaire sans prendre en compte le moment d'inertie d'un solide pourtant très important (solide en rotation / axe fixe).



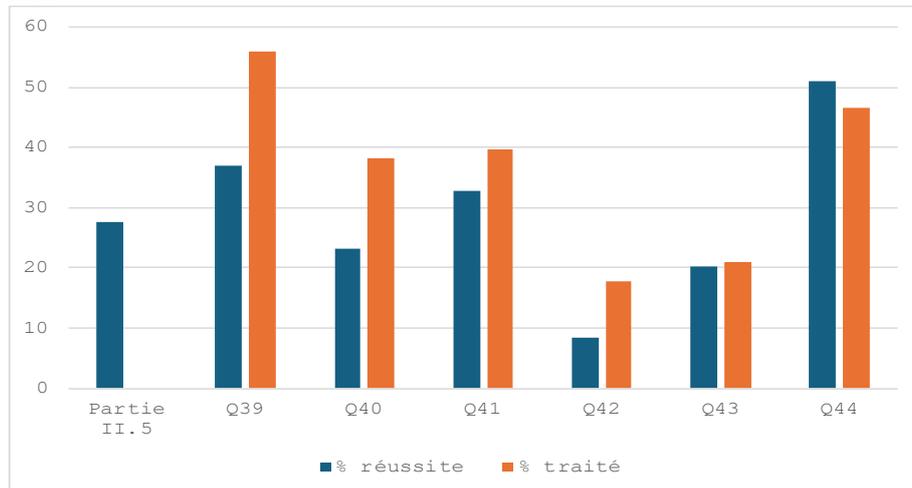
Partie II.4 Dimensionnement de la liaison entre le tambour 2 et l'arbre 3

L'objectif de cette partie était de définir une liaison filetée. Cette partie fait appel à des développements issus de la statique et à des connaissances issues des fonctions « assemblage ». Seuls quelques candidats ont réussi à établir le lien entre effort presseur et couple transmissible entre 2 surfaces à partir d'une formulation locale. Les calculs de raideurs d'un ensemble de solides en série ou en parallèle ne sont connus que par un nombre très restreint de candidats.



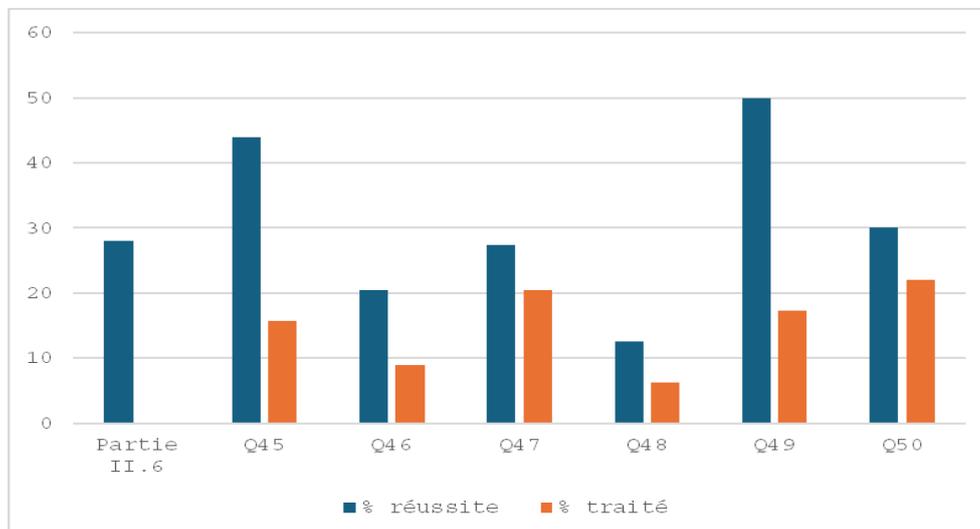
Partie II.5 Conception de l'arbre 3

L'objectif de cette partie était de proposer des procédés d'obtention d'une pièce mécano-soudée et de vérifier son dimensionnement. Cette partie fait appel à des développements issus de l'étude des propriétés des matériaux, de la simulation numérique et à des connaissances issues des fonctions « assemblage » et des procédés. La connaissance du procédé de soudage se limite à des notions élémentaires. Les candidats proposent le plus souvent des procédés sans justifier leur choix (TIG, MIG, MAG, par friction). L'adéquation avec la matière à assembler n'a été évoquée que par quelques candidats. Identifier les conditions limites en déplacement et en effort pour réaliser une simulation numérique de calculs contrainte/déplacement a posé une réelle difficulté.



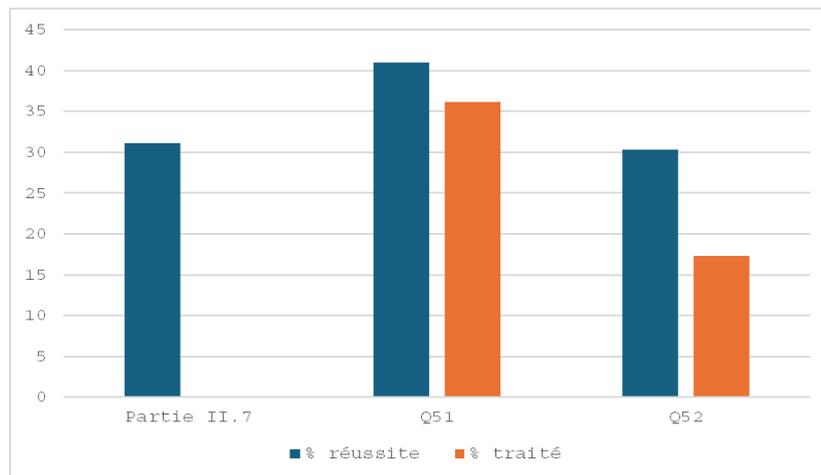
Partie II.6 Optimisation de l'ensemble arbre 3 + tambour 2

L'objectif de cette partie était de mettre en œuvre une démarche d'optimisation de paramètres qui caractérisent une solution. Cette partie fait appel à des développements issus de l'étude des propriétés des matériaux et à l'analyse des mécanismes. Les questions relatives à la démarche d'optimisation ont été très peu traitées. Le jury regrette que les candidats n'argumentent pas l'analyse des résultats en basant sur des critères quantitatifs.



Partie II.7 Conception de la liaison entre l'arbre 3 et la structure fixe 4

Cette partie consistait en une conception d'un guidage en rotation et d'un joint tournant. Cette partie fait appel à des connaissances issues des fonctions assemblages et des guidages. Seulement quelques candidats ont proposé des solutions viables techniquement au regard des règles de montage des roulements. Peu de candidats ont proposé une solution constructive répondant au cahier des charges pour le joint tournant. Certains candidats ne respectent pas les règles minimales de tracés (axes, hachures, ...).



Partie III. Question de synthèse

La question Q53 a été traitée par 20% des candidats et le pourcentage de réussite est de 17%.

4. 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. Les choix d'isollements et les bilans d'actions mécaniques ou de puissance manquent généralement de rigueur (même sur les copies qui par ailleurs sont de très bon niveau) ce qui empêche tout développement menant à une conclusion exploitable. Ces notions sont très transversales en sciences de l'ingénieur et constituent un préalable indispensable à toute analyse faisant intervenir les théorèmes généraux de mécanique.

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 :

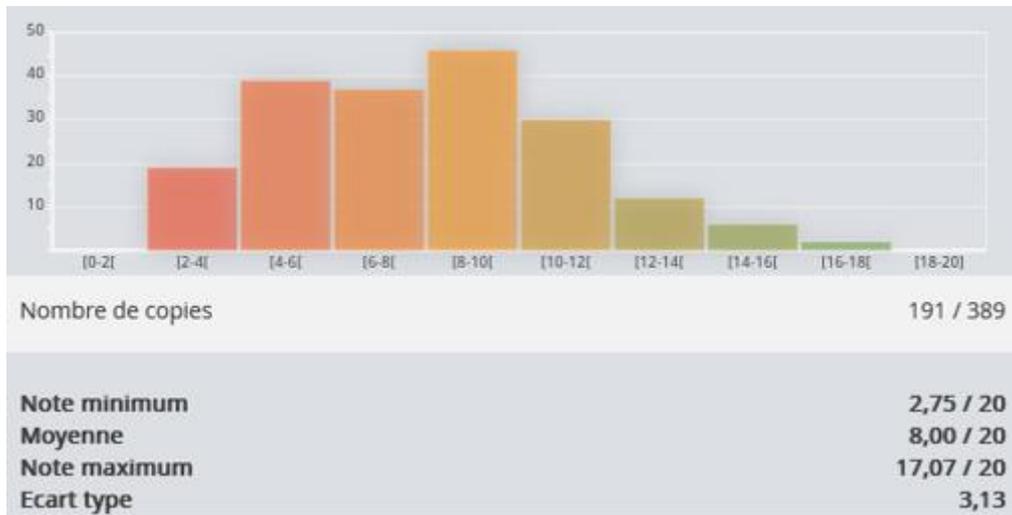
- une lecture attentive du sujet dans son ensemble et un esprit de synthèse;
- une bonne maîtrise des outils de modélisation de l'ingénierie système et des modèles de connaissance de tous les domaines de l'ingénierie mécanique;
- une culture technologique qui ne se limite pas aux théorèmes généraux, mais qui inclut également les connaissances propres aux composantes de création et de mise en œuvre propres à la discipline. L'épreuve de conception constitue en particulier l'occasion d'exprimer cette culture;
- 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.

5. 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. Le jury rappelle que la conception et l'étude d'un produit industriel fait appel à des connaissances transversales et que les candidats ne peuvent se limiter à des connaissances mono-disciplinaires.

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.

5. Résultats



191 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 08/20, avec un écart-type de 3,13/20 avec :

- 17,07/20 comme meilleure note ;
- 02,75/20 comme note la plus basse.

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

A. Présentation de l'épreuve

Textes de référence

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

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

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

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

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

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 ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental conçue.

Déroulement de l'épreuve

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

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

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques. Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

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

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

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

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

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail 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**

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

- du titre 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 savoir-faire et savoirs 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'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

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

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités à caractère expérimental proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, 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**

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

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

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

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

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire, ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique 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 savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans un contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

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

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

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

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

- préciser certains points de 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 2025 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- maquette didactisée d'un bras de pelleteuse ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- exosquelette lombaire ;
- 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, etc.) ;
- recalage d'un modèle multiphysique ou non ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts ;
- analogie entre différents domaines.

B. Commentaires du jury

• Analyse des résultats

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

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. 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 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

Pour 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 de diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel et/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

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

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralités permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles 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, modéleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation, environnements de programmation...).

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

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

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- suivre rigoureusement les protocoles expérimentaux qui leur sont proposés ;
- corréliser 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 remédiation 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 ;
- de situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- d'expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- de décrire le déroulement de la séquence ;
- de situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- d'expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- de présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- de justifier les choix pédagogiques retenus ;
- de 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 maîtrisés 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.

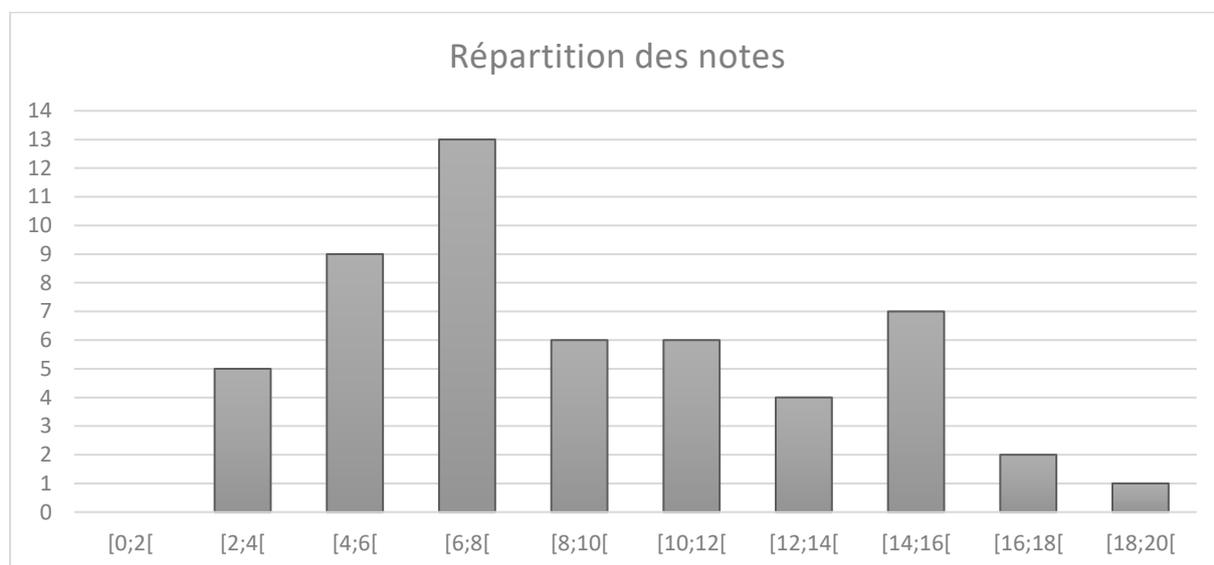
Conclusion

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 2025 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'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de **9,2**. L'écart-type est de **4,2**. La meilleure note est **18,8**. La plus faible est **2,4**. La médiane est de **8**.



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	<p>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 :</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ; </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - systèmes variés de chauffage ; - système d'éclairage communicant de salles de spectacles ; - thermostat connecté et intelligent ; - pompe à chaleur ; - ... </td> </tr> </table>		<ul style="list-style-type: none"> - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ; 	<ul style="list-style-type: none"> - systèmes variés de chauffage ; - système d'éclairage communicant de salles de spectacles ; - thermostat connecté et intelligent ; - pompe à chaleur ; - ...
<ul style="list-style-type: none"> - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ; 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.

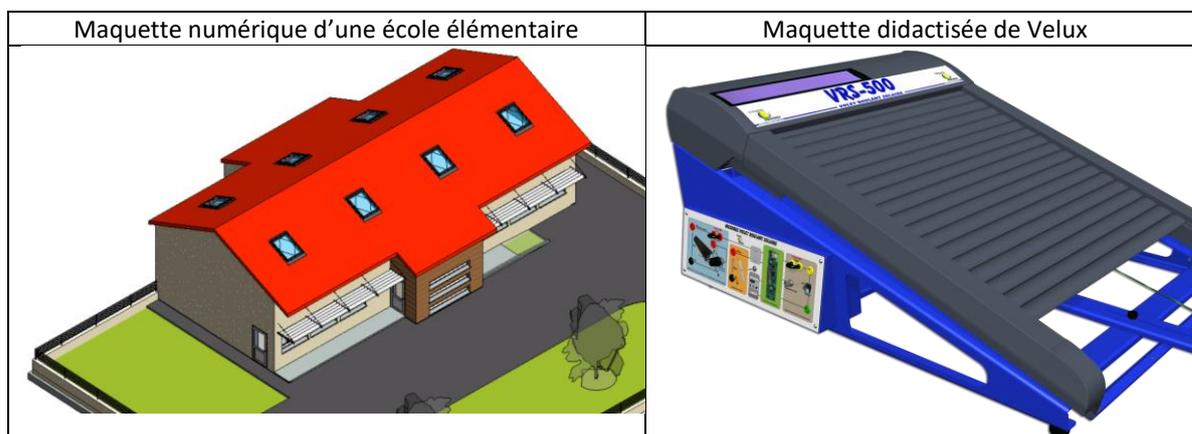
Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

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 ».



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'éclairage naturel grâce à des Velux tout en maîtrisant 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'éclairage 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'éclairage 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'éclairage, 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 2^{ème} environnement virtuel VRS-500_DD_EMP, compléter le document réponse DR2 en indiquant les différents sous-systèmes formant la chaîne de puissance et la chaîne d'information :

- du dispositif de gestion de l'éclairage 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'éclairage ou la régulation de la température du local.

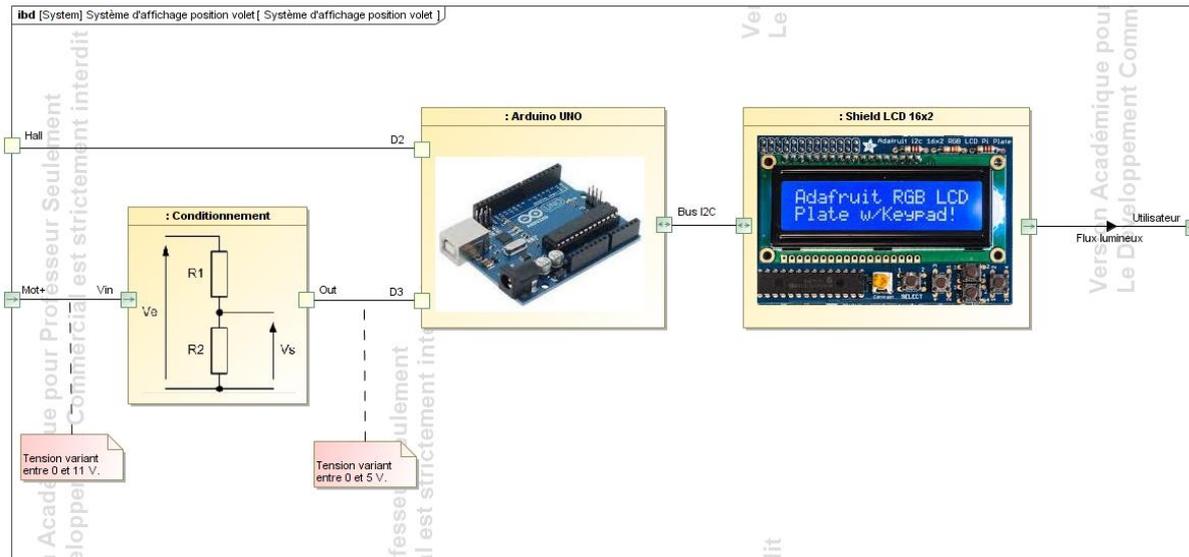
Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique : Comment optimiser l'éclairage 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.

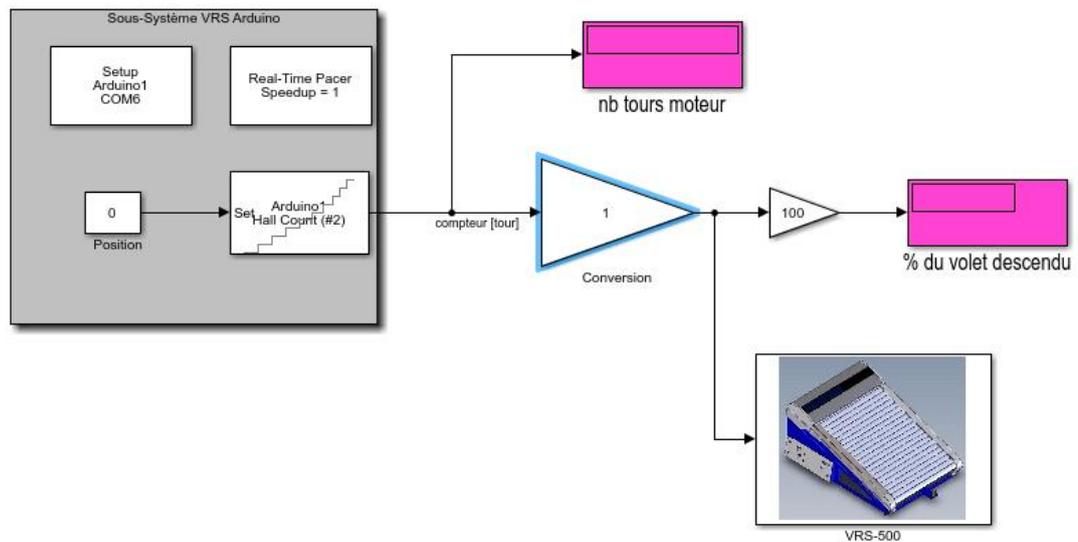


En plus du signal issu du capteur à effet Hall, les tensions aux bornes du moteur sont acquises via un étage de conditionnement. La carte Arduino se charge, selon les tensions mesurées aux bornes du moteur, d'incrémenter/décroémenter en conséquence la valeur d'un compteur. Cette valeur est remontée via 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.

Modèle pour la commande d'un VRS-500 virtuel, piloté par le VRS réel



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'éclairage 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'éclairage 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'éclairage



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 T_i et l'éclairage intérieur E_i en régime permanent en fonction de l'ouverture du volet, et le présenter à votre examinateur avant de le mettre en œuvre.

Tracer $T_i = f(\% \text{ ouverture volet})$ et $E_i = f(\% \text{ ouverture volet})$.

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 connaître 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 :

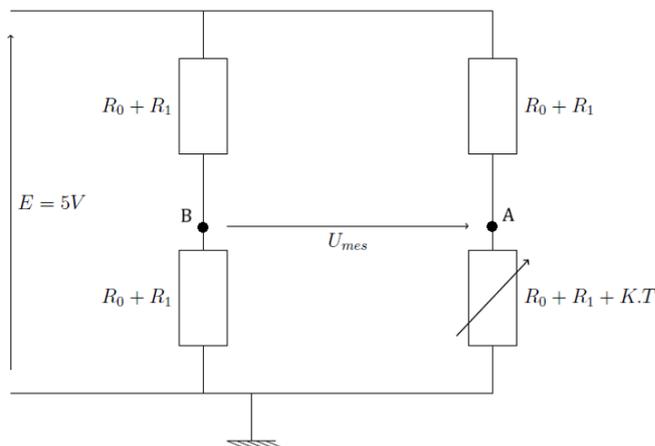
- T , la température en $^{\circ}\text{C}$ de la paroi sur laquelle la sonde est attachée ;
- R_0 , la valeur de $R(T)$ pour $T=0^{\circ}\text{C}$, en Ω ;
- K , la valeur du gain de la sonde en $\Omega \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

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 $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$. 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 :

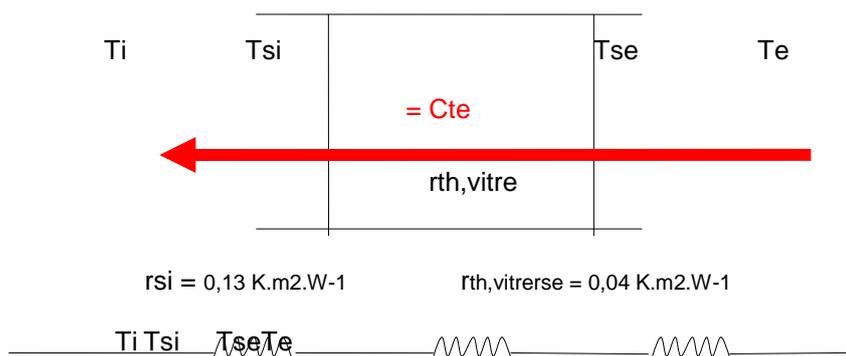
- T_{se} et T_{si} , respectivement les températures de surface extérieure et intérieure en K ;
- $r_{th,vitre}$, la résistance thermique du vitrage considéré en $K.m^2.W^{-1}$;
- φ : le flux thermique à travers la paroi en $W.m^{-2}$.

Afin de pouvoir implémenter un modèle de simulation pour dimensionner un local, et évaluer les échanges thermiques, il est nécessaire de connaître 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 $r_{th,vitre}$.



Le constructeur donne $r_{th,vitre} = 0,075 K.m^2.W^{-1}$. 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 (éclairage 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

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve « Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique » permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique 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 leurs permettent de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées.

- ✓ **Première partie (durée ≈ 0h30)**
Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, support de l'épreuve. À la fin de cette première partie, les examinateurs s'assurent que le support de TP, ses performances dans l'optique de l'épreuve ainsi que la problématique proposée ont bien été assimilés. 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 simulation et/ou de mesures 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 leurs est proposé. Ils peuvent stocker les résultats obtenus dans l'espace numérique qui leur est alloué pour l'épreuve.

La phase 2 – Préparation de la présentation (durée 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 et logiciels spécifiques liés au support qui leur ont été proposés 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 maximale 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 et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans leur espace.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2025 :

- 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'expérience ;
- 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 de système.

Compétences attendues par le jury

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

- faire preuve d'aptitudes liées à l'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités pratiques dans une séquence cohérente, inscrite dans une progression didactique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations nouvelles, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;
- s'approprier un support technique ;
- s'approprier la problématique associée ou le problème technique posé ;
- élaborer, conduire, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter et analyser des résultats expérimentaux ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- caractériser les différents écarts (spécifiés, simulés, réalisés) ;

- faire une synthèse au regard de la problématique proposée en s'appuyant sur les expériences menées et les modèles utilisés ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur.

2. Analyse globale des résultats

Les résultats pour cette session restent globalement satisfaisants bien qu'en légère baisse. Les candidats avaient connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient bien préparés. Il semble toujours indispensable que les futurs candidats s'imprègnent de l'idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d'apprentissage. Le jury rappelle qu'une activité pratique ne peut se limiter à l'usage d'un outil numérique de simulation. Le jury note que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels des BTS de la spécialité. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont parfois assez mal maîtrisées.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

✓ Concernant la compréhension du système (phase 1 – première partie)

Pour cette première partie, le questionnement est conçu pour permettre une compréhension globale du système et de son fonctionnement, quelles que soient les connaissances préalables des candidats. Cette partie leur permet de montrer leur capacité à aborder le système de façon globale en identifiant sa structure, ses caractéristiques et son fonctionnement. Il est conseillé de s'engager dans l'épreuve de façon ordonnée. Un dossier technique et des ressources documentaires numériques sont à disposition. Cette première phase d'appropriation est fondamentale pour permettre de comprendre la problématique proposée dans la suite des activités (deuxième et troisième partie de la phase 1). Le système proposé peut être le système réel ou un système didactisé. Il est important que les candidats prennent en compte les différences entre ces deux cas de figure. Cette première partie est conçue pour s'approprier rapidement le sujet par une présentation concise du support et du contexte et par une prise en main des logiciels à utiliser, le cas échéant. Pour cela, elle est assortie de questions pour permettre aux candidats d'être autonomes pour utiliser le matériel et les logiciels.

Pour cette partie, le jury recommande :

- de lire attentivement l'énoncé fourni ;
- d'analyser et d'identifier les informations pertinentes pour s'approprier le support ;
- d'associer les observations du système à la consultation des ressources documentaires ;
- d'utiliser des outils d'analyse externe et interne pour décrire le fonctionnement et/ou la structure du système ;
- de restituer le système réel dans son contexte.

✓ Concernant les travaux pratiques de résolution des problèmes posés et d'exploitation des résultats (phase 1 – deuxième partie)

Pour cette partie de l'épreuve, les candidats peuvent être amenés à utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés. Une aide dans l'utilisation de ces instruments est fournie et le jury assiste les candidats en cas de difficultés matérielles. Les moyens de mesure peuvent être conventionnels ou numériques, isolés ou reliés à un système d'acquisition. L'usage des moyens numériques est de plus en plus développé : lors de cette session, l'exploitation du comportement réel s'est quelquefois opérée par digitalisation du réel, à partir d'un programme de corrélation d'image, cela n'implique cependant pas de négliger les moyens de mesure conventionnels.

Le jury prend en compte le soin et les précautions apportés par les candidats pour réaliser des mesures.

Les candidats peuvent également être amenés à mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, modeleurs volumiques, logiciels de simulation, de choix de matériaux, scripts python...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée, les membres du jury sont présents pour apporter une aide éventuelle à leur utilisation. Ces logiciels proposés peuvent, par leur possibilité de simulation, faciliter la compréhension des phénomènes et permettent d'éviter tout calcul analytique long et complexe. Ils ne dispensent pas les candidats de formuler l'ensemble des hypothèses et des justifications nécessaires. Les modèles numériques et analytiques peuvent également être utilisés pour de l'identification et/ou de la prédiction.

La maîtrise des connaissances fondamentales dans les domaines de la mécanique, de l'automatique, de la conception, de la pré-industrialisation, de l'industrialisation, du contrôle et de la maintenance des produits est indispensable pour mettre en œuvre les différents équipements proposés et pour résoudre les problématiques auxquelles ils sont confrontés.

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

- analyser le sujet proposé ;
- 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 ;
- présenter et justifier les protocoles ;
- mettre en œuvre une expérimentation avec les instruments mis à disposition et selon le protocole proposé ;
- corrélérer 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'activité pratique ne peut se résumer à l'usage d'un outil numérique et que le caractère expérimental est un attendu de cette séance.

Le jury recommande aux candidats de :

- préciser les compétences visées et savoirs associés ;
- dégager les objectifs pédagogiques, les connaissances à transmettre et les points-clés de la séquence ;
- définir et justifier la place de la séquence dans la progression didactique du niveau proposé ;
- consulter les programmes, référentiels et documents d'accompagnement fournis ;
- respecter les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre (nombre d'élèves, de groupes, liste des systèmes présents dans le laboratoire ou l'atelier, etc.) ;
- décrire et justifier la structure de la séquence (cours, travaux dirigés, activités pratiques, projets, synthèse, 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.

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. 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 référentiel;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les savoirs nouveaux ainsi que les points clés de la séquence ;
- de situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- de décrire le ou les systèmes retenus dont le support utilisé en phase 1 et 2 ;
- de proposer des organisations temporelles, matérielles et spatiales de la séquence et de la séance en indiquant l'effectif d'élèves ou d'étudiants dans chacune des activités ;
- de proposer, justifier et valider un ou des protocoles ;
- de décrire les mesures que devront réaliser les élèves ou étudiants ;
- de commenter la démarche pédagogique mise en œuvre ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir les documents (ainsi qu'éventuellement leur format) qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les modalités d'évaluation retenues et les critères associés.

Le jury a apprécié lors de la présentation de la séance pédagogique développée, les candidats qui ont pu s'attacher à une présentation rigoureuse et une organisation structurée, 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'explicitier finement la ou les séances en exposant les activités de l'élève ou de l'étudiant.

✓ Concernant le comportement des candidats

Le jury attend des candidats un savoir-être compatible avec les exigences d'un concours de recrutement de cadres A de la fonction publique. Il a constaté que de nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système dans sa complexité. L'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas, elle doit se préparer.

Certains candidats font une confiance aveugle aux modèles numériques et ont en revanche beaucoup de méfiance vis-à-vis des résultats expérimentaux. Même si c'est une évidence, il n'est pas inutile de rappeler ici qu'une épreuve d'activités pratiques est avant tout une épreuve expérimentale.

Au-delà de la structuration nécessaire à un discours cohérent, les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées qui ne permettent pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Le jury apprécie une présentation qui montre la logique de choix des objectifs pédagogiques de chaque séance et la cohérence de leur enchaînement au cours de la séquence proposée. Il recommande aux candidats — dans le cadre d'un recrutement au métier d'enseignant — de s'appropriier 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.

3. Conclusion

Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante mais fondamentale en sciences industrielles de l'ingénieur. Pour cette session de l'agrégation, les résultats de la deuxième épreuve d'admission montrent une légère inflexion. Les candidats des prochaines sessions trouveront dans le rapport de cette épreuve les éléments relatifs à leur préparation.

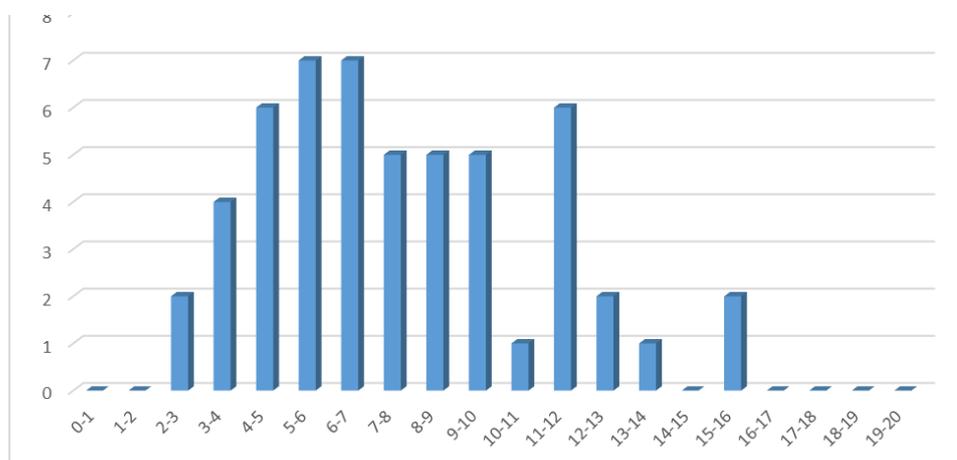
Le jury conseille de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement. La connaissance et l'appropriation de ces réflexions dans l'enseignement quotidien permettront de mieux maîtriser ces concepts et d'éviter de faire des propositions didactiques irréalistes et inappropriées dans le cadre habituel de fonctionnement des établissements scolaires.

4. Résultats

53 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 7,6/20 et l'écart-type de 3,25 avec :

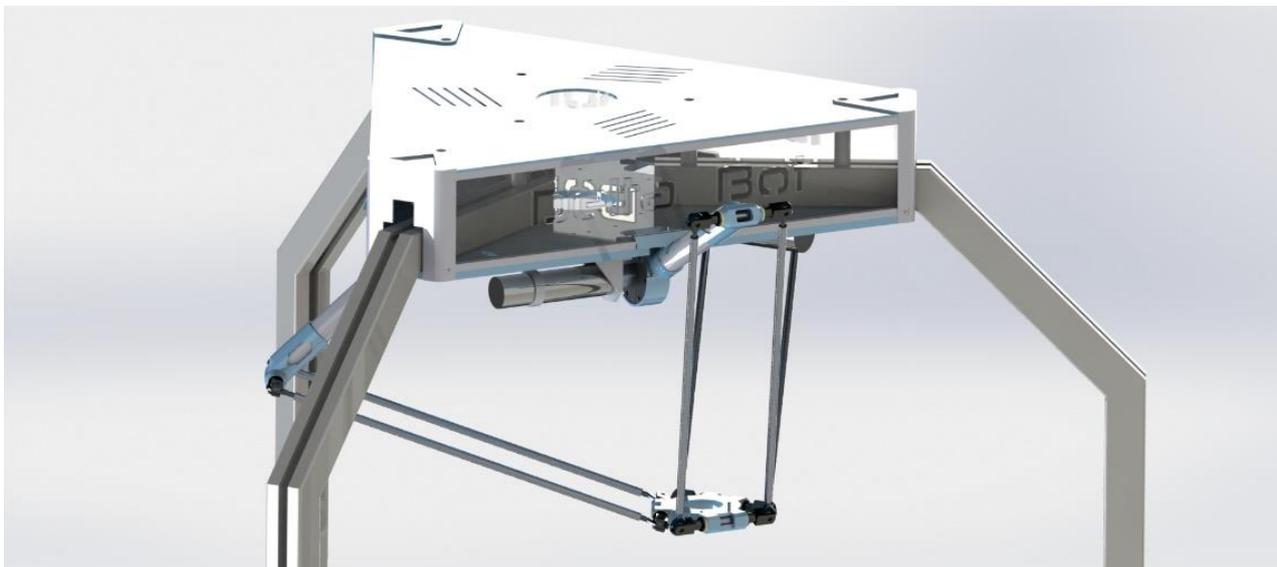
- 15,2/20 comme meilleure note ;
- 2,3/20 comme note la plus basse.

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	<ul style="list-style-type: none">• 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-clés 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 COMPETENCES 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				Limites de connaissances
	1	2	3	4	
<p>S3.2.1 – Modélisation des mécanismes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cinématique des liaisons mécaniques : <ul style="list-style-type: none"> - 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 : <ul style="list-style-type: none"> - classe d'équivalence cinématique, - graphe des liaisons, - schéma cinématique (minimal ou architectural). - Associations de pièces et de liaisons : <ul style="list-style-type: none"> - 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. 					<p>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.</p> <p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - liaison glissière équivalente, - liaison pivot équivalente, - liaison ponctuelle équivalente.
<p>S3.2.2 – Mouvements relatifs entre solides dans le cas d'une translation ou d'une rotation autour d'un axe fixe</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 					<p>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).</p> <p>Représentation graphique et analytique des positions, vitesses et accélération dans les cas de mouvements uniformes ou uniformément variés.</p>

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 fichier 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.

```

t,x,y,z
0.0,0,-150.0,-400.0
0.0025,0,-149.85,-399.95
0.005,0,-149.7,-399.9
0.0075,0,-149.55,-399.85
0.01,0,-149.4,-399.8
0.0125,0,-149.25,-399.75
0.015,0,-149.1,-399.7
0.0175,0,-148.95,-399.65
0.02,0,-148.8,-399.6
0.0225,0,-148.65,-399.55
0.025,0,-148.5,-399.5
0.0275,0,-148.35,-399.45
0.03,0,-148.2,-399.4
0.0325,0,-148.05,-399.35
0.035,0,-147.9,-399.3
  
```

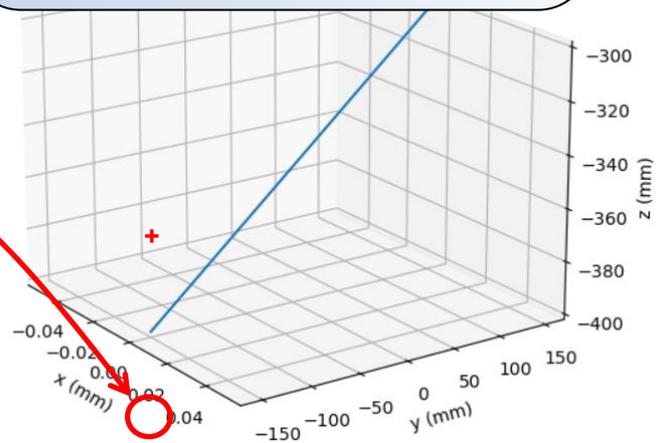
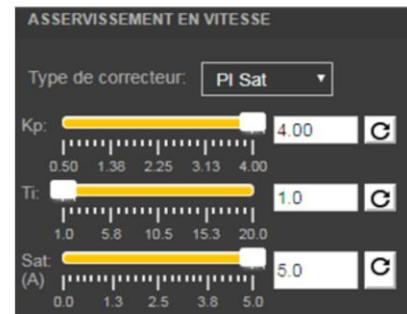
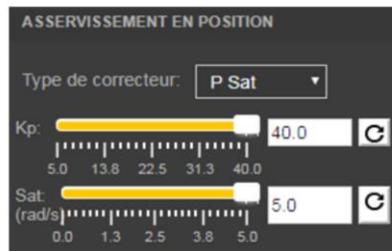
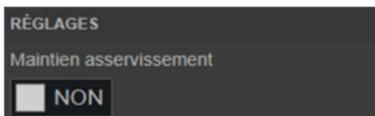


Illustration du mode de définition d'une trajectoire

Activité 1 : Mise en œuvre du DeltaBot

1.1 À 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 plate-forme 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.

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 continuellement sans subir de défaillance par échauffement excessif.

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

$$C_{\text{nominal}} = 63 \text{ mN.m}$$

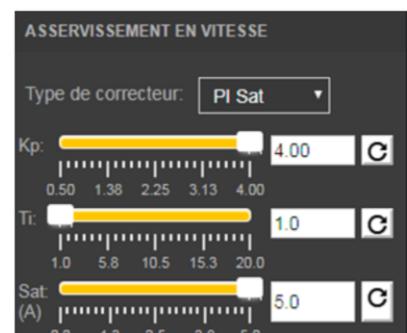
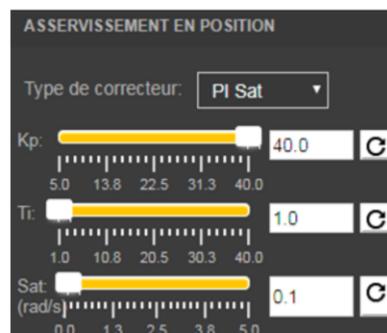
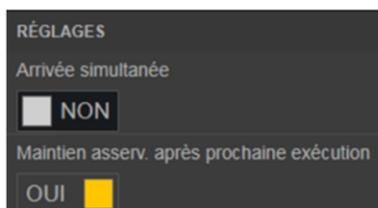
$$k_t = 0.019 \text{ N.m/A (constante de couple électro-mécanique)}$$

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 plate-forme à $z = -500 \text{ mm}$.

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 ?

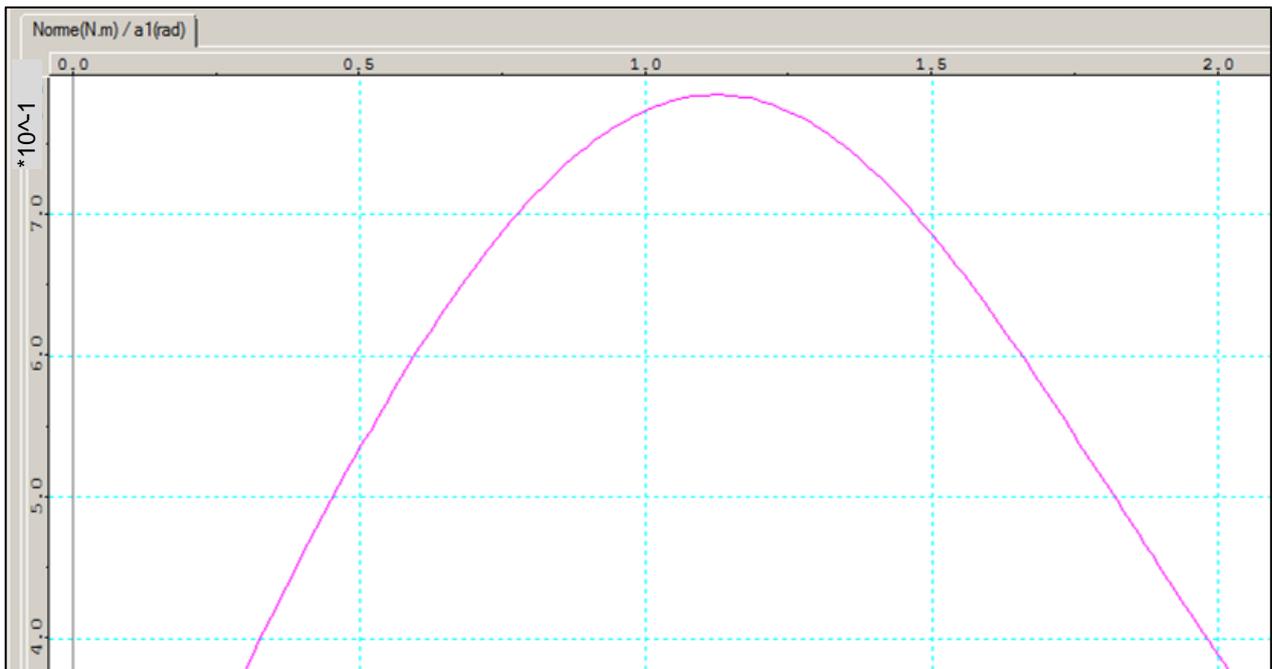
ANALYSE D'UNE SIMULATION MECANIQUE NUMERIQUE

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= $f(\text{angle des bras})$



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.

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

MESURE EXPERIMENTALE 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.

6.2 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.

6.3 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 » : $C_{rsec0}=6,5 \text{ mN.m}$

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 : $C_{m0}=7,5 \text{ mN.m}$

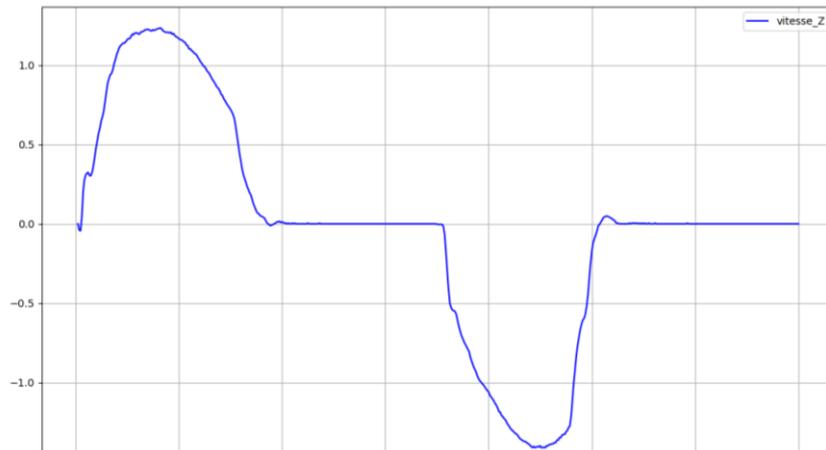
Activité 7 : Détermination de la masse maximale

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

7.1 Dédire des données et activités précédentes la masse maximale que le robot peut maintenir continuellement 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 :

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

Pour rappel : $C_{\text{nominal}} = 63 \text{ mN.m}$
 $k_t = 0.019 \text{ N.m/A}$ (constante de couplage électromagnétique)

Activité 8 : Détermination numérique du couple thermique

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

- 8.1** Exécuter le script *couple_thermique.py* et interpréter la courbe obtenue vis-à-vis de la courbe de vitesse fournie
- 8.2** Compléter le code afin de déterminer le couple thermique dans ce cas de charge cyclique.
- 8.3** 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'explicitier 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

1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : arrêté du 24 juin 2019) précise :

« L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines de l'option préparée, suivie d'un entretien.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie.

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.

2. Analyse globale des résultats

De très bons résultats témoignent de la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats. Les dossiers et exposés insuffisamment préparés et/ou inadaptés aux exigences de l'épreuve n'ont pas permis à d'autres candidats de faire preuve de leurs compétences.

Le jury rappelle à tous les futurs candidats que cette seule épreuve ne représente pas un entretien d'embauche.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système technologique, représentatif des technologies actuelles et en lien avec l'option présentée du concours, est déterminant pour permettre 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 technologiques 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).

4. Conclusion

Les candidats qui se sont distingués montrent en même temps une solide expertise scientifique et technologique, un esprit d'analyse et de synthèse couplé à une maîtrise pédagogique et didactique de leur discipline.

Le jury a constaté avec satisfaction que, pour la grande majorité des candidats, la dimension éducative du métier de professeur est correctement appréhendée et qu'une réelle réflexion a été menée sur la transmission des valeurs de la République.

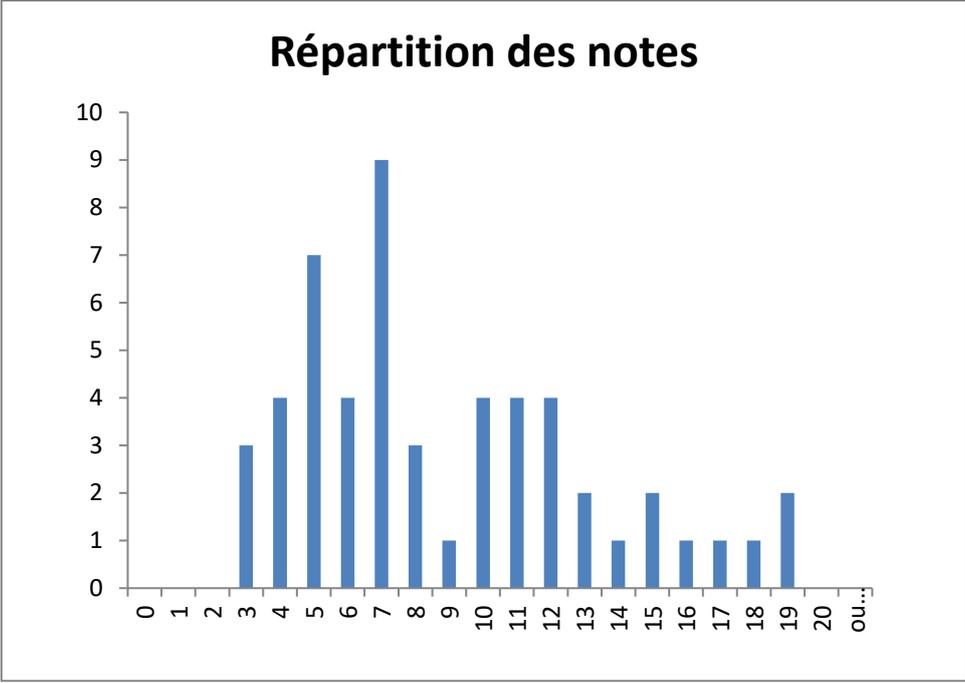
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

5. Résultats

53 candidats ont été évalués sur l'épreuve de dossier. La moyenne des notes obtenues est de 8,4/20 et l'écart-type 4,3/20 avec :

- 19/20 comme meilleure note ;
- 2,3/20 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.