



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Session 2024

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 2024	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 2024 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 10 juin au 19 juin 2024 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 16 janvier 2024.

Résultats statistiques de la session 2024

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
434*	33	188**	87***	27

*dont 75 candidats à l'agrégation marocaine

** dont 45 candidats à l'agrégation marocaine

*** dont 15 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	18,58/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	7,51/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	16,5/20
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	8,7/20

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 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>

Enfin, il est indispensable de se préparer aux épreuves orales dès l'inscription au concours en particulier pour l'épreuve de soutenance d'un dossier 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 ou au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves.

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

Les modalités et les objectifs des épreuves sont rappelés par le directoire du jury au cours de l'accueil avant le début des épreuves d'admission, il est impératif de les respecter pour répondre correctement aux attendus du jury. En particulier, pour les épreuves d'exploitation pédagogique d'une activité pratique il est indispensable que le candidat fasse preuve d'une réflexion personnelle à partir du support de travaux pratiques proposé ce qui proscrit l'utilisation de séquences ou de documents prêts à l'emploi déconnectés de ce support. En particulier, il est recommandé aux candidats de limiter l'usage d'Internet à son rôle de base documentaire dans l'élaboration d'une séquence pédagogique originale et personnelle. 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 2024 a conduit à l'admission de 27 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 58 places, deux autres de 32 et 28 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.

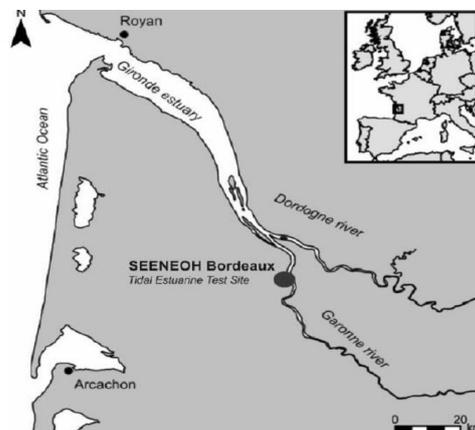
Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, 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.

Présentation du sujet

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

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12336/download>

Il porte sur l'étude de la plateforme BILBAO conçue pour tester des prototypes d'hydroliennes fluviales et océaniques. Elle est implantée depuis 2016 sur la Garonne au cœur de la ville de Bordeaux, ville jumelée avec la ville portuaire espagnole de Bilbao.



Stratégies de pilotage et de communication

Question 1 : La plateforme est orientée grâce à quatre treuils pilotés par quatre variateurs. L'automate V570 gère la commande des moteurs en fonction des efforts mesurés sur les quatre capteurs.

Cet automate communique avec le serveur SCADA par Modbus TCP/IP. Les données du fleuve sont mesurées grâce au capteur ADCP. Le convertisseur RS485/Ethernet permet de transporter ses données via Ethernet par protocole Modbus TCP/IP.

L'automate HT permet quant à lui de gérer la turbine installée sur la plateforme. Les échanges de données avec le serveur SCADA se font par Modbus TCP/IP. L'automate PL/LM permet de gérer la production électrique renvoyée sur le réseau ERDF.

Le poste administrateur permet de superviser l'ensemble des automates et des données renvoyées par les capteurs grâce au serveur SCADA.

Question 2 : Un réseau de classe C permet d'avoir jusqu'à 254 terminaux, ce qui est largement suffisant pour ce site de test. Les adresses IP sont de la forme **192.168.1.##** par exemple.

Question 3 : Le port 80 est le numéro de port attribué au protocole de communication Internet couramment utilisé, Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Il s'agit du port à partir duquel un ordinateur envoie et reçoit des communications et des messages basés sur un client Web d'un serveur Web et est utilisé pour envoyer et recevoir des pages ou des données HTML.

Pour accéder au serveur web du convertisseur : **192.168.xx.xx:80**

Question 4 : Le programme proposé est détaillé ci-dessous.

def lire(nf):

```
f=open(nf,"r") # Ouvre le fichier en mode lecture
L=f.readlines() # Stocke toutes les lignes dans la liste L
f.close() # Ferme l'accès au fichier texte
Vest=[] # Initialisation des listes
Vnord=[]

for li in L[2:12]: # On ne s'intéresse qu'aux données
    li=li.replace(",",".")
    li=li.rstrip("\n") # On supprime le retour chariot (optionnel)
    li_data=li.split("\t") # On crée une liste en découpant la ligne li sur les tabulations
    Vest.append(float(li_data[6])) # On remplit les listes
    Vnord.append(float(li_data[7]))

return Vest,Vnord
```

Question 5 : Le programme proposé est détaillé ci-dessous.

def vitesse_direction (Vnord,Vest,i):

```
V=(Vnord[i]**2+Vest[i]**2)**0.5
direction = np.arctan(np.abs(Vest[i]/Vnord[i]))*180/np.pi

return V,direction
```

Question 6 :

```
def filtrage(Te,e_1,s_0,tau): #filtre récursif
    # Te : période d'échantillonnage
    # e_1 : valeur mesurée (n)
    # s_0 : signal filtré (n-1)
    # s_1 : signal filtré (n)
    # tau : constante de temps.

    s_1=((tau*s_0+Te*e_1)/(Te+tau))
```

OU

$$s_1 = (\tau / (T_e + \tau)) * s_0 + (T_e / (T_e + \tau)) * e_1$$

return s_1

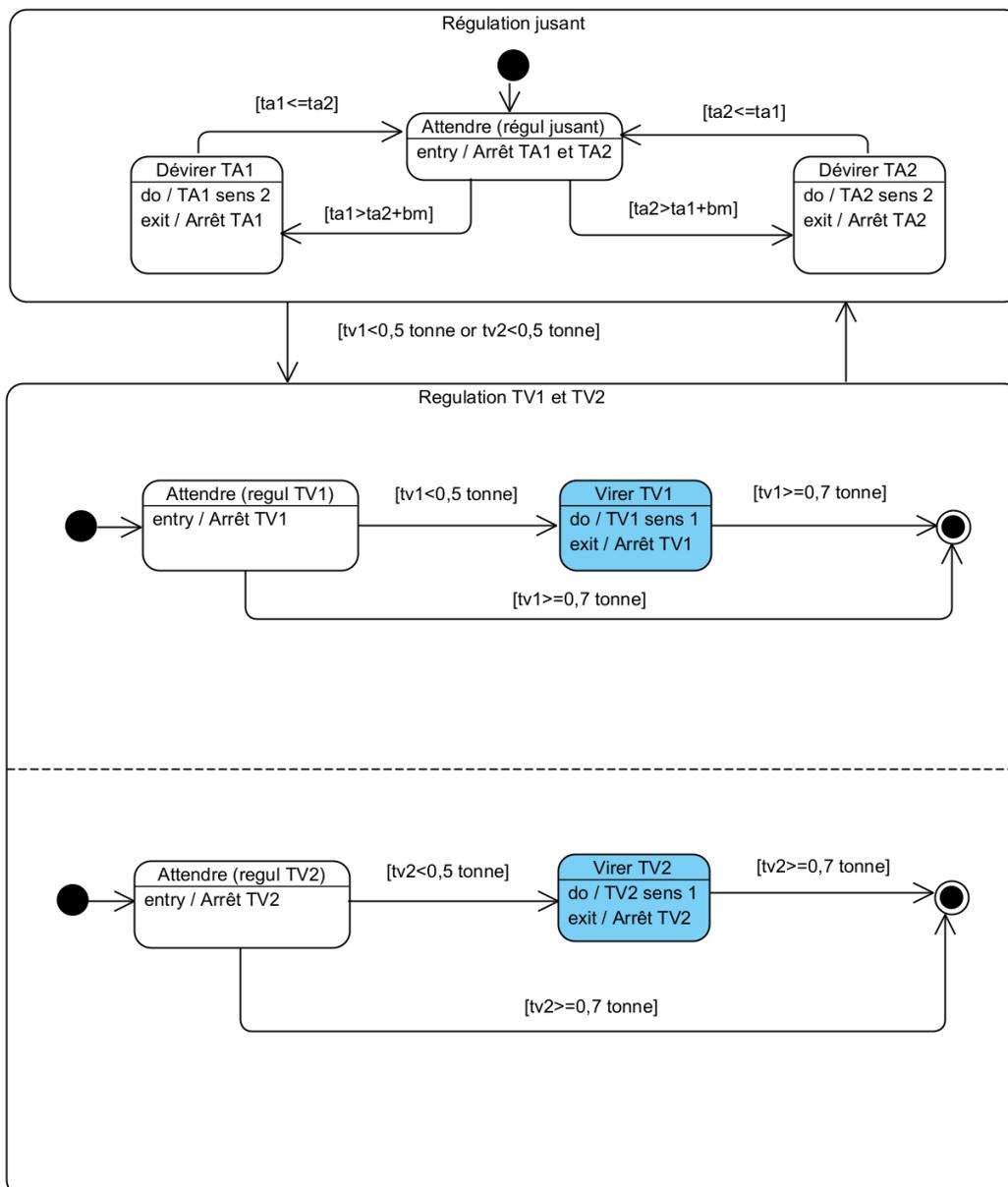
La constante de temps peut être déterminée à partir d'une analyse spectrale du signal.

Le théorème de Shannon stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure au double de la fréquence maximale du signal analogique.

Ce type de filtre nécessite en amont un filtre antirepliment.

Question 7 : Le changement de marée est observé en comparant la somme des efforts des treuils en amont avec la somme des efforts des treuils en aval.

Question 8 :



Question 9 : La fonction 3 correspond à une demande de lecture de l'adresse **0x312B**, ce qui correspond en décimal à **12587**. On cherche donc la position du vérin, la réponse est **0x5A** soit **90°**.

Question 10 :

```
> Frame 289: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface \Device\NPF_{8913601A-6A1F-4CF...
> Ethernet II, Src: Microsof_19:71:a2 (c4:9d:ed:19:71:a2), Dst: Arduino_ae:87:d0 (a8:61:0a:ae:87:d0)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.42, Dst: 192.168.0.88
> Transmission Control Protocol, Src Port: 59150, Dst Port: 502, Seq: 1, Ack: 1, Len: 12
> Modbus/TCP
> Modbus
```

Trame Modbus : 05 31 BF FF 00

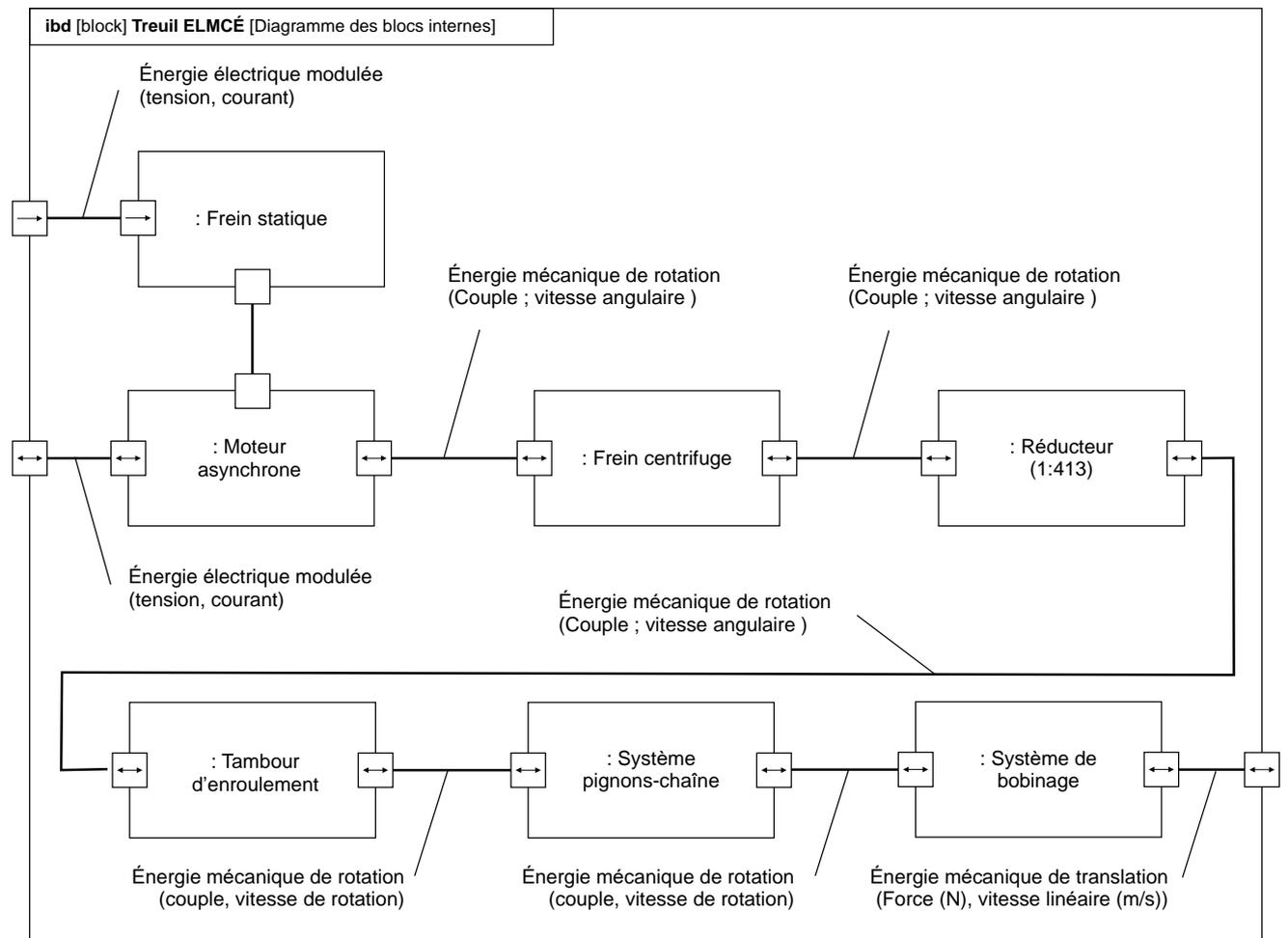
Question 11 : $\lambda = \frac{c}{f}$ ce qui fait une longueur d'onde de $\lambda = 0,125$ m.

$$d = \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-\alpha/20}}, \text{ soit une distance de } d = 444 \text{ m.}$$

L'exigence 1.4.1.1 impose une longueur de câble de 400 mètres, on peut donc en conclure qu'un réseau WIFI est envisageable.

Validation du dimensionnement de la chaîne puissance assurant le positionnement de la plateforme BILBAO

Question 12 : Le diagramme des blocs internes proposé est présenté ci-dessous.



Question 13 : Système isolé : $\{E\} = \{\text{plateforme} + \text{hydrolienne} + \text{équipements}\}$

Inventaire des actions mécaniques extérieures (I.A.M.E.) :

- action hydrodynamique en H : $\{F_{h \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{h \rightarrow E} = F_x \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_H$;
- action de chaque amarre sur la coque en O_i : $\vec{T}_{i \rightarrow E} = -T_i \vec{x}_i \quad \forall i \in \llbracket 1, 4 \rrbracket$;

- action de la pesanteur en G : $\{F_{pes \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{pes \rightarrow E} = M_T \vec{g} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$
- action de l'eau en C : $\{F_{e \rightarrow p}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{e \rightarrow E} = P_e \vec{z}_0 + R_e \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C$

Le théorème de la résultante statique (TRS) projeté sur la direction \vec{x}_0 implique :

$$F_x + R_e - \sum_{i=1}^4 T_i \vec{x}_i \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Soit en tenant compte de la symétrie du problème :

$$F_x + R_e - 2T_1 \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 - 2T_3 \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Les projections dans la base B_0 s'écrivent :

$$\vec{x}_i = \cos \theta_i \cos \alpha_i \vec{x}_0 + \cos \theta_i \sin \alpha_i \vec{y}_0 - \sin \theta_i \vec{z}_0$$

$$\vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

$$\vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_3 \cos \alpha_3 = -\cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

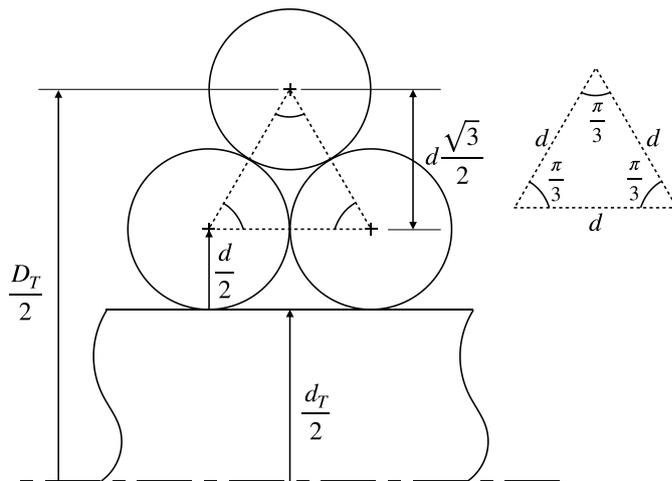
Finalement, il vient :

$$F_x + R_e - 2(T_1 - T_3) \cos \theta_1 \cos \alpha_1 = 0$$

Question 14 : Le centre de la première couche d'amarre est situé à une distance $\frac{d_T}{2} + \frac{d}{2}$ de l'axe de rotation du tambour. Chaque couche se décale ensuite d'une distance de $d \frac{\sqrt{3}}{2}$ si les amarres s'enroulent « parfaitement », alors :

$$D_T = d + d(n_c - 1) \sqrt{3} + d_T$$

A.N. : $D_T \approx 694$ mm.



Question 15 : Système isolé : $\{\Sigma\} = \{\text{tambour} + \text{réducteur} + \text{moteur}\}$

Hypothèses :

- l'effet de la pesanteur est négligé ;
- le régime permanent est considéré.

Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice : $P_{m_i \rightarrow (\Sigma/R_0)} = C_{mi} \omega_{mi}$
- pertes mécaniques : $P_{pertes}(\Sigma/R_0) = C_{mi} \omega_{mi} (1 - \eta)$
- puissance mécanique de l'amarre i : $P_{A_i \rightarrow \Sigma/R_0} = -T_i V_i$ avec V_i la vitesse d'enroulement de l'amarre par rapport à la plateforme.

En régime permanent, le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble (Σ) en mouvement par rapport au référentiel Galiléen R_0 s'écrit :

$$C_{mi}\omega_{mi} - C_{mi}\omega_{mi}(1-\eta) - T_i V_i = 0 \Rightarrow C_{mi} = \frac{T_i}{\eta} \times \frac{V_i}{\omega_{mi}}$$

avec $\left| \frac{V_i}{\omega_{mi}} \right| = r \frac{D_T}{2}$. L'expression du couple moteur s'écrit alors en valeur absolue :

$$|C_{mi}| = \left| \frac{r T_i D_T}{2 \eta} \right|$$

Question 16 : L'équation obtenue question 15 permet ensuite de calculer le couple moteur C_{mi} pour le « mode moteur ». Pour le « mode frein », la puissance motrice est imposée par le câble et le moteur agit comme un frein. Le calcul du couple de maintien s'obtient alors par une démarche identique à celle de la question 15 mais avec un inventaire des puissances modifié.

Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice : $P_{m_i \rightarrow \Sigma/R_0} = +T_i V_i$
- pertes mécaniques : $P_{pertes}(\Sigma/R_0) = T_i V_i (1-\eta)$
- puissance de freinage : $P_{m \rightarrow \Sigma/R_0} = -C_m \dot{\theta}_m$

L'application du théorème de l'énergie cinétique en régime permanent à l'ensemble (Σ) en mouvement par rapport au référentiel Galiléen R_0 implique alors :

$$|C_{mi}| = \left| \eta \frac{D_T}{2} r T_i \right|$$

Bilan :

	Expression littérale	A.N.
Mode génératrice	$ C_{m1} = C_{m2} = \left \eta \frac{r T_1 D_T}{2} \right $	$ C_{m1} \approx 40 \text{ N}\cdot\text{m}$
Mode moteur	$ C_{m3} = C_{m4} = \left \frac{r T_3 D_T}{2 \eta} \right $	$ C_{m3} \approx 6 \text{ N}\cdot\text{m}$

Pour le mode moteur, la valeur est six fois inférieure au couple nominal ($C_{nom} = 36,1 \text{ N}\cdot\text{m}$) Le moteur est largement surdimensionné pour cette configuration.

Pour le mode frein, le couple calculé est légèrement supérieur au couple nominal, d'environ 10%. Or pour une machine asynchrone standard, le couple maximum (également appelé couple de décrochage) est en général 2 à 3 fois supérieur au couple nominal. Le choix de la motorisation est validé sachant que la configuration étudiée correspond à la plus défavorable (tension de 5 t).

Question 17 : L'utilisation d'un frein centrifuge permet d'éviter l'emballement du moteur lors des phases de dévirage, c'est-à-dire l'entraînement du moteur par l'intermédiaire de l'amarre à une fréquence de rotation trop élevée par rapport à sa fréquence nominale.

Il est accouplé directement sur l'arbre moteur, en amont du réducteur, pour limiter le couple de régulation à fournir. La taille du frein à utiliser et donc l'encombrement du système (et le coût) sont ainsi réduits.

Question 18 : La stratégie de résolution proposée est la suivante :

Système isolé : masselotte (2)

Hypothèses :

- l'étude est réalisée en phase de freinage, donc $\dot{\theta}_m(t) \geq \omega_{lim} > 0$
- la masselotte (2) est en contact avec le corps (0) à la limite du glissement

I.A.M.E. :

- action du ressort : $\{F_{r \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} -k(l(t)-l_0) \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{\forall M \in (O, \vec{x}_2)}$;
- action du corps (0) en C : $\{F_{0 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} -N_{02} \vec{x}_2 - T_{02} \vec{y}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C$, avec : $N_{02} > 0$ (action unilatérale) et $T_{02} > 0$ car $\dot{\theta}_m(t) > 0$.
- action de l'arbre (1) : $\{F_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_{\forall M, B_2}$

Le théorème de la résultante dynamique appliqué à (2) par rapport R_0 et projeté sur la direction \vec{x}_2 s'écrit :

$$-k(l(t)-l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le couple de freinage étant défini par la relation suivante,

$$C_f = \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \left(\vec{OC} \wedge (N_{02} \vec{x}_2 + T_{02} \vec{y}_2) \right) \cdot \vec{z}_{0,2}$$

il suffit alors d'utiliser les lois de coulomb et de combiner les relations précédentes pour déterminer C_f .

Question 19 : Mise en œuvre de la stratégie proposée question 18.

Le théorème de la résultante dynamique (TRD) appliqué à (2) par rapport R_0 et projeté sur la direction \vec{x}_2 implique :

$$-k(l(t)-l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le calcul de l'accélération donne par dérivation du vecteur vitesse :

$$\begin{aligned} \vec{V}_G(2/0) &= \vec{V}_G(2/1) + \vec{V}_G(1/0) \\ \vec{V}_G(2/0) &= \dot{l}(t) \vec{x}_2 + \vec{GO} \wedge \vec{\Omega}(1/0) \rightarrow \vec{V}_G(2/0) = r_2 \dot{\theta}_m \vec{y}_2 \\ \vec{\Gamma}_G(2/0) &= \left[\frac{d\vec{V}_G(2/0)}{dt} \right]_{R_0} = -r_2 \dot{\theta}_m^2 \vec{x}_2 + r_2 \ddot{\theta}_m \vec{y}_2 \end{aligned}$$

L'équation du TRD s'écrit donc :

$$-k(l-l_0) - N_{02} = -r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2$$

Le couple de freinage est défini par la relation suivante :

$$C_f = \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \left(\vec{OC} \wedge (N_{02} \vec{x}_2 + T_{02} \vec{y}_2) \right) \cdot \vec{z}_{0,2} \rightarrow C_f = RT_{02}$$

Or à la limite du glissement : $|T_{02}| = f|N_{02}| \leftrightarrow T_{02} = f N_{02}$ car $N_{02}, T_{02} > 0$. Donc :

$$C_f = Rf N_{02} = Rf \left(-k(l-l_0) + r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2 \right)$$

Le couple de freinage se réécrit pour n masselottes sous la forme suivante

$$C_f = n \left(-k(l-l_0) Rf + Rf r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2 \right) = n(-A + B \dot{\theta}_m^2)$$

avec $A = k(l-l_0) Rf$ et $B = Rf r_2 m_2$.

Question 20 : D'après les relations données dans l'énoncé pour n masselottes :

$$C_f = n(-A + B \omega_m^2) = \eta \frac{D_T}{2} r T_{max}$$

La fréquence de rotation de l'arbre moteur en phase de régulation est alors définie par :

$$\omega_{m \text{ reg}} = \left[\frac{1}{B} \left(\frac{\eta r T_{max} D_T}{2n} + A \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

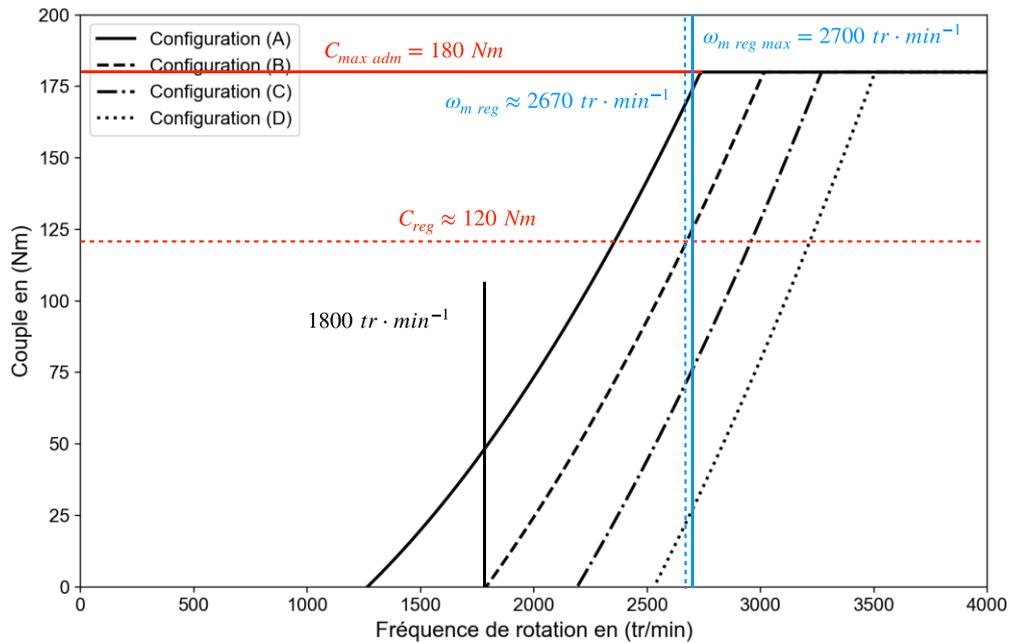
A.N. : $\omega_{m \text{ reg}} \approx 2670 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 21 : Le cahier des charges impose un déclenchement du frein centrifuge à $1800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et une vitesse maximale de régulation de $2700 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. D'après la documentation constructeur (voir figure ci-après) seul le frein avec la configuration B permet de satisfaire ces deux exigences.

Le couple maximal en phase de régulation est de 120 N·m ce qui est inférieur à la limite admissible par le frein quelle que soit la configuration utilisée (180 N·m). Le frein en configuration B est donc correctement dimensionné pour répondre au cahier des charges.

Les différentes courbes présentent une évolution quadratique identique, seule la valeur de la vitesse à partir de laquelle la régulation est effective diffère.

Pour régler cette vitesse de déclenchement le constructeur peut modifier la raideur du ressort (3). En effet, l'action du ressort s'oppose à l'effet centrifuge qui évolue avec le carré de la vitesse de rotation du moteur. Modifier la raideur du ressort permet ainsi de régler la vitesse de rotation à partir de laquelle les masselottes seront en contact avec le corps, donc la vitesse de rotation correspondant au début du freinage.



Question 22 : Dans cette partie le motoréducteur et le frein centrifuge ont été dimensionnés. Le frein statique peut être dimensionné en utilisant la relation de la question 18 pour le mode frein et la valeur de tension égale à la tension de rupture d'une amarre (exigence id. 1.6.1.1), afin de vérifier la tenue du frein statique en toutes situations.

Commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage

Question 23 :

$$\frac{V_s}{V_e} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_1} - \frac{R_j}{R_j + R_2} \right) = 2,633 \cdot 10^{-1} \text{ mV/V}$$

Si pour 28 tonnes on a 1,280 mV/V alors pour une mesure de 0,2633 mV/V on a un effort de 5,76 tonnes.

Utiliser une boucle de courant présente une meilleure immunité CEM, l'offset de 4 mA permet d'identifier une rupture de liaison si absence de courant.

Question 24 : L'effort TA2 étant de 5,76 tonnes, l'exigence impose un écart d'effort entre les amarres de moins de 10kN, alors il faut dévirer l'amarre TA2 pour réduire l'effort.

Question 25 : $P_{méca} = 5\,000 \times 9,81 \times \frac{5}{60} = 4087,5 \text{ W}$

S'il n'y a pas de perte, alors la totalité de cette puissance est dissipée par les deux résistances de freinage. Ces résistances de freinages ont pour valeur :

$$R = \frac{230^2}{P_R} = 35,27 \, \Omega$$

La puissance que peut dissiper ces deux résistances en série est donc :

$$P_{dissipée} = \frac{U_0^2}{2.R} = 4605 \text{ W}$$

Donc les deux résistances peuvent dissiper une puissance supérieure à la puissance à dissiper pour freiner la plateforme. L'interrupteur K_f permettra de moduler la puissance dissipée pour garder une tension constante.

Sous réserve que les résistances soient capables de dissiper une puissance supérieure, la valeur ohmique des résistances est correctement dimensionnée.

Question 26 :

$$I_R = \frac{V}{\sqrt{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2}}$$

Question 27 : On calcule la puissance consommée

$$P_{em} = 3 \cdot R_R \cdot \frac{1-g}{g} \cdot I_R^2 = 3 \cdot R_R \cdot \frac{1-g}{g} \cdot \frac{V^2}{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = C_{em} \cdot \omega$$

Par définition, le glissement est égal à : $g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$

Donc :

$$1-g = \frac{\omega}{\omega_s}$$

$$C_{em} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot \omega_s)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot \omega_s)^2 \cdot g + \frac{R_R^2}{g}} = \frac{2}{2} \cdot \frac{3}{L_R \cdot p} \cdot \frac{V^2}{\omega_s^2} \cdot \frac{1}{\frac{g}{\frac{R_R}{L_R \cdot p \cdot \omega_s}} + \frac{R_R}{g}}$$

Donc : $K_B = \frac{R_R}{L_R \cdot p \cdot \omega_s}$ et $K_A = \frac{3}{2 \cdot L_R \cdot p}$

Question 28 : Afin d'obtenir la valeur du maximum du couple, il faut vérifier :

$$\frac{dC_{em}}{dg} = 0$$

Ce qui amène à :

$$g_{max} = K_B$$

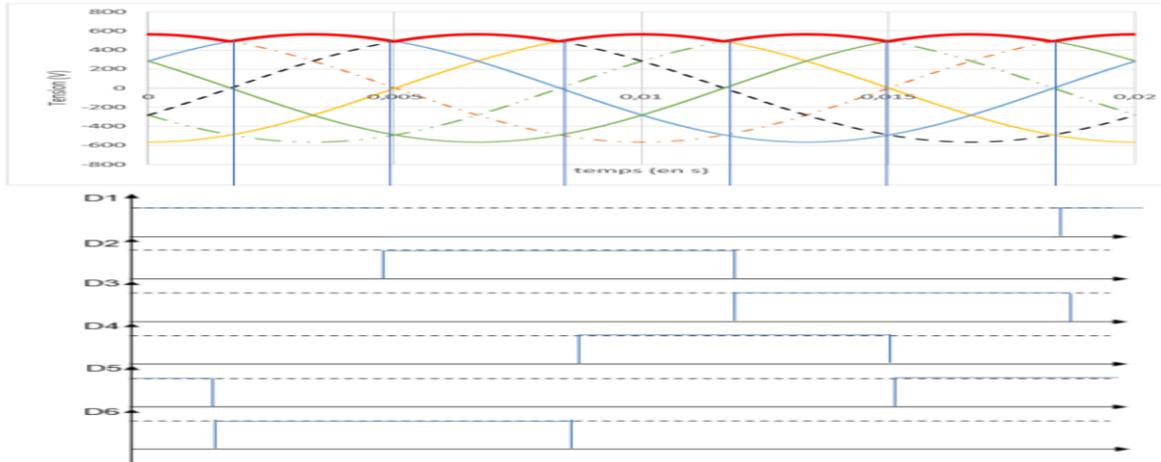
Question 29 : Un rapport V/f constant permet de limiter le courant de démarrage et d'obtenir un couple maximal quelle que soit la vitesse du moteur.

Question 30 : On a par définition de la valeur moyenne :

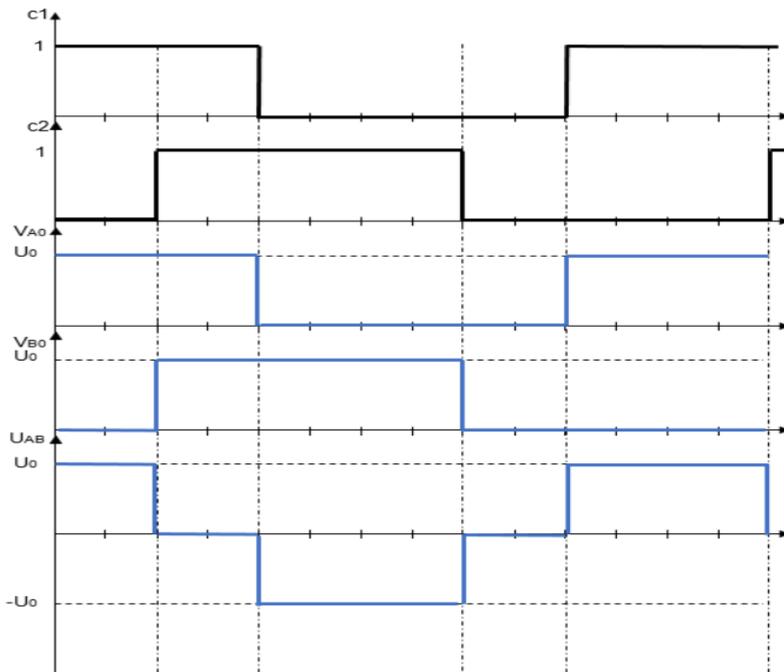
$$U_{moy} = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_1(t) \cdot dt = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt$$

$$U_{moy} = \frac{6}{T} \cdot \left[\frac{U_{max}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \right]_{-\frac{T}{12}}^{\frac{T}{12}}$$

$$U_{moy} = \frac{6 \cdot U_{max}}{T \cdot \frac{2\pi}{T}} \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \quad \text{et donc} \quad U_{moy} = \frac{3 \cdot U_{max}}{\pi} = 540.4 \text{ V}$$

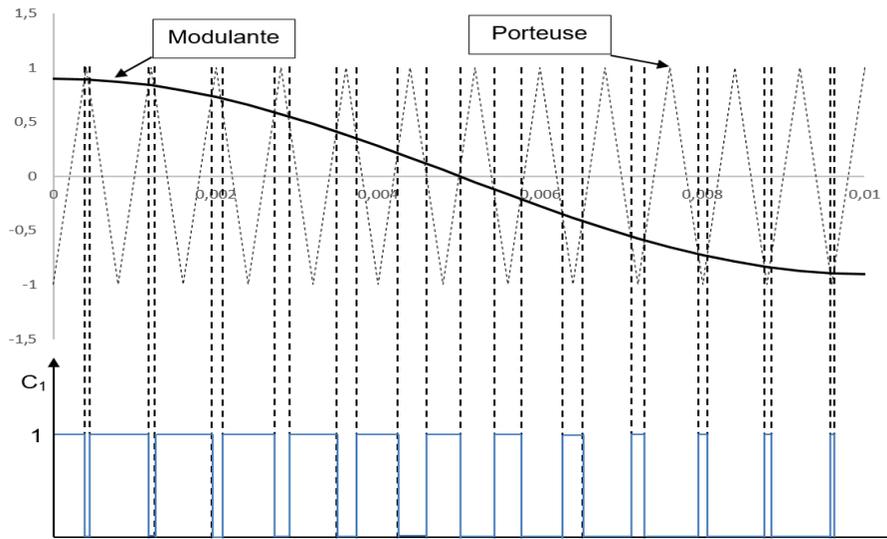


Question 31 :



Question 32 : La fonction étant paire, les harmoniques de rang pair sont nulles. Le déphasage entre C1 et C2 étant de 120°, les harmoniques de rang multiple de 3 sont nulles également.

Question 33 :



Question 34 : La MLI permet d'obtenir un signal plus proche d'un sinus ce qui permet de renvoyer les harmoniques du spectre autour de la fréquence de la porteuse et ainsi faciliter le filtrage.

Question 35 : Le capteur d'effort ainsi que l'utilisation de la machine asynchrone en hypersynchronisme permettent d'équilibrer les efforts dans les amarres ce qui permet de respecter l'exigence 1.6.2.1. L'utilisation d'un onduleur permet de faire tourner la machine asynchrone à vitesse variable et donc de faire varier la vitesse d'enroulement de l'amarre et donc de respecter l'exigence 1.6.2.2.

Analyse thermique et évolution de local technique

Question 36 : Les trois modes de transfert thermique sont :

- La conduction : la différence de température entre deux régions d'un même milieu (ou de deux milieux en contact) provoque une agitation moléculaire entre ces deux régions amenant à un transfert thermique sans déplacement de matière ;
- La convection : le mouvement d'un fluide sur une paroi solide amène à un transfert thermique ;
- Le rayonnement : un transfert thermique est réalisé du fait de la réception (ou l'émission) d'un flux d'onde électromagnétique de faible longueur d'onde.

Question 37 : Une climatisation est présente par box de conversion afin de pouvoir réaliser la régulation en température seulement des box fonctionnant (les trois sites de test ne fonctionnent pas en continu, ni en simultanément).

Question 38 : On néglige ici l'inertie thermique du local et des parois. Ainsi, les transferts étant totaux, aucune chaleur n'est emmagasinée par les murs, et le temps de réponse de l'air du local sera nul. Cela permet d'aboutir à une modélisation non seulement plus simple à résoudre, mais qui va aussi surdimensionner le système de régulation.

Ainsi le système choisi sera forcément capable de réguler la température.

Question 39 : Le mode de transfert thermique mis en jeu ici est la conduction.

On a $R_j = \frac{e_j}{\lambda_j S_j}$

avec :

$$S_{vitre} = 3 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \approx 0,48 \text{ m}^2$$

$$S_{mur} = 2 \cdot (9 - 2 \cdot 0,062 + 2,666) \cdot (2,6955 - 0,16 - 0,062) - S_{vitre} \approx 56,9 \text{ m}^2$$

$$S_{toit} = (9 - 2 \cdot 0,062) \cdot 2,666 \approx 23,7 \text{ m}^2$$

Et donc :

$$\begin{aligned} R_{mur} &\approx 0,027 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \\ R_{vitre} &\approx 0,18 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \\ R_{toit} &\approx 0,058 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \end{aligned}$$

Question 40 :

$$\Phi_p = \frac{1}{R_{T,p}} (T_e - T_i)$$

Les modes de transfert thermique mis en jeu dans l'équation précédente sont la conduction et la convection de la couche d'air considérée.

On a une association de trois résistances thermiques en série avec :

$$R_{T,j} = R_j + \frac{1}{h_{i,j} S_j} + \frac{1}{h_{e,j} S_j}$$

Et donc, on obtient :

$$\begin{aligned} R_{T,mur} &\approx 0,03 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \\ R_{T,vitre} &\approx 0,54 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \\ R_{T,toit} &\approx 0,06 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1} \end{aligned}$$

Question 41 : On a alors pour modéliser la résistance thermique totale, l'association de trois résistances en parallèle :

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{R_{T,mur}} + \frac{1}{R_{T,toit}} + \frac{1}{R_{T,vitre}} \\ R_T &\approx \frac{R_{T,mur} \cdot R_{T,toit} \cdot R_{T,vitre}}{R_{T,mur} \cdot R_{T,vitre} + R_{T,vitre} \cdot R_{T,toit} + R_{T,toit} \cdot R_{T,mur}} \end{aligned}$$

D'où : $R_T = 0,019 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$

Question 42 : Sur la courbe, on relève $T_{e,max} = 41^\circ\text{C}$ et $T_{e,min} = -3^\circ\text{C}$. On a donc :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{41-23}{0,019} \approx 950 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-3-23}{0,019} \approx -1370 \text{ W}$

Question 43 : Avec un coefficient de sécurité de 5, le système de régulation doit pouvoir fournir au minimum $5 \cdot 1370 = 6850 \text{ W}$. Avec 3 climatisations de 2,43 kW chacune, il fournit 7290 W. Le système de climatisation est bien dimensionné.

Les hypothèses formulées sont très réductrices, notamment au niveau de la prise en compte du rayonnement et des différents ponts thermiques. En effet qu'ils soient localisés dans le temps (passage de technicien ou d'exploitant) ou plus globaux (ponts thermiques dus aux jours dans l'assemblage du local technique qui est un préfabriqué, avec passage de câbles et 4 portes d'accès), les pertes seront bien plus grandes. Ceci explique le très grand coefficient de sécurité utilisé.

Question 44 : Dans la conception d'un bâtiment, le BIM permet de mettre en relation de manière instantanée, les différents corps de métiers prenant part au projet. Ainsi une modification, réalisée par exemple par l'équipe en charge du câblage électrique, sera transmise aux autres équipes qui pourront la prendre en compte dans leur travail de conception et de réalisation.

Dans notre étude, le BIM permet d'élaborer et de modifier en temps réels des simulations qui permettront une étude plus fine que celle réalisée précédemment. On pourra prendre notamment en compte les différentes inerties thermiques et les différents ponts thermiques globaux qui sont paramétrables dans ce type d'étude, ainsi que les transferts réalisés par rayonnement (surtout l'été). Les ponts thermiques locaux sont quant à eux plus difficiles à modéliser dans ce type d'étude. C'est pourquoi un coefficient de sécurité est encore nécessaire.

Question 45 : La valeur de température moyenne extérieure varie au cours de l'année et son signe est amené à changer (négatif l'hiver et inférieur à 23°C – flux donc négatif). Ceci explique le changement de signe de la tendance du flux thermique.

De plus, au cours d'une journée, de fortes variations de température peuvent intervenir. Ceci explique les pics d'oscillation.

Question 46 : Compte tenu des signes de la figure 31, elle représente le flux thermique de l'intérieur vers l'extérieur, c'est-à-dire l'opposé des flux calculés précédemment. Le flux thermique à fournir par le système de régulation pour maintenir le système à la bonne température sera donc celui relevé sur la figure 31 (négatif l'été pour rafraîchir et positif l'hiver pour réchauffer) :

- $\Phi_{reg,max} \approx 2,4 \text{ kW}$
- $\Phi_{reg,min} \approx -1,7 \text{ kW}$

On trouve de grandes différences avec les résultats de la question 42 (en prenant en compte le changement de signe), qui viennent principalement de la non prise en compte des ponts thermiques locaux.

Néanmoins, avec un coefficient de sécurité de 3, la climatisation réversible devra fournir au maximum 7,2 kW, ce qui reste inférieur à sa capacité de 7,29 kW.

On voit alors que si on pré-dimensionne le système de régulation avec un coefficient de sécurité de 5 (6,9 kW), cela équivaut approximativement à un dimensionnement plus fin avec un coefficient de sécurité de 3 (7,2 kW).

Question 47 : Le résultat de la question 41 donne alors avec les nouvelles valeurs extrêmes de température :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{51-23}{0,019} \approx 1470 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-6-23}{0,019} \approx -1520 \text{ W}$

Avec un coefficient de sécurité de 5, on obtient alors une puissance nécessaire pour le système de régulation de $1520.5 = 7,6 \text{ kW}$.

Cette valeur est plus grande que la puissance disponible. Le système de régulation n'est pas capable d'encaisser ces pics de température et donc de permettre un fonctionnement optimal du site d'essais.

Question 48 : Afin de respecter l'exigence 1.4.2.1, deux solutions sont envisageables :

- Augmenter la puissance fournie par le dispositif de régulation en ajoutant une climatisation réversible dans le local ;
- Augmenter la résistance thermique globale du local R_T en agissant sur le type de matériaux utilisés ou leur épaisseur.

Bilan énergétique du site d'exploitation

Question 49 : Dans cette question les modèles de l'évolution de la vitesse du courant du fleuve et de la puissance en sortie de génératrice sont donnés.

$$E_6 = \int_0^T K \left(V \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \right)^3 dt \text{ avec } (\sin(t))^3 = \frac{3}{4} \sin t - \frac{1}{4} \sin 3t \text{ que l'on retrouve en linéarisant.}$$

Le calcul de l'intégrale donne : $E_6 = \frac{2KV^3T}{3\pi}$ (en W·h)

Ce qui fait une énergie de $E_6 = 73 \text{ kW}\cdot\text{h}$

Question 50 : Dans le pire des cas, le système de régulation a besoin de 2400 W (figure de simulation). Ce qui donne sur 6 heures, une énergie de $E_{12,nec} = 14 \text{ kW}\cdot\text{h}$, ce qui représente 20% de l'énergie produite. Il reste alors 80% de l'énergie produite par la seule plateforme Bilbao, dans le pire des cas, pour le reste des systèmes du site de test (commande des treuils, ...). Cela semble largement suffisant pour permettre au site d'être autonome. L'exigence 1.4.2.1 est ainsi validée.

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

1. Présentation générale du sujet

Le sujet porte sur l'étude d'un site d'expérimentations, la plateforme BILBAO, dédiée aux prototypes d'hydroliennes fluviales et océaniques. Elle permet aux turbiniéristes d'évaluer les performances de différentes technologies d'hydroliennes quelles que soient les conditions extérieures.

Les différentes parties du sujet proposent de vérifier plusieurs exigences du cahier des charges construit à partir des trois fonctions principales identifiées par le constructeur pour la conception du site d'expérimentation :

- permettre aux turbiniéristes de communiquer avec la plateforme et l'hydrolienne pour la mesure et la gestion des paramètres d'essai ;
- contrôler le positionnement de la plateforme quelles que soient les conditions extérieures ;
- gérer l'énergie produite par l'hydrolienne.

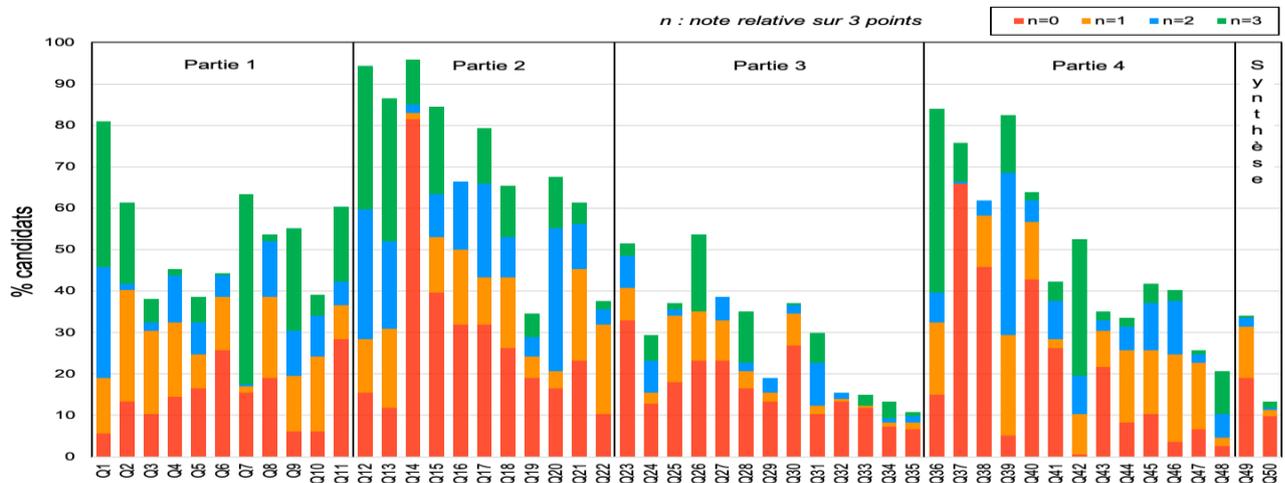
L'étude proposée s'articule autour des thématiques explicitées ci-après. Chacune des parties a pour objectif la validation de plusieurs exigences relatives au cahier des charges :

1. Analyse des stratégies de pilotage et de communication (exigence id.1.4.1) : l'objectif de cette partie est de valider les exigences liées à la supervision et au contrôle/commande de la plateforme BILBAO.
2. Validation du dimensionnement de la chaîne de puissance assurant le positionnement de la plateforme BILBAO : l'objectif est ici de valider le dimensionnement mécanique des composants de la chaîne de puissance intervenant dans la gestion du positionnement de la plateforme.
3. Commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage (exigences id.1.6.2.2 et id.1.6.2.1) : l'objectif de cette partie est de valider l'architecture du variateur de commande des machines synchrones utilisées sur les treuils d'amarrage.
4. Analyse thermique et évolution du local technique (exigence id.1.4.2.1) : l'objectif de cette étude est de valider le dimensionnement du système de régulation en température du local technique et de proposer une évolution de la solution choisie.
5. Bilan énergétique du site d'exploitation (exigence id.1.4.2.1) : cette dernière partie propose aux candidats de conclure sur le bilan énergétique du site d'expérimentation pour une campagne de test d'une hydrolienne.

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

2. 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 ont été abordées. Toutes les questions du sujet ont été traitées par au moins 10% des candidats. Comme l'année précédente, le jury observe que la plupart des candidats font l'effort d'aborder des questions qui ne sont pas en lien direct avec leur spécialité et ne peut que s'en réjouir.

Le jury constate trop souvent un manque de vigilance des candidats sur l'écriture des expressions littérales. Le jury conseille vivement aux candidats de vérifier la cohérence des expressions littérales explicitées et surtout leur homogénéité.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 1 : la partie 1, consacrée à l'analyse des stratégies de pilotage et de communication a été abordée par environ 40% des candidats. Cette partie introductive permet aux candidats d'avoir une vision globale du système étudié. Le jury constate malheureusement que beaucoup de candidats ne maîtrisent pas les bases de la programmation python à la fois sur la syntaxe du langage, mais également sur les fondamentaux du raisonnement nécessaire à la programmation. Un diagramme d'état était également proposé à l'étude. Environ 50% des candidats sont capables de lire et d'analyser le diagramme proposé mais seulement une minorité des candidats a réussi à compléter le diagramme partiel proposé. Enfin une lecture de trames internet est proposée dans cette fin de partie. Une majorité des candidats sont capables de lire, d'extraire et de convertir les informations issues d'une trame, mais le lien entre les résultats obtenus et la documentation technique n'est pas toujours correctement effectué.

Partie 2 : la partie 2, qui portait sur l'analyse et le dimensionnement des éléments de la chaîne de puissance d'un treuil, est la partie la plus abordée par les candidats de l'option ingénierie mécanique. Le jury s'étonne que 60% des candidats ne sachent pas compléter correctement un diagramme de blocs internes. Le calcul du diamètre d'enroulement du câble sur le treuil est souvent abordé de façon simplifiée, 80% des candidats se trompent sur l'analyse géométrique menée. Les théorèmes fondamentaux de la mécanique des solides sont connus mais les démarches de résolution sont trop souvent non maîtrisées et/ou mal rédigées. La plupart des candidats ne maîtrisent pas l'analyse énergétique d'une chaîne de transmission de puissance - qui se limitait ici à un bilan de puissance en régime permanent - ou encore le théorème de la résultante statique.

Le jury rappelle également qu'il attend systématiquement des expressions littérales puis d'éventuelles applications numériques (avec unités) lorsqu'elles sont demandées. Les trois dernières questions, indépendantes des questions précédentes, permettaient aux candidats de conclure sur la validation du frein centrifuge et de proposer une synthèse sur le dimensionnement de la chaîne de puissance. Peu de candidats ont abordé correctement ces questions.

Partie 3 : l'analyse des résultats révèle clairement que la troisième partie – axée sur la modélisation et la commande des machines électromécaniques – est la moins réussie par les candidats. Cette partie a été écartée par la moitié des candidats alors que les thématiques abordées font appel à des savoirs fondamentaux pour un futur professeur de sciences industrielles. Le jury regrette le manque de vigilance des candidats sur l'utilisation des notations clairement définies dans le sujet. Beaucoup de candidats confondent les grandeurs physiques comme la pulsation électrique, la pulsation de synchronisme et la vitesse de rotation du moteur.

Le manque de maîtrise des outils mathématiques, comme le calcul intégral ou la dérivation de fonctions scalaires n'est pas acceptable pour un concours de ce niveau. Le jury recommande fortement aux candidats d'être plus rigoureux sur les conclusions permettant de vérifier les exigences du cahier des charges.

Partie 4 : la quatrième partie, centrée sur l'analyse thermique et l'évolution du local technique situé sur la berge, a été abordée par environ 60% des candidats. Trop de candidats ne maîtrisent pas les principes physiques mis en jeu dans les transferts thermiques. La lecture des plans et de la documentation technique a posé des difficultés aux candidats ce qui n'a pas permis pour la plupart d'entre eux de mener avec rigueur l'étude des résistances thermiques. Les calculs des résistances et des flux thermiques sont trop souvent réalisés avec peu de rigueur et les démarches sont rarement explicitées clairement. Le jury s'étonne que beaucoup de candidats ne soient pas capables de réaliser correctement les applications numériques lorsque les relations sont données.

Enfin les avantages de l'utilisation d'une modélisation BIM ne sont toujours pas cernés par beaucoup de candidats, alors que la question reste récurrente sur les dernières années.

Synthèse : la dernière partie, consacrée à l'analyse du bilan énergétique du site d'exploitation, a été abordée par peu de candidats. Les candidats ayant traité cette partie n'ont majoritairement pas réussi à faire aboutir leurs calculs et n'ont pas suffisamment explicité leurs raisonnements.

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, 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 française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

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

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

Réussir cette épreuve demande :

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

4. 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.

5. Résultats

194 copies ont été évaluées.

Les notes se répartissent ainsi :

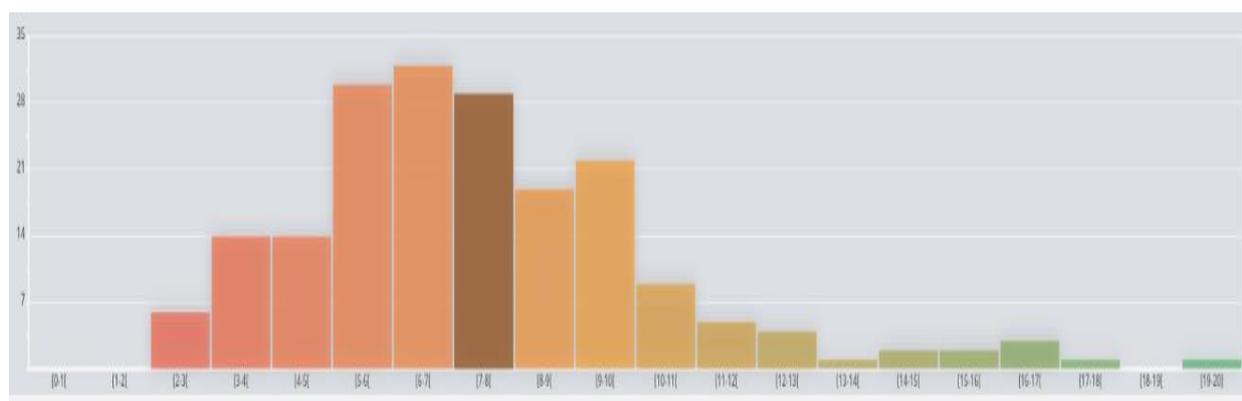
Moyenne : 07,5/20

Écart-type : 3/20

Note la plus basse : 02,2/20

Note la plus haute : 19,43/20

Histogramme des notes :



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

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

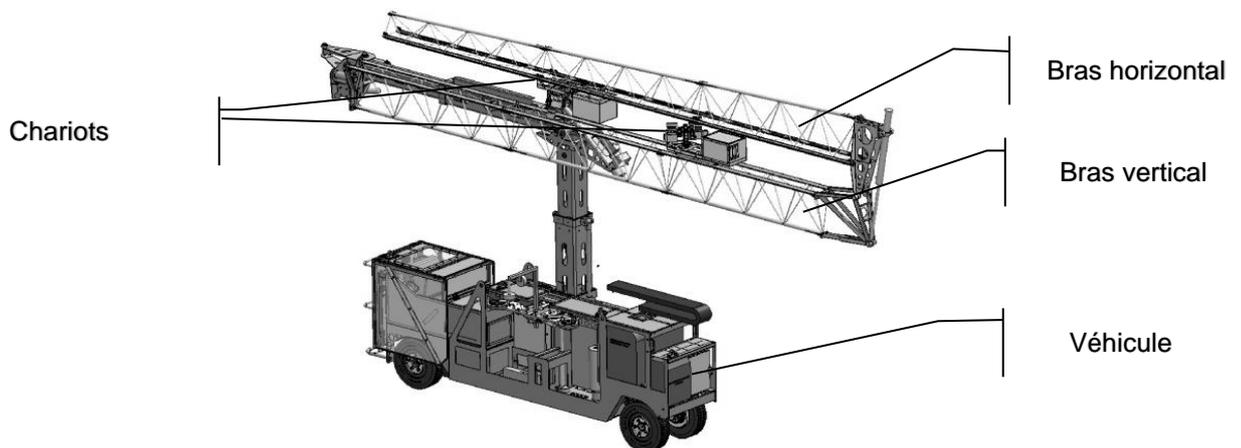
Durée totale de l'épreuve : 6 heures

– Coefficient 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

Sujet : INTELO (INSPECTION TÉLÉVISUELLE DES OUVRAGES D'ART)



Le sujet porte sur un véhicule développé spécifiquement pour les inspections des ouvrages d'art par la société INFRANEO.

Éléments de correction

Partie 1 - Accessibilité aux zones de travail

Le véhicule étant à l'arrêt et le chariot ne se déplaçant pas, il reste 7 mobilités (2 translations et 5 rotations) comportant chacune un actionneur indépendant.

Le nombre de mobilités pour positionner les appareils numériques dans l'espace est de 6, la mobilité en rotation suivant l'axe de l'optique de l'appareil numérique comporte peu d'intérêt.

Le nombre de mobilité supérieur permet de gagner en maniabilité, de contourner les obstacles (exigence Id 2.1.3).

La largeur du parapet est fixée par le débattement des vérins de la traverse soit 500 mm, la hauteur du parapet est fixée par le débattement des vérins du poteau soit 400 mm. Le cahier des charges (exigence Id 2.1.3 : contournement de 50 cm par 200 cm) est respecté.

$$P=Q\Delta P \text{ avec } \Delta P = P_{ts} \text{ donc } Q = \frac{4500}{160 \cdot 10^5} = 2.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 16.8 \text{ lmin}^{-1}.$$

Hypothèses : on néglige les phases transitoires (les tiges de vérins ont une vitesse constante) et les mouvements sont séquentiels.

Chaque vérin est alimenté indépendamment sans distributeur proportionnel (sans régulation de vitesse), pour chacun on a $t_i = \frac{\text{course}_i \cdot S_{\text{verin_utile}_i}}{Q_{\text{pompe}}}$

Attention : les mouvements pour le déploiement se font en rentrée de tige pour 4 vérins et en sortie de tige pour les 3 autres (orientation, poteau, traverse). Les sections utiles sont donc la section pleine en sortie de tige ou la section annulaire en rentrée de tige.

$$t = \frac{1}{Q_{\text{pompe}}} \sum (\text{course } S_{\text{verins}}) = \frac{60 \cdot 000 \pi}{14 \cdot 10^9 \cdot 4} (400(50^2) + 500(50^2) + 300(60^2 - 30^2) + 300(60^2 - 30^2) + 600(90^2 - 50^2) + 400(60^2 - 35^2) + 280(50^2)) = 29.8 \text{ s}$$

L'exigence Id.2.1.2 est validée. On est largement en dessous des 6 min exigées mais le calcul est sous dimensionnant, notamment en ne prenant pas en compte les temps en chaque manœuvre.

La première cinématique fait passer le centre de masse des bras sur un côté du véhicule ce qui augmente le risque de basculement.

La pompe débite dans les 2 vérins simultanément donc le débit est divisé en 2 par le diviseur de débit. Finalement, la vitesse est deux fois plus faible pour une course de vérin fixe, le temps est donc inchangé.

Sans diviseur de débit, le vérin le moins chargé, c'est-à-dire celui nécessitant la pression la plus faible pour son déplacement, serait le seul à être mis en mouvement. Il faudrait attendre son déplacement total et la mise en butée de ce dernier pour que la pression de pompe augmente et atteigne la pression supérieure du vérin le plus chargé pour que celui-ci soit mis en mouvement.

Il faut déterminer à partir de la géométrie d'implantation des vérins les vitesses des vérins pour obtenir des vitesses de rotations identiques, puis, à partir des sections annulaires des vérins, obtenir le rapport des débits. Dans le cas présent, les vérins étant identiques et les implantations aussi, le rapport des débits vaut 1, aucun calcul n'était donc nécessaire.

$$z_1 \cdot \rho \cdot g + p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = z_2 \cdot \rho \cdot g + p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \Delta P$$

$$\text{Or } z_1 = z_2 ; v_1 = v_2 \text{ D'où } p_1 - p_2 = \Delta P = \xi \rho \frac{Q^2}{s^2 \cdot 2} \text{ donc } Q = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \cdot s \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_1 - P_2)} \text{ et } C = \frac{1}{\sqrt{\xi}} = 0.7$$

Le tiroir est en position d'équilibre statique donc : $S \cdot P'_1 = S \cdot P'_2$ donc $P'_1 = P'_2$.

Comme $P'_1 = P'_2$ alors on peut écrire $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{S_{11}}{S_{21}}$ donc $R_{21} = 5 \text{ mm}$

$$Q_1 = C \cdot S_{12} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P'_1 - P_1)} \Leftrightarrow P'_1 = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q_1}{C \cdot S_{12}} \right)^2 + P_1$$

$$Q_2 = C \cdot S_{22} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P'_2 - P_2)} \Leftrightarrow P'_2 = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q_2}{C \cdot S_{22}} \right)^2 + P_2$$

$$\text{Donc } P'_1 = P'_2 \Leftrightarrow \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q_1}{C \cdot S_{12}} \right)^2 + P_1 = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{Q_2}{C \cdot S_{22}} \right)^2 + P_2 \text{ Soit : } \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{C^2} \left(\frac{Q_1^2}{S_{12}^2} - \frac{Q_2^2}{S_{22}^2} \right) + P_1 - P_2 = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{C^2} \left(\frac{Q_1^2}{\left(\pi \cdot R^2 \cdot \frac{R^2}{2} \cdot (\alpha - \sin(\alpha)) \right)^2} - \frac{Q_2^2}{\left(\frac{R^2}{2} \cdot (\alpha - \sin(\alpha)) \right)^2} \right) + P_1 - P_2 = 0 \text{ Avec } x = 2 \cdot R \cdot (1 - \sin^2(\frac{\alpha}{4}))$$

$P'_1 = P'_2 = 150.4$ bar. La perte de charge dans S_{11} et S_{21} est très faible car le débit dans le composant diviseur de débit est faible.

On reste dans la classe de pression donc l'exigence Id 2.1.4 est respectée. La puissance du groupe moteur pompe est suffisante.

$$\text{L'écriture d'une fermeture géométrique est adaptée } \overrightarrow{l_6 J_5} + \overrightarrow{J_5 E_5} + \overrightarrow{E_5 I_6} = \vec{0} \quad \mu \overrightarrow{z_{v5}} + q \overrightarrow{x_5} + r \overrightarrow{z_5} + t \overrightarrow{x_6} + u \overrightarrow{z_6} = \vec{0}$$

$$\text{La projection sur } \overrightarrow{x_5} \text{ donne } -\mu \sin \delta + q + t \cos \theta + u \sin \theta = 0$$

$$\text{La projection sur } \overrightarrow{z_5} \text{ donne } \mu \cos \delta + r - t \sin \theta + u \cos \theta = 0$$

Après élévation au carré et somme pour éliminer δ , on trouve $\mu^2 = (r - t \sin \theta + u \cos \theta)^2 + (q + t \cos \theta + u \sin \theta)^2$

$$\text{Pour } \theta = 0 \text{ on a } \mu = 1224 \text{ mm et } \theta = \frac{\pi}{2} \text{ on a } \mu = 622 \text{ mm}$$

Il faut donc une course utile de 602 mm pour 600 mm annoncés, ce qui est cohérent.

Théorème du moment statique appliqué à (6+7) en E_5 projeté sur $\overrightarrow{y_5}$ ce qui donne $(-mM_6 - pM_7)g \sin(\theta) = uF \sin(\delta - \theta) - tF \cos(\delta - \theta)$ puis $F = \frac{(-mM_6 - pM_7)g \sin(\theta)}{u \sin(\delta - \theta) - t \cos(\delta - \theta)}$

F est négatif car la force est motrice. Il faut que le vérin « retienne » le bras horizontal. Plus θ augmente et plus la force motrice est importante car le bras de levier augmente.

L'effort maximal est de norme 3250 N.

$$\text{Attention : on est dans un mouvement de rentrée de tige, la pression est de } P = \frac{F_{\text{verin}}}{\text{section annulaire}} = 17.4 \text{ bar}$$

Avec la majoration de 30% $P_t = 22,6$ b

$$\text{Équation d'ouverture de la balance : } P_c + R \cdot P_p = P_t$$

Théorème de la résultante statique appliqué à l'ensemble { piston et tige du vérin } projeté sur $\overrightarrow{z_{v5}}$:

$$S \cdot P_c + F - P_p \cdot S_a = 0$$

$$\text{d'où } P_p = \frac{F + S P_t}{S R + S_a} \text{ et } P_c = \frac{S_a \left(\frac{F + S P_t}{S R + S_a} \right) - F}{S}$$

La pression de pompe nécessaire reste inférieure à 8 bars et la pression dans la chambre pleine en dessous des 17 bar. L'exigence Id 2.1.4 de classe de pression est donc respectée.

Il faut écrire l'équation du moment dynamique autour de (Q, \vec{x}) .

$$M_{1+2}.g.L_C - M_{3+4}.g.(L_P - L_C) - M_5.g.(2.L_P - L_C) - M_6.g.(2.L_P - L_6 - L_C) - M_7.g.(2.L_P - \lambda - L_C) + N_P.L_C = (2H_C - 2L_5)M_7.\ddot{\lambda}$$

A la limite du basculement $N_P=0$, on obtient :

$$M_{1+2}.g.L_C - M_{3+4}.g.(L_P - L_C) - M_5.g.(2.L_P - L_C) - M_6.g.(2.L_P - L_6 - L_C) - M_7.g.(2.L_P - \lambda - L_C) = (2H_C - 2L_5)M_7.\ddot{\lambda}$$

$$\text{Ainsi } \ddot{\lambda} = \frac{M_{1+2}.g.L_C - M_{3+4}.g.(L_P - L_C) - M_5.g.(2.L_P - L_C) - M_6.g.(2.L_P - L_6 - L_C) - M_7.g.(2.L_P - \lambda - L_C)}{(2H_C - 2L_5).M_7}$$

En cas de détection d'une erreur ou d'un arrêt d'urgence, la décélération du chariot est de 10 m.s^{-2} .

Le risque de basculement est le plus défavorable pour $\lambda=0$

Lorsque $\lambda = 0$ on obtient $\ddot{\lambda}_{\text{maxi}} = -40.1 \text{ m.s}^{-2}$

Remarque : pour $\lambda=7$ on obtient $\ddot{\lambda}_{\text{maxi}} = -86 \text{ m.s}^{-2}$, le cas le plus défavorable est bien lorsque $\lambda=0$

Le véhicule doit être stable dans toutes les situations, le risque de basculement apparaît si $\ddot{\lambda}_{\text{maxi}} > 40 \text{ m.s}^{-2}$. Lors d'un arrêt d'urgence, $\ddot{\lambda}$ ne dépasse pas 10 m.s^{-2} , le véhicule reste stable.

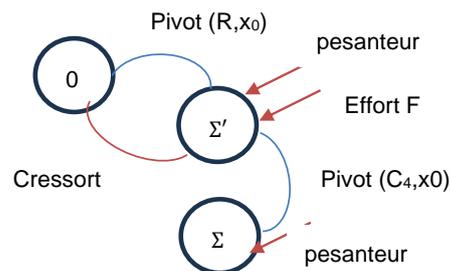
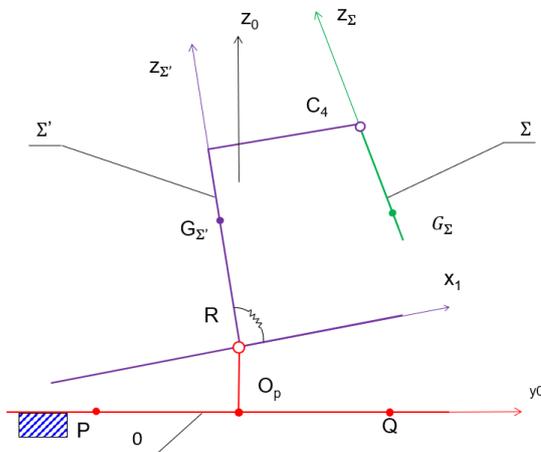
4 degrés de liberté : la translation suivant \vec{y}_1 du véhicule complet, la translation suivant \vec{z}_1 , la rotation autour de \vec{x}_1 de l'ensemble Σ' et la rotation autour de \vec{x}_1 de l'ensemble Σ

$$\vec{C}_{0 \rightarrow \Sigma'} = \vec{M}_{O_P}(\text{ressorts} \rightarrow \Sigma') = \vec{O}_P \vec{P}' \wedge k \left(\vec{PP}' \cdot \vec{z}_p - l_0 \right) \vec{z}_p + \vec{O}_P \vec{Q}' \wedge k \left(\vec{QQ}' \cdot \vec{z}_p - l_0 \right) \vec{z}_p$$

$$\text{or } \vec{PP}' \cdot \vec{z}_p = -\vec{QQ}' \cdot \vec{z}_p$$

$$\vec{C}_{0 \rightarrow \Sigma'} = -k \frac{v}{2} \left(-2 \left(\vec{PP}' \cdot \vec{z}_p - l_0 \right) \right) \vec{x}_p \text{ avec } \vec{PP}' \cdot \vec{z}_p = \frac{v}{2} \tan \phi_{\Sigma'} \text{ que l'on peut approximer à } \frac{v}{2} \phi_{\Sigma'}$$

$$\text{d'où } k_t = k \frac{v^2}{2} = 12\,500 \text{ Nm.rad}^{-1}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & L \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{pmatrix}_{R,B_0} = \begin{pmatrix} Y \cdot \vec{y}_0 + Z \cdot \vec{z}_0 \\ L \cdot \vec{x}_0 \end{pmatrix}_R$$

$T(\Sigma'/R_0) = \frac{1}{2} I(\Sigma', R, \vec{x}_p) \dot{\varphi}_{\Sigma'}^2$ avec $I(\Sigma', R, \vec{x}_p) = m_{\Sigma'} h^2$ moment d'inertie de Σ' par rapport à l'axe fixe (R, \vec{x}_p)

$$T(\Sigma/R_0) = \frac{1}{2} \{C(\Sigma/R_0)\}_{G_{\Sigma'}} \otimes \{V(\Sigma/R_0)\}_{G_{\Sigma'}} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{matrix} m_{\Sigma} \overline{V(G, \Sigma/R_0)} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{G_{\Sigma'}} \otimes \left\{ \begin{matrix} (\dot{\varphi}_{\Sigma'} + \dot{\varphi}_{\Sigma}) \vec{x}_p \\ \overline{V(G, \Sigma/R_0)} \end{matrix} \right\}_{G_{\Sigma'}}$$

$$\overline{V(G, \Sigma/R_0)} = l_4 \cdot \dot{\varphi}_{\Sigma'} \cdot \vec{z}_{\Sigma'} - h_4 \dot{\varphi}_{\Sigma'} \cdot \vec{y}_{\Sigma'} + l \dot{\varphi}_{\Sigma'} \cdot \vec{z}_{\Sigma} - h \dot{\varphi}_{\Sigma'} \cdot \vec{y}_{\Sigma}$$

$$T(\Sigma/R_0) = \frac{1}{2} \cdot m_{\Sigma} \left((-h_4 \dot{\varphi}_{\Sigma'} - l \dot{\varphi}_{\Sigma'} \sin \varphi_{\Sigma} - h \cos \varphi_{\Sigma} \dot{\varphi}_{\Sigma'})^2 + (l_4 \dot{\varphi}_{\Sigma'} + l \dot{\varphi}_{\Sigma'} \cos \varphi_{\Sigma} - h \sin \varphi_{\Sigma} \dot{\varphi}_{\Sigma'})^2 \right)$$

Après avoir vérifié qu'il n'y a pas d'autre référentiel galiléen que R_0 , que le système total étudié est bien la somme de Σ et Σ' et que la transformation virtuelle est compatible avec les liaisons et l'état des solides, on peut envisager une résolution par les équations de Lagrange à coefficients constants.

On peut utiliser les théorèmes généraux en écrivant les 2 équations justes nécessaires :

Théorème du moment dynamique appliqué à Σ' en C_4 et projeté sur l'axe \vec{x}_p ie $\overline{\delta}_{C_4, \Sigma'/R} \cdot \vec{x}_p = \overline{M}_{C_4}(\vec{\Sigma} \rightarrow \Sigma') \cdot \vec{x}_p$

Théorème du moment dynamique appliqué à $\Sigma'+\Sigma$ en R projeté sur l'axe \vec{x}_p ie $\overline{\delta}_{R, \Sigma'+\Sigma/R} \cdot \vec{x}_p = \overline{M}_R(\vec{\Sigma}'+\vec{\Sigma} \rightarrow \Sigma'+\Sigma) \cdot \vec{x}_p$

La résolution pouvait aussi se faire par les équations de Lagrange à coefficients constants après les vérifications de la question 33. En plus du calcul de l'énergie cinétique totale de la question 33, le calcul des puissances virtuelles dues à la pesanteur, aux ressorts et à la force aérodynamique est nécessaire. On pourra ensuite calculer les 2 équations :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{\Sigma'}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_{\Sigma'}} = Q_{\varphi_{\Sigma'}}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_{\Sigma}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_{\Sigma}} = Q_{\varphi_{\Sigma}}$$

Les courbes sont non amorties car le modèle ne prend pas en compte les frottements.

4.2.2 $\varphi_{\Sigma'} < 1^\circ$ d'après la courbe $\varphi_{\Sigma' \max} = 0,05$ rad soit $2,86^\circ$ l'exigence n'est pas respectée

4.2.3 $\varphi_{\Sigma} < 0,5^\circ$ d'après la courbe $\varphi_{\Sigma \max} = 0,005$ rad soit $0,3^\circ$ l'exigence est respectée

Il faut ramener le poids du chariot au niveau de l'axe moteur : $C_{\text{pertu}}(t) = M \cdot g \cdot \frac{D_p}{2} \cdot k$

Les conditions initiales sur le système sont nulles, donc la pesanteur apparait comme un échelon de perturbation.

$$\text{Ainsi : } C_{\text{pertu}}(p) = \frac{M \cdot g \cdot D_p \cdot k}{2 \cdot p} = \frac{45 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{2 \cdot p} = \frac{0,66}{p}$$

$$J_{\text{eq}} = J_{\text{moteur}} + J_{\text{red}} + M_c \cdot \frac{D_p^2}{4} \cdot k^2 = 0,28 \cdot 10^{-4} + 0,35 \cdot 10^{-4} + 45 \cdot \frac{30^{-3^2}}{4} \cdot 0,1^2 = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

$$H_1(p) = \frac{1}{p}; k_2 = k = \frac{1}{10}; k_3 = \frac{D_p}{2} = 0.015 \text{ m}$$

$$k_{\text{capt}} = \frac{2000}{2 \cdot \pi} = 318.3 \text{ top/rd}$$

Pour un bon asservissement $\varepsilon(p) = 0$ si $X_c(p) = X(p)$ ainsi $\varepsilon(p) = X_c(p) \cdot k_1 - X(p) \cdot \frac{k_4}{k_2 \cdot k_3}$ donc $k_1 = \frac{k_4}{k_2 \cdot k_3} = k_{\text{capt}}$

$$H_m(p) = \frac{\frac{K_i}{R_m + L_m \cdot p} \cdot \frac{1}{J_{\text{eq}} \cdot p}}{1 + \frac{K_i}{R_m + L_m \cdot p} \cdot \frac{K_e}{J_{\text{eq}} \cdot p}} = \frac{K_i}{(R_m + L_m \cdot p) \cdot (J_{\text{eq}} \cdot p) + K_i K_e} = \frac{\frac{1}{K_e}}{1 + \frac{R_m \cdot J_{\text{eq}}}{K_e \cdot K_i} \cdot p + \frac{L_m \cdot J_{\text{eq}}}{K_e \cdot K_i} \cdot p^2} \text{ et } H_c(p) = \frac{R_m + L_m \cdot p}{K_i}$$

$$X(p) = X_c(p) \cdot \text{FTBF} - C_{\text{pertu}}(p) \cdot k_1 \cdot \frac{H_c(p)}{C(p) \cdot k_1} \cdot \text{FTBF}$$

$$X(p) = X_c(p) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{C(p) \cdot H_m(p) \cdot H_1(p)}{1 + k_4 \cdot C(p) \cdot H_m(p) \cdot H_1(p)} - C_{\text{pertu}}(p) \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{H_c(p) \cdot H_m(p) \cdot H_1(p) / C(p)}{1 + k_4 \cdot C(p) \cdot H_m(p) \cdot H_1(p)}$$

$$\text{Ainsi } X_s = \lim_{p \rightarrow 0^+} p \cdot X(p) = X_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{k_3 \left(K_{pr} \cdot \frac{1}{K_e} \right)}{K_4 \cdot K_{pr} \cdot \frac{1}{K_e}} - C_0 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\frac{1}{K_e}}{K_4 \cdot K_{pr} \cdot \frac{1}{K_e}} X_s = X_0 - C_0 \frac{k_2 \cdot k_3 \cdot R_m / K_i}{K_4 \cdot K_{pr}}$$

$$\varepsilon_S < 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m} \text{ donc } K_{\text{prop}} \geq \frac{C_0 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{R_m}{K_i}}{K_4 \cdot \varepsilon_S} = \frac{C_0 \cdot \frac{R_m}{K_i}}{K_{\text{capt}} \cdot \varepsilon_S} \geq \frac{0.66 \cdot 44.8}{0.39 \cdot \frac{2000}{2 \cdot \pi} \cdot 10^{-3}} = 238$$

La marge de gain = 17.7 dB et la marge de phase = 4.2°

L'exigence 1.1.3 n'est pas respectée car la marge de phase < 60°

On remonte la phase de 60 - 4.2 = 55.8° donc $\sin(55.8) = \frac{a-1}{a+1}$ donc $a = 10.566$

$$\frac{1}{T \cdot \sqrt{a}} = 10^2 \text{ rd} \cdot \text{s}^{-1} \text{ ainsi } T = 0.00314 \text{ s} \text{ et } k_a = \frac{1}{\sqrt{a}} = 0.307$$

$$H_m(p) = \frac{2.56}{1 + 0.121 \cdot p + 1.35 \cdot 10^{-5} \cdot p^2} = \frac{K}{(1 + \tau_1 \cdot p)(1 + \tau_2 \cdot p)} \quad \text{Les deux pôles } H_m(p) \text{ sont : } -8.27 \text{ s}^{-1} \text{ et } -8954.7 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Donc } \tau_1 = \frac{1}{8.27} = 0.12 \text{ s} \text{ et } \tau_2 = \frac{1}{8954.7} = 1.1 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$H_m(p) = \frac{K}{(1 + \tau_1 \cdot p)} = \frac{2.56}{1 + 0.12 \cdot p} \quad K_{\text{tachy}} = \frac{30 \text{ V}}{1000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}} = 0.286 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rd}^{-1}$$

- $\varepsilon_S = 0.25 \text{ mm}$ l'exigence 1.1.1 est respectée
- $V = 0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en début de mouvement < $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ l'exigence est respectée
- La marge de gain est infinie et Marge de phase = 85° l'exigence 1.1.3 est validée
- $T_{5\%} = 0.1 \text{ s}$ l'exigence 1.1.4 est juste respectée

Les phénomènes de frottement sec dans le guidage de la liaison glissière.

Phénomènes de saturation au niveau de l'alimentation électrique et du moteur.

La discontinuité de géométrie au point B impose une étude par tronçon.

$$1^{\text{er}} : \{T_{\text{int}}\} = \begin{pmatrix} (P_j + P_c + pL + p(L-\lambda)) \cdot \vec{x}_s \\ - (P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot \vec{z}_s \end{pmatrix}_G \quad 2^{\text{eme}} : \{T_{\text{int}}\} = \begin{pmatrix} (-P_c - p(L-\mu)) \cdot \vec{y}_s \\ (-P_c(L-\mu) - \frac{p(L-\mu)^2}{2}) \cdot \vec{z}_s \end{pmatrix}_G$$

$$\text{Allongement dû au poids de la poutre verticale : } \varepsilon = \frac{N}{E.S} = \frac{p \cdot (L-\lambda)}{E.S} \text{ ainsi } \Delta L = \int_0^L \frac{p \cdot (L-\lambda)}{E.S} \cdot d\lambda = \frac{p}{E.S} \cdot \frac{L^2}{2}$$

$$\text{Allongement dû autres forces : } \frac{\Delta L'}{L} = \frac{P_j + P_c + pL}{E.S} \quad \text{Déplacement du point B : } \vec{\delta}_{B \in S_1/0} \cdot \vec{y} = \frac{L(p \cdot L + P_j + P_c) + p \cdot \frac{L^2}{2}}{E.S}$$

$$\{d_{s_5/4}\} = \begin{pmatrix} - \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L}{E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{z} \\ - \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{x} - \frac{L(p \cdot L + P_j + P_c) + p \cdot \frac{L^2}{2}}{E \cdot S} \cdot \vec{y} \end{pmatrix}_B$$

$$\{d_{s_6/5}\} = \begin{pmatrix} - \left(\frac{P_c \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{p \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{Gz}} \right) \cdot \vec{z} \\ - \left(\frac{P_c \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{p \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I_{Gz}} \right) \cdot \vec{y} \end{pmatrix}_C$$

$$\{d_{s_5/4}\} = \begin{pmatrix} - \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L}{E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{z} \\ - \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{x} - \left(\frac{L(p \cdot L + P_j + P_c) + p \cdot \frac{L^2}{2}}{E \cdot S} + \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L^2}{E \cdot I_{Gz}} \right) \cdot \vec{y} \end{pmatrix}_C$$

$$\{d_{s_6/4}\} = \begin{pmatrix} - \left(\frac{P_c \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{p \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L}{E \cdot I_{Gz}} \right) \cdot \vec{z} = \frac{9 \cdot P_c \cdot L^2 + 4 \cdot p \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{z} \\ - \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{Gz}} \cdot \vec{x} - \left(\frac{P_c \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{p \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I_{Gz}} + \frac{L(p \cdot L + P_j + P_c) + p \cdot \frac{L^2}{2}}{E \cdot S} + \frac{(P_c \cdot L + p \cdot \frac{L^2}{2}) \cdot L^2}{E \cdot I_{Gz}} \right) \cdot \vec{y} \end{pmatrix}_C$$

Le défaut d'orientation de l'objectif est $\frac{9 \cdot P_c \cdot L^2 + 4 \cdot p \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{Gz}} = 0.008 \text{ rd} = 0.47^\circ < 1^\circ$: l'exigence 4.2.2 est respectée

$$\vec{OG} = \frac{\vec{Og1} \cdot s + \vec{Og2} \cdot s + \vec{Og3} \cdot s}{3 \cdot s} \text{ donc } \vec{OG} \cdot \vec{y} = \frac{h}{3}$$

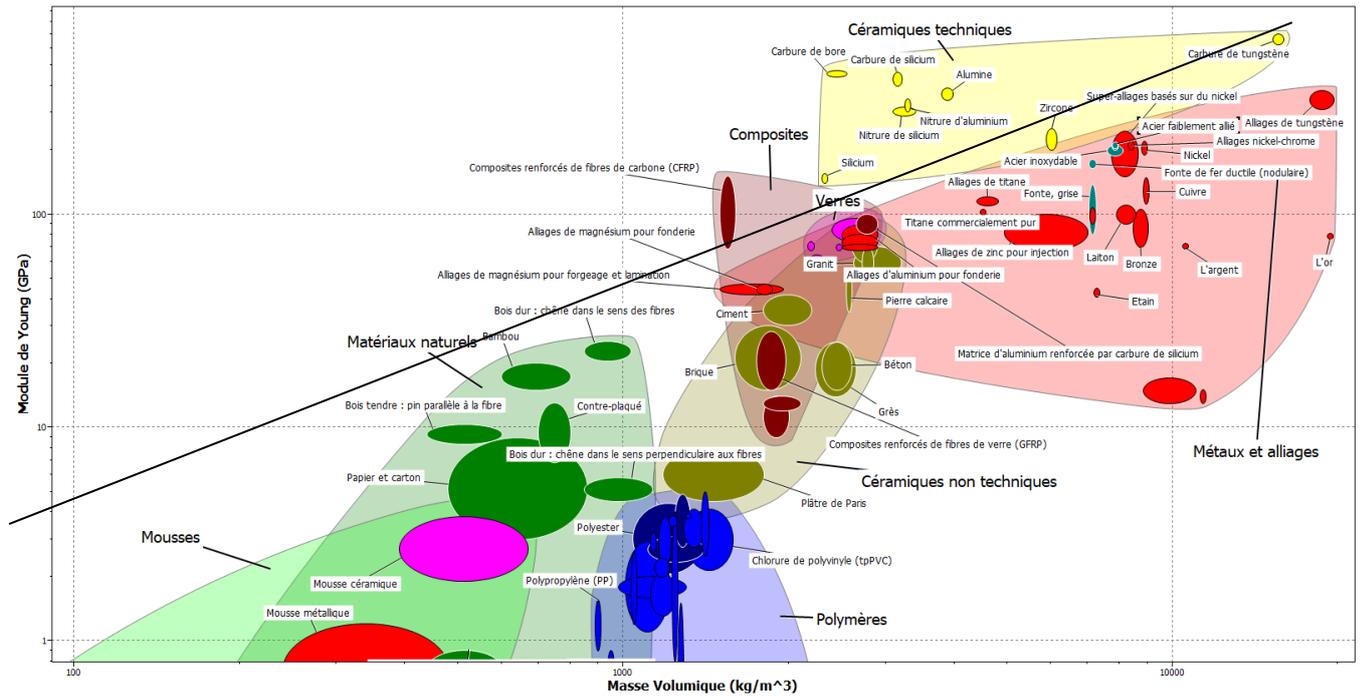
$$S = \frac{\pi(D^2 - (D-2e)^2)}{4} I_{gz} = \frac{\pi(D^4 - (D-2e)^4)}{64} I_{Gz} = 2 * \left(\frac{\pi(D^4 - (D-2e)^4)}{64} + S \cdot \frac{h^2}{9} \right) + \frac{\pi(D^4 - (D-2e)^4)}{64} + S \cdot \frac{4}{9} h^2$$

Hypothèse $I_{gz} \ll S \cdot h^2$ on obtient $I_{Gz} \cong \pi \cdot D \cdot e \cdot h^2 \cdot \frac{5}{9}$

$$f = \frac{P_c \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}} = \frac{3 \cdot P_c \cdot L^3}{E \cdot \pi \cdot D \cdot e \cdot h^2 \cdot 5}$$

$$m = \rho \cdot 3 \cdot \pi \cdot D \cdot e \cdot L$$

$$m = \rho \cdot 3 \cdot \pi \cdot \frac{3 \cdot P_c \cdot L^4}{E \cdot \pi \cdot f \cdot h^2 \cdot 5} \text{ pour minimiser } m, \text{ il faut maximiser } \frac{E}{\rho} \text{ donc } I_p = \frac{E}{\rho} \text{ soit } \log(E) = \log(\rho) + \log(I_p)$$



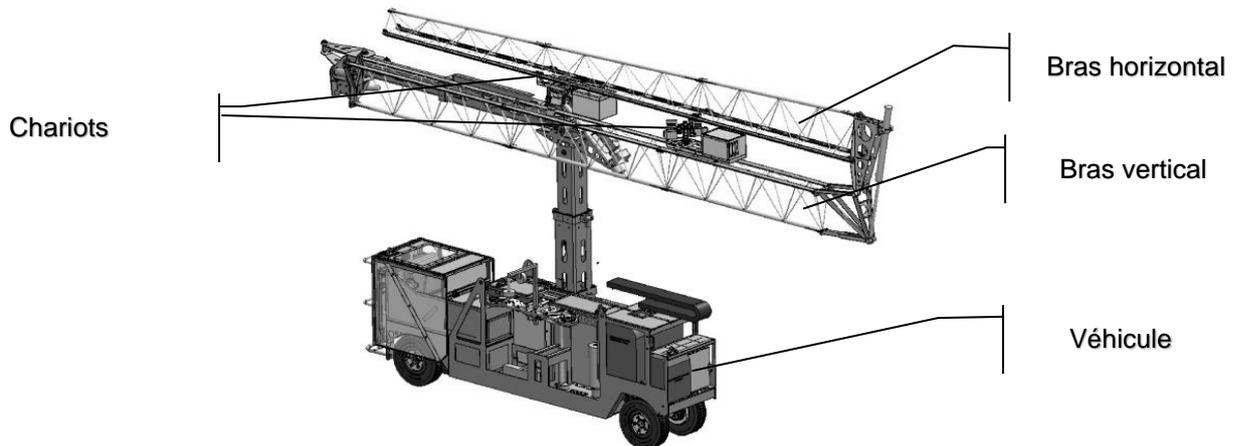
Le matériau le plus performant est le composite renforcé fibres de carbone.
 Les alliages d'aluminium et l'acier inoxydable ou faiblement allié sont compatibles avec le mode d'obtention de la poutre.
 Les autres matériaux ne sont pas compatibles avec le mode de fabrication d'une pièce dans ces dimensions (bambou, céramiques techniques, verre, etc)

La pièce est réalisée avec les tubes et des profilés obtenus par laminage et sont soudés entre eux.
 L'acier S355 répond au critère de performance vu précédemment, son prix est raisonnable (par rapport aux alliages d'aluminium par exemple) et il possède une très bonne soudabilité.

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

1. Présentation du sujet

Le sujet porte sur un véhicule destiné à l'inspection des ouvrages d'art conçu et réalisé par la société INFRANEO. L'objectif du sujet est de valider les performances du véhicule et de son module de prise d'image.



L'étude se décompose en 4 parties indépendantes :

- La première partie a pour objectif de valider l'accessibilité aux zones de travail du véhicule et de vérifier les modalités de déploiement du système.
- La seconde partie permet de vérifier la stabilité du système et la qualité des prises de vue en position d'inspection.
- La troisième partie porte sur la vérification des performances en termes de positionnement du chariot lors du pilotage de son déplacement.
- La quatrième partie a pour objectif de vérifier les performances en termes de positionnement des moyens d'inspection.

2. Analyse globale des résultats

La qualité de rédaction et de présentation des copies est très variée. La présentation claire des méthodes et raisonnements, ainsi qu'un soin particulier apporté à l'orthographe et au respect des conventions de l'écriture scientifique, sont des compétences fondamentales pour tout lauréat de l'agrégation. Les candidats ayant démontré ces qualités ont majoritairement bien réussi l'épreuve.

L'évaluation des copies révèle une forte disparité dans le traitement du sujet. Certains candidats ont cherché à avancer le plus possible dans chacune des parties abordées, tandis que d'autres ont répondu à des questions isolées voire ignoré totalement certaines sections. Les copies de ces derniers, souvent désorganisées, n'ont pas permis de démontrer des compétences tant en termes de synthèse que d'analyse.

Le jury observe chez certains candidats une maîtrise insuffisante du français scientifique, ce qui se traduit par une mauvaise compréhension des questions posées et des explications peu claires. Un manque de rigueur dans l'écriture scientifique est également constaté, notamment dans l'expression des torseurs et la notation des bases d'expression.

Les corrections ont révélé une maîtrise insuffisante des outils de modélisation et de résolution des problèmes posés : certains candidats ne savent pas mettre en œuvre correctement le principe fondamental de la statique ou une fermeture géométrique, ce qui est surprenant au vu du niveau attendu. Les questions sur la compréhension des phénomènes physiques en jeu et l'utilisation précise des techniques de résolution montrent que, parmi les candidats maîtrisant les outils classiques de la mécanique, peu en comprennent tous les aspects, alors que c'est ce qui est attendu de candidats pouvant être amenés à enseigner dans le supérieur.

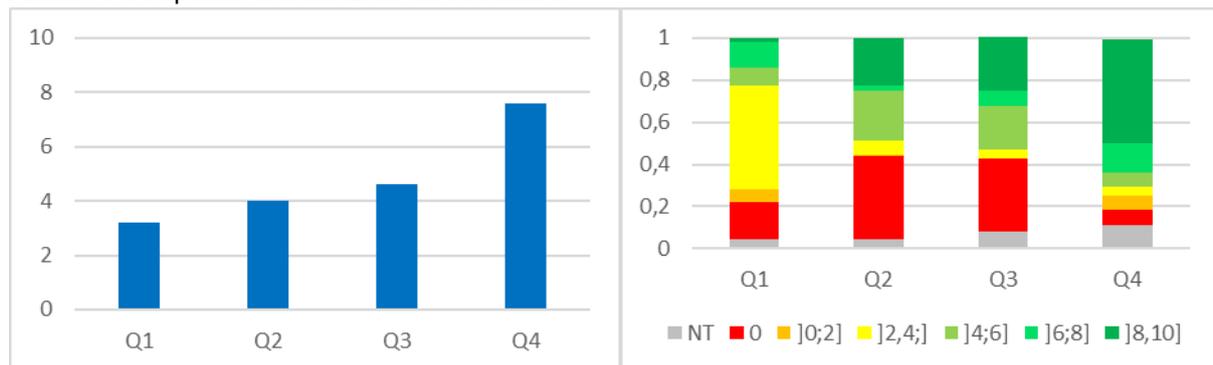
Le jury rappelle que la résolution d'un problème technique en sciences de l'ingénieur nécessite un raisonnement scientifique rigoureux avec la formulation d'hypothèses (qui peuvent être vérifiées a posteriori) pour valider ou non un résultat. Il est donc essentiel que les étapes de modélisation et de résolution d'un problème soient menées avec rigueur.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Les graphiques suivants indiquent respectivement, pour chaque question de la sous-partie concernée :

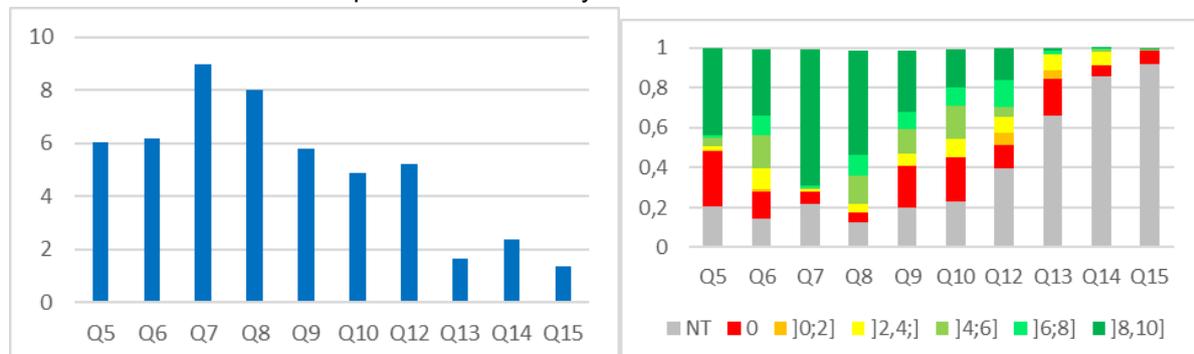
- la note moyenne normalisée obtenue par les candidats ayant traité la question,
- la répartition des notes normalisées parmi les candidats présents à l'épreuve.

Activité 1 : Capacité à contourner un obstacle :



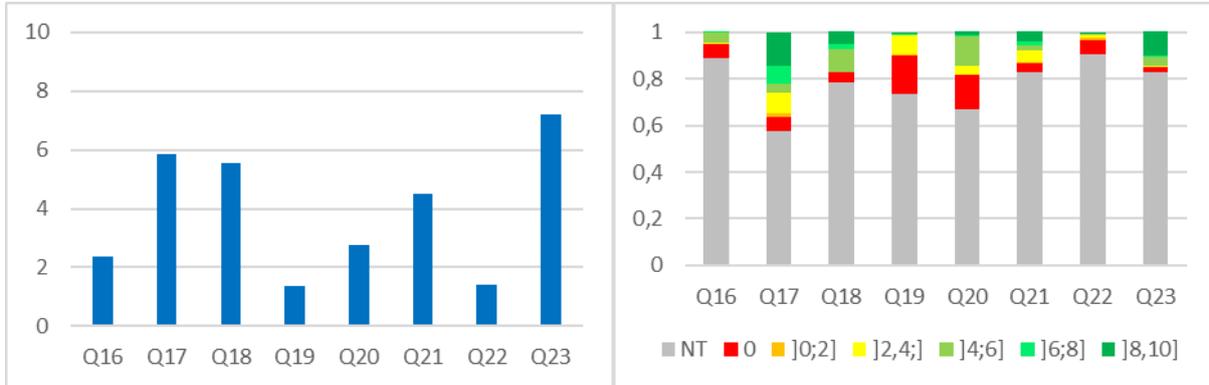
Cette activité porte sur la capacité du véhicule à contourner un obstacle. Cette partie a été très largement traitée. Cependant il faut noter que les candidats peuvent confondre nombre de mobilités et nombre de liaisons. La question 4 est très bien traitée grâce à une approche du problème correcte et une autonomie de la part des candidats.

Activité 2 : Déterminer le temps d'ouverture du système



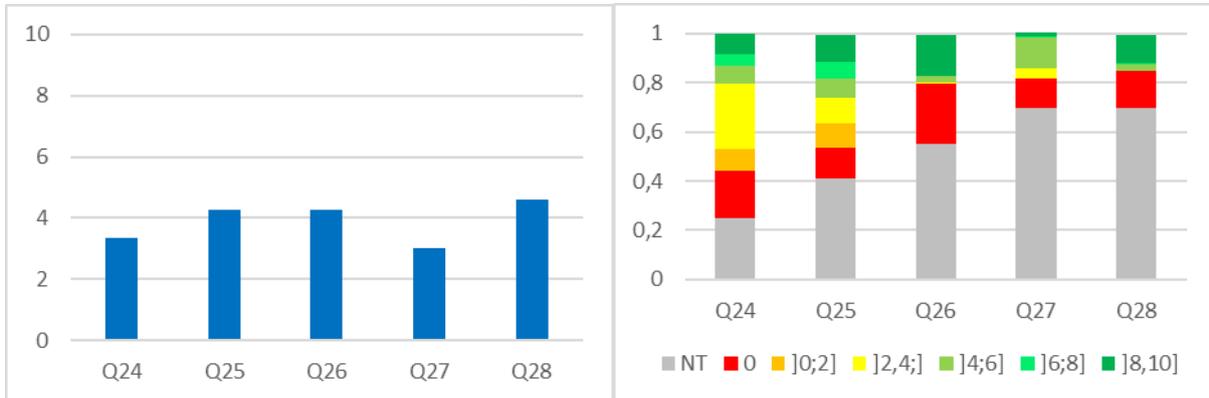
Cette partie permettait de déterminer le temps de déploiement du système. Le calcul du débit à partir de la puissance de la pompe hydraulique est assez bien maîtrisé et les unités sont correctement gérées. Le calcul du temps de déploiement ne comportait pas de difficulté majeure, toutefois tous les candidats n'ont pas eu le courage d'aller au bout des applications numériques. Le fonctionnement d'un diviseur de débit n'est pas toujours bien retranscrit malgré les apports de l'énoncé. L'application du théorème de Bernoulli a été très bien abordé, seuls quelques candidats ne maîtrisaient pas son application.

Activité 3 : Analyse du déploiement du système (hydraulique et géométrique)



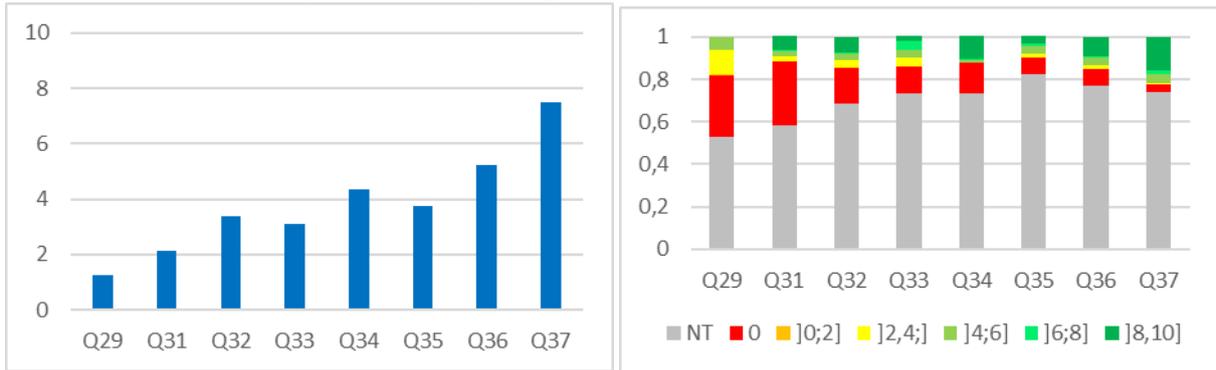
Cette partie a été trop peu traitée par les candidats. Les applications à des composants hydrauliques semblent avoir déconcerté les candidats alors qu'il ne s'agissait que d'applications d'outils simples de la mécanique tels qu'une fermeture géométrique ou l'application d'un principe fondamental de la statique. Il est regrettable que lorsque le candidat franchit l'étape du choix de l'outil à appliquer, la résolution mathématique n'aboutisse pas toujours.

Activité 4 : Valider le non-basculement du système.



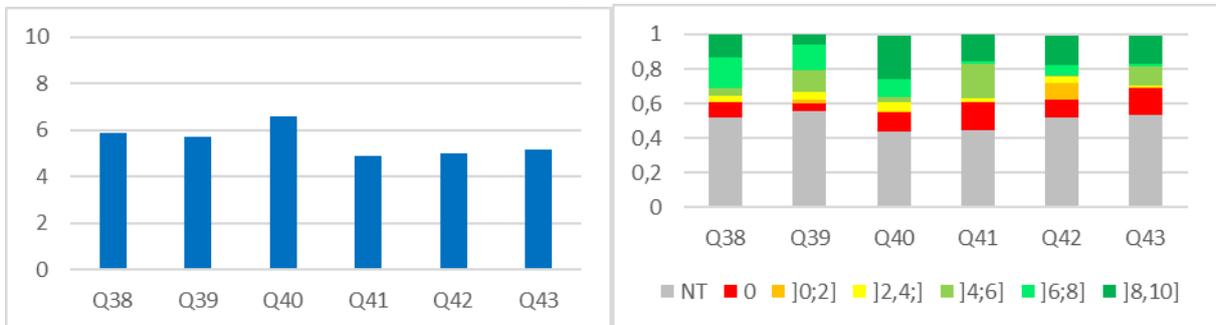
Cette partie traite des problèmes de basculement du système dû à un arrêt brutal du chariot d'inspection. Ce problème de dynamique a souvent été abordé comme un problème de statique par les candidats. Les outils de modélisations des problèmes de dynamique simple ne sont pas maîtrisés par certains candidats. Cependant il faut noter que lorsque les calculs sont bien menés, certains candidats sont capables d'obtenir les bons résultats jusqu'aux applications numériques.

Activité 5 : Valider le comportement au passage d'un train



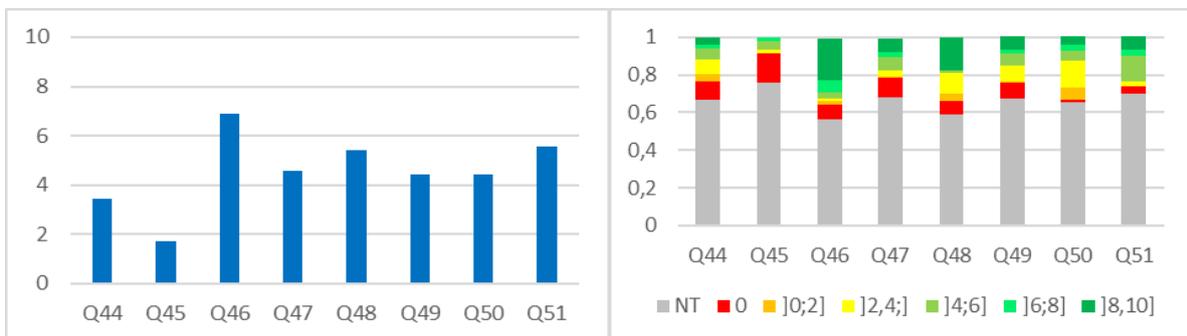
De nouveau cette partie, portant principalement sur de la dynamique, a été peu traitée par les candidats. La simplification du modèle pourtant guidée n'a été que très peu abordée. La détermination des énergies cinétiques s'avère bien traitée quand elle est abordée alors qu'elle constitue la base de l'énergétique. Les questions d'analyse des résultats fournis sont dans l'ensemble traitées correctement.

Activité 6 : Modélisation de l'asservissement en position du chariot



Cette partie porte sur la modélisation de l'asservissement en position du chariot. Seulement la moitié des candidats ont traité cette partie faisant pourtant appel à des notions élémentaires d'asservissement portant sur une modélisation très classique. Par exemple la détermination du gain de l'adaptateur n'est pas traitée correctement ou n'est pas justifiée. La simplification du schéma bloc n'aboutit pas dans de trop nombreux cas.

Activité 7 : Performance de l'asservissement du chariot



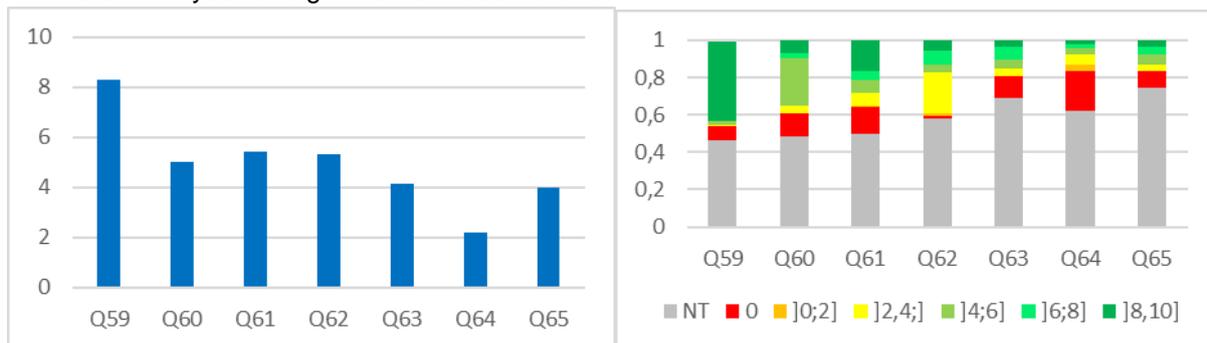
Cette partie, pourtant classique, a été une nouvelle fois peu traitée voir délaissée par les candidats. Il est à noter que les définitions de la marge de phase et de la marge de gain sont fausses dans de trop nombreux cas. De plus, le réglage d'un correcteur à avance de phase n'est pas maîtrisé par bon nombre de candidats.

Activité 8 : Analyse des déformations de la structure



Cette partie porte sur la déformation de la structure du système, le problème proposé est basé sur un modèle simple de résistance des matériaux. Il faut souligner le manque d'autonomie et de rigueur des candidats bien souvent incapables de mener des calculs pertinents de RDM. Les paramétrages proposés par les candidats sont souvent inexploitable. La notion de tronçon n'est pas maîtrisée par l'ensemble des candidats qui est pourtant un élément de base de la RDM. A contrario, les questions portant sur les torseurs des petits déplacements sont très bien traitées mais seulement par quelques candidats.

Activité 9 : Analyse de la géométrie et des matériaux de la structure



Cette dernière partie porte sur la géométrie de la structure. Les questions relatives aux calculs de surfaces et de moments quadratiques ont été bien traitées. Il est à noter que la question classique portant sur la déformée en flexion est parfois traitée sans aucune justification. La notion d'indice de performance et les diagrammes de Ashby semblent inconnus par des candidats.

4. Conclusion

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

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

Au-delà de la simple utilisation des outils, le jury apprécie que les candidats montrent leur compréhension en les adaptant au problème posé, et en étant capables de discuter de leurs intérêts et de leurs limites dans les questions d'analyse.

Le jury encourage les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à démontrer leur maîtrise des différentes méthodes de modélisation nécessaires à la résolution des problématiques en sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury valorise les copies où les candidats tentent de répondre à l'ensemble du sujet. De nombreuses questions étant indépendantes, il est souvent possible de conclure même en l'absence de certains résultats intermédiaires.

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

5. Résultats

190 copies ont été évaluées.

Les notes se répartissent ainsi :

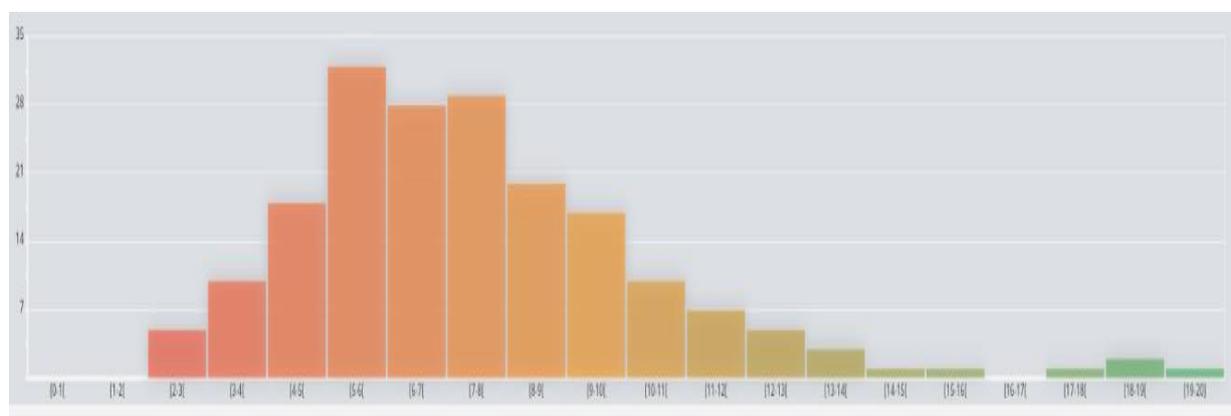
Moyenne : 07,5/20

Écart-type : 3/20

Note la plus basse : 2,69/20

Note la plus haute : 19,09/20

Histogramme des notes :



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

Présentation de l'épreuve

Arrêté du 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.

Sujet

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

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12339/download>

Sujet : Venturi Antartica



Le sujet porte sur un véhicule à impact environnemental réduit à motorisation électrique conçu pour l'exploration polaire.

Éléments de correction

Question 1

$$\vec{V}(G, \text{châ}/\text{sol}) = \vec{V}(G, \text{châ}/\text{chenille}) + \vec{V}(G, \text{chenille}/\text{sol})$$

($\vec{V}(G, \text{chenille}/\text{sol}) = \vec{0}$ car roulement sans glissement)

De plus, la chenille est inextensible :

$$\|\vec{V}(G, \text{châ}/\text{chenille})\| = \|\vec{V}(J, \text{châ}/\text{chenille})\| = R_B |\omega_{BG/\text{châ}}|$$

$$\vec{V}(G, \text{châ}/\text{sol}) = R_B \omega_{BG/\text{châ}} \vec{x}$$

$$\text{De même, } \vec{V}(D, \text{châ}/\text{sol}) = R_B \omega_{BD/\text{châ}} \vec{x}$$

Question 2

$$\vec{V}(I, \text{châ}/\text{sol}) = \vec{V}(G, \text{châ}/\text{sol}) + \vec{IG} \wedge \vec{\Omega}(\text{châ}/\text{sol})$$

$$\vec{V}(I, \text{châ}/\text{sol}) = \vec{V}(G, \text{châ}/\text{sol}) + \left(\frac{V}{2} \vec{y}\right) \wedge \omega_{\text{châ}/\text{sol}} \vec{z}$$

$$V \vec{x} = R_B \omega_{BG/\text{châ}} \vec{x} + \frac{V}{2} \omega_{\text{châ}/\text{sol}} \vec{x} \quad (1)$$

Par ailleurs :

$$\vec{V}(I, \text{châ}/\text{sol}) = \vec{V}(D, \text{châ}/\text{sol}) + \vec{ID} \wedge \vec{\Omega}(\text{châ}/\text{sol})$$

$$V \vec{x} = R_B \omega_{BD/\text{châ}} \vec{x} - \frac{V}{2} \omega_{\text{châ}/\text{sol}} \vec{x} \quad (2)$$

$$\text{Ainsi : } \vec{V}(I, \text{châ}/\text{sol}) = V \vec{x} = \frac{R_B}{2} (\omega_{BG/\text{châ}} + \omega_{BD/\text{châ}}) \vec{x} \quad (3)$$

Question 3

$$(1)-(2) \text{ en projection sur } \vec{x} : R_B (\omega_{BG/\text{châ}} - \omega_{BD/\text{châ}}) + V \omega_{\text{châ}/\text{sol}} = 0$$

$$\omega_{\text{châ}/\text{sol}} = \frac{R_B}{V} (\omega_{BD/\text{châ}} - \omega_{BG/\text{châ}}) \quad (4)$$

Question 4

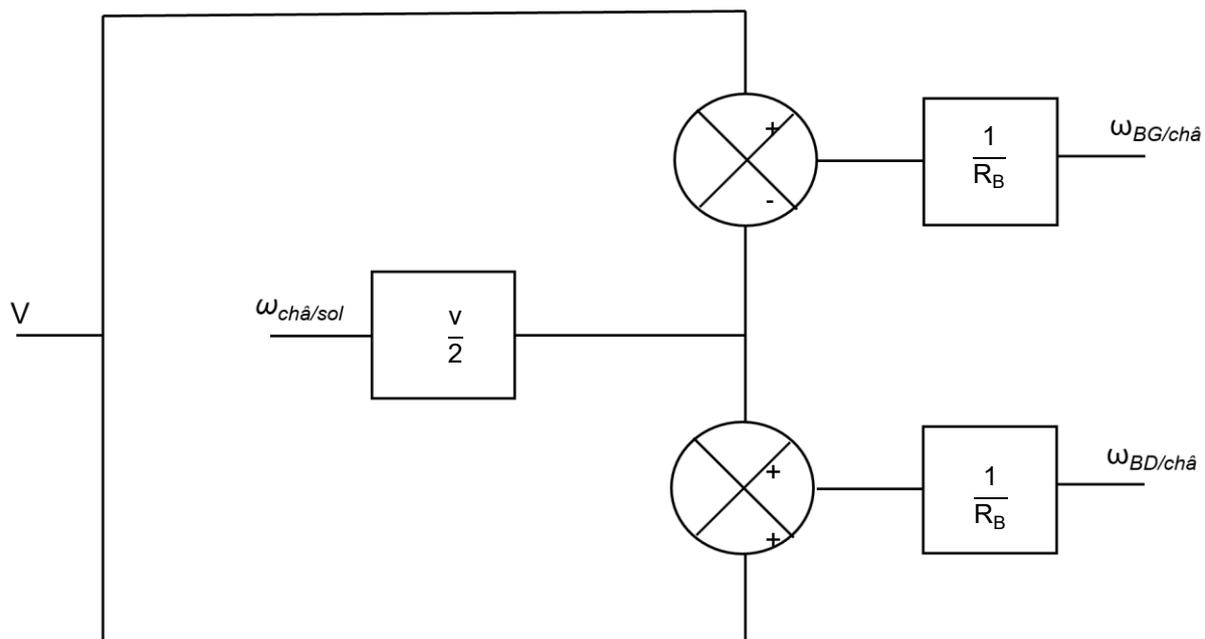
$$(3) \quad V = \frac{R_B}{2} (\omega_{BG/\text{châ}} + \omega_{BD/\text{châ}})$$

$$(4) \quad \omega_{\text{châ}/\text{sol}} = \frac{R_B}{V} (\omega_{BD/\text{châ}} - \omega_{BG/\text{châ}})$$

$$\frac{(3)}{V} + \frac{(4)}{2} \rightarrow \frac{V}{V} + \frac{\omega_{\text{châ}/\text{sol}}}{2} = \frac{R_B}{V} \omega_{BD/\text{châ}}$$

$$\omega_{BD/\text{châ}} = \frac{V}{R_B} + \frac{V}{2R_B} \omega_{\text{châ}/\text{sol}}$$

$$\text{De même : } \omega_{BG/\text{châ}} = \frac{V}{R_B} - \frac{V}{2R_B} \omega_{\text{châ}/\text{sol}}$$



Question 5

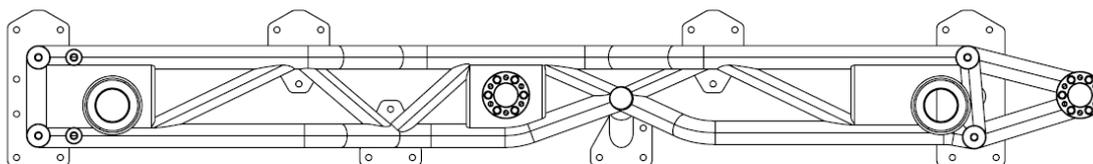
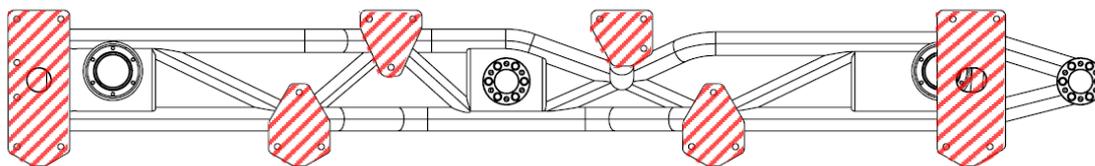
25CrMo4 : acier faiblement allié avec 0,25 % de carbone, 1% Chrome et des traces de Molybdène

Question 6

Les surfaces de contact des platines sur le châssis doivent avoir un déplacement nul.



Zone à déplacement nul



Question 7

L'hypothèse de RSG en G pour la chenille gauche impose que G est le CIR de la chenille par rapport au sol.

Hypothèse que l'on peut démontrer :

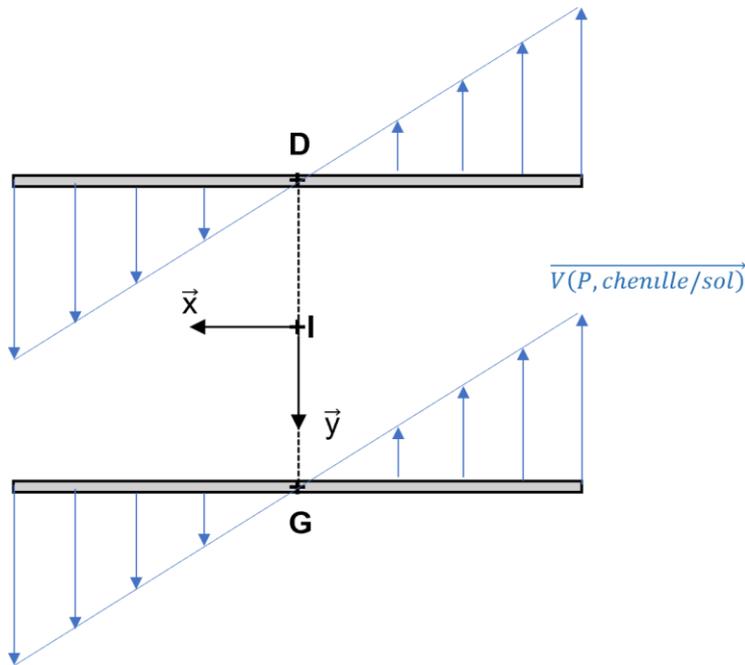
- Le CIR (châssis/sol) est le point I
- Le CIR (chenille/châssis) (pour la partie de la chenille en contact avec le sol) est à l'infini suivant la direction (I, \vec{y})
- D'après le théorème des trois plans glissants, les points suivants sont alignés : CIR(châssis/sol), CIR(chenille/châssis), CIR(chenille/sol).

→ Le CIR(chenille/sol) $\in (I, \vec{y})$

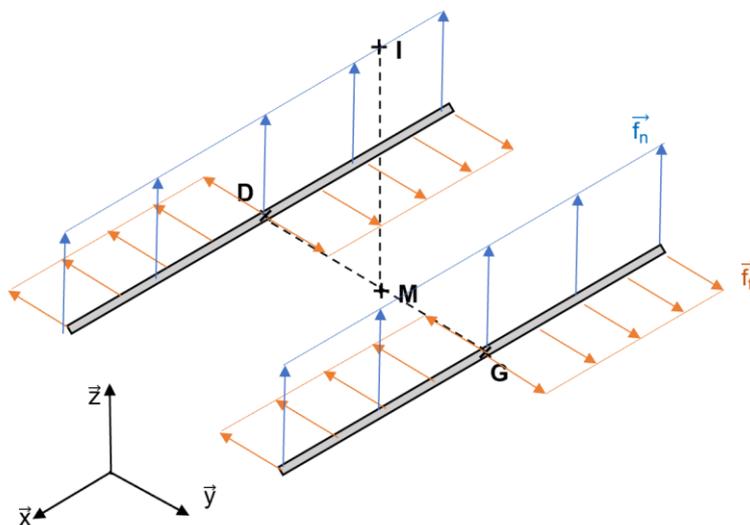
Par ailleurs, l'hypothèse selon laquelle la composante de vitesse de glissement d'un point courant de la chenille avec le sol, par rapport au sol, n'a de composante que latérale (sur \vec{y}) implique que le CIR(chenille/sol) est sur (G, \vec{x}) .

→ le CIR(chenille/sol) est le point G

Question 8



Question 9



Question 10

On isole le véhicule complet.

Bilan d'action mécaniques extérieures :

Action de la pesanteur : $\vec{P} = -Mg \vec{z}$

Action du sol sur le véhicule : cf représentation en Q9.

Théorème de la résultante dynamique sur \vec{z} :

$$-P + 2L_c f_n = 0 \Rightarrow f_n = \frac{P}{2L_c} \quad (\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$$

D'après les lois de Coulomb :

$$|f_t| = f f_n = \frac{fP}{2L_c}$$

$$\text{Donc } \vec{M}(G, f_t \rightarrow \text{chenille}) = -2 * \left(f_t * \frac{L_c}{2} \right) * \frac{L_c}{4} \vec{z}$$

$$\Leftrightarrow \vec{M}(G, f_t \rightarrow \text{chenille}) = -\frac{fP L_c^2}{2L_c 4} \vec{z}$$

$$\Leftrightarrow \vec{M}(G, f_t \rightarrow \text{chenille}) = -\frac{fP L_c}{8} \vec{z} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

$$T(\text{sol} \rightarrow \text{chenille}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Mg & -\frac{fP L_c}{8} \end{pmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

Application numérique :

$$T(\text{sol} \rightarrow \text{chenille}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 12500 \text{ N} & -5500 \text{ N} \cdot \text{m} \end{pmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

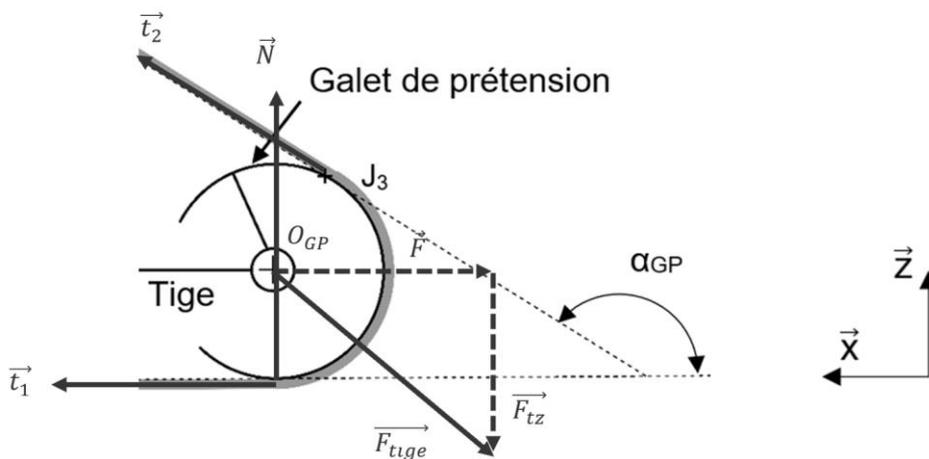
Question 11

La limite élastique du matériau utilisé est de 450 MPa. On voit sur la figure 12 que la contrainte maximum atteinte est aux alentours de 270 MPa. Ce qui donne un coefficient de sécurité d'environ 1,7 pour cette seule sollicitation → Moment sol / chenille très influent sur la tenue de la pièce.

Le coefficient de sécurité est relativement faible, surtout au vu du contexte d'utilisation du véhicule et sachant que le second cas de charge n'a pas encore été pris en compte.

Question 12

On isole le système matériel S={galet tendeur + portion de chenille au contact du galet tendeur}



Le problème est plan. Pour les besoins de l'étude on limite le bilan des actions mécaniques aux forces dans le plan (J_3, \vec{z}, \vec{x})

Bilan d'actions mécaniques extérieures agissant sur S :

$$\vec{F}_{\text{chenille} \rightarrow S} = T_0 \vec{x}$$

$$T_{(\text{chenille} \rightarrow S)}^{J_3} = \begin{Bmatrix} \vec{t}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{J_3} \quad \text{avec } \|\vec{t}_2\| = T_0$$

$$T_{(\text{sol} \rightarrow S)} = \begin{Bmatrix} N \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{J_5}$$

$$\vec{F}_{\text{tige} \rightarrow S} = -F_0 \vec{x} - F_{tz} \vec{z}$$

Théorème de la résultante statique appliqué à S en projection sur \vec{x} :

$$-F_0 + T_0 - T_0 \cos \alpha_{GP} = 0$$

$$\text{Soit : } T_0 = \frac{F_0}{1 - \cos \alpha_{GP}}$$

Question 13

On isole le système matériel S_{BC} .

Bilan d'actions mécaniques extérieures à S_{BC} :

$$T_{(\text{chenille} \rightarrow S_{BC})}^{J_1} = \begin{Bmatrix} \vec{t} \\ R_B \vec{t} \end{Bmatrix}_{O_B}$$

$$T_{(\text{chenille} \rightarrow S_{BC})}^{J_4} = \begin{Bmatrix} -T \vec{x} \\ -R_B T \vec{y} \end{Bmatrix}_{O_B}$$

$$T_{(\text{moteur} \rightarrow S_{BC})} = \begin{Bmatrix} \dots \\ C_B \vec{y} \end{Bmatrix}_{O_B} \quad (\text{« ... » signifie que la donnée est inutile à la résolution})$$

$$T_{(\text{châssis} \rightarrow S_{BC})} = \begin{Bmatrix} 0 \vec{y} + \dots \end{Bmatrix}_{O_B}$$

Théorème du moment dynamique appliqué à S_{BC} en projection sur \vec{y} :

$$J_{By} \dot{\omega}_B + M_B \frac{d}{dt} \underbrace{(\vec{O}_B \vec{G}_B \wedge \vec{V}(\vec{O}_B, S_{BC}/R_g))}_{\vec{y}} \cdot \vec{y} = C_B + R_B t - R_B T$$

$$= 0 \quad (\text{produit scalaire de deux vecteurs orthogonaux})$$

$$J_{By} \frac{d\omega_B}{dt} = C_B + R_B t - R_B T \quad (1)$$

Question 14

La vitesse d'un point fixe appartenant au châssis par rapport au sol est :

$$V(P, \text{châssis}/R_g) = R_B \omega_B$$

Détermination de l'énergie cinétique :

$$T(\Sigma/R_g) = T(\text{châssis}/R_g) + 24 * T(GF/R_g) + 4 * T(GP/R_g) + 2 * T(\text{Barbotin}/R_g)$$

$$= \frac{1}{2} * M_C (R_B \omega_B)^2 + 24 * \left(\frac{1}{2} M_{GF} (R_B \omega_B)^2 + \frac{1}{2} J_{GFy} \left(\frac{R_B}{R_{GF}} \omega_B \right)^2 \right)$$

$$+ 4 * \left(\frac{1}{2} M_{GP} (R_B \omega_B)^2 + \frac{1}{2} J_{GPy} \left(\frac{R_B}{R_{GP}} \omega_B \right)^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{2} M_B (R_B \omega_B)^2 + \frac{1}{2} J_{By} \omega_B^2 \right)$$

$$T(\Sigma/R_g) = \frac{1}{2} * M_C R_B^2 \omega_B^2 + 12 * (M_{GF} R_B^2 + J_{GFy} \left(\frac{R_B}{R_{GF}}\right)^2) \omega_B^2 + 2 * (M_{GP} R_B^2 + J_{GPy} \left(\frac{R_B}{R_{GP}}\right)^2) \omega_B^2 + (M_B R_B^2 + J_{By}) \omega_B^2$$

Question 15

Au vu du résultat ci-dessus, on a :

$$\begin{aligned} J_{eq} &= M_C R_B^2 + 24 * (M_{GF} R_B^2 + J_{GFy} \left(\frac{R_B}{R_{GF}}\right)^2) + 4 * (M_{GP} R_B^2 + J_{GPy} \left(\frac{R_B}{R_{GP}}\right)^2) + 2 * (M_B R_B^2 + J_{By}) \\ &= R_B^2 (M_C + 24 M_{GF} + 4 M_{GP} + 2 M_B) + 24 * \left(\frac{R_B}{R_{GF}}\right)^2 J_{GFy} + 4 * \left(\frac{R_B}{R_{GP}}\right)^2 J_{GPy} + 2 * J_{By} \end{aligned}$$

Question 16

Par application du théorème de l'énergie cinétique au système matériel Σ , on a :

$$\frac{dT(\Sigma/R_g)}{dt} = P_{ext}(\Sigma/R_g) + P_{int}(\Sigma)$$

- Les puissances intérieures sont celles fournis par chacun des deux moteurs sur les barbotins, si on néglige les pertes dans la transmission;
- Les puissances extérieures sont négligeables dans la mesure où le véhicule se déplace en ligne droite (RSG entre chaque point de contact de la chenille et le référentiel galiléen) et la vitesse faible permet de négliger les frottements aérodynamiques.

Il vient : $J_{eq} \omega_B \frac{d\omega_B}{dt} = 2C_B \omega_B$

Soit : $J_{eq} \frac{d\omega}{dt} = 2C_B$

Question 17

$T + t = 2T_0$

(3)

Question 18

$J_{By} \frac{d\omega_B}{dt} = C_B + R_B t - R_B T$ (1)

$T + t = 2 T_0$ (3)

$\Rightarrow J_{By} \frac{d\omega_B}{dt} = C_B + R_B (2T_0 - T) - R_B T$

$\Rightarrow J_{By} \frac{d\omega_B}{dt} = C_B + 2R_B (T_0 - T)$

Question 19

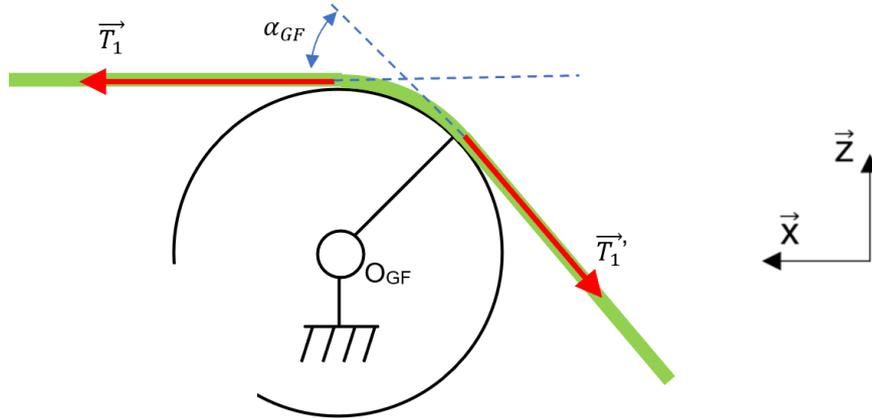
$J_{eq} \frac{d\omega_B}{dt} = 2C_B$ et $J_{By} \frac{d\omega_B}{dt} = C_B + 2R_B (T_0 - T)$

$2 J_{By} C_B = (C_B + 2R_B (T_0 - T)) J_{eq}$

$\Leftrightarrow T_0 - T = \frac{1}{2R_B} (2 \frac{J_{By} C_B}{J_{eq}} - C_B)$

$\Leftrightarrow T = T_0 + \frac{C_B}{2R_B} (1 - 2 \frac{J_{By}}{J_{eq}})$

Question 20



Par hypothèse, $\|\vec{T}_1\| = \|\vec{T}_1'\| = T$

On isole un système matériel $S = \{\text{la paire de galets fous} + \text{le brin de chenille en contact}\}$
 Bilan d'actions mécaniques extérieures :

$$T(\text{chenille} \rightarrow S) = \begin{Bmatrix} T(1 - \cos \alpha_{GF}) & - \\ - & 0 \\ -T \sin \alpha_{GF} & - \end{Bmatrix}_{O_{GF}} (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$$

$$T(\text{châssis} \rightarrow S) = \begin{Bmatrix} F_x & - \\ - & 0 \\ F_z & - \end{Bmatrix}_{O_{GF}} (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$$

Théorème de la résultante dynamique appliqué à S :

$$\begin{aligned} \text{TRD.}\vec{x}: \quad F_x + T(1 - \cos \alpha_{GF}) &= M_{GF} * R_B \omega_B \\ \Leftrightarrow F_x + T(1 - \cos \alpha_{GF}) &= M_{GF} * R_B \frac{2C_B}{J_{eq}} \approx 0 \end{aligned}$$

(On peut formuler l'hypothèse raisonnable selon laquelle l'ordre de grandeur de la résultante dynamique est \ll la tension de pose T_0 (ce qui se vérifie assez vite par le calcul, si on estime M_{GF} à 10kg, on a $M_{GF} * R_B \frac{2C_B}{J_{eq}} = 21 \text{ N} \ll 1000 \text{ N}$))

$$\text{TRD.}\vec{z}: \quad F_z - T \sin \alpha_{GF} = 0$$

On déduit par application du principe des actions mutuelles :

$$T(S \rightarrow \text{châssis}) = \begin{Bmatrix} T(1 - \cos \alpha_{GF}) & - \\ - & 0 \\ -T \sin \alpha_{GF} & - \end{Bmatrix}_{O_{GF}} (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}) \quad \text{Or, } T = T_0 + \frac{C_B}{2R_B} \left(1 - 2 \frac{J_{By}}{J_{eq}}\right)$$

$$\text{Donc } T(S \rightarrow \text{châssis}) = \begin{Bmatrix} \left(T_0 + \frac{C_B}{2R_B} \left(1 - 2 \frac{J_{By}}{J_{eq}}\right)\right) (1 - \cos \alpha_{GF}) & - \\ - & 0 \\ - \left(T_0 + \frac{C_B}{2R_B} \left(1 - 2 \frac{J_{By}}{J_{eq}}\right)\right) \sin \alpha_{GF} & - \end{Bmatrix}_{O_{GF}} (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$$

$$\text{Application numérique : } T(S \rightarrow \text{châssis}) = \begin{Bmatrix} 213 \text{ N} & - \\ - & 0 \\ -920 \text{ N} & - \end{Bmatrix}_{O_{GF}} (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$$

Question 21

Les facteurs influant sont :

- De façon prépondérante l'angle d'enroulement α_{GF}
- La tension de pose T_0
- Le couple du barbotin
- Le rayon du barbotin

(Le rapport de moments d'inertie $\frac{J_{By}}{J_{eq}}$ est très petit devant 1 et n'a que très peu d'influence)

Question 22

La limite élastique du matériau utilisé est de 450 MPa. On voit sur la figure 14 que la contrainte maximum atteinte est aux alentours de 70 MPa. Ce qui donne un coefficient de sécurité d'environ 6,4 pour cette seule sollicitation. Effort du galet sur la poutre peu influant sur la tenue de la pièce.

Question 23

La limite élastique du matériau utilisé est de 450 MPa. On voit sur la figure 15 que la contrainte maximum atteinte est aux alentours de 320 MPa. Ce qui donne un coefficient de sécurité d'environ 1,4. Trop faible au vu du contexte d'utilisation et des différentes hypothèses qui ont été mises en place.

Question 24

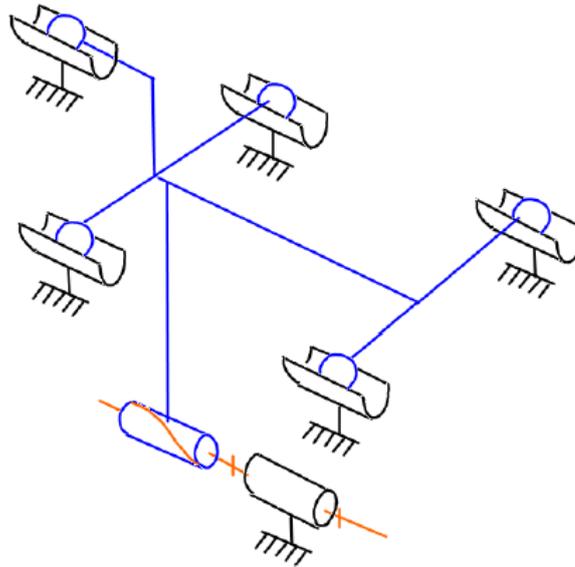
La pièce est mécano-soudée or la simulation a été faite avec une pièce monobloc → pas de modélisation des cordons de soudure et des potentielles ZAT.

Question 25

Pistes d'améliorations :

- Rajout de nervures sur la poutre entre les platines et les tubes
- Augmenter l'épaisseur des tubes
- Prendre un matériau avec une limite élastique plus élevée

Question 26



Question 27

$$h_s = N_s - 6(p-1) + m$$

avec $p=3$ (nombre de pièces)

$$N_s = 5 \times 2 + 2 \times 5 = 20 \text{ (inconnues statiques)}$$

$m=1$ (mobilités internes et utiles)

$$h_s = 20 - 12 + 1 = 9$$

Question 28

Le degré d'hyperstatisme est élevé. Les inconnues de liaisons dépendent donc des défauts géométriques, par nature aléatoires. En conséquence, le moment généré à la vis lors du réglage participera en partie à vaincre les frottements dans les liaisons. Dans ce contexte, la précharge de la chenille sera imprécise, il y a donc un risque de réglage erroné de la tension de la chenille, ce qui augmente le risque de rupture de la platine.

Donc, on a un système très rigide, ce qui est important dans un contexte de limitation des masses, MAIS cette rigidité se fait au prix d'une imprécision sur la prétension.

Idéalement il faudrait rendre certaines liaisons réglables afin de maîtriser les valeurs des inconnues hyperstatiques (ou effectuer une mesure directe de la tension de la chenille).

Question 29

Gamme de fabrication			
Brut : 130 x 90 x 40 mm		Matériau : Aluminium 7075	
Pièce : Coulisseau		Quantité / Cadence :	
Phase n°	Désignation	Machine	Croquis
Phase 10	Découpe forme extérieure	Découpe jet d'eau	
Phase 20	Fraisage Usinage face supérieure	Centre d'usinage 3 axes	
Phase 30	Fraisage Usinage face A et chanfreins	Centre d'usinage 3 axes	

Question 30

Dimension : L'ensemble des dimensions locales des deux surfaces doivent être compris entre 34 et 34,03.

Localisation :

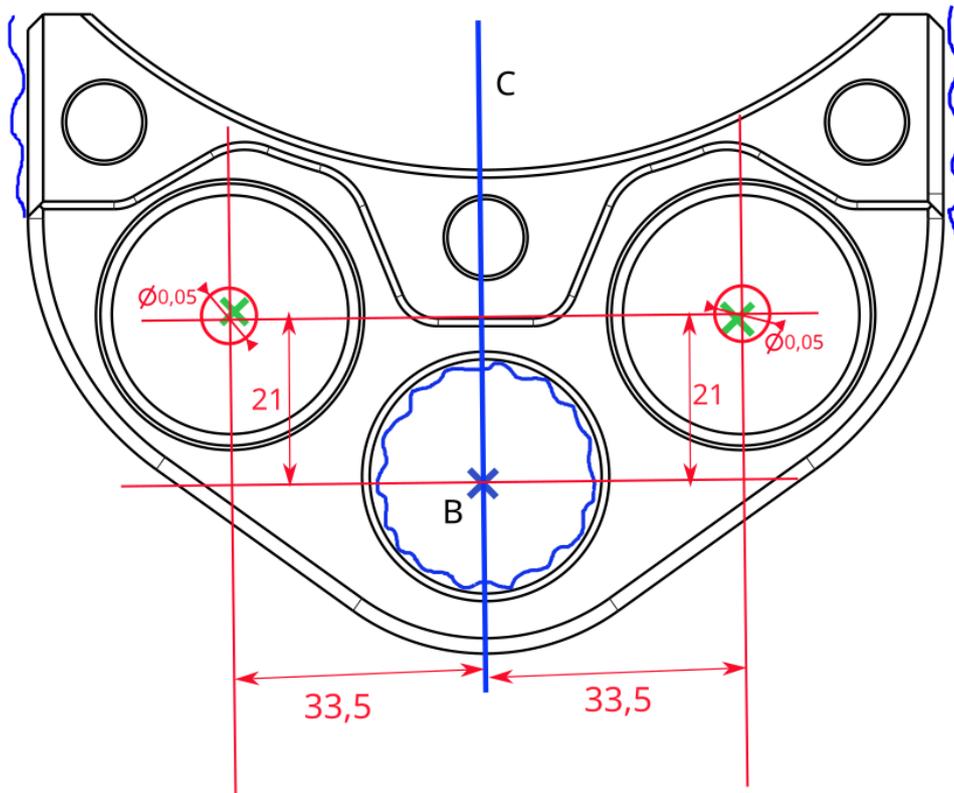
Éléments tolérancés : 2 axes réels des surfaces réputées cylindriques

Éléments de référence : 1 surface réputée cylindrique, 2 surfaces réputées planes

Système de référence spécifiée :

- Référence primaire : axe B du plus grand cylindre inscrit qui minimise les écarts maxi
- Référence secondaire : plan C plan médian des 2 plans tangents extérieur matière et passant par B

Zone de tolérance : 2 cylindres de $\varnothing 0,05$ mm dont les axes sont à 33,5 mm de C et sur un plan situé à 21 mm de B.



Question 31

On a vu que le degré d'hyperstatisme était élevé, et que les différentes pièces du système nécessitaient des spécifications géométriques strictes afin de pouvoir assurer le montage. Les deux coulisseaux sont des pièces importantes de ce système de réglage de la prétension. Cette localisation avec un intervalle de tolérance très fin (0,05mm) est un moyen direct de régler ce problème de montage tout en gardant une liaison rigide.

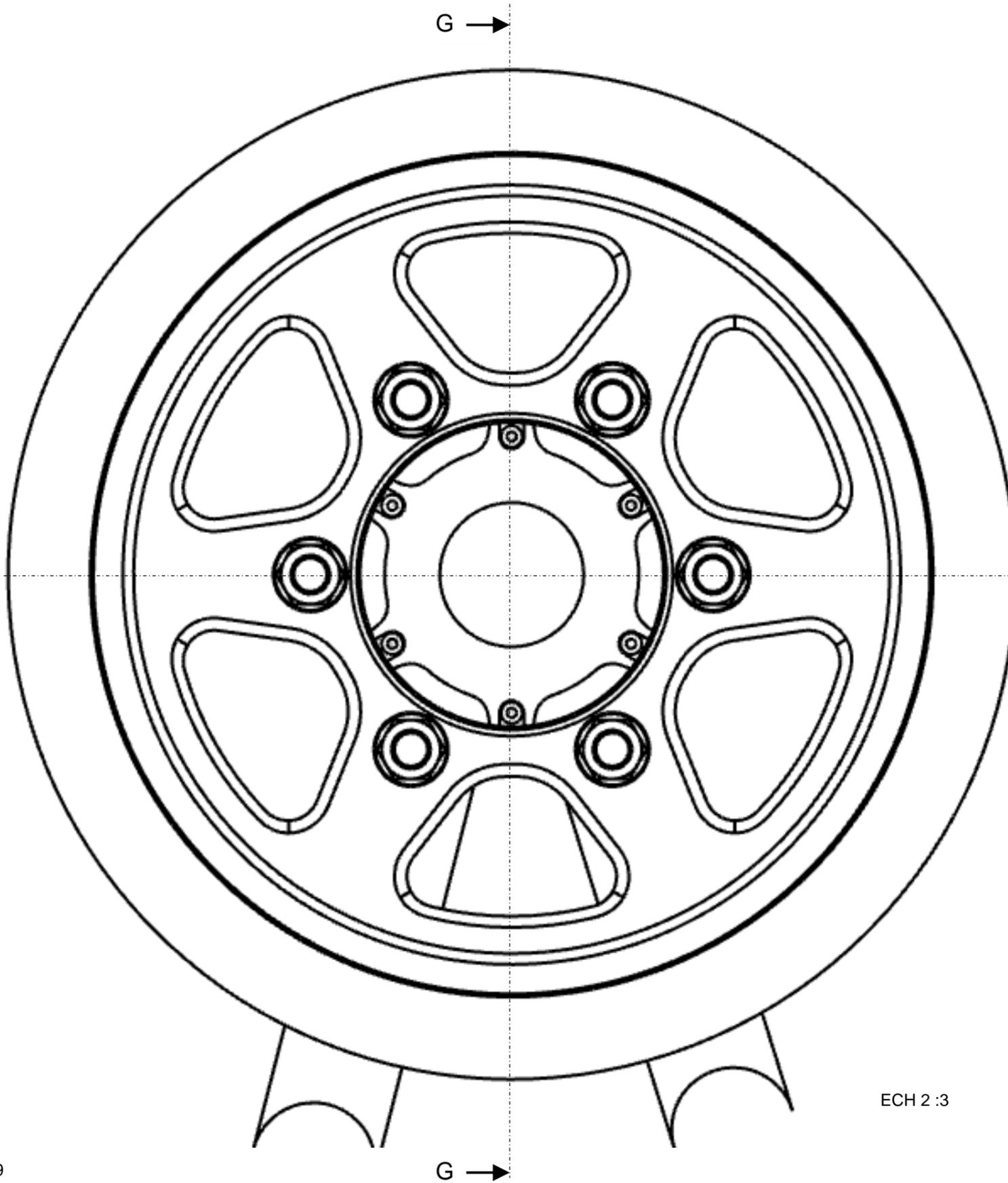
Question 32

L'effort radial exercé par le châssis sur chaque galet fou est fixe par rapport au châssis, et tournant par rapport aux galets.

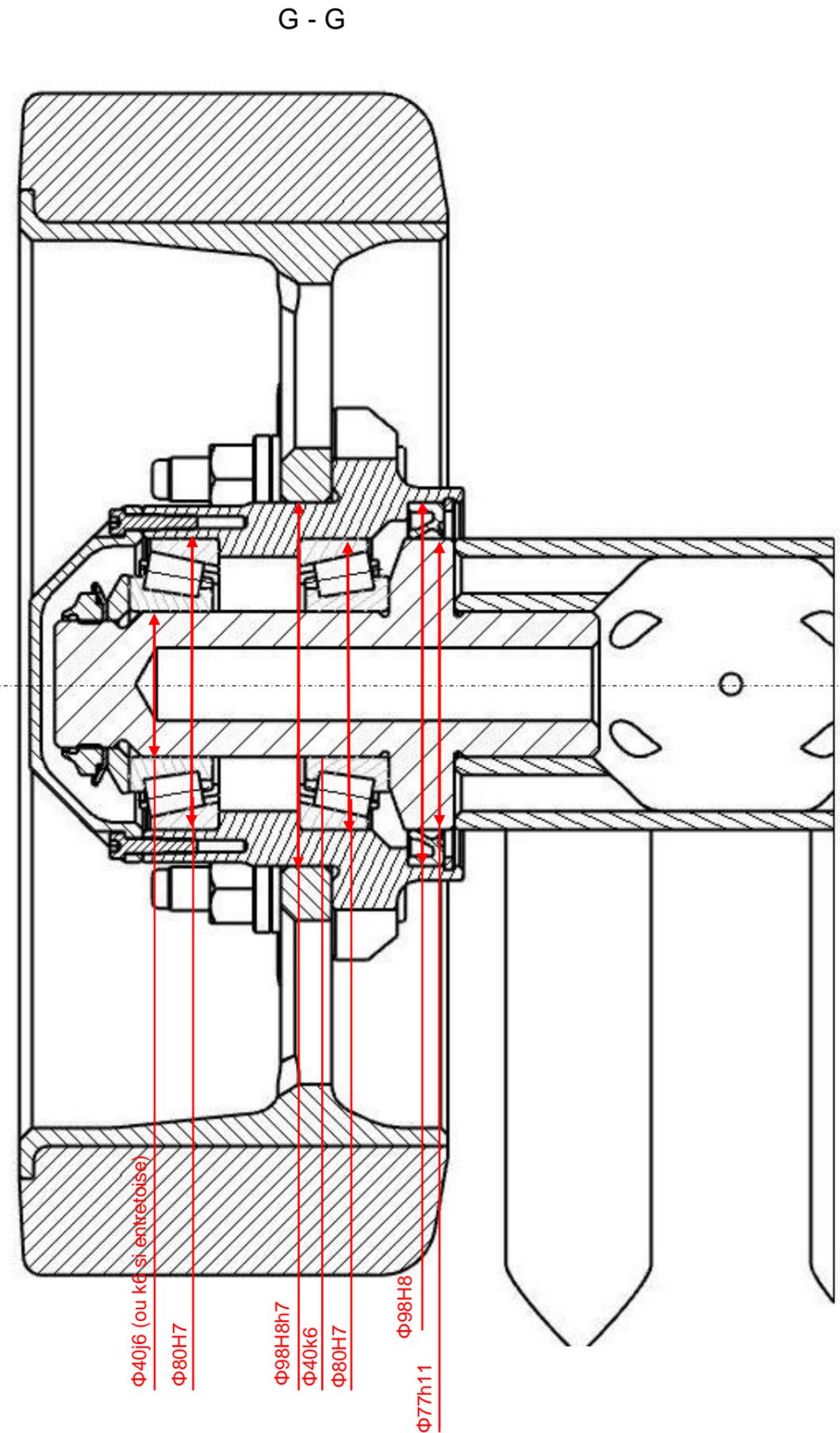
Donc le montage à privilégier est un montage en « O », avec bagues extérieures serrées.

Cf page suivante

Question 33 DR 6 – Conception du guidage en rotation d'un galet



ECH 2 :3



Question 34

Tronçon AB : Traction, flexion simple

Tronçon BC : flexion simple

Question 35

$m = \rho \frac{\pi d^2}{4} L$, avec d le paramètre ajustable à éliminer

$$f = \frac{k \cdot Y_B}{E \cdot I_{G,z}} \Leftrightarrow f = \frac{64kY_B}{E\pi d^4}$$

$$\text{Soit } d^2 = 8 \left(\frac{kY_B}{E\pi f} \right)^{1/2}$$

$$\text{Ainsi, } m = 2\rho L \left(\frac{k\pi Y_B}{E f} \right)^{1/2}$$

Question 36

L'objectif est de minimiser la masse de la bielle.

Minimiser m revient à maximiser $\frac{\sqrt{E}}{\rho}$

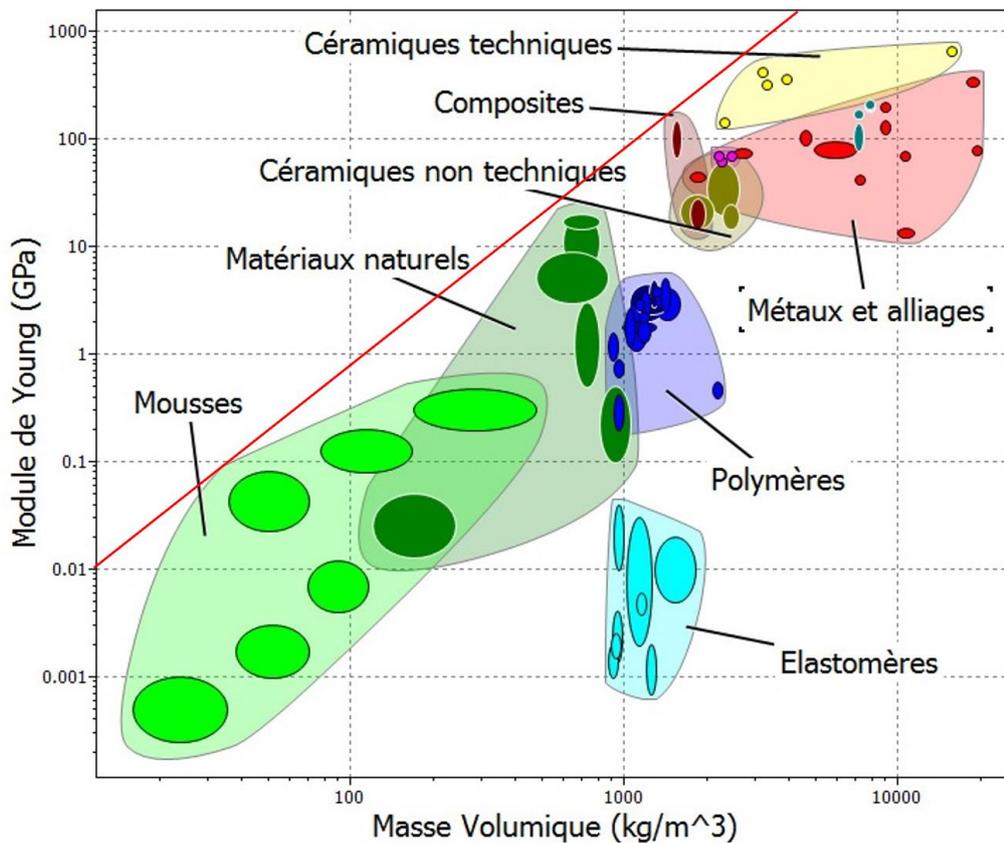
Donc l'indice de performance pour le critère visé est $I = \frac{\sqrt{E}}{\rho}$

Question 37

$$\log I = \frac{1}{2} \log E - \log \rho$$

$$\Leftrightarrow \log E = 2 \log \rho + \log I$$

La ligne guide a donc un coefficient directeur de valeur 2 (en échelle log log)



Un matériau composite comme la fibre de carbone est le meilleur candidat suivant le critère de minimisation de masse (pour une sollicitation en flexion donnée).

Plusieurs matériaux sont concurrents suivant ce critère, mais pour des raisons de rigidité, de capacité de mise en forme, et de résilience, la fibre de carbone reste le choix le plus pertinent.

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 Venturi Antarctica

Venturi est un constructeur monégasque de véhicules électriques d'exception. L'entreprise s'est lancée dans les années 2010 dans la conception et la fabrication d'un engin chenillé à motorisation électrique conçu pour l'exploration polaire : le Venturi Antarctica, dont l'étude fait l'objet de cette épreuve.

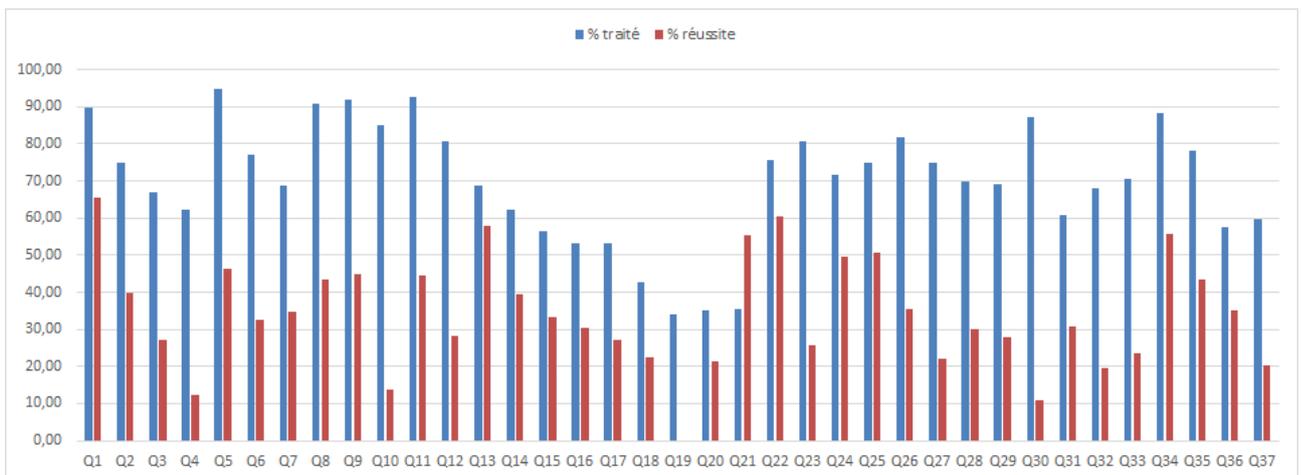
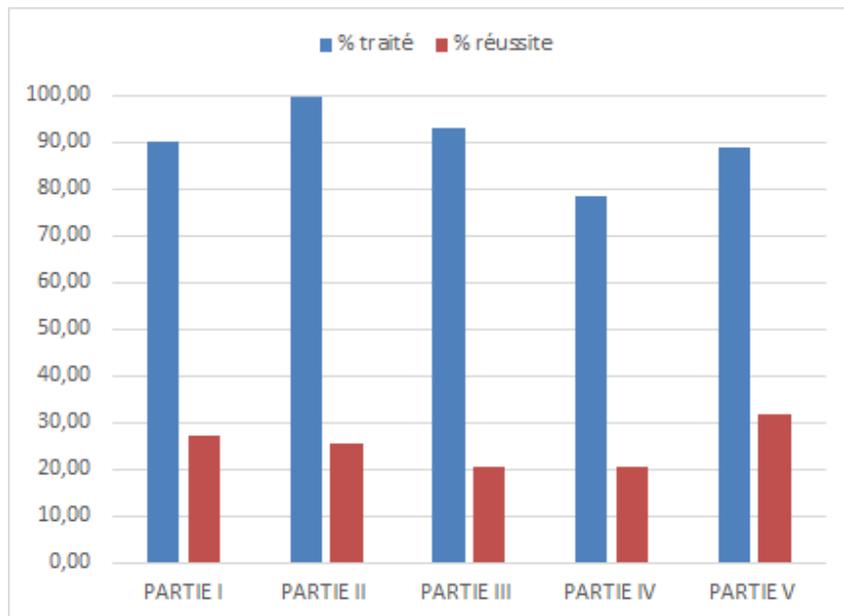
Ce sujet est construit en 5 parties :

- partie 1 : Étude cinématique des commandes ;
- partie 2 : Analyse de l'encastrement de la poutre supérieure ;
- partie 3 : Guidage du dispositif de prétension ;
- partie 4 : Guidage en rotation du galet fou ;
- partie 5 : Choix des matériaux des bielles.

2. Analyse globale des résultats

L'évaluation des copies montre une très forte hétérogénéité dans le traitement du sujet. Un petit nombre de candidats bien préparés traite correctement les deux tiers du sujet, mais pour bon nombre de candidats il se dégage un manque de maîtrise de connaissances et compétences qui peuvent être qualifiées d'élémentaires.

Les graphiques ci-dessous présentent les pourcentages de traitement et de réussite aux différentes questions du sujet.

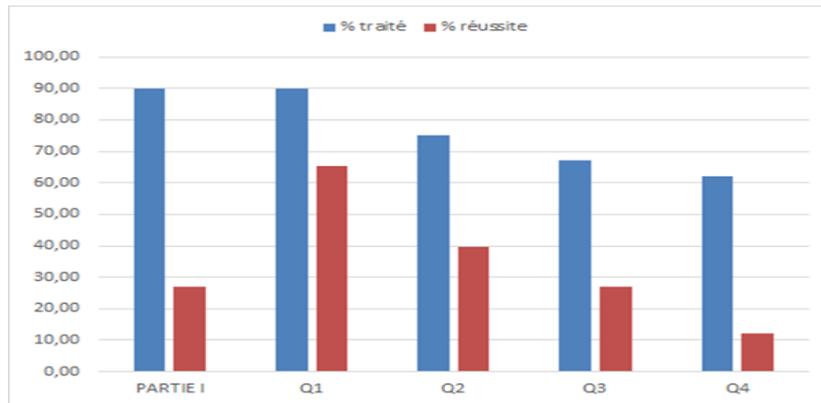


3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie I

Cette partie avait pour objectif de déterminer les conditions de découplage des commandes d'avance du véhicule et de virage. Elle reposait donc sur des considérations cinématiques et devait se conclure par la complétion d'un schéma-blocs ayant pour consignes la vitesse linéaire d'avance et la vitesse angulaire de virage, et pour sorties les vitesses de rotations des barbotins droit et gauche.

Cette partie a été assez bien abordée, et la cinématique correctement traitée de façon globale, mais les candidats ont rencontré quelques difficultés à faire émerger la loi de commande afin de compléter le schéma-blocs. L'emploi d'un outil comme le schéma-blocs, issu de l'automatique, utilisé à des fins de synthétisation de résultats issus d'une analyse mécanique, a pu dérouter les candidats les moins à l'aise avec cet objet.



Partie II

Cette partie avait pour objectif d'établir les paramètres de mise en œuvre d'une simulation par éléments finis devant permettre d'identifier certaines zones du châssis subissant des contraintes particulièrement élevées, et de les quantifier. La caractérisation des différentes charges faisait appel à des développements issus de la statique, de l'énergétique, et de la dynamique.

Partie II.A : Étude du moment du sol sur la chenille

Cette partie mène progressivement à une étude de statique, permettant de quantifier les efforts générés par le sol sur la chenille (puis le châssis) lors d'un virage sur place.

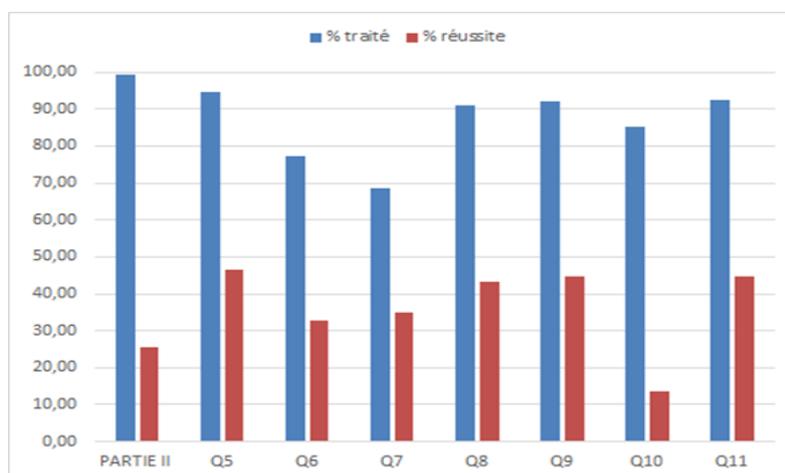
La connaissance des lois de Coulomb pour le frottement (afin de représenter des champs de densités linéiques de force) est mal maîtrisée, un grand nombre de candidats établissant, à tort, une linéarité entre forces de frottement et vitesses de glissement.

La démarche de résolution d'un problème de statique est, sur l'ensemble des candidats, extrêmement peu maîtrisée :

- Le système isolé est rarement défini, et, quand il l'est, la frontière d'isolement est souvent erronée, sans lien avec les données du problème.
- Le bilan d'actions mécaniques est souvent absent.
- Le PFS, quand il est énoncé, manque souvent de rigueur.

Dans ces conditions, très peu de candidats ont été en mesure de quantifier correctement les efforts du sol sur le véhicule.

Cette sous-partie se concluait par l'analyse de la simulation numérique correspondant au cas de charge déterminé. Les candidats quantifient le plus souvent les contraintes, mais seulement une partie d'entre eux portent une analyse critique, par exemple sur le coefficient de sécurité que l'on peut déterminer.



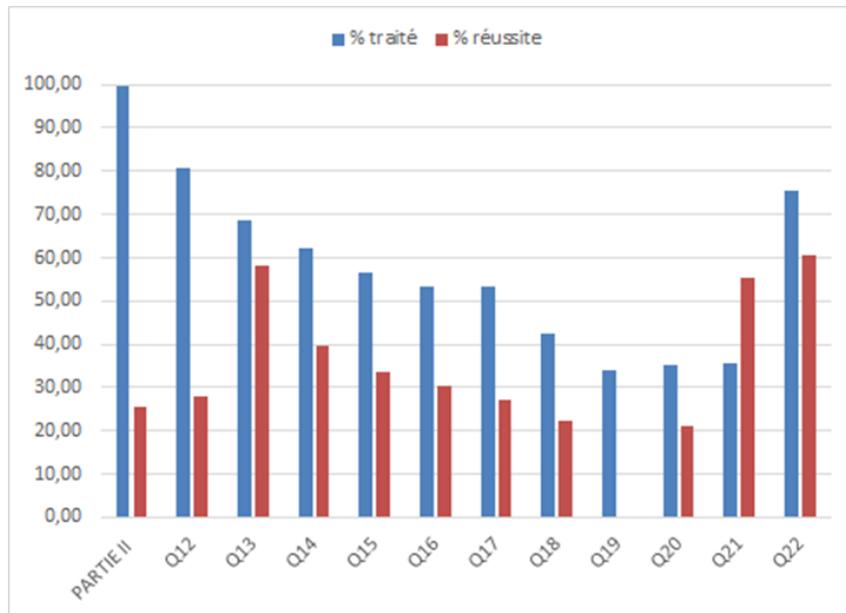
Partie II.B : Étude de la tension de la chenille, effort sur le galet de guidage

Dans cette partie, il s'agissait de quantifier les efforts exercés par la chenille sur le châssis. Les développements attendus relevaient essentiellement des domaines de la dynamique et de l'énergétique.

Concernant la dynamique, on retrouve les mêmes difficultés de la part des candidats à exprimer rigoureusement un bilan d'actions mécaniques. Il en ressort donc, hélas, des erreurs dans les applications des théorèmes généraux.

Concernant l'énergétique, le jury a apprécié la combattivité de certains candidats pour mener à bien le calcul de l'énergie cinétique, qui n'était pourtant pas trivial. Les copies sont globalement satisfaisantes sur ce point. Mais il est regrettable qu'encore une fois, le bilan des puissances, absent ou très lacunaire, empêche une résolution complète de ce problème de mécanique générale.

Cette sous-partie se poursuivait par l'analyse de la simulation numérique correspondant au cas de charge déterminé. Encore une fois, si les candidats quantifient le plus souvent les contraintes, ce qui était attendu ici était surtout une comparaison quantitative des deux cas de charges étudiés au cours de la partie II.

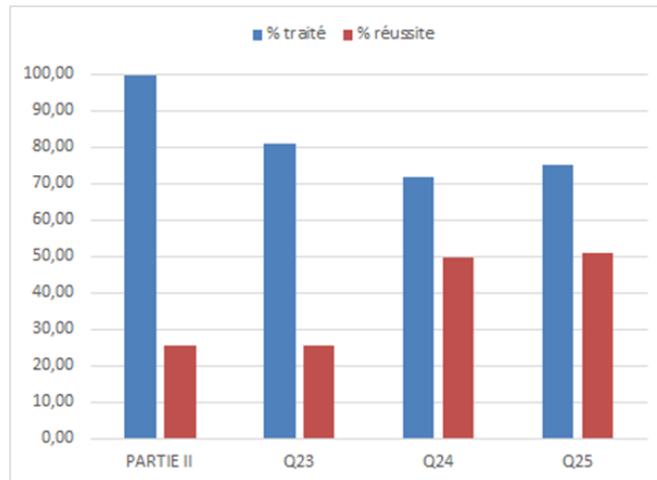


Partie II.C : Superposition des cas de charges

Cette partie consistait en l'analyse de la simulation par éléments finis, alimentée avec les deux cas de charges étudiés précédemment.

Le jury a apprécié lorsque les candidats ont su faire preuve d'analyse critique en quantifiant et discutant le coefficient de sécurité par exemple, au contraire des analyses exclusivement quantitatives, voire binaires. Le jury a également noté des confusions entre la notion de concentrations de contraintes et de zone affectée thermiquement.

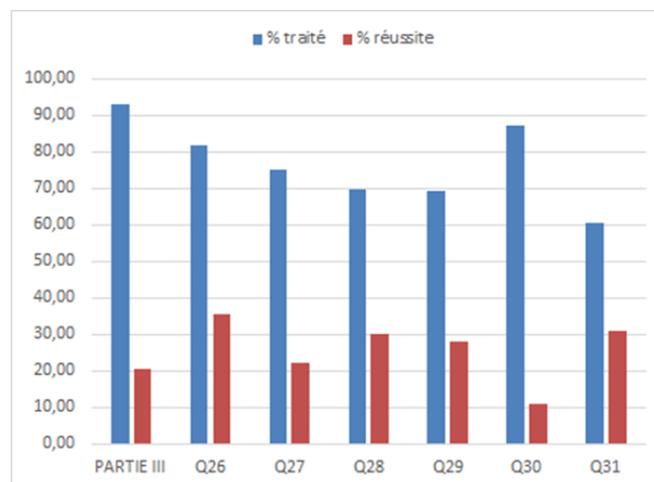
La partie II se concluait sur des propositions de solutions visant à solutionner le problème de tenue sous charge de la platine. Certains candidats maîtrisent parfaitement les problématiques de conception d'ensembles mécano-soudés, le vocabulaire technique associé, et ont fait preuve de tout le pragmatisme attendu.



Partie III : Analyse d'un guidage hyperstatique

Cette partie consistait en une analyse critique du guidage du système de prétension de la chenille, et était articulée comme suit :

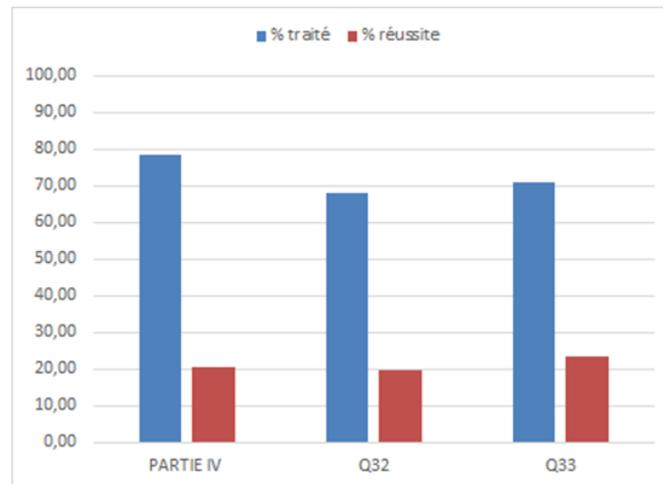
- Modélisation cinématique à partir d'une lecture de plan : le plan proposé, avec ses coupes brisées, demandait une analyse fine. On notera que les candidats ont souvent oublié un palier parmi les 5, et qu'ils modélisent ceux-ci de façon quasi systématique par des pivots glissants. Par ailleurs, la représentation des liaisons cinématiques sur leur lieu d'invariance (au sens torsorien) est rarement respectée.
- Analyse d'hyperstatisme : les formules de mobilité sont maîtrisées par la plupart des candidats. Pour autant, l'interprétation qui est faite du degré élevé d'hyperstatisme est le plus souvent indépendante du contexte, les candidats n'ayant pas toujours prêté suffisamment attention au fil conducteur du sujet.
- Gamme de fabrication : à partir du dessin de définition du coulisseau les candidats devaient proposer une gamme de fabrication. Cette question a été assez peu traitée par les candidats. Pour autant, certains candidats prennent bien en compte la cotation de la pièce pour définir l'ordre de fabrication et les mises en position possibles.
- Interprétation de spécification : cela nécessite de respecter des étapes et un vocabulaire rigoureux. Même si beaucoup de candidats ont traité cette question, très peu l'ont fait de manière attendue.



Partie IV : Guidage en rotation du galet fou

Cette partie consistait en une conception mécanique d'un guidage en rotation. Les candidats étaient autonomes sur le choix d'architecture, et ceux qui ont abordé cette partie ont globalement choisi une structure adéquate.

Les attentes de l'épreuve au niveau de la finition nécessitent a minima le respect des règles élémentaires de tracé (hachures, traits d'axe, ...). Si des candidats ont proposé des solutions tout à fait viables techniquement, certains n'ont strictement aucune maîtrise de la conception mécanique, et ont pu représenter des solutions sans aucun lien avec l'étude et le contexte proposés.



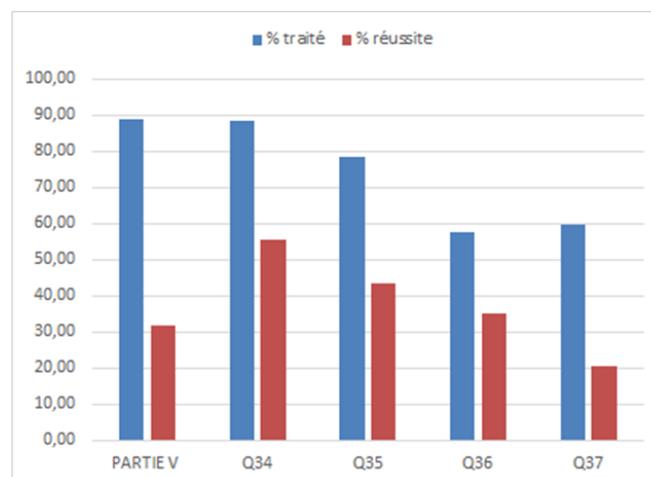
Partie V : Choix de matériau des bielles sur un critère masse - rigidité.

L'objectif de cette partie était de déterminer un matériau pour un des éléments non suspendus, en optimisant le compromis masse – rigidité, afin de contenir les effets dynamiques sur les liaisons.

La partie débutait par une analyse de sollicitation d'une poutre chargée, et a mis en évidence certaines lacunes sur le vocabulaire pourtant courant employé en théorie des poutres.

La suite permettait la mise en œuvre de la méthode de choix de matériau par indice de performance. Le jury a apprécié lorsque les candidats ont mis en concurrence plusieurs matériaux équiperformants, et ont étendu leur raisonnement en faisant intervenir des problématiques de capacité de mise en forme, ou économiques.

Bien que guidée, cette partie a permis une discrimination assez nette entre les candidats ayant rencontré et compris cette méthode lors de leur formation, et ceux qui semblaient la découvrir.



4. Conseils aux futurs candidats

Le jury encourage fortement les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines de la spécialité Ingénierie Mécanique. 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. Notamment, 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, et les résultats numériques doivent être donnés avec l'unité adéquate.

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.

6. Résultats

188 copies ont été évaluées.

Les notes se répartissent ainsi :

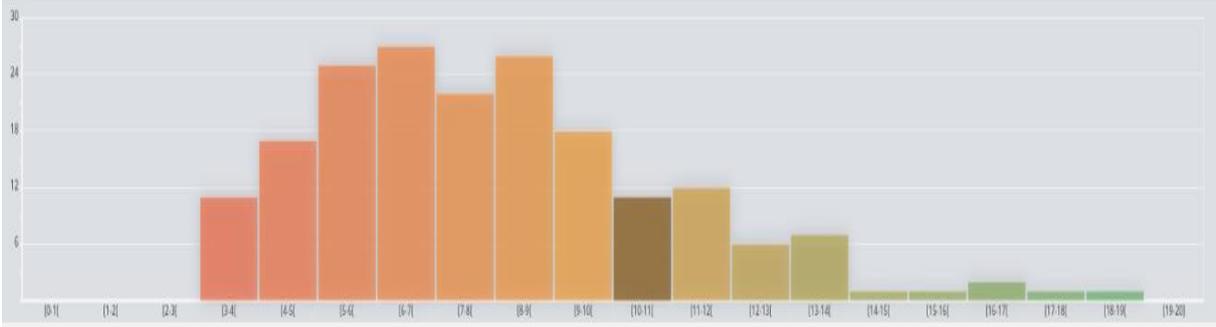
Moyenne : 08/20

Écart-type : 03/20

Note la plus basse : 03,45/20

Note la plus haute : 18,39/20

Histogramme des notes



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

Robot à câbles

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	Modéliser une chaîne électro-mécanique	Modéliser pour vérifier les performances statiques d'un mécanisme, d'une structure ou d'un ouvrage		
Niveau de formation visé	Terminale générale – Enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur			
Supports pédagogiques	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - robot à câbles ; - télescope asservi Astrolab ; - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; - pilote hydraulique de bateau ; projecteur de scène motorisé ; </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - robot holonome ; - gyropode ; - robot humanoïde Darwin - barrière Sympact </td> </tr> </table>		<ul style="list-style-type: none"> - robot à câbles ; - télescope asservi Astrolab ; - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; - pilote hydraulique de bateau ; projecteur de scène motorisé ; 	<ul style="list-style-type: none"> - robot holonome ; - gyropode ; - robot humanoïde Darwin - barrière Sympact
<ul style="list-style-type: none"> - robot à câbles ; - télescope asservi Astrolab ; - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; - pilote hydraulique de bateau ; projecteur de scène motorisé ; 	<ul style="list-style-type: none"> - robot holonome ; - gyropode ; - robot humanoïde Darwin - barrière Sympact 			
Effectif	Classe de 40 à 42 élèves, groupes à effectif réduit de 20-21 élèves.			
Volume horaire	4 heures hebdomadaires (1h de cours + 1h de TD + 2h de TP).			

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

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme SI.pdf) ;
- une proposition de progression didactique adaptée au niveau de formation visé (fichier Progression didactique SI.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 :

- un banc robot à câbles didactisé, motorisé et instrumenté ;
- un poste informatique équipé des logiciels utiles ;
- une webcam à brancher sur le port USB du PC pour enregistrer des photos ou des vidéos ;
- un mètre ruban ;
- deux stylos feutres (2 couleurs) ;
- deux dynamomètres 5N et deux dynamomètres 20N ;
- deux masses de 500 g et 1000 g ;
- une brosse ou chiffon ;
- un rouleau de fil.

Le dossier ressource, fourni sous format numérique et papier, comprend :

- DR1 : vidéo de présentation (uniquement en version numérique à lire avec le logiciel VLC) ;
- DR2 : système réel Skycam présentation – exigences ;
- DR3 : système didactisé robot à câbles (RAC) : présentation – exigences ;
- DR4 : mise en service du système et des logiciels associés ;
- DR5 : description des fonctionnalités du robot à câbles et de la webcam ;
- DR6 : lois de commande – définition des notations ;
- DR7 : exemples d'utilisation du logiciel MotionLab.

Le dossier technique, fourni sous format numérique, comprend :

- DT1 : documentation commerciale du moteur DB59 ;
- DT2 : documentation technique du moteur DB59 ;
- DT3 : documentation commerciale du codeur ;
- DT2 : documentation technique du codeur.

Un dossier « Fichiers Simulation » contient les fichiers nécessaires à la réalisation des activités proposées.

Activité 1 Prendre connaissance du système (DR1 à 3) et mettre en œuvre le robot à câbles à l'aide de DR4 et DR5, en mode « dégradé » uniquement en utilisant les commandes « libre » et « bloquée ». Visualiser les 4 déplacements suivants : Vertical ascendant, Vertical descendant, Horizontal direction droite, Horizontal direction gauche.

Activité 2 Repérer sur le robot à câbles les composants décrits dans le diagramme de description des blocs partiel [bdd] (DR3) et décrire succinctement leur fonction. Décrire structurellement le robot à câbles et compléter sur le DRep1 le diagramme des blocs internes [ibd] avec les constituants et la nature des flux manquants. Indiquer si le système est asservi.

Activité 3 Réaliser un schéma cinématique plan du treuil gauche du système du laboratoire. Établir la relation liant la position angulaire du tambour, notée θ_{tambour} , à la position longitudinale du chariot, notée X_{chariot} , et déterminer le déplacement du chariot lorsque le tambour effectue un tour. Conclure vis à vis de l'exigence Req 6 présentée DR3.

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

Problématique technique et scientifique : comment élaborer les lois de commande du robot à câbles ?

On souhaite vérifier l'exigence « Req 2 » présentée dans le DR3 : « l'effecteur doit suivre les consignes en vitesse en coordonnées cartésiennes imposées au joystick avec une erreur inférieure à 5° sur la direction du vecteur vitesse » donnée dans le classeur ressource.

Mise en évidence des limites du mode « dégradé »

Activité 4 Mettre en place un protocole expérimental permettant de vérifier l'exigence « Req 2 ».

Synthétiser les observations issues des manipulations en complétant la première ligne du tableau du document réponse DRep2 pour le mode « dégradé ».

Une modélisation du comportement du système a été réalisée en langage Python : fichier simulation_1.py dans le dossier « Fichiers simulation ».

Activité 5 Exécuter le code, se placer en mode dégradé et compléter le DRep2. Conclure quant à la validité du modèle de simulation.

Activité 6 À partir du code de simulation et du DR6, donner l'expression de la loi de commande des vitesses v_1 et v_2 des treuils en mode « dégradé ». Compléter le DRep2. Conclure sur les défauts du comportement en mode « dégradé » et expliquer succinctement comment y remédier.

Étude du comportement du robot à câbles en mode « normal »

On s'intéresse à présent au comportement du robot à câbles en mode « normal ».

Activité 7 À partir du code de simulation et du DR6 en mode normal, expliquer les nouvelles lois de commande des vitesses v_1 et v_2 des treuils. Proposer une modification du diagramme [ibd] sur le DRep1 pour modéliser les flux d'informations complémentaires dus à la commande en mode « normal ». En vous aidant des documents techniques DT1 à DT4, justifier la nécessité d'une prise d'origine pour utiliser le mode « normal ».

Placer sur le robot l'effecteur au point P0. Basculer la console en mode « normal ».

Activité 8 Vérifier expérimentalement le changement de comportement et valider que le mode « normal » satisfait l'exigence attendue Req 2.

Toujours en mode normal, on travaille avec une masse embarquée de 1 kg. Faire valider si besoin le changement de masse par l'examineur.

Activité 9 À partir du point P4, réaliser un mouvement horizontal aller/retour et mesurer les coordonnées (x,y) de 7 points caractéristiques dans ce mouvement. Modifier dans le code de simulation à partir de la ligne 245, les coordonnées des points expérimentaux. Décommenter la ligne 248.

Activité 10 Expliquer le programme réalisé par la fonction « ecarts » du fichier de simulation simulation_1.py. Compléter cette fonction afin qu'elle renvoie l'écart maximum entre la simulation et les points de mesure.

Activité 11 Pour analyser les écarts entre le modèle et les relevés expérimentaux :

- lancer la simulation ;
- reproduire et tracer le mouvement de l'activité 9 sur un mouvement aller/retour horizontal ;
- fermer la fenêtre graphique ;
- exécuter la fonction « ecarts » et lire la valeur maximale de l'écart affiché.

Conclure quant à l'origine des écarts. Indiquer la conséquence sur le système réel Skycam utilisé dans les stades.

Étude du comportement mécanique du système et des limites de fonctionnement

Le travail s'effectue toujours en mode « normal », avec une masse embarquée de 1 kg.

Le comportement mécanique du système et des limites de fonctionnement du robot à câbles en mode « normal » est désormais étudié.

Activité 12 Élaborer et conduire un protocole expérimental mettant en évidence l'influence de la position de l'effecteur sur la répartition des efforts dans les câbles. Exploiter les résultats et les synthétiser graphiquement (tableau ou courbe).

Activité 13 Élaborer un modèle statique permettant d'établir une relation entre le poids de l'effecteur, les tensions dans les câbles et la position de l'effecteur (méthode graphique ou analytique au choix). Pour trois points particuliers, quantifier les écarts entre ce modèle, la simulation et l'expérimentation. Synthétiser les résultats.

Activité 14 Justifier la présence des zones interdites lors de la manipulation. Conclure sur la limite d'action du robot à câbles en fonction des caractéristiques du bloc d'alimentation électrique, du motoréducteur et de la résistance élastique des câbles.

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 fichier de simulation simulation_1.py disponible dans le dossier « Fichiers simulation » ;
- le dossier ressources, et plus particulièrement le DR7 « Exemples d'utilisation du logiciel MotionLab » qui permet de proposer des expérimentations complémentaires ;
- les documents fournis et accessibles dans le dossier « Contexte pédagogique ».

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

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

Production attendue

Un document numérique doit être réalisé afin de :

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

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

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

A. Présentation de l'épreuve

Textes de référence

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

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

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

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

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

Pour la session 2024, 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 d'une des deux séquences imposées ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

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

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

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

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

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

Utilisation des logiciels pendant l'interrogation

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

Les supports retenus lors de la session 2024 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- maquette didactisée d'un bras de pelleuse ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- 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.

A. Commentaires du jury

• Analyse des résultats

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

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

• **Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats**

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

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences et connaissances visées sont peu ciblées ;
- 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 diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

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

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

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

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

Le candidat est amené à :

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

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

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

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

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

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

Le jury constate que :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comportement des candidats

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

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

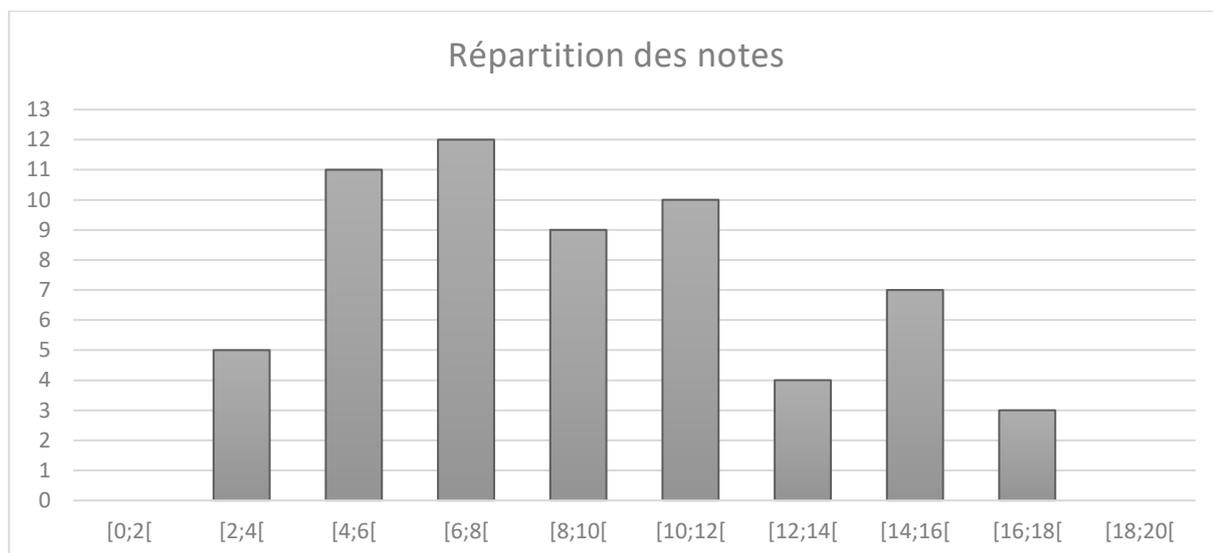
Conclusion

La session 2024 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 09,2/20.

L'écart-type est de 4. La meilleure note est 17,50/20 ; la plus faible est 02,80/20. La médiane est de 08,1/20.



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

SUPPORT ÉTUDIÉ : SKI DE SLALOM



Thème pédagogique	Études proposées
Caractérisation du Flex d'un ski	<ul style="list-style-type: none">• Étude de la structure en flexion• Étude des impacts environnementaux

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

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

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

LIBELLÉ DE LA SÉQUENCE PÉDAGOGIQUE

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

Niveau

- Diplôme visé : Filière STI2D avec trois thèmes possibles

1) le thème Approche Environnementale

1.5. Approche environnementale								
1.5.1. Cycle de vie	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cycle de vie d'un produit. 		2						Les différentes phases du cycle de vie d'un système sont définies, en mettant un focus particulier sur le cycle de développement du produit.
1.5.2. Mise à disposition des ressources	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coûts relatifs, disponibilité, impacts environnementaux des matériaux. 	PC : l'énergie et ses enjeux.		2					Les études de dossiers technologiques doivent permettre l'identification des paramètres influant sur le coût de l'énergie et sur sa disponibilité : localisation et ressources estimées,
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enjeux énergétiques mondiaux : extraction et transport, production 	PC : organisation de la matière,		2					
1.5.3. Utilisation raisonnée des ressources	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propriétés physico-chimiques, mécaniques et thermiques des matériaux. 	PC : l'énergie et ses enjeux.		2					Uniquement en complément du programme de physique chimie.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacts environnementaux associés au cycle de vie du produit : <ul style="list-style-type: none"> - conception (optimisation des masses et des assemblages) ; - contraintes d'industrialisation, de réalisation, d'utilisation (minimisation et valorisation des pertes et des rejets) et de fin de vie. 	PC : organisation de la matière, propriétés des matériaux.		2	3	3	3		Approche comparative sur des cas d'optimisation. Ce concept est abordé à l'occasion d'études de dossiers techniques globales portant sur les différents champs technologiques.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efficacité énergétique d'un produit. 			2			3		Minimisation de la consommation énergétique. Apport de la chaîne d'information associée à la commande pour améliorer l'efficacité globale d'un produit.

3.2.3. Concept de résistance	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistance à la rupture, résistance à la déformation. ▪ Résistance des matériaux : <ul style="list-style-type: none"> - hypothèses et modèle poutre ; - notion de contrainte normale ; - pour une sollicitation de traction simple, notion de déformation et loi de Hooke ; - module d'Young ; - limite élastique ; - sollicitation simple de type traction, compression, flexion simple. ▪ Simulations par éléments finis. 			2	3	3			L'utilisation de progiciels intégrant un module de calcul par éléments finis ou dédié est privilégiée. Lien indispensable avec les essais des matériaux du chapitre 6.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déformation et contraintes normales dans une structure isostatique : <ul style="list-style-type: none"> - en flexion simple (poutre isostatique) ; - en traction et en compression simple. 				3	3			Analyse de structures simples en traction/compression simple ou flexion simple, analyse des contraintes normales et tangentielles, des déformations et déplacements.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scénario de simulation pour comparer et valider une solution, modifier une pièce ou un sous-ensemble. 				3	3			Il s'agit, par études de cas successives, d'appréhender différentes natures de simulation ou différents paramétrages au sein d'une même simulation.

3) Le thème Essais sur les Matériaux et les structures

6.2. Expérimentations et essais								
	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> Protocole d'essai. Sécurité de mise en œuvre. 	PC : mesures et incertitudes PC : l'énergie électrique		3					La nécessité d'une démarche raisonnée, progressive, organisée en fonction de l'objectif recherché est expliquée. La nécessité de procédures de mise en œuvre en sécurité est expliquée vis-à-vis des risques rencontrés.
<ul style="list-style-type: none"> Expérimentation sur les matériaux et sur les structures. 	PC : organisation de la matière, propriétés des matériaux		2	3	3			Les expérimentations seront réalisées sur des : - éprouvettes (traction, compression, flexion simple), afin de valider une forme, une répartition de matière ou une caractéristique d'un matériau (y compris composite) ; - des maquettes de solutions techniques à échelle réduite, réelle ou in situ pour déterminer l'influence d'un paramètre par comparaison ou valider la solution.

Les compétences visées seront choisies parmi celles encadrées ci-dessous :

Objectifs de formation	Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension socio-culturelle O1 - Caractériser des produits ou des constituants privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable.	CO1.1. Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable.	X	XX	XX	1-3 / 1-4 / 1-5 / 2-1 / 4-2
	CO1.2. Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design.	X	XX	XX	1-1 / 1-3 / 1-5 / 2-1
	CO1.3. Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale.		XX	XX	1-5 / 3-1 / 3-3 / 4-1 / 4-3 / 5

Objectifs de formation	Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension scientifique et technique O6 – Préparer une simulation et exploiter les résultats pour prédire un fonctionnement, valider une performance ou une solution.	CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit.		XX	XX	1-2 / 2-3 / 2-4 / 3 / 5-2 / 5-3
	CO6.2. Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multiphysique.		XX	XX	3
	CO6.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et les résultats fournis par le modèle en fonction des paramètres proposés, conclure sur la validité du modèle.	X	XX	XX	3 / 6-3
	CO6.4. Choisir pour une fonction donnée, un modèle de comportement à partir d'observations ou de mesures faites sur le produit.	X	XX	XX	3 / 6-3
	CO6.5. Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution.			XX	
	Simulation d'un usage ou d'un comportement structurel, thermique, acoustique, etc. de tout ou partie d'une construction.			AC1	3-1 / 3-2 / 4-1 / 5-1
	Simulation de procédés pour valider un moyen de réalisation.			AC2	3-1 / 3-2
	Simulation énergétique (électrique, mécanique, thermique, lumineuse, etc.) de tout ou partie d'un produit connaissant les caractéristiques utiles et les paramètres externes et internes.			EE1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 5-2
	Simulation de la gestion de la chaîne de puissance.			EE2	3-1 / 3-3 / 3-4 / 5-3
	Simulation mécanique pour obtenir les caractéristiques d'une loi d'entrée/sortie d'un sous-ensemble mécanique ou observer le comportement sous charges d'un assemblage.			ITEC1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 4-1 / 5-1
Simulation de procédés pour valider les formes et dimensions d'une pièce.			ITEC2	3-1 / 3-2 / 4-1 / 4-3	
Simulation d'un comportement informationnel faisant intervenir un ou plusieurs constituants matériels et/ou traitements logiciels simples d'une chaîne d'information.			SIN1	3-1 / 3-4 / 5-3	

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.

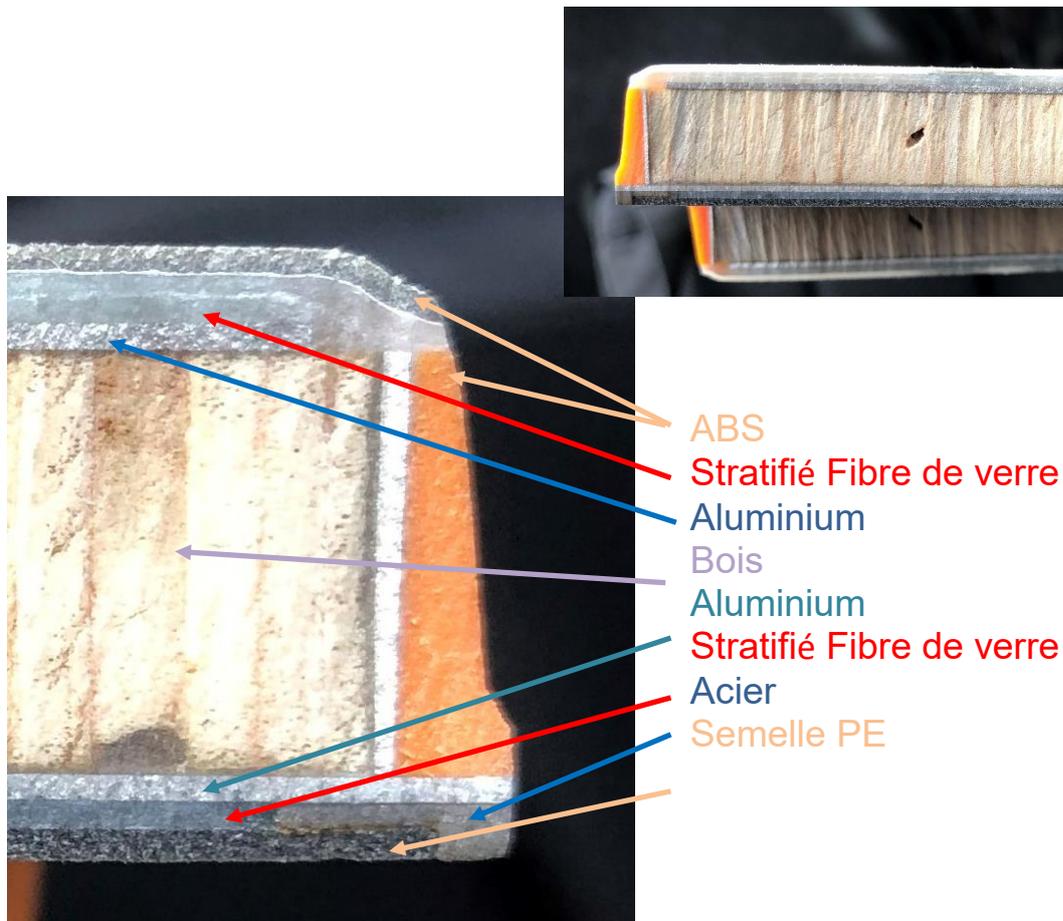
PREMIÈRE PHASE – ACTIVITÉS PRATIQUES DE LABORATOIRE – 4h

Première partie – 30 minutes

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

Présentation de la problématique

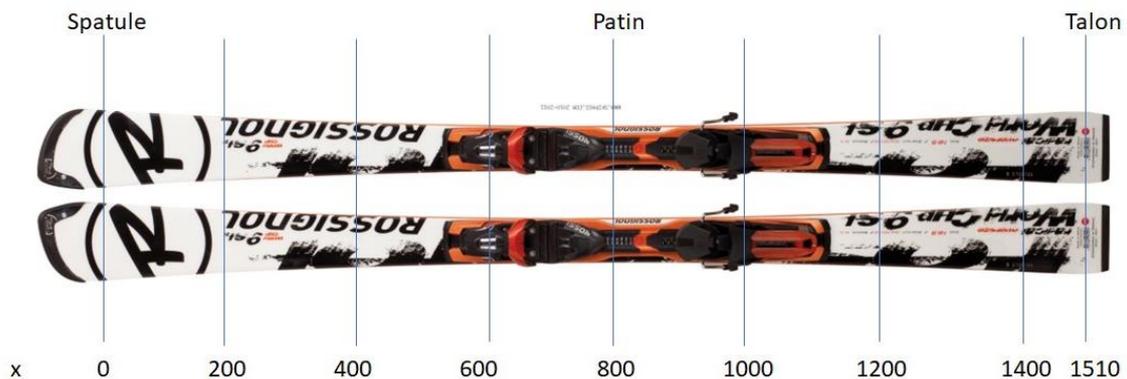
Les skis sont des structures complexes en forme (poutre de section variable) et en composition : 7 matériaux différents répartis en une dizaine de couches le constituent.



La flexibilité correspond à l'inverse de la rigidité des skis dans les virages. Une grande flexibilité des skis est idéale pour les débutants, les skieurs légers et les amateurs de parcs à neige puisqu'elle facilite le contrôle et procure une bonne prise de carres. Les skis plus rigides offrent plus de support et réduisent les vibrations à haute vitesse. Ils sont adaptés pour les skieurs en compétition. La souplesse du ski en torsion est aussi un élément important sur son comportement en situation.

Les fabricants de skis proposent plusieurs types de skis dans différents couples matériaux/procédés. La problématique qui guidera cette activité pratique et qui pourra aussi guider l'écriture de la séquence pédagogique est la suivante :

Comment caractériser simplement la flexibilité de la structure complexe d'un ski ?



Position des sections repérées sur le ski

Le sujet comporte 4 parties : une première partie « expérimentation et identification d'un modèle global », une seconde partie « identification d'un modèle local sur la section centrale », une troisième partie « analyse environnementale des matériaux » et une quatrième partie « transposition de cette étude à la torsion ».

Moyens

- Moyens expérimentaux : banc de flexion BED 100, moyens de mesure.
- Moyens logiciels : CES Edupack, Matlab, Excel
- Skis découpés au jet d'eau

Activité 1 : Mise en œuvre d'une machine de caractérisation des structures

Objectif : Caractériser expérimentalement la flexibilité du ski

La lecture des fiches 1 (RdM) et 2 (Bed 100) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

- 1.1 Proposer une démarche succincte permettant de répondre à la problématique, le ski ayant une section variable en dimension et composition.
- 1.2 En utilisant le matériel à votre disposition, mettre en œuvre le protocole d'essais de flexion 3 points par tronçon. Quels sont les critères de choix de la longueur du tronçon d'essai ? Un choix possible est proposé dans le fichier (**Dossier_Candidat/Modele/Calcul-SKI-candidat.xlsx**)

Deuxième partie – 2h00

Activité 2 : Modélisations du comportement

La lecture des fiches 1 (RdM) et 3 (Produit ski) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

Objectif : Déterminer le module de flexion le long du ski

- 2.1 En utilisant le modèle Excel proposé (Fichier **Dossier_Candidat/Modele/Calcul-SKI-candidat.xlsx**), procéder à l'identification. En déduire l'évolution expérimentale du module de flexion en fonction de la position x de la section courante.
- 2.2 En utilisant le modèle Eléments finis (Fichier **Dossier_Candidat/Modele/ski_Partie1.m**) dans lequel vous aurez défini les variables d'entrée, exécuter la simulation sur le ski entier en flexion 3 pts de manière à prédire la flèche du ski total en flexion 3 points ainsi que le module de flexion moyen du ski entier. Reporter ce point sur le graphique de la question précédente.
- 2.3 En exploitant le modèle Matlab proposé (Fichier **Dossier_Candidat/Modele/Module-Flexion-Partie2.m**), expliquer la méthode et les hypothèses de calcul du module de flexion homogénéisé $\langle EI \rangle$ de la section Patin. Placer ce point sur la courbe obtenue à la question 2.2
- 2.4 Expliquer l'origine des différences entre les valeurs obtenues par les approches globale et locale.

Activité 3 : Caractérisation de l'impact des matériaux

Objectif : Déterminer les impacts des matériaux constitutifs du ski

La lecture des fiches 3 (Produit ski) et 4 (CES) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

3.1 Établir le graphe Module d'Young et Masse volumique restreint aux matériaux constitutifs du ski.

3.2 À partir des matériaux et de leur poids respectif dans la structure ski, mener un éco-audit réduit aux phases Matériaux et Fabrication. Quel matériau est le plus impactant ? Proposer des hypothèses et une démarche pour lui trouver un matériau de remplacement ?

Activité 4 : Torsion

Objectif : Modéliser la rigidité en torsion

La lecture de la fiche 5 (Eléments finis) est nécessaire pour la réalisation de cette activité.

4.1. En transposant l'étude de flexion menée en parties 1 et 2, établir la démarche de caractérisation du ski en torsion.

4.2. Faire un croquis du dispositif expérimental d'essai de torsion (du commerce ou sur mesure) sur ce ski et sur le banc BED100.

Synthèse

- Réaliser une synthèse sous forme de poster des activités réalisées. Ce poster devra permettre d'illustrer comment la problématique a été résolue. Il pourra prendre n'importe quelle forme (papier ou numérique).

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. 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 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 parties 1 et 2 sont stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur.

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 4 h)

Cette phase, d'une durée totale de 4 h, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports^[1] qui leurs permettent de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées.

Première partie (durée ≈ 0h30)

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, support de l'épreuve. À la fin de cette première partie, les examinateurs s'assurent que le support de TP, ses performances dans l'optique de l'épreuve ainsi que la problématique proposée ont bien été assimilés.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système aux examinateurs, les candidats doivent suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans le TP. Cette partie permet aux candidats, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre et analyser les problèmes posés puis d'exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, expérimentations, mesures, résultats numériques, etc.) pour justifier les solutions.

Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Les candidats 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 jury attend d'eux qu'ils proposent et mettent éventuellement en œuvre d'autres expérimentations, en précisant un ou plusieurs protocoles de simulation et/ou de mesure permettant de répondre à la problématique afin d'enrichir leur exploitation pédagogique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support utilisé.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leurs est proposé. Ils peuvent stocker les résultats obtenus dans l'espace numérique qui leur est alloué pour l'épreuve.

La phase 2 – Préparation de la présentation (durée 1 h)

Durant cette phase d'une heure, les candidats préparent 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 proposé d'étudier

La phase 3 – Présentation des travaux devant le jury (durée 1 h)

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

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

- présenter le système (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter une synthèse des activités menées dans la première phase de l'épreuve (durée maximale 5 minutes) ;
- présenter leur exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

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

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

Pour la présentation devant le jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. L'ordinateur est connecté à Internet, les candidats disposent des logiciels courants de bureautique et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils ont stockés dans l'espace qui leur est dédié.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2024 :

- vérification de performances techniques ;
- validation de procédés et de matériaux ;
- identification et analyse de comportement de structure ;
- qualification d'un processus de réalisation de pièces usinées ;
- validation et choix de solution constructive ;
- étude d'un avant-projet industriel
- dimensionnement d'une motorisation sur un critère de dissipation énergétique

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- modélisation comportementale de systèmes ;
- détermination de paramètres significatifs dans une modélisation ;
- analyse critique de modèles et proposition de modifications ;
- validation de modèles ;
- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- simulation et prédiction de performances ;
- mesure de paramètres du comportement de systèmes ;
- identification du comportement de composants, choix ou caractérisation d'un matériau ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- industrialisation de produits ;
- dimensionnement de système.

Compétences attendues par le jury

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

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

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

2. Analyse globale des résultats

Les résultats pour cette session sont globalement satisfaisants globalement du point de vue de la préparation des candidats, mais cependant en légère baisse. Ils avaient connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient bien préparés. Il semble toujours indispensable que les futurs candidats s'imprègnent de l'idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d'apprentissage. Le jury note que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels des BTS de la spécialité. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont parfois assez mal maîtrisées.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

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

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

Pour cette partie, le jury recommande :

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

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

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

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

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

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

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

- analyser le sujet proposé ;
- exploiter la problématique ;
- s'approprier le matériel mis à disposition et identifier les paramètres modifiables ;
- interpréter les résultats obtenus ;
- présenter de manière synthétique le système proposé, la problématique posée, les données et l'environnement matériel ;
- faire une analyse critique, organisée et pertinente de ces résultats ;
- structurer l'exposé à partir d'un plan ;
- présenter la démarche de résolution du problème technique posé ;
- confronter le modèle et le réel ;
- présenter et justifier les protocoles ;
- mettre en œuvre une expérimentation avec les instruments mis à disposition et selon le protocole proposé ;
- corréler les phénomènes physiques observables et les mesures effectuées par des logiciels d'acquisition ou des appareils de mesure ;
- présenter les résultats de façon claire et précise ;
- tirer les conclusions vis-à-vis du problème posé;

La durée de présentation des activités expérimentales n'étant que de dix minutes, l'exposé des points ci-dessus nécessite un effort pour synthétiser les résultats et prendre du recul quant à la problématique posée.

Concernant la réalisation d'une activité pédagogique à caractère expérimental (phase 1 – partie 3)

Un contexte pédagogique et des activités expérimentales étant proposés par le jury, les candidats doivent préparer la trame détaillée de leur séquence pédagogique. Ils devront décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental en s'appuyant sur des manipulations pertinentes, partiellement issues des parties 1 et 2.

Le jury recommande aux candidats de :

- préciser les compétences visées et savoirs associés ;
- dégager les objectifs pédagogiques, les connaissances à transmettre et les points-clés de la séquence ;
- définir et justifier la place de la séquence dans la progression didactique du niveau proposé ;
- consulter les programmes, référentiels et documents d'accompagnement fournis ;
- respecter les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre (nombre d'élèves, de groupes, liste des systèmes présents dans le laboratoire ou l'atelier, etc.) ;
- décrire et justifier la structure de la séquence (cours, travaux dirigés, activités pratiques, projets, synthèse, etc.) ;
- définir les prérequis nécessaires à la mise en place de cette séquence ;
- développer le contenu d'au moins une séance de façon argumentée ;
- structurer la démarche pédagogique permettant le développement de compétences nouvelles au niveau imposé ;
- proposer et justifier les protocoles expérimentaux et/ou de simulation à mettre en œuvre avec les élèves ;
- définir les modalités d'évaluation des compétences visées.

Il est conseillé de ne pas opérer un transfert direct des activités réalisées dans l'épreuve dans la séquence pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats STI2D (enseignement spécifique de spécialité ITEC), des BTS et des 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'explicitier 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 de la séquence pédagogique attendue, tout en ne reléguant pas l'approche pédagogique expérimentale à une problématique secondaire. Il est à noter que les prestations pour lesquelles cette activité était dûment étayée et illustrée par des protocoles expérimentaux et simulations construits en partie 3 ont été valorisées.

Le jury attend également que soient mises en œuvre des compétences professionnelles en matière de communication :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant capter l'attention de son auditoire ;
- utiliser un ou des supports adaptés à une présentation orale ;
- être pertinent et réactif dans les réponses aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel et de donner du sens aux connaissances développées.

Il constate que de nombreux candidats ne savent pas mettre à profit tout le temps qui leur est imparti pour présenter et justifier leur proposition pédagogique.

Lors de la phase de présentation de l'activité pédagogique, il est important d'aller à l'essentiel et de replacer la séquence proposée dans son contexte. Il n'est pas nécessaire que les candidats présentent de façon exhaustive l'organisation pédagogique générale de l'année de formation correspondante. On ne doit pas se contenter, dans la séquence pédagogique, de réutiliser *in extenso* les expérimentations menées et les résultats obtenus dans la première partie de l'épreuve. La présentation doit permettre d'appréhender rapidement les objectifs de la formation, de comprendre de manière détaillée la séquence et d'explicitier finement la ou les séances en exposant les activités de l'élève ou de l'étudiant.

Concernant le comportement des candidats

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

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

Au-delà de la structuration nécessaire à un discours cohérent, les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées qui ne permettent pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Le jury apprécie une présentation qui montre la logique de choix des objectifs pédagogiques de chaque séance et la cohérence de leur enchaînement au cours de la séquence proposée. Il recommande aux candidats — dans le cadre d'un recrutement au métier d'enseignant — de s'approprier le référentiel de compétences professionnelles du professeur (BOEN n°30 du 25 juillet 2013 et n°13 du 26 mars 2015). Il conseille de porter une attention particulière sur la maîtrise de la communication et d'éviter les fautes d'orthographe et les expressions maladroites.

4. Conclusion

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

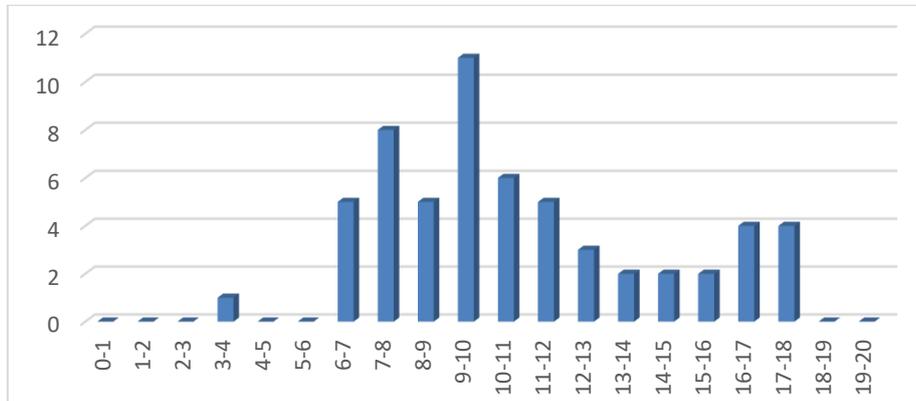
Le jury conseille de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement. La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

5. Résultats

61 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 10,71/20 et l'écart-type de 3,50 avec :

- 17,6/20 comme meilleure note ;
- 03,6/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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.

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 induit très souvent un support industriel inadapté, des développements scientifiques et/ou technologiques d'un niveau insuffisant ou encore des propositions pédagogiques qui manquent de réalisme.

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.

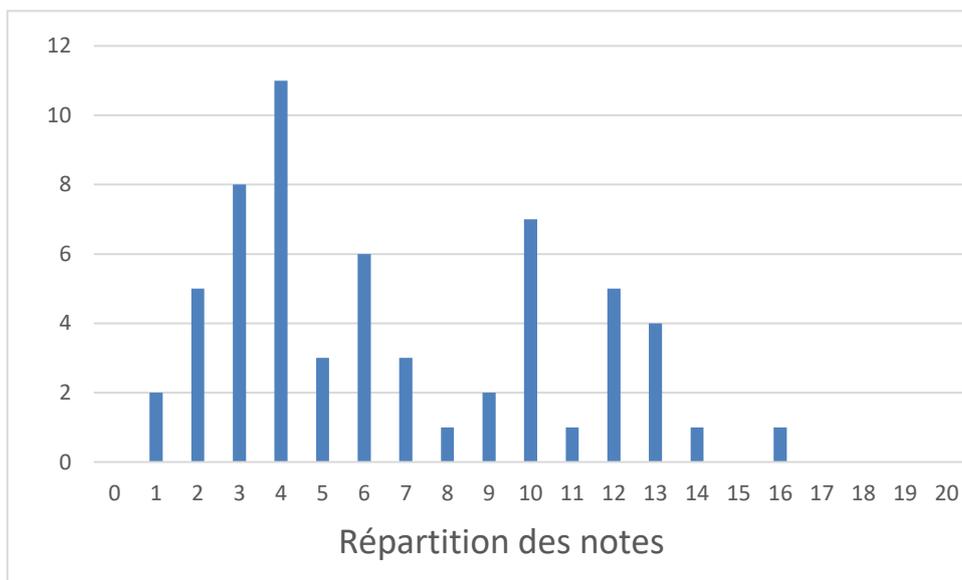
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

5. Résultats

60 candidats ont été évalués sur l'épreuve de dossier. La moyenne des notes obtenues est de 7,12/20 avec un écart-type de 4,02/20 avec :

- 16,3 comme meilleure note ;
- 1,5 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 » - Abdenour 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.