



Concours : Agrégation Externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Ingénierie mécanique

Session 2018

Rapport de jury présenté par : Laurent CHAMPANEY

Président du jury

Sommaire

Remerciements - session 2018	3
Résultats statistiques de la session 2018	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	20
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	25
Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	37
Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	40
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	48
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	52
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	57
Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	65
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	80
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	88
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	92

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2018 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 17 juin au 26 juin 2018 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 au proviseur du Lycée Raspail à Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion préparatoire du 17 octobre 2017 et au directeur du campus Arts et Métiers de Paris qui les a accueillis pour la réunion d'admissibilité qui a eu lieu le 16 avril 2018.

Résultats statistiques de la session 2018

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
572*	29	271**	73	29

*dont 128 candidats à l'agrégation marocaine

** dont 51 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	17,4
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	9,8
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	17,4
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	11,76

Avant-propos

Cette session 2018 était la deuxième pour laquelle la nouvelle option « Ingénierie Informatique » a partagé les épreuves transversales avec les trois autres options, lors de l'admissibilité et de l'admission. Le partage de connaissances et de compétences des agrégés en Sciences Industrielles de l'Ingénieur option Ingénierie Mécanique avec ceux de l'option Ingénierie Informatique est un marqueur fort du besoin croissant de compétences numériques en ingénierie mécanique.

Dans cet avant-propos, je souhaite surtout insister sur les éléments qui ont été énoncés dans les rapports des quatre sessions précédentes. Le paragraphe suivant, issu du rapport 2014, est encore et toujours d'actualité : *« L'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Celles-ci sont évaluées dans les trois épreuves d'admission. Il importe donc de les préparer dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique ne s'improvise pas, cela nécessite entraînement et réflexion. Si le jury apprécie que le candidat positionne sa séquence dans la progression pédagogique annuelle et précise les objectifs et les prérequis, il attend que le candidat décrive et justifie les activités et les démarches qui permettent d'atteindre les objectifs. Ensuite, le candidat doit proposer une évaluation et éventuellement une remédiation »*.

D'ailleurs la direction générale des ressources humaines a adressé le rappel suivant aux présidents de concours de recrutement de professeurs : *« Comme vous le savez, les nouvelles épreuves des concours ont été conçues afin de prendre en compte une évaluation des compétences disciplinaires tout en établissant une professionnalisation progressive de leur contenu. 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 coefficients doubles des épreuves d'admission et leur définition mettent clairement en évidence la nécessité d'axer la préparation sur l'élaboration de séquences pédagogiques. Les deux travaux pratiques sont des épreuves exigeantes qui imposent une préparation importante des candidats. Ceux qui enseignent déjà au collège où au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves.

Cette année, le jury a introduit une évolution de la première épreuve d'admission de travaux pratiques transversale en proposant aux candidats de travailler d'abord la séquence pédagogique à produire avant de commencer les manipulations. Cela a permis aux candidats de mieux exploiter les résultats obtenus en plateau dans la présentation de leur séquence devant le jury en salle. Cette évolution sera conservée lors des sessions futures.

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps et impose de commencer à l'élaborer dès l'inscription au concours. L'objectif du dossier est **de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers l'Éducation nationale, afin d'enrichir son enseignement par des exploitations pertinentes de supports techniques modernes et innovants. Il n'est pas demandé aux candidats de concevoir ou de reconcevoir un système ou un sous-système pluri-technologique.** Il est regrettable de voir que certains dossiers restent éloignés de problématiques technologiques ou que certaines exploitations pédagogiques sont peu pertinentes, malgré la qualité du support.

Il est conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 25 novembre 2011 publié au JORF du 10 janvier 2012 et l'arrêté du

25 juillet 2014 publié du JORF du 12 août 2014, et les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport.

La description de chaque épreuve des concours prévoit qu'« *au cours de l'entretien qui suit l'exposé du candidat, la perspective d'analyse de situation professionnelle définie par l'épreuve est élargie à 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* ». Il est demandé à tous les présidents des concours de recrutement « *de veiller à ce que dans ce cadre, les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place* » afin « *que l'École soit en mesure, par la formation et le recrutement de nos futurs enseignants, de valider la mission première que lui fixe la Nation, à savoir de transmettre et de faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République ainsi que l'ensemble des dispositions de la Charte de la laïcité, portant notamment égale dignité de tous les êtres humains et liberté de conscience de chacun* ». Globalement, les candidats ont réagi correctement aux questions posées.

Les modalités des épreuves d'admission, leurs objectifs et les attendus du jury sont rappelés aux candidats lorsqu'ils sont accueillis, avant leur première épreuve, par le directoire du jury ; ils ne peuvent donc pas les ignorer.

Les candidats ont à leur disposition des ordinateurs reliés à Internet. Les sites consultés par les candidats sont surveillés. Internet doit être utilisé comme une base documentaire pour l'élaboration d'une séquence pédagogique, comme c'est le cas pour un professeur en fonction et non pas comme une possibilité d'optimiser une épreuve d'agrégation par le téléchargement de documents prêts à l'emploi. **Seuls les sites ne nécessitant pas d'identification et accessibles par tous sont autorisés.**

Cette session 2018 est dans la continuité des précédentes puisque 29 candidats ont été déclarés admis alors que 271 ont participé aux trois épreuves d'admissibilité. Le nombre de femmes candidates est toujours faible mais elles ont mieux réussi que les hommes cette année : dix ont été déclarées admissibles et six sont admises, ce qui représente 20% des reçus.

Cette session s'est encore révélée être d'un excellent niveau : les candidats admis ont tous plus de 11/20 et cinquante-huit candidats ont une moyenne supérieure à 08/20. Le jury félicite les candidats et leurs formateurs. Le classement à l'issue des épreuves d'admissibilité a été complètement bousculé après les épreuves d'admission. Cela prouve que celles-ci doivent être préparées dès l'inscription au concours.

L'agrégation est un concours prestigieux qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochable. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue et une posture adaptées aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique. Sept candidats, dont plusieurs candidats admis à la session 2018 de l'agrégation interne, n'ont pas souhaité se présenter à l'oral. Au moment où les valeurs de la République sont mises en avant jusque dans les questions posées aux candidats lors des épreuves d'admission, il est heureux de voir que tous ces candidats avaient prévenu le jury de leur absence alors que cela n'était pas le cas les années précédentes.

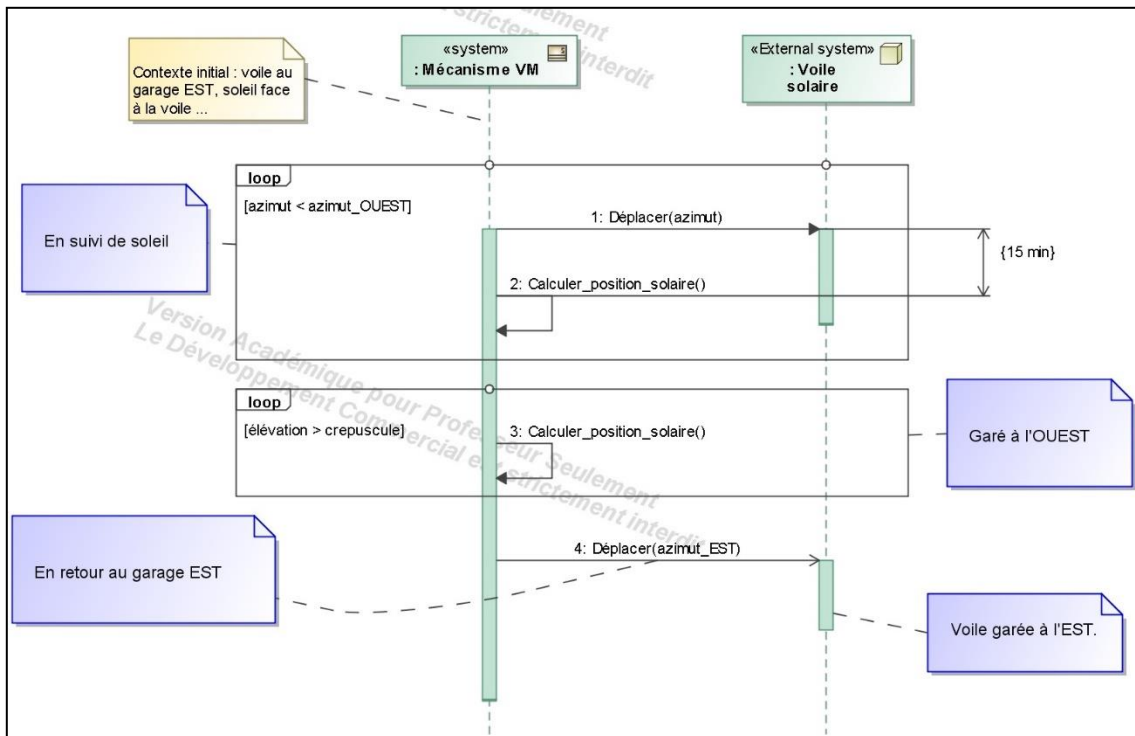
Pour conclure cet avant-propos, je conseille fortement la lecture de ce rapport aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur ainsi qu'à leurs formateurs.

Laurent CHAMPANEY
Président du jury

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

Vérifier que la voile suit le soleil en sécurité

Question 1



Question 2

La trajectoire de la voile étant un cercle de 22,75 m de rayon, la vitesse angulaire de la voile correspondant à la phase de vitesse constante est $\Omega_{voile/0} = \frac{0,08 \times 180}{22,75 \times \pi} = 0,2015 \text{ } ^\circ \cdot \text{s}^{-1}$.

Les phases d'accélération et de décélération étant symétriques, on peut obtenir le déplacement angulaire par intégration directe de la vitesse angulaire en phase d'accélération, soit :

$$q_{acc} = q_{dec} = \int_0^{t_{acc}} \frac{\Omega_{voile/0}}{t_{acc}} \cdot t \cdot dt = \left[\frac{\Omega_{voile/0}}{2 \cdot t_{acc}} \cdot t^2 \right]_0^{t_{acc}} = \frac{\Omega_{voile/0}}{2} \cdot t_{acc} = \frac{0,2015 \times 5}{2} \approx 0,5 \text{ } ^\circ.$$

Le même résultat pourrait être obtenu plus rapidement de manière géométrique, l'intégrale de la vitesse en phase d'accélération correspondant à l'aire du triangle de base t_{acc} et de hauteur $\Omega_{voile/0}$, soit donc $\frac{\Omega_{voile/0} \cdot t_{acc}}{2}$, comme obtenu précédemment.

Question 3

Pour une rotation de 360° en une journée, le déplacement angulaire durant 15 minutes vaut $\Delta\theta_{sol/cycle} = \frac{360}{24 \times 4} = 3,75 \text{ } ^\circ$. Ce déplacement angulaire comprenant ceux effectués lors des phases

d'accélération et de décélération, on obtient le temps de déplacement à vitesse constante

$$t_{Croy} = \frac{(\Delta\theta_{sol/cycle} - q_{acc} - q_{dec})}{\Omega_{voile/0}} = \frac{3,75 - 0,5 - 0,5}{0,2015} = 13,65 \text{ s ; soit donc au final :}$$

$$t_{ONroy} = t_{acc} + t_{Croy} + t_{dec} = 5 + 13,65 + 5 = 23,65 \text{ s .}$$

Question 4

L'amplitude de déplacement maximale vaut $\Delta\theta_{max} = azimuth_OUEST - azimuth_EST = 95^\circ$, soit un déplacement maximal à vitesse constante de $\Delta\theta_{max} - q_{acc} - q_{dec} = 95 - 0,5 - 0,5 = 94^\circ$.

Le temps de déplacement maximal correspondant est :

$$T_{ONgarage} = t_{acc} + \frac{\Delta\theta_{max} - q_{acc} - q_{dec}}{\Omega_{voile/0}} + t_{dec} = 5 + \frac{94}{0,2015} + 5 \approx 477 \text{ s} = 7 \text{ min et } 57 \text{ s, que l'on pourra}$$

considérer comme proche des 8 min pour toutes analyses ultérieures et synthèses.

Question 5

Pour la configuration donnée et le format attendu, les deux premiers octets se déduisent par identification, le troisième octet étant l'intervalle de polling de 64 s, soit 2^6 s :

<p>Indicateur de décalage (LI) : code de 2 bits indiquant un décalage éventuel de plus ou moins une seconde dans la dernière minute du jour courant. Les différentes valeurs possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> 00 pas de décalage 01 la dernière minute dure 61 secondes 10 la dernière minute dure 59 secondes 11 horloge non synchronisée <p>Numéro de version (VN): entier de 3 bits donnant le numéro de version NTP. = 3</p> <p>Mode : Entier indiquant le mode d'association. Les valeurs possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 non spécifié 1 symétrique actif 2 symétrique passif 3 client 4 serveur 5 broadcast 6 réservé pour les messages de contrôle 7 réservé pour un usage personnel <p>Stratum : Entier de 8 bits indiquant le niveau de stratum de l'horloge locale, dont les valeurs sont définies comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 niveau non spécifié 1 référence primaire (c.a.d, horloge atomique calibrée, horloge radio) 2-25 référence secondaire (via NTP) 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20%; text-align: center;">0 1</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20%; text-align: center;">4 7</td> <td style="border: 1px solid black; width: 40%;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20%; text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">LI</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">VN</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">Mode</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">Stratum</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">011</td> <td style="text-align: center;">011</td> <td style="text-align: center;">00000000</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">= (1101 1011 0000 0000)₂</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">= (DB00)₁₆</td> </tr> </table> <hr/> <p>Intervalle de requêtes (Poll) : Entier signé 8 bits indiquant l'intervalle de temps minimum entre 2 messages transmis (en secondes) exprimé en puissance de 2. Pour exemple, une valeur de 6 indique un intervalle minimum de $2^6 = 64$ secondes entre deux messages transmis.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20%; text-align: center;">15</td> <td style="border: 1px solid black; width: 40%;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20%; text-align: center;">23</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border: 1px solid black; text-align: center;">Poll</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">= (00000110)₂ = (06)₁₆.</td> </tr> </table>	0 1	4 7		15	LI	VN	Mode	Stratum	↓	↓	↓	↓	11	011	011	00000000	= (1101 1011 0000 0000) ₂				= (DB00) ₁₆				15		23	Poll			↓			= (00000110) ₂ = (06) ₁₆ .		
0 1	4 7		15																																		
LI	VN	Mode	Stratum																																		
↓	↓	↓	↓																																		
11	011	011	00000000																																		
= (1101 1011 0000 0000) ₂																																					
= (DB00) ₁₆																																					
15		23																																			
Poll																																					
↓																																					
= (00000110) ₂ = (06) ₁₆ .																																					

Soit au final (DB0006)₁₆.

Question 6

La lecture des premiers octets d'une trame serveur est obtenue de la même manière que l'écriture d'une trame client, soit pour les deux premiers octets de la trame 93 :

0 1	4 7		15
LI	VN	Mode	Stratum
↓	↓	↓	↓
(00	011	100	0000 0011) ₂ =

#00 1C030
↓

(1C03)₁₆

Par identification, on a :

- une horloge serveur sans décalage ;
- un protocole version 3 (comme le client, prévisible) ;

- un mode serveur (prévisible aussi) ;
- un niveau de stratum de 3, référence secondaire de niveau 3 (passe donc par une horloge de niveau 2 pour se synchroniser à l'horloge primaire la plus proche).

Remarque : la lecture de cette trame permet de lever toute ambiguïté quant au sens du codage utilisé, les indices des bits utilisés dans le format ne donnant qu'une position dans la trame, et non un rang comme en numération.

À la lecture de toutes les trames reçues, les serveurs sont uniquement de stratum 2 ou 3. La sélection des sources est effectuée en choisissant :

- en termes de précision, celle de plus faible « root dispersion », indiquant l'erreur relative maximale de la source par rapport à une horloge primaire ;
- en termes de temps de réponse, celle de plus faible « root delay », délai de transmission depuis la source (paramètre pouvant bien souvent être prépondérant devant la précision).

Question 7

Par identification directe des temps (selon DT4), il vient :

[11:19:31]	093	5896FC33 B5D94C00	#00	1C0306E8 000006DD 00001145 3ED2FB2A
			#16	DC417378 4DB79341 DC417AB1 A56E1000
			#32	D417ABA F9 63048 DC417ABA F9 AEA32

$$T1 = (DC417AB1)_{16}$$

$$T'1 = (DC417ABA)_{16}$$

$$T'2 = (DC417ABA)_{16}$$

Question 8

Le temps $T2 = (DC417AB3)_{16}$ est donné, les temps $T1$, $T'1$ et $T'2$ sont obtenus précédemment.

Pour répondre à cette question de la manière la moins calculatoire possible, il est avantageux de réécrire l'équation permettant d'obtenir l'écart d'horloge $\theta = \frac{T'2 + T'1}{2} - \frac{T2 + T1}{2}$ (voir DT3), et de ne

raisonner que sur l'octet de poids faible, les autres étant invariablement identiques. On obtient ainsi :

$$\theta = \left(\frac{DC417ABA + DC417ABA}{2} - \frac{DC417AB3 + DC417AB1}{2} \right)_{16} = (BA - B2)_{16} = (08)_{16} = 8 \text{ s.}$$

L'horloge locale accuse donc un retard de 8 s par rapport à l'horloge de référence.

Question 9

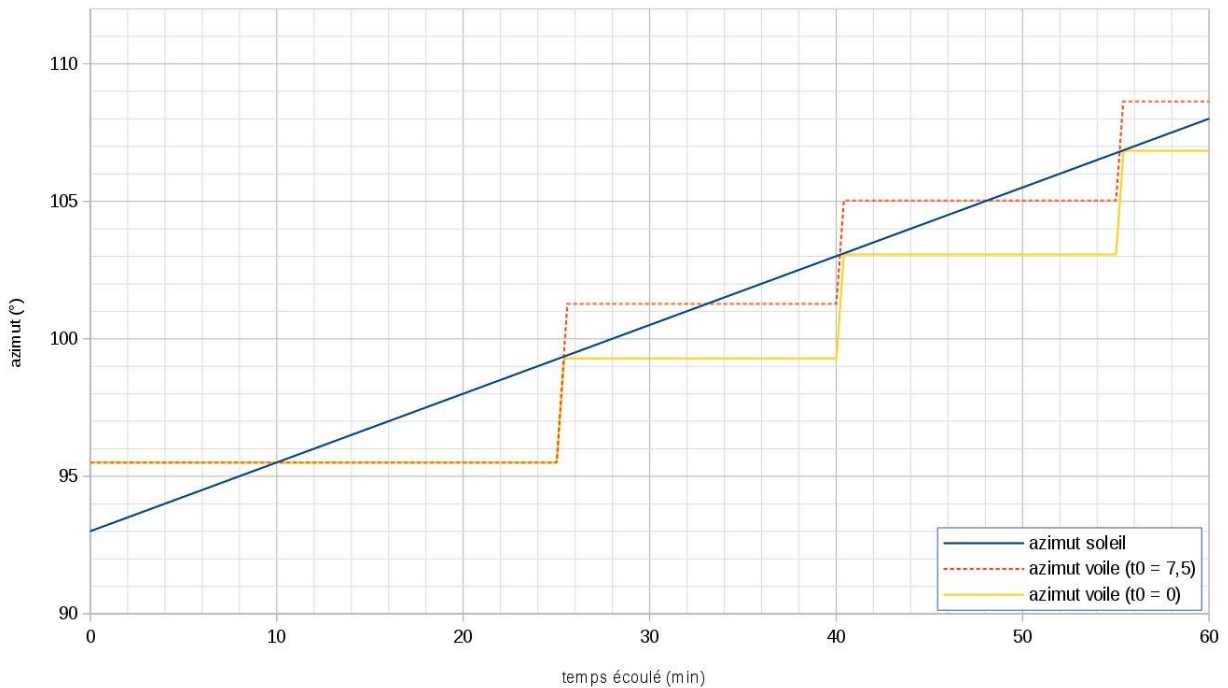
La voile met environ 30 s pour parcourir la même rotation que le soleil en 15 min. Si l'on effectue un déplacement à la position de l'heure courante tous les quarts d'heure, on sera toujours en retard par rapport au soleil. À l'inverse, si on anticipait la position du soleil de 15 min, on serait toujours en avance sur celui-ci (d'un écart de $3,75^\circ$). En négligeant les 30 s de déplacement par rapport à la période de 15 min et comme le déplacement du soleil est supposé linéaire durant cette période, la valeur permettant de limiter les écarts de poursuite correspond à une demi-période, soit pour

$$t_0 = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ min.}$$

Le premier tracé pour $t_0 = 0$ est obtenu en rattrapant le soleil toutes les 15 min, depuis le temps où les azimuts de la voile et du soleil se croisent.

Le second tracé pour $t_0 = 7,5$ est obtenu en rattrapant le soleil toutes les 15 min à la position qu'il occupera 7,5 min plus tard.

Evolution en azimut depuis le garage EST, le 21 septembre 2016 à 6h00



Question 10

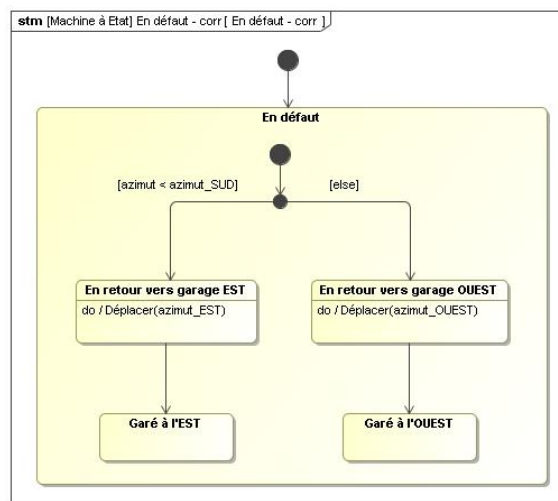
Le crépuscule civil apparaît entre 16h20 et 20h30 selon la période de l'année. Durant cette plage horaire, des concerts sont susceptibles d'avoir lieu dans l'auditorium. Le retour à 2 heures du matin permet de ne pas créer de nuisances sonores lors de concerts.

Question 11

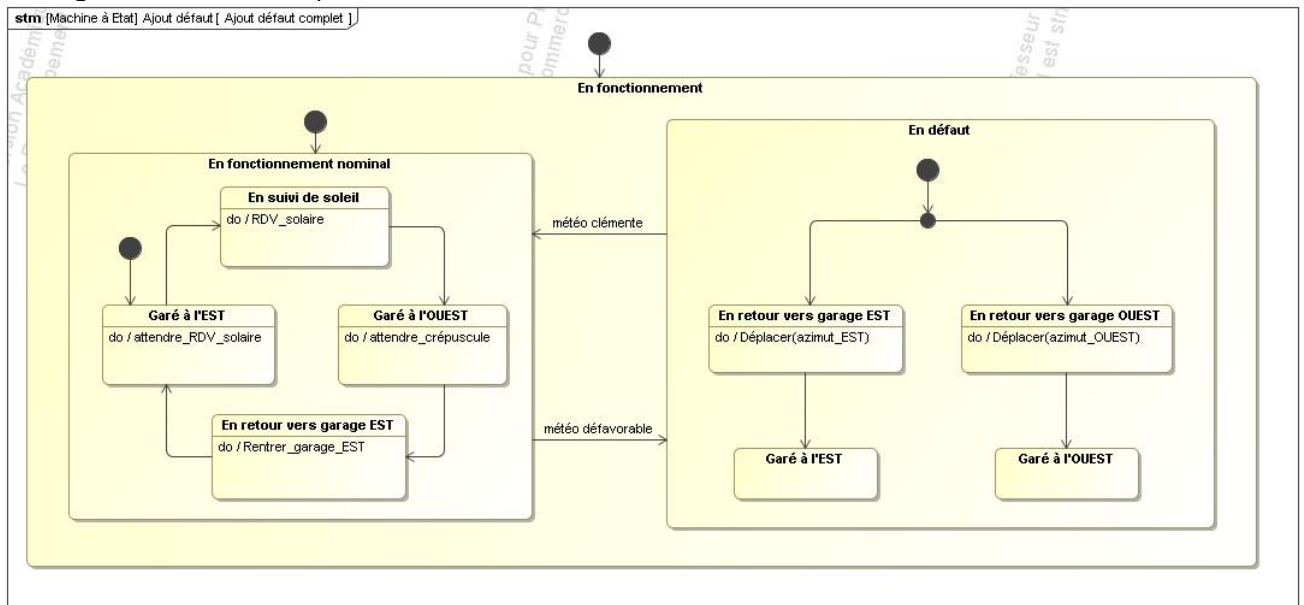
En notant $azimut_SUD$ l'azimut de mi-parcours, tel que :

$$azimut_SUD = \frac{azimut_EST + azimut_OUEST}{2} = \frac{190,5 + 95,5}{2} = 143^\circ, \quad \text{on obtient comme}$$

diagramme d'états du mode « En défaut » le diagramme ci-dessous, les états « Garé à l'EST » et « Garé à l'OUEST » faisant office d'états finaux de cet état composite, en attente de l'évènement « météo clémente ».



Le diagramme d'états complet est alors le suivant :



Remarque : lors d'un retour au fonctionnement nominal, la voile étant au mieux garée, le comportement ainsi implémenté permettra un rattrapage automatique de la course dans les 15 prochaines minutes, puisqu'au plus il faudra 8 min pour revenir en suivi de soleil, ce qui est inférieur aux 15 minutes du cycle de déplacement.

Question 12

On a vu que le déplacement selon un profil trapézoïdal permettait de déplacer la voile en une position de consigne, quel que soit le déplacement à effectuer dans un intervalle de 15 minutes (de 30 s environ de temps moyen à moins de 8 minutes pour un retour complet). Cela valide l'EF2 « Déplacer en une position précise ».

De plus, l'utilisation du protocole NTP permettant une synchronisation de l'heure locale à l'heure UTC, on connaît à chaque instant précis la position du soleil. En adaptant la commande du déplacement de la voile aux modalités de déplacement (déplacement de seulement 30 s environ toutes les 15 minutes) par une avance temporelle de 7,5 minutes, on suit de manière optimale la trajectoire du soleil puisque cela revient à minimiser l'angle d'incidence de l'intensité lumineuse reçue et donc de maximiser l'énergie lumineuse reçue (dans l'optique de récupérer celle-ci via les cellules photovoltaïques). Cela valide l'EF3 « Suivre la trajectoire du soleil » et plus particulièrement l'EP1 « récupérer au maximum le rayonnement solaire direct » (quand bien même il n'a pas été quantifié...).

Enfin, le comportement lié aux mauvaises conditions climatiques permet d'assurer un retour au garage le plus proche, et donc un fonctionnement de la voile en toute sécurité, le rattrapage de course en sortie de mode par défaut ne posant aucun souci. Cela valide l'EF4 « Rentrer au garage le plus proche en cas de mauvaise météo ».

Le système permet donc de manière fonctionnelle de déplacer la voile suivant le soleil en toute sécurité.

Vérifier que le mécanisme entraîne la voile en mouvement

Question 13

La contrainte en traction correspond au rapport de l'effort de traction $N_{Ed,t}$ par la section de la bielle,

$$\text{soit } \frac{N_{Ed,t}}{\pi \cdot \left[(D/2)^2 - (D/2 - e)^2 \right]} = \frac{300000}{\pi \times (26227 - 24320)} = 50 \text{ Mpa} \leq Re, \text{ donc la bielle est bien}$$

dimensionnée en traction. Vis-à-vis de l'effort en compression, il faudrait vérifier que cela n'engendre pas de flambement.

Question 14

L'expression littérale et la valeur numérique de l'allongement δl_{\max} de la bielle haute sous l'effet de l'effort de traction extrême $N_{Ed,t}$ sont :

$$\delta l_{\max} = \frac{N_{Ed,t} \cdot L_b}{S \cdot E} = \frac{N_{Ed,t} \cdot L_b}{\pi \cdot \left[(D/2)^2 - (D/2 - e)^2 \right] \cdot E} = \frac{300000 \times 9500}{\pi \times (26227 - 24320) \times 210000} = 2.2 \text{ mm} < 4 \text{ mm}$$

La bielle est donc correctement dimensionnée vis-à-vis du critère d'allongement maximal.

Question 15

D'après le diagramme, certains alliages d'aluminium contenus dans la bulle « alliage d'aluminium » possèdent un Re supérieur à 355 MPa. Ces alliages pourront supporter l'effort $N_{Ed,t}$ vis-à-vis de la contrainte maxi, cependant l'allongement δl_{\max} sera supérieur aux 4 mm autorisés.

Les principaux avantages de ce type d'alliage sont la légèreté, l'absence de corrosion ; les principaux inconvénients sont le coût et l'aptitude au soudage qui peut être plus délicat.

Question 16

On isole la couronne 2, soumise :

- à l'action des deux bielles hautes ;
- au couple résistant à vide dont la valeur maxi vaut, d'après l'abaque, $Cr_v = 1,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$;
- au couple résistant dû aux frottements sous charge Cr_c ;
- au couple recherché $Cr_{red \rightarrow 2}$;
- à l'action du bâtiment sur la couronne, transmise par la liaison pivot ;
- à la pesanteur.

Puisque la direction de l'action des deux bielles hautes passe par le centre de la couronne, $M_T = 0$.

D'après la relation donnée, $Cr_c = (3 \cdot (F_{A_bh} + m_{cour} \cdot g) + 11,34 \cdot F_{R_bh}) \cdot D \cdot 10^{-3}$ d'où $Cr_c = 2,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

La vitesse angulaire maximale de la couronne 2 par rapport à l'auditorium 1 vaut :

$$\omega_{\max} = \frac{V_{\max}}{R} = \frac{0,08}{22,75} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}.$$

On en déduit la valeur de l'accélération maximale : $\dot{\omega}_{\max} = \frac{\omega_{\max}}{5} = \frac{3,52 \cdot 10^{-3}}{5} = 7,03 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

En appliquant le PFD, le théorème du moment au centre de la couronne, en projection sur l'axe de la couronne, il donne : $Cr_{red \rightarrow 2} = Cr_c + Cr_v + J_{cour} \cdot \dot{\omega}_{\max} = 3,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

On peut noter que le terme lié à l'accélération est négligeable face aux autres termes.

Question 17

Puisque la direction de l'action axiale des deux bielles hautes ne passe plus par le centre de la couronne, $M_T = F_{A_bh} \cdot r_{\max} = 170 \cdot 10^3 \times 150 \cdot 10^{-3} = 25,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

D'après la relation donnée, $C_{r_c} = \left(\frac{13,11 \cdot M_T}{D} + 3 \cdot (F_{A_bh} + m_{cour} \cdot g) + 11,34 \cdot F_{R_bh} \right) \cdot D \cdot 10^{-3}$ d'où
 $C_{r_c} = 2,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

En appliquant le PFD, le théorème du moment au centre de la couronne, en projection sur l'axe de la couronne, et en négligeant le terme lié à l'accélération, il vient $C'_{red \rightarrow 2} = C_{r_c} + C_{r_v} + F_{R_bh} \cdot r_{max} = 11,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

Question 18

$$P_{red \rightarrow 2/1} = C_{red \rightarrow 2} \cdot \omega_{2/1} = 11,1 \cdot 10^3 \times 3,52 \cdot 10^{-3} = 39,2 \text{ W}.$$

Question 19

D'après les résultats précédents, la puissance mécanique nécessaire au niveau du pignon est de 39,2 W. Avec les deux étages de réduction parfaits, on obtient donc également 39,2 W.

La vitesse angulaire souhaitée est $\omega_{max} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. On en déduit

$$N_c = \frac{30 \cdot \omega_{max}}{\pi} = 0,0336 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}. \text{ D'où}$$

$$N_m = N_c \cdot i_{reducteur} \cdot i_{pignon/couronne} = 0,034 \times 3514 \times \frac{245}{24} = 1204 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Question 20

Ces moteurs de 1,1 kW paraissent surdimensionnés par rapport aux calculs effectués dans des conditions de vent défavorables. Leur couple nominal est de 7,4 N·m, soit 265 kN·m en sortie de réducteur. Ceci permet d'avoir encore plus de « sécurité » vis à vis du couple à fournir. Leur vitesse nominale est de 1420 tr·min⁻¹ et est donc correcte pour pouvoir faire tourner la couronne à la vitesse souhaitée via un variateur de vitesse.

Question 21

On isole l'ensemble (1/2 voile + chariot central + chariot latéral), soumis :

- à la pesanteur ;
- à la résistance au roulement ;
- aux efforts liés aux vents ;
- à l'action motrice.

On applique le PFD et le théorème de la résultante, en projection sur \vec{x} .

- En phase d'accélération, en tenant compte du coefficient de 0,7 sur l'effort de vent :

$$F = 0,7 \times 17,1 \cdot 10^3 + \frac{(1191 + 147 + 73,6) \cdot 10^3}{9,81} \times 200 \cdot 10^{-3} + \frac{(1191 + 147 + 73,6) \cdot 10^3}{9,81} \times \frac{0,08}{5} = 43,1 \text{ kN}.$$

$$\text{Puissance nécessaire : } P_{acc} (mot \rightarrow dv / 0) = F \cdot V = 43,1 \cdot 10^3 \times 0,08 = 3,4 \text{ kW}.$$

- À vitesse constante :

$$F = 17,1 \cdot 10^3 + \frac{(1191 + 147 + 73,6)}{9,81} \times 200 \cdot 10^{-3} = 45,9 \text{ kN}.$$

$$\text{Puissance nécessaire : } P_{vct} (mot \rightarrow dv / 0) = F \cdot V = 45,9 \cdot 10^3 \times 0,08 = 3,7 \text{ kW}$$

Il faut donc un motoréducteur capable de fournir une puissance de 3,7 kW.

Question 22

La puissance obtenue précédemment est de 3,7 kW.

La puissance utile du moteur doit donc être $P_u = 3,7$ kW puisque les réducteurs sont supposés parfaits.

La vitesse de rotation des galets est de $0,31$ rad·s⁻¹.

Le couple nécessaire est de $\frac{3,7}{0,31} = 11\,816$ N·m et se répartit sur les deux galets, soit 5 908 N·m, ce

qui reste inférieur aux 6 200 N·m. Les accouplements sont donc bien dimensionnés.

Question 23

Le type de service est S5 car le fonctionnement est intermittent avec un démarrage et un freinage électrique via un variateur. La puissance utile P_u est, d'après la question précédente, de 3,7 kW.

$$n = 4 + 3 \times 4 + 0,5 \times 0 = 16 \quad F_{dm} = \frac{5 + 15 + 5}{5 + 15 + 5 + 865} = \frac{25}{900} = 2,78 \%$$

On obtient donc une puissance apparente :

$$P_a = \sqrt{\frac{4 \times 16 \times 5 \times (3 \times 4)^2 + (3600 - 4 \times 16 \times 5) \times 3,7^2 \times 0,0278}{3600}} = 3,63 \text{ kW}$$

Avec les moments d'arrêt assez longs, le moteur ne surchauffe absolument pas et on obtient une puissance équivalente en S1 moindre que le calcul initial.

De plus, si le moteur fonctionne de manière continue (urgence ou retour au garage le soir), on est alors en service S1 et la puissance est de 3,7 kW.

Les moteurs d'une puissance de 4 kW sont donc bien dimensionnés.

Question 24

On obtient les résultats suivants :

$$P_{R_2/g} = \frac{R_2}{g} \cdot I_T^2 \quad \text{avec} \quad I_T = \frac{V_1}{R_2/g + j \cdot X_2} \quad \text{d'où} : C_u = \frac{3 \cdot P_{R_2/g}}{\Omega_s} = \frac{3 \cdot R_2}{g \cdot \Omega_s} \cdot \left(\frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (X_2)^2}} \right)^2$$

$$\text{et donc l'expression recherchée} : C_u = \frac{3 \cdot V_1^2}{\Omega_s} \cdot \frac{R_2/g}{(R_2/g)^2 + (X_2)^2}$$

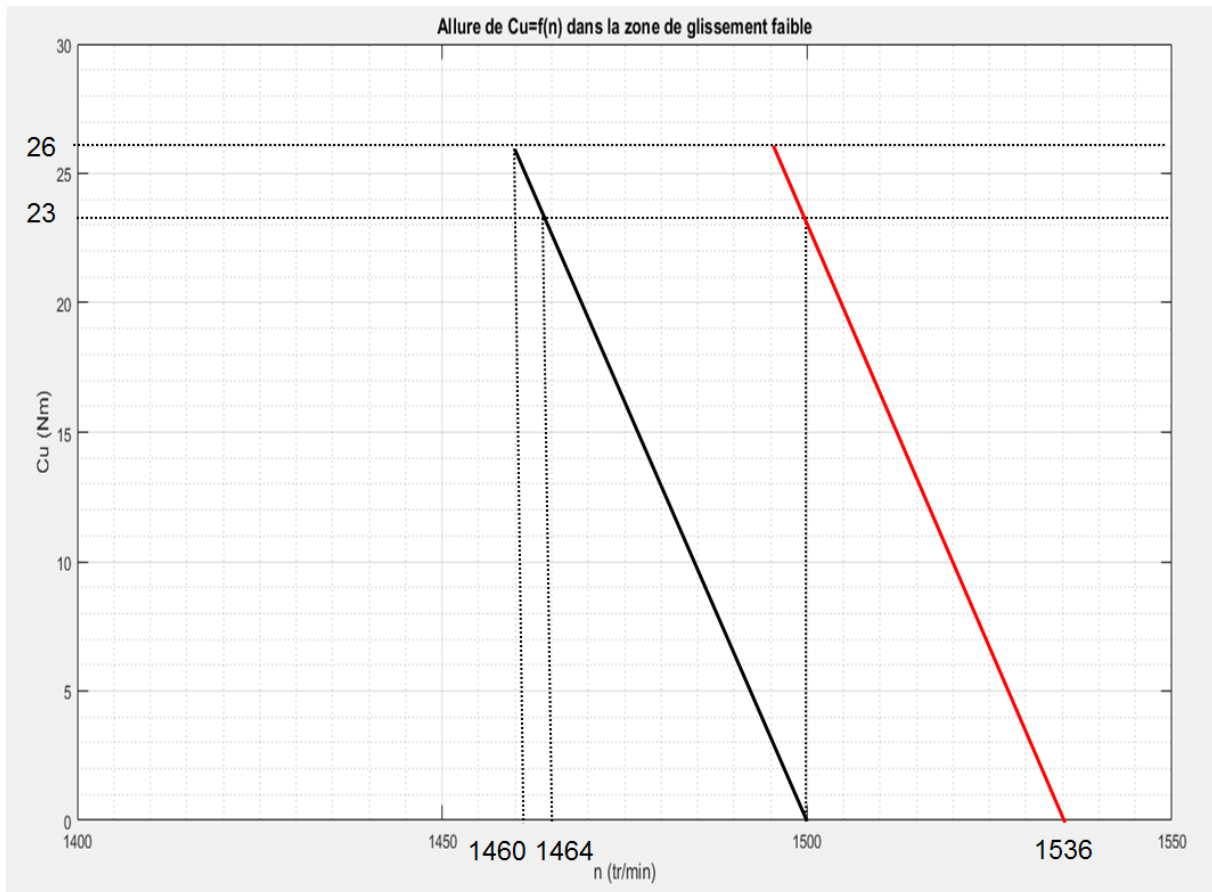
Question 25

$$\text{Si } g \text{ est faible alors } \frac{R_2}{g} \gg X_2 \quad \text{et donc} \quad C_u \approx \frac{3 \cdot V_1^2}{\Omega_s} \cdot \frac{g}{R_2} \quad \text{avec} \quad g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

$$\text{donc} \quad C_u \approx \frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s} \cdot \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \left(\frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s} \right) - \left(\frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s^2} \right) \times \Omega, \quad \text{ce qui est bien une équation de droite.}$$

Question 26

On place le point de synchronisme (0 N·m et 1500 tr·min⁻¹) et le point nominal d'après les caractéristiques du moteur ($P_u = 4$ kW, $N = 1\,460$ tr·min⁻¹, $C_u = 26$ N·m). On obtient $C_u = f(\Omega) = 975 - 0,65 N$.



Question 27

Pour un couple de 23 N·m, on obtient 1464 tr·min⁻¹.

Question 28 :

La vitesse souhaitée est de 0,08 m·s⁻¹ et le diamètre du galet est de 520,5 mm.

On en déduit $N_{galet} = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot R} = 2,93 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ d'où $N_m = N_c \cdot i_{reducteur} = 2,93 \times 511 = 1500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

et $\Omega = 157 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

On veut donc un point de fonctionnement avec 23 N·m pour 1 500 tr·min⁻¹. En traçant une parallèle passant par ce point, on en déduit $N_s = 1 536 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et donc $f = 51,2 \text{ Hz}$.

Question 29

Le premier modèle de poutre bi-encastée signifie qu'aucun déplacement n'est possible entre le point A2 et le point B2. Cependant, sur le système réel, le point A2 est encasté au chariot et le point B2 est encasté sur l'ossature de la demi-voile. Des déplacements sont donc en fait possibles entre ces deux points.

Le second modèle considère des déplacements possibles entre le point A2 et le point B2, ce qui est plus proche du comportement réel.

Question 30

D'après la valeur des efforts, le bras est sollicité en compression (1 300 kN), cisaillement (34 kN et 12 kN) et flexion (35 kN·m et 100 kN·m). Le cisaillement est négligeable devant la compression.

Question 31

Les points de la ligne moyenne A2 ($x = 0$) et B2 ($x = 5,25$ m) cumulent toutes les sollicitations extrêmes et sont les plus sollicités. Dans la section où se situe le point A2 ($x=0$), la contrainte est maximale au point de coordonnées $x = 0$, $y=b/2$, $z=h/2$ et l'expression littérale de la contrainte normale maximale σ_{max} prend en ce point la forme :

$$\sigma_{max} = \left| \frac{N(x=0)}{A} + \frac{M_y(x=0) \cdot \frac{h}{2}}{I_{Gy}} + \frac{M_z(x=0) \cdot \frac{b}{2}}{I_{Gz}} \right|$$

Question 32

La contrainte normale maximale au point le plus critique de la section est due à la somme des contraintes en compression générées par les trois sollicitations suivantes :

$$\sigma_{N_pc} = \frac{-13 \cdot 10^5}{27 \cdot 10^3} = -48,1 \text{ MPa} ; \quad \sigma_{My_pc} = \frac{-28 \cdot 10^6 \times 225}{9 \cdot 10^8} = -7 \text{ MPa} ;$$

$$\sigma_{Mz_pc} = \frac{-785 \cdot 10^5 \times 245}{10^9} = -19,3 \text{ MPa. Par conséquent, la contrainte maximale au point le plus$$

critique de la section peut s'exprimer sous la forme $\sigma_{max} = |\sigma_{N_pc} + \sigma_{My_pc} + \sigma_{Mz_pc}| = 74,4 < Re$.

Le bras 2 est donc correctement dimensionné et comme il correspond au bras le plus sollicité de la structure, le quadripode est donc également correctement dimensionné vis-à-vis de la limite élastique.

Question 33

L'exigence EF5, « Entraîner la voile solaire en mouvement » se décline en quatre points avec leurs critères qui ont permis de vérifier l'EF5 :

- lier chaque demi-voile à la couronne d'orientation, limite élastique et allongement maximal non dépassés (module d'Young E) pour des conditions météorologiques défavorables (système arrêté) ;
- entraîner en rotation la couronne d'orientation, couple transmissible et puissance disponible ;
- entraîner chaque demi-voile en mouvement, puissance moteur et détermination de la fréquence de commande nécessaire pour un déplacement de la voile à la vitesse souhaitée ;
- lier chaque demi-voile à son chariot motorisé, contrainte inférieure à la limite élastique.

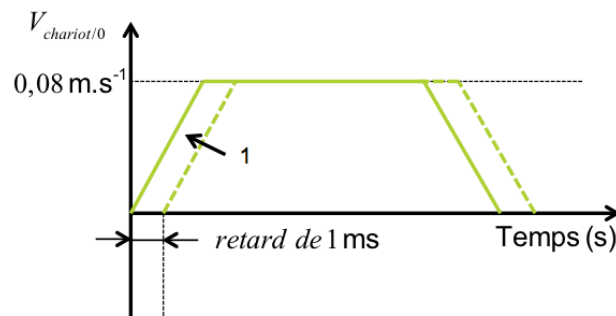
Vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé

Question 34

Ce capteur détecte une nouvelle position tous les 0,8 mm pour une précision de $\pm 0,4$ mm. Si aucun jeu n'est envisagé dans la barre de remorquage, elle sera sollicitée en permanence et l'alarme se déclenchera de manière intempestive. Un jeu dans la barre est donc nécessaire. La règle codeuse peut générer un écart de $\Delta x_1 = 0,8$ mm bien inférieur au jeu de 15 mm. Ce jeu de 15 mm est suffisant vis-à-vis de la règle.

Question 35

En raisonnant graphiquement, la valeur maximale du décalage en position due au décalage temporel des consignes de vitesse correspond à l'aire du parallélogramme repéré 1 ci-dessous. Le décalage de synchronisation temporelle peut ainsi générer un écart max de $\Delta x_2 = 0,08$ mm.



Cet écart est bien inférieur au jeu de 15 mm donc la barre ne sera pas sollicitée intempestivement à cause d'un décalage temporel de réception des consignes par les chariots.

Question 36

La barre de remorquage n'est pas prise en compte, les deux chariots sont indépendants. Chaque chariot est soumis à une consigne de vitesse identique et on visualise :

- la vitesse de chaque chariot ;
- la position de chaque chariot en m ;
- l'écart de position entre les deux chariots en mm.

Le tracé de l'écart est obtenu en soustrayant les deux positions en [m]. Le gain de 1 000 permet d'obtenir un tracé en [mm].

Ce modèle ne prend pas en compte la barre de traction, il n'est donc pas représentatif du système réel.

Question 37 :

Les caractéristiques de la barre de remorquage qu'il faut prendre en compte pour déterminer la valeur numérique de la raideur du ressort k qui la modélise sont les grandeurs définies par la relation suivante $F = k \cdot (L - L_0) = E \cdot S \cdot \frac{(L - L_0)}{L_0}$, à savoir la section S de la barre, sa longueur initiale L_0 et son module d'élasticité longitudinal E .

Question 38

L'effort dans la barre de traction est nul car on observe, sur la simulation, un écart de 0,08 mm correspondant au décalage temporel. La valeur de cet écart n'engendre pas de sollicitation dans la barre de remorquage grâce à la présence du jeu de 15 mm.

Question 39

Dans cette simulation, le chariot droit subit une action de -17 100 N due au vent, et cela 10 secondes après le début du déplacement. Puisque les chariots sont pilotés en vitesse, cette action mécanique n'a aucun effet sur la barre de remorquage et l'alarme ne sera pas déclenchée.

Question 40

Cette valeur de jeu de 15 mm semble largement suffisante pour les phénomènes étudiés puisque la chaîne d'acquisition et le décalage temporel ne pourraient générer un écart de position que de 0,2 mm.

D'autres phénomènes, non encore évoqués, pourraient générer des écarts de position entre les deux chariots, à savoir la précision de l'asservissement de position ou l'effet de la conversion analogique numérique.

Question 41

Dans l'intervalle [0 ; 5] s : I est constant (en valeur efficace), il doit vaincre les frottements et les effets d'inertie (phase à accélération constante).

Dans l'intervalle [5 ; 10] s : I est constant et plus petit qu'avant pour vaincre les frottements (phase à accélération nulle).

Dans l'intervalle [10 ; 18] s : I est constant et plus grand que précédemment pour vaincre les frottements et l'action du vent (phase à accélération nulle).

Dans l'intervalle [18 ; 23] s : I est constant et plus faible puisqu'on est en phase de décélération.

Après 23 sec : le chariot est à l'arrêt, le courant consommé pour le déplacement est nul.

Question 42

On a en sortie du capteur : $I = 4 + \frac{16}{40} \cdot (F + 20)$, I exprimé en mA et F en kN ; soit donc $I_{\max} = 15,6$ mA (pour $F = 9$ kN) et $I_{\min} = 8,4$ mA (pour $F = -9$ kN) pour les seuils de courant.

La tension U en sortie du convertisseur U/I vaut $U = \frac{5}{16} \cdot (I - 4)$, U en V et I en mA ; soit donc $U_{\max} = 3,625$ V et $U_{\min} = 1,375$ V pour les seuils de tension.

Le quantum de conversion du CAN vaut $q = \frac{5}{2^{12} - 1} = \frac{5}{4095} \approx 1,22$ mV. On obtient ainsi les seuils en

traction $N_{\min} = 1\,126$ tr.min⁻¹ et en compression $N_{\max} = 2\,969$ tr.min⁻¹; soit en binaire $N_{\max} = (1011\,1001\,1001)_2$ et $N_{\min} = (0100\,0110\,0110)_2$, les résultats pouvant varier de 1 à 2 unités selon l'emploi de la valeur arrondie ou exacte pour q .

Question 43

En mode normal, les 15 mm de jeu suffisent à compenser les écarts inhérents aux constituants du système (résolution du capteur de position, synchronisation temporelle). Lors de l'apparition d'une perturbation, la loi de commande est aussi respectée grâce à une adaptation de la chaîne d'énergie.

Pour finir, un réglage adapté des seuils de déclenchement de l'alarme permet d'assurer un fonctionnement correct.

Par ailleurs l'alarme pourrait être déclenchée dans les cas suivants :

- obstacle sur rail ;
- chariot coincé ;
- moteur d'un chariot central défaillant ;
- mode remorquage.

Analyser le bilan énergétique global

Question 44

La distance journalière parcourue par la voile équivaut à un aller-retour soit $D = 2 \times \frac{\pi \times 22,75 \times 95}{180} = 75,4$ m. En considérant ce trajet effectué à vitesse constante, le temps

d'alimentation des moteurs vaut $t_a = \frac{D}{V} = \frac{75,4}{0,08} = 943$ s. La consommation énergétique sur une journée

vaut alors $W_{\text{jour}} = \frac{943}{3600} \times 10 + (24 \times 0,5) = 14,6$ kW · h ; soit sur une année :

$$W_{\text{année}} = 365 \cdot W_{\text{jour}} = 365 \times 14,6 = 5329 \text{ kW} \cdot \text{h} = 5,3 \text{ MW} \cdot \text{h}.$$

Question 45

Énergie récupérée sur une année par la voile mobile $W_{VM} = 1200 \times 0,16 = 192$ MWh.

Énergie récupérée sur une année par une voile fixe $W_{VF} = \frac{190}{1,15} = 167$ MWh.

Le gain énergétique apporté par la solution de voile mobile vis-à-vis d'une solution de voile fixe est donc de $192 - 167 = 25$ MWh, auquel il faut soustraire l'énergie consommée par tous les éléments permettant la mobilité, soit un surplus global effectif de $25 - 5,3 = 19,7$ MW.h.

Question 46

L'énergie récupérée est donc de $192 - 5,3 = 186,7$ MW.h avec la solution mobile contre 167 MW.h pour la solution fixe, soit un gain proche de 12 %.

Dans un premier temps, on constate donc que la solution mobile engendre un gain énergétique vis-à-vis de l'énergie récupérée, malgré la consommation de tous les éléments participant à la mobilité de la voile : c'est donc une solution viable.

Néanmoins, cette faible différence serait à comparer avec l'énergie nécessaire à la fabrication, au transport et à l'implantation sur le site de tous ces éléments ainsi qu'à toute l'énergie grise mise en œuvre.

De plus, cette énergie récupérée est réinjectée dans le réseau et facturée à EDF, solution la plus simple de mise en œuvre. Une amélioration potentielle serait d'utiliser localement cette énergie produite pour l'alimentation, l'éclairage, le chauffage de certains locaux de la « Seine musicale » ; mais cela nécessiterait un stockage et une gestion de l'énergie, et donc une complexité accrue du système.

En conclusion, le choix de l'architecte est avant tout un choix esthétique et montre un exemple de récupération d'énergie renouvelable.

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

Cette épreuve, d'une durée de 6 heures, est commune aux quatre options. Les candidats composent dans les mêmes conditions, sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 19 avril 2016, « cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique ».

1. Présentation du sujet

Le sujet proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externes/23/7/s2018_agreg_externes_sii_1_917237.pdf

Il s'appuie sur le projet de construction du bâtiment de la Seine Musicale, sur l'île Séguin en région parisienne et plus particulièrement sur la conception du mécanisme de mise en mouvement de la structure mobile équipée de panneaux photovoltaïques, autour de l'auditorium.

Avant la phase de construction, une étude d'avant-projet est confiée à un bureau d'études ingénierie qui réalise les choix technologiques et les pré-dimensionnements des différents composants du système étudié. L'objectif de l'étude consiste à vérifier la conformité du mécanisme de mise en mouvement de la Voile Mobile, appelé « mécanisme VM » vis-à-vis des exigences imposées par la mission principale « déplacer la voile suivant le soleil ». Les exigences à vérifier rythment les différentes parties qui se concluent par une question de synthèse. Le questionnement permet de :

- vérifier que la voile suit le soleil en sécurité (déplacement en une position précise, suivi du soleil, retour au garage en cas de mauvaise météo) ;
- vérifier que le mécanisme VM entraîne la voile en mouvement (liaison demi-voile/couronne, entraînement en rotation de la couronne d'orientation, entraînement de chaque demi-voile en mouvement à la vitesse souhaitée, liaison demi-voile à son chariot motorisé) ;
- vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé (effet des défauts dus à la chaîne d'acquisition, à la synchronisation temporelle, à la présence d'une perturbation extérieure, validation du choix du capteur d'effort) ;
- analyser le bilan énergétique global de la solution et conclure.

2. Analyse globale des résultats

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'études afin de formuler des conclusions cohérentes et pertinentes.

Le jury encourage les futurs candidats à continuer à fournir ces efforts d'ouverture au cours de leur préparation à cette épreuve transversale dont les exigences sont spécifiques.

Globalement, les candidats ont eu des difficultés à faire preuve de transversalité et se sont trop souvent concentrés sur les parties abordant leur spécialité en restant dans leur « zone de confort ». Pourtant, la difficulté des questions dans chaque partie était suffisamment progressive pour permettre à chaque candidat d'y répondre au moins partiellement.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

1. Présentation

La lecture et l'assimilation du sujet sont indispensables pour avoir le recul nécessaire face aux problématiques posées. La maîtrise des outils de l'ingénierie système permet au candidat de s'approprier rapidement le système.

2. Vérifier que la voile suit le soleil en sécurité

Q1 à Q4 : déplacer précisément la voile.

Tous les candidats ont abordé cette partie. Des difficultés ont été observées dans le calcul des grandeurs cinématiques et temporelles qui demandait un minimum de rigueur de la part d'un candidat qui présente le concours de l'agrégation.

Q5 à Q10 : suivre précisément le soleil.

Ces questions nécessitaient la compréhension et l'exploitation d'informations issues de documents techniques. Le jury déplore qu'une minorité des candidats ait abordé les questions nécessitant des compétences en ingénierie informatique et encourage les futurs candidats à améliorer leur maîtrise de ce champ de compétences, aujourd'hui indispensable à un enseignant de SII, quelle que soit l'option.

Q11 : prendre en compte des conditions météorologiques non clémentes.

Cette question nécessitait de compléter un diagramme d'état, outil commun des programmes de STI2D. Beaucoup trop de candidats ne maîtrisent ni les notions de base associées à ce type de diagramme, ni la syntaxe en vigueur.

Q12 : synthèse.

Cette question nécessitait de conclure sur les sous-exigences qui ont été vérifiées durant la partie 2. Il était attendu de la part du candidat une prise de recul face à la problématique énoncée en début de partie.

3. Vérifier que le mécanisme VM entraîne la voile en mouvement

Q13 à Q15 : vérifier la liaison demi-voile à la couronne d'orientation.

Ces questions nécessitaient des compétences en dimensionnement de structure en traction pour vérifier les choix retenus pour la bielle et envisager un matériau alternatif. Le raisonnement des candidats est souvent juste mais régulièrement entaché d'erreurs grossières dans le calcul de la surface de la section de la bielle. Pour parer ces erreurs, il est indispensable que le candidat donne d'une part, l'expression littérale et d'autre part, l'application numérique détaillée.

Q16 à Q20 : vérifier l'entraînement en rotation de la couronne d'orientation.

Ces questions nécessitaient d'utiliser le Principe Fondamental de la Dynamique en rotation afin de déterminer la puissance nécessaire et de valider le moteur proposé. Les résultats à ces questions

sont faibles. Le jury déplore que les candidats se lancent dans des calculs de grandeurs sans énoncer auparavant le théorème envisagé sous sa forme littérale. Par ailleurs, le terme lié à l'accélération angulaire n'est que très rarement pris en compte.

Q21 à Q28 : vérifier le dimensionnement du moteur entraînant chaque demi-voile en mouvement. Ces questions nécessitaient une lecture attentive des documents techniques. Le type de service est rarement bien identifié et les calculs sur la puissance apparente rarement menés à bien. Bien que la démarche de résolution pour obtenir l'expression littérale C_u (Q24) soit généralement correcte, le jury attend des candidats qu'ils soient capables d'utiliser correctement et indifféremment les notations (temporelle, complexe...), d'autant qu'un rappel sur les notations était donné dans le sujet. Les simplifications proposées en zone de glissement (Q25) n'ont pas toujours été celles attendues, parfois même peu pertinentes et souvent mal justifiées. La partie concernant le synchronisme de la machine asynchrone (Q26 à Q28) a été rarement traitée.

Q29 à Q32 : vérifier la liaison d'une demi-voile à son chariot central.

Ces questions nécessitaient des compétences en dimensionnement de structure soumises à des sollicitations multiples : analyse d'une modélisation, identification des sollicitations négligeables et du point de sollicitation maximale, validation du dimensionnement de la structure étudiée. Les réponses sont souvent ébauchées mais rarement menées à terme avec rigueur.

Q33 : synthèse.

Le jury attendait de la part des candidats qu'ils soient capables d'associer des critères de dimensionnement aux sous-exigences de l'exigence principale EF5 « Entraîner la voile solaire en mouvement ». Pour répondre correctement à ce type de question de synthèse, il est indispensable de maîtriser un minimum le vocabulaire et les notions de l'analyse fonctionnelle des systèmes.

4. Vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé

Q34 : vérifier l'effet des défauts dus à la chaîne d'acquisition.

Cette question nécessitait de comparer l'erreur due à la chaîne d'acquisition au jeu dans la barre de remorquage. Cette question a dans l'ensemble été bien traitée.

Q35 à Q38 : vérifier l'effet des défauts dus à la synchronisation temporelle.

Ces questions nécessitaient des compétences d'analyse de résultats de simulation numérique couramment utilisées dans les filières S et STI2D et dont un professeur agrégé de SII ne peut plus aujourd'hui ignorer l'existence. Les modélisations proposées s'affinaient au cours du questionnement afin de s'approcher de plus en plus du système réel. Les réponses à ces questions sont souvent correctes quand elles ont été traitées.

Q39 à Q41 : vérifier l'effet des défauts dus à la présence d'une perturbation extérieure.

Les réponses à ces questions sont souvent correctes quand elles ont été traitées, les candidats ayant bien expliqué l'allure du courant efficace I en fonction des accélérations, décélérations et perturbations extérieures.

Q42 : valider le choix du capteur d'effort.

Cette question nécessitait de connaître le rôle d'un convertisseur analogique-numérique afin de trouver les seuils numériques correspondants aux efforts dans la barre susceptibles de déclencher l'alarme. Cette question a rarement été traitée.

Q43 : synthèse.

Le jury attendait du candidat une prise de recul sur le fonctionnement de l'alarme et une réflexion sur des raisons pouvant expliquer son déclenchement. Rares sont les candidats à avoir synthétisé avec pertinence les éléments de l'étude précédente.

5. Analyser le bilan énergétique global

Q44 : estimer la consommation énergétique de l'ensemble assurant la mise en mouvement des voiles. Cette question nécessitait de bien différencier énergie et puissance, ce qui n'est malheureusement pas acquis par l'ensemble des candidats. Le jury attend de la part d'un candidat à l'agrégation que ces notions soient parfaitement assimilées. Cette question, bien que souvent traitée, a donné lieu à des résultats erronés.

Q45 à Q46 : estimer l'énergie fournie par les panneaux solaires de la voile.

Le jury attendait dans cette partie une analyse de la solution voile mobile par rapport à l'installation d'une voile fixe de panneaux photovoltaïques et une prise de recul des candidats d'un point de vue général sur le système étudié dans ce sujet. Le jury rappelle qu'il est nécessaire pour réussir que les candidats prennent le temps d'écrire dans un français correct leur réponse en écrivant des phrases complètes et non une simple suite de mots clés. Il est également indispensable de donner des valeurs chiffrées qui valident les critères étudiés. Cette partie a été abordée par la plupart des candidats mais avec un taux de réussite peu satisfaisant et une analyse générale trop réduite.

Conseils aux futurs candidats

Le jury encourage fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et sans faire de sélection des différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours.

Les candidats doivent également s'attacher à transférer leurs connaissances universitaires dans un système industriel avec des problématiques associées. Les candidats les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, justifications, choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury a noté un laisser aller dans la présentation des copies et la rédaction.

La présentation doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées et il n'est pas inutile de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'état qu'il maîtrise convenablement la langue française et veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. Il doit aussi respecter dans une mesure raisonnable les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer sera compréhensible et lisible. Le jury ne peut valoriser une justification qui se limite à une suite de mots clés juxtaposés.

4. Conclusion

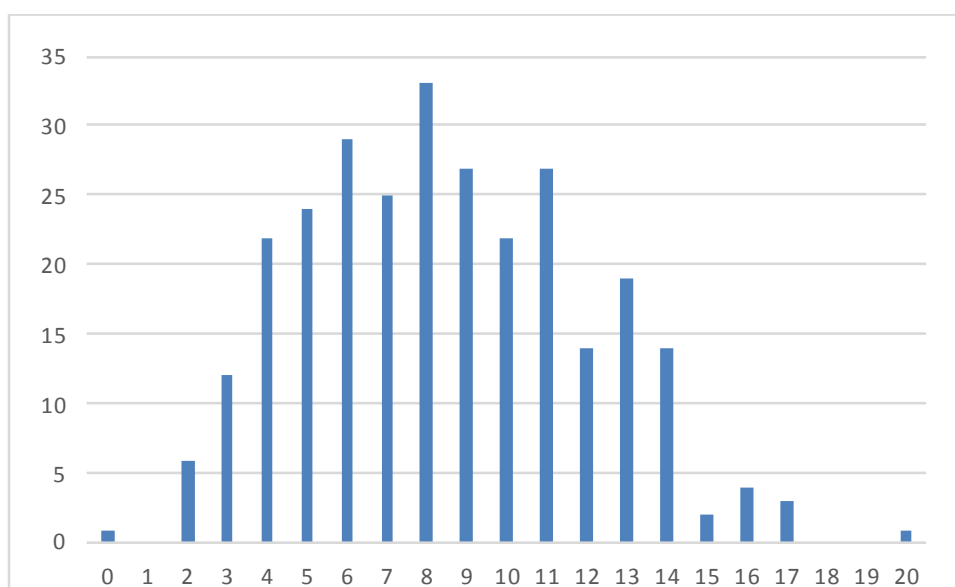
Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Toutes les questions du sujet ont été abordées par les candidats quelle que soit l'option choisie. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus (arrêté du 19/04/2016).

5. Résultats

285 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8,0/20, avec un écart-type de 3,5/20 avec :

- 19,3/20 comme meilleure note ;
- 0,0/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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

Question 1

La déformation latérale de la fourche d'une moto en utilisation peut être due à diverses actions dont la liste suivante n'est pas exhaustive :

- efforts aérodynamiques (vent de travers – supposés négligeable devant les autres actions mécaniques extérieures à la fourche) ;
- efforts transversaux dus au frottement du sol sur la roue (notamment lors des virages) ;
- efforts résistants au couple de pivotement de la fourche ;
- efforts dynamiques de la moto en sortie de virage ;

Les phases de fonctionnement où elle sera la plus importante sont en virage et en accélération.

Question 2

Cette modélisation est discutable car en réalité la fourche est en liaison pivot d'axe vertical avec le reste de la moto. Cette modélisation revient donc à considérer que la liaison est rigide (blocage par l'action du pilote) dans la phase de mouvement étudiée.

Question 3

La liaison entre l'axe de la roue et le bras de fourche est réalisée à partir de deux contacts cylindre/cylindre. Deux paramètres permettent de justifier un choix entre l'une ou l'autre modélisation :

- si l'adhérence est parfaite cet ensemble de contact peut être modélisé par une liaison encastrement sinon par une liaison pivot,
- la relation entre la longueur de guidage et le diamètre de l'axe donne une indication sur les possibilités de rotulage de la liaison.

Question 4

Dans le cas de la modélisation 1, la transmission totale des efforts s'effectue par la liaison encastrement. Dans le cas de la modélisation 2, la rotation autour de l'axe vertical de la figure 2 est autorisée. La rigidité de la fourche s'en retrouve alors amoindrie.

La rigidité peut être analysée par un calcul du degré d'hyperstatisme dans le plan. Ce calcul conduirait à un degré 3 pour la liaison encastrement et un degré égal à 1 pour la liaison pivot qui est donc moins rigide.

Question 5

La modélisation retenue correspond au cas critique (guidage le plus faible donc la fourche est la moins rigide). Les géométries des composants de la fourche sont des tubes nominalelement cylindriques. Ils ne prennent pas en compte les modifications inertielles et de raideurs possibles apportées par les géométries réelles des pièces comme les surépaisseurs aux extrémités par exemple. De plus l'amortisseur présent dans la fourche n'est pas pris en considération dans cette modélisation.

Question 6

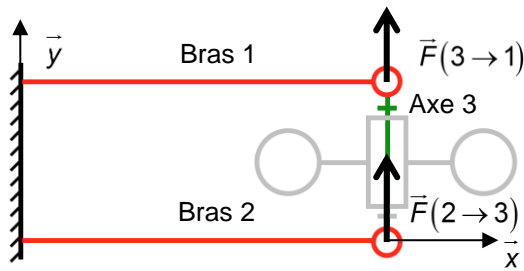
La géométrie du bras est constituée de deux tubes cylindriques creux.

Le moment quadratique de flexion du tube circulaire creux est :

$$I_{G1z} = \frac{\pi(D_1^4 - (D_1^4 - 2 \cdot e_1^4))}{64} \text{ pour } x \in [0, L_1] \text{ et } I_{G2z} = \frac{\pi(d_2^4 - (d_2^4 - 2 \cdot e_2^4))}{64} \text{ pour } x \in [L_1, L_1 + L_2].$$

AN : $I_{G1z} = 335619\text{mm}^4$ et $I_{G2z} = 68227\text{mm}^4$.

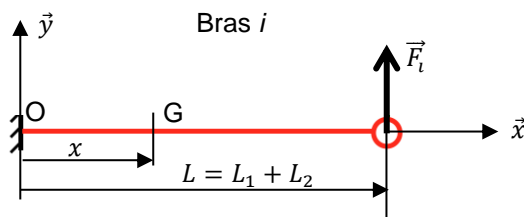
Question 7



Afin de déterminer la rigidité latérale de la fourche de la moto, on considère le chargement ci-contre pour l'axe 3 qui correspond à la sollicitation latérale la plus forte.

Considérant que la fourche est symétrique et que l'axe 3 est indéformable, une étude statique de l'axe 3 conduit à $\|\vec{F}(3 \rightarrow 1)\| = \|\vec{F}(2 \rightarrow 3)\| = F_i$.

L'étude de rigidité de la fourche complète revient donc à étudier chaque bras de fourche selon le modèle de chargement ci-dessous.



Les hypothèses suivantes permettent l'utilisation du modèle de comportement d'Euler-Bernoulli utilisé en résistance des matériaux :

- matériau continu (continu par morceaux) ;
- matériau homogène ;
- matériau isotrope ;
- comportement élastique linéaire (Acier).

En définissant le torseur de cohésion avec la convention suivante :

$$\{\mathbf{T}_{Cohésion}\} = \{\mathbf{T}_{Partie\ droite \rightarrow Partie\ gauche}\}$$

L'équilibre d'un tronçon conduit au moment fléchissant suivant : $M_z(x) = F_i \cdot (L - x)$.

La déformée de la poutre en flexion s'obtient à partir de la relation de comportement suivante :

$$M_z(x) = E \cdot I_{(G,\bar{z})} \cdot y''(x).$$

La poutre étudiée n'est pas à section constante (deux tubes différents : tube n°1 et tube n°2), il faudra alors effectuer l'étude en considérant les deux cas suivants :

- $x \in [0, L_1]$
 - $y(x) = y_1(x)$;
 - $I_{(G,\bar{z})} = I_{G1z}$;
 - conditions aux limites : $\begin{cases} y_1(0) = 0 \\ y_1'(0) = 0 \end{cases}$.
- $x \in [L_1, L_1 + L_2]$
 - $y(x) = y_2(x)$;
 - $I_{(G,\bar{z})} = I_{G2z}$;
 - conditions aux limites : $\begin{cases} y_1(L_1) = y_2(L_1) \\ y_1'(L_1) = y_2'(L_1) \end{cases}$.

Ces considérations permettent de déterminer la raideur d'un bras donc celle de la fourche de la moto en considérant l'axe 3 indéformable. Il convient de considérer : $y_{bras1} \cdot (L_1 + L_2) = y_{bras2} \cdot (L_1 + L_2)$.

Le calcul de la raideur du bras i correspond à : $k_i = \frac{F_i}{y_{brasi} \cdot (L_1 + L_2)}$. Avec les hypothèses formulées précédemment, il est possible de considérer la raideur de la fourche ($k_{fourche}$) comme la raideur totale des deux bras en parallèle soit :

$$k_{fourche} = 2 \cdot k_i$$

Question 8

La raideur k_i d'un bras i se détermine par : $k_i = \frac{F_i}{y_2(L)}$ avec $y_2(L)$, déformée à l'extrémité d'un bras.

Pour calculer la déformée à l'extrémité du bras i , on s'intéresse dans un premier temps à la déformée du tube n°1 $x \in [0, L_1]$:

$$M_{tz}(x) = E \cdot I_{(G,\bar{z})} \cdot y''(x) \Rightarrow \begin{cases} y_1'(x) = \frac{F_i}{E \cdot I_{G1z}} \cdot \left(L - \frac{x}{2}\right) \cdot x + a \\ y_1(x) = \frac{F_i}{2 \cdot E \cdot I_{G1z}} \cdot \left(L - \frac{x}{3}\right) \cdot x^2 + a \cdot x + b \end{cases}$$

$$\text{Les conditions aux limites imposent : } \begin{cases} y_1(0) = 0 \Rightarrow b = 0 \\ y_1'(0) = 0 \Rightarrow a = 0 \end{cases}$$

Ainsi

$$y_1(x) = \frac{F_i}{2 \cdot E \cdot I_{G1z}} \cdot \left(L - \frac{x}{3}\right) \cdot x^2$$

Calcul de la déformée tube n°2 ($x \in [L_1, L_1 + L_2]$):

$$M_{tz}(x) = E \cdot I_{(G,\bar{z})} \cdot y''(x) \Rightarrow \begin{cases} y_2'(x) = -\frac{F_i}{2 \cdot E \cdot I_{G2z}} \cdot (L - x)^2 + c \\ y_2(x) = \frac{F_i}{6 \cdot E \cdot I_{G2z}} \cdot (L - x)^3 + c \cdot (L - x) + d \end{cases}$$

$$\text{Les conditions aux limites imposent : } \begin{cases} y_1(L_1) = y_2(L_1) \\ y_1'(L_1) = y_2'(L_1) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{F_i}{2 \cdot E \cdot I_{G1z}} \cdot \left(L_2 + \frac{2 \cdot L_1}{3}\right) \cdot L_1^2 = \frac{F_i}{6 \cdot E \cdot I_{G2z}} \cdot L_2^3 + c \cdot L_2 + d \\ \frac{F_i}{E \cdot I_{G1z}} \cdot \left(L_2 + \frac{L_1}{2}\right) \cdot L_1 = -\frac{F_i}{2 \cdot E \cdot I_{G2z}} \cdot L_2^2 + c \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} c = \frac{F_i}{E} \cdot \left(\frac{L_1}{I_{G1z}} \cdot \left(L_2 + \frac{L_1}{2}\right) + \frac{L_2^2}{2 \cdot I_{G2z}}\right) \\ d = \frac{F_i}{E} \cdot \left(\frac{1}{I_{G1z}} \cdot \left(\left(L_2 + \frac{2L_1}{3}\right) \cdot \frac{L_1^2}{2} - \left(L_2 + \frac{L_1}{2}\right) \cdot L_1 \cdot L_2\right) - \frac{1}{I_{G2z}} \cdot \left(\frac{L_2^3}{6} + \frac{L_2^3}{2}\right)\right) \end{cases}$$

$$\text{Ainsi l'expression de la déformée est : } y_2(L) = d = \frac{F_i}{E} \cdot \left(\frac{L_1}{I_{G1z}} \cdot \left(\frac{L_1^2}{3} - L_2^2\right) - \frac{2 \cdot L_2^3}{3 \cdot I_{G2z}}\right)$$

$$\text{On en déduit la valeur de la raideur de la fourche : } k_{fourche} = \frac{3 \cdot E \cdot I_{G2z} \cdot I_{G1z}}{I_{G2z} \cdot L_1 \cdot (L_1^2 - 3 \cdot L_2^2) - 2 \cdot I_{G1z} \cdot L_2^3}$$

$$\text{AN : } I_{G1z} = 335619 \text{mm}^4 \text{ et } I_{G2z} = 68227 \text{mm}^4$$

$$\text{Soit } k_{fourche} = 552,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Question 9

Le paramètre géométrique lié au guidonnage est δ .

Question 10

On cherche la vitesse de glissement entre la roue et le sol soit $\overline{V}_{(I \in 3/0)}$.

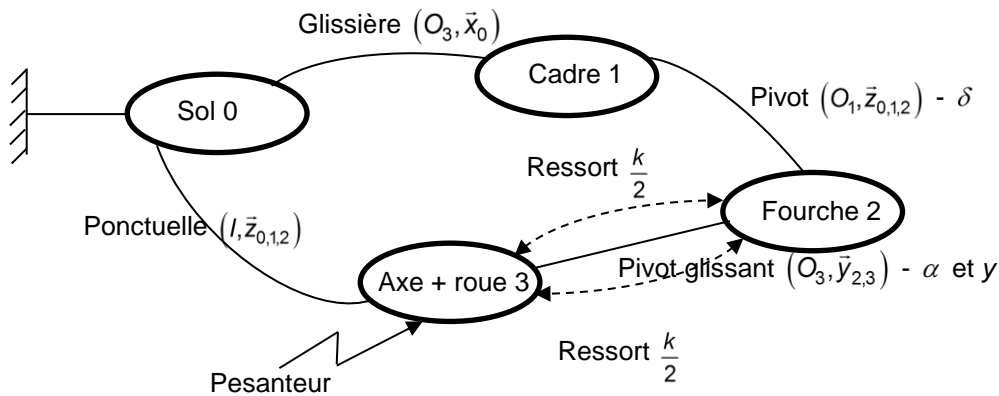
Par composition de mouvement, on a $\overline{V}_{(I \in 3/0)} = \overline{V}_{(I \in 3/2)} + \overline{V}_{(I \in 2/1)} + \overline{V}_{(I \in 1/0)}$, avec :

- $\overline{V}_{(I \in 1/0)} = V \cdot \overline{x}_{01}$ (Mouvement de translation de la moto) ;
- $\overline{V}_{(I \in 3/2)} = \overline{V}_{(O_3 \in 3/2)} + \overline{IO_3} \wedge \overline{\Omega}_{(3/2)} = \dot{y} \cdot \overline{y}_2 + R \cdot \dot{\alpha} \cdot \overline{x}_2$;
- $\overline{V}_{(I \in 2/1)} = \overline{V}_{(O_1 \in 2/1)} + \overline{IO_1} \wedge \overline{\Omega}_{(2/1)} = -y \cdot \dot{\delta} \cdot \overline{x}_2 - L \cdot \dot{\delta} \cdot \overline{y}_2$.

Ainsi dans la base 2 on trouve :

$$\overline{V}_{(I \in 3/0)} = (V \cdot \cos \delta + R \cdot \dot{\alpha} - y \cdot \dot{\delta}) \cdot \overline{x}_2 + (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) \cdot \overline{y}_2.$$

Question 11



1. Le théorème de la résultante dynamique appliqué à 3 projeté sur $\overline{y}_{2,3}$ permet de déterminer une équation de mouvement pour y ;
2. Le théorème du moment dynamique appliqué à 3 en O_3 projeté sur $\overline{y}_{2,3}$ permet de déterminer une équation de mouvement pour α ;
3. Le théorème du moment dynamique appliqué à $\{2+3\}$ en O_1 projeté sur $\overline{z}_{0,1,2}$ permet de déterminer une équation de mouvement pour δ .

Question 12

1. Théorème de la résultante dynamique appliqué à 3 projeté sur $\overline{y}_{2,3}$:

$$m \cdot \overline{\Gamma}_{(O_3 \in 3/0)} \cdot \overline{y}_{2,3} = \overline{R}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{y}_{2,3} - k \cdot y + \overline{R}(2 \rightarrow 3) \cdot \overline{y}_{2,3} + m_3 \cdot \overline{g} \cdot \overline{z}_{0,1,2} \cdot \overline{y}_{2,3} ;$$

Avec :

- $\overline{R}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{y}_{2,3} = -\frac{D}{V} \cdot \overline{V}_{(I \in 3/0)} \cdot \overline{y}_2 = -\frac{D}{V} \cdot (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta})$;
- $\overline{R}(2 \rightarrow 3) \cdot \overline{y}_{2,3} = 0$, car liaison pivot glissant supposée parfaite ;
- $\overline{\Gamma}_{(O_3 \in 3/0)} \cdot \overline{y}_{2,3} = \frac{d}{dt} (\overline{V}_{(O_3 \in 3/0)} \cdot \overline{y}_{2,3}) \Big|_0 - \overline{V}_{(O_3 \in 3/0)} \cdot \frac{d}{dt} (\overline{y}_{2,3}) \Big|_0 = \frac{d}{dt} (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) + \overline{V}_{(O_3 \in 3/0)} \cdot \dot{\delta} \cdot \overline{x}_2$.

À partir de la question 10, on trouve rapidement : $\overline{V}_{(O_3 \in 3/0)} = (V \cdot \cos \delta - y \cdot \dot{\delta}) \cdot \overline{x}_2 + (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) \cdot \overline{y}_2$

$$\frac{d}{dt} \overline{x}_2 \Big|_0 = \dot{\delta} \cdot \overline{y}_2 \text{ et } \frac{d}{dt} \overline{y}_2 \Big|_0 = -\dot{\delta} \cdot \overline{x}_2$$

$$\Rightarrow \overline{\Gamma_{(O_3 \in 3/0)}} = (-V \cdot \dot{\delta} \cdot \sin \delta - y \cdot \ddot{\delta} - \dot{y} \cdot \dot{\delta} + V \cdot \dot{\delta} \cdot \sin \delta - \dot{y} \cdot \dot{\delta} - L \cdot \dot{\delta}^2) \cdot \overline{x_2} + (-V \cdot \dot{\delta} \cdot \cos \delta + \ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta} + V \cdot \dot{\delta} \cdot \cos \delta - y \cdot \dot{\delta}^2) \cdot \overline{y_2}$$

$$\Rightarrow \overline{\Gamma_{(O_3 \notin 3/0)}} = -(y \cdot \ddot{\delta} + 2 \cdot \dot{y} \cdot \dot{\delta} + L \cdot \dot{\delta}^2) \cdot \overline{x_2} + (\ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta} - y \cdot \dot{\delta}^2) \cdot \overline{y_2}.$$

Ainsi l'équation suivante est obtenue :

$$m \cdot (\ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta} - y \cdot \dot{\delta}^2) = -k \cdot y - \frac{D}{V} \cdot (\dot{y} - L \cdot \dot{\delta} - V \cdot \sin \delta) \quad (1).$$

2. Théorème du moment dynamique appliqué à 3 en O_3 projeté sur $\overline{y_{2,3}}$:

$$\overline{\delta_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{y_{2,3}} = \overline{M_{O_3}}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} + \overline{M_{O_3}}(\text{Ressort} \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} + \overline{M_{O_3}}(2 \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} + \overline{M_{O_3}}(\text{pesanteur} \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}}$$

Avec :

- $\overline{M_{O_3}}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} = R \cdot X_{0 \rightarrow 3}$;
- $\overline{M_{O_3}}(2 \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} = 0$ car liaison pivot glissant supposée parfaite ;
- $\overline{M_{O_3}}(\text{pesanteur} \rightarrow 3) \cdot \overline{y_{2,3}} = 0$ (bras de levier nul) ;
- $\overline{\delta_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{y_{2,3}} = \frac{d}{dt}(\overline{\sigma_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{y_{2,3}}) \Big|_0 - \overline{\sigma_{O_3}}(3/0) \cdot \frac{d}{dt} \overline{y_{2,3}} \Big|_0$ car O_3 est centre d'inertie de 3.

$$\text{Or } \overline{\sigma_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{y_{2,3}} = [I_{O_3}(3)] \cdot \overline{\Omega_{(3/0)}} \Rightarrow \overline{\delta_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{y_{2,3}} = B_3 \cdot \ddot{\alpha}$$

Au final on a :

$$B_3 \cdot \ddot{\alpha} = R \cdot X_{0 \rightarrow 3} \quad (2).$$

3. Théorème du moment dynamique appliqué à $\{2+3\}$ en O_1 projeté sur $\overline{z_{0,1,2}}$:

$$\overline{\delta_{O_1}}(2+3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = \overline{M_{O_1}}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{z_{0,1,2}} + \overline{M_{O_1}}(1 \rightarrow 2) \cdot \overline{z_{0,1,2}} + \overline{M_{O_1}}(\text{pesanteur} \rightarrow 3) \cdot \overline{z_{0,1,2}}.$$

Avec :

- $$\overline{M_{O_1}}(0 \rightarrow 3) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = -y \cdot X_{0 \rightarrow 3} - L \cdot Y_{0 \rightarrow 3}$$
- $\overline{M_{O_1}}(1 \rightarrow 2) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = 0$ car liaison pivot supposée parfaite ;
 - $\overline{M_{O_1}}(\text{pesanteur} \rightarrow 3) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = 0$;
 - $\overline{\delta_{O_1}}(2+3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = \overline{\delta_{O_1}}(2/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} + \overline{\delta_{O_1}}(3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}}$;
 - $\overline{\delta_{O_1}}(2/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = 0$. masse et inertie négligeables ;
 - $\overline{\delta_{O_1}}(3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = \overline{\delta_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} + \overline{O_1 O_3} \wedge m \cdot \overline{\Gamma_{(O_3 \in 3/0)}} \cdot \overline{z_{0,1,2}}$;
 - $\overline{\delta_{O_3}}(3/0) \cdot \overline{z_{0,1,2}} = A_3 \cdot \ddot{\delta}$;
 - $\overline{O_1 O_3} \wedge m \cdot \overline{\Gamma_{(O_3 \notin 3/0)}} \cdot \overline{z_{0,1,2}} = -m \cdot L \cdot (\ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta} - y \cdot \dot{\delta}^2) + m \cdot y \cdot (y \cdot \ddot{\delta} + 2 \cdot \dot{y} \cdot \dot{\delta} + L \cdot \dot{\delta}^2)$.

Au final on a :

$$(A_3 + m \cdot (L^2 + y^2)) \cdot \ddot{\delta} - m \cdot L \cdot \ddot{y} + 2 \cdot m \cdot y \cdot (L \cdot \dot{\delta} + \dot{y}) \cdot \dot{\delta} = -y \cdot X_{0 \rightarrow 3} - L \cdot Y_{0 \rightarrow 3} \quad (3).$$

Rappel :

$$Y_{0 \rightarrow 3} = -\frac{D}{V} \cdot (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta}).$$

En combinant les 3 équations obtenues, le système d'équations suivant peut être obtenu :

$$\begin{cases} (A_3 + m \cdot (L^2 + y^2)) \cdot \ddot{\delta} - m \cdot L \cdot \ddot{y} + 2 \cdot m \cdot y \cdot (L \cdot \dot{\delta} + \dot{y}) \cdot \dot{\delta} = -\frac{y}{R} \cdot B_3 \cdot \ddot{\alpha} + L \cdot \frac{D}{V} \cdot (-V \cdot \sin \delta + \dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) \\ m(\ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta} - y \cdot \dot{\delta}^2) = -k \cdot y - \frac{D}{V} \cdot (\dot{y} - L \cdot \dot{\delta} - V \cdot \sin \delta) \end{cases}$$

Question 13

Si l'état stationnaire existe en $y = 0$ et $\delta = 0$, on a :

– Condition de roulement sans glissement en I : $\overrightarrow{V_{I \in 3/0}} = \vec{0} \Rightarrow \dot{\alpha} = \omega = -\frac{V}{R}$;

–
$$\begin{cases} (A_3 + m \cdot L^2) \cdot \ddot{\delta} - m \cdot L \cdot \ddot{y} = L \cdot \frac{D}{V} \cdot (\dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) \\ m(\ddot{y} - L \cdot \ddot{\delta}) = -\frac{D}{V} \cdot (\dot{y} - L \cdot \dot{\delta}) \end{cases}$$

Le système d'équation devient alors :

$$\begin{cases} (a) : (A_3 + m \cdot L^2) \cdot \ddot{\delta} - m \cdot L \cdot \ddot{y} - \frac{D}{V} \cdot L \cdot \dot{y} + \frac{D}{V} \cdot L^2 \cdot \dot{\delta} = 0 \\ (b) : m \cdot \ddot{y} - m \cdot L \cdot \ddot{\delta} + \frac{D}{V} \cdot \dot{y} - \frac{D}{V} \cdot L \cdot \dot{\delta} = 0 \end{cases}$$

$$(a) \times L + (b) \Rightarrow A_3 \cdot \ddot{\delta} = 0 \Rightarrow \dot{\delta} = \text{cste}.$$

L'équation (a) devient :

$$\begin{aligned} \ddot{y} + \frac{D}{m \cdot V} \cdot \dot{y} &= \frac{D}{m \cdot V} \cdot L \cdot \dot{\delta} ; \\ \Rightarrow \dot{y} &= k \cdot e^{-\frac{D}{m \cdot V} t} + L \cdot \dot{\delta}. \end{aligned}$$

$y = 0$ à $t = 0$ implique l'état stationnaire suivant :

$$\dot{y} = L \cdot \dot{\delta} \left(1 - e^{-\frac{D}{m \cdot V} t} \right).$$

Question 14

En linéarisant autour de l'état stationnaire précédent, les termes d'ordre 2 sont négligés devant les termes d'ordre 1 et 0.

Le système d'équations différentielles suivant est alors obtenu :

$$\begin{cases} (A_3 + m \cdot L^2) \cdot \ddot{\delta} - m \cdot L \cdot \ddot{y} - \frac{D}{V} \cdot L \cdot \dot{y} + \frac{D}{V} \cdot L^2 \cdot \dot{\delta} + L \cdot D \cdot \delta = 0 \\ m \cdot \ddot{y} - m \cdot L \cdot \ddot{\delta} + \frac{D}{V} \cdot \dot{y} - \frac{D}{V} \cdot L \cdot \dot{\delta} + k \cdot y - D \cdot \delta = 0 \end{cases}$$

Ce système peut alors se mettre sous la forme suivante matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} A_3 + m \cdot L^2 & -m \cdot L \\ -m \cdot L & m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{\delta} \\ \ddot{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L^2 \cdot \frac{D}{V} & -L \cdot \frac{D}{V} \\ -L \cdot \frac{D}{V} & \frac{D}{V} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{\delta} \\ \dot{y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L \cdot D & 0 \\ -D & k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \delta \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Question 15

La matrice $[M]$ représente la matrice de masse et permet de modéliser les termes inertiels mis en jeu dans ce problème. La matrice $[K]$ représente la matrice de raideur. La matrice $[C]$ (symétrique) représente la matrice d'amortissement.

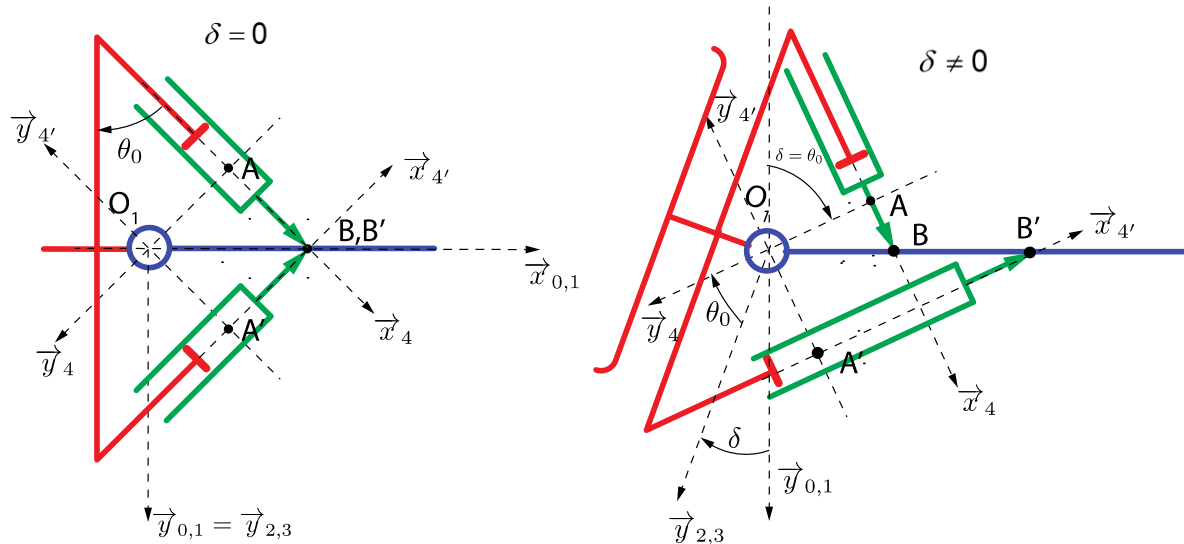
Question 16

Une rigidité élevée du cadre devant le rapport $\frac{D}{L}$ assure une meilleure stabilité de la moto. Une chasse L importante diminue le risque d'instabilité.
Le coefficient de rigidité à la dérive contribue à la stabilité du système.

Question 17

La solution consiste à mettre en place deux amortisseurs linéaires disposés symétriquement dans la configuration $\delta = 0$.

Voici une solution proposée avec la représentation dans le cas où $\delta = 0$ et $\delta \neq 0$



Question 18

Avec l'ajout de l'amortisseur précédent, seule la matrice $[C]$ est modifiée de la manière suivante :

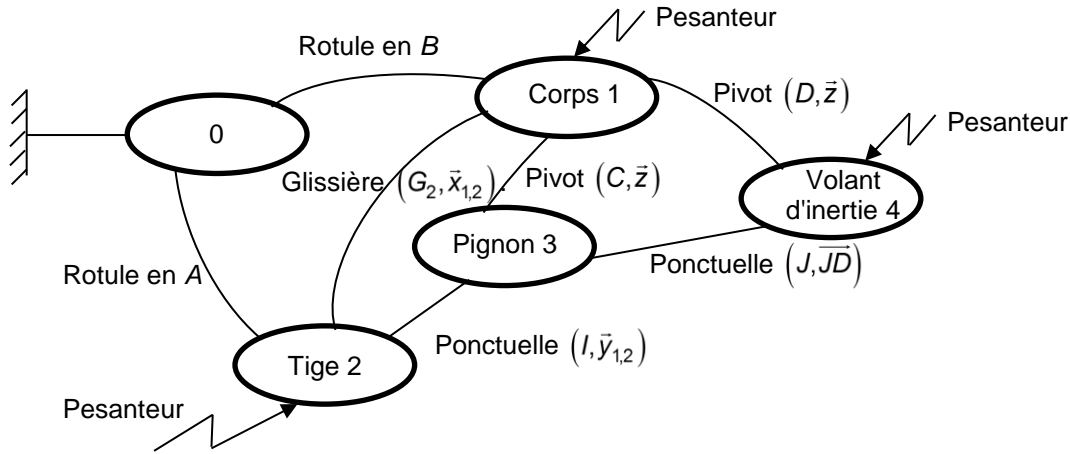
$$\begin{pmatrix} L^2 \cdot \frac{D}{V} + C & -L \cdot \frac{D}{V} \\ -L \cdot \frac{D}{V} & \frac{D}{V} \end{pmatrix}$$

Question 19

D'après le tableau, l'amortisseur génère un effet inverse pour les deux modes.
Dans le mode de guidonnage, on remarque bien que l'amortisseur a un effet bénéfique ce qui semble cohérent puisqu'il a été choisi pour agir sur ce mode.
En revanche dans le cas du louvoiement, l'amortisseur a tendance à rendre plus instable les vibrations.

Question 20

Le schéma cinématique figure 8 conduit à considérer un problème plan.



L'équation du mouvement demandée peut être déterminée à partir d'un théorème de l'énergie cinétique appliquée à l'ensemble $E = \{1 + 2 + 3 + 4\}$ dans le référentiel R_0 :

$$\frac{d}{dt} E_c(E/R_0) = P_{\text{ext} \rightarrow E/R_0} + P_{\text{int}}(E).$$

Question 1 Calculs cinématiques préliminaires :

- Condition de roulement sans glissement en I $\overrightarrow{V}_{(I \in 3/2)} = \vec{0} = \overrightarrow{V}_{(I \in 3/1)} - \overrightarrow{V}_{(I \in 2/1)}$;
 - $\overrightarrow{V}_{(I \in 3/1)} = \overrightarrow{V}_{(C \in 3/1)} + \overrightarrow{IC} \wedge \overrightarrow{\Omega}_{(3/1)} = \vec{0} + r_3 \cdot \vec{y}_{1,2} \wedge \omega_{31} \cdot \vec{z} = r_3 \cdot \omega_{31} \cdot \vec{x}_{1,2}$;
 - $\overrightarrow{V}_{(I \in 2/1)} = \overrightarrow{V}_{(A \in 2/1)} = v_A \cdot \vec{x}_{1,2} + v_{Ay} \cdot \vec{y}_{1,2}$ car 2 en translation / 1 (et 1 fixe / R_0) ;
 - $v_{Ay} = 0$. et $v_A = r_3 \cdot \omega_{31}$;
- Condition de roulement sans glissement en J
 - $r_3 \omega_{31} = r_4 \omega_{41}$.

Question 2 $E_c(E/R_0) = E_c(1/R_0) + E_c(2/R_0) + E_c(3/R_0) + E_c(4/R_0)$;

- $E_c(1/R_0) = 0$ car 1 est immobile par rapport à R_0 ;
- $E_c(2/R_0) = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \overrightarrow{V}_{(G_2/2/0)} \cdot \overrightarrow{V}_{(G_2/2/0)} = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_A^2$ car 2 est en translation par rapport à 1 donc par rapport à R_0 ;
- $E_c(3/R_0) = 0$ car masse et inertie négligées ;
- $E_c(4/R_0) = \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot \omega_{41}^2 = \frac{1}{2} \cdot C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \cdot v_A^2$ car 4 est en rotation autour de l'axe (D, \vec{z}) qui est fixe par rapport à R_0

$$\frac{d}{dt} E_c(E/R_0) = \left[m_2 + C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \right] v_A \cdot \dot{v}_A.$$

- $P_{\text{ext} \rightarrow E/R_0} = P_{0 \rightarrow 1/R_0} + P_{0 \rightarrow 2/R_0} + P_{\text{pesanteur} \rightarrow 1/R_0} + P_{\text{pesanteur} \rightarrow 2/R_0} + P_{\text{pesanteur} \rightarrow 4/R_0}$;
- $P_{0 \rightarrow 1/R_0} = 0 = P_{\text{pesanteur} \rightarrow 1/R_0}$: 1 est immobile par rapport à R_0 ;
- $P_{0 \rightarrow 2/R_0} = \vec{R}_{0 \rightarrow 2} \cdot \overrightarrow{V}_{(A/2/0)} = \vec{R}_{0 \rightarrow 2} \cdot v_A \cdot \vec{x}_{1,2}$;
- $P_{\text{pesanteur} \rightarrow 2/R_0} = m_2 \cdot \vec{g} \cdot \overrightarrow{V}_{(G_2/2/0)} = m_2 \cdot v_A \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2}$;
- $P_{\text{pesanteur} \rightarrow 4/R_0} = 0$: D (centre d'inertie de 4) est immobile par rapport à R_0 .

- $P_{int}(E) = 0$: toutes les liaisons sont supposées parfaites.

Ainsi on obtient :

$$\left[m_2 + C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \right] v_A \cdot \dot{v}_A = \vec{R}_{0 \rightarrow 2} \cdot v_A \cdot \vec{x}_{1,2} + m_2 \cdot v_A \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2}.$$

Soit :

$$\left[m_2 + C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \right] \cdot \dot{v}_A = \vec{R}_{0 \rightarrow 2} \cdot \vec{x}_{1,2} + m_2 \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2}.$$

Le théorème de la résultante dynamique à E en projection sur la direction $\vec{x}_{1,2}$ conduit à :

$$(m_1 + m_2 + m_4) \cdot \overline{\Gamma}_{(E/0)} \cdot \vec{x}_{1,2} = \vec{R}_{0 \rightarrow 1} \cdot \vec{x}_{1,2} + \vec{R}_{0 \rightarrow 2} \cdot \vec{x}_{1,2} + (m_1 + m_2 + m_4) \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2}.$$

Or $(m_1 + m_2 + m_4) \cdot \overline{\Gamma}_{(E/0)} = m_2 \cdot \dot{v}_A$ car G_1 et D sont fixes dans R_0 .

Ainsi l'équation suivante est obtenue :

$$\vec{R}_{0 \rightarrow 1} \cdot \vec{x}_{1,2} = -C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \cdot \dot{v}_A - (m_1 + m_4) \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2}.$$

Question 21

Le mécanisme se comporte comme un inerter si \dot{v}_A est proportionnel à $\vec{R}_{0 \rightarrow 1} \cdot \vec{x}_{1,2}$ car $\dot{v}_B = 0$.

- $\vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2} = 0$: l'axe de l'inertier est horizontal

$$C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2 \cdot \dot{v}_A \square (m_1 + m_4) \cdot g.$$

Dans ce cas, l'inertance vaut :

$$b = \frac{\vec{R}(ext \rightarrow 2) \cdot \vec{x}_{1,2}}{\dot{v}_A - \dot{v}_B} = m_2 + C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 R_4} \right)^2.$$

Question 22

$$\dot{x} = \frac{d}{dt} \overline{AB} \Big|_{R_2} \cdot \vec{x}_{1,2} = \overline{V}_{(B \in 1/2)} \cdot \vec{x}_{1,2} = \overline{V}_{(B \in 1/0)} \cdot \vec{x}_{1,2} - \overline{V}_{(B \in 2/0)} \cdot \vec{x}_{1,2}.$$

Or $\overline{V}_{(B \in 2/0)} \cdot \vec{x}_{1,2} = \overline{V}_{(A \in 2/0)} \cdot \vec{x}_{1,2} + \overline{BA} \wedge \overline{\Omega}_{(2/0)} \cdot \vec{x}_{1,2} = v_A$ car $\vec{x}_{1,2} \wedge \overline{BA} = \vec{0}$.

D'où :

$$\dot{x} = v_B - v_A.$$

À partir de la condition de roulement sans glissement en I , on obtient : $v_A = v_B - r_3 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \omega_{41}$.

Soit :

$$\dot{x} = r_3 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \omega_{41}.$$

Question 23

- $\vec{R}(ext \rightarrow 2) \cdot \vec{x}_{1,2} + m_2 \cdot \vec{g} \cdot \vec{x}_{1,2} + \frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot (\dot{\omega}_2 + \dot{\omega}_{4/1}) = m_2 \cdot \gamma_2$ est issue du théorème de la résultante dynamique appliqué à 2 projeté sur $\vec{x}_{1,2}$. L'inconnue de liaison de la ponctuelle entre 3 et 2 qui apparait est déterminée à partir d'un théorème du moment dynamique appliqué à 3 en C projeté selon $\vec{z}_{1,2}$. Enfin, l'inconnue de liaison de la ponctuelle entre 3 et 4 qui apparait est déterminée à partir d'un théorème du moment dynamique appliqué à 4 en D projeté selon $\vec{z}_{1,2}$.

- $\bar{R}(\text{ext} \rightarrow 1) \cdot \bar{x}_{1,2} + (m_1 + m_4) \cdot \bar{g} \cdot \bar{x}_{1,2} - \frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot (\dot{\omega}_z + \dot{\omega}_{4/1}) = m_1 \cdot \gamma_1 + m_4 \cdot \gamma_4$ est issue du théorème de la résultante dynamique appliqué à $\{1+3+4\}$ projeté sur $\bar{x}_{1,2}$. L'inconnue de liaison de la ponctuelle entre 3 et 2 qui apparait est déterminée à partir d'un théorème du moment dynamique appliqué à 3 en C projeté selon $\bar{z}_{1,2}$.

Question 24

En combinant les résultats des deux dernières questions, on peut exprimer f :

$$f = \bar{R}(\text{ext} \rightarrow 1) \cdot \bar{x}_{1,2} = - \left(\frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \right)^2 \cdot C_4 \cdot (\dot{v}_A - \dot{v}_B) - (m_1 + m_4) \cdot \bar{g} \cdot \bar{x}_{1,2} + \frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot \dot{\omega}_z + m_1 \cdot \gamma_1 + m_4 \cdot \gamma_4 ;$$

$$f = \bar{R}(\text{ext} \rightarrow 2) \cdot \bar{x}_{1,2} = - \left(\frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \right)^2 \cdot C_4 \cdot (\dot{v}_A - \dot{v}_B) - m_2 \cdot \bar{g} \cdot \bar{x}_{1,2} + \frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot \dot{\omega}_z + m_2 \cdot \gamma_2 .$$

Pour que ce mécanisme se comporte comme un inerter, il faut que f soit proportionnel à $\dot{v}_A - \dot{v}_B$.

Deux cas de figure sont alors possibles :

- $\bar{x}_{1,2} \cdot \bar{z}_{1,2} = 0$ donc que l'accélération de la pesanteur soit orthogonale à l'axe de l'inertier ;
- $C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 \cdot R_4} \right)^2 \cdot (\dot{v}_A - \dot{v}_B)$ est prépondérant devant $(m_1 + m_4) \cdot \bar{g} \cdot \bar{x}_{1,2}$; $m_2 \cdot \bar{g} \cdot \bar{x}_{1,2}$; $\frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot \dot{\omega}_z + m_1 \cdot \gamma_1 + m_4 \cdot \gamma_4$ et $\frac{R_3}{R_4 \cdot r_3} \cdot C_4 \cdot \dot{\omega}_z + m_2 \cdot \gamma_2$ les actions de pesanteur et les inerties liés au mouvement d'ensemble.

Dans ce cas, l'inertance vaut :

$$C_4 \cdot \left(\frac{R_3}{r_3 \cdot R_4} \right)^2 .$$

Question 25

- Cas A :

Le théorème de la résultante dynamique appliqué à la masse M projeté sur \bar{z} conduit à :

$$M \cdot \ddot{z}(t) = -k \cdot z(t) - c \cdot \dot{z}(t) + f(t) .$$

En supposant les conditions initiales nulles on en déduit :

$$\frac{Z(p)}{F(p)} = \frac{\frac{1}{k}}{1 + \frac{c}{k} \cdot p + \frac{M}{k} \cdot p^2} ;$$

avec : $K = \frac{1}{k}$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M}}$; $\xi = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\sqrt{M \cdot k}}$.

- Cas B :

Le théorème de la résultante dynamique appliqué à la masse M projeté sur \bar{z} conduit à :

$$M \cdot \ddot{z}(t) = -b \cdot \ddot{z}(t) - k \cdot z(t) - c \cdot \dot{z}(t) + f(t) .$$

En supposant les conditions initiales nulles on en déduit :

$$\frac{Z(p)}{F(p)} = \frac{\frac{1}{k}}{1 + \frac{c}{k} \cdot p + \frac{M+b}{k} \cdot p^2} ;$$

avec : $K = \frac{1}{k}$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+b}}$; $\xi = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\sqrt{(M+b) \cdot k}}$.

Question 26

D'après la question précédente, l'inertier agit sur le coefficient d'amortissement et la pulsation propre du système. Donc il va avoir une influence sur la stabilité, l'amortissement et la rapidité du système.

Question 27

Les hypothèses permettant d'arriver à ce système sont : (1) le fluide est considéré comme incompressible newtonien de viscosité η , (2) l'écoulement est laminaire, isotrope, isotherme et quasistatique et (3) la gravité est négligée.

Les conditions aux limites imposent $v_6 = r_6 \cdot \omega_{6/0}$ et $v_5 = r_5 \cdot \omega_{5/0}$.

Question 28

Du fait de l'axisymétrie de la géométrie et du chargement autour de l'axe z et du chargement cinématique selon \vec{u}_θ , le champ de vitesse peut être écrit sous la forme :

$$\vec{v}(r) = v_\theta(r) \cdot \vec{u}_\theta.$$

En introduisant cette forme de vitesse dans l'expression de la contrainte puis en écrivant l'équilibre $\text{div}(\sigma) = \vec{0}$, sa projection sur l'axe \vec{u}_θ donne :

$$-\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + v_\theta \cdot \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial r^2} - \frac{2}{r^2} \cdot v_\theta + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial v_\theta}{\partial r} = 0,$$

expression équivalente à l'expression proposée lorsqu'on la développe.

L'intégration de cette expression donne pour la vitesse la forme suivante :

$$v_\theta = A \cdot r + \frac{B}{r}.$$

En utilisant les conditions aux limites $v_\theta(r_5) = \omega_{5/0} \cdot r_5$ et $v_\theta(r_6) = \omega_{6/0} \cdot r_6$, on obtient :

$$v_\theta(r) = \frac{r_5^2 \cdot \omega_{5/0} - r_6^2 \cdot \omega_{6/0}}{r_5^2 - r_6^2} \cdot r + \frac{r_5^2 \cdot r_6^2}{r_5^2 - r_6^2} \cdot (\omega_{6/0} - \omega_{5/0}) \cdot \frac{1}{r}.$$

Question 29

$$C_{\text{fluide} \rightarrow 6} = \overline{M}_O(\text{Fluide} \rightarrow 6) \cdot \vec{u}_z = \vec{u}_z \cdot \int_{S_6} \overline{OP} \wedge (\sigma(r=r_6) \cdot \vec{u}_r) \cdot dS,$$

avec S_6 la surface entre le fluide et la pièce 6.

$$C_{\text{fluide} \rightarrow 6} = \int_{z=-h_5}^0 dz \cdot \int_{\theta=0}^{2\pi} r_6^2 \cdot \sigma_{r\theta}(r=r_6) \cdot d\theta$$

Ce qui donne :

$$C_{\text{fluide} \rightarrow 6} = -4 \cdot \pi \cdot h_5 \cdot \eta \cdot r_5^2 \cdot \omega_{6/5} \cdot \frac{(r_5 + \delta)^2}{\delta \cdot (2 \cdot r_5 + \delta)}.$$

Question 30

On isole la pièce 6 et on applique le théorème du moment dynamique en O projeté sur l'axe \vec{u}_z :

$$J_6 \cdot \frac{d\omega_{6/0}}{dt} = C_{\text{fluide} \rightarrow 6} + C'_{\text{fluide} \rightarrow 6}.$$

Avec $C'_{\text{fluide} \rightarrow 6}$ le couple exercé par le volume de fluide compris entre la pièce 6 et le carter 0.

$$J_6 \cdot \frac{d\omega_{6/0}}{dt} = -\gamma \cdot (\omega_{6/0} - \omega_{5/0}) + \gamma' \cdot \omega_{6/0},$$

avec $\gamma' = 4 \cdot \pi \cdot h_6 \cdot \eta \cdot \frac{r_6^2 \cdot (r_6 + \delta_1)^2}{\delta_1 \cdot (2 \cdot r_6 + \delta_1)}$.

Le rapport d'engrènement des trains épicycloïdaux permet d'écrire :

$$\omega_{5/0} = \left(\frac{Z_0 + Z_3}{Z_3} \right)^2 \cdot \omega_{1/0} = n \cdot \omega_{1/0}.$$

D'où, en passant dans le domaine de Laplace et en considérant les conditions de Heaviside :

$$\frac{\Omega_{6/0}(p)}{\Omega_{1/0}(p)} = \frac{n \cdot \gamma}{(\gamma - \gamma') + J_6 \cdot p}.$$

Question 31

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique sur l'ensemble $\Sigma = \{1+2+3+4+5\}$, et en considérant les liaisons parfaites et les inerties négligées on obtient $P_{ext}(\Sigma) = P_{ext \rightarrow 1} + P_{ext \rightarrow 5}$ avec $P_{ext \rightarrow 1} = C_1 \cdot \omega_{1/0}$ et $P_{ext \rightarrow 5} = \gamma \cdot (\omega_{6/0} - \omega_{5/0}) \cdot \omega_{5/0}$, d'où :

$$\frac{C_1}{n} = -\gamma \cdot (\omega_{6/0} - n \cdot \omega_{1/0}).$$

Question 32

Des deux questions précédentes on obtient :

$$Y(p) = \frac{C_1(p)}{\Omega_{1/0}(p)} = -n \cdot \gamma \cdot \left(\frac{n \cdot \gamma' + J_6 \cdot n \cdot p}{(\gamma - \gamma') + J_6 \cdot p} \right).$$

En reprenant le raisonnement de la question 25 pour un inerte en série avec un amortisseur, on obtient cette forme d'admittance.

Question 33

- Modèle 1 vers Modèle 2 : prise en compte de la rigidité et de la déformation des solides composant l'inerte (ressort).
- Modèle 2 vers Modèle 3 : prise en compte du frottement visqueux dans les liaisons (amortisseur en parallèle) et prise en compte de l'inertie des autres solides (inerte en parallèle).

Question 34

Le modèle 3 semble mieux convenir car il reproduit au mieux les résultats expérimentaux, ce qui est normal car c'est le modèle le plus complet comportant moins d'hypothèses simplificatrices.

Question 35

On remarque que contrairement à l'utilisation d'un amortisseur seul, l'utilisation d'un inerte permet d'améliorer les performances dans les deux modes de louvoiement et de guidonage.

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

1. Présentation du sujet

Le sujet portait sur la modélisation des performances dynamiques des motos de course, avec une focalisation sur deux modes de vibrations particuliers, le louvoiement et le guidonnage. Après avoir déterminé la raideur latérale de la fourche d'une moto et modélisé le phénomène de guidonnage, l'étude s'attachait par la suite à vérifier l'amélioration que pouvait apporter certains composants sur ces performances.

Le sujet proposé pour cette épreuve est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externer/28/5/s2018_agreg_externer_sii_mecanique_2_917285.pdf

La problématique était abordée en quatre parties :

1. la première partie consistait à modéliser le mode de guidonnage afin d'établir la stabilité conditionnelle associée ;
2. la seconde partie permettait de vérifier l'effet bénéfique de l'introduction d'un amortisseur sur le mode de guidonnage et de mettre en évidence son effet néfaste sur le mode de louvoiement ;
3. la troisième partie s'intéressait à la modélisation d'un compensateur, association d'un inerter avec un amortisseur, et à la mise en évidence de ses performances sur un système simple 1D ;
4. enfin la quatrième partie portait sur l'analyse de l'apport de ce composant sur les performances dynamiques globales de la moto.

2. Analyse globale des résultats

L'évaluation des copies montre une très forte hétérogénéité. Un petit nombre de candidats bien préparés traite correctement les deux tiers du sujet, mais pour un bon nombre de candidats, visiblement non préparés, les fondamentaux ne sont pas acquis.

La qualité de la présentation est aussi très variable. Certains candidats montrent à cette occasion leur capacité à proposer des schémas clairs et pédagogiques, ainsi que des raisonnements bien construits, quand d'autres au contraire, sont très confus. Il s'agit pourtant d'une qualité indispensable pour un futur lauréat de l'agrégation.

Une majorité des candidats a abordé le sujet de façon linéaire en suivant l'ordre des questions. La progressivité du questionnement autorisait cette démarche et a permis aux candidats les plus brillants d'exprimer toutes leurs qualités. Néanmoins, il est à remarquer que l'utilisation des outils de description des modèles mécaniques (schéma cinématique, graphe de structure) est mal connue et mal maîtrisée par un nombre non négligeable de candidats.

Les réponses aux questions d'analyse de solution technologiques sont souvent très générales et trop peu étayées technologiquement et scientifiquement.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 1

Partie 1.1 : Souplesse de la fourche de moto

Le questionnement proposait au candidat d'analyser les choix de modélisation réalisés pour arriver au problème de poutre encastree permettant finalement de calculer la raideur latérale de la fourche de moto. Une partie des candidats n'a pas identifié le bon mode de déformation de la fourche, la faisant travailler en compression plutôt qu'en flexion. D'autre part, certains candidats pensent que les étapes de dimensionnement d'une structure mécanique ne s'effectuent que dans les cas d'utilisation courants et non dans les cas les plus défavorables en termes de sollicitations mécaniques. Les analyses de modélisation sont restées dans l'ensemble assez générales ne permettant pas de mettre en évidence les raisonnements technologiques et scientifiques requis pour répondre aux questions.

Les équations de la RdM sont généralement connues mais ne sont pas toujours appliquées correctement.

Partie 1.2 : Modélisation du guidonnage

Le questionnement proposait au candidat de mettre en place les équations de la dynamique permettant ensuite d'établir la condition de stabilité du mode de vibration dit de guidonnage.

Cette partie a été traitée par une majorité des candidats. Il est regretté le manque de précision dans la définition et l'application des théorèmes utilisés pour obtenir les équations proposées.

Partie 2

Le sujet demandait au candidat de proposer une implantation possible afin de réaliser un amortisseur rotatif à partir d'un amortisseur rectiligne puis d'analyser l'effet de l'introduction de l'amortisseur sur les performances dynamiques globales de la moto (mode de guidonnage et de louvoiemment).

Cette partie a été traitée par une majorité des candidats. Ils ont présenté une assez bonne maîtrise des outils de représentation des solutions technologiques même s'il est à regretter qu'un certain nombre de propositions étaient cinématiquement bloquées.

Partie 3

Partie 3.1 : Modélisation d'un inerte linéaire

Le questionnement permettait au candidat, en se basant sur le schéma cinématique d'un composant simple fourni, de définir sous quelles conditions celui-ci se comportait comme un inerte. Ici également il est à regretter le manque de précision dans la définition des théorèmes à utiliser pour obtenir les équations proposées.

Partie 3.2 : Effet de l'association d'un amortisseur linéaire et d'un inerte sur un système dynamique simple

Le questionnement proposait de mettre en évidence l'effet de l'introduction d'un inerte sur les performances mécaniques d'un système masse-ressort-amortisseur 1D, en passant par le formalisme de Laplace.

Une grande majorité des candidats a traité cette partie mais moins de la moitié d'entre eux a su déterminer et mettre en application l'équation de comportement de l'inerte.

Partie 3.3 : Modélisation d'un compensateur rotatif de moto

Le questionnement proposait dans un premier temps au candidat d'établir la loi entrée-sortie du compensateur rotatif de moto à partir de la modélisation fournie et de montrer qu'il était équivalent à l'association en série d'un inerte et d'un amortisseur. Il était ensuite demandé d'analyser sous quelle(s) condition(s) cette modélisation pouvait évoluer vers des associations plus complexes.

Peu de candidats ont traité cette partie qui commençait par de la mécanique des milieux continus, en l'occurrence, de la mécanique des fluides. Les candidats qui l'ont traitée l'ont en revanche fait de manière assez satisfaisante même si le manque de temps se fait sentir sur certaines copies.

Partie 4

Le questionnement proposait aux candidats de vérifier l'effet bénéfique de l'introduction du compensateur sur les performances dynamiques globales de la moto. Cette question a été traitée par les deux tiers des candidats et de manière satisfaisante.

Commentaires généraux

Le jury encourage 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. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet. De nombreuses questions sont indépendantes et il est souvent possible de conclure malgré des résultats intermédiaires manquants.

Le jury apprécie les copies des candidats qui justifient, ou même simplement expliquent, les démarches adoptées pour répondre aux questions posées. Le jury attend pour cette épreuve que les candidats montrent de la rigueur et de la précision dans les réponses aux questions d'analyse des modèles et dans la démarche de mise en données des problèmes.

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

Si la majorité des candidats présente des copies claires, rédigés proprement, certains rendent des copies comportant de nombreuses ratures, fautes d'orthographe, voire des écrits presque illisibles, ce qui est inadmissible de la part de futurs enseignants.

4. Conclusion

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

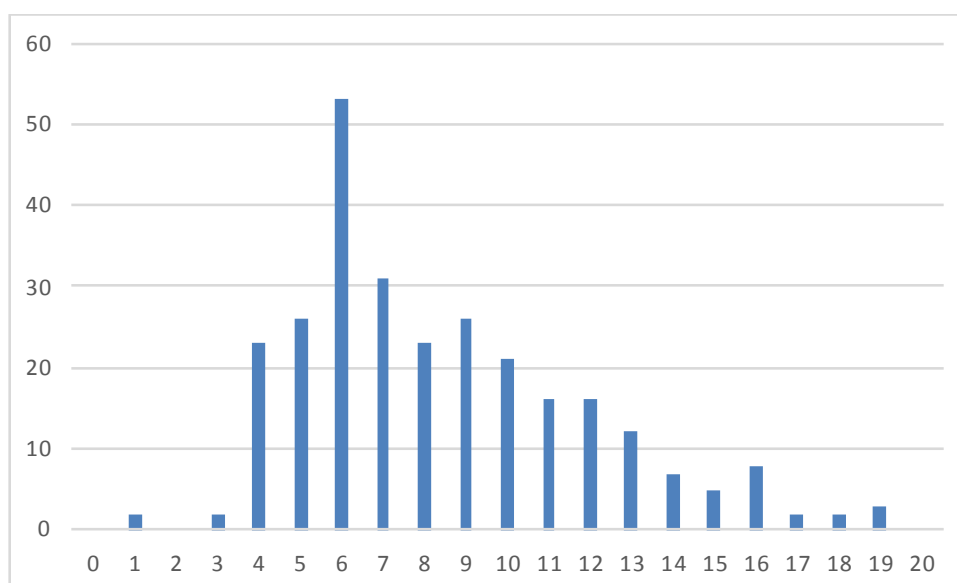
Le jury invite vivement les candidats à se préparer avec sérieux et rigueur et à s'inscrire dans les dispositifs de formation ou de préparation qui leurs sont mis à leur disposition.

5. Résultats

278 copies ont été évaluées. La moyenne de l'épreuve s'établit à 8,0/20 avec un écart-type est de 3,5/20 avec :

- 18,6/20 comme meilleure note ;
- 1,0/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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

Question 1

On a $M\vec{Q}G = m_{Cy} \vec{Q}G_{Cy} + m_v \vec{Q}G_v + m_{Br} \vec{Q}G_{Br}$; donc $\vec{Q}G = \frac{m_{Cy}}{M_E} \vec{Q}G_{Cy} + \frac{m_v}{M_E} \vec{Q}G_v + \frac{m_{Br}}{M_E} \vec{Q}G_{Br}$.

Application numérique : $M_E = m_{Cy} + m_v + m_{Br} = 173 \text{ kg}$ et $\vec{Q}G = 714\vec{x}_0 + 692\vec{z}_0$ en mm.

Question 2

On isole successivement les roues avant et arrière. Elles ne sont soumises qu'à l'action du sol et à l'action transmise via la liaison pivot (si on néglige la masse des roues). Les roues étant soumises à deux glisseurs, d'après le PFS, les actions mécaniques passent donc par (QN) pour la roue arrière et (MN) pour la roue avant.

On isole l'ensemble {Cycliste, vélo, roues et bi-roue}.

On réalise le bilan des actions mécaniques :

- action du sol sur la roue avant ;
- action du sol sur la roue arrière ;
- action du poids des différents éléments.

On applique le principe fondamental de la statique au point Q :

- TRS en projection sur \vec{z}_0 : $F_{S \rightarrow Av} + F_{S \rightarrow Ar} - P = 0$;
- TMS en Q en projection sur \vec{z}_0 : $-b \cdot F_{S \rightarrow Av} + x_G \cdot P = 0$.

On résout le système et on a : $F_{S \rightarrow Av} = \frac{x_G \cdot P}{b} = 1062 \text{ N}$ et $F_{S \rightarrow Ar} = P - F_{S \rightarrow Av} = 635 \text{ N}$.

Question 3

On isole la roue arrière.

On réalise le bilan des actions mécaniques extérieures :

- action du sol sur la roue arrière ;
- action du vélo sur la roue (liaison pivot).

On applique le PFD. L'effet de la masse étant négligé, on peut se ramener au cas de la statique où la roue est soumise à deux glisseurs. On a donc $\vec{F}_{S \rightarrow ar} = N_{ar} \vec{z}_0$ et $T_{ar} = 0$.

On isole la roue avant.

On réalise le bilan des actions mécaniques :

- action du sol sur la roue avant : $\vec{F}_{S \rightarrow av} = N_{av} \vec{z}_0 + T_{av} \vec{x}_0$;
- action du vélo sur la roue (liaison pivot) ;
- couple de freinage sur la roue avant.

On applique le théorème du moment dynamique au point M en projection sur \vec{y}_0 (on néglige l'inertie) :

$$C_f + R_{av} T_{Av} = 0.$$

Question 4

On applique le théorème du moment dynamique en P en projection sur \vec{y}_0 :

$$N_{ar} b - P(b - x_G) = M a z_G.$$

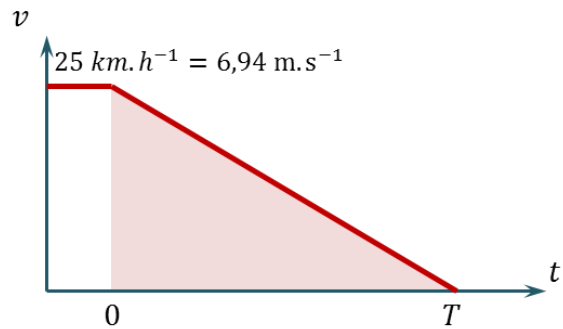
Question 5

$$N_{Ar}=0 \text{ N} \rightarrow a = -\frac{P(b-x_G)}{Mz_G} = -6,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

On détermine le temps nécessaire pour passer de 0 à $6,94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$: $6,94 - aT = 0 \Leftrightarrow T = \frac{6,94}{a}$.

On détermine la distance parcourue lors du freinage. Pour cela, on calcule l'aire sous la courbe

$$\text{On a alors } d = \frac{1}{2}Tv = \frac{1}{2}\frac{v^2}{a} = 3,97 \text{ m}.$$



Pour déterminer N_{av} et T_{av} , on écrit les équations du PFD en résultante :

- sur \vec{x}_0 , $T_{av} = Ma = -173 \times 6,1 = -1055 \text{ N}$;
- sur \vec{y}_0 , $N_{av} + N_{ar} - P = 0$ et $N_{av} = P = 1697 \text{ N}$.

Question 6

$$d = 7 \text{ m} = \frac{1}{2}\frac{v^2}{a} \text{ et } a = \frac{v^2}{2d} = 3,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$N_{ar} = \frac{Maz_G + P(b-x_G)}{b} = 274 \text{ N}$$

Cela correspond à $\frac{635-274}{635} = 57 \%$ de l'effort statique.

Question 7

Fermeture de chaîne vectorielle :

$$\vec{IK} + \vec{KF} + \vec{FD} + \vec{DH} + \vec{HJ} + \vec{JI} = \vec{0} \Leftrightarrow e\vec{y}_d + L\vec{y}_3 + e\vec{y}_d - \lambda\vec{y}_0 = \vec{0}.$$

En projetant dans le repère (\vec{y}_0, \vec{z}_0) :

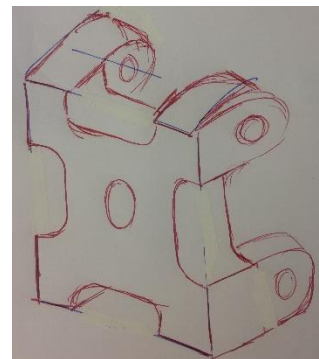
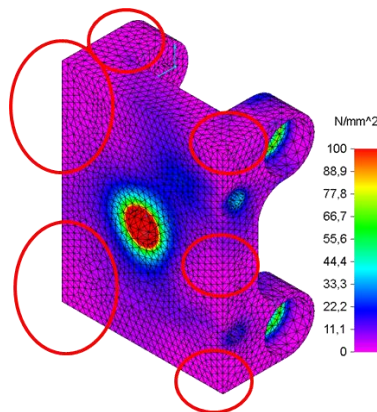
$$\begin{cases} 2e \cos \alpha + L \cos \beta - \lambda = 0 \\ 2e \sin \alpha + L \sin \beta = 0 \end{cases}$$

L'équation suivant \vec{z}_0 suffit ; on a donc : $\sin \beta = -\frac{2e \sin \alpha}{L}$.

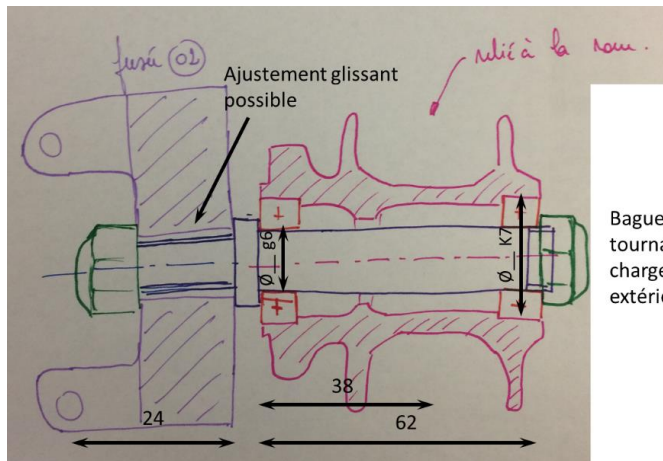
Pour $\alpha = 30^\circ$ et $\beta = 5^\circ$, $e = 41 \text{ mm}$. Pour $\beta = 10^\circ$, $e = 82 \text{ mm}$.

Question 8

Au vu des simulations, il est possible de modifier les zones encadrées pour minimiser la masse de la pièce



Question 9



Question 10

En suivant le modèle de fusée proposé et en utilisant le moyeu proposé par le fabricant, on arrive à une excentricité de 86 mm, ce qui est bien au-dessus de ce qui est préconisé par le cahier des charges. Si on veut satisfaire l'exigence sur le confort du passager et conserver le moyeu de roue, il est donc nécessaire de modifier la géométrie de la fusée.

Question 11

L'énergie de déformation de la poutre en flexion s'écrit :

$U = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M_f^2}{EI} dx = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M_0^2 x^2}{EIL^2} dx$ avec $M_f(x) = \frac{M_0 x}{L}$ le moment de flexion dans la poutre et M_0 le moment résultant généré par la rotation θ_0 en B.

On a donc : $U = \frac{M_0^2 L}{6EI}$. Or $\frac{\partial U}{\partial M_0} = \theta_0$ donc $\theta_0 = \frac{M_0 L}{3EI}$ soit $M_0 = \frac{3EI\theta_0}{L}$ avec $I = \frac{bh^3}{12}$.

Avec $b=20$, $h=0,6 \rightarrow I=0,36 \text{ mm}^4$ donc $M_0=786 \text{ N}\cdot\text{mm}=0,786 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Question 12

$$L_G = 784 \text{ mm} \rightarrow F_G = \frac{2M_0}{L_G} = 2,0 \text{ N.}$$

Question 13

Pour une lame de chaque côté, l'effort à fournir est de 2 N. Pour ne pas dépasser les 60 N (30 N par bras pour une femme), il faut implanter maximum 30 lames de chaque côté.

Question 14

On isole le bi-roue (roues + mât vertical).

Bilan des Actions Mécaniques Extérieures :

- effort de la route sur la roue en P donné par $\vec{F}_{av} = T_{av}\vec{x}_0 + N_{av}\vec{z}_0 = -1055\vec{x}_0 + 1697\vec{z}_0$ en N ;
- liaison dans l'attache rapide en A donné par $\{\tau_{f \rightarrow m}\}_{A_r} = \begin{Bmatrix} F_x & 0 \\ F_y & 0 \\ 0 & C \end{Bmatrix}_{A_r}$;
- poids du bi-roues chargé en G_{Br} donné par $\vec{P}_{Br} = -P_{Br}\vec{z}_0$;
- effort de la fourche sur le mât vertical en J donné par $\vec{F}_J = F_J\vec{x}_4$ avec $\vec{x}_4 = \cos(\varphi)\vec{x}_0 + \sin(\varphi)\vec{z}_0$.

Moments en Ar autour de \vec{y}_0 :

- de \vec{F}_{av} : $M_{A_r}(\vec{F}_{av}) = (L_x N_{av} - L_z T_{av})\vec{y}_0$ avec $L_x = l_1 \cdot x_{Gbr} + b$ et $L_z = -l_2 - z_{Gbr}$;
- de \vec{P}_{Br} : $M_{A_r}(\vec{P}_{Br}) = -l_1 P_{Br}\vec{y}_0$;
- de \vec{F}_J : $M_{A_r}(\vec{F}_J) = F_J(-l_3 \cos(\varphi) - l_4 \sin(\varphi))\vec{y}_0$.

PFD en Ar en négligeant l'inertie de rotation du bi-roue :

- $T_{av} + F_x + F_J \cos(\varphi) = 0$ (1) ;
- $N_{av} + F_y - P_{Br} + F_J \sin(\varphi) = 0$ (2) ;
- $L_x N_{av} - L_z T_{av} - l_1 P_{Br} + F_J(-l_3 \cos(\varphi) - l_4 \sin(\varphi)) + C = 0$ (3).

$$(3) \rightarrow F_J = \frac{-C + l_1 P_{Br} + L_z T_{av} - L_x N_{av}}{-l_3 \cos(\varphi) - l_4 \sin(\varphi)} = -4\,072 \text{ N.}$$

Question 15

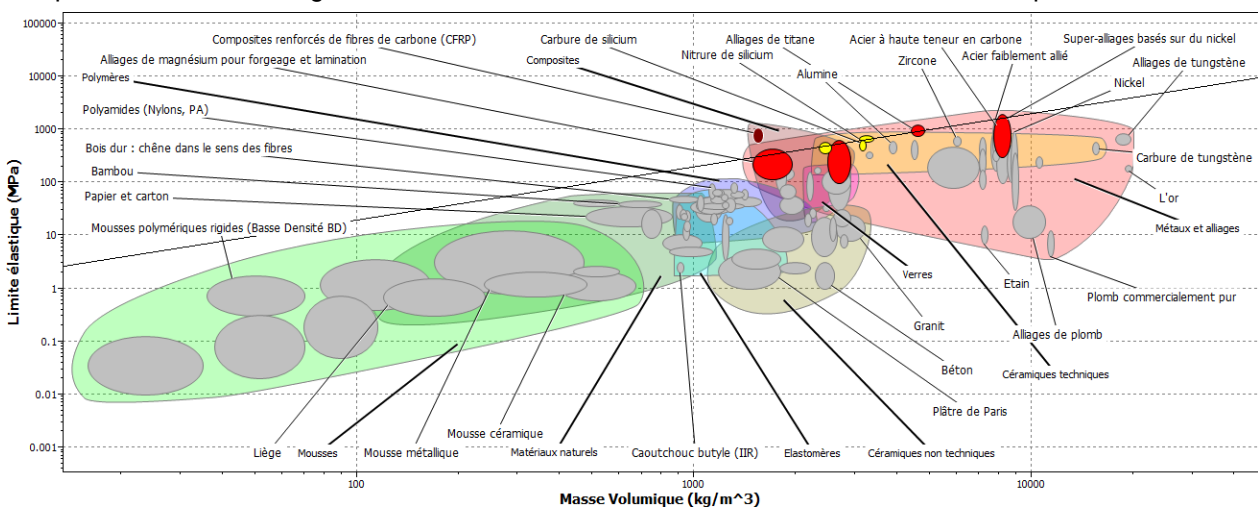
<p>Sur le tronçon MN : On isole la partie // et on réalise le BAME :</p> <ul style="list-style-type: none"> • action de $\{I \rightarrow II\}$; • action de $\{F \rightarrow II\}$. <p>On applique le PFS et on a</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\{II \rightarrow I\} = \{F \rightarrow II\}$ $\vec{M}_G = \vec{M}_P + \vec{G} \vec{P} \wedge -F \vec{y}_4$ $= ((a-\lambda) \vec{x}_4 + d \vec{z}_4) \wedge -F \vec{y}_4$ $= -F((a-\lambda) \cos \varphi + d) \vec{z}_4$ $\{II \rightarrow I\} = \left\{ \begin{array}{cc} F \sin \varphi & 0 \\ -F \cos \varphi & 0 \\ 0 & -F((a-\lambda) \cos \varphi + d) \end{array} \right\}_G$	<p>Sur le tronçon NP : On isole la partie // et on réalise le BAME :</p> <ul style="list-style-type: none"> • action de $\{I \rightarrow II\}$; • action de $\{F \rightarrow II\}$. <p>On applique le PFS et on a</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\{II \rightarrow I\} = \{F \rightarrow II\}$ $\vec{M}_G = \vec{M}_P + \vec{G} \vec{P} \wedge -F \vec{y}_4$ $= ((d-\lambda) \vec{x}_4) \wedge -F \vec{y}_4$ $= -F(d-\lambda) \vec{z}_4$ $\{II \rightarrow I\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ -F & 0 \\ 0 & -F(d-\lambda) \end{array} \right\}_G$	<p>Le tronçon <i>MN</i> est en traction et flexion. Le tronçon <i>NP</i> est en flexion simple.</p>
--	--	---

Question 16

L'objectif est de minimiser la masse du mât.

Contraintes :

- paramètres fixés : longueur du mât, effort en bout de mât, faible déformation élastique ;



- paramètre ajustable : mât section carrée de côté *c* ;

Relations physiques :

- masse : $m = \rho V = \rho(a+d)c^2$;

- contrainte :

$$\sigma_{maxi} = -\frac{M_{fz} y}{I_{Gz}} = -\frac{M_{fz} \frac{c}{2}}{\frac{c^4}{12}} = -\frac{6M_{fz}}{c^3}$$

Au final, pour exprimer la fonction objectif, on exprime *m* indépendamment de *c* :

$$\sigma_{maxi} = -\frac{6M_{fz}}{c^3} \Leftrightarrow c = \sqrt[3]{-\frac{6M_{fz}}{\sigma_{maxi}}} \text{ et au final, } m = \rho(a+d) \left(\sqrt[3]{-\frac{6M_{fz}}{\sigma_{maxi}}} \right)^2 = (a+d)\rho \left(\frac{-6M_{fz}}{\sigma_{maxi}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Question 17

En utilisant la relation précédente, on exprime σ_{maxi} en fonction de ρ conformément au diagramme d'Ashby proposé :

$$\sigma_{maxi}^{\frac{2}{3}} = \frac{a+d}{m} \rho (-6M_{fz})^{\frac{2}{3}} = \rho K$$

Ainsi, minimiser la masse revient à maximiser *K*. En diagramme semi logarithmique on a alors

$$\frac{2}{3} \log \sigma_{maxi} = \log K + \log \rho$$

On trace ainsi une droite de pente 3/2 dans le diagramme d'Ashby ce qui permet de choisir les matériaux suivants :

- composites renforcés de fibres de carbone ;
- alliages de titane ;

- aciers à haute teneur en carbone...

Question 18

On a vu que $\sigma_{maxi} = \frac{6M_{fz}}{c^3}$.

Choisissons un acier faiblement allié pour lequel la limite élastique est de 1 000 MPa (il faudrait recroiser l'étude précédente avec une étude économique pour vérifier qu'un matériau avec une telle limite élastique a un prix acceptable pour l'entreprise). Ainsi,

$$\sigma_{maxi} < \frac{\sigma_E}{2} \Leftrightarrow \frac{12M_{fz}}{\sigma_E} < c^3 \Rightarrow c > \sqrt[3]{\frac{12M_{fz}}{\sigma_E}} \Rightarrow c > \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 150\,000}{1000}} \Rightarrow c > 12,16 \text{ mm.}$$

Pour $\sigma_E = 250$ MPa (acier de moins bonne qualité) $c > 19,3$ mm.

Question 19

L'essai normatif génère une contrainte de Von Mises maximale de 148 MPa au niveau des « épaulés » de la fourche. Cet essai est réalisé à 10^5 cycles. Si on place ce point sur le diagramme de Wöhler (voir ci-dessous), on constate que cela correspond à la valeur limite en fatigue pour une fourche en aluminium. L'essai sera donc conservatif pour une fourche en acier et correspondra bien à un cas limite pour une fourche en aluminium.

Question 20

Pour une fourche équipée d'un bi-roue, on constate qu'à vitesse constante, on est dans la même gamme et distribution de contrainte que sans bi-roue, et qu'à freinage violent, la charge se répartit entre les « épaulés » et la pince d'accroche. On obtient des valeurs de contrainte de Von Mises qui ne dépassent pas celle de l'essai normatif. De plus la section de la fourche est la même entre les épaulés et l'endroit où se fixe la pince, et on peut supposer que les concentrations de contraintes sont plus importantes vers les épaulés. Il semble donc que l'essai normatif est conservatif, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de réaliser un essai de flexion 3 points pour vérifier la tenue de la fourche lorsque le bi-roue est monté.

Question 21

En utilisant une méthode cinématique, on a :

- nombre de cycles $v=1$;
- nombre de mobilités cinématiques $m_c=1$;
- nombre d'inconnues cinématiques (6 liaisons pivot) : $I_c=4$.

On peut donc exprimer le degré d'hyperstatisme :

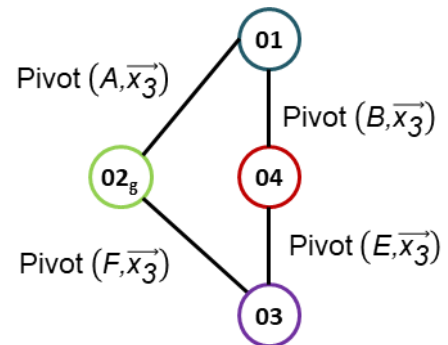
$$h = m_c + 6v - I_c = 1 + 6 - 4 = 3.$$

En utilisant une méthode statique, on a :

- nombre de pièces $p=4$;
- nombre de mobilités (pas de mobilité interne, une seule mobilité utile) $m=1$;
- nombre d'inconnues statiques (4 liaisons pivot) $I_s=20$.

On peut donc exprimer le degré d'hyperstatisme :

$$h = m - 6(p-1) + I_s = 1 - 18 + 20 = 3.$$



Question 22

Bilan des torseurs cinématiques :

- liaison pivot en F $\{V(2/3)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(2/3)} = \dot{\theta}_{23} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 2/3)} = \vec{0} \end{array} \right\}_F$;
- liaison pivot en A $\{V(1/2)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/2)} = \dot{\theta}_{12} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(A, 1/2)} = \vec{0} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/2)} = \dot{\theta}_{12} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 1/2)} = l_2 \dot{\theta}_{12} \overrightarrow{y_2} \end{array} \right\}_F = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/2)} = \dot{\theta}_{12} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 1/2)} = l_2 \dot{\theta}_{12} (\cos \theta_{23} \overrightarrow{y_3} + \sin \theta_{23} \overrightarrow{z_3}) \end{array} \right\}_F$;
- liaison pivot en B $\{V(1/4)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/4)} = \dot{\theta}_{14} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(B, 1/4)} = \vec{0} \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/4)} = \dot{\theta}_{14} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 1/4)} = -L_1 \dot{\theta}_{14} \overrightarrow{z_1} + l_2 \dot{\theta}_{14} \overrightarrow{y_2} \end{array} \right\}_F$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(1/4)} = \dot{\theta}_{14} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 1/4)} = -L_1 \dot{\theta}_{14} (\cos(\theta_{12} + \theta_{23}) \overrightarrow{z_3} - \sin(\theta_{12} + \theta_{23}) \overrightarrow{y_3}) + l_2 \dot{\theta}_{14} (\cos(\theta_{23}) \overrightarrow{y_3} + \sin(\theta_{23}) \overrightarrow{z_3}) \end{array} \right\}_F$$
 ;

– liaison pivot en E $\{V(4/3)\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(4/3)} = \dot{\theta}_{43} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(E, 4/3)} = \vec{0} \end{array} \right\}_E = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{\Omega(4/3)} = \dot{\theta}_{43} \overrightarrow{x_3} \\ \overrightarrow{V(F, 4/3)} = -L_3 \dot{\theta}_{43} \overrightarrow{z_3} \end{array} \right\}_F$.

Par composition du torseur cinématique, on a :

- d'une part $\{V(1/3)\} = \{V(1/2)\} + \{V(2/3)\}$;
- d'autre part $\{V(1/3)\} = \{V(1/4)\} + \{V(4/3)\}$.

En projetant dans la base liée au repère R_3 :

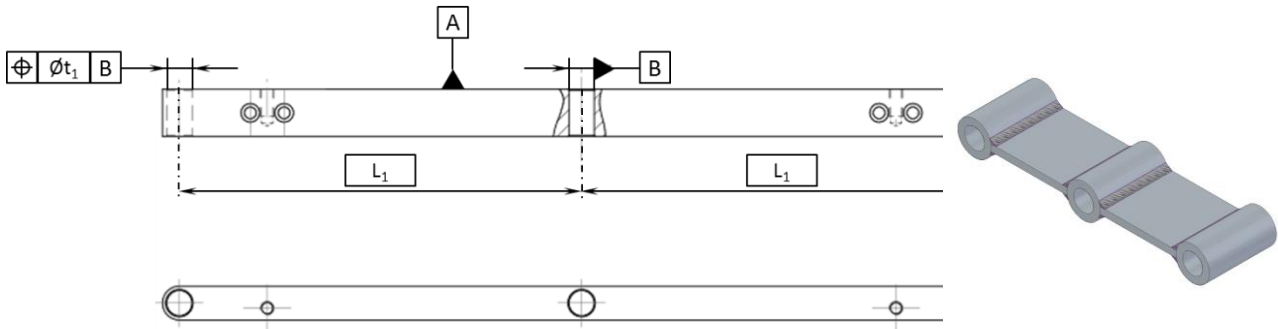
$$\begin{cases} \dot{\theta}_{12} + \dot{\theta}_{23} = \dot{\theta}_{14} + \dot{\theta}_{43} & 0=0 \\ 0=0 & l_2 \dot{\theta}_{12} \cos \theta_{23} = L_1 \dot{\theta}_{14} \sin(\theta_{12} + \theta_{23}) + l_2 \dot{\theta}_{14} \cos(\theta_{23}) \\ 0=0 & l_2 \dot{\theta}_{12} \sin \theta_{23} = -L_1 \dot{\theta}_{14} \cos(\theta_{12} + \theta_{23}) + l_2 \dot{\theta}_{14} \sin(\theta_{23}) \end{cases}$$

Question 23

On conclut des 3 équations $0 = 0$ qu'il est nécessaire de fixer 3 conditions géométriques lors de la fabrication pour tenir compte de l'hyperstatisme du mécanisme :

- une condition d'orientation autour de $\overrightarrow{y_3}$;
- une condition d'orientation autour de $\overrightarrow{z_3}$;
- une condition de position suivant $\overrightarrow{x_3}$.

Pour répondre aux deux conditions d'orientation, une spécification de localisation entre les cylindres d'axes $(F, \overrightarrow{x_3})$ et $(E, \overrightarrow{x_3})$ est nécessaire. Pour répondre à la condition de position une seconde localisation est envisageable.



Question 24

Matériau de base : plaque d'aluminium laminée.

Découpage à la scie à ruban d'un parallélépipède rectangle.

Sur centre de fraisage 3 axes : fraise 2 tailles pour obtenir les formes extérieures du parallélépipède.

Sur centre de fraisage 3 axes : centrage perçage des différents trous (foret à centrer et à percer) ; taraudage des trous taraudés ; fraisage quand nécessaire ; ébavurage des arêtes vives ;

Anodisation.

Question 25

Le procédé d'usinage permet de réaliser la bielle avec une qualité satisfaisante. Cependant le coût inhérent au procédé peut pénaliser le coût final du produit.

Le soudage permet d'utiliser des portions de profilés standard.

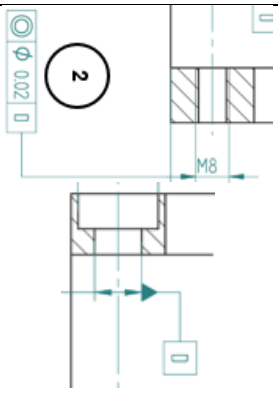
Question 26

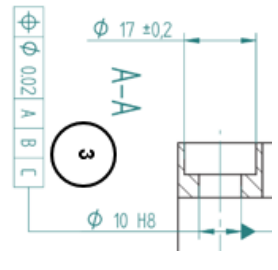
Toutes les dimensions locales réelles doivent être comprises entre 77,8 et 78,2 mm.

Cette dimension permet de limiter l'encombrement de la fusée.

Un pied à coulisse est largement suffisant pour vérifier cette spécification.

Question 27

Symbole de la spécification	Éléments non idéaux		Éléments idéaux		
Type de spécification	Éléments tolérancés	Éléments de référence	Référence spécifiée	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'ET doit appartenir à la ZT.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes et/ou positions
	Axe d'une surface nominale cylindrique.		Droite : axe du cylindre tangent extérieur matière.	Cylindre de diamètre 0,02 mm.	Le cylindre doit être coaxial avec la référence spécifiée.
<p>Contrainte fonctionnelle associée à cette spécification : Ces surfaces servent à faire passer une vis qui permettra d'assembler la fusée et les bielles du parallélogramme. Une bonne coaxialité est nécessaire pour assurer l'assemblage de la vis. Moyen de mesure : Machine à mesurer tridimensionnelle (MMT).</p>					

Symbole de la spécification	Éléments non idéaux		Éléments idéaux		
Type de spécification	Éléments tolérancés	Éléments de référence	Référence spécifiée	Zone de tolérance	
Condition de conformité	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes et/ou positions
	Axe d'une surface nominale cylindrique.	A : 2 surfaces nominale planes. B : Surface nominale plane. C : Surface nominale cylindrique.	« A » : plan des moindres carrés associé au plan médian des de l'ER A. « B » : plan tangent extérieur matière perpendiculaire à « A » et minimisant les écarts. « C » axe du cylindre tangent extérieur matière pris perpendiculaire à « A » et parallèle à « B ».	Cylindre de diamètre 0,02 mm.	L'axe de ce cylindre doit être parallèle à « C », à 58 mm de « C » et 24 mm de « B ».
<p>Contrainte fonctionnelle associée à cette spécification : Positionnement relatif des deux liaisons pivots entre les deux bielles par rapport à la fusée afin de garantir les problèmes dus à l'assemblage du parallélogramme (ces problèmes étant dus à l'hyperstatisme de la structure). Moyen de mesure : MMT</p>					

Objectif : en avant projet de conception, dans le domaine de la validation, proposer des solutions pour que le cahier des charges soit valide.

Exigences à satisfaire Domaine de l'utilisateur	Validation des exigences Domaine de la modélisation	Méthode
<p>Req 100000001 [Exigence de sécurité] [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000002 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Le freinage permettant de respecter la norme est compatible avec le non basculement du cycliste.</p>	<p>Étude du basculement en dynamique.</p>
<p>Req 100000003 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000004 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Pour satisfaire l'exigence du roulis, l'excentricité de la roue par rapport à la fusée doit être inférieure à 24 mm.</p>	<p>Étude géométrique du parallélogramme. Avant projet de conception.</p>
<p>Req 100000005 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000006 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>30 lames souples sont nécessaires au respect de la norme.</p>	<p>Étude énergétique de la déformation.</p>
<p>Req 100000007 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000008 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Justifier que l'attache rapide ne suffit pas.</p>	<p>Étude statique.</p>
<p>Req 100000009 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000010 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Pour un acier ayant une faible limite élastique, la section du mât devra être supérieure à 19,3 mm.</p>	<p>Étude de résistance des matériaux. Choix de matériau par définition d'un critère de performance.</p>
<p>Req 100000011 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000012 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>La norme ne s'applique pas au bi-roue. Une adaptation de la norme est nécessaire.</p>	<p>Étude en fatigue</p>
<p>Req 100000013 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000014 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Utiliser du mécano soudage pour réduire les coûts.</p>	<p>Analyse Produit – Matériau – Procédés.</p>
<p>Req 100000015 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p> <p>Req 100000016 [Exigence de sécurité]</p> <p>Exigence de sécurité</p> <p>Req 1 "Le cycliste doit satisfaire aux critères de sécurité suivants : " Exigence de sécurité</p>	<p>Utiliser des spécifications adaptées pour garantir l'assemblage.</p>	<p>Analyse de l'hyperstatisme par fermeture cinématique. Écriture d'une spécification géométrique.</p>

Travail à réaliser :
fabriquer un prototype, afin de valider que le système correspond aux exigences du client.

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

1. Présentation du sujet

Le sujet portait sur la validation d'éléments de cahier des charges du système « AddBike », dispositif permettant de transformer un vélo standard en triporteur. Il devient ainsi plus aisé de transporter un enfant, un colis ou des courses. Les particularités de ce système sont :

- l'adaptabilité à tout type de vélo ;
- le mécanisme permettant d'assurer la stabilité et la sécurité des personnes transportées.

Le sujet proposé pour cette épreuve est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externes/28/7/s2018_agreg_externes_sii_mecanique_3_917287.pdf

L'objectif de ce sujet était d'évaluer les compétences des candidats en validant les exigences suivantes :

- le respect des distances de sécurité. La validation de cette exigence a permis d'évaluer les compétences des candidats à proposer un modèle de connaissance et une démarche de résolution d'un problème plan de statique et dynamique des solides rigides dans le but d'obtenir une estimation des efforts exercés sur le système ;
- la stabilité du système. La validation de cette exigence a permis d'évaluer les compétences des candidats à résoudre une loi entrée-sortie géométrique dans le but de reconcevoir la liaison pivot entre la fusée et le triporteur ;
- la maniabilité de l'AddBike. La validation de cette exigence a permis d'évaluer les compétences des candidats à proposer un modèle de déformation de lames souples dans le but de dimensionner le système de suspension ;
- l'adaptabilité à tout type de vélos. La validation de cette exigence a permis d'évaluer les compétences des candidats à déterminer les contraintes dans une poutre dans le but de choisir une géométrie et un matériau ;
- la maîtrise du coût. La validation de cette exigence a permis d'évaluer les compétences des candidats d'une part, à valider un choix de conception en termes de fatigue et d'autre part, à proposer des spécifications pour assurer l'assemblage du produit ainsi qu'une gamme de fabrication pour réaliser des biellettes.

2. Analyse globale des résultats

Le sujet était construit de telle sorte que les parties puissent être traitées indépendamment les unes des autres. De plus, de nombreux résultats intermédiaires permettaient aux candidats de ne pas rester bloqués sur certaines questions.

La majorité des candidats a traité chacune des questions dans l'ordre du sujet. Les membres du jury l'ont apprécié car cela apporte une réelle cohérence dans la lecture des copies.

Les deux premières parties, permettant d'évaluer la capacité des candidats à résoudre des problèmes de mécanique « générale », ont été abordées par une grande majorité des candidats avec un niveau satisfaisant de réussite.

En revanche, les parties suivantes, au cœur de l'épreuve de conception ont été partiellement réussies. Le concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur a pour but de recruter des enseignants qui exerceront dans des filières où la conception, la réalisation ou la maintenance de systèmes sont au cœur de la formation. Il semble donc normal d'exiger des candidats d'avoir des connaissances approfondies dans tous les domaines associés au triptyque Produit – Matériau – Procédé.

Enfin, la communication étant fondamentale au métier d'enseignant, cette compétence est évaluée par le biais de la qualité des copies (lisibilité, orthographe), de la qualité des schémas et par la précision du vocabulaire. Il est donc essentiel que les candidats attachent de l'importance à restituer un travail de qualité.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Exigence 1.1 : sécurité des utilisateurs vélo et du bi-roue

L'objectif de cette partie était de déterminer les efforts exercés sur le vélo et sur l'AddBike afin de pouvoir, par la suite, justifier les choix de dimensionnement des composants.

Points positifs :

- cette partie est abordée par plus de 75 % des candidats ;
- les candidats ont une bonne perception du problème et parviennent à formuler intuitivement certaines réponses.

Points de vigilance :

- on attend de la part de futurs enseignants de savoir résoudre les problèmes de façon méthodique. Lors de la résolution d'un problème de statique ou dynamique des solides, il semble donc primordial de réaliser un graphe de structure, d'indiquer clairement la ou les pièces isolées, de réaliser un bilan exhaustif des actions mécaniques extérieures avec leur expression, de choisir de façon pertinente les équations à écrire puis de résoudre le problème ;
- lorsqu'est donnée une loi de déplacement (trapèze de vitesse par exemple), il est nécessaire de savoir déterminer efficacement les distances parcourues, les temps passés dans chacune des phases, etc.

Exigence 1.2 : stabilité des occupants ou des marchandises

L'objectif de cette partie était de déterminer l'excentricité des fusées dans le but de limiter le roulis (assurant ainsi le confort des passagers). Il était alors demandé de concevoir à main levée la liaison entre la fusée et la roue du triporteur.

Points positifs :

- la majorité des candidats est en mesure de proposer une géométrie de la fusée, compatible avec l'exigence de résistance et de minimisation de la masse ;
- la majorité des candidats propose des conceptions fonctionnelles.

Points de vigilance :

- peu de candidats parviennent à définir méthodiquement le lien entre l'angle de roulis et l'excentricité de la roue ;
- même si une conception à main levée est demandée, davantage de soin est exigé. En particulier les surfaces fonctionnelles et les liaisons doivent être identifiables.

Exigence 1.3 : maniabilité du vélo

L'objectif était de choisir le nombre de lames permettant de réaliser la suspension de l'AddBike. Cette partie présentait un pic de difficultés pour établir la relation entre un angle de rotation imposé et un moment, à l'aide d'une méthode énergétique. Moins de la moitié des candidats a traité cette partie avec un succès relatif.

Exigence 1.4 : adaptabilité à tous types de vélos

L'objectif de cette partie était de déterminer le matériau du mât assurant la jonction entre le vélo et l'AddBike. Pour cela, il s'agissait de déterminer l'expression de l'état de contrainte dans la pièce puis d'établir un critère de performance afin de choisir un matériau dans une table d'Ashby.

Points positifs :

- une majorité des candidats traitant cette partie parvient à déterminer le tenseur de cohésion et la contrainte normale dans la poutre.

Points de vigilance :

- la notion de critère de performance est peu connue ;
- les diagrammes d'Ashby ne sont pas exploités méthodiquement, les matériaux sont souvent choisis au hasard parmi ceux semblant les mieux adaptés d'après l'expérience des candidats.

Exigence 1.5 : exigences économiques – Résistance à la fatigue

L'objectif de cette partie était d'analyser des courbes issues de la théorie de Wöhler afin de déterminer si la norme existante sur les vélos était compatible avec des triporteurs.

Points de vigilance :

- peu de candidats ont traité cette partie, pourtant l'analyse des courbes proposées ne demandait que des connaissances générales sur l'essai de fatigue.

Exigence 1.5 : exigences économiques – Assemblage et Fabrication

L'objectif de cette partie était de proposer une cotation d'une bielle dans le but de garantir l'assemblage du système de parallélogramme déformable. Une proposition de gamme de fabrication était demandée ainsi qu'une évolution du procédé de fabrication en vue de diminuer le coût du produit.

Points positifs :

- une majorité des candidats a identifié que cette partie était bien indépendante des précédentes et a pu répondre aux questions posées.

Points de vigilance :

- la proposition de cotation fonctionnelle pour un produit doit par exemple permettre de résoudre des problèmes d'hyperstatisme. En effet, un grand nombre de candidats propose des cotations de toutes les surfaces fonctionnelles sans aucun lien avec le fonctionnement du mécanisme ;
 - l'analyse des spécifications manque de rigueur tant sur l'analyse que sur la précision du vocabulaire.

Synthèse :

La question de synthèse est peu traitée par les candidats. C'est dommage car on peut attendre d'un futur enseignant d'avoir un point de vue global sur l'ensemble des études réalisées.

Conseils aux candidats

Le sujet permettait d'évaluer un large spectre de compétences du programme de Sciences de l'Ingénieur. Il est donc conseillé aux futurs candidats d'avoir des connaissances sur l'ensemble du programme de l'agrégation. Au vu des résultats observés, il nous semble important que :

- les candidats maîtrisent et fassent apparaître les méthodes de résolution des problèmes de statique et de dynamique des solides rigides ;
- les candidats aient des connaissances solides sur l'ensemble du triptyque produit – matériau – procédé et en particulier :
 - les méthodes de choix d'un matériau permettant de satisfaire des exigences ;
 - les méthodes permettant de proposer des spécifications dimensionnelles et géométriques lors de la phase de conception d'un système ;
 - les méthodes de choix de procédé en fonction d'un produit et d'un matériau défini ;
 - les méthodes d'analyse des spécifications.

4. Conclusion

L'objectif de cette épreuve était de vérifier l'aptitude des candidats à proposer et justifier des solutions de conception et d'industrialisation de l'AddBike. Il couvrait donc un large spectre des compétences attendues pour un futur enseignant en Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Ce sujet a permis au candidat ayant un large panel de compétences d'obtenir d'excellents résultats.

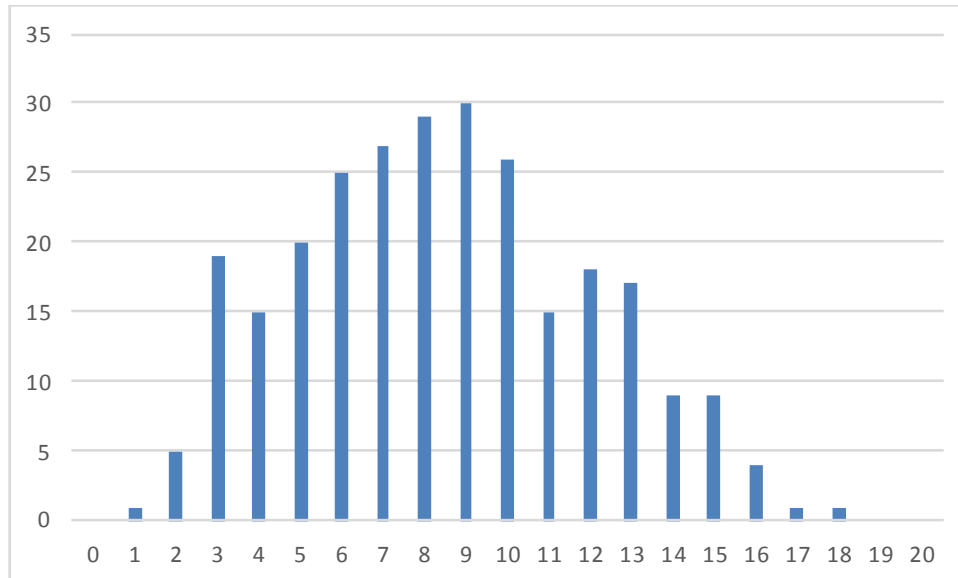
Le jury invite donc les futurs candidats à s'intéresser à une grande diversité de domaines industriels afin d'être capable de répondre à une problématique industrielle dans toute sa globalité.

5. Résultats

271 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8,0/20 et l'écart-type 3,5/20 avec :

- 17,2/20 comme meilleure note ;
- 0,1/20 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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

Incubateur à œufs

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 (0 heure 45)

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 au contexte pédagogique suivant :

- titre de la séquence – vérification des performances énergétiques d'un système ;
- niveau de formation visé : Terminale série S – enseignement spécifique de Sciences de l'Ingénieur ;
- supports pédagogiques à disposition dans le laboratoire de Sciences de l'Ingénieur. Ces supports sont judicieusement choisis pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée :
 - incubateur à œufs ;
 - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ;
 - ventilation double flux ;
 - drone didactique D2C ;
 - pompe à chaleur air-eau et eau-eau PRODILAC ;
 - direction Assistée Électrique DAE ;
 - robot tondeuse RL500 ;
 - système de portail automatisé et autonome SET ;
 - banc didactique d'étude combiné d'une éolienne et d'un panneau solaire – RE58.
- effectif – classe de 36 élèves, groupe à effectif réduit de 18 élèves ;
- volume horaire – 8 heures hebdomadaires (2 h cours + 2 h TD + 2h TP + 2h Projet Interdisciplinaire).

Documents fournis et accessibles dans le dossier Contexte pédagogique :

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme Bac SSI.pdf) ;
- le document d'accompagnement (fichier Document Ressource SSI.pdf) ;
- une proposition de liste de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier Séquences Pédagogiques SSI.pdf).

Production attendue : l'architecture de la séquence pédagogique en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- 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. (Référence Doc ressources S SI.pdf)

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 :

- le banc incubateur représenté figure 1 ;
- un oscilloscope ;
- une sonde de courant ;
- un logiciel de simulation multi-physique (Matlab Simulink V2018a) ;
- un logiciel de type tableur ;
- un wattmètre ou compteur d'énergie ;
- un thermo-hygromètre portable ;
- une balance électronique de précision.



Figure 1 – Le banc incubateur instrumenté

Un dossier technique est fourni sous forme papier. Il comprend notamment :

- la définition du contexte d'utilisation de l'incubateur ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs, etc) ;
- un dossier ressource comprenant BDD, IBD, Document Techniques, Notices d'utilisation de Matlab, procédures ou modes opératoires.


Activité 1 Découverte du banc de mesure (10 minutes)

En manipulant le matériel d'essai mis à votre disposition et en vous appuyant sur les documents de description structurelle du système (IBD, BDD) du dossier ressources :

- identifier physiquement les composants ;
- identifier la fonction de chacun des éléments des chaînes d'énergie et d'information ;
- présenter brièvement, aux examinateurs de salle, les constituants et le fonctionnement de l'incubateur.

Activité 2 Découverte du modèle de simulation (10 minutes).

Dans le répertoire Dossier candidat \ Modèles et Soft \ Fichiers MATLAB :

- ouvrir le modèle « IncubateurModèle1.slx » de l'incubateur qui vous permet de simuler le comportement hygrothermique de l'incubateur en régime permanent, lors d'une injection d'eau ;
- simuler le comportement hygrothermique de l'incubateur en vous référant à la notice de présentation du modèle et en appuyant sur le bouton dans la barre de menu en haut  .

Pour la suite il est recommandé de consulter le document ressource : « Notice de présentation des modèles MATLAB ».

- identifier les entrées sorties de cette simulation ;
- interpréter les évolutions des températures et d'hygrométrie correspondant à cette première simulation.

Activité 3 Découverte de la solution de modulation de puissance (10 minutes).

Mettre en œuvre le protocole expérimental N°1 (dossier technique).

Exploiter vos résultats de mesure afin d'évaluer les valeurs des paramètres du modèle PR (puissance de chauffe nominale de la résistance) et PV (puissance nominale du ventilateur), ainsi que la puissance moyenne de chauffe P_{mrp} en régime permanent.

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

Problématique technique et scientifique :

Caractériser et optimiser la solution technique permettant le maintien d'une hygrométrie stable au sein de l'incubateur.

La solution de maintien de l'hygrométrie utilisée par le constructeur est une injection d'eau via un brumisateur piloté en tout ou rien. L'objet de ce travail est de caractériser cette solution technique, de vérifier qu'elle permet de respecter le cahier des charges et de proposer des améliorations permettant de réduire la consommation en eau et d'améliorer le confort d'utilisation.

1. Étude de l'impact de la brumisation sur le comportement énergétique de l'incubateur

Les activités suivantes ont pour but :

- de déterminer expérimentalement le débit volume d'eau apporté par le brumisateur ;
- de mettre en évidence l'impact de la brumisation sur la consommation énergétique, l'humidité relative et la température intérieure de l'enceinte.

Activité 4 Définir et mettre en œuvre un protocole expérimental (30 minutes).

- Proposer un protocole d'essai et un mode opératoire permettant de déterminer le débit massique d'eau apporté par le brumisateuse dans l'enceinte.

Lors de cet essai, relever l'impact de la brumisation sur le comportement hygrothermique de l'incubateur (tracé des évolutions de la température et de l'hygrométrie).

Veiller à fermer les ouïes de ventilation pour éviter le renouvellement d'air.

Veiller à ne pas dépasser 10 minutes d'essai.

- Mettre en œuvre l'ensemble des manipulations nécessaires à la réalisation de cet essai.

2. Renseigner et valider le modèle de l'incubateur

Activité 5 Exploitation des résultats d'un essai pour enrichir un modèle (20 minutes).

- Exploiter et interpréter les résultats de l'essai précédent.
- Renseigner le modèle « IncubateurModèle1.slx » de manière à simuler l'essai réalisé dans l'activité N°4.

Activité 6 Comparaison du modèle et du réel (20 minutes).

- Simuler et identifier les écarts de comportement entre modèle et réel dans les conditions de l'essai.

Ouvrir la ressource « Calculette air humide.xls ».

- Utiliser la calculette air humide, et déterminer la valeur du débit d'eau obtenue par analyse de la variation des conditions hygrothermiques de l'enceinte durant l'essai.
- Identifier et analyser les erreurs intrinsèques au protocole qui mènent aux écarts constatés entre ces deux méthodes d'évaluation du débit d'eau.

3. Exploiter la modélisation de l'enceinte de manière à optimiser le choix du mode de pilotage de l'humidification

Dans sa version de base l'incubateur est piloté en mode tout ou rien. Dans cette partie il s'agit d'observer l'influence de ce pilotage sur le comportement hygrothermique de l'incubateur.

Activité 7 Exploitation de la modélisation pour améliorer la gestion de l'humidité (15 minutes).

L'objectif de cette activité est d'exploiter la modélisation de l'enceinte de manière à valider la solution technique de pilotage de l'humidité vis-à-vis des exigences du cahier des charges :

- variation de l'humidité +/-2 % pour une consigne de 50 % ;
- simuler le fonctionnement de l'enceinte thermique à l'aide des modèles PID « IncubateurModèle2.slx » et Tout Ou Rien (TOR) « IncubateurModèle3.slx » ;
- vérifier si les critères de performance attendue en humidité sont respectés, dans ces deux modes de pilotage ;
- faire une analyse multi-critères permettant de comparer ces deux solutions de pilotage.

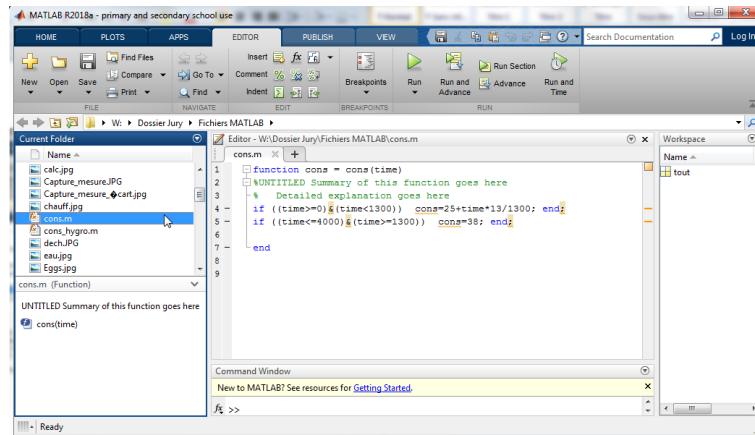
4. Profil de consigne d'hygrométrie

La consigne d'hygrométrie est de 50 % pendant la phase d'incubation et doit passer à 60 % pendant la phase d'éclosion.

Activité 8 Création d'une loi de pilotage permettant d'améliorer la gestion de l'humidité (15 minutes).

- Ouvrir le modèle « IncubateurModèle4.slx ».

Dans la fenêtre MatLab principale, ouvrir le fichier « cons.m » qui contient la fonction programmée pour le profil de la consigne de température.



- En vous aidant de cette fonction, programmer et tester une fonction MATLAB « cons_hygro.m » permettant de créer le profil de consigne de l'hygrométrie suivant :
 - o pour $t \in [0, 2000s]$, consigne_hygrométrie = 50 % ;
 - o pour $t \in]2000s, 2100s]$, consigne_hygrométrie varie linéairement jusqu'à 60 % ;
 - o pour $t > 2100s$, consigne_hygrométrie = 60%.

Activité 9 Bilan des activités menées (5').

- Conclure par rapport à la problématique initiale.

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 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.

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 de présentation 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 pluritechnique

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve « exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique » permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à :

- mettre en œuvre et conduire une expérimentation, une analyse de comportement d'un système réel ou d'un équipement, notamment à l'aide d'outils informatiques tels que des logiciels de traitement de données, de simulation, de représentation ;
- analyser et vérifier ou comparer les performances de tout ou partie de ce système pluritechnique obtenues par des mesure ou issues de modèles de comportement et de connaissance ;
- justifier ou critiquer les solutions constructives retenues et les choix relatifs à la réalisation (hypothèses, comparaison multicritère des choix techniques et des organisations, évaluations économiques, etc.) en regard du cahier des charges ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser le plan d'une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

L'exploitation pédagogique à développer, comportant une séance expérimentale s'appuyant sur le support d'activités pratiques proposé, est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) », ou aux enseignements de sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (S-SI) du lycée et des classes préparatoires aux grandes écoles.

Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte 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 se déroule en quatre temps.

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

Premier temps (durée 0h45)

Au cours de ce premier temps, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre de la séquence ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression pédagogique adaptée au niveau de formation ;

- de la situation temporelle de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- du référentiel du niveau de formation visé ;
- d'un document d'accompagnement (ressource) pour faire la classe ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit repérer les objectifs de formation au niveau imposé et recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du référentiel visé en lien avec le titre de la séquence, et proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les prérequis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression pédagogique proposée et présentés. Le candidat doit justifier ses choix de modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique.

Deuxième temps (durée 0h30)

Durant ce deuxième temps, 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 temps (durée 2h00)

Pour ce troisième temps, le candidat doit répondre aux activités proposées. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre la problématique scientifique et technique identifiée, en exploitant les résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), en mettant en évidence les écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et en proposant des solutions pour les réduire afin d'apporter une réponse aux problèmes posés.

Quatrième temps (durée 0h45)

Au cours de ce quatrième temps, 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 ;
- en précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en ilots) ;
- en décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- en détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- en proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux proposés au cours du troisième temps ;
- en explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

Pendant toute la durée de cette phase, 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.

Phase 2 – préparation de la présentation orale (durée 1 h)

Le candidat prépare et termine la présentation qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat n'a plus accès au système pluritechnologique, support de l'activité pratique et aux logiciels de simulation. Le candidat conserve cependant à sa disposition l'ensemble

des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à l'internet, des logiciels courants de bureautique et de ses résultats obtenus lors de la phase 1.

Phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1 h)

L'exposé oral, d'une durée maximale de 30 minutes, comporte :

- la présentation de la séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé (durée indicative de 0h15) ;
- la présentation de la pertinence du support par rapport à la séquence pédagogique imposée (0h05) ;
- la présentation de la séance à caractère expérimentale envisagée dans le cadre de la séquence pédagogique exposée (0h10).

L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Il est à noter que durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est pas attendu que le candidat présente de nouveau les résultats obtenus au cours des activités menées dans le cadre des deuxième et troisième temps de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà été évalués. Seule est attendue la présentation des activités qui sont envisagés en vue de la séance à caractère expérimentale s'insérant dans la séquence pédagogique exposée.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à :

- définir les objectifs de formation ;
- positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- présenter et justifier la structure de la séquence pédagogique, en précisant sa durée, la répartition des séances et de leurs objectifs pédagogiques, etc. ;
- identifier les prérequis et les conditions matérielles nécessaires pour la séance ;
- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus de ses propres investigations dans la perspective de la séquence pédagogique imposée et de la séance à caractère expérimentale développée.

Le candidat doit également s'attacher à :

- définir précisément les compétences abordées lors de la séance détaillée ;
- mettre en adéquation les objectifs visés de la séance et de la séquence ;
- exploiter et adapter au niveau de formation demandé (STI2D, S-SI et CPGE) les informations, les données et les résultats issus des activités ou des investigations conduites au cours de l'activité pratique ;
- détailler les activités proposées aux élèves lors de la séance ;
- présenter les résultats attendus des élèves ;
- présenter une synthèse ou une structuration des connaissances ;
- définir les stratégies d'évaluation des acquis des élèves (évaluation sommative, évaluation formative...) et leur lien avec d'éventuelles remédiations.

Le jury peut être amené à interroger le candidat en vue d'apprécier, d'une part sa connaissance du fonctionnement d'un EPLE (établissement public local d'enseignement), et de façon plus large les conditions d'exercice du métier d'enseignant.

Au cours de l'entretien, le candidat est amené à :

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'il a opérés.

Le jury a apprécié les candidats qui ont su positionner leur réflexion par rapport au contexte des réformes en cours et à venir.

Lors de la présentation devant le jury, le candidat dispose d'un vidéoprojecteur, d'un tableau et d'un poste informatique relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique. Le candidat accède à toutes ses productions numériques réalisées pendant l'épreuve.

Les supports retenus lors de la session 2018 sont :

- banc d'étude sismique ;
- incubateur d'œuf de volaille ;
- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique.

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 d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithme simple ou de quelques lignes de programme simple (en langage python, arduino, etc.) ;
- recalage d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

2. Analyse des résultats

Une majorité des candidats est bien préparée à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats au plus haut niveau d'expertise, mais dans l'ensemble les candidats mettent difficilement en œuvre des manipulations spécifiques qui permettent d'étayer la séance à caractère expérimental élaborée.

Certains candidats n'ont pas su intégrer la consigne qui excluait la reprise chronologique des résultats obtenus au cours des manipulations lors de la présentation orale. Ces candidats n'ont pas su mettre en perspective le ou les liens entre les manipulations effectuées et la séquence pédagogique imposée.

Le jury observe une grande disparité dans les prestations des candidats. Les candidats pertinents mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique demandée. Ils positionnent convenablement leur future exploitation pédagogique et réinvestissent de façon appropriée les résultats obtenus lors des expérimentations. Les prérequis, 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.

Un nombre très restreint de candidats ne réalise que quelques rares manipulations liées généralement à une connaissance parcellaire des champs scientifiques et techniques à mobiliser. De plus, la qualité de raisonnement et la rigueur ne sont pas au niveau que l'on peut attendre d'un candidat à l'agrégation. L'exploitation pédagogique associée est souvent décevante.

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

Compréhension du système pluritechnologique support des activités pratiques

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 de la problématique 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 et/ou un système didactisé.

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

- 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 contextualisation des activités et supports proposés est souvent omise. Elle permet d'appréhender correctement le fil conducteur 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 d'énergie et d'information, les diagrammes SysML).

Résolution des problèmes posés et exploitation des résultats

Pour cette partie de l'épreuve, le candidat est amené à :

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

Les activités permettent aux candidats de mobiliser l'ensemble des compétences fondamentales des sciences de l'ingénieur.

Lors de l'activité pratique, 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 et fonctionnels) ;
- 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 posé ;
- proposer aux examinateurs une présentation et/ou justification des protocoles ;
- présenter les résultats de façon claire et précise.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires des filières S-SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des Sciences de l'Ingénieur.

Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental

Une problématique pédagogique étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans laquelle il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental. Il précise les manipulations nécessaires et les protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique tout en étant en accord avec le niveau de formation demandé.

Ces manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance pédagogique doivent être adaptés au niveau requis. De ce fait, il est attendu que le candidat propose des protocoles qui ne soient pas la copie conforme de ceux effectués durant la phase de manipulation en laboratoire (deuxième et troisième temps de la phase 1).

Le jury attire l'attention des candidats sur l'importance première à accorder à la préparation de l'activité pédagogique. La phase de conception de la séquence pédagogique d'une heure et trente minutes dans sa globalité est suivie d'une phase de préparation de l'exposé d'une heure pour aboutir à une présentation d'une durée de trente minutes (maximum). Passer outre les recommandations portant sur les différents temps consacrés aux phases 1 et 2 est rarement pertinent et obère souvent la qualité de la présentation orale et de l'exploitation pédagogique.

Le jury invite les candidats, lors de la conception de la séquence pédagogique, à :

- définir la place de la séquence proposée dans le plan de formation annuel pour le niveau proposé ;
- préciser de façon argumentée la place de l'exploitation pédagogique dans la séquence ;
- connaître les horaires officiels, les épreuves du baccalauréat relatives aux classes de STI2D, S-SI et de classes préparatoires aux grandes écoles ;
- dégager et formaliser les objectifs pédagogiques (compétences à faire acquérir et connaissances à transmettre) ;
- analyser le choix de la modalité pédagogique en vue de répondre à l'objectif de formation de la séance ;
- préciser ses choix sur l'organisation du groupe classe lors de la séance d'activité pratique ;
- structurer une démarche cohérente conduisant à la transmission de compétences nouvelles au niveau imposé et à identifier les centres d'intérêt associés au système étudié ;
- proposer des protocoles expérimentaux ;
- connaître les différents modes d'évaluation et leur finalité pédagogique ;
- respecter la durée de préparation de l'exploitation pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats S (option sciences de l'ingénieur), STI2D, et des CPGE, ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra 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).

Présentation orale devant un jury

L'exposé oral se centre sur la problématique pédagogique proposée, les manipulations visant à répondre à la problématique scientifique et technique ayant déjà été évaluées. Cette évolution de l'exposé oral a permis de mettre en valeur les qualités d'ingénierie pédagogique des candidats. Cette organisation sera maintenue à la prochaine session.

Le jury attend, lors de cette phase de restitution des investigations menées et de présentation de la séquence pédagogique, que le candidat soit capable :

- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'explicitier les compétences, et les connaissances associées, visées par la séquence, puis par la séance, et de s'assurer du respect des textes officiels en vigueur ;
- de définir des modalités d'évaluation des niveaux de maîtrise des compétences des élèves ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- de décrire le système en présentant sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée ;
- de proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux mis en place par les élèves en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de fournir les résultats attendus.

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.

Les candidats ayant réussi cette épreuve se sont attachés à répondre et à mettre en œuvre les conseils et attendus du jury.

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 pluritechnique 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 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.

4. Conclusion

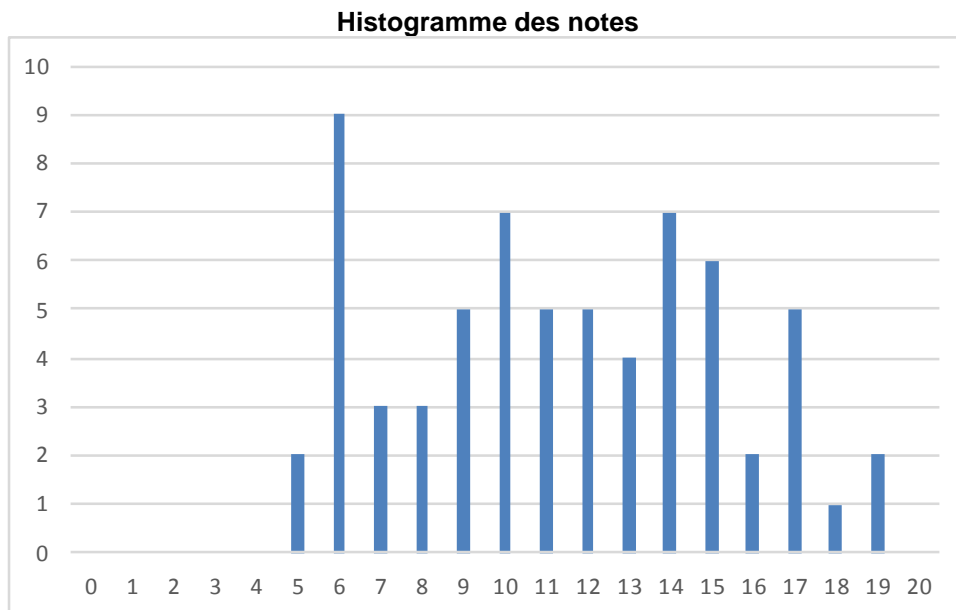
Cette session du concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur confirme les évolutions engagées lors des années précédentes. Le laboratoire unique composé de systèmes pluritechnologiques communs aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur impose au candidat une appropriation de tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque matière, énergie et information. L'ingénierie pédagogique à mettre en œuvre impose aux

candidats une bonne connaissance de l'esprit des différents programmes ou référentiels de formation et des objectifs de formation associés.

5. Résultats

66 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 11,0/ 20 et l'écart-type 3,9/20 avec :

- 19/20 comme meilleure note ;
- 4,2/20 comme note la plus basse.



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

SUPPORT ETUDIÉ – BRIDE D'ÉCHAPPEMENT



<p>Thème pédagogique :</p> <p>Étude de pré industrialisation</p>	<p>ÉTUDES PROPOSÉES</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Étude 1 – Détermination des caractéristiques mécanique d'un matériau de substitution et validation de la Courbe Limite de Formage (CLF).▪ Étude 2 – Emboutissage de la bride.
--	---

OBJECTIFS DE L'ÉPREUVE

L'épreuve a pour but de valider tout ou partie des compétences professionnelles attendues du métier de professeur, et principalement :

- maîtriser les savoirs disciplinaires et leur didactique ;
- maîtriser la langue française dans le cadre de son enseignement ;
- construire, mettre en œuvre et animer des situations d'enseignement et d'apprentissage prenant en compte la diversité des élèves ;
- organiser et assurer un mode de fonctionnement du groupe favorisant l'apprentissage et la socialisation des élèves ;
- évaluer les progrès et les acquisitions des élèves.

Le candidat est évalué sur sa capacité à développer les aptitudes suivantes :

- s'approprier un matériel ou équipement et son environnement associé 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 ;
- analyser le comportement d'une solution, d'un procédé, ou d'un processus à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie (savoir être) ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé (compétences visées et savoirs associés) à un niveau de classe donné ;
- savoir communiquer.

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 les suivantes.

Niveau : Brevet de Technicien Supérieur

« Conception des processus de découpe et d'emboutissage ».

Compétences : C9 – Définir et valider des plans « méthode » (figure 1).

Savoirs associés : l'exploitation pédagogique doit permettre de répondre aux objectifs de formation définis dans le référentiel de BTS Conception des processus de découpe et d'emboutissage. Les savoirs associés à la compétence C9 de ce sujet sont définis sur la figure 2.

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.

C9 – Définir et valider des plans « méthode ».			
Données	Compétences détaillées	Indicateurs de performance	Savoirs associés
<ul style="list-style-type: none"> • Le dossier de définition détaillée du produit. • Le processus prévisionnel. • Un plan « méthode » à valider. • Des banques de données outillages, procédés, processus. • Une description des moyens de production (presses et périphériques associés) disponibles. • Les standards de l'entreprise. 	C9.1 Extraire la maquette de conception d'un ensemble et la définition numérique des pièces constitutives à réaliser.	L'extraction de la définition numérique des pièces constitutives à réaliser permet leur exploitation, sans altération, dans un format supportable par le logiciel métier utilisé.	
	C9.2 Analyser le dossier de définition détaillée du produit.	Le décodage du dossier de définition du produit permet d'appréhender les contraintes de production (géométrie, déformation ...).	S2.2
	C9.3 Déterminer la succession des opérations.	La succession des opérations permet de réaliser le produit.	S2.3
		Les stratégies de réalisation sont pertinentes au regard des données et des contraintes.	S3.1 S3.3 S3.4
	C9.4 Simuler un processus de production.	La simulation permet de valider et d'optimiser les différentes phases du plan « méthode ».	S3.5
		La simulation permet de valider ou non les choix technologiques et les paramètres de production.	S3.6 S4.1 S4.2 S4.3
	C9.5 Estimer des performances de procédés.	Les indicateurs de performance retenus sont pertinents.	S5
		L'estimation est correcte.	S6 S7
C9.6 Déterminer les spécifications du moyen de production.	Le dimensionnement des parties actives est compatible avec les procédés choisis et les contraintes du dossier de définition.	S8	
	Les spécifications du moyen de production permettent de garantir le respect des spécifications fonctionnelles.	S10.2	
C9.7 Valider un plan « méthode ».	Les indicateurs de validation sont clairement identifiés.		
	Le plan « méthode » permet de lancer l'étude des outillages.		

Figure 1. Compétence visée extraite du référentiel du BTS

« Conception des processus de découpe et d'emboutissage »

S2.2 – Simulation numérique des procédés.					
Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveaux d'acquisition				Commentaires
	1	2	3	4	
S2.2.1 – Paramétrage d'une simulation <ul style="list-style-type: none"> • Critères de choix du type d'analyse et des données d'entrée : <ul style="list-style-type: none"> - modèles géométriques ; - paramètres de simulation : <ul style="list-style-type: none"> o matériaux (rhéologie), o contacts (tribologie), o machine-outillage (cinématique, dynamique). 					<i>La définition des paramètres d'entrées et de sorties peut être amenée à varier en fonction du procédé considéré entre l'emboutissage ou la découpe.</i> <i>Il est fait appel à de nombreux savoirs liés à la mécanique et aux matériaux (S3 et S4).</i>
S2.2.2 – Exploitation des résultats <ul style="list-style-type: none"> • Lecture et analyse : <ul style="list-style-type: none"> - des géométries déformées ; - de contours isovaleurs : épaisseurs, déformations, contraintes ; - des courbes d'efforts ; - des indicateurs de faisabilité d'une opération ou enchaînement d'opérations. 					

S3.6 – Mode de sollicitations.					
Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveau d'acquisition				Commentaires
	1	2	3	4	
S3.6.1 – Sollicitations simples <ul style="list-style-type: none"> • Traction/compression : <ul style="list-style-type: none"> - explicitation et interprétation des résultats d'un essai de traction/compression ; - notion de flambement ; - contraintes normales et déformations locales. • Cisaillement : <ul style="list-style-type: none"> - Effort tangentiel, contrainte de cisaillement, condition de résistance, condition de déformation plastique. 					<i>Il s'agit d'une sensibilisation qui aide à comprendre les résultats fournis par l'outil informatique (calcul par élément finis), notamment dans le cas de déformations plastiques et sollicitations plus complexes.</i> <i>Ce savoir est fortement lié au S4.2 et S4.3.</i> <i>Application du cisaillement aux pièces découpées.</i>
S3.6.2 – Sollicitations complexes <ul style="list-style-type: none"> • Rétreint. • Expansion. 					<i>On se limitera aux modes de déformations principalement rencontrés en emboutissage et découpe.</i>

S4.3 – Comportement plastique.					
Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveaux d'acquisition				Commentaires
	1	2	3	4	
S4.3.1 – Caractéristiques mécaniques <ul style="list-style-type: none"> • Résistance mécanique. • Résistance à la rupture. • Ductilité. • Dureté. • Résilience. 					<i>En lien avec les savoirs S3 et S5.</i> <i>Application aux métaux et alliages utilisés dans le domaine des outillages (découpe et emboutissage) et pour les produits mis en forme.</i> <i>Sur le comportement, les phénomènes physiques doivent être assimilés sans pour autant être quantifiés.</i> <i>En lien avec le programme de physique - chimie.</i>
S4.3.2 – Phénomènes spécifiques aux produits découpés et emboutis <ul style="list-style-type: none"> • Anisotropie. • Écrouissage. • Striction. • Formabilité. • Retour élastique. • Comportement visco-plastique. 					
S4.3.3 – Essais de caractérisation mécanique associés au comportement plastique					

S5.1 – Les moyens de production.					
Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveaux d'acquisition				Commentaires
	1	2	3	4	
S5.1.1 – Les presses <ul style="list-style-type: none"> • Architecture des presses (col de cygne, à arcade). • Transmission de l'énergie (mécanique, hydraulique). • Classification des presses. • Principes de fonctionnement et caractéristiques des presses. • Domaines d'utilisation des presses. • Critères et méthodes de choix. 					<i>Il s'agit d'aborder le vocabulaire spécifique des éléments constitutifs des presses.</i> <i>Les presses de tout gabarit seront abordées (col de cygne, à arcade, à colonne, à balancier, presse rapide, à coulisseaux multiples (mécanique et numérique), servopresse, synchropresse, transfert 2 ou 3 axes, presse hydraulique, simple effet, double effets, à effets multiples...).</i> <i>La maintenance, les caractéristiques détaillées des mécanismes de presse ne sont pas abordées.</i>
S5.1.2 – Contraintes de mise en œuvre des outillages <ul style="list-style-type: none"> • Réglages des presses et des outillages. • Cycle et diagramme de fonctionnement (cadence, pas, course, mouvements dans le cycle). 					<i>Mise en évidence des paramètres de réglage d'une presse (montabilité, course, effort, cinématique Inter presse sont fournis).</i>
S5.1.3 – Relation machine/outillage et équipements périphériques <ul style="list-style-type: none"> • Interfaçage de l'outillage avec la machine. • Méthodes de reconfiguration rapide du poste de travail. • Équipements périphériques et dispositifs de synchronisation des étapes. 					<i>Exemples d'équipements périphériques : dévidoir, redresseur, systèmes de lubrification, systèmes d'amenage, systèmes de contrôle, tapis d'évacuation...</i>
S5.1.4 – Automatisation et robotisation <ul style="list-style-type: none"> • Objectifs visés par l'utilisation des manipulateurs ou des robots (accroissement de la productivité, de la qualité, amélioration des conditions de travail...). 					

S7.3 – L'emboutissage.					
Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes)	Niveaux d'acquisition				Commentaires
	1	2	3	4	
S7.3.1 – Principes physiques associés au procédé					<i>On abordera la transmission des efforts dans l'embouti.</i>
S7.3.2 – Opérations élémentaires <ul style="list-style-type: none"> • Emboutissage (profond et non profond). • Ré-emboutissage. • Calibrage. 					<i>On traitera des opérations combinées.</i>
S7.3.3 – Domaines d'applications					
S7.3.4 – Contraintes technologiques <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques du matériau. • Épaisseur de la matière. • Température (emboutissage à chaud). • Jeu poinçon-matrice. • Rétreint. • Expansion. • Limite de formabilité. • Dépouille. • Rayons (d'entrée matrice, de fond de poinçon, d'attaque). • Retenue matière (serre-flan, joncs de freinage). • Lubrification. • Efforts mis en œuvre (d'emboutissage, de contre-pression, latéraux). • Vitesse d'emboutissage. • Protection pour les pièces d'aspect. 					

Figure 2. Savoirs associés à la compétence 9 du référentiel du BTS

« Conception des processus de découpe et d'emboutissage »

MISE EN SITUATION

L'objet de cette étude concerne la fabrication par emboutissage de la bride d'échappement présentée sur la figure 3. Cette bride fait partie d'un ensemble appelé « rotule » dont la fonction principale consiste à relier le moteur d'un véhicule à sa ligne d'échappement. Cet ensemble est constitué principalement d'une bride support soudée au moteur, d'une bague d'étanchéité en graphite et de la bride d'échappement (objet de l'étude), reliée à la ligne d'échappement (figure 4).

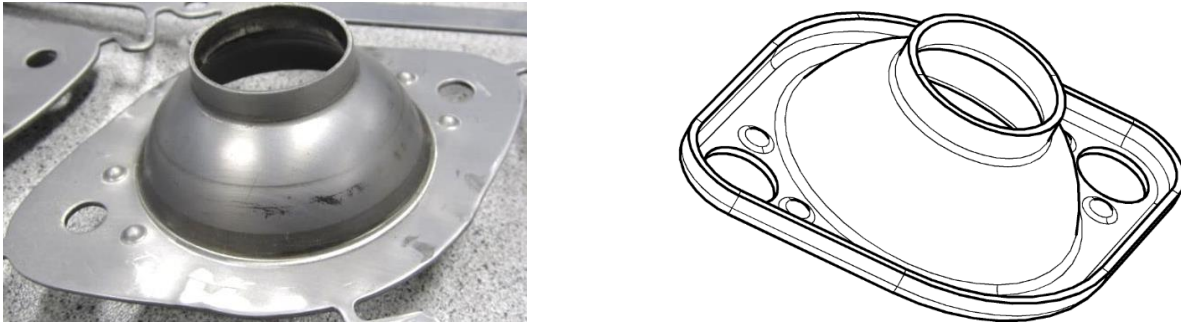


Figure 3. Bride d'échappement

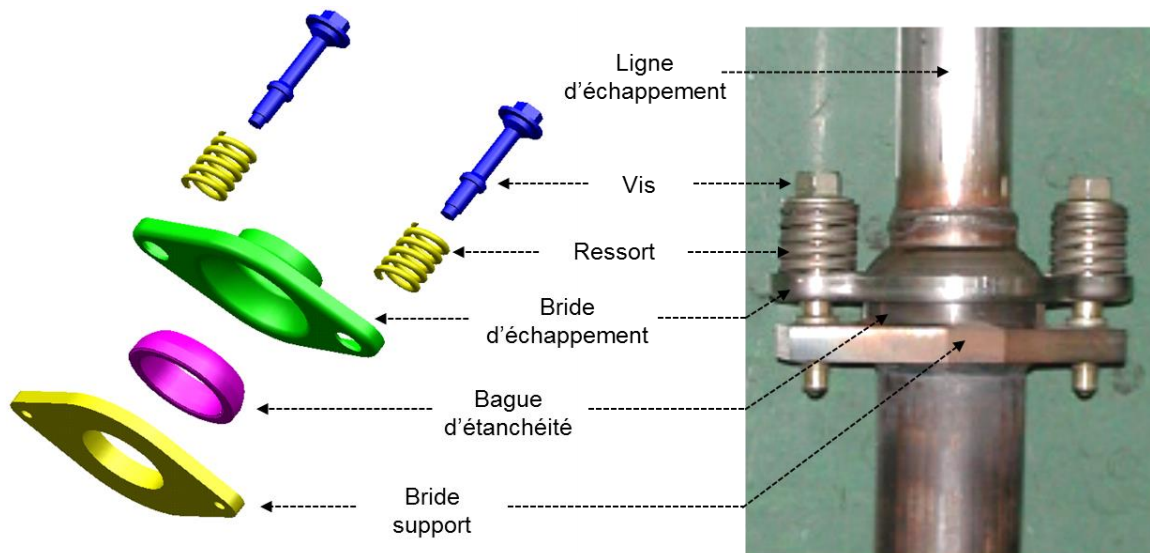


Figure 4. Montage de la bride d'échappement

Cette bride d'échappement est obtenue par des opérations successives d'emboutissage et de découpe, comme l'illustre la figure 5. La tôle utilisée actuellement par le fabricant est une tôle d'acier inoxydable austénitique de 2 mm d'épaisseur.



Figure 5. Mise en bande de la bride d'échappement

La mise en bande de la figure 5 présente les sept premières opérations permettant la mise en forme de la bride d'échappement. Ces opérations successives sont réalisées à l'aide d'un outil à suivre :

- emboutissage de la zone accueillant la bague d'étanchéité en trois passes ;
- découpe du trou central et des deux trous latéraux ;
- montée en collet de la partie supérieure en deux passes ;
- emboutissage des centreurs pour le positionnement des ressorts.

Seules les trois premières passes d'emboutissage sont considérées dans cette étude.

Le coût d'achat de la matière première utilisée pour fabriquer ces brides d'échappements représente un poste de dépense important. De plus, le nickel utilisé dans ces aciers inoxydables austénitiques est sujet à des fluctuations de prix considérables en bourse. Les aciers ferritiques, deuxième grande famille d'aciers inoxydables, sont sans nickel et ne contiennent pratiquement que du chrome.

L'objectif de cette étude est double :

- évaluer la capacité de mise en forme de cette nouvelle nuance d'acier, qui remplacerait le matériau actuel pour la fabrication des brides d'échappement et ainsi valider le triptyque produit-matériau-procédé de cette pièce. Pour cela, il est indispensable d'effectuer des simulations de mise en forme du matériau et de valider le modèle par des expérimentations sur des éprouvettes ;
- savoir si une modification de la gamme de fabrication et/ou des moyens de production doit être envisagée (au vu des nouveaux efforts mis en jeu pour l'emboutissage de cette bride).

Après avoir pris en main le matériel expérimental à disposition (1^{re} phase – 1^{re} partie), deux études successives vont être réalisées pour résoudre cette problématique (1^{re} phase – 2^e partie) :

- l'étude 1 aura pour but la détermination des caractéristiques mécaniques du matériau de substitution et la validation de la Courbe Limite de Formage (CLF) ;
- l'étude 2 aura pour but d'analyser la mise en forme de la bride d'échappement avec le matériau de substitution.

PREMIÈRE PHASE – PREMIÈRE PARTIE (≈ 0h30)

Remarque : cette partie propose des manipulations guidées dont la seule fin est de prendre en main le support. L'analyse des résultats est proposée dans la seconde partie. Le candidat est invité à poser toutes les questions relatives à la prise en main durant cette première demi-heure, de façon à être autonome par la suite.

Objectif

L'objectif de cette première partie est de :

- réaliser un essai Erichsen ;
- lancer une simulation numérique et analyser les résultats ;
- confronter les résultats expérimentaux et simulés.

Ces manipulations doivent permettre d'acquérir le maximum d'autonomie pour la suite de l'épreuve.

Présentation

L'essai d'emboutissage Erichsen est un essai qui consiste à déformer une tôle, maintenue fermement entre des serre-flans, à l'aide d'un poinçon rigide hémisphérique animé d'un mouvement de translation (figure 6). L'essai se termine lors de la fissuration de la tôle.

L'indice Erichsen ou indice d'emboutissage (IE), qui permet de caractériser la formabilité de la tôle, correspond à la profondeur (en mm) de l'embouti lors de l'apparition de cette fissure (norme DIN 50101).

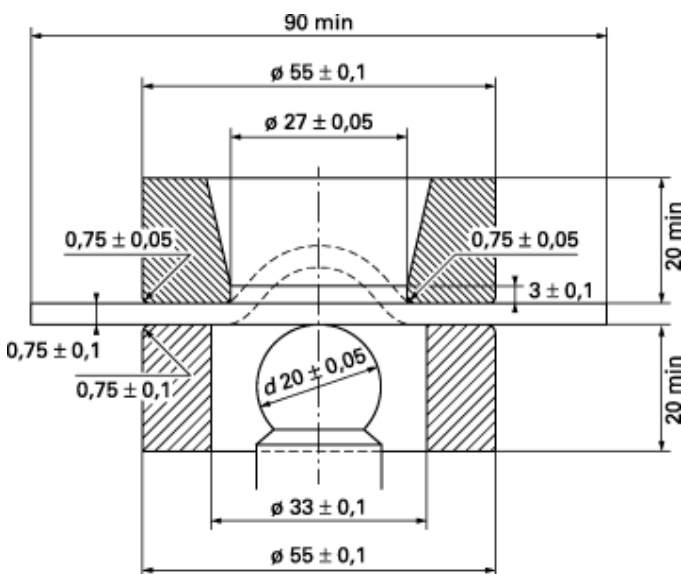


Figure 6. Principe de l'essai Erichsen

Moyens :

- la machine d'essai Erichsen instrumentée munie de son système d'acquisition (figure 7) ;
- deux flans de dimensions 70 mm x 70 mm x 2 mm de l'acier de substitution ;
- le logiciel PAMSTAMP permettant d'effectuer la simulation numérique d'opérations d'emboutissage ;
- la mise en données d'un essai Erichsen sur PAMSTAMP (dossier « 3- PAMSTAMP »).



Figure 7. Machine d'essais Erichsen

Documents ressources

L'ensemble des documents nécessaires à l'exploitation de cette partie est listé ci-dessous :

- notice machine d'essais Erichsen (dossier « 2- Notice machine d'essai Erichsen ») ;
- tutoriel du logiciel PAMSTAMP (dossier « 3- PAMSTAMP ») ;
- TI 1- Emboutissage des tôles (dossier « 5- Ressources documentaires »).

Activités à réaliser

Activité 1 : mise en œuvre d'un essai Erichsen

- Effectuer deux essais Erichsen sur les flans fournis.
- Suite à l'analyse des données enregistrées par le système d'acquisition, définir l'indice Erichsen de la tôle et relever l'effort nécessaire à la rupture de cette éprouvette.
- Lister les paramètres d'entrée fixes et variables de cet essai.

Activité 2 : simulation numérique d'un essai Erichsen

- En s'appuyant sur la partie 2 intitulée « Courbes limite de formage » du document ressource « TI Emboutissage des tôles – Importance des modes de déformation » (pages 6 à 8), expliquer l'intérêt :
 - des diagrammes de déformations dans le plan ($\epsilon_1 - \epsilon_2$) ;
 - des courbes limites de formage.
- Lancer la simulation numérique de l'essai Erichsen à partir de la mise en données fournie (logiciel PAMSTAMP).
- Déterminer l'indice Erichsen de la tôle obtenu par simulation numérique.
- Relever l'effort appliqué par le poinçon sur la tôle au moment de la rupture.

Activité 3 : confrontation expérimentation et simulation

- Comparer les valeurs obtenues par expérimentation et par simulation :
 - o sur les indices Erichsen ;
 - o sur l'effort appliqué par le poinçon sur la tôle au moment de la fissuration.
- Quelles sont les causes pouvant expliquer les différences obtenues ?

À la fin de cette première phase, le candidat doit présenter une synthèse de ses travaux à l'examinateur, selon un plan personnel, en se limitant aux manipulations effectuées et aux questions posées.

PREMIÈRE PHASE – DEUXIÈME PARTIE (≈ 2h00)

Remarque : cette partie propose un certain nombre de pistes de réflexion permettant d'élaborer une démarche d'analyse scientifique et technique. Lors de la présentation orale, les réponses apportées ne doivent pas (nécessairement) se faire suivant l'ordre indiqué dans le sujet mais suivant un plan personnel.

Cette partie se compose de deux études distinctes.

- Étude 1 : détermination des caractéristiques mécaniques du matériau de substitution (environ 1h30).
- Étude 2 : mise en forme de la bride d'échappement avec le matériau de substitution (environ 30mn).

Étude 1 : détermination des caractéristiques mécaniques du matériau de substitution

Objectif

L'objectif de cette étude est de renseigner la base de données matériaux du logiciel de simulation afin de recalibrer les résultats simulés avec les résultats expérimentaux obtenus lors des essais préliminaires (première partie). Des essais de traction ont été réalisés afin de déterminer les caractéristiques mécaniques du matériau.

Présentation

Afin de renseigner la base de données matériaux du logiciel, il est important de relever les caractéristiques mécaniques dont le logiciel a besoin pour effectuer la simulation numérique (figure 8).

La réalisation de cette 1^{re} étude va permettre de renseigner les champs suivants :

- module d'Young ;
- coefficients d'anisotropie plastique de la tôle (ou coefficients de Lankford) r_0 , r_{45} et r_{90} ;
- coefficient d'érouissage du matériau ;
- loi de comportement du matériau dans le domaine plastique.

Afin d'obtenir ces données, des essais de traction sur des éprouvettes prélevées à 0°, 45° et 90° par rapport à la direction de laminage de la tôle ont déjà été effectués (résultats fournis dans les documents ressources). Les déformations dans le sens longitudinal, via un extensomètre, et dans le sens transversal, via un rétractomètre, ont été relevées.

Remarque 1 : par convention, r_0 correspond à la direction de laminage de la tôle.

Remarque 2 : les analyses des essais de traction sur les éprouvettes prélevées à 45° et 90° par rapport à la direction de laminage ont déjà été effectuées. Les coefficients r_{45} et r_{90} sont donc connus (résultats fournis dans les documents ressources).

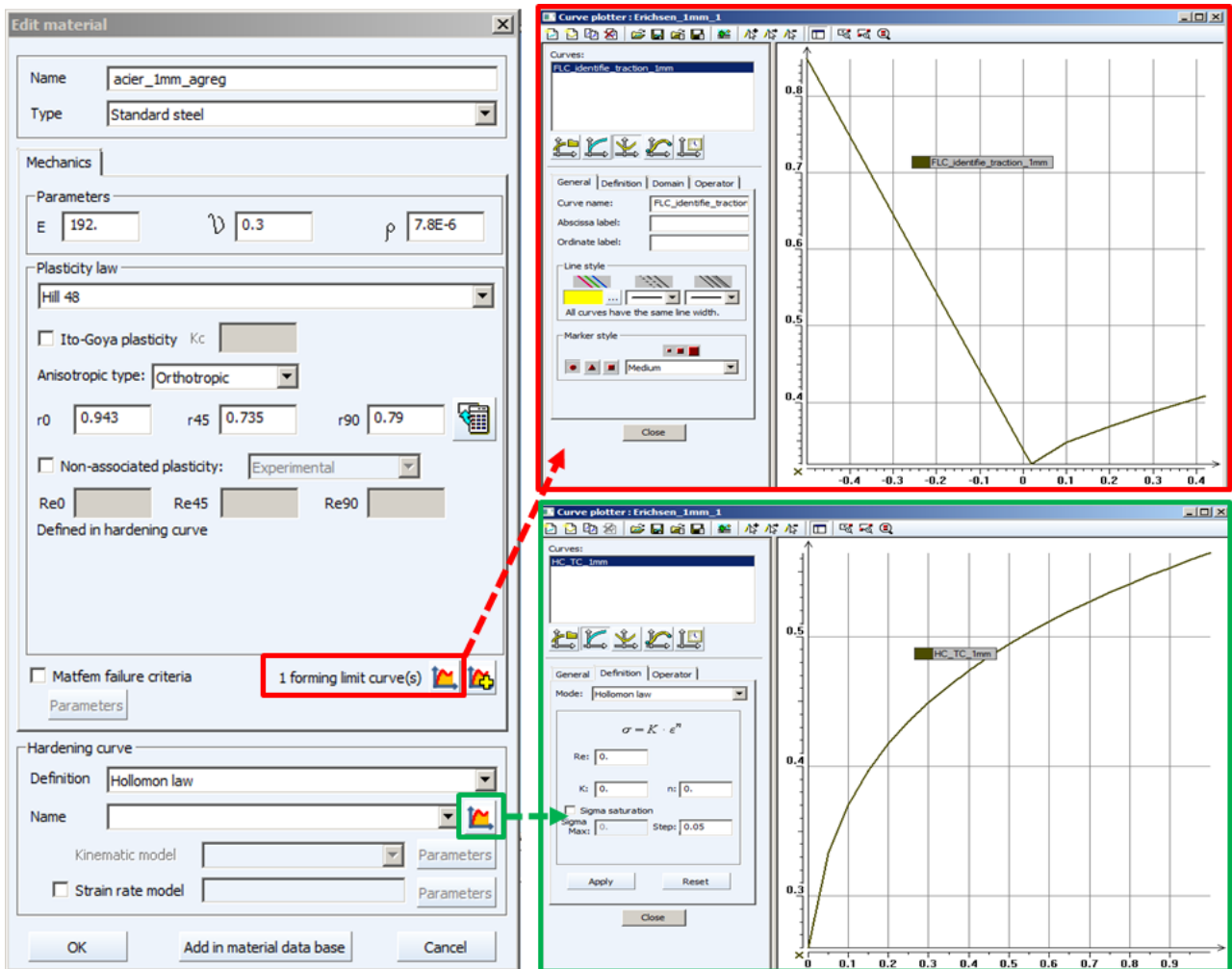


Figure 8. Base de données matériaux PAMSTAMP

Moyens

- Un tableau afin d'exploiter les résultats issus des essais de traction.

Documents ressources

L'ensemble des documents nécessaires à l'exploitation de cette partie est listé ci-dessous :

- résultats des 3 essais de traction dans les directions 0°, 45° et 90° par rapport à la direction de laminage (fichier Excel nommé « Exploitation essais de traction »). Les résultats principaux de l'activité seront reportés par le candidat dans l'onglet « Bilan » de ce classeur ;
- T1 1- Emboutissage des tôles (dossier « 5- Ressources documentaires »)
 - Partie 3.3 essai de traction conventionnel ;
 - Partie 3.4 essai de traction rationnel.

Activités à réaliser

Activité 4 : exploitation des résultats pour la caractérisation mécanique du matériau

Le fichier Excel « Exploitation essais de traction » est constitué de deux feuilles de calcul. La première feuille doit être utilisée pour analyser l'essai de traction effectué sur l'éprouvette prélevée à 0°. La seconde feuille est un récapitulatif des résultats obtenus.

En s'appuyant sur les parties 3.3 et 3.4 de l'article issu des Techniques de l'Ingénieur, renseigner le fichier Excel « Exploitation essais de traction » en respectant la chronologie suivante :

- pour les cellules violettes, calculer l'évolution de la longueur et de la largeur de l'éprouvette au cours du temps (colonnes F à G) ;
- pour les cellules jaunes, déterminer les données nécessaires au tracé des graphes « traction conventionnelle » et « traction rationnelle » (colonnes I à N). Les graphes associés seront automatiquement tracés au-dessus du tableau correspondant. Seules les sélections des plages de données devront éventuellement être modifiées ;
- pour les cellules grises, reporter les données correspondant uniquement au domaine élastique afin de déterminer le module d'Young du matériau (colonnes P à S). Le graphe associé sera automatiquement tracé au-dessus du tableau correspondant. Seules les sélections des plages de données devront éventuellement être modifiées ;
- pour les cellules vertes, reporter les données correspondant uniquement au domaine plastique du matériau (avant striction), puis calculer les déformations plastiques longitudinales et transversales ;
- déterminer finalement le coefficient d'anisotropie plastique r_0 (colonnes U à AB). Les graphes associés seront automatiquement tracés au-dessus du tableau correspondant. Seules les sélections des plages de données devront éventuellement être modifiées ; le matériau suit une loi de comportement de type Hollomon $\sigma = K \cdot \varepsilon_p^n$
- remplir les cellules orange afin d'identifier les paramètres de cette loi K et n (colonnes AD à AE). Les graphes associés seront automatiquement tracés au-dessus du tableau correspondant. Seules les sélections des plages de données devront éventuellement être modifiées.

L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sera finalement reporté dans la seconde feuille du classeur nommée « Bilan ».

Activité 5 : renseignement de la base de données matériaux du logiciel de simulation numérique

- Renseigner la base de données matériaux du logiciel de simulation numérique avec les résultats obtenus dans l'activité précédente.

Remarque : attention aux unités du logiciel de simulation : [kg] [mm] [ms]

- Simuler l'essai Erichsen sur la tôle de 2 mm d'épaisseur avec les nouvelles données de l'acier de substitution. Relever l'indice Erichsen et l'effort appliqué par le poinçon sur la tôle au moment de la fissuration

Activité 6 : confrontation expérimentation et simulation

- Conclure sur la pertinence des modifications effectuées dans la base de données matériaux.

Étude 2 : mise en forme de la bride d'échappement avec le matériau de substitution

Objectif

L'objectif de cette étude consiste, d'une part, à vérifier la capacité de la nouvelle nuance d'acier pour mettre en forme la bride d'échappement et, d'autre part, de savoir si une modification de la gamme de fabrications et/ou des moyens de production doit être envisagée.

Présentation

Comme précisé dans la partie « Mise en situation », seules les trois premières opérations d'emboutissage de la bride d'échappement sont considérées. La figure 10 illustre les trois étapes successives d'emboutissage mettant en jeu des géométries de poinçon et de matrice différentes.

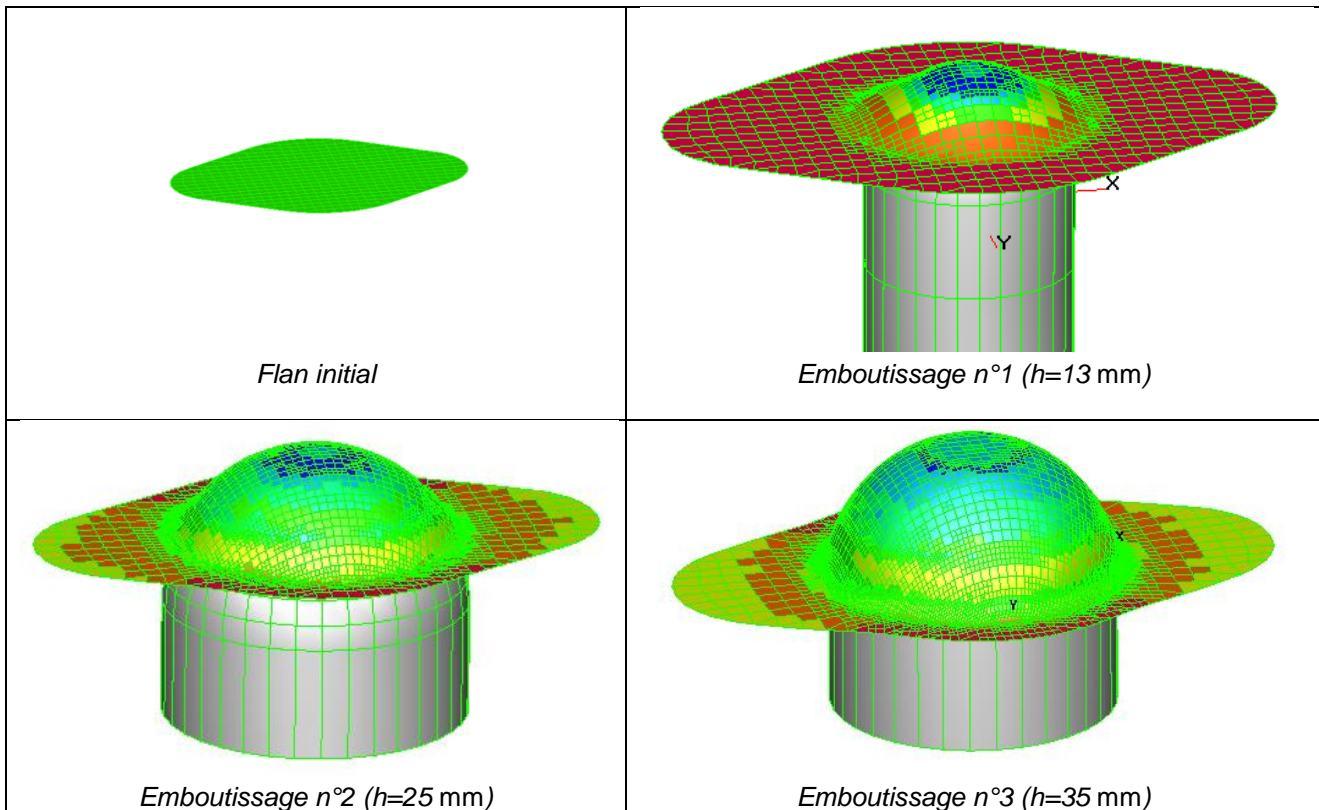


Figure 10.Trois opérations successives d'emboutissage

Moyens

- Le logiciel PAMSTAMP.
- Les mises en données, sur le logiciel PAMSTAMP, de la mise en forme de la bride d'échappement (dossier « 3- PAMSTAMP / 2- Bride / 1- Acier inox ») :
 - o en trois opérations d'emboutissage successives (h=13 mm, h=25 mm, h=35 mm) ;
 - o en une seule opération d'emboutissage « OneShot » (h=35 mm).
- Les résultats de ces deux mises en données.
- La mise en bandes de la bride d'échappement.

Activités à réaliser

Activité 7 : mise en forme de la bride d'échappement – acier inoxydable austénitique

- Étudier les déformations obtenues sur le flan suite à la mise en forme de la bride d'échappement en trois étapes successives (dans le plan CLF).
- Étudier les déformations obtenues sur le flan suite à la mise en forme de la bride d'échappement en une seule opération (dans le plan CLF).
- Conclure sur le choix effectué concernant la gamme de fabrication industrielle de la bride.

Activité 8 : mise en forme de la bride d'échappement – acier de substitution

- À l'aide des mises en données fournies, lancer la ou les simulations nécessaires pour conclure sur la capabilité du nouvel alliage proposé quant à son utilisation pour la fabrication de la bride d'échappement.
- Conclure sur la nécessité ou non de changement de gamme de fabrication et/ou de moyens de production.

PREMIÈRE PHASE – TROISIÈME PARTIE (≈ 1h30)

Pour cette troisième partie, le candidat doit concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Cette séquence prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques. Le candidat est amené, au cours de sa présentation orale, à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa séquence de formation, à décrire et situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

L'exposé du candidat 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).

Un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes) suit l'exposé oral du candidat.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation. Il doit notamment expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée. Le candidat peut également être amené à préciser la manière dont il participe à la transmission des valeurs de la république.

Pour la présentation devant jury, les candidats auront à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique relié à l'Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils auront 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 pluritechnique

1. Présentation de l'épreuve

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

L'exploitation pédagogique proposée, s'appuyant sur les activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de la spécialité ITEC du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) du lycée et des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option Ingénierie Mécanique.

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 supports¹ qui permettent à chaque candidat de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées par le candidat.

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

1 systèmes réels avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP ainsi que la problématique proposée.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système à l'examineur, le candidat doit suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans le TP. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, d'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)

Le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence, en s'aidant des manipulations, investigations et analyses effectuées. On attend de lui qu'il propose et mette 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 son exploitation pédagogique.

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

Le candidat dispose de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, connecté à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui lui est proposé. Il peut stocker les résultats obtenus dans l'espace numérique qui lui est alloué pour l'épreuve.

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

Durant cette phase d'une heure, le candidat s'appuie sur la trame de la séquence qu'il a construite dans la troisième partie de la phase 1 et prépare l'intervention qu'il fera devant le jury. Il dispose d'un poste informatique connecté 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, il n'a plus accès au matériel expérimental et logiciels spécifiques liés au support qui lui a 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 l'exposé du candidat. L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa 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 son exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Au cours de l'entretien, le candidat est amené à :

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés.

Pour la présentation devant le jury, le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. L'ordinateur est connecté à Internet, le candidat dispose des logiciels courants de bureautique et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'il a stockés dans l'espace qui lui est dédié.

Thèmes d'études retenus lors de la session 2018 :

- analyse vibratoire de machines tournantes ;
- vérification de performances techniques ;
- industrialisation de pièces embouties ;
- industrialisation de pièces usinées ;
- contrôle géométrique de pièces ;
- validation et choix de solution constructive.

Ces études permettent au candidat de mettre en œuvre ses 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 industrielles ;
- industrialisation de produits.

Compétences attendues par le jury

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez le candidat 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 pédagogique ;
- 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 entre les performances attendues, simulées et réelles ;
- 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 ;
- être réactif et pertinent dans les réponses aux questions posées par les membres du jury.

2. Analyse des résultats

Les résultats pour cette session sont encourageants du point de vue de la préparation des candidats. Ils avaient dans l'ensemble connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient manifestement bien préparés. Il semble indispensable que les futurs candidats s'imprègnent de l'idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d'apprentissage. Le jury note toutefois que certains candidats méconnaissent totalement les référentiels des BTS de la spécialité et le programme pédagogique national du DUT. Les modalités pédagogiques propres à ces filières sont mal maîtrisées.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

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

Pour cette première partie, le questionnement est conçu pour permettre une compréhension globale du système et de son fonctionnement, quelles que soient les connaissances préalables des candidats. Elle doit permettre au candidat de montrer sa capacité à aborder le système de façon globale en identifiant sa structure, ses caractéristiques et son fonctionnement. L'approche globale du système est guidée par le texte du sujet qui propose une progressivité adaptée à la situation. Il est conseillé de s'engager dans l'épreuve de façon ordonnée. Un dossier technique et des ressources documentaires numériques sont à la disposition du candidat. Cette première phase est fondamentale pour permettre au candidat de comprendre la problématique proposée dans la suite des activités (deuxième et troisième partie de la phase 1). Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé dérivé d'un système réel. Il est important que le candidat prenne en compte, dès la phase d'appropriation, les différences entre ces deux cas de figure. Cette première partie est conçue pour faciliter l'entrée du candidat sur un support et des logiciels qu'il ne connaît pas forcément.

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 resituer le système réel dans son contexte.

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

Pour cette partie de l'épreuve, le candidat peut être amené 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 le candidat en cas de difficultés matérielles.

Les moyens de mesure peuvent être conventionnels ou numériques, isolés ou reliés à un système d'acquisition

Néanmoins le jury prend en compte le soin et les précautions apportées par le candidat 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...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée, les examinateurs sont présents pour apporter une aide éventuelle à leur utilisation.

Ces logiciels proposés peuvent, par leurs possibilités de simulation, faciliter la compréhension des phénomènes et permettent d'éviter tout calcul analytique long et complexe. En revanche, ils ne dispensent pas les candidats de formuler l'ensemble des hypothèses et des justifications nécessaires.

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 aux candidats 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 ;
- 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 ;
- faire une analyse critique, organisée et pertinente de ces résultats ;
- tirer les conclusions vis-à-vis du problème posé.

La durée de présentation de la partie technique 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.

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

Un contexte pédagogique et une expérimentation de la phase 1 étant proposés par le jury, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique. Il devra 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 pédagogique du niveau proposé ;
- utiliser 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 pré-requis nécessaires à la mise en place de cette séquence ;

- développer le contenu d'une ou plusieurs séances 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 ;
- ne pas opérer un transfert direct des activités réalisées dans l'épreuve dans la séquence pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats STI2D (enseignement spécifique de spécialité ITEC), des BTS et des DUT du champ de la spécialité, ainsi que les commentaires associés et les documents d'accompagnement : ressources pour faire la classe, ressources pour le lycée général et technologique et guides d'équipement (cf. Eduscol).

Sur la présentation orale devant un jury

Le jury attend lors de cette phase de présentation d'une séquence pédagogique à caractère expérimental que le candidat soit capable de :

- expliciter les compétences visées par la séquence en lien avec le programme ou référentiel ;
- situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- identifier les connaissances et les capacités nouvelles ainsi que les points clés de la séquence ;
- situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- décrire le ou les systèmes retenus, dont le support utilisé en phase 1 et 2, et leurs potentialités d'exploitations pédagogiques ;
- proposer des organisations temporelles, matérielles et spatiales de la séquence et de la séance, ainsi que la répartition de l'effectif des élèves ou des étudiants ;
- proposer, justifier et valider un ou des protocoles ;
- décrire les mesures que devront réaliser les élèves ou étudiants ;
- commenter la démarche pédagogique mise en œuvre ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- définir les documents qui seront proposés aux élèves ;
- définir les modalités d'évaluation retenues et les critères associés ;
- utiliser à bon escient et avec rigueur les différents outils de description.

Le jury attend également des candidats qu'ils mettent 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.

Le jury constate que de nombreux candidats ne savent pas mettre à profit 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 pour les candidats, d'aller à l'essentiel et de replacer la séquence proposée dans son contexte. Il n'est pas nécessaire qu'ils présentent de façon exhaustive l'organisation pédagogique générale de l'année de formation

correspondante. Les candidats ne doivent 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 étudiant.

Sur 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.

Par ailleurs, le jury a constaté que de nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique ne s'improvise pas, elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation.

Les candidats se réfèrent parfois avec 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.

Le jury recommande au candidat pour un recrutement au métier d'enseignant de s'approprier le référentiel de compétences professionnelles du professeur (BO 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 maladroit.

4. Conclusions

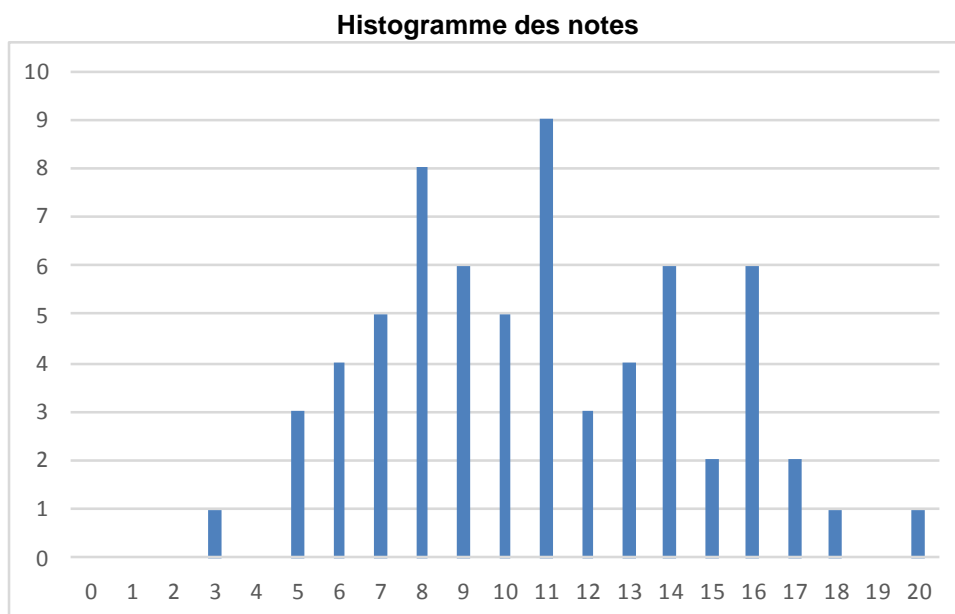
Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante mais fondamentale en sciences industrielles de l'ingénieur. Pour cette session de l'agrégation, les résultats de la deuxième épreuve d'admission sont encourageants. Les candidats des prochaines sessions de cette épreuve trouveront dans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

Le jury conseille aux candidats 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 dans les revues disciplinaires. La connaissance et l'appropriation de ces réflexions dans l'enseignement quotidien d'un professeur lui 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

66 candidats ont composé pour la première partie de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 10,4/20, et l'écart-type 3,8/20 avec :

- 19,8/20 comme meilleure note ;
- 2,2/20 comme note la plus basse.



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 : août 2014) 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 collège ou en lycée. »

« Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes) ».

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

2. Analyse globale des résultats

De très bons résultats témoignent de la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats. À l'inverse, des dossiers insuffisamment préparés et/ou inadaptés aux exigences de l'épreuve n'ont pas permis aux candidats de faire preuve de leurs compétences.

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

Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système technique représentatif des technologies actuelles est déterminant pour permettre un transfert pertinent vers l'enseignement. Au-delà du choix du support en lui-même, l'identification d'une problématique claire et réelle nécessitant la mise en place d'une démarche d'ingénieur permet de présenter des développements cohérents.

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.

Elle doit concerner l'enseignement du second degré : cycle terminal du baccalauréat S option SI, cycle terminal du baccalauréat STI2D, STS, CPGE, technologie collège, enseignements d'exploration en seconde.

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, les sources doivent être citées (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 jury apprécie particulièrement :

- les dossiers élaborés autour d'une véritable problématique, clairement définie, résultant d'une relation authentique avec l'entreprise ;
- les dossiers clairement structurés comportant des schémas, graphes et autres images s'appuyant sur une documentation technique authentique et sur une maquette numérique... ;
- les dossiers n'excédant pas 40 pages (annexes éventuelles comprises), rédigés dans une langue française soignée ;
- les dossiers rédigés de façon très lisible (taille de caractère supérieure à 10 pour la police Arial par exemple) ;
- des démarches scientifiques et technologiques rigoureuses, adaptées, formalisées et étayées par des essais, expérimentations, mesures... et dont les critiques permettent de répondre en tout ou partie à la problématique traitée ;
- les « outils métiers » adaptés aux développements scientifiques entrepris et utilisés avec pertinence ;
- des exploitations pédagogiques en application cohérente avec les considérations scientifiques et technologiques développées ;
- des exploitations pédagogiques précises (niveau d'enseignement, contexte, matériel choisi, position de la séquence dans la progression des apprentissages, contenu et déroulement de la séquence, évaluations associées développées, documents pour le professeur, documents pour les élèves...) ;
- 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 grès de ses affectations ;
- les propositions d'exploitations pédagogiques justifiées, mises en perspective pour des activités pluritechniques, voire interdisciplinaires.

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, le candidat met en valeur ses qualités de didacticien et de pédagogue pour expliquer ses choix, ses démarches et ses analyses.

Ensuite, 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 le candidat a entrepris une réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement technologique et ses interactions avec d'autres disciplines ;

- les démarches d'apprentissage utilisées pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- les missions à assurer par un enseignant au sein du système éducatif ;
- la connaissance du contexte d'exercice et le fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les situations au cours desquelles il est en position de faire partager les valeurs de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

Le jury apprécie particulièrement :

- les exposés clairement structurés ;
- une expression maîtrisée, un vocabulaire technique adapté, une fluidité des propos ;
- les supports visuels, notamment les schémas, lisibles et judicieusement utilisés ;
- la bonne écoute des questions, les réponses argumentées et concises ;
- les réponses démontrant la connaissance du contexte d'exercice et du fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;
- les échanges démontrant un vif intérêt pour les évolutions du système éducatif dans son ensemble et de la discipline en particulier.

Il est inutile, lors de l'exposé, de présenter les filières d'enseignement choisies.

Les présentations orales ont été, pour une grande majorité de candidats, préparées soigneusement avec un temps d'exposé maîtrisé.

Afin d'assurer une équité entre tous, quel que soit le support choisi, les candidats ne sont pas autorisés à apporter et présenter des supports physiques (produits, échantillons, maquettes didactiques...). S'ils existent, ces éléments pourront être mis en valeur à travers les documents présentés.

4. Conclusion

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.

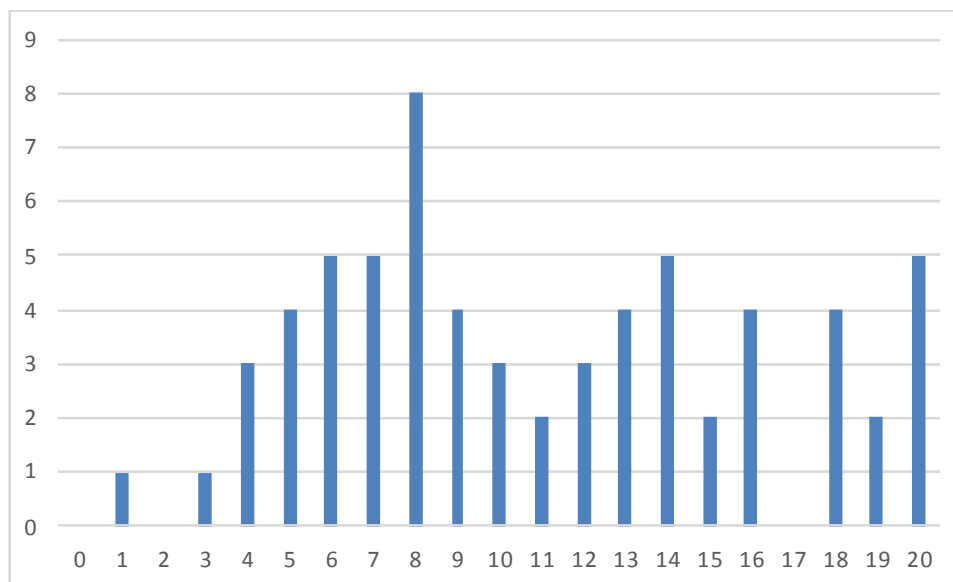
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

5. Résultats

65 candidats ont été évalués. La moyenne des notes obtenues est de 10,6/20 et l'écart-type 5,2 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 1 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 du candidat à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son 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.

Le candidat doit 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 du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les

- coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
 - à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
 - ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR – DGESCO) ;
- le parcours Avenir ;
- la banque de ressources « Pour une pédagogie de la laïcité à l'école » - Abdennour Bidar - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire.
- référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation – education.gouv.org