



Concours : agrégation

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie mécanique

Session 2017

Rapport de jury présenté par : Laurent Champaney

Président de jury

Sommaire

| | |
|--|-----|
| Membres du jury de la session 2017 | 3 |
| Résultats statistiques | 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 | 19 |
| 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 | 41 |
| Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation | 53 |
| Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique | 59 |
| Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique | 71 |
| Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique | 78 |
| Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique | 93 |
| Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel | 100 |
| Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République | 104 |

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2017 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 24 juin inclus au 5 juillet 2017 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 18 octobre 2016.

Résultats statistiques de la session 2017

| Inscrits | Nombre de postes | Présents aux trois épreuves d'admissibilité | Admissibles | Admis |
|----------|------------------|---|-------------|-------|
| 573* | 37 | 275** | 85 | 37 |

*dont 102 candidats à l'agrégation marocaine

** dont 67 candidats à l'agrégation marocaine

| | |
|--|-------|
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible | 17,22 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible | 9,05 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis | 17 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis | 10,85 |

Avant-propos

Cette session a été marquée par l'ajout d'une quatrième option (Ingénierie Informatique) qui 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.

Au niveau du comportement des candidats et du taux de sélection, cette session est dans la continuité des précédentes puisque 37 candidats ont été déclarés admis alors que 275 ont participé aux trois épreuves d'admissibilité. Onze candidats, dont deux candidats admis à la session 2017 de l'agrégation interne, n'ont pas souhaité se présenter à l'oral. La moitié d'entre eux n'ont pas pris pas la peine de prévenir le directoire du jury de leur absence. Au moment où les valeurs de la République sont mises en avant jusque dans les questions posées aux candidats lors des épreuves d'admission, cette attitude surprend, d'autant plus lorsque ces candidats enseignent déjà.

Le niveau de cette option de l'agrégation reste élevé puisque cinquante-sept candidats ont obtenu une moyenne supérieure à 08/20. Le nombre de femmes candidates est toujours faible bien qu'il ait doublé cette année : neuf candidates ont été déclarées admissibles et trois sont admises.

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 CAPES, CAPET, CAPLP et CAPEPS 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 ou au lycée ne peuvent se reposer sur les acquis de leur expérience professionnelle pour réussir ces deux épreuves.

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. Néanmoins, il est regrettable de voir que beaucoup de dossiers n'intègrent pas de dimension technologique.

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 situations professionnelles définies 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* ».

Cette demande a été prise en compte pour les trois épreuves d'admission. Globalement, les candidats ont réagi correctement aux questions posées.

Les modalités de ces 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, accessibles par tous, sont autorisés.**

Cette session 2017 s'est encore révélée être d'un excellent niveau. 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.

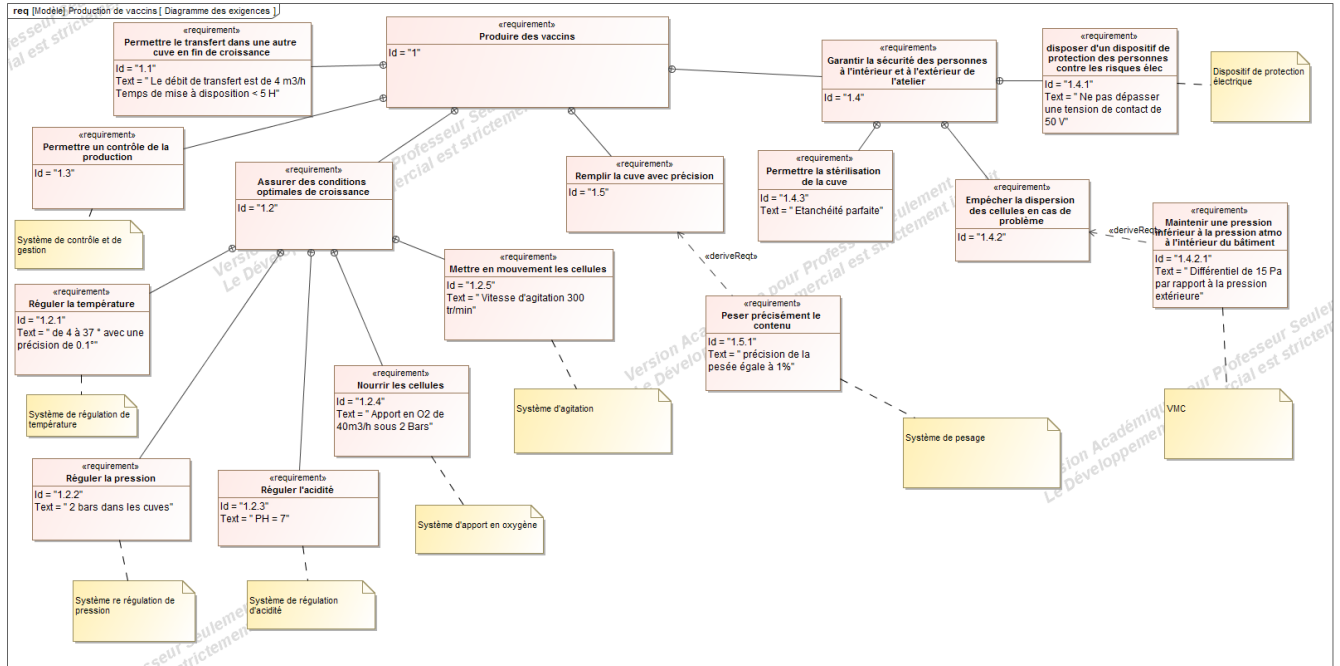
L'agrégation est un concours prestigieux qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochable. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue et une posture adaptées aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Pour conclure cet avant-propos, j'espère sincèrement que ce rapport sera très utile aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur et à leurs formateurs.

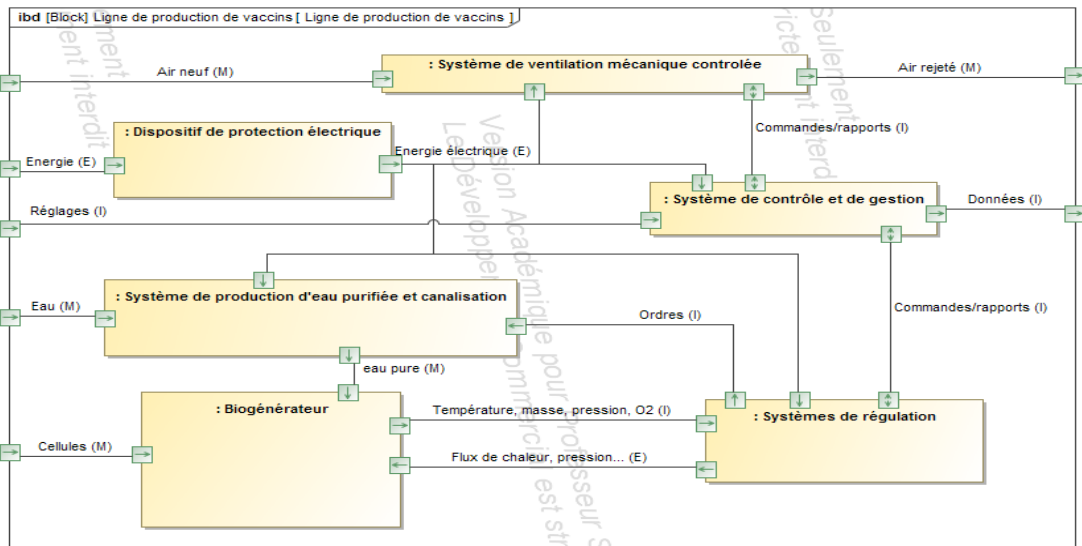
Laurent CHAMPANEY
Président du jury

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

Question 1 :



Question 2 :



Question 3 :

Dans le cadre de ce process, il faut un matériau suffisamment résistant d'un point de vue mécanique pour résister à la pression, qui ne soit pas agressif pour le contenu de la cuve et qui ne se dégrade pas au contact du produit. L'acier inoxydable est également compatible d'un point de vue fabrication avec la forme souhaitée. Le critère économique ne convient pas ici car l'acier inoxydable est un matériau cher.

Question 4 :

On suppose que les temps de montée et de descente en température pour une cuve sont les mêmes. La durée D avant disponibilité est donnée par la somme des termes suivants :

- temps de remplissage cuve de 300 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1 h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 1000 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1 h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 4500 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1 h) ;
- temps de descente en température.

avec temps de remplissage 300 L = volume/débit = 0,3/4 = 0,075 h
 temps de remplissage 1 000 L = volume/débit = 1/4 = 0,25 h
 temps de remplissage 4 500 L = volume/débit = 4,5/4 = 1,125 h

avec temps de montée en température 300 L = 12 min = 0,2 h
 temps de montée en température 1000 L = 12 x 1 000/300 min = 0,67 h
 temps de montée en température 4500 L = 12 x 4 500/300 min = 3h

soit $D = 0,075 + 0,2 \times 2 + 1 + 0,25 + \frac{2}{3} \times 2 + 1 + 1,125 + 3 \times 2 + 1 = 12,18$ h soit 12 heures et 11 minutes. D

est inférieure à 13 heures donc l'exigence du cahier des charges est vérifiée.

Question 5 :

Il est nécessaire d'utiliser au moins trois pieds soit trois pesons, pour que la cuve soit en équilibre stable sur la dalle. La dalle a peu de chance d'être parfaitement plane, l'utilisation de trois pesons permet d'obtenir, par la somme des trois mesures, la masse totale de la cuve.

La liaison équivalente réalisée par les trois pesons est une liaison appui-plan de normale verticale.

Question 6 :

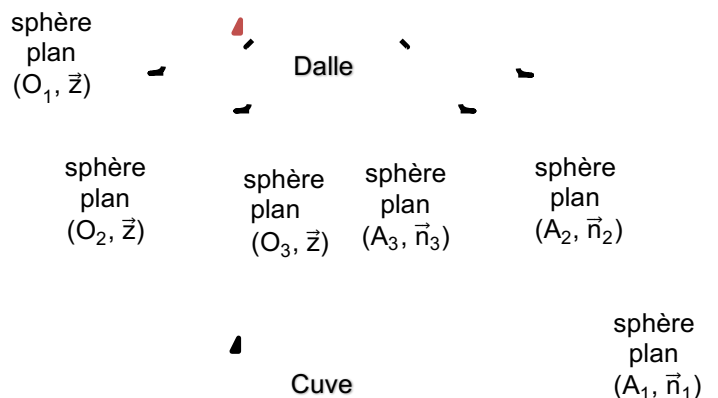
La représentation 3D permet de proposer des liaisons rotules (surfaces de contact sphériques) entre la bielle et les plateaux inférieur et supérieur. Les deux rotules sont en série et réalisent ainsi une liaison sphère-plan d'axe identique à celui de la bielle.

Question 7 :

Le graphe des liaisons correspondant est donné ci-dessous.

Les liaisons sphère plan réalisées par les biellettes associées aux trois ponctuelles verticales des parties capteurs des pesons permettent de réaliser une liaison complète isostatique de la cuve par rapport à la dalle.

Ainsi la cuve est fixe, elle repose sur trois points de mesure même si la dalle n'est pas parfaitement plane. Les biellettes permettent de compenser les défauts de planéité de la dalle grâce à un réglage de leur longueur.



Question 8 :

La longueur du tube est grande par rapport à sa section, on peut donc utiliser un modèle poutre. On applique un effort F égal au tiers du poids de la cuve pleine soit 30 000 N. Cet effort est modélisé « ponctuel » car la zone de contact est petite et presque centrée sur la poutre. Compte tenu de la coupe A-A, les tubes sont posés sur la feuillure sans blocage axial ce qui justifie un modèle de liaisons avec des conditions aux limites de déplacement vertical imposé nul et non un encastrement.

Question 9 :

Sachant que l'effort est centré au milieu de la poutre, et par symétrie, l'effort en $x = 0$ est égal à $\frac{F}{2}$.

Le moment dans le premier tronçon de 0 à $\frac{L}{2}$ est donc égal à $\frac{F}{2} \cdot x$.

Pour calculer la flèche v , on utilise la relation de comportement $E \cdot I_z \cdot \frac{d^2v}{dx^2} = \frac{F}{2} \cdot x$ soit par double

intégration $v(x) = \frac{F}{12 \cdot E \cdot I_z} \cdot x^3 + A \cdot x + B$.

On utilise les conditions aux limites pour déterminer les constantes d'intégration :

$$v(0) = 0 \text{ et } \frac{dv}{dx}\left(\frac{L}{2}\right) = 0, \text{ d'où } B = 0 \text{ et } A = -\frac{F \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I_z}.$$

On en déduit alors la flèche au milieu de la poutre pour $x = \frac{L}{2}$ à $\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z}$.

Question 10 :

Pour faire l'application numérique, il faut d'abord déterminer I_z . Pour une section carrée de côté a :

$$I_z = \frac{a^4}{12}.$$

Ainsi le moment quadratique pour la section tubulaire de côté a et d'épaisseur e est égale à

$$I_z = \frac{a^4 - (a - 2 \cdot e)^4}{12} \approx \frac{2 \cdot e \cdot a^3}{3}.$$

D'où, pour un effort $F = 30\,000$ N, l'épaisseur minimale du tube doit être de $e = 3,5$ mm pour répondre au critère de flèche maximale.

Question 11 :

Pour chaque simulation, on relève le déplacement maximal, la contrainte maximale et on évalue la masse de la structure de longueur 14,4 m pour en déduire le coût de la structure. La section de la poutre est égale à $a^2 - (a - 2 \cdot e)^2 \approx 4 \cdot e \cdot a$ ce qui correspond pour l'acier à un coût égal à $4 \times e \times 0,2 \times 7300 \times 14,4 \approx 100915 \times e$ avec e en m.

| Épaisseur (mm) | Déplacement | Contrainte | Coût |
|----------------|-------------|------------|------------|
| 2 | 2,9 mm | 490 MPa | 673 euros |
| 3 | 2,1 mm | 123 MPa | 1009 euros |
| 4 | 0,8 mm | 85 MPa | 1345 euros |

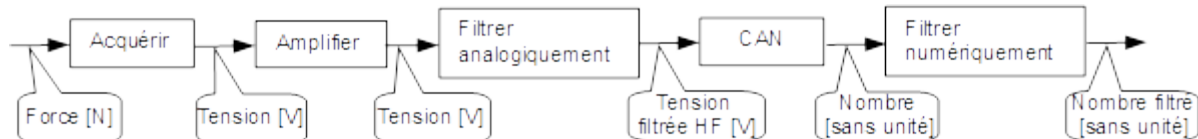
Par analyse des résultats, l'épaisseur de 2 mm ne convient pas, car la contrainte dépasse la limite d'élasticité de 241 MPa.

Les deux épaisseurs 3 et 4 mm conviennent, car le déplacement est inférieur à 5 mm et la limite élastique n'est pas atteinte.

Pour conclure, on choisit l'épaisseur de 3 mm pour limiter la masse et donc le coût.

On en déduit que l'intérêt de la simulation est d'optimiser le résultat obtenu par un modèle poutre simple.

Question 12 :



Question 13 :

L'analyse de la courbe montre :

- une courbe croissante au cours du temps ce qui traduit le remplissage de la cuve ;
- une oscillation de fréquence 5 Hz qui est due à l'agitation du produit dans la cuve. En effet, $300 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ équivaut à une fréquence de $f = \frac{300 \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot 2 \cdot \pi} = 50 \text{ Hz}$, ce qui correspond bien à la fréquence de l'ondulation ;
- une ondulation à haute fréquence qui correspond à un bruit à haute fréquence, certainement dû à des parasites extérieurs lors de la mesure.

Le filtre analogique est un filtre passe-bas qui permet de limiter les fréquences hautes du signal et éliminer ainsi les bruits parasites.

Le deuxième filtre est numérique et permet de faire une moyenne du signal afin de retirer les ondulations de fréquence moyenne dues à l'agitation.

Question 14 :

On choisit le filtre passe-bas, c'est-à-dire le premier dans l'annexe, car il permet de couper les fréquences supérieures à 500 Hz.

Pour que ce filtre soit efficace, il faut que sa fréquence de coupure soit au minimum inférieure d'une décade aux fréquences à couper. L'application numérique s'écrit alors $\frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = 50 \text{ Hz}$, soit une constante de temps $\tau = R \cdot C = 3,2 \text{ ms}$.

Question 15 :

On discrétise l'équation différentielle à l'aide du schéma d'Euler : $\frac{\tau \cdot (S_n - S_{n-1})}{T_e} + S_n = e_n$

On en déduit que : $S_n = \frac{T_e}{T_e + \tau} \cdot \left(\frac{\tau}{T_e} \cdot S_{n-1} + e_n \right)$

Question 16 :

Si $T_e \ll \tau$, $S_n = S_{n-1} + \frac{T_e}{\tau} e_n$.

τ doit couper les fréquences égales à 0,5 Hz, soit $\tau = \frac{1}{2\pi \cdot f} = 0,32 \text{ s}$.

Question 17 :

On introduit deux vecteurs de taille 100 : e (vecteur connu) et S . L'algorithme proposé pour obtenir le signal filtré est le suivant :

Initialisation des variables : $n = 1, S_n = 0, T_e = 1 \cdot 10^{-7}, \tau = 0,32$

Boucle : Pour n variant de 1 à 99 faire :

$$S_{n+1} = S_n + \frac{T_e}{\tau} \cdot e_n$$

On peut alors sortir le vecteur S .

Question 18 :

La sortie peson varie de 0 à 20 mV soit, avec l'amplification, de 0 à 10 V. Si on retranche 5 V, on retire la moitié de ce que peut mesurer le peson. En effet, au départ, le peson pèse la masse de la cuve seule soit 4,5 tonnes, ce qui est bien la moitié de la masse totale (cuve + produit) et correspond à 5 V. Pour conclure l'entrée 5 V, représente l'image de la masse de la cuve à vide.

Question 19 :

L'étude porte sur la grosse cuve de 4 500 L. On souhaite obtenir une précision de mesure de 1 % du poids de la cuve soit 1 % de 9 000 kg, ce qui correspond à une précision sur le poids total de la cuve de 90 kg soit environ 900 N.

Chaque peson a une étendue d'échelle de 35 000 N. La précision de l'ensemble peson et chaîne de traitement est donc de $\frac{35\,000}{2^n}$. Avec un convertisseur 8 bits, la précision obtenue par peson est de

137 N.

Pour conclure sur la mesure du poids total de la grosse cuve, un convertisseur 8 bits permet d'obtenir une mesure du poids à $3 \times 137 = 411$ N près et par conséquent de vérifier l'exigence du cahier des charges.

Question 20 :

L'eau met un certain temps à parcourir la longueur de la canalisation, ceci justifie donc la prise en compte d'un retard dans la régulation de niveau.

On considère qu'à chaque instant $Q(t) = Q_c(t)$, car on fait l'hypothèse que l'eau est incompressible et qu'il n'y a de pertes ni dans la canalisation ni aux jonctions.

Étant donné que le débit $Q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et sachant que le volume de la queue de chute est de

$V = \frac{L \cdot \pi \cdot D^2}{4}$, on en déduit que le retard entre le moment où la vanne de remplissage se ferme et le

moment où la queue de chute se vide dans la cuve est de $T = \frac{V}{Q} = \frac{2 \times \pi \times (0,1)^2}{4 \times 4} \times 3600 = 14 \text{ s}$.

Question 21 :

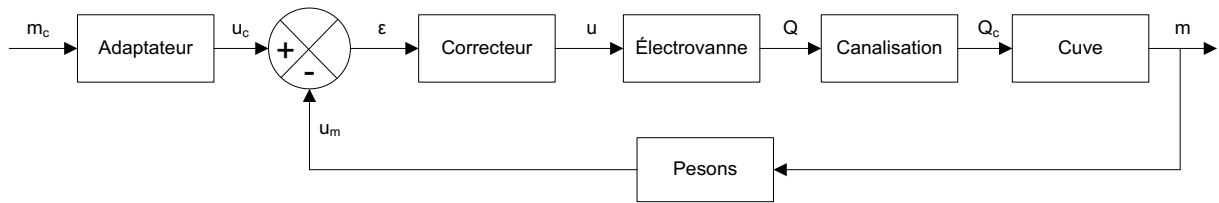
On note :

- S , section de la cuve ;
- $h(t)$, hauteur de remplissage instantané ;
- $Q(t)$, débit instantané ;
- ρ , masse volumique du produit.

Comme il y a conservation du débit, la hauteur d'eau est reliée au débit par $h(t) = \int \frac{Q(t)}{S} \cdot dt$.

La masse de produit dans la cuve à chaque instant s'exprime alors par :

$$m(t) = \rho \cdot V = \rho \cdot h(t) \cdot S = \rho \cdot \int Q(t) \cdot dt$$

Question 22 :**Question 23 :**

Avec une commande tout ou rien, tant que la hauteur de consigne n'est pas atteinte, le débit est maximal. Ensuite, une fois la hauteur de consigne atteinte, le débit devient nul, mais la fermeture de la vanne n'est pas instantanée. Il y a également un retard lié à la canalisation, d'où un dépassement de consigne inévitable. Étant donné que l'on ne peut pas vider facilement la cuve pour réajuster la hauteur, cette solution de régulation par un système TOR n'est absolument pas envisageable dans la situation d'un remplissage de biogénérateur.

Question 24 :

On constate que le système est précis (les 1 000 kg sont atteints) et rapide, car les 1 000 kg sont atteints en un temps de réponse à 5 % de 80 s. En revanche, la tension de commande est supérieure à 12 V tension maximale supportée par l'électrovanne. Il est donc nécessaire d'ajouter dans le modèle une saturation en tension.

Question 25 :

On constate que le système est toujours précis (les 1 000 kg sont atteints), mais moins rapide puisqu'il y a l'effet de la saturation au début. Il met maintenant environ 125 s pour atteindre les 95 % de la valeur finale ce qui reste satisfaisant.

On peut conclure que l'intérêt de la régulation de masse est qu'elle permet au système d'atteindre précisément la masse souhaitée en un temps raisonnable sans risque de surtension qui endommagerait l'électrovanne.

Remarque : une erreur sur l'échelle des temps s'est glissée dans le sujet. Le débit de remplissage de la cuve était de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ce qui implique que le remplissage se fait en un peu plus d'une heure.

Question 26 :

La partie métallique a une masse de $M_r = 2240 \text{ kg}$ avec un $C_{pr} = 0,12 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La quantité d'énergie nécessaire pour la chauffer est : $M_r \cdot C_{pr}$.

Ceci est équivalent à chauffer une masse de produit de $M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}}$.

On en déduit que la masse équivalente produit totale à chauffer est : $M_p = M_e + M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}} = 4668 \text{ kg}$.

Question 27 :

Expression du flux perdu à travers un élément d'échangeur dS : $d\phi = k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS$.

Expression du flux perdu par le monofluide : $d\phi = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$.

Question 28 :

$$k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$$

$$\frac{dT_{\text{fluide}}}{(T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}})} = -\frac{k \cdot dS}{Q_m \cdot C_{pfl}}$$

Question 29 :

De l'expression précédente on en déduit : $T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}} = Cste \cdot e^{-\frac{k \cdot S}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$.

Au début du serpentin : $S = 0$ $T_{\text{fluide}} = T_1$ d'où $T_1 - T_{\text{cuve}} = Cste$.

Au bout du serpentin après toute la surface d'échange $S = \Sigma$: $T_{\text{fluide}} = T_2$.

$$T_2 - T_{\text{cuve}} = (T_1 - T_{\text{cuve}}) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$$

Ainsi par identification $A = T_{\text{cuve}}$, $B = (T_1 - T_{\text{cuve}})$ et $C = \frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}$.

La température du fluide varie de manière exponentielle au fur et à mesure que le fluide passe dans le serpentin.

Question 30 :

a- Ce transfert thermique traduit que la puissance thermique gagnée par la cuve est égale à la quantité de chaleur libérée par le passage du fluide dans le serpentin.

b- $M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{\text{cuve}}}{dt} = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot (T_1 - T_2)$.

Avec l'expression précédente de T_2 : $M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{\text{cuve}}}{dt} = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot \left(T_1 - (T_1 - T_{\text{cuve}}) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} - T_{\text{cuve}} \right)$.

$$M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{\text{cuve}}}{dt} + Q_m \cdot C_{pfl} \cdot T_{\text{cuve}} \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot T_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right)$$

$$\frac{dT_{\text{cuve}}}{dt} + \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_{\text{cuve}} \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right)$$

Ainsi l'équation différentielle qui régit la température de la cuve s'écrit : $\frac{dT_{\text{cuve}}}{dt} + a \cdot T_{\text{cuve}} = b$.

$$\text{Avec } a = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) \text{ et } b = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right)$$

Question 31 :

Courbe 1 : T_1 est constante (température du serpentin en entrée).

Courbe 2 : T_2 évolue de manière exponentielle et commence à une température supérieure à 4°C.

Courbe 3 : T_3 évolue de manière exponentielle et commence à 4°C. C'est cette courbe qui correspond à l'évolution de la température de la cuve.

Question 32 :

On lit qu'il faut 9 000 secondes soit 2 h 20 min pour atteindre $T_{\text{cuve}} = 37^\circ\text{C}$. L'exigence de montée en température de 4 h du cahier des charges est vérifiée.

Question 33 :

Le modèle ne prend pas en compte l'inertie du monofluide. On ne vidange pas le monofluide une fois la température de 37°C atteinte.

La température du monofluide est toujours de 40°C lorsque la température de la cuve a atteint 37°C. Comme le serpentin n'est pas vidangé, le monofluide apporte encore de la chaleur même quand la vanne est fermée. Donc il est certain qu'il y aura dépassement des 37°C et le risque d'atteindre les 39°C existe.

Cette solution sans aucune régulation de température est imprécise et risquée pour la production d'où la nécessité d'une régulation en température pour être sûr de ne pas dépasser les 39°C définis dans le cahier des charges.

Question 34 :

Bloc 1 : régulateur.

Bloc 2 : vanne.

Bloc 3 : échangeur.

Bloc 4 : serpentin + cuve.

Bloc 5 : capteur de température.

Question 35 :

Bloc 3 : l'allure des points est modélisable par une loi entrée et sortie. Donc la fonction de transfert est un gain K , avec $K = \frac{\text{sortie}}{\text{entrée}} = \frac{400 \cdot 10^3}{3} = 1,333 \cdot 10^5 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} = 48 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$.

Bloc 4 : loi de comportement d'un premier ordre.

$$T_{\text{cuve}} = K \cdot P_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ avec } 3\tau = 20\,000 \text{ s} = 5 \text{ h } 30 \text{ min d'où } \tau = 6\,668 \text{ s}.$$

Pour un entrée échelon $P_0 = 90\,000 \text{ W}$

$$\text{Le gain de la fonction de transfert : } K = \frac{T_0}{P_0} = \frac{0,03}{9 \cdot 10^4} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}.$$

Remarque : une erreur sur l'unité de l'échelle des températures s'est glissée dans le sujet. La température atteinte par le contenu de la cuve est de 34°C.

Question 36 :

La courbe de réponse ne présente :

- pas de dépassement de 37°C ;
- un temps de mise en chauffe plus rapide (en effet le bouclage augmente la rapidité) ;
- un temps de réponse de 2 000 s soit 35 min.

Par contre il y a une erreur de plusieurs degrés (4°C) puisque la température maximale atteinte est de 33°C, il est donc nécessaire de régler le correcteur pour répondre à tous les critères du cahier des charges.

Question 37 :

Le recensement des performances des différents réglages par analyse des courbes est résumé dans le tableau suivant :

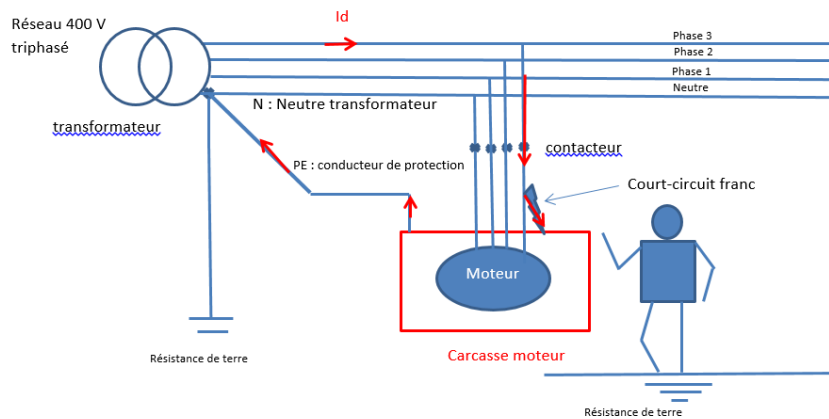
| | Cahier des charges | | | |
|---|--------------------|--------|--------------------------------|---|
| | Dépassement | Erreur | Temps de réponse à 95 % (35°C) | Choc thermique Temps pour atteindre 30°C |
| | 39°C maxi | 0,1 °C | 3 h = 10 800 s maxi | 2 000 s mini |
| $K_p = 20$ | non | 0,25°C | 110 s | |
| $K_p = 200$ | oui | <0,1°C | 50 s | |
| $K_p = 1$ et $K_i = 8 \cdot 10^{-5}$ | non | 0°C | 4 000 s | 1 800 s |
| $K_p = 0,5$ et $K_i = 8 \cdot 10^{-5}$ | non | 0°C | 5 000 s | 2 500 s |

La fonction intégrale permet d'assurer une bonne précision sans dépassement.

La solution $K_p = 0,5$ et $K_i = 8 \cdot 10^{-5}$ est la seule qui permette de vérifier les quatre performances du cahier des charges.

Question 38 :

Document réponse 3



Question 39 :

Le parcours du courant I_d passe par la phase 3, puis R_d , puis R_{pe} . Ces 3 résistances sont donc en série avec la phase 3.

Question 40 :

$$U_D = \frac{R_{pe}}{R_d + R_{pe} + R_{phase3}} \times 0,8 \times V_3.$$

Il fallait lire pour l'application numérique des valeurs $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$.

A.N. : $U_D = \frac{50}{150} \times 0,8 \times 230 = 61 \text{ V}$

U_D est supérieur à 50 V (U_L), il faut donc interrompre le transfert d'énergie.

Question 41 :

Le parcours du courant passe par R_{phase3} , R_d , R_{pe} , R_a puis R_b . Toutes ces résistances sont en série. La tension U_D est donc celle aux bornes de l'ensemble ($R_{pe} + R_a$).

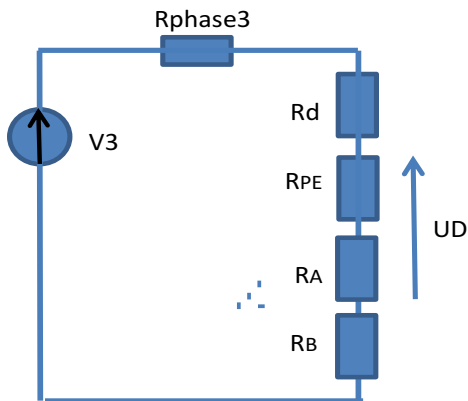
$$\text{Dans ce cas, } U_D = \frac{R_{pe} + R_a}{R_d + R_{pe} + R_{phase3} + R_a + R_b} \times V_3.$$

Il fallait, comme à la question précédente, lire pour l'application numérique les valeurs des résistances des conducteurs $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$.

On obtient alors un courant de défaut $I_D = 11.4 \text{ A}$. Cette intensité du courant ne donne pas lieu à une chute de tension de 20 % à la source, contrairement à la question précédente.

$$\text{A.N. : } U_D = \frac{0,05 + 10}{0,05 + 0,05 + 0,05 + 10 + 10} \times 230 = 115 \text{ V}$$

$U_D > U_L$, il est nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie : cela ne convient pas pour cette installation.



Question 42 :

Comme le suggère la figure 36, la prise de terre des masses est commune à celle du neutre. Sur le schéma équivalent n'est pas représenté l'ensemble ($Z + R_b$) entre le neutre N et la terre (point A). On peut négliger la valeur de R_b devant celle de Z .

$$\underline{U}_{NA} = \frac{\frac{V_1}{Z_1} + \frac{V_2}{Z_2} + \frac{V_3}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_n} + \frac{1}{Z}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{4 + \frac{Z_n}{Z}} = 0.$$

Question 43 :

$$I_f = \frac{V_1 - \underline{U}_{AN}}{Z_1} + \frac{V_2 - \underline{U}_{AN}}{Z_2} + \frac{V_3 - \underline{U}_{AN}}{Z_3} + \frac{-\underline{U}_{AN}}{Z_n} = 4 \frac{\underline{U}_{AN}}{Z_n}.$$

Et donc : $\underline{U}_{AN} = -\frac{Z_n}{4} I_f$

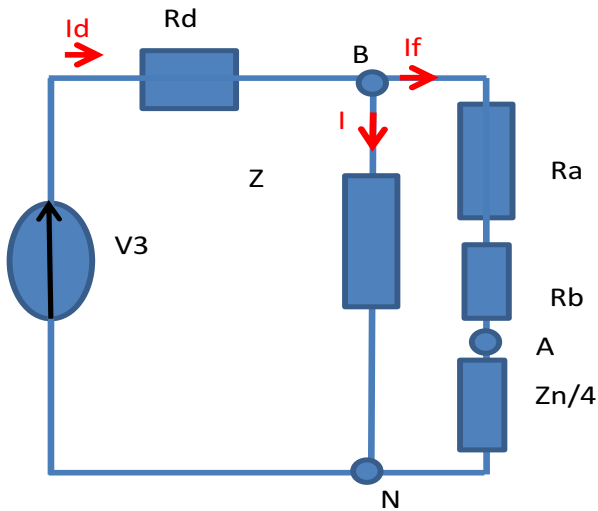
Question 44 :

On appelle B le point correspondant au potentiel de prise de terre du neutre.

En observant le parcours du courant, on s'aperçoit que R_d est entre V_3 et B ; Z entre B et N ; $\frac{Z_n}{4}$ entre N et A et R_b entre A et B, ce qui amène au schéma donné, si on néglige les résistances R_{phase3} et R_{pe} .

Question 45 :

En utilisant le pont diviseur de courant, on obtient :



$$I_f = \frac{V_1 \times j4C_n \omega \times Z}{R_d \times j4C_n \omega \times Z + (R_d + Z)(R_a + R_b) \times j4C_n \omega + R_d + Z}$$

Ce qui donne, si on néglige $R_b + R_a$ devant $\frac{Z_n}{4}$: $I_f = \frac{V_1 \times j4C_n \omega \times Z}{R_d \times j4C_n \omega \times Z + R_d + Z}$.

Question 46 :

En assimilant l'impédance Z à une résistance, on obtient :

$$I_f = \frac{V_1 \times 4C_n \times 2\pi f \times Z}{\sqrt{(R_d \times 4C_n \times 2\pi f \times Z)^2 + (R_d + Z)^2}} = \frac{230 \times 4 \times 1,6 \cdot 10^{-6} \times 100\pi \times 1000}{\sqrt{(50 \times 4 \times 1,6 \cdot 10^{-6} \times 100\pi \times 1000)^2 + (50 + 1000)^2}} = 438 \text{ mA}$$

et donc $U_c = 4,38 \text{ V}$.

$U_c \ll U_L$, il n'est pas nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie. La tension de contact est largement inférieure à la tension limite (50V), la personne n'est donc pas en danger.

Question 47 :

Il fallait lire U à la place de V_3 dans la formule donnée.

$$U_c = \frac{0,8 \times 400 \times 4}{2 \times (1 + 4)} = 128 \text{ V}$$

La tension de contact dépasse les 50 V de la tension limite : la personne est en danger. Il faut intervenir rapidement.

Cette troisième solution permet de ne pas couper l'alimentation de l'installation en cas de premier défaut, ce qui préserve le contenu des cuves. Par contre, il faut que les techniciens interviennent rapidement pour éliminer le premier défaut avant l'apparition d'un deuxième défaut qui serait, lui, dangereux.

Question 48 :

Après une analyse de la structure et des exigences du système, certaines de ces exigences en lien avec les cellules souches ont été étudiées en détail.

Il a tout d'abord été question d'analyser la précision du système de remplissage de la cuve. La modélisation des liaisons et de la structure a permis de justifier que l'implantation de la cuve était satisfaisante. L'analyse de la chaîne d'information a ensuite permis de valider l'obtention d'une mesure précise de la masse.

Plusieurs régulations ont été mises en place afin d'assurer le bon développement des cultures : régulation de masse, régulation de température. Chaque régulation a nécessité la mise en place d'un correcteur adéquat.

Enfin, une étude de la sécurité de l'installation a permis de valider le choix du schéma de liaison à la terre IT pour assurer la continuité de service de l'installation.

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

Cette épreuve, coefficient 1 et 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 pluri-technique automatique ».

1. Présentation du sujet

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

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/42/8/s2017_agreg_externer_sii_1_735428.pdf

Le sujet proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur s'appuie sur un projet de construction d'un nouveau site de production de vaccins en région lyonnaise par un grand groupe pharmaceutique.

Avant la phase de construction, une étude d'avant-projet est confiée à un bureau d'études ingénierie qui doit réaliser tous les choix technologiques et les prédimensionnements des différents composants de la ligne d'amplification cellulaire et du bâtiment la contenant. Une usine de vaccins impose de fortes exigences pour assurer la stérilité des produits développés, assurer la sécurité du monde extérieur en rendant impossible toute contamination externe, gérer la gestion des flux des produits et des opérateurs, respecter le processus de fabrication rigoureux imposé par le commanditaire.

Le processus d'amplification cellulaire consiste à favoriser la reproduction de cellules vivantes, telles que des virus dans le cas de vaccins, en les plaçant dans une cuve appelée biogénérateur ou bioréacteur. Celui-ci contient un milieu adapté, et contrôlé pour produire les conditions les plus favorables au développement cellulaire (eau purifiée, oxygène, pression, température, pH, etc.).

La reproduction cellulaire engendre une augmentation du nombre de cellules tout au long du procédé et donc une augmentation progressive du volume de produit. Ainsi l'échantillon initial de cellules passe successivement dans trois biogénérateurs de différents volumes tout au long de sa croissance. L'échantillon initial est cultivé au départ du processus d'amplification dans une cuve de 300 litres, puis de 1 000 litres et enfin de 4 500 litres avant d'être ensuite conditionné en doses individuelles dans une seringue. Par conséquent, une ligne de production est constituée de ces trois bioréacteurs associés à d'autres éléments qui permettent de garantir des conditions de reproduction optimales, fiables et sûres.

Le candidat par le biais de vérification de différentes exigences du cahier des charges du biogénérateur montre ses capacités à appréhender une étude de conception d'une unité de production de vaccins et à répondre aux problématiques industrielles diverses et interdépendantes qu'une telle étude d'ingénierie exige. L'étude proposée vise à vérifier certaines exigences du cahier des charges du biogénérateur de 4 500 litres. Les performances à valider rythment et organisent l'énoncé. Les différentes parties qui en découlent ont des objectifs indépendants qui sont :

- analyser par une approche systémique le procédé et vérifier le temps de production ;

- vérifier l'exigence de mise en position isostatique des cuves ;
- vérifier le dimensionnement de la structure porteuse du biogénérateur ;
- vérifier l'exigence de précision dans la mesure du poids du produit en phase de remplissage par l'étude de la chaîne de mesure de la pesée et de la régulation de masse ;
- vérifier les exigences imposées à la régulation de température à l'aide d'une modélisation, du dimensionnement et du réglage de la chaîne de régulation ;
- vérifier l'exigence de sécurité des personnes et de la production en cas de défaut électrique.

2. Analyse globale des résultats

La grande majorité des candidats a abordé l'ensemble des parties du sujet. La partie modélisation de l'échange thermique entre les cellules dans le bioréacteur et le monofluide a obtenu le taux de réponse le plus faible. Pourtant cette partie faisait appel à des modèles classiques du domaine des échanges de flux de chaleur. Tous les modèles de connaissances étaient donnés. Le candidat devait s'approprier les différentes équations, grandeurs physiques et notations mises en jeu pour ensuite les utiliser dans le cadre de l'étude spécifique de l'échange thermique proposé. De plus, réussir cette épreuve demande d'assimiler des problématiques industrielles par une approche globale des systèmes complexes et de posséder des compétences transversales de sciences de l'ingénieur afin de pouvoir les résoudre. Pour répondre à ces exigences, les candidats doivent fournir un réel investissement de capacité d'appropriation de modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie même quand ceux-ci sont fournis. Ils doivent chercher à enrichir leur culture technologique afin d'être capable de comprendre et analyser différents résultats d'études pour pouvoir formuler des conclusions qui ont du sens dans toutes les spécialités de l'ingénierie. 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.

La difficulté des questions dans chaque partie était suffisamment progressive pour permettre d'identifier les candidats les plus performants dans les différents domaines abordés.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 2 – Analyse globale de la ligne de production

L'objectif de cette partie est de vérifier le temps de production imposé par le cahier des charges.

L'utilisation d'outils de l'ingénierie système comme un diagramme des exigences et un diagramme des blocs internes permet au candidat de s'approprier le processus et ses composants afin de pouvoir ensuite déterminer le temps de production.

Tous les candidats ont abordé cette partie et l'ont globalement bien réussie avec un taux de réussite de 70 % en moyenne. Les outils de l'ingénierie système sont connus et maîtrisés par presque la totalité des candidats. L'identification des flux de matière, énergie, information n'a pas posé de problème particulier malgré la complexité du processus. Les difficultés ont été davantage dans le calcul du temps de production qui demandait d'adopter une démarche méthodique de recensement des temps à calculer.

Partie 3 – Étude de l'exigence : « remplir la cuve avec précision »

L'objectif de cette partie est de vérifier l'exigence de précision du remplissage de la cuve spécifiée dans le cahier des charges. Il est nécessaire de vérifier les quatre exigences. Tout d'abord il faut s'assurer des bonnes conditions de mesures en vérifiant la mise en position correcte de la cuve sur son support et en dimensionnant la structure porteuse adéquate. L'information délivrée par les capteurs de pesage doit ensuite être traitée et analysée pour assurer la précision demandée. L'information de masse est utilisée au final dans un asservissement afin d'assurer l'exigence de précision au cours du remplissage.

3.1 Mise en position isostatique des cuves

L'objectif de cette étude est de vérifier l'exigence d'une mise en position isostatique de la cuve de 4 500 litres.

L'étude se décline en trois étapes dans le but d'aboutir à un modèle de liaison complète isostatique entre la cuve et la dalle.

Les candidats ont parfois confondu schéma cinématique et graphe des liaisons. Si les liaisons étaient mal identifiées, il était alors difficile de conclure. Cette partie a été traitée par 98 % des candidats avec un taux de réussite moyen de 50 % ce qui est relativement faible pour une partie plutôt orientée ingénierie mécanique.

3.2 Dimensionnement du support de la cuve

L'objectif de l'étude est de justifier l'exigence d'une flèche maximale de 5 mm du support de cuve et de dimensionner les tubes métalliques de cette structure porteuse pour la cuve de 9 tonnes afin de vérifier cette exigence de déplacement maximal.

Lors de la résolution d'un problème de type poutre, il faut bien définir les hypothèses, les conditions aux limites pour obtenir un résultat pertinent. Cette partie ne faisait pas appel à des connaissances mais à des capacités d'analyse et de justification de modèle.

98 % des candidats ont abordé cette partie mais cette partie a été réussie de manière mitigée à 50 % en moyenne.

3.3 Précision de la mesure par le capteur

L'objectif de l'étude est de vérifier que le capteur de pesage permet d'obtenir la précision de mesure de la pesée de 1 % imposé par le cahier des charges.

Cette partie est consacrée à l'analyse d'une chaîne complète d'acquisition : depuis la capture de la grandeur physique jusqu'à la restitution de l'information numérique en passant par son traitement et son conditionnement sous forme analogique et numérique.

89 % des candidats ont abordé cette partie mais les résultats sont décevants puisque le taux de réussite est de 33 %. Trop de candidats ont des difficultés à identifier et structurer la chaîne complète d'acquisition qui était une chaîne classique d'acquisition que l'on retrouve dans tous les systèmes complexes actuels. La discrétisation de l'équation différentielle par la méthode d'Euler et sa simplification ont été mal traitées par la plupart des candidats. Le jury note beaucoup d'erreur dans les unités. Il est également important de savoir traduire dans un langage de programmation un algorithme simple comme celui exposé dans le sujet. La proportion de compétences informatiques devrait augmenter dans les prochains sujets.

3.4 Régulation de niveau de la cuve

L'objectif de l'étude est de vérifier que la régulation de niveau de la cuve permet de respecter le critère de précision du cahier des charges au cours du remplissage.

L'objet de cette partie est tout d'abord de justifier la prise en compte de la « queue de chute » lors de la fermeture de la vanne de remplissage qui engendre un décalage de la mesure de poids de la cuve, puis de choisir le correcteur adéquat pour la régulation de niveau.

75 % des candidats ont abordé cette partie mais les résultats sont un peu décevants puisque le taux de réussite moyen est de 36 %. Il apparaît que trop de candidats éprouvent des difficultés à transcrire

la description littérale de la régulation en un schéma bloc fonctionnel à boucle simple. La remise dans son contexte des conséquences de certains choix technologiques présente des difficultés pour nombre de candidats. Dans cette partie, il est demandé de justifier ou de décrire, il est donc 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.

Partie 4 – Étude de l'exigence « permettre une mise en température rapide de la cuve »

L'objectif de cette partie est de vérifier le temps de montée en température du produit présent dans la cuve. Le diagramme des exigences du cahier des charges impose que le produit dans la cuve passe de 4 °C à 37 °C en 3h tout en ne dépassant jamais 39 °C avec une précision de 0,1 °C.

4.1 Modélisation de l'échange thermique monofluide/produit

L'objectif de cette partie est d'élaborer la loi de connaissance qui régit l'échange thermique entre le monofluide et le produit, pour ensuite analyser l'évolution de la température dans la cuve et finalement justifier la nécessité d'une régulation de température pour ne pas détruire les cellules.

Cette partie n'a été abordée que par 62 % des candidats avec un taux de réussite moyen de 37 %. Tous les modèles de connaissance de thermique étaient fournis. La démarche de modélisation était donnée par un questionnement progressif et les résultats intermédiaires étaient fournis. Il était ainsi possible d'apporter des conclusions car les courbes de simulation du modèle obtenu étaient fournies en fin de partie. Le jury attire l'attention des candidats sur le fait que les problèmes de thermique sont l'occasion de mettre à profit une approche transversale de résolution de problème. Enfin, peu de candidats ont su prendre le recul en se plaçant dans la réalité industrielle du biogénérateur pour justifier la nécessité d'une régulation thermique à cause de la dynamique du système.

4.2 Modélisation et réglage de la chaîne de régulation en température du bioréacteur dans la phase de mise en chauffe en début de production

L'objectif de cette partie est de modéliser la chaîne de régulation puis de choisir le correcteur qui permet de répondre à tous les critères du cahier des charges. Cette partie privilégie une approche qualitative des performances d'un asservissement sans aucun calcul, simplement par l'analyse de courbes de simulation ou de résultats expérimentaux, et par la justification de choix et modèles.

58 % des candidats ont abordé cette partie avec un taux de réussite de 42 %. Certains candidats ont eu des difficultés à faire le lien entre le schéma blocs fonctionnel et le schéma structurel, pourtant toutes les unités des grandeurs d'entrée et de sortie étaient données. Parfois, l'étude s'est limitée à l'analyse d'un seul critère de performances, or le cahier des charges en imposait quatre.

Partie 5 - Étude de l'exigence « assurer la sécurité de la production et des personnes »

L'objectif de cette partie est de valider les liaisons terre-neutre réalisées sur l'installation afin d'assurer la sécurité de la production et des personnes.

5.1 Transfert d'énergie et effet du courant lorsque le neutre est relié à la terre

L'objectif de l'étude était de montrer que le premier schéma de liaison à la terre proposé, qui consiste à relier le conducteur de protection au neutre puis le neutre à la terre, ne permet pas de satisfaire les exigences de sécurité du cahier des charges.

Dans cette partie, les modèles étaient fournis, les candidats devaient mettre en œuvre les lois de bases de l'électricité pour conclure. Peu de candidats ont correctement traité cette partie.

5.2 Transfert d'énergie et effet du courant lorsque le neutre est séparé de la terre par une impédance

L'objectif de cette étude était de montrer que la solution de séparer le neutre de la terre par une impédance permet de conserver le transfert d'énergie tout en garantissant la sécurité des personnes en présence d'un premier défaut.

L'étude donne tous les modèles y compris les équations intermédiaires, ce qui permet de conclure sur la pertinence du choix du schéma de liaison à la terre sur le site industriel dans le cas de l'apparition d'un unique défaut.

5.3 Dangerosité de l'apparition d'un second défaut entre phase 2 et neutre

L'objectif de cette étude est de montrer que la solution choisie permet de répondre aux exigences du cahier des charges.

Cette partie a été abordée par 73 % des candidats et plutôt mal réussie avec un taux moyen de réussite de 25%. Il est essentiel de savoir appliquer les lois élémentaires de l'électricité (loi des nœuds, loi des mailles) pour aborder sereinement ces questions.

Partie 6 - Synthèse

Cette partie permet de faire une synthèse de la démarche proposée dans l'étude d'avant-projet d'ingénierie de conception d'une unité de production de vaccins et de vérifier que les exigences attendues par le commanditaire sont satisfaites.

Seulement 30 % des candidats ont traité cette question. Il s'agissait de prendre du recul sur le sujet en se replaçant dans le contexte industriel.

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 sélectionnent uniquement les questions relatives à leur spécialité ne réussissent pas cette épreuve car forcément la note finale est 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 compétences 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 et respecter les indications ci-après.

Le numéro des questions traitées doit être indiqué et respecté. Les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées.

De plus, les résultats doivent être impérativement présentés de la façon suivante :

- l'expression littérale, sans aucune application numérique, est présentée encadrée ;
- l'expression est ensuite donnée en remplaçant les termes littéraux par leurs valeurs numériques, dans le même ordre que l'expression littérale ;
- le résultat numérique est ensuite indiqué avec l'unité et encadré.

Enfin, 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. Il est conseillé aux candidats d'appuyer leur raisonnement sur des schémas qui sont une aide précieuse à la compréhension du phénomène mis en jeu et à la résolution des problématiques. Mais, pour que le schéma soit pris en compte et apporte une réelle aide, il faut qu'il soit lisible, en couleur, et paramétré si nécessaire.

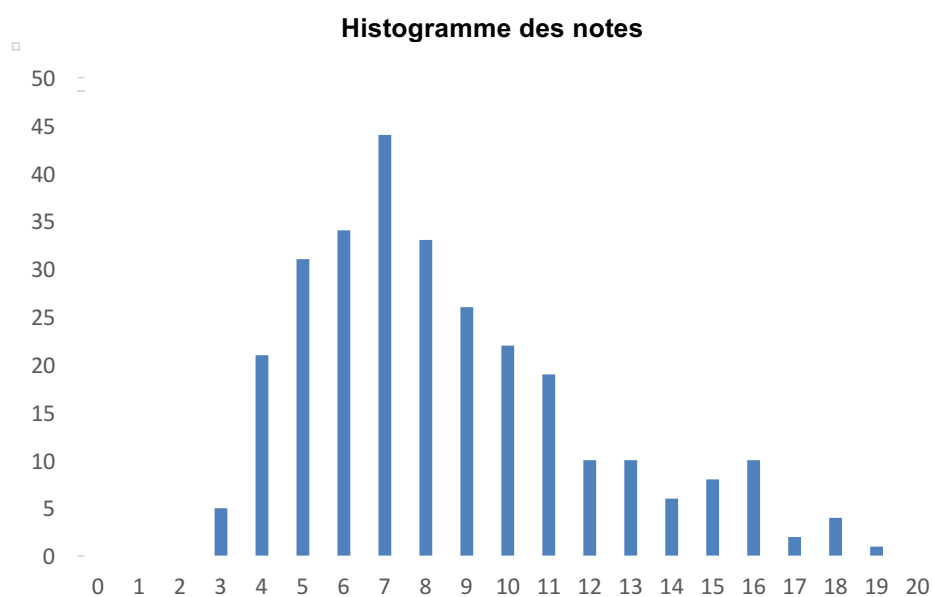
4. Conclusions

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluri-technologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Toutes les questions du sujet ont été abordées globalement 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

286 copies ont été évaluées, dont 67 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8/20 et l'écart-type 3,5 avec :

- 18,40 comme meilleure note ;
- 2,73 comme note la plus basse.

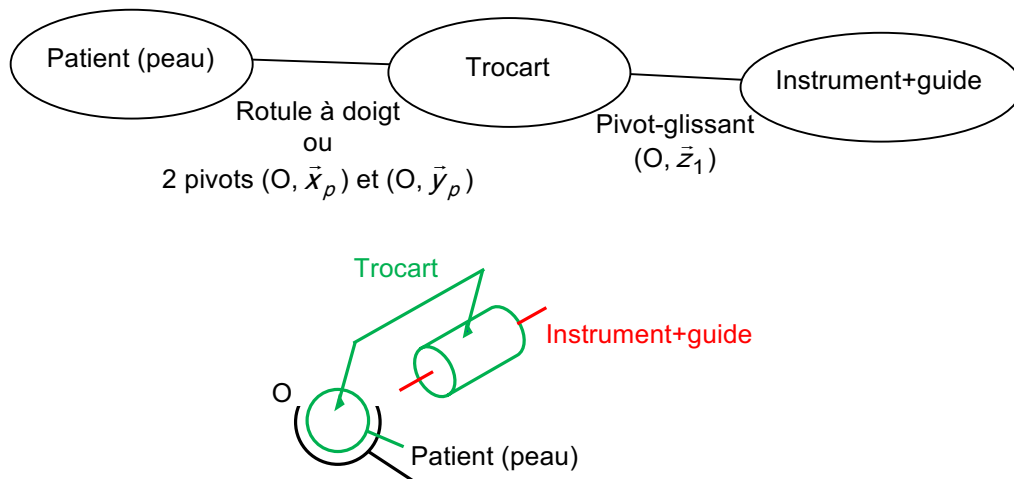


Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Question 1 À partir de la figure 5 décrivant les mobilités de l'instrument par rapport au patient, **définir** les liaisons et **établir** un schéma cinématique faisant apparaître les classes d'équivalence suivante :

- patient (sa peau) ;
- trocart ;
- instrument (poignées considérées comme non actionnées) ;

Proposer une liaison cinématique équivalente entre le patient et la pince de l'instrument du chirurgien.



La liaison équivalente : linéaire annulaire de centre O et d'axe \vec{z}_i .

Question 2 **Décrire** par un dessin la forme de l'espace de travail de la pince (le volume contenant l'ensemble des positions du point M, extrémité de la pince, admissible par ce système). **Dénombrer et définir** les paramètres cinématiques indépendants qui sont nécessaires pour reproduire la position et l'orientation de la pince imposées par le chirurgien.

L'espace de travail est une portion de sphère. Trois angles de rotation sont nécessaires pour définir l'orientation de la pince dans le repère patient, une translation est de plus nécessaire pour définir la distance entre l'extrémité de la pince et le trocart : le robot doit avoir au moins 4 degrés de liberté indépendants pour reproduire le mouvement du chirurgien.

Question 3 À partir des résultats expérimentaux de la figure 7 et de la définition des angles de la figure 5, définir les contraintes dimensionnelles de l'espace de travail à imposer au robot de chirurgie. Expliquer l'intérêt de cette définition de l'espace de travail en phase de conception du robot de chirurgie ?

La portion de sphère doit avoir comme caractéristiques dimensionnelles : $100^\circ \leq \Psi \leq 170^\circ$, $30^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$. Concernant la rotation propre de la pince, on propose de ne pas limiter son orientation en imposant au robot : $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$.

On peut aussi définir l'espace de travail comme un cône tronqué de demi-angle au sommet d'au moins 35° . L'intérêt de la définition de l'espace de travail lors de la phase de conception est de choisir une architecture cinématique et des dimensions caractéristiques permettant de respecter la zone de travail habituelle du chirurgien lors d'une opération.

Question 4 Déterminer la relation liant F_P et F_M lorsque la pince est à l'équilibre, **calculer** la valeur minimum de $\frac{L_{int}}{L_{ext}}$ pour que le chirurgien conserve une sensibilité.

En appliquant le principe fondamental de la statique, nous obtenons avec l'équation des moments suivant la direction \vec{y} :

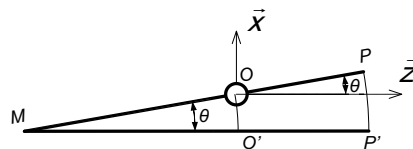
$$L_{int} \cdot F_M - L_{ext} \cdot F_P = 0$$

Pour que le chirurgien conserve sa sensibilité : $\frac{L_{int}}{L_{ext}} \cdot F_M > F_{pmini} > 0,06$

$$\text{soit } \frac{L_{int}}{L_{ext}} > 0,06$$

Question 5 Déterminer l'erreur de positionnement initiale du trocart suivant l'axe (O, \vec{X}) si le chirurgien doit effectuer une rotation d'angle $\theta = 0,1$ rad pour atteindre le point d'intervention M (pour cette question l'instrument est considéré comme indéformable et $L_{int} = 100$ mm).

Le point M à atteindre reste identique, nous avons donc le schéma suivant :



Nous avons $\vec{O'O} \cdot \vec{X} = L_{int} \cdot \sin\theta$, θ étant petit nous avons $\vec{O'O} \cdot \vec{X} = L_{int} \cdot \theta$ soit $\vec{O'O} \cdot \vec{X} = 10$ mm

Question 6 Expliquer l'expression de $\rho_{chair \rightarrow pince}$ et **déterminer** l'effort maximal F_P sous forme littérale pour que le système soit en équilibre. Effectuer l'application numérique avec $k = 10 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, $0 \leq \theta \leq 0,1$ rad, $L_{int} = 100$ mm et $L_{ext} = 200$ mm.

L'action de la chair sur la pince s'effectue sur toute la longueur à l'intérieur du corps, il s'agit d'une force linéique répartie.

De plus, à un angle donné θ , le déplacement suivant la direction \vec{X} est proportionnel à la cote z si l'on choisit une modélisation de type « ressort ».

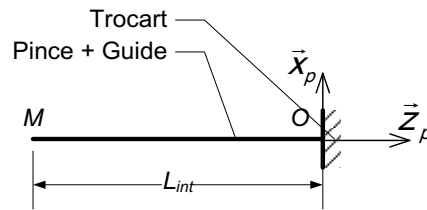
$$\text{D'où l'expression } d\vec{F}_{chair \rightarrow endo} = -k \cdot z \cdot \theta \cdot \vec{x}_p \cdot dz$$

$$F_P = F_M \cdot \frac{L_{int}}{L_{ext}} + k \cdot \theta \cdot \frac{L_{int}^3}{3 \cdot L_{ext}}$$

$$F_P = \frac{L_{int}}{L_{ext}} \left(F_M + k \cdot \theta \cdot \frac{L_{int}^2}{3} \right)$$

$$\text{d'où } F_P = 26,7 \text{ N}$$

Question 7 Déterminer le moment fléchissant $M_f(z)$ pour $z \in [-L_{int}, 0]$.



Si on prend l'origine au point M, pour $z \in [0, L_{int}]$:

$$M_f(z) = F_M \cdot z + k \cdot \theta \cdot (L_{int} - z) \cdot \frac{z^2}{2} + k \cdot \theta \cdot \frac{z^3}{3}$$

Avec l'origine au point O, pour $z \in [-L_{int}, 0]$:

$$M_f(z) = F_M \cdot (z + L_{int}) + k \cdot \theta \cdot \left(\frac{L_{int}^3}{3} + \frac{z^3}{3} \right)$$

Question 8 Déterminer l'expression littérale de la flèche en M, effectuer l'application numérique avec $E = 34$ GPa (module d'élasticité du matériau).

La relation liant la flèche au moment fléchissant est :

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2 x(z)}{dz^2} = M_f(z) \quad \text{avec } x(0) = 0 \text{ et } \frac{dx(0)}{dz} = 0$$

Pour $z \in [-L_{int}, 0]$:

$$\frac{dx(z)}{dz} = \frac{1}{E \cdot I} \left(F_M \cdot \left(\frac{z^2}{2} + L_{int} z \right) + k \cdot \theta \cdot \left(\frac{L_{int}^3 z}{3} + \frac{z^4}{12} \right) \right) + cste$$

Condition limite : $\frac{dx(0)}{dz} = 0$ entraîne que la constante est égale à 0.

$$x(z) = \frac{1}{E \cdot I} \left(F_M \cdot \left(\frac{z^3}{6} + L_{int} \frac{z^2}{2} \right) + k \cdot \theta \cdot \left(\frac{L_{int}^3 z^2}{6} + \frac{z^5}{60} \right) \right) + cste$$

Condition limite : $x(0) = 0$ entraîne que la constante est égale à 0.

$$x(z) = \frac{1}{E \cdot I} \left(F_M \cdot \left(\frac{z^3}{6} + L_{int} \frac{z^2}{2} \right) + k \cdot \theta \cdot \left(\frac{L_{int}^3 z^2}{6} + \frac{z^5}{60} \right) \right)$$

Avec $I = \frac{\pi \cdot (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}{64} = 26,7 \text{ mm}^4$ et $E = 34\,000 \text{ MPa}$

On obtient :

$$x(M) = 24 \text{ mm}$$

Cette flèche en bout de la pince est très grande. Les hypothèses de petites déformations ne sont plus valables pour une flèche aussi importante vis-à-vis de la longueur de la pince sollicitée $L_{int} = 100 \text{ mm}$. On trouve que la force F_M entraîne une flèche de 7 mm alors que l'action de la chair environ 17 mm. C'est donc cette dernière action mécanique qui provoque le plus de déformation de la pince dans cette configuration.

Question 9 Discuter de la modélisation des actions mécaniques appliquées par la peau sur la pince et conclure sur l'influence du positionnement du trocart et des conséquences de la déformation de l'outil sur le pilotage du robot haptique.

La rotation après l'insertion de l'endoscope dans le corps provoque une déformation de 24 mm ce qui est très conséquent.

Lors de l'opération chirurgicale, pour éviter l'action de la peau sur l'endoscope, un gaz neutre est injecté sous la peau afin de minimiser les contacts directs entre la peau et l'endoscope, la force $\vec{F}_{\text{chaire} \rightarrow \text{endo}}$ n'existe donc plus, cela permet de diminuer la flèche de l'outil.

La précision du positionnement du trocart et du point de pénétration dans la chair est fondamentale. Il faut que le trocart soit proche du lieu d'intervention pour éviter les déformations importantes.

Le robot haptique est contrôlé via un retour visuel vers l'opérateur : la déformation de l'outil n'est pas un problème pour ce système, car l'opérateur contrôle visuellement la position réelle de l'extrémité de l'outil. Le robot, par contre, ne peut pas connaître avec précision la position de l'extrémité de son outil au cours de l'opération (sauf via une éventuelle analyse par stéréovision).

Question 10 Décrire la forme de l'espace de travail de chaque robot c'est-à-dire le volume défini par l'ensemble des positions atteignables par l'effecteur. On considèrera que la liaison glissière est la seule à être limitée dans son amplitude de mouvement.

Déterminer les paramètres géométriques de chaque robot qui influencent la dimension de ces espaces de travail.

- Bras manipulateur classique : sphère de centre O_2 et de rayon défini par la somme des longueurs de bras à partir du point O_2 .
- Bras à liaisons pivots concourantes, poignet sphérique : cône de demi-angle égal à $\alpha_1 + \alpha_2$ (d'une hauteur limitée par la butée mécanique de la liaison glissière)

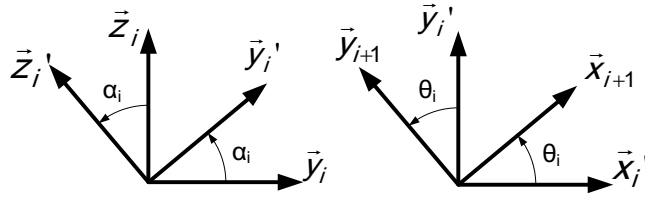
Question 11 Proposer l'architecture la plus adaptée à la conception d'un robot de chirurgie mini-invasive et **justifier** votre choix.

Le poignet sphérique permet d'assurer que s'il est bien positionné initialement par rapport au trocart : centré sur le point O (incision du trocart), l'instrument contrôlé sera toujours coïncident avec ce point. Le robot ne pourra pas arracher le trocart et donc blesser sévèrement le patient.

Les angles d'inclinaison de l'instrument seront aussi limités par la conception du robot et donc empêcheront l'arrachement du trocart.

Le bras manipulateur classique peut restreindre aussi son espace de travail mais uniquement au niveau du contrôle commande. En cas de défaillance grave de ce contrôle, le trocart pourrait être arraché violemment par le robot.

Question 12 Définir les paramètres angulaires par deux figures planes : l'une pour les paramètres de conception α_i de la base B_i à la base B_i' , l'autre pour les paramètres de commande θ_i de la base B_i' à la base B_{i+1} .



Question 13 Établir l'expression de la matrice de passage $P_{B_i \rightarrow B'_i}$ en fonction de α_i puis de la matrice de passage $P_{B'_i \rightarrow B_{i+1}}$ en fonction de θ_i .

$$P_{B_i \rightarrow B'_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix}_{B_i} \quad \text{et} \quad P_{B'_i \rightarrow B_{i+1}} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{B_i}$$

Question 14 Déterminer l'expression des vitesses $\vec{V}_{M \in 4/0}$ et $\vec{\Omega}_{4/0}$ en fonction des paramètres $\dot{\theta}_i$ et \dot{z} . Le calcul des produits vectoriels ne sera pas développé.

$$\vec{\Omega}_{4/0} = \sum_{i=0}^2 \dot{\theta}_i \cdot \vec{z}_i' = \sum_{i=0}^2 \dot{\theta}_i \vec{z}_{i+1} = \dot{\theta}_0 \cdot \vec{z}_0' + \dot{\theta}_1 \cdot \vec{z}_1' + \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2' = \dot{\theta}_0 \cdot \vec{z}_1 + \dot{\theta}_1 \cdot \vec{z}_2 + \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_3$$

$$\vec{V}_{M \in 4/0} = \left(\frac{d\vec{OM}}{dt} \right)_{R_0} = \left(\frac{dz(t) \vec{z}_4}{dt} \right)_{R_0} = \dot{z}(t) \cdot \vec{z}_4 - z(t) \cdot \vec{z}_4 \wedge \vec{\Omega}_{4/0} = \dot{z}(t) \cdot \vec{z}_4 - z(t) \cdot \vec{z}_4 \wedge \left(\sum_{i=0}^2 \dot{\theta}_i \cdot \vec{z}_{i+1} \right)$$

$$\vec{V}_{M \in 4/0} = \dot{z}(t) \cdot \vec{z}_4 - z(t) \cdot \left(\sum_{i=0}^2 \dot{\theta}_i \vec{z}_4 \wedge \vec{z}_{i+1} \right)$$

Question 15 Démontrer que l'expression de $\overline{\overline{J}}_\omega$ devient :

$$\overline{\overline{J}}_\omega = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \sin \alpha_2 \sin \theta_1 \\ 0 & -\sin \alpha_1 & -\cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \theta_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \\ 1 & \cos \alpha_1 & -\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \theta_1 + \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \end{bmatrix}_{B_1}$$

Une erreur d'indice ainsi qu'une erreur de signe étaient présentes dans la matrice à retrouver.

$$\overline{\overline{J}}_\omega \begin{vmatrix} \dot{\theta}_0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{vmatrix} = \vec{\Omega}_{4/0} = \sum_{i=0}^2 \dot{\theta}_i \vec{z}_{i+1} = \begin{pmatrix} \vec{z}_1 & \vec{z}_2 & \vec{z}_3 \end{pmatrix} \begin{vmatrix} \dot{\theta}_0 \\ \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{vmatrix}$$

Si on exprime tous les vecteurs dans la base B1, on trouve :

$$\vec{z}_1 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}_{(B_1)} \quad \vec{z}_2 = \vec{z}_1' = \begin{vmatrix} 0 \\ -\sin \alpha_1 \\ \cos \alpha_1 \end{vmatrix}_{(B_1)} \quad \vec{z}_3 = \vec{z}_2' = \begin{vmatrix} \sin \alpha_2 \sin \theta_1 \\ -\cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \theta_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2 \\ -\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \theta_1 + \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 \end{vmatrix}_{(B_1)}$$

Question 16 Représenter le ou les configuration(s) singulière(s) du robot. Conclure quant aux solutions permettant d'éviter ces configurations singulières afin de pouvoir contrôler l'effecteur par le modèle cinématique inverse.

Le déterminant de la matrice : $w = \det(\overline{\overline{J}}_\omega) = \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \sin \theta_1$

Cette matrice n'est pas inversible lorsque $w=0$ donc quand $\theta_1 = k\pi$
 Les deux configurations singulières : bras replié (coude plié) ou bras déplié (coude tendu).

Question 17 Expliquer pourquoi la matrice d'inertie du bras porteur S_3 a deux produits d'inertie négligeables. **Déterminer** l'expression littérale du moment d'inertie J_1 par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) de l'ensemble S_1 : {bras porteur 1 + stator du motoréducteur 1} puis **déterminer** la valeur numérique de J_1 .

Le solide S_3 est modélisé par une masse ponctuelle donc toutes les composantes de sa matrice d'inertie sont nulles. La matrice d'inertie du bras porteur (S_1 et S_2) a deux produits d'inertie négligeables car la pièce est conçue avec un plan de symétrie de normale \vec{y} Donc les produits d'inertie xy et zy sont nuls.

$$J_1 = C + m_{MT} \cdot L^2$$

$$AN : J_1 = 8400 + 0,5 \cdot 2 \cdot 10^2 = 30450 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Question 18 Déterminer l'expression du moment d'inertie J_2 par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) du solide S_2 : {bras porteur 2 + stator du motoréducteur 2}. Cette expression dépendra des angles articulaires du robot.

$$J_2 = C + m_B \cdot \overrightarrow{OO_1} \cdot \overrightarrow{OO_1} + m_{MT} \cdot \overrightarrow{OO_2} \cdot \overrightarrow{OO_2}$$

or

$$\overrightarrow{OO_1} \cdot \overrightarrow{OO_1} = L^2$$

et

$$\overrightarrow{OO_2} \cdot \overrightarrow{OO_2} = (L \cdot \vec{x}_1 + L \cdot \vec{x}_2)^2 = 2 \cdot L^2 \cdot (1 + \cos \theta_2)$$

donc

$$J_2 = C + m_B \cdot L^2 + 2 \cdot m_{MT} \cdot L^2 \cdot (1 + \cos \theta_2)$$

Question 19 Déterminer l'expression littérale du moment d'inertie J associé à l'ensemble du bras robotisé {2 bras porteurs + 2 stators des motoréducteurs + S_3 } par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) .
Déterminer ses valeurs numériques minimale et maximale.

$$J = J_1 + J_2 + m_3 \overrightarrow{OG_3} \cdot \overrightarrow{OG_3}$$

or

$$\overrightarrow{OG_3} \cdot \overrightarrow{OG_3} = \overrightarrow{OO_2} \cdot \overrightarrow{OO_2} = (L \cdot \vec{x}_1 + L \cdot \vec{x}_2)^2 = 2 \cdot L^2 (1 + \cos \theta_2)$$

$$J = 2 \cdot C + (m_{MT} + m_B) \cdot L^2 + 2(m_{MT} + m_3) \cdot L^2 (1 + \cos \theta_2)$$

A.N :

$$J_{max} = 0,185 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_{min} = 0,062 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Question 20 Conclure quant à l'intérêt de prendre en compte les variations du moment d'inertie associé à l'ensemble du bras robotisé par rapport à l'axe (O, \vec{z}_0) en fonction de la posture du robot.

Le moment d'inertie minimum est égal à 33% du moment d'inertie maximum. Il semble donc être pertinent de prendre en compte l'inertie variable autour du premier motoréducteur pour avoir un modèle dynamique réaliste.

Question 21 Déterminer l'équation dynamique du mouvement en considérant que θ_2 et θ_3 sont quelconques, mais constants et que le mouvement est commandé par un couple $\vec{C}_{01} = C_{01}(t) \cdot \vec{z}_0$ au niveau de la liaison pivot de S_1 par rapport à S_0 . L'accélération de la pesanteur est définie par $\vec{g} = -g \cdot \vec{y}_0$. On notera m_{TOT} la masse totale des pièces en mouvement et G le centre de masse des pièces en mouvement. **Donner** l'expression vectorielle de \vec{OG} en fonction des masses et des centres de masse de chaque composant.

On applique le théorème du moment dynamique autour de l'axe O, \vec{z}_0):

$$J \cdot \dot{\omega}(t) = -m_{TOT} \cdot g \cdot \vec{OG}(t) \cdot \vec{x} + C_{01}(t)$$

$$\text{Avec } m_{TOT} \cdot \vec{OG} = m_B \cdot \vec{OG}_{B_1} + m_{MT} \cdot \vec{OO}_1 + m_B (\vec{OO}_1 + \vec{O}_1 \vec{G}_{B_2}) + (m_{MT} + m_3) \cdot \vec{OO}_2$$

Question 22 Déterminer la valeur numérique du couple maximal au niveau du motoréducteur disposé en O. On considérera que le moment d'inertie autour de cet axe est égal à $0,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. **Conclure** concernant le dimensionnement du motoréducteur choisi qui accepte un couple en crête de $28 \text{ N} \cdot \text{m}$ et un couple maximal en continu de $6,8 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Détermination de la position du centre de masse global (point d'application de la gravité).

$$m_{TOT} \cdot \vec{OG} = m_B \cdot \vec{OG}_{B_1} + m_{MT} \cdot \vec{OO}_1 + m_B (\vec{OO}_1 + \vec{O}_1 \vec{G}_{B_2}) + (m_{MT} + m_3) \cdot \vec{OO}_2$$

$$m_{TOT} = 515 + 2 \cdot 500 + 200 = 1714 \text{ g}$$

A.N avec le bras horizontal :

$$OG = \frac{515 \cdot 100 + 500 \cdot 210 + 515 \cdot (100 + 210) + (500 + 200) \cdot 420}{1714} = 356 \text{ mm}$$

On applique le théorème du moment dynamique autour de l'axe O, \vec{z}_0):

$$J \cdot \dot{\omega} = -m \cdot g \cdot OG + C_{max}$$

$$C_{max} = J \cdot \dot{\omega} + m \cdot g \cdot OG$$

A.N :

$$C_{max} = 0,2 \cdot 10 + 1,714 \cdot 9,81 \cdot 0,356$$

$$C_{max} = 8 \text{ Nm}$$

Le motoréducteur ne pourra pas supporter cette charge en continu, mais pourra réaliser un démarrage dans ce cas de fonctionnement. Ce couple ne devra pas être maintenu trop longtemps.

Question 23 Indiquer comment, lors de la phase de conception, diminuer ce couple maximal afin de diminuer le coût d'achat du motoréducteur.

Il faut chercher à diminuer la masse des éléments (volume et masse volumique) qui composent le système, particulièrement les masses qui sont à l'extrémité du bras. On peut choisir notamment des motoréducteurs plus légers en bout de bras.

Question 24 Indiquer et démontrer par les relations de résistance des matériaux l'expression de l'équation différentielle spatio-temporelle de vibrations libres qui permet de déterminer les fréquences propres f_i du guide de la pince définies par la relation suivante. L'expression des constantes α_i définies par les conditions aux limites ne sont pas à préciser.

$$f_i = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\alpha_i^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot S}}$$

L'équation différentielle spatio-temporelle est la suivante :

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{\rho \cdot S}{EI} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = 0$$

Cette équation provient des équations de résistance des matériaux (flexion) en dynamique :

$\frac{dT}{dx} = S \cdot \rho \cdot \frac{d^2 y}{dt^2}$, Théorème de la résultante dynamique appliquée à une portion de poutre
 et $\frac{dM}{dx} = -T$, Relation entre moment fléchissant et effort tranchant (inertie en rotation négligée par

rapport à l'inertie en translation)

$$M = E \cdot I \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}, \text{ Équation différentielle de la déformée en flexion}$$

Question 25 Déterminer la valeur numérique du moment quadratique en flexion I puis la valeur numérique de la première fréquence propre du guide de pince avec $\alpha_0 = 1,875$ valable pour une poutre simplement encastree. **Conclure** quant au risque de sollicitation de ce mode de vibration par la télé-opération (les fréquences de commande sont inférieures à 5Hz) en critiquant éventuellement le modèle de comportement choisi. **Proposer** une solution technique permettant de diminuer ce risque de vibration de la pince.

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$$

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$$\text{A.N : } I = \frac{\pi(5^4 - 3^4)}{64} = 26,7 \text{ mm}^4 = 2,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4 \text{ et } S = \frac{\pi(5^2 - 3^2)}{4} = 12,6 \text{ mm}^2 = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Masse par unité de longueur : } \rho_L = 1000 \cdot 10^{-9} \cdot S = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} = 12,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\text{A.N : } f_i = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1,875^2}{0,3^2} \cdot \sqrt{\frac{34 \cdot 10^9 \cdot 26,7 \cdot 10^{-12}}{1000 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5}}} = 53 \text{ Hz}$$

Cette fréquence de résonance est plus haute que la fréquence de commande inférieure à 5 Hz. Elle ne pourra donc pas être sollicitée par le chirurgien. De plus, le modèle de comportement est éloigné de la situation réelle d'utilisation de la pince : le guide est glissé dans un trocart (déplacement non libre au niveau du trocart) et lors d'une opération le guide est en contact avec la chair du patient. Les modes de vibrations éventuellement sollicités seront très vite amortis au contact de la chair.

Afin de prendre en compte le trocart, on pourrait utiliser une longueur libre plus faible (de la sortie du trocart au bout de la pince) et on trouverait par exemple pour $L = 100 \text{ mm}$, environ 480 Hz qui est une fréquence très éloignée de la capacité de sollicitation humaine.

Si le chirurgien se sent gêné par des vibrations de l'effecteur alors il est possible de filtrer la commande entre le robot maître et le robot esclave ou bien de modifier le matériau de la pince afin d'augmenter son module d'élasticité et éventuellement son amortissement (matériau visco-élastique).

Question 26 Indiquer ce que représente les termes $\overline{M}(q)$, $V(q, \dot{q})$ et $G(q)$. Justifier en 3 phrases le fait que ces trois termes dépendent des coordonnées articulaires q et de leur dérivée. Indiquer le lien entre cette relation générique et l'étude dynamique partielle réalisée au paragraphe 3 de la partie 2.

$\overline{M}(q)$: matrice inertielle du robot esclave, les question 15 à 19 ont montré qu'elle dépendait des coordonnées articulaires du Robot ;
 $V(q, \dot{q})$: représente les effets centrifuges et de Coriolis (liées aux vitesses articulaires au carré) ;
 $G(q)$: représente les forces et couples dus à la gravité (leur valeur dépend de la position des bras du robot et donc des coordonnées articulaires).

Question 27 Expliquer de façon précise et concise la fonction des deux facteurs d'échelle β_p et β_f . Préciser le comportement du manipulateur esclave si $|\beta_p| < 1$ et si $|\beta_p| > 1$ ainsi que du système maître si $|\beta_f| < 1$ et si $|\beta_f| > 1$.

Étude de β_p :

- si $|\beta_p| < 1$ la commande haptique en position de X_h est réduite, ce qui diminue l'espace de travail du manipulateur ;
- si $|\beta_p| > 1$ la commande haptique en position de X_h est augmentée, ce qui augmente l'espace de travail du manipulateur.

Étude de β_f :

- si $|\beta_f| < 1$ la commande en effort de la machine F_d est minimisée, le retour d'effort à l'interface haptique est plus faible que la réalité pour le chirurgien ;
- si $|\beta_f| > 1$ la commande en effort de la machine F_d est augmentée, le retour d'effort à l'interface haptique est plus important que la réalité pour le chirurgien.

Question 28 Justifier en vous appuyant sur la figure 5 que, pour ce protocole l'action du trocart ne soit pas pris en compte.

La pénétration dans la surface molle (chair) s'effectue uniquement suivant la direction \vec{z} .

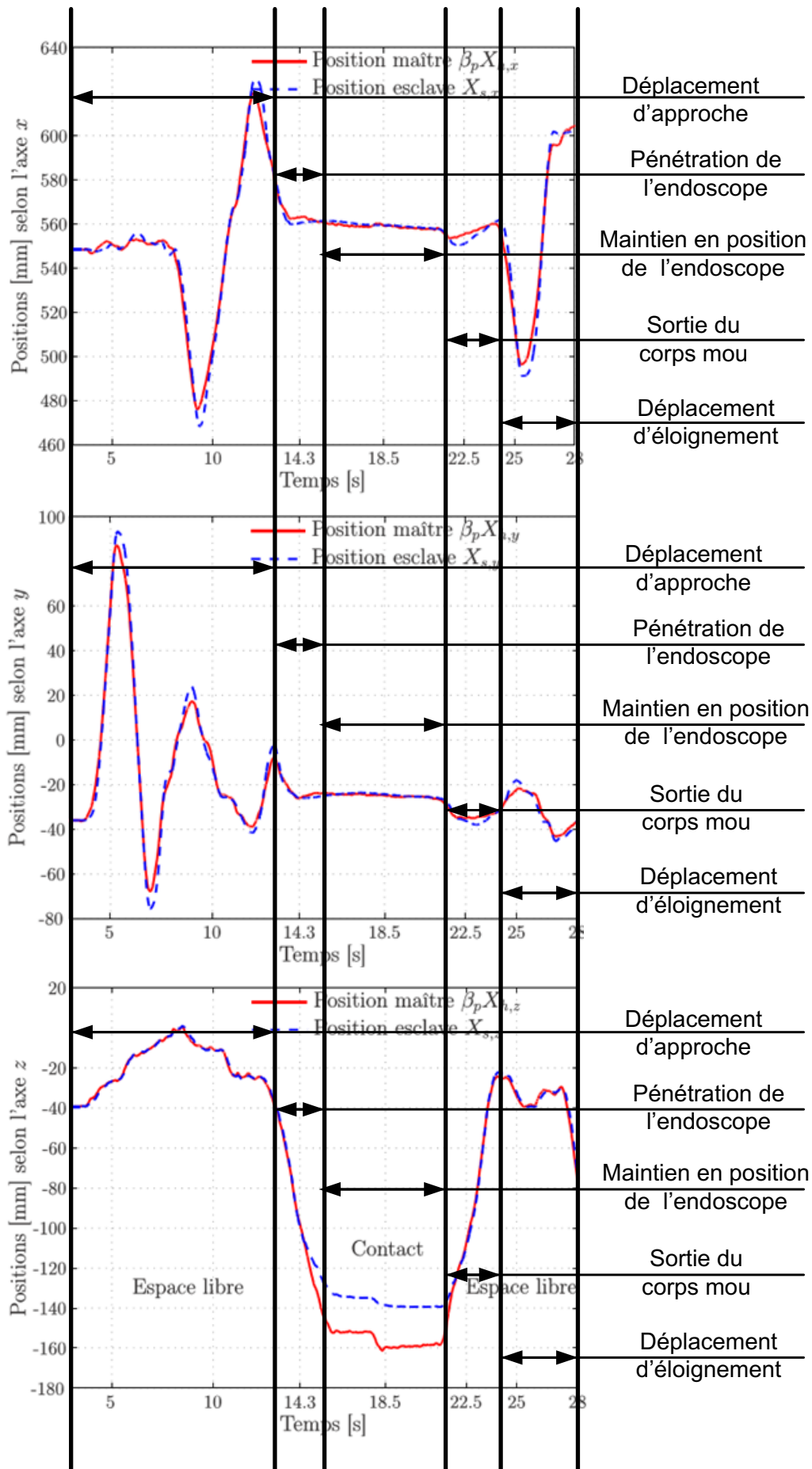
Il n'y a, une fois l'endoscope dans la matière molle, aucun mouvement de rotation, nous avons uniquement un mouvement de translation.

La liaison rotule créée par le trocart n'a pas d'utilité ni d'influence sur l'essai.

Question 29 A l'aide des courbes expérimentales, figure 17, figure 18 et figure 19, présentées en annexe 3, indiquer sur la copies le dates de début et de fin des cinq phases du protocole.

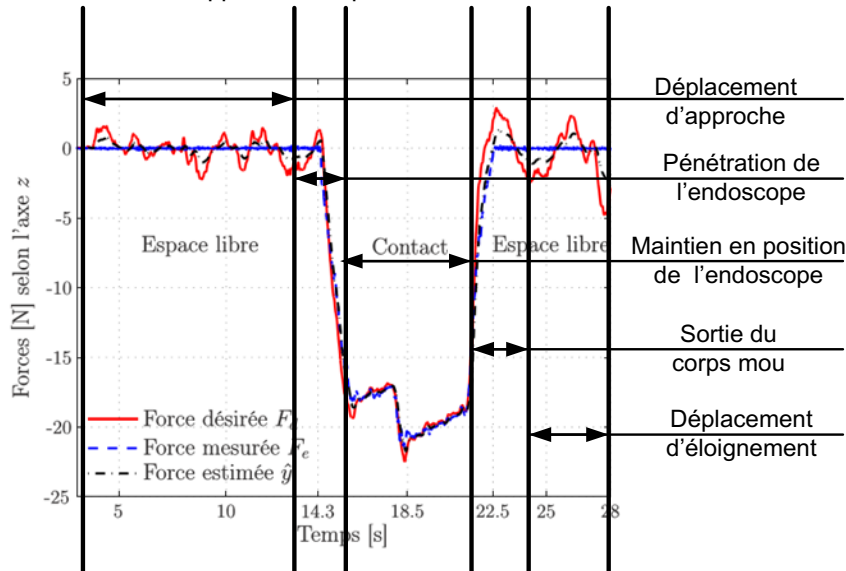
| Phases | Approche | Pénétration | Maintien | Sortie | Éloignement |
|-----------|----------|-------------|----------|--------|-------------|
| Début (s) | 0 | 13 | 16 | 21 | 24 |
| Fin (s) | 13 | 16 | 21 | 24 | 28 |

| Phases | Approche | Pénétration | Maintien | Sortie | Éloignement |
|--------|----------|-------------|----------|--------|-------------|
| Fd (N) | 0±2 | 0±2 | -19 | -19 | 0±3 |
| Fe (N) | 0 | 0 | -17 | -19 | 0 |



Question 30 À l'aide des courbes expérimentales (figure 19 et figure 20) situées en annexe 3 et annexe 4 :

- **Indiquer** sur la copie les valeurs de la force désirée F_d et de la force mesurée F_e pour les dates de début des cinq phases du protocole ;



- **déterminer** la valeur numérique de la commande de pénétration $\beta_p \cdot X_{h,z}$ et la valeur numérique de la pénétration réelle $X_{s,z}$ de l'endoscope ;

La commande de pénétration est de $\beta_p \cdot X_{h,z}$ est de $140 - 40 = 100$ mm, $\beta_p \cdot X_{h,z} = 100$ mm.
La pénétration réelle de l'endoscope $X_{s,z}$ est de $160 - 40 = 120$ mm, $X_{s,z} = 120$ mm.

- **en déduire** la raideur « virtuel » K_v .

La lecture du schéma permet d'écrire la relation suivante : $(X_h \cdot \beta_p - X_s) \cdot K_v = F_d$ soit

$$K_v = \frac{22,5}{100 - 120} \quad K_v = 1,125 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Question 31 **Déterminer** la valeur numérique de ε permettant d'annuler l'erreur entre $\beta_p \cdot X_{h,z}$ et $X_{s,z}$ durant l'acte chirurgical et **indiquer** l'incidence (ou les incidences) de cette modification sur les autres phases. Conclure quant à la pertinence de la modification de β_p .

Pour annuler l'erreur, il faut avec $\beta_p \neq (2 + \varepsilon)$, ε représente la modification à apporter.

Dans la configuration actuelle, $\frac{2 \cdot X_h}{X_s} = \frac{140}{160}$ et on peut écrire pour annuler l'erreur durant l'acte

chirurgical $\frac{(2 + \varepsilon) \cdot X_h}{X_s} = 1$ d'où $\varepsilon = 0,285$, la nouvelle valeur de $\beta_p = 2,285$

Le fait de corriger β_p sur cette phase va générer des erreurs pour les autres phases en particulier celle de la mise en position avant la pénétration dans le corps, ce qui est dommageable si on se réfère à la première partie du sujet avec la déformation de l'endoscope lors des rotations pour atteindre le tissu à opérer.

Il n'est pas pertinent de modifier β_p , il est préférable de travailler sur la mesure de l'effort F_e .

Question 32 **Déterminer** la valeur de l'effort ressenti par l'opérateur au niveau de l'interface haptique suivant la direction \vec{z} et vérifier que la valeur de l'effort correspond aux valeurs

données à la partie 1. **Déterminer** les déplacements maximum de la « main du chirurgien » X_h suivant les directions \vec{x} , \vec{y} et \vec{z} . **Conclure**, à partir des informations fournies dans la partie 1, quant à la possibilité pour le chirurgien de reproduire son geste professionnel avec ce modèle de commande.

L'effort F_d est au maximum de 22,5 N, nous avons $\beta_f = 0,1$, l'effort ressenti sera de 2,25 N ce qui est compatible avec les valeurs données au paragraphe où la sensibilité du chirurgien a un minimum à 0,06 N.

Avec $\beta_p = 2$, il est possible de déduire le déplacement de la main du chirurgien.

L'amplitude des déplacements suivant \vec{x} : 465 mm à 635 mm, soit en amplitude $\Delta X_{h_x} = 85$ mm

L'amplitude des déplacements suivant \vec{y} : -75 mm à 95 mm, soit en amplitude $\Delta X_{h_y} = 85$ mm

L'amplitude des déplacements suivant \vec{z} : 0 mm à -160 mm soit en amplitude $\Delta X_{h_z} = 80$ mm

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

1. Présentation du sujet

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

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externes/43/5/s2017_agreg_externes_sii_mecanique_2_735435.pdf

Le sujet proposé portait sur la modélisation d'un robot de chirurgie mini-invasive doté d'une interface haptique. Ce système a été spécialement conçu afin de reproduire fidèlement les mouvements du chirurgien. Deux parties permettaient d'aborder la problématique du sujet :

- la première partie consistait à établir un modèle empirique du geste chirurgical non robotisé afin de déterminer les principales exigences de conception à respecter ;
- la deuxième partie se concentrait sur le modèle de robot permettant de respecter les exigences formulées dans la première partie.

2. Analyse globale des résultats

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, quelques candidats ont sélectionné les parties où ils estimaient avoir une expertise suffisante pour répondre correctement aux questionnements. Cette démarche les a souvent conduits, lors des conclusions qui clôturaient les différentes parties du sujet, à formuler des réponses hors sujets et des analyses fausses.

L'interprétation des documents, courbes et schémas fournis, est bien traitée par l'ensemble des candidats. 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 confusions entre les différents types de schémas ainsi que l'absence de rigueur dans la définition d'un axe ou d'une direction dénotent d'une préparation perfectible.

Le concours de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur nécessite une expertise disciplinaire : il est surprenant que les questionnements théoriques nécessitant des développements mathématiques soient peu traités par une majorité de candidats.

Les questions de synthèse et de conclusion du sujet ont été traitées par un nombre restreint de candidats. Les réponses formulées sont souvent très générales et pas suffisamment étayées technologiquement et scientifiquement.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 1 §1 : analyse du mouvement du chirurgien : espace de travail.

Le questionnement proposait aux candidats de modéliser et de déterminer un modèle cinématique reproduisant les mobilités des instruments lors de l'intervention. La compréhension du fonctionnement du système n'a posé aucune difficulté à la quasi-totalité des candidats. Cependant, la formalisation, à

l'aide des outils de description et de modélisation du champ de la mécanique, n'a pas été correctement réalisée. De nombreux candidats ont montré des lacunes dans la définition précise des liaisons mécaniques entre solides. De plus, lors de l'étude de l'espace de travail de l'instrument de chirurgie, de nombreux candidats ont proposé des réponses qui ont dépassé les attendus. Le jury rappelle que l'épreuve se déroule sur un temps contraint et qu'une bonne réussite de l'ensemble de l'épreuve passe nécessairement par la compréhension précise du périmètre de la question afin de ne pas faire de digression chronophage.

Partie n°1 §2 : étude des efforts lors d'un exercice

Le questionnement proposait aux candidats de déterminer les efforts et erreurs induits par un mauvais positionnement du trocart et ses conséquences sur le pilotage du robot haptique. De nombreux candidats ont montré une bonne maîtrise du principe fondamental de la statique et des relations portant sur la théorie des poutres en résistance des matériaux. Il est à regretter que l'utilisation non maîtrisée des actions mécaniques linéairement réparties ou des difficultés calculatoires n'aient pas permis à une très grande majorité des candidats de mener la résolution jusqu'aux applications numériques demandées.

Partie n°2 : choix de l'architecture du mécanisme

Le questionnement proposait aux candidats de déterminer une architecture de robot haptique permettant de répondre de façon qualitative aux exigences de précision, de sécurité et de degrés de mobilité.

Cette partie du sujet a été traitée de façon très hétérogène. Des candidats se sont engagés dans l'étude avec une maîtrise remarquable des notions de cinématique, des référentiels et de base d'expression des vecteurs. Ces mêmes candidats ont proposé des développements théoriques rigoureux et conformes à ce que l'on peut attendre d'un candidat à l'agrégation. En revanche, une minorité des candidats a eu les plus grandes difficultés à écrire des résultats homogènes et cohérents. Pour cette minorité, la maîtrise du paramétrage et des changements de base s'est révélée lacunaire. Des confusions importantes sont apparues entre les notions de vecteur, de matrice et de scalaire, ce qui s'est révélé particulièrement handicapant pour traiter les points portant sur la cinématique du solide.

Partie 3 : modèle dynamique du robot esclave

Le questionnement proposait aux candidats d'estimer les moments d'inertie autour d'un axe motorisé et d'étudier son influence sur la commande du robot esclave et le dimensionnement d'une motorisation. Il est à noter le faible taux de traitement de cette partie du sujet qui s'appuyait sur des notions simples de la géométrie de masse avec une application simple du principe fondamental de la dynamique. Le jury s'est étonné des difficultés rencontrées par les candidats sur cette partie du sujet (lorsqu'elle a été traitée) puisqu'elle s'appuie sur le théorème de Huygens et sur le principe fondamental de la dynamique, qui sont des points essentiels de la mécanique.

Partie 4 : influence des modes vibratoires des instruments

Le questionnement proposait aux candidats de vérifier si la géométrie élancée d'une pince chirurgicale peut entraîner des perturbations vibratoires de commande. Peu de candidats ont abordé cette partie du sujet et l'étude s'est souvent révélée difficile. Cette partie nécessitait de retrouver une équation différentielle caractérisant le comportement vibratoire et s'appuyait sur une maîtrise forte des notions de résistance des matériaux. Il semble indispensable pour de nombreux candidats de se réapproprier les raisonnements et démonstrations qui permettent l'obtention des relations usuelles de la mécanique.

Partie 5 : modèle de commande pour la chirurgie mini-invasive robotisée à retour d'effort

Le questionnement proposait aux candidats de déterminer les coefficients caractérisant le modèle de comportement de la commande et de valider ce modèle à partir de résultats expérimentaux. Cette partie du sujet ne nécessitait que très peu de développements mathématiques. Elle s'articulait autour de courbes et d'un schéma de commande à analyser. Un nombre important de candidats a exploité le questionnement en cherchant à gagner quelques points à chaque question, sans inscrire la réflexion dans une démarche cohérente qui aurait permis de formuler des conclusions pertinentes sur le modèle de commande ou le modèle mécanique générique retenu pour modéliser le robot à interface haptique.

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. Trop de candidats manquent de persévérance et semblent abandonner dès qu'une question leur semble hors de portée. 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. 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, proprement rédigées, certains rendent des copies comportant de nombreuses ratures, ce qui est inadmissible de la part d'un futur enseignant.

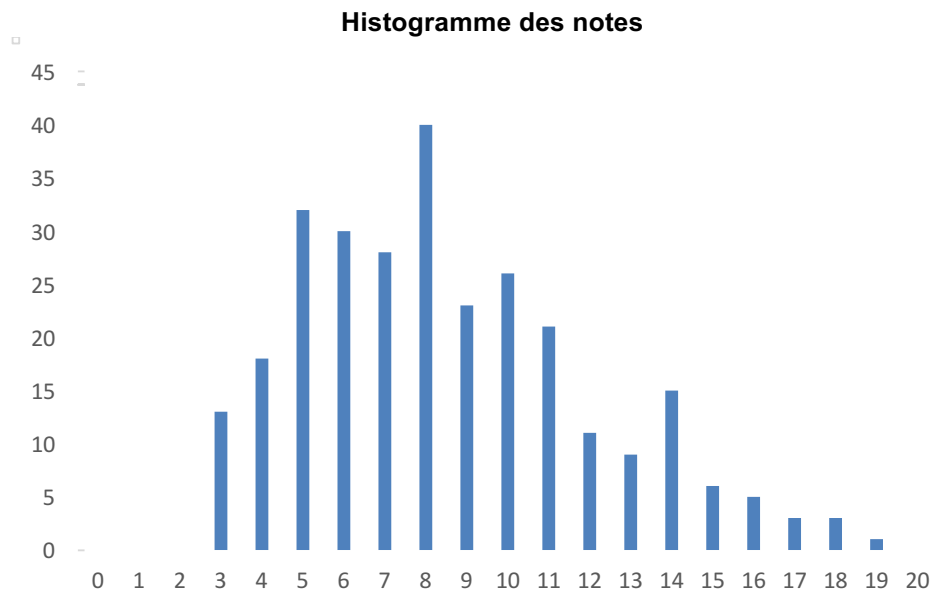
4. Conclusion

Le sujet avait pour objectif de permettre aux candidats d'exprimer au mieux leur potentiel. Le spectre des compétences mobilisées était 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. Composer sur des sujets de concours, et en particulier à l'agrégation externe, nécessite une forte expertise disciplinaire. Néanmoins, la gestion du temps, du questionnement et la qualité rédactionnelle sont également des facteurs de réussite. 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 sont mis à leur disposition.

5. Résultats

284 copies ont été évaluées, dont 67 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8/20 et l'écart-type 3,5 avec :

- 18,80 comme meilleure note ;
- 2,14 comme note la plus basse.

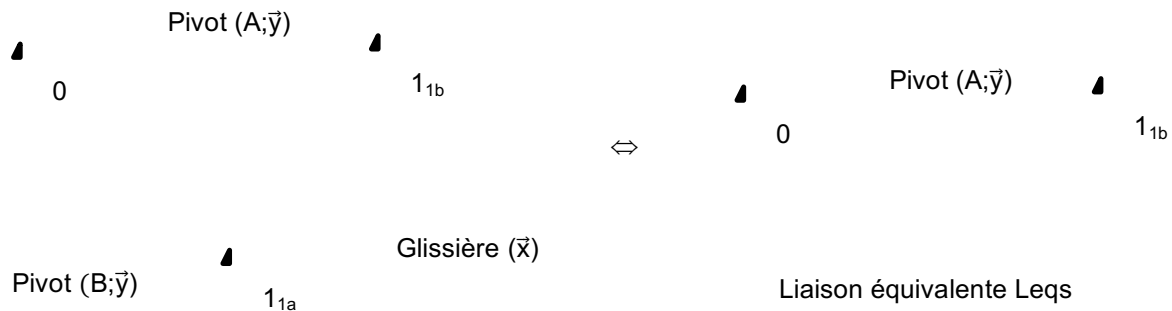


Éléments de correction de l'épreuve conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Question 1

On détermine tout d'abord la nature de la liaison équivalente entre 1_{1b} et 0.

Graphes des liaisons restreint à la boucle $\{0 ; 1_{1a} ; 1_{1b}\}$:

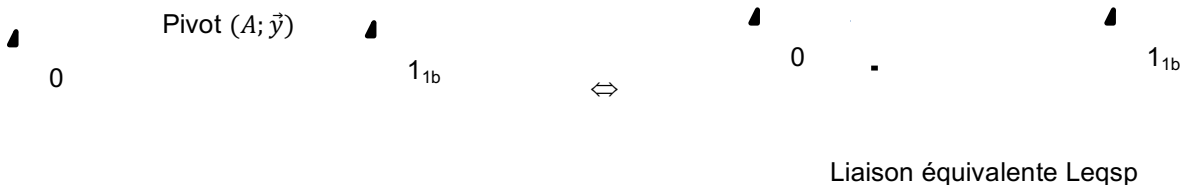


Association de liaisons $\{0 ; 1_{1a}\}$ et $\{1_{1a} ; 1_{1b}\}$ en série pour la liaison équivalente Leqs :

Les liaisons pivot (B; \vec{y}) et glissière (\vec{x}) en série donnent une liaison équivalente Leqs caractérisée par un torseur cinématique somme des deux torseurs cinématiques.

Soit en B :

$$\{V^{Leqs}_{1_{1b}/0}\}_B = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & V_{Bx1_{1b}0} \\ \omega_{y1_{1b}0} & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{B;\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$$



Liaison équivalente Leqs

Association de liaisons pivot (A; \vec{y}) et liaison équivalente Leqs en parallèle pour la liaison équivalente finale Leqsp.

Les deux liaisons pivot (A; \vec{y}) et liaison équivalente Leqs en parallèle donnent une liaison équivalente caractérisée par un torseur cinématique compatible avec ceux des deux liaisons en parallèle.

Soit en B :

$$\{V^{Leqsp}_{1_{1b}/0}\}_B = \{V^{Leqs}_{1_{1b}/0}\}_B = \{V^{Pivot(A,\vec{y})}_{1_{1b}/0}\}_B$$

Soit

$$\left\{ \begin{array}{cc} \omega^{Leqsp}_{x1_{1b}0} & V^{Leqsp}_{Bx1_{1b}0} \\ \omega^{Leqsp}_{y1_{1b}0} & V^{Leqsp}_{By1_{1b}0} \\ \omega^{Leqsp}_{z1_{1b}0} & V^{Leqsp}_{By1_{1b}0} \end{array} \right\}_{B;\vec{x},\vec{y},\vec{z}} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & V_{Bx1_{1b}0} \\ \omega_{y1_{1b}0} & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{B;\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$$

$$= \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ \omega^{Pivot(A,\vec{y})}_{y1_{1b}0} & 0 \\ 0 & -2e \cdot \omega^{Pivot(A,\vec{y})}_{y1_{1b}0} \end{array} \right\}_{B;\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$$

On a donc :

$$\begin{aligned}
\omega^{\text{Leqsp}}_{x\ 1_{1b}0} &= 0 = 0 & V^{\text{eq}}_{Bx\ 1_{1b}0} &= V_{Bx\ 1_{1b}0} = 0 \\
\omega^{\text{Leqsp}}_{y\ 1_{1b}0} &= \omega_{y\ 1_{1b}0} = \omega^{\text{Pivot}(A,\vec{y})}_{y\ 1_{1b}0} = 0 & V^{\text{eq}}_{By\ 1_{1b}0} &= 0 = 0 \\
\omega^{\text{Leqsp}}_{z\ 1_{1b}0} &= 0 = 0 & V^{\text{eq}}_{Bz\ 1_{1b}0} &= 0 = -2e \cdot \omega^{\text{Pivot}(A,\vec{y})}_{y\ 1_{1b}0}
\end{aligned}$$

On trouve donc que l'ensemble des composantes de vitesse sont nulles. On a donc bien une liaison équivalente de type encastrement.

Remarque : on pouvait faire un raisonnement identique en passant par les torseurs d'actions mécaniques transmis par les liaisons.

Si on appelle alors m la mobilité de la chaîne et N_c le nombre d'inconnues cinématiques, on a pour cette chaîne simple :

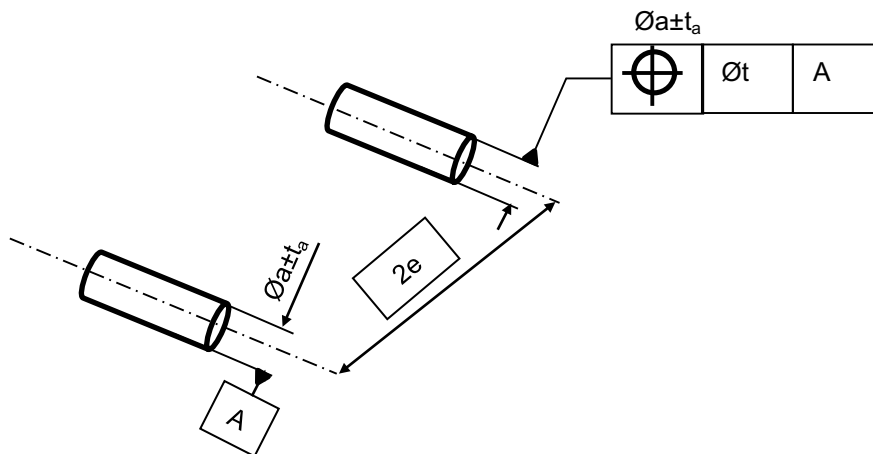
- $m = 0$: Leqs encastrement ;
- $N_c = 3$: 1 pour pivot $(A;\vec{y})$ + 1 pour pivot $(B;\vec{y})$ + 1 pour glissière (\vec{x}) ;

$$h = 6 + m - N_c = 6 + 0 - 3 = 3$$

Le degré d'hyperstatisme de cette chaîne est bien de 3.

Cet hyperstatisme rigidifie la structure limitant ainsi les déformations tout en permettant la répartition des charges sur les rails parallèles fixés sur le pont inférieur de la soule.

Question 2



Question 3

Les solides 1_{1b} et 0 appartiennent à la même classe d'équivalence d'après les questions précédentes. On a donc à déterminer la liaison équivalente à une sphérique (rotule), une sphère/cylindre (linéaire annulaire) et une sphère / plan (ponctuelle) en parallèle.

On obtient alors une liaison encastrement (sous conditions de position et d'orientation relatives des liaisons).

De plus cette liaison est isostatique ($h = 6 \gamma + m - N_c = 12 + 0 - (3 + 4 + 5) = 0$ où γ désigne le nombre cyclomatique du modèle).

On est donc capable de déterminer toutes les inconnues d'actions transmissibles dans les liaisons $2/1_{1b}$.

Question 4

L'équilibre statique de 2 fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à 2 :
 - action de $1_{1b} \rightarrow 2$ (sphère / plan en G)

$$\{T_{1_{1b} \rightarrow 2}\}_G = - \{T_{2 \rightarrow 1_{1b}}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -Z_{21_{1b}} & 0 \end{Bmatrix}_{G;\vec{x},\vec{y},\vec{z}} = \begin{Bmatrix} 0 & -d \cdot Z_{21_{1b}} \\ 0 & 0 \\ -Z_{21_{1b}} & 0 \end{Bmatrix}_{M;\vec{x},\vec{y},\vec{z}}$$

- action de $1_{2b} \rightarrow 2$ (sphère / cylindre en J)

$$\{T_{1_{2b} \rightarrow 2}\}_J = -\{T_{2 \rightarrow 1_{2b}}\}_J = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -Y_{21_{2b}} & 0 \\ -Z_{21_{2b}} & 0 \end{Bmatrix}_{J; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} = \begin{Bmatrix} 0 & +\frac{d}{2} \cdot Z_{21_{2b}} \\ -Y_{21_{2b}} & +e \cdot Z_{21_{2b}} \\ -Z_{21_{2b}} & -e \cdot Y_{21_{2b}} \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

- action de $1_{3b} \rightarrow 2$ (sphérique en H)

$$\{T_{1_{3b} \rightarrow 2}\}_H = -\{T_{2 \rightarrow 1_{3b}}\}_H = \begin{Bmatrix} -X_{21_{3b}} & 0 \\ -Y_{21_{3b}} & 0 \\ -Z_{21_{3b}} & 0 \end{Bmatrix}_{H; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} = \begin{Bmatrix} -X_{21_{3b}} & +\frac{d}{2} \cdot Z_{21_{3b}} \\ -Y_{21_{3b}} & -e \cdot Z_{21_{3b}} \\ -Z_{21_{3b}} & +e \cdot Y_{21_{3b}} - \frac{d}{2} \cdot X_{21_{3b}} \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

- action de l'étage supérieur 3

$$\{T_{3 \rightarrow 2}\}_M = \begin{Bmatrix} X_{32} & 0 \\ Y_{32} & 0 \\ Z_{32} & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$$

- Principe Fondamental de la Statique en M :

$$\text{Résultante : } \begin{cases} X_{21_{3b}} = X_{32} \\ Y_{21_{3b}} + Y_{21_{2b}} = Y_{32} \\ Z_{21_{3b}} + Z_{21_{2b}} + Z_{21_{1b}} = Z_{32} \end{cases} \quad \text{Moment : } \begin{cases} \frac{d}{2} \cdot ((Z_{21_{3b}} + Z_{21_{2b}}) - 2 \cdot Z_{21_{1b}}) = 0 \\ + e \cdot (-Z_{21_{3b}} + Z_{21_{2b}}) = 0 \\ -\frac{d}{2} \cdot X_{21_{3b}} + e \cdot (Y_{21_{3b}} - Y_{21_{2b}}) = 0 \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} X_{21_{3b}} = X_{32} \\ Y_{21_{2b}} = -\frac{d}{4e} \cdot X_{32} + \frac{Y_{32}}{2} \quad \text{et} \quad Y_{21_{3b}} = \frac{d}{4e} \cdot X_{32} + \frac{Y_{32}}{2} \\ Z_{21_{3b}} = Z_{21_{2b}} = Z_{21_{1b}} = \frac{Z_{32}}{3} \end{cases}$$

L'équilibre statique de $1_{1a} \cup 1_{1b}$ fournit :

- Principe Fondamental de la Statique en A

$$\begin{cases} Z_{01_{1b}} + Z_{01_{1a}} + Z_{21_{1b}} = 0 \\ -2e \cdot Z_{01_{1a}} - e \cdot Z_{21_{1b}} = 0 \end{cases} \Rightarrow Z_{01_{1b}} = Z_{01_{1a}} = -\frac{Z_{21_{1b}}}{2} = -\frac{Z_{32}}{6}$$

L'équilibre statique de $1_{2a} \cup 1_{2b}$ fournit :

- Principe Fondamental de la Statique en D

$$\begin{cases} Z_{01_{2b}} + Z_{01_{2a}} + Z_{21_{2b}} = 0 \\ d \cdot Z_{01_{2a}} + \frac{d}{2} \cdot Z_{21_{2b}} + h \cdot Y_{21_{2b}} = 0 \end{cases} \xrightarrow{h \ll d} Z_{01_{2a}} \approx -\frac{1}{2} \cdot Z_{21_{2b}} \Rightarrow Z_{01_{2a}} \approx Z_{01_{2b}} \approx -\frac{Z_{32}}{6}$$

L'équilibre statique de $1_{3a} \cup 1_{3b}$ fournit :

- Principe Fondamental de la Statique en C

$$\begin{cases} Z_{01_{3b}} + Z_{01_{3a}} + Z_{21_{3b}} = 0 \\ d \cdot Z_{01_{3a}} + \frac{d}{2} \cdot Z_{21_{3b}} + h \cdot Y_{21_{3b}} = 0 \end{cases} \xrightarrow{h \ll d} Z_{01_{3a}} \approx -\frac{1}{2} \cdot Z_{21_{3b}} \Rightarrow Z_{01_{3a}} \approx Z_{01_{3b}} \approx -\frac{Z_{32}}{6}$$

En conclusion, les actions verticales (suivant \vec{z}) dans les six paliers 1_{ij} en liaison avec le pont inférieur 0 valent à peu près le sixième de la charge verticale ($Z_1 \approx Z_{32}/6$).

La charge à transmettre principalement verticale est quasiment répartie de façon uniforme sur les rails du pont inférieur de la soute du NFA.

Question 5

Les actions mécaniques suivant \vec{x} sont transmises à 0 par l'intermédiaire des solides 1_{3a} et 1_{3b} (en E et C).

Les actions mécaniques suivant \vec{y} sont transmises à 0 par l'intermédiaire des solides 1_{2b} et 1_{3b} (en D et C).

Les composantes verticales (suivant \vec{z}) dues au chargement dans la soute sont reprises uniformément sur les six points d'attache, A, B, C, D, E et F, avec les rails de la soute. A ces

composantes verticales, s'ajoutent des composantes latérales (suivant \vec{x}) en E et C et/ou longitudinales (suivant \vec{y}) en D et C.

La liaison la plus sollicitée dans une phase de roulage créant des efforts latéraux ou longitudinaux, semble donc être celle entre 0 et 1_{3b}, en C, puisqu'elle est capable d'encaisser trois composantes d'effort.

Question 6

On a donc un rapport entre les charges admissible et appliquée d'environ 4,8 (25 000 N / 5 200 N), supérieur au coefficient de sécurité de 3 exigé. La solution est donc validée du point de vue de la transmission des efforts.

Question 7

La charge principale verticale est répartie sur chaque étage de façon égale.

Les poutres sont donc sollicitées principalement en flexion avec une charge centrée, ou aux deux / un tiers (poutre GI), ce qui justifie une section de poutre en I.

La charge appliquée aux poutres diminue au fur et à mesure que les étages décroissent.

De plus, les poutres étant de moins en moins longues, les moments fléchissants maximaux décroissent d'autant plus.

Aussi, pour conserver des états de contraintes maximales identiques (en supposant que les poutres soient toutes dans le même matériau), il suffit de diminuer leur moment quadratique, en amenuisant leur hauteur et leur largeur.

Question 8

À masse égale à soulever, une application de l'effort au plus près de la structure du palonnier implique des contraintes plus élevées, soit le deuxième cas d'application (figure 10).

Les barres subissant les contraintes les plus élevées sont celles en diagonale à l'avant de la structure triangulée. Les contraintes de Von Mises y sont plus importantes aux extrémités donc les nœuds de liaisons encaissent un moment et ne sont pas de simples articulations. Cela est dû à la structure mécanosoudée.

Ces barres travaillant en compression, il serait judicieux de vérifier leur stabilité pour éviter le flambement ou d'inverser les barres en diagonale dans la triangulation pour qu'elles travaillent en traction.

Question 9

Le matériau employé est un acier S235JR, donc ayant une limite d'élasticité de 235 MPa.

La contrainte maximale de Von Mises appliquée au matériau estimée par la simulation numérique est de 70,3 MPa.

Elle est donc largement inférieure à la limite admissible (respect du coefficient de sécurité de 3).

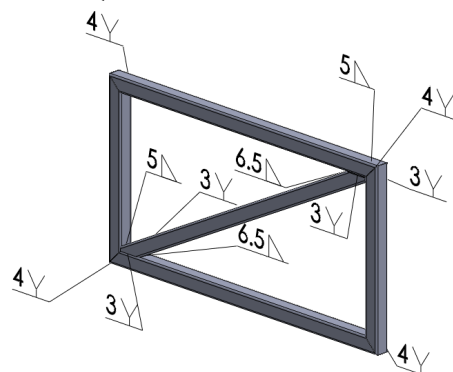
Il faut rappeler que ces barres travaillent en compression, donc il faut vérifier leur stabilité pour éviter le flambement ou inverser les barres en diagonale dans la triangulation pour qu'elles travaillent en traction.

Question 10

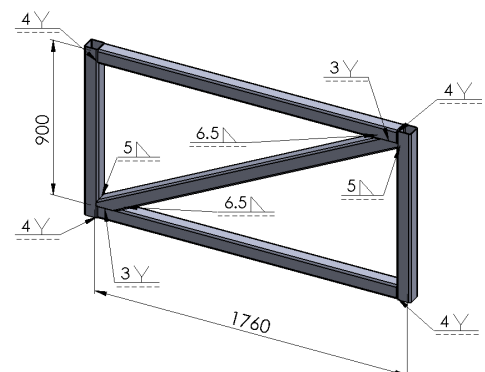
Procédé : MAG (Nature de l'acier (non allié) – Protection du cordon et limitation des phénomènes thermiques lors du refroidissement par le CO₂)

On peut toutefois admettre un procédé de soudage à l'électrode enrobée si des précautions sont prises dans sa mise en œuvre.

Question 11



Le choix des lieux et géométries de raccordement dépend de la sollicitation mécanique qui en résulte sur le cordon.



Dans la structure créée, on privilégiera une sollicitation en traction/compression des cordons, c'est-à-dire une perpendicularité de la trajectoire du cordon par rapport au sens des sollicitations pour le cadre extérieur.

La solution optimale n'étant pas exigée ici, on peut admettre une proposition suivant des raccords droits ou en onglet.

Pour le renfort, il faudra cependant valider l'accessibilité de l'outil de soudage dans l'angle le plus fermé existant entre le renfort et la poutre du cadre.

Question 12

Le grossissement du grain dans la ZAT proche de la zone fondue est à l'origine de cette chute de résistance élastique. Les interfaces de grain étant le lieu de blocage des dislocations, leur nombre décroît avec la taille du grain. La propagation des dislocations est alors facilitée, d'où une chute de la limite élastique.

La loi de Hall-Petch définit ainsi une proportionnalité de Re à \sqrt{d} où d représente la taille des grains.

Question 13

Le matériau admet une résistance élastique de 235 MPa. L'impact de la ZAT est une diminution de cette résistance de 2/3, soit une limite admissible de 78 MPa.

On a donc une contrainte obtenue par simulation (70,3 MPa) très proche de la limite admissible.

Les erreurs sur le modèle dues aux effets locaux peuvent donc remettre en cause la solution.

Question 14

On peut donc limiter le grossissement du grain en limitant le différentiel de température entre le métal de base et la zone fondue par préchauffage ou bien en réalisant un traitement thermique de normalisation afin d'éliminer les effets thermiques et rétablir le matériau original dans des caractéristiques proches de celui de base.

Question 15

La solution proposée peut permettre d'atteindre les objectifs de manutention du NFA. Cependant, des précautions particulières doivent être prises quant à la fabrication du faisceau sous forme de treillis.

Question 16

L'équilibre dynamique de $E = \{ \text{NFA} + \text{chariot} \}$, fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à E

- action du sol en M, (sphère / plan avec frottement) $\{T_{\text{sol} \rightarrow E}\}_M = \begin{Bmatrix} X_M & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_M & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action du sol en N, (sphère / plan avec frottement) $\{T_{\text{sol} \rightarrow E}\}_N = \begin{Bmatrix} X_N & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_N & 0 \end{Bmatrix}_{N; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- pesanteur $\{T_{g \rightarrow E}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m_{\text{NFA}} \cdot g & 0 \end{Bmatrix}_{G; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action du tracteur en M $\{T_{\text{tracteur} \rightarrow E}\}_M = \begin{Bmatrix} X_T & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$

- Principe Fondamental de la Dynamique en N

- résultante suivant \vec{z}

$$Z_M + Z_N - m_{\text{NFA}} \cdot g = m_{\text{NFA}} \cdot (\vec{a}_{G/R_g} \cdot \vec{z}) = 0$$

- moment en N suivant \vec{y}

$$(a + b) \cdot Z_M - b \cdot m_{\text{NFA}} \cdot g = (\vec{\delta}_{N,E/R_g} \cdot \vec{y}) = (\vec{\delta}_{G,E/R_g} + m_{\text{NFA}} \cdot \overline{NG} \wedge \vec{a}_{G/R_g}) \cdot \vec{y}$$

D'où :

$$Z_M = \frac{m_{\text{NFA}} \cdot [b \cdot g + h \cdot (\vec{a}_{G/R_g} \cdot \vec{x})]}{a + b}$$

On a donc Z_M suivant les cas :

| | MAV | | MAR | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Accélération | Décélération | Accélération | Décélération |
| Z_M | 90 578 N | 116 102 N | 120 279 N | 94 755 N |

On détermine donc que le cas le plus défavorable correspond à la mise en mouvement en marche arrière durant la phase d'accélération.

Question 17

L'équilibre dynamique de 1 fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à 1

- action de 4 en A (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^A\}_A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{A; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en B (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^B\}_B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{B; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en C (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^C\}_C = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_C & 0 \end{pmatrix}_{C; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en D (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^D\}_D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_D & 0 \end{pmatrix}_{D; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 0 (pivot) $\{T_{0 \rightarrow 1}\}_E = \begin{pmatrix} X_E & 0 \\ Y_E & M_E \\ Z_E & N_E \end{pmatrix}_{E; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$

- pesanteur négligée

- Principe Fondamental de la Dynamique en E pour le solide 1 de masse négligeable
 - moment en E suivant \vec{x}

$$y_C \cdot (Z_C - Z_D) = z_A \cdot (Y_A + Y_B) \quad (1)$$

L'équilibre dynamique de $E' = \{1 \cup 2\}$ fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à E'

- action de 4 en A (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^A\}_A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{A; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en B (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^B\}_B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{B; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en C (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^C\}_C = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_C & 0 \end{pmatrix}_{C; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en D (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^D\}_D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_D & 0 \end{pmatrix}_{D; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 4 en O (sphérique) $\{T_{4 \rightarrow 2}\}_O = \begin{pmatrix} X_O & 0 \\ Y_O & 0 \\ Z_O & 0 \end{pmatrix}_{O; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- action de 3 en F (pivot) $\{T_{3 \rightarrow 2}\}_F = \begin{pmatrix} X_F & L_F \\ Y_F & M_F \\ Z_F & 0 \end{pmatrix}_{F; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$

- Principe Fondamental de la Dynamique en F pour un système de masse négligeable
 - moment en F suivant \vec{z}

$$-x_C \cdot Y_O = 0 \quad (2)$$

L'équilibre dynamique de $E'' = \{1 \cup 2 \cup 3\}$ fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à E''
 - action de 4 en A (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^A\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action de 4 en B (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^B\}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action de 4 en C (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^C\}_C = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_C & 0 \end{Bmatrix}_{C; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action de 4 en D (sphère / plan) $\{T_{4 \rightarrow 1}^D\}_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_D & 0 \end{Bmatrix}_{D; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action de 4 en O (sphérique) $\{T_{4 \rightarrow 2}\}_O = \begin{Bmatrix} X_O & 0 \\ Y_O & 0 \\ Z_O & 0 \end{Bmatrix}_{O; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action du sol en M (sphère / plan) $\{T_{\text{Sol} \rightarrow 3}\}_M = \begin{Bmatrix} X_M & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_M & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action du tracteur $\{T_{\text{tracteur} \rightarrow 3}\}_M = \begin{Bmatrix} X_T & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
- Principe Fondamental de la Dynamique pour un système à masse négligeable
 - résultante suivant \vec{y}

$$Y_O + (Y_A + Y_B) = 0 \quad (3)$$

On a donc (3) et (2) qui impliquent $Y_O = Y_A + Y_B = 0$, et donc d'après (1) $Z_C = Z_D$.

Question 18

L'action mécanique au niveau des ferrures représente environ 75% ($6\,014 / 8\,000 = 0,7515$) de la charge admissible. On peut donc envisager de tracter le NFA en utilisant cette solution.

Question 19

L'équilibre dynamique de $E = \{\text{NFA chariot et structure de remorquage}\}$ fournit :

- Bilan des Actions Mécaniques Extérieures appliquées à E
 - action du sol en M, (sphère / plan avec frottement) $\{T_{\text{sol} \rightarrow E}\}_M = \begin{Bmatrix} X_M & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_M & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action du sol en N, (sphère / plan avec frottement) $\{T_{\text{sol} \rightarrow E}\}_N = \begin{Bmatrix} X_N & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_N & 0 \end{Bmatrix}_{N; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - pesanteur $\{T_{g \rightarrow E}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -m_{\text{NFA}} \cdot g & 0 \end{Bmatrix}_{G; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$
 - action du tracteur $\{T_{\text{tracteur} \rightarrow E}\}_M = \begin{Bmatrix} X_T & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{M; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$

- Principe Fondamental de la Dynamique en N

- résultante suivant \vec{x}

$$X_M + X_N + X_T = m_{\text{NFA}} \cdot (\vec{a}_{G/R_g} \cdot \vec{x}) \quad (I)$$

- résultante suivant \vec{z}

$$Z_M + Z_N - m_{\text{NFA}} \cdot g = 0 \Rightarrow Z_M + Z_N = m_{\text{NFA}} \cdot g \quad (II)$$

On a alors, à la limite du glissement (cas le plus défavorable), :

$$X_M = \varepsilon \cdot f \cdot Z_M \quad \text{et} \quad X_N = \varepsilon \cdot f \cdot Z_N$$

Où $\varepsilon = \pm 1$ suivant le sens de déplacement (MAV : $\varepsilon = +1$ et MAR : $\varepsilon = -1$).

D'où :

$$X_T = m_{NFA} \cdot (\vec{a}_{G/R_g} \cdot \vec{x}) - \varepsilon \cdot f \cdot m_{NFA} \cdot g .$$

On a donc X_T suivant les cas :

| | MAV | | | MAR | | |
|-------|--------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Accélération | Vitesse constante | Décélération | Accélération | Vitesse constante | Décélération |
| X_T | - 87 048 N | - 37 768 N | -2 348 N | 87 048 N | 37 768 N | 2 348 N |

Question 20

Par définition :

$$P(\text{tracteur} \rightarrow \text{chariot/sol}) = \{T_{\text{tracteur} \rightarrow E}\}_M \otimes \{V_{E/\text{Sol}}\}_M = X_T \cdot V_{x,E/\text{Sol}} .$$

Application numérique :

$$P(\text{tracteur} \rightarrow \text{chariot/sol}) = X_T \cdot V_{x,E/\text{Sol}} = 37\,768 \times \frac{5 \times 10^3}{3\,600} = 52,5 \text{ kW} .$$

Question 21

Les besoins en termes de tracteur sont donc pour le cas le plus défavorable : une force de traction de 8 700 daN et une puissance à vitesse constante de 52,5kW.

Cependant dans les phases d'accélération, on peut déterminer la puissance maximale nécessaire en prenant le majorant de la force de traction. On trouve alors une puissance estimée de $P_{MAX}(\text{tracteur} \rightarrow \text{chariot/sol}) \approx 120 \text{ kW}$

Seul le TPX200MT permet d'assurer ainsi le déplacement du NFA.

Question 22

On a donc : $N_{seq} = (n-2) ! = 3,6 \cdot 10^6$.

Question 23

On a donc :

$$t_{gcal3D} \geq \frac{N_{seq} \times 0,8 \times t_{min3D}}{(20 \times 60 \times 24 \times 365)} = 1,38 \text{ an} .$$

Question 24

La simple durée de calcul ne permet pas d'envisager un respect du planning (14 mois) pour permettre la certification du Beluga XL d'ici à 2019.

Question 25

On a donc :

$$t_{gcal1D} \geq \frac{N_{seq} \times 0,8 \times t_{min1D}}{(20 \times 60 \times 24 \times 365)} \approx 1 \text{ mois et } 20 \text{ jours} .$$

Question 26

Le temps dédié aux calculs a été fortement réduit permettant d'envisager la production d'une solution sous condition d'adéquation du modèle au problème posé.

Question 27

On a pour une poutre cylindrique d'axe \vec{z} en son centre de section droite G, un moment quadratique qui vaut :

$$I_{Gz} = \frac{\pi \cdot d_k^4}{64} .$$

On a donc les sections :

| Tronçon | 1 | 2 | 3 |
|------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| $I_{Gz} \text{ (CAO)}$ | $2 \cdot 10^{11}$ | $4,5 \cdot 10^{11}$ | $0,5 \cdot 10^{11}$ |
| $d_k \text{ (mm)}$ | 1 420 | 1 740 | 1 005 |

| Tronçon | 1 | 2 | 3 |
|---------|---|---|---|
| | | | |

| | | | |
|------------|-------|--------|--------|
| l_k (mm) | 9 540 | 13 250 | 21 200 |
| d_k (mm) | 1 420 | 1 740 | 1 005 |
| élancement | 6,7 | 7,6 | 21,1 |

Les rapports d'élancement pour les sections 1 et 2 sont inférieurs à ceux courants (10) permettant d'assimiler le solide à une poutre.

Les variations de sections du modèle sont brusques, les résultats dans ces zones peuvent être critiques (Principe de Barré De Saint-Venant non respecté).

Question 28

Par définition de la masse totale M_{TF}

$$M_{TF} = \sum_{k=1}^{k=3} M_k \quad \text{où } M_k \text{ désigne la masse de la section } k.$$

Les sections étant assimilées à des cylindres :

$$M_{TF} = \sum_{k=1}^{k=3} \rho_{eq} \cdot \pi \cdot \frac{(d_k)^2}{4} \cdot l_k.$$

On trouve donc :

$$\rho_{eq} = \frac{4 \cdot M_{TF}}{\sum_{k=1}^{k=3} \pi \cdot (d_k)^2 \cdot l_k}.$$

Application numérique :

$$\rho_{eq} = \frac{4 \times 34\,000}{\sum_{k=1}^{k=3} \pi \cdot (d_k)^2 \cdot l_k} = 536 \text{ kg/m}^3.$$

Question 29

On a par définition du centre de gravité :

$$M_{TF} \cdot \overrightarrow{OG_{fus}} = \sum_{k=1}^{k=3} M_k \cdot \overrightarrow{OG_k} \quad \text{où } G_k \text{ désigne le centre de gravité de la section } k.$$

On a donc par projection :

$$x_G = \frac{1}{2} \times \frac{M_1 \cdot l_1 + M_2 \cdot (2l_1 + l_2) + M_3 \cdot (2l_1 + 2l_2 + l_3)}{M_{TF}}.$$

Application numérique :

$$x_G = 18\,010 \text{ mm}.$$

En écrivant, le PFS appliqué au fuselage en moment en B puis en A suivant \vec{z} , on trouve :

$$Y_A = \frac{(x_B - x_G) \cdot M_{TF} \cdot g}{(x_B - x_A)} \quad \text{et} \quad Y_B = \frac{(x_G - x_A) \cdot M_{TF} \cdot g}{(x_B - x_A)}.$$

Application numérique :

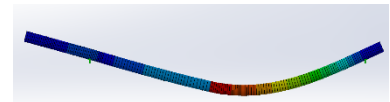
$$Y_A = 235 \text{ kN} \quad \text{et} \quad Y_B = 99 \text{ kN}.$$

La charge étant supposée répartie également sur chaque chandelle, on a donc une charge appliquée de 11 750 daN sur les deux chandelles A. Celle-ci est inférieure aux 17 246 daN admissibles.

Question 30

La nature unilatérale des appuis réalisés par les couples de chandelles installés sur le sol du lieu de travail ne permet pas d'imposer une action mécanique suivant $-\vec{y}$.

La forme naturelle due à la présence des appuis en A et B du fuselage nécessite pour assurer son redressement d'agir en imposant un déplacement suivant $+\vec{y}$ à une section située entre les appuis existants



Question 31

L'application du PFS donne pour les actions aux appuis en B et E :

$$Y_B = \frac{(x_{G_{fus}} - \lambda) \cdot M_{Tfus} \cdot g - (x_A - \lambda) \cdot Y_A}{(x_B - \lambda)} \quad \text{et} \quad Y_E = \frac{(x_B - x_{G_{fus}}) \cdot M_{Tfus} \cdot g - (x_B - x_A) \cdot Y_A}{(x_B - \lambda)}.$$

Pour que Y_E soit positif, il faut que $Y_A < \frac{(x_B - x_{G_{fus}}) \cdot M_{Tfus} \cdot g}{(x_B - x_A)} = Y_{A2}$ valeur de l'effort au droit de l'appui A lors de la phase 2.

Question 32

Les efforts tranchants ont des évolutions linéaires croissantes conformément à la répartition uniforme d'efforts sur les sections. La pente par tronçon varie avec la masse linéaire de chaque tronçon. Elle est bien maximale entre A et B (section de diamètre maximal), et minimale entre B et C (section de diamètre minimal).

Les paliers d'efforts correspondent aux efforts aux appuis, avec des efforts bien orientés de l'appui vers la poutre. (pas de rupture de contact)

Les moments fléchissants obéissent à la loi :

$$\frac{dM_{fz}}{dx} = -T_y.$$

On retrouve bien les formes paraboliques des moments avec des tangentes locales conformes à la relation ci-dessus et au tracé des efforts tranchants.

La continuité des moments est assurée le long de la poutre (appuis assimilés à des liaisons « Sphère/Plan »).

Question 33

La solution proposée par le bureau d'études est celle qui minimise l'état de contrainte de la poutre lors de l'installation du couple de chandelles, en assurant un maintien constant des contacts avec les appuis (réponse à l'exigence de minimisation de la contrainte dans le fuselage).

On vérifie de plus que les actions aux appuis demeurent compatibles avec les grandeurs admissibles pour les supports.

On ne doit pas analyser la flèche, car celle imposée par le cahier des charges est celle maximale autorisée pour le découpage du fuselage du NFA.

Question 34

La chandelle peut donc être modélisée par deux ressorts en série.

On a donc transmission des efforts et sommation des déplacements, soit :

$$\frac{F}{\Delta l} = K_{JZ} = \frac{F}{\frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2}} = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}.$$

Application numérique :

$$K_{JZ} = \frac{75\,265 \times 14\,975}{75\,265 + 14\,975} = 11\,928 \text{ daN/mm}.$$

Question 35

On a donc le déplacement global de la section qui est égal à la somme des déplacements résultants des déformations de la chandelle et de la ferrure, soit :

$$\Delta z = \frac{F}{K_{eqJZ}} = d_{ZJack} + L_Y \cdot \theta_x = \frac{F}{K_{JZ}} + L_Y \cdot \frac{F \cdot L_Y}{K_{\theta X}} \Rightarrow K_{eqJZ} = \frac{K_{JZ} \cdot K_{\theta X}}{K_{\theta X} + (L_Y)^2 \cdot K_{JZ}}.$$

Application numérique :

$$K_{eqJZ} = \frac{11\,928 \times 10^9}{10^9 + (200)^2 \times 11\,928} = 8\,075 \text{ daN/mm}.$$

Question 36

On a donc une différence d'altitude de :

$$\delta_{\text{élast}} = \frac{\Delta F}{K_{eqJZ}} = \frac{7\,000}{8\,075} \approx 0,86 \text{ mm}.$$

Question 37

Les ordres de grandeur des flèches et des déplacements élastiques sont équivalents. Le modèle doit donc être complété par la prise en compte de l'élasticité des appuis.

Question 38

L'exploitation de la figure donne un écart relatif maximal de 100% si l'on prend en considération tous les appuis. Cependant pour les points d'appuis critiques (actions mécaniques les plus élevées), l'écart relatif demeure faible (< 5%).

Le modèle 1D a donc permis d'identifier la solution idéale dans un premier temps et ainsi de limiter la simulation 3D (coûteuse en temps) à une seule configuration (de validation qui plus est).

Question 39

- par oxycoupage : qualité de la surface, effet thermique, infrastructure matérielle, explosivité.
- par découpage laser : protection des opérateurs et des moyens environnants, coûts, alimentation électrique filaire.
- par découpage jet d'eau : propreté du site, oxydation environnement, gestion du fluide.

Question 40

Par définition :

$$V_c = \pi \cdot D \cdot N / 1000.$$

Échelle du variateur : $N = 2650 + V_{Reg}(5200 - 2650)/(6-1).$

Application :

$$V_c (\text{m/min}) \in [1330 ; 2600]$$

Attention : la plage de vitesse est sûrement définie pour un fonctionnement à vide.

La vitesse réelle sera plus faible. De plus, la conséquence d'une vitesse de coupe plus élevée sera une durée de vie de l'outil plus faible. Il suffit de vérifier qu'elle reste compatible avec le problème posé.

Question 41

Par définition :

$$f_z = \frac{V_f}{Z \cdot N}.$$

On trouve donc :

$f_z \in [0,0055 \text{ mm/dent/tour} ; 0,011 \text{ mm/dent/tour}]$ pour la plage de vitesse d'avance recommandée.

Soit pour un f_z de 0,01 mm/dent/tour, une vitesse d'avance V_{f1} de 2173 mm/min.

Question 42

$$P_c = W_c \cdot Q_c = \frac{W_c \cdot a_p \cdot e_T \cdot V_f}{1000} = \frac{14 \times 2,2 \times 8 \times 2173}{1000} = 535 \text{ W}.$$

La puissance disponible est deux fois supérieure à celle nécessaire.

Question 43

D'après les grandeurs trouvées $V_c \gg V_f$ (Facteur 1000). De plus, usuellement $F_f < F_c$.

D'où dans l'expression permettant de déterminer la puissance de coupe, il est légitime de négliger le produit de F_f par V_f devant celui de F_c par V_c .

On a donc :

$$F_c = \frac{P_c}{V_c} = 15 \text{ N}.$$

Question 44

On trouve donc que l'effort à développer par l'opérateur en régime permanent est (PFD en résultante suivant la direction d'avance du mouvement appliqué à l'ensemble scie circulaire) :

$$F_{op \rightarrow scie} = F_c \cdot \sin \alpha = F_c \cdot \frac{h}{R}.$$

On a donc :

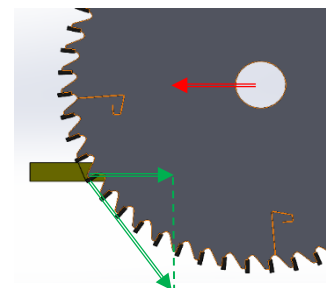
$$F_{op \rightarrow scie} \leq F_c.$$

La posture de l'opérateur debout, associé à un travail en poussant à deux mains, permet d'envisager une action en régime permanent de 1 daN majorée de 20%, soit une action limitée à 12N.

Il faut donc que h soit au minimum de : $R \cdot F_{max} / F_c = 80 \times 12 / 15 = 64 \text{ mm}.$

Question 45

On a une épaisseur maximale à découper de 53 mm, inférieure aux 55 mm de la plongée possible de l'outil.



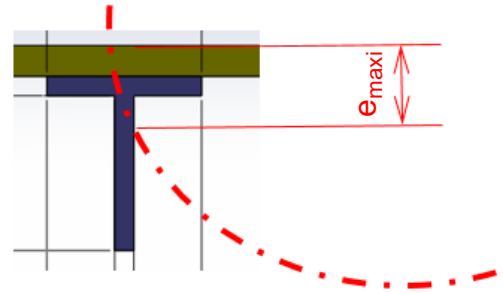
Question 46

Pour pouvoir appliquer le modèle équivalent, il faut déterminer l'épaisseur de coupe maximale de l'outil (contact outil/pièce).

Attention, ici il ne s'agit pas de 53 mm puisque la coupe est interrompue par la forme même du cadre.

L'épaisseur maximale est donnée alors par :

$$e_{\max i} = e_T + e_L + \sqrt{R^2 - \left(\sqrt{R^2 - (e_T + e_L)^2} - e_L \right)^2} \approx 21 \text{ mm} .$$



Les relations étant linéaires, l'effort de coupe ponctuel est donc égal à :

$$F_{C\max i} = F_c \cdot \frac{e_{\max i}}{e_T} \approx 39 \text{ N} .$$

On notera cependant que la puissance de coupe atteint environ 1 400W. Il sera donc nécessaire de réduire l'avance lors de la découpe de ces points durs, ce qui sera fait naturellement par l'opérateur lorsqu'il sentira ce surplus d'effort à fournir.

Question 47

Le dimensionnement de l'outillage par rapport au problème posé semble convenir à partir de l'étude proposée.

Pour assurer une découpe convenable (conforme aux préconisations), l'opérateur se doit de maîtriser la vitesse de déplacement de l'outil sur son rail de guidage, uniquement à travers son savoir-faire (la qualité de forme de la découpe ne dépendant que de la solution de guidage).

Il faut noter qu'il s'agit de solutions usuelles dans le domaine de l'assemblage aéronautique, les dimensions des produits et/ou la taille des séries étant telles qu'il n'est pas envisageable de construire des machines dédiées.

Question 48

La conception du nouveau gros porteur du groupe Airbus a été mise en place en tentant de minimiser les investissements matériels du groupe afin de limiter les coûts.

Cette politique de réutilisation des moyens est fortement liée au nombre limité d'exemplaires à produire et s'applique aussi bien à la conception de l'aéronef qu'aux choix des moyens de maintenance et de production.

Pour ce qui est de la conception de solutions, on peut percevoir la forte utilisation des outils de simulation à des degrés divers, avec une approche graduelle dans les modèles pour ainsi raccourcir les délais de recherche de solutions et par conséquent de mise en production.

Enfin aucune solution n'est négligée et les ingénieurs font souvent appel à une culture d'entreprise liée au domaine spécifique de l'aéronautique. Ainsi, un outillage à main manipulé par un opérateur qualifié et responsabilisé relève d'une solution envisageable pour le groupe Airbus.

Pour conclure, on constate à travers cette étude que l'industrie aéronautique comme les autres industries est soumise à un marché concurrentiel qui l'oblige à diminuer ses coûts et délais de fabrication de nouveaux produits. Pour cela, elle se doit de mobiliser l'ensemble des compétences de ses ingénieurs en sciences industrielles que ce soit dans la modélisation, la simulation ou bien encore la recherche de solutions afin de répondre aux besoins exprimés par ses clients.

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

1. Présentation du sujet

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

http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agreg_externes/43/6/s2017_agreg_externes_sii_mecanique_3_735436.pdf

Les auteurs du sujet remercient la société Airbus France (BTI - Industrial BELUGA XL) et plus particulièrement messieurs VAISSIERE et DATAS pour leur accueil dans leurs locaux et pour les renseignements communiqués.

Le sujet s'appuie sur la conception et la fabrication des différentes parties du nouvel avion de transport de composants de structures d'avion d'AIRBUS, le BELUGA XL, ainsi que son assemblage final.

Ce programme a été lancé en 2014. Cinq appareils devraient être produits, avec une certification pour le premier appareil en 2019.

Pour des raisons économiques, ce nouveau BELUGA XL est basé sur une hybridation de l'A330.

L'avant et le centre du fuselage s'appuient sur une base et une adaptation des sections de l'avion-cargo A330-200, l'arrière du fuselage, selon le même concept, s'appuie sur les sections des avions cargos A330-300 et A330-200, avec :

- conservation de la partie basse du fuselage, aile et motorisation de l'A330.
- modification des parties supérieures du fuselage, de l'empennage et du nez.

La base ainsi constituée, appelée NFA (Non Flyable Aircraft) sort des ateliers de Blagnac, où elle est ensuite découpée pour augmenter la taille de l'avion par assemblage d'autres parties au niveau du fuselage, du nez et de l'empennage.

Ces autres parties de l'avion sont, quant à elles, conçues et fabriquées sur d'autres sites en France, en Espagne et en Allemagne.

Elles sont ensuite acheminées par la route, la mer ou les airs pour assemblage final à Blagnac / Toulouse sur la FAL (Final Assembly Line / Chaîne d'Assemblage Finale).

La problématique principale développée dans le sujet consiste à évaluer les solutions constructives mises en place pour mener à bien la fabrication du NFA à la sortie des chaînes d'assemblage de l'A330 au regard des exigences de calendrier imposées par le cahier des charges.

Cette épreuve, composée de parties indépendantes, a permis de tester chez les candidats des compétences dans les champs suivants :

- validation de performances dynamiques d'un système au regard d'un cahier des charges ;
- dimensionnement de solutions technologiques (processus d'enlèvement de matière) ;
- validation d'un choix de matériau au regard d'un cahier des charges ;
- choix d'un procédé d'élaboration de produits mécanosoudés ;
- prescription de spécifications géométriques ;
- analyse critique de résultats issus d'un logiciel métier de simulation numérique .

2. Analyse globale des résultats

Dans leur ensemble, les candidats se sont bien approprié le support et en ont compris la problématique. La progressivité de la difficulté dans le questionnement de chacune des parties du sujet a permis d'identifier les candidats les plus performants.

Les candidats ayant bien réussi l'épreuve ont démontré leurs compétences dans les champs disciplinaires des sciences industrielles de l'ingénieur, et plus spécifiquement de l'ingénierie mécanique. Ils ont par ailleurs abordé, même partiellement, la totalité des parties du sujet. En dépit de l'indépendance des parties et des résultats intermédiaires fournis, beaucoup de candidats semblent faire l'impasse sur des pans entiers du sujet, liés spécifiquement à certaines disciplines fondamentales en ingénierie mécanique, ce qui ne peut conduire à un résultat convenable.

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

Étude 1 : manipulation du NFA

Objectif : valider une solution constructive de liaison permettant de répartir la charge sur la structure du NFA

Dans cette première partie du sujet, relativement simple, le but était, par une approche de théorie des mécanismes, de mettre en évidence l'hyperstatisme d'un étage de la structure afin d'identifier son intérêt par rapport à la rigidité. Si beaucoup de candidats connaissent la formulation du degré d'hyperstatisme, un certain nombre ne sait l'appliquer correctement et la majorité ne trouve pas utile de justifier la mobilité du mécanisme. L'expression d'une exigence de cotation fonctionnelle imposée par un degré d'hyperstatisme du modèle est, quant à elle, très mal abordée par la majorité des candidats.

Dans un second temps, les candidats devaient mettre en évidence une répartition uniforme des charges verticales sur l'infrastructure du NFA. Si de nombreux candidats ont bien choisi d'appliquer le principe fondamental de la statique, beaucoup trop se sont perdus dans l'utilisation de symétries inappropriées dans le cas proposé. Certains candidats ont été jusqu'à appliquer le principe fondamental de la statique à des milieux disjoints.

Enfin si l'augmentation de la charge sollicitant les poutres de la structure de palonniers vers les étages supérieurs est bien perçue par les candidats, trop peu la justifient par une problématique d'optimisation vis-à-vis du critère de résistance à des sollicitations majoritairement de flexion.

Objectif : valider le dimensionnement du faisceau d'extension

Cette sous-partie débutait par une analyse de résultats issus d'une simulation par éléments finis du faisceau d'extension. Les candidats ne s'appuient malheureusement pas assez sur des schémas pour réaliser leur analyse, se perdant souvent dans un phrasé peu explicite. La validation du couple structure/matériau a été généralement bien traitée.

Objectif : proposer les choix techniques pour la réalisation du treillis

Beaucoup de candidats ont traité le choix de la technologie de soudage en se contentant de proposer un soudage à l'arc, sans aucune précision supplémentaire ou justification associées ce qui ne peut être satisfaisant dans une démarche de choix de solutions à ce niveau d'expertise.

La conception du cadre a été, quant à elle, généralement bien traitée même si le choix des lieux des cordons de soudure et leur nature n'ont été que peu justifiés là aussi.

Enfin, si l'effet de la ZAT a été bien perçu, les causes métallurgiques et leurs conséquences sur les grandeurs mécaniques de résistance n'ont été que rarement identifiées. Toutefois les candidats ayant abordé cette partie ont généralement de bonnes idées pour lutter contre ce phénomène.

Étude 2 : déplacement du NFA

Objectif : valider la solution porteuse du NFA

Cette partie consacrée au déplacement du NFA débutait par la validation de la structure porteuse. Pour cela, une étude de dynamique d'un système de solides en translation dans une étude plane était attendue ainsi qu'une étude de statique guidée.

De nombreux candidats manquent de rigueur dans l'application des principes fondamentaux de la dynamique, il en résulte des oublis flagrants dans le bilan des actions mécaniques, sans parler de la non-utilisation du modèle de frottement roue/sol. Le jury note aussi que, pour beaucoup d'entre eux, les théorèmes des moments dynamique ou statique appliqués à un système isolé semblent peu maîtrisés.

Enfin, pour un certain nombre, un mouvement de translation conduit automatiquement à un moment dynamique nul en tout point, alors que dans l'étude proposée, on recherchait un cas critique dans des phases d'accélération ou décélération.

Pour l'étude de statique, certains candidats ont su proposer une solution au problème posé par des considérations de symétries non attendues, mais bienvenues.

Objectif : choisir le tracteur de remorquage

Le but était de trouver un engin de tractage compatible avec l'ensemble à déplacer. Il s'agissait d'utiliser la dernière projection du principe fondamental de la dynamique exploité précédemment.

Les candidats ayant abordé cet objectif ont souvent oublié de traiter tous les cas de mouvements proposés afin de déterminer l'action mécanique maximale que devra exercer le tracteur sur le système mobile.

Si l'expression de la puissance est connue pour ce cas simple, elle manque de rigueur dans son écriture pour certains.

La conclusion sur le choix du tracteur a été souvent réduite à l'exploitation d'un unique critère par les candidats malgré les questions posées et les hypothèses formulées précédemment.

Étude 3 : mise en position du NFA

Objectif : justifier l'utilisation d'une modélisation simplifiée

Cette partie n'a pas posé de problème aux candidats ayant compris la problématique associée à la mise en place des appuis de soutien du NFA en vue de son découpage, la difficulté reposant ici uniquement sur la formulation mathématique du nombre de solutions possibles d'ordonnements.

Objectif : valider les premières phases du séquençement.

Dans un premier temps, les candidats étaient amenés à déterminer les paramètres d'un modèle équivalent pour pouvoir l'exploiter par la suite.

La détermination du diamètre équivalent, lorsqu'elle a été abordée, a été bien menée. Cependant, certains candidats confondent la formule du moment quadratique polaire avec celle du moment

quadratique suivant un axe pour une section circulaire. La notion d'élançement a , semble-t-il, posé problème à de nombreux candidats. Le jury note, de plus, que les hypothèses de la mécanique des poutres semblent se résumer à celle de l'élançement pour 90% des candidats ayant traité la question. La détermination de la masse volumique équivalente n'a pas posé de problème en général. De manière plus surprenante, certains candidats ne semblent pas être capables de déterminer la position du centre de gravité d'une géométrie simple.

Enfin, l'étude d'une poutre sur deux appuis pour valider le dimensionnement des structures a , quant à elle, bien été réalisée par les candidats ayant abordé ces questions.

Dans un deuxième temps, on proposait d'analyser les résultats de simulation obtenus par le modèle simplifié. Cette analyse a été souvent réalisée trop partiellement par les candidats, qui n'ont abordé que les conditions aux limites.

La conclusion sur le troisième appui a été cependant correctement abordée.

Dans un troisième temps, on se proposait d'étudier l'influence de l'élasticité des appuis lors de la mise en position. Ces questions étant celles finalisant la partie, elles n'ont que très rarement été traitées et avec plus ou moins de rigueur. Le jury note cependant que peu de candidats connaissent la raideur équivalente à « deux ressorts » en série.

Pour conclure cette étude, il était proposé de comparer les résultats fournis par deux simulations (modèles 3D et simplifiée) pour valider l'approche menée dans cette partie. Si l'écart pouvait s'avérer très important, les points critiques (efforts maximum) sont très proches et permettent de valider la méthode de conception de solution d'ordonnancement. Peu de candidats ont conclu correctement.

Étude 4 - Découpe du fuselage

Objectif : vérifier la faisabilité de la découpe du fuselage par l'outil coupant

La majorité des candidats ayant proposé d'autres procédés de découpe n'ont pas justifié les raisons qui ont conduit à éliminer ces possibilités, comme le jury l'exigeait. De telles réponses relèvent alors des banalités et ne peuvent être valorisées dans une démarche de justification de choix.

La détermination des conditions de coupe n'a pas posé de problème en général, toutefois beaucoup de candidats, ont confondu la vitesse maximale admissible par l'outil coupant (lame) et celle fournie par la scie circulaire, ceci ayant des conséquences sur leur conclusion. La notion de linéarité du réglage n'a pas été abordée suffisamment par les candidats dans le cas du réglage du moyen.

Les candidats ayant effectué le calcul de la puissance nécessaire à la coupe l'ont bien généralement fait.

La dimension ergonomique a été aussi globalement abordée mais aucun candidat n'a su fournir un modèle pertinent permettant d'estimer l'action à développer par l'opérateur sur la scie circulaire. Les candidats sont contents de prendre en considération l'effort de coupe.

Les conclusions sur les conditions de travail se sont alors avérées plus ou moins judicieuses.

Synthèse

Très peu de candidats ont abordé cette partie. Pour beaucoup d'entre eux, ils se sont contents d'énoncer les différentes études proposées sans s'inscrire dans une démarche plus globale par rapport au problème posé.

Ils auraient pu ainsi mettre en avant les contraintes ayant conduit au choix de conception des solutions, mais aussi les originalités (ou pas) des réponses apportées par les ingénieurs travaillant dans le milieu de l'aéronautique.

Conseils aux futurs candidats

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. Il n'est pas insensible aux copies dans lesquelles les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet.

Le jury apprécie les candidats, trop peu nombreux, dont la démarche de résolution est précisée. Chaque réponse apportée doit être justifiée et exposée avec rigueur. Les hypothèses et les choix adoptés doivent clairement être explicités. Il paraît tout de même important de rappeler que les réponses doivent être pertinentes et que les candidats doivent aller à l'essentiel afin de répondre uniquement à la question posée.

Si la majorité des candidats présente des copies claires, il est regrettable de voir des copies dont la lisibilité est fortement compromise au vu de la mauvaise qualité graphique. De trop nombreuses copies font aussi état d'une rigueur grammaticale et orthographique déplorable nuisant à la qualité des réponses apportées. Les notations utilisées doivent scrupuleusement respecter celles imposées dans le sujet. Un résultat numérique sans unité n'est pas considéré comme un résultat acceptable.

4. Conclusion

L'étendue des compétences mises en œuvre dans cette épreuve était large. Cela a permis aux candidats d'exprimer leur potentiel. Certaines parties du sujet, pourtant classiques, ont abouti à des résultats en dessous de ceux escomptés (degré d'hyperstatisme, étude de dynamique plane d'un système, détermination d'un centre de gravité ...). Les candidats doivent être conscients que la réussite à cette épreuve est conditionnée par la maîtrise de certains outils et méthodologies propres au champ de l'ingénierie mécanique.

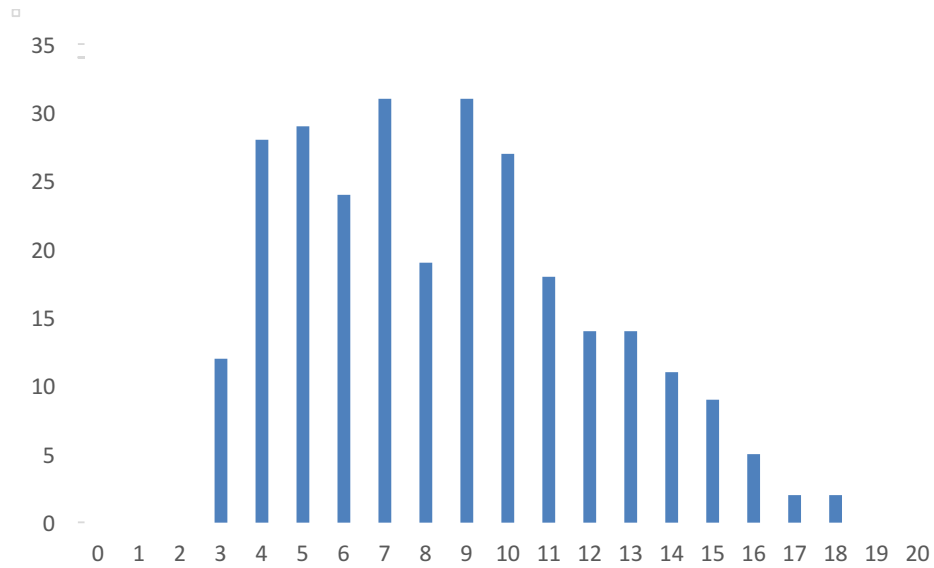
Il est par ailleurs nécessaire d'intégrer le caractère pluridisciplinaire de cette épreuve pour réussir à traiter une problématique dans sa globalité, et effectuer les liens naturellement existants entre les différents champs d'expertise. La démarche de résolution de problèmes pluridisciplinaires doit être au cœur même des préoccupations des futurs enseignants dans le domaine des sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury invite vivement les candidats à se préparer avec rigueur à ce concours pour acquérir les compétences scientifiques et techniques nécessaires, ainsi qu'une plus forte culture technologique en s'appropriant la réalité des systèmes industriels actuels.

5. Résultats

276 copies ont été évaluées, dont 67 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8/20 et l'écart-type 3,5 avec :

- 17,08 comme meilleure note ;
- 2,74 comme note la plus basse.

Histogramme



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

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

De fait, une problématique pédagogique à caractère expérimental est proposée au candidat. Ce dernier doit alors préparer la trame détaillée de sa séquence, en s'aidant des manipulations nécessaires et en précisant et validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

Pour la session 2017, les compétences attendues par le jury sont scientifiques, comportementales et pédagogiques. Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

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

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

Première phase – Manipulations expérimentales au laboratoire (durée 4 h 00)

Cette première phase d'une durée totale de 4 h 00 se déroule en trois parties.

- Première partie (durée ≈ 0 h 30)

Pour cette partie, les manipulations et les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système et de vérifier une ou plusieurs performances du support. À la fin de cette première partie, l'examinateur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de travaux pratiques.

- Deuxième partie (durée ≈ 2 h 00)

Pour cette partie, après la présentation du système et des activités menées dans la première partie à l'examinateur, le candidat doit répondre au questionnement proposé, qu'il pourra réinvestir ou adapter pour atteindre les objectifs de formation de la séquence pédagogique qu'il développera.

Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre les problèmes posés, d'en exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, valeurs numériques...) et de mettre en évidence les écarts entre le souhaité, le mesuré et le simulé et éventuellement de proposer des solutions pour les réduire.

- Troisième partie (durée ≈ 1 h 30)

Pour cette troisième partie, une problématique pédagogique expérimentale est proposée au candidat.

Ce dernier doit concevoir la trame de la séquence pédagogique demandée en respectant les contraintes mentionnées ci-dessous :

- positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- préciser les objectifs, compétences ou capacités visés du référentiel ainsi que les pré-requis de la séquence ;
- indiquer les modalités et organisations pédagogiques de la séquence (TP, TD, cours, projet...) ;
- décrire de manière détaillée la séance à caractère expérimental :
 - en situant la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique ;
 - en précisant l'organisation matérielle et pédagogique des activités (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
 - 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, ainsi que les données de départ et le matériel dont ils disposent pour répondre à la problématique choisie ;
 - en proposant et validant au moins un protocole expérimental défini dans son exploitation pédagogique ;
- préciser les conditions d'évaluation et de remédiation.

Pendant toute la durée de cette partie, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat peut donc entreprendre de réaliser toutes nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séquence.

Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée 1 h 00)

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

Pour la présentation devant le jury, le candidat aura à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum.

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 et sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée (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 ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée ainsi qu'à détailler la prise en compte des valeurs de la République.

Maquette de pont Chaban Delmas

Problématique d'ordre pédagogique associée à l'exploitation pédagogique demandée.

La séquence d'enseignement à développer s'intégrera l'extrait suivant du programme :

B - Programme

2 - Outils et méthodes d'analyse et de description des systèmes

2.3 - Approche comportementale

2.3.3 - Comportement mécanique des systèmes

Équilibre des solides : modélisation des liaisons, actions mécaniques, principe fondamental de la statique, résolution d'un problème de statique plane

Au sein de cette séquence d'enseignement, une séance à caractère expérimental de deux heures dans le laboratoire de STI2D est à élaborer. Le laboratoire dispose de plusieurs systèmes, dont la maquette du pont Chaban-Delmas. Les élèves ont déjà découvert et manipulé ces systèmes et l'effectif de la classe est de 35 élèves.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- une maquette du pont Chaban-Delmas instrumentée ;
- un poste informatique équipé ;
- des logiciels usuels (traitement de texte, tableur, logiciel de modélisation multiphysique Scilab) ;
- le référentiel STI2D ;
- un sujet ;
- un dossier technique ;
- une notice d'utilisation de la maquette didactisée.

1. Présentation de l'étude

Le pont Chaban-Delmas est un pont routier et piéton qui permet de relier les deux rives de la Garonne au nord de Bordeaux. Ce pont, ouvert à la circulation en mars 2013, possède un tablier levant afin de permettre le passage des bateaux de grande hauteur.



Figure 1 - Vue d'artiste du pont Chaban-Delmas

D'une longueur totale de 433 m, ce pont comporte 2 voies de transports en commun, 4 voies pour véhicules routiers et 2 passerelles pour cycles et piéton.

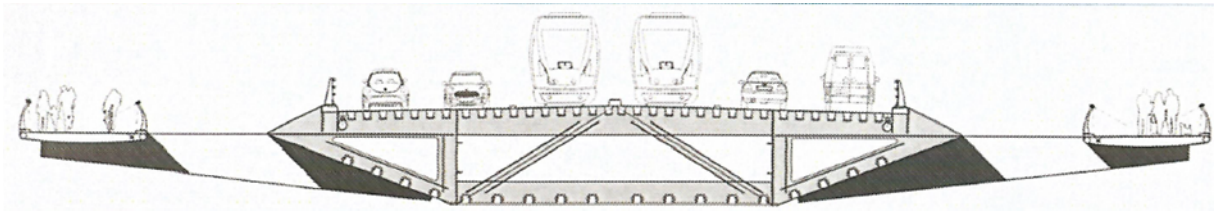


Figure 2 - Vue transversale du pont Chaban-Delmas

Les figures 3 et 4 présentent de façon plus détaillée le pont qui est principalement constitué :

- d'une travée centrale levante en caisson métallique de $2\,850 \cdot 10^3$ kg, de 117 m de longueur et 45 m de largeur ;
- de 4 pylônes de 77 m de hauteur, reposant sur des deux embases oblongues de 44 m de long, 18 m de large, 18 m de haut implantées dans le lit du fleuve, et protégées par 4 ilots de protection en béton armé de 18 m de diamètre cloués au sol ;
- de pieux en béton armé de 1,60 m de diamètre et 20 m de profondeur pour fonder les embases des pylônes ;
- de 4 travées fixes, de part et d'autre de la travée centrale, permettant l'accès à celle-ci.

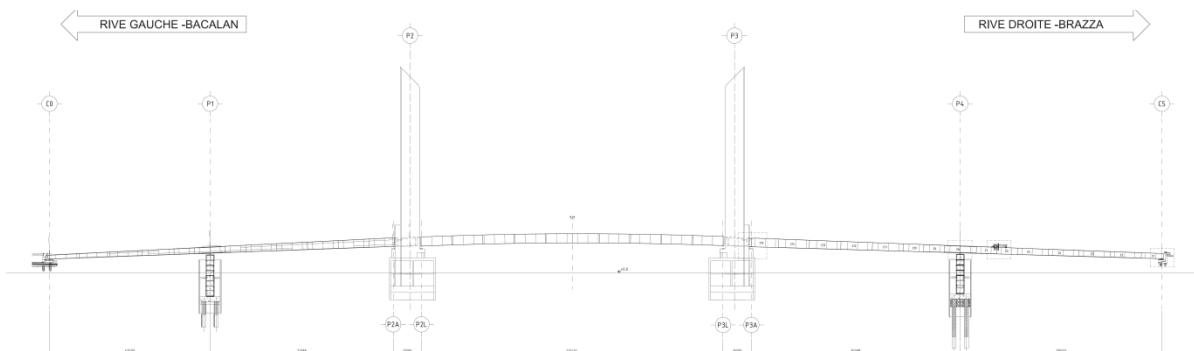


Figure 3 – Vue longitudinale et implantation générale

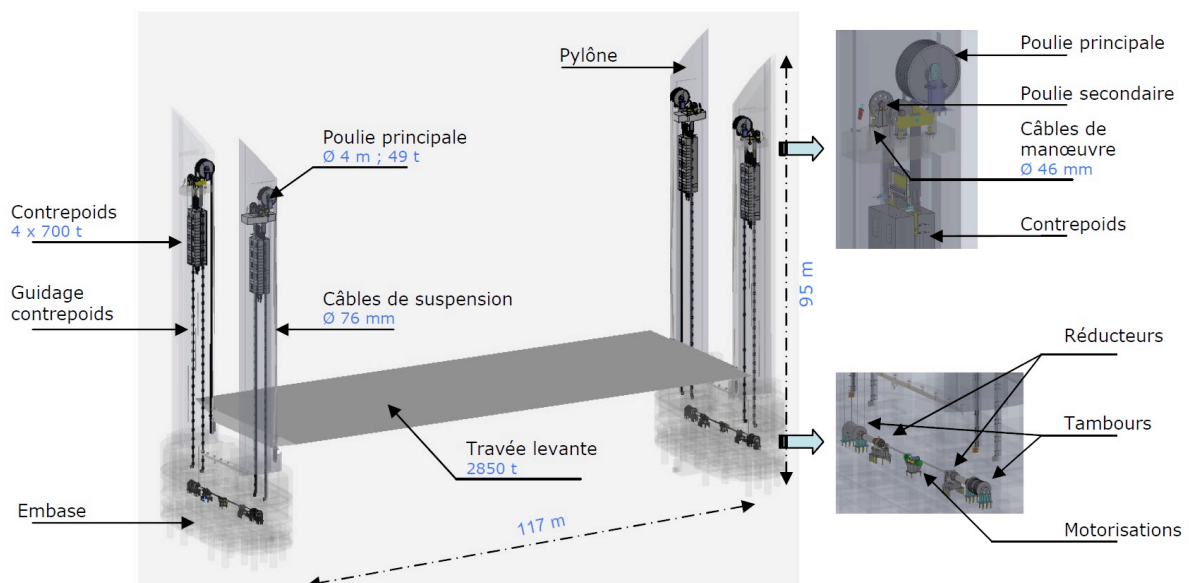


Figure 4 – Représentation des principaux éléments liés à la travée levante

Chaque embase est constituée :

- d'un moteur de 132 kW ;
- de deux réducteurs (un pour chaque pylône) ;
- de deux tambours permettant de mettre en mouvement les câbles de manœuvre.

Chaque pylône est équipé d'un contrepoids de $700 \cdot 10^3$ kg lié aux câbles et de poulies de levage :

- les règles de sécurité du pont imposent qu'en cas de panne, la travée levante doit pouvoir redescendre par son seul poids ;
- en cas de choc extrême, les gabions de défense peuvent être endommagés sans que l'ouvrage ne bouge.

Afin de ne pas détériorer le pont, il est nécessaire que la travée reste en permanence à l'horizontale avec un angle maximal de $0,2^\circ$.

Les activités proposées par la suite vont permettre d'établir un modèle de comportement du pont lors du mouvement de la travée mobile. Ce modèle sera utilisé pour vérifier le critère d'horizontalité.

2. Le système de laboratoire

Une maquette du pont à l'échelle 1 / 100 de structure fonctionnelle équivalente à celle de l'ouvrage réel est présente dans le laboratoire et permettra la mise en œuvre d'expérimentations.



Figure 5 - Maquette du pont Chaban-Delmas

La maquette à l'échelle 1 / 100 représente les quatre pylônes de levage et la travée centrale en caisson métallique. Deux moteurs sans balais de 25 W pilotés par des variateurs et synchronisés assurent le levage de la travée centrale en 20 s.

Deux capteurs analogiques à câble permettent d'obtenir une image de la hauteur de la travée. Deux freins électromagnétiques assurent le maintien en position en cas de défaut ou de perte d'alimentation.

Le pilotage par l'interface homme / machine permet d'activer les moteurs, de mesurer et de contrôler la synchronisation des deux rives. Si l'écart de hauteur est trop important, le logiciel de commande déclenche l'arrêt instantané des moteurs.

Première phase – Manipulations expérimentales au laboratoire (4 h 00)

Partie 1 : comprendre le fonctionnement global (≈ 0 h 30)

Objectifs : découvrir le système et s'appropriier l'environnement et la structure du support technique.

Activité 1

À l'aide du logiciel « Le Pont » et du manuel d'utilisation, piloter le pont pour déterminer la course de la travée mobile entre les positions haute et basse. Sur le pont réel, la course est de 45 m.

Vérifier que la course obtenue sur la maquette respecte bien l'échelle (1 / 100).

Activité 2

Repérer, à l'aide du dossier technique, les différents éléments constituant la chaîne d'énergie de la maquette. Proposer une représentation de celle-ci.

Activité 3

Indiquer les éléments qui, sur le système réel, peuvent conduire à perturber l'horizontalité de la travée lors de la montée. Conclure sur la capacité à reproduire sur la maquette la perturbation d'horizontalité et, si cela est possible, décrire la mise en œuvre de cette perturbation.

Partie 2 : activités aidant à répondre aux problèmes techniques proposés (≈ 2 h 00)

Objectifs : proposer un modèle de comportement du mouvement de la travée.

a) Analyse d'un modèle multiphysique du comportement de la maquette

L'étude exploite les caractéristiques physiques de la maquette. Les résultats peuvent être ensuite transposés à l'ouvrage réel.

Les caractéristiques de la maquette sont :

- une motorisation par moteurs brushless ;
- une vitesse nominale des moteurs de $2500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$;
- une vitesse du tablier correspondante de $23,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$;
- une durée d'un cycle de montée inférieure à 20 s.

Le système se met en sécurité si l'écart de hauteur entre les deux rives est supérieur ou égal à 35 mm.

Sur la maquette, lorsqu'un mouvement est demandé, la vitesse angulaire de consigne est envoyée à un contrôleur central. Celui-ci génère une nouvelle consigne progressive et l'envoie au variateur de vitesse de chaque rive.

Chaque variateur pilote un moteur brushless et réalise un asservissement de la vitesse de rotation de ce moteur. La vitesse de sortie du moteur est ensuite adaptée. Il en résulte une vitesse de déplacement de chaque rive.

Le modèle de comportement proposé est donné dans le fichier de simulation Scilab : « modele_sans_synchronisation.zcos ».
 Double-cliquer sur l'icône associée à ce fichier sur le bureau de l'ordinateur.

Activité 4

Expliquer la structure retenue pour la modélisation (ne pas étudier le contenu des blocs du fichier de simulation Scilab).

À l'aide du dossier technique, repérer sur la maquette l'emplacement des capteurs permettant de mesurer les grandeurs affichées dans le modèle. Le positionnement à une hauteur médiane du pont facilite le repérage des capteurs.

Les activités suivantes ont pour but de déterminer les valeurs numériques des paramètres du modèle proposé.

b) Étude de la cinématique des mécanismes de levage

L'objectif de cette partie est de déterminer les paramètres caractéristiques de la chaîne cinématique de la maquette du Pont Chaban-Delmas pour en établir un modèle.

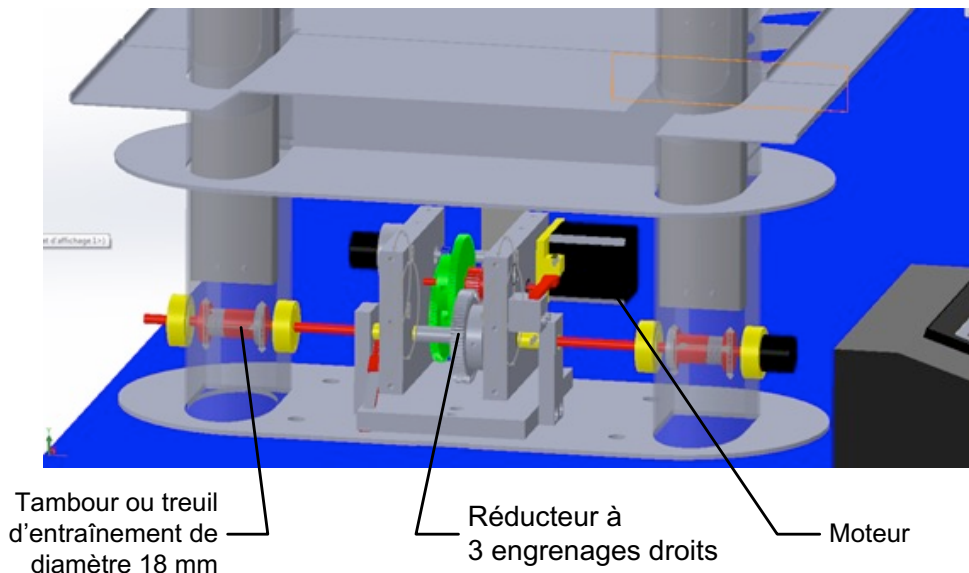


Figure 6 - Mécanisme global de transmission d'une pile

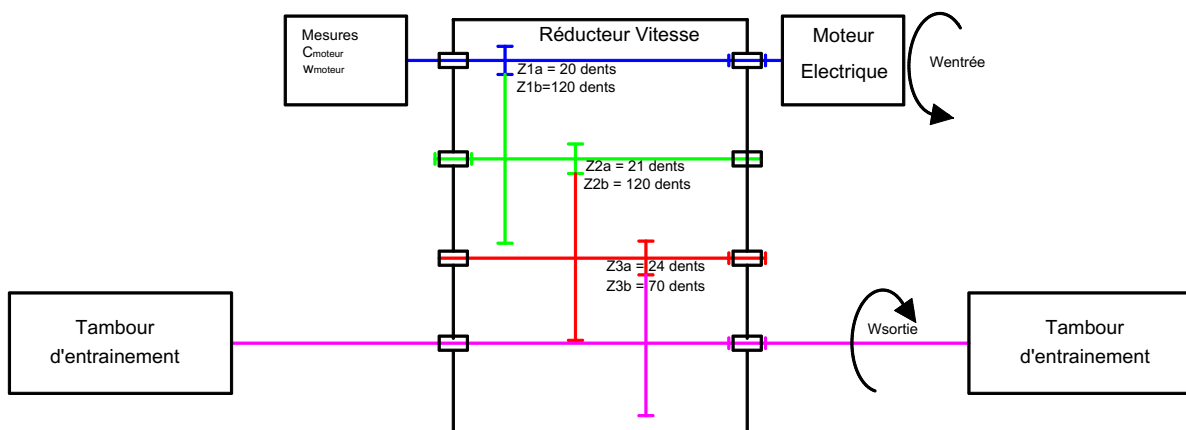


Figure 7 - Modélisation du réducteur de vitesse

Les mesures des différentes vitesses de la chaîne cinématique de la maquette sont possibles à l'aide du logiciel d'acquisition et en sélectionnant l'onglet « E1-Cinématique ».

Activité 5

Déterminer la relation théorique entre la vitesse du tablier et la vitesse du moteur. Vérifier ce résultat expérimentalement.

c) Étude du modèle de la travée

Le modèle multiphysique permet de prendre en compte simultanément la cinématique et les actions mécaniques.

Le modèle de la travée est construit à l'aide des équations suivantes :

- $M \cdot \frac{dv(t)}{dt} = M \cdot g + F_g + F_d$;
- $v(t) = \frac{v_g(t) - v_d(t)}{2}$;
- $\omega(t) = \frac{v_g(t) - v_d(t)}{L}$;
- $J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = (F_d - F_g) \cdot \frac{L}{2}$.

Avec :

- v_g et v_d respectivement les composantes verticales des vitesses des rives gauche et droite ;
- F_g et F_d respectivement les composantes verticales des actions mécaniques des câbles sur les rives gauche et droite ;
- M et J respectivement la masse et le moment d'inertie de la travée exprimé en son centre de gravité G et autour de l'axe transversal ;
- L la longueur de la travée mobile.

Pour établir ces équations, un repère direct orthonormé a été introduit. Ce repère est représenté sur la figure 8.

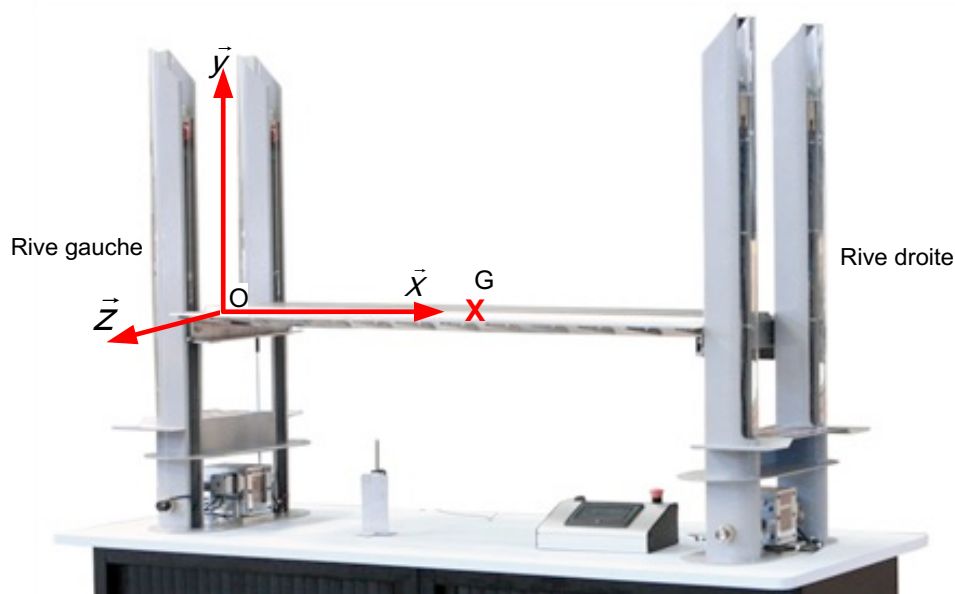


Figure 8 - Repère pour l'étude mécanique

Activité 6

Préciser la signification des termes $v(t)$ et $\omega(t)$ et l'origine de ces équations.

Pour reproduire une action extérieure localisée, placer sur la travée, à une distance notée x de la rive gauche, des « bus » accolés, perpendiculaires à la direction longitudinale de la travée. La masse de chaque bus est d'environ 2 kg. La longueur de la travée est de 1,17 m.

Activité 7

Indiquer comment sont modifiées les équations précédentes.

Dans le modèle mis en place sur Scilab, il est possible d'imposer une charge ponctuelle F à une position x donnée sur la travée ($x = 0$ au niveau de la rive gauche et $x = L$ au niveau de la rive droite). Pour cela, double-cliquer sur le bloc « Charge Ponctuelle » puis cliquer sur le bouton « OK » à l'ouverture de fenêtre (figure 9).

Renseigner les champs F (en N) et x (en m) conformément à la figure suivante (une charge de 10 N s'exerçant vers le bas doit être renseignée « -10 »).

Valider ensuite avec le bouton « OK (2 fois) ».

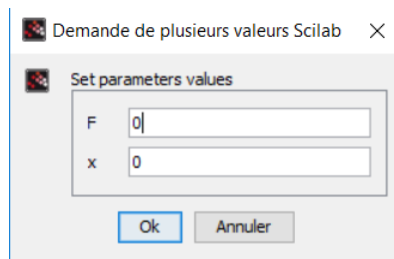


Figure 9 - Bloc « Charge Ponctuelle »

Les autres paramètres du modèle ont été renseignés préalablement conformément aux caractéristiques de la maquette.

Lancer une simulation en cliquant sur le bouton « lecture » (figure 10).

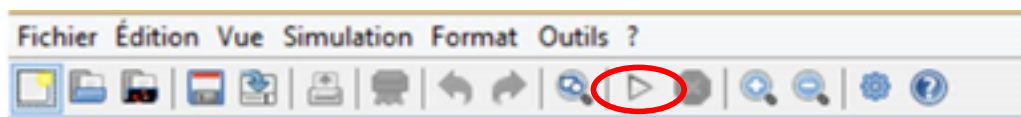



Figure 10 - Bouton de lecture

Pour afficher les valeurs des points des courbes, cliquer sur le bouton «  » puis sur la courbe étudiée. Le curseur sélectionné peut être glissé sur la courbe à l'aide la souris.

Dans le logiciel du pont, il est possible d'afficher les efforts dans les câbles et au niveau de chaque rive en sélectionnant l'activité « M3 - La résistance des câbles ».

Activité 8

Proposer et réaliser une expérience et une simulation permettant de valider la prise en compte par le modèle d'une charge supplémentaire ponctuelle sur le tablier.

d) Influence d'une charge sur le comportement du pont en montée

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence l'influence d'une charge sur le pont lors de la montée de la travée et de minimiser l'influence de cette charge à partir du modèle.

Activité 9

Renseigner le modèle afin de prendre en compte une action correspondant à une charge de 2 bus placés à l'extrémité gauche du pont.

Observer en simulation l'influence de cette action en analysant les différentes courbes. Conclure quant au respect de l'exigence d'horizontalité de la travée (angle maximal de $0,2^\circ$).

Pour réduire l'écart de hauteur du tablier entre les deux rives, plusieurs solutions sont utilisées :

- asservissement de vitesse des moteurs par le correcteur PID du variateur de vitesse ;
- synchronisation de la commande d'une rive par rapport à l'autre en fonction de l'écart de hauteur.

L'étude se porte sur la synchronisation uniquement.

Elle fonctionne selon le principe suivant :

- la consigne de l'un des moteurs reste inchangée par rapport au mode précédent (sans synchronisation) ;
- la consigne de l'autre moteur est variable. Elle est déterminée en ajoutant à la consigne du premier moteur une fonction dépendant de l'écart de hauteur entre les deux rives.

Pour la suite de l'étude, on suppose que le moteur « à consigne constante » est le moteur « rive gauche » et que le moteur à consigne variable est le moteur « rive droite ». Cette configuration est appelée dans le système « rive droite suit rive gauche ».

Activité 10

Modifier le modèle en ajoutant des blocs de manière à modéliser la boucle de synchronisation. On considérera qu'un écart de hauteur entre les deux rives de $20 \cdot 10^{-3}$ m doit entraîner une variation de consigne de $400 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ($40 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ dans la simulation).

Lancer la simulation pour vérifier le fonctionnement correct de la synchronisation.

Pour modifier le modèle :

- insérer des blocs de la palette SIMM/Signaux/Math (fenêtre navigateur de palette du menu Vue de la figure 11) ;
- modifier si besoin les signes du bloc « sommateur » en double cliquant dessus.

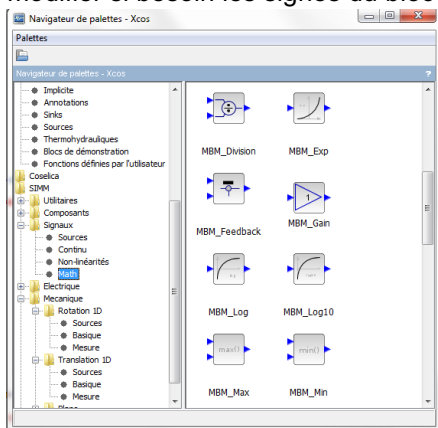


Figure 11 - Palette « SIMM/Signaux/Math »

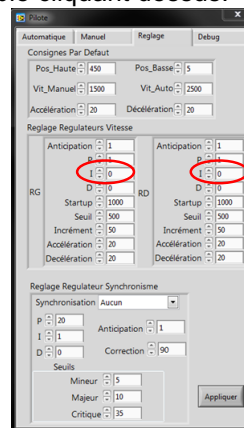


Figure 12 - Boîtier de réglage du PID

Pour mettre en évidence l'action de la synchronisation uniquement, supprimer l'action intégrale sur le PID du variateur de vitesse (figure 12) :

- sélectionner l'onglet « Réglage » du pilote ;
- renseigner les cases « I » à 0 dans les 2 régulateurs de vitesse.

Remarque : pour éviter le blocage du pont, penser à enlever les bus lors de la descente du tablier.

Activité 11

Choisir l'activité « Synchronisation » dans le logiciel.

Activer la synchronisation « RD suit RG » (onglet réglage du pilote, I restant à 0) et mesurer en montée uniquement la différence de hauteur avec 2 bus placés tout à gauche du pont. Réaliser la simulation correspondante.

Conclure sur les écarts modèles / réel. Proposer une ou des solutions pour améliorer la synchronisation.

e) Mise en œuvre d'un mode de synchronisation personnalisé

La maquette du Pont Chaban-Delmas permet d'utiliser plusieurs modes de synchronisation, dont un mode dit personnalisé (« CUSTOM »). On se propose de coder et valider un mode de synchronisation personnalisé. Le principe de la correction à implémenter est décrit ci-après.

À chaque appel de la procédure de synchronisation :

- la consigne de vitesse du moteur rive gauche n'est pas modifiée ;
- la consigne de vitesse du moteur rive droite augmente ou diminue de $30 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ de manière à réduire l'écart de hauteur entre les deux rives.

L'écart de synchronisation est défini par :

$$\text{écart de synchronisation} = \text{hauteur rive droite} - \text{hauteur rive gauche}$$

Activité 12

Pour chaque cas de la figure suivante indiquer la nouvelle valeur de la consigne de vitesse du moteur rive droite.

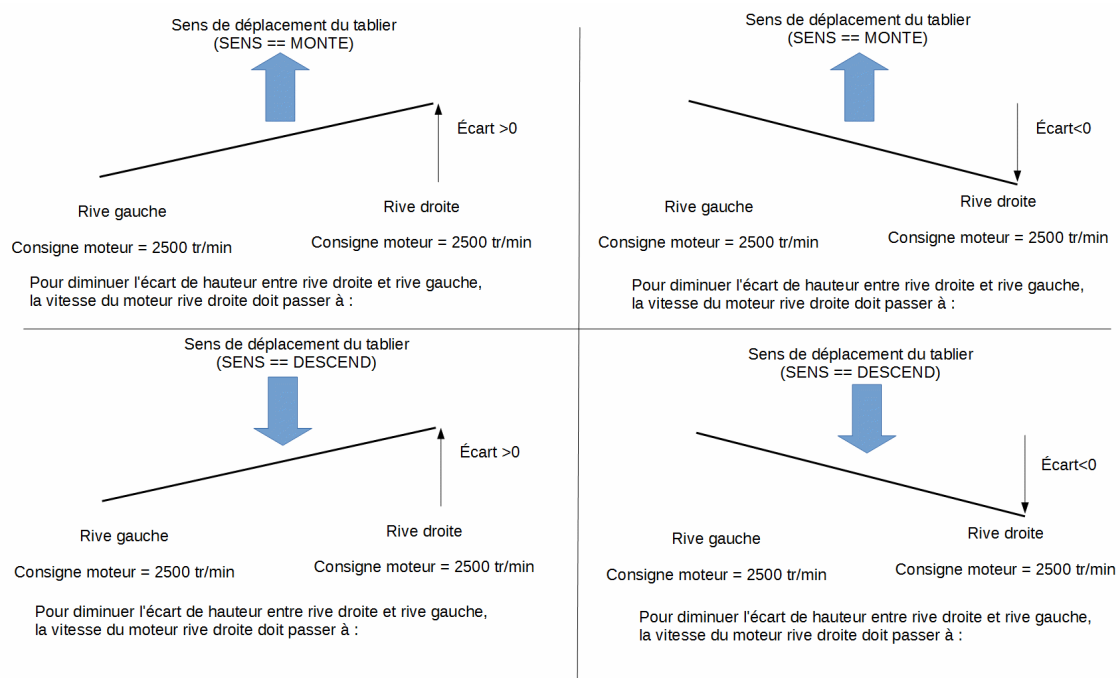


Figure 13 - Représentations des décalages

Activité 13

À partir des résultats précédents, proposer un algorithme, un algorithme ou un pseudo-code permettant d'agir sur la consigne du moteur de la rive droite en fonction du sens de déplacement (MONTE ou DESCEND) et du signe de l'écart.

Le contrôleur de la maquette du pont Chaban-Delmas utilise un microcontrôleur « mbed LPC1768 ». Le code implémenté dans le microcontrôleur est écrit en C++.

L'outil de développement « mbed » est accessible à partir d'un navigateur web. Un document « Utilisation de l'outil de développement mbed » est fourni.

Activité 14

À l'aide du document « Implantation de la synchronisation dans la carte mbed » et en s'inspirant du code existant (regarder et analyser la portion de code située après l'instruction « case DEUX_VITESSES »), écrire le code correspondant à la synchronisation définie précédemment. L'incrément de vitesse sera défini à $30 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Utiliser la variable nommée « delta » (entier signé sur 16 bits) déjà définie pour stocker la valeur de la variation de consigne de vitesse. Cette variable est initialisée dans la procédure « vSynchro_Initialise () ». Le candidat n'a pas à étudier l'obtention de l'écart de synchronisation (variable Ecart_Synchro dans le code).

Activité 15

Valider expérimentalement le fonctionnement de cette régulation. Discuter des intérêts et inconvénients de cette régulation.

Activité 16

Indiquer les phénomènes qui n'ont pas été pris compte (ou négligés) dans le modèle. Proposer une méthode pour les identifier.

Partie 3 : problématique pédagogique expérimentale (≈ 1 heure 30)

Objectif :

Créer une séquence pédagogique dans laquelle une séance à caractère expérimental sera explicitée.

Niveau : première STI2D ;

Connaissance du matériel : les élèves ont déjà manipulé le système.

Concevoir la trame de la séquence pédagogique, réaliser les manipulations et simulations à destination des élèves en s'appuyant sur les points suivants :

- positionnement de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- objectifs et prérequis de la séquence ;
- modalités et organisation pédagogiques de la séquence (activités pratiques, études de dossiers, etc.) ;
- description détaillée de la séance d'activités pratiques de deux heures ;
- évaluation et remédiation.

Le candidat devra éviter de reproduire les activités de la partie 2 et les utiliser pour sa séance sans adaptation.

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 la mesure aux performances attendues et 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 proposée, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) » et/ou sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (SSI) 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 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4 h).

Cette première phase se décompose en trois 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 Internet, des moyens de mesurage ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

Premier temps (durée ≈ 0h30)

Une étude fonctionnelle et structurelle permet au candidat de s'approprier la problématique proposée et le système pluritechnique support de l'activité pratique. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat a bien atteint cet objectif.

Deuxième temps (durée ≈ 2h00)

Ce deuxième temps est consacré à la résolution de la problématique posée. Le questionnement du sujet et les échanges avec l'examineur permettent de mobiliser des compétences, des

connaissances technologiques et scientifiques, communes aux quatre options, caractéristiques du niveau de l'agrégation.

Troisième temps (durée ≈ 1h30)

Ce dernier temps est destiné à la construction d'une trame de séquence pédagogique et à l'élaboration d'une séance détaillée de travaux pratiques. La trame de séquence et la séance doivent permettre de répondre aux attendus de la présentation orale de la phase 3. À ce stade, le candidat dispose des travaux déjà réalisés qu'il peut compléter par des manipulations ou des mesures pertinentes destinées à valider ses choix pédagogiques et à étayer la conception détaillée des activités proposées. Le jury apprécie cette prise d'initiative.

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

Le candidat prépare, 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. Il dispose d'un poste informatique relié à 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 du système en lien avec la séquence pédagogique demandée d'une durée conseillée de 5 minutes ;
- la synthèse des activités, menées dans la deuxième partie de la première phase de l'activité pratique, d'une durée conseillée de 5 minutes. Cette synthèse doit mettre en évidence la cohérence des travaux menés avec la séquence pédagogique demandée ;
- l'exploitation pédagogique d'une durée conseillée de 20 minutes.

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

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

- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus des investigations conduites au cours des activités dans la perspective de la séquence et séance pédagogique demandée ;
- positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- présenter et justifier la structure de la séquence pédagogique ;
- définir les objectifs de formation ;
- identifier les prérequis et les conditions matérielles nécessaires pour la séance ;

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 une synthèse ou une structuration des connaissances ;
- définir les stratégies d'évaluation des acquis des élèves (évaluation sommative, évaluation formative...).

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 d'autre part ses capacités à faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République.

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.

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 2017 sont :

- banc d'étude sismique ;
- incubateur d'œufs ;
- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique ;
- maquette de pont levant.

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 ;
- recalage d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performances ;
- évaluation des écarts.

2. Analyse des résultats

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 pertinente 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.

Une majorité des candidats est bien préparée à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats au plus haut niveau d'expertise. La présentation du système et des résultats lors de la présentation orale se résumant à un compte-rendu souvent chronologique sans que soient mis en perspective le ou les liens entre les manipulations effectuées et la séquence pédagogique. Les candidats n'abordent que très partiellement l'exploitation pédagogique des manipulations.

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 pluritechnique 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 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 de correctement appréhender le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes d'énergie et d'information, les diagrammes SysML).

Résolution des problèmes posés et d'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...).

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 ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique 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 SSI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental

Une problématique pédagogique expérimentale 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 (partie 2 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 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 les 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

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 décrire le système en présentant sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée ;
- de décrire les mesures effectuées en rappelant la problématique donnée et en précisant la démarche mise en œuvre et les conclusions obtenues ;
- de proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- d'explicitier les compétences, et les connaissances associées, visées par la séance, les moyens de leur évaluation et de s'assurer du respect des textes officiels en vigueur ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir des modalités d'évaluation des niveaux de maîtrise des compétences des élèves.

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 et de donner du sens aux connaissances développées.

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

Le jury a été extrêmement attentif au positionnement du candidat sur les valeurs de la République. Ces points ont été systématiquement abordés et ont fait l'objet de questions au travers de mises en situations pédagogiques ou de conduite de classe.

Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnique 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

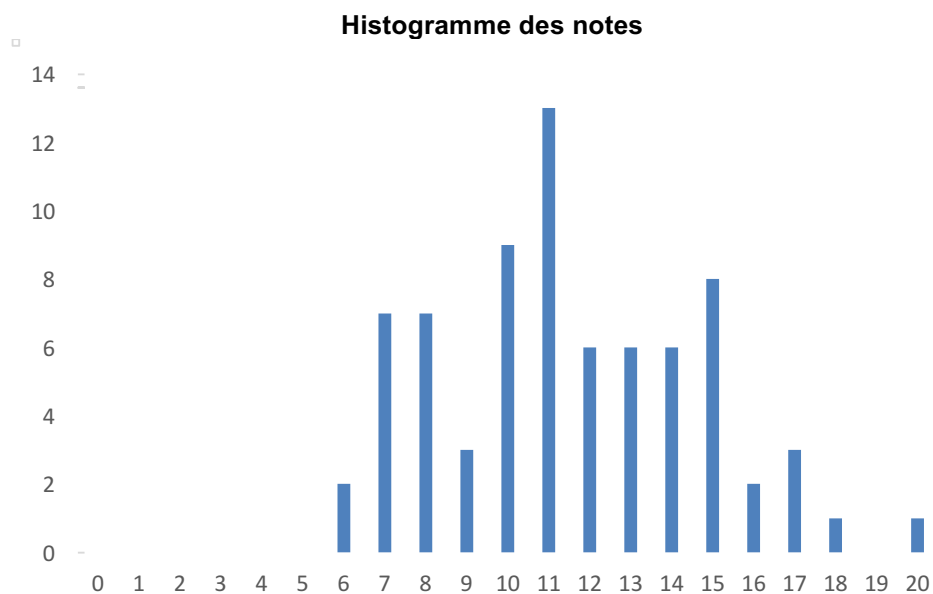
Cette session pour l'agrégation externe sciences industrielles de l'ingénieur confirme les évolutions engagées lors des deux années précédentes. Le laboratoire unique composé de systèmes pluritechniques communs aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur impose au candidat 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 des différents programmes ou référentiels de formation et des objectifs de formation associés.

5. Résultats

74 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 11 / 20 et l'écart-type 3,1 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 5,8 comme note la plus basse.



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

SUPPORT ETUDIÉ : AR. DRONE



| | |
|--|--|
| <p>Thème pédagogique :</p> <p>Conception</p> | <p style="text-align: center;">ÉTUDES PROPOSÉES</p> <ul style="list-style-type: none">• Étude 1 : détermination de l'influence du compactage sur le retrait.• Étude 2 : validation des paramètres relatifs au domaine d'injection du PEbd• Étude 3 : modèle de prédiction du retrait thermique. |
|--|--|

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 1 h).

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 :

- **Classe** : Brevet de Technicien Supérieur Conception des produits industriels
- **La compétence visée** : C11 : Participer à un processus collaboratif de conception et de réalisation de produit (cf. Figure 1)
- **Les savoirs associés** : L'exploitation pédagogique doit permettre de répondre aux objectifs de formation de la partie du programme (Référentiel de BTS CPI, cf. Figure 3) :
 - o **S6.1 – Spécification des produits.**
 - o **S7.1 – Interaction conception industrialisation, optimisation de la relation produit-matériau-procédé**

| C11 : Participer à un processus collaboratif de conception et de réalisation de produit | | | |
|--|---|--|-------------------------|
| Données | Compétences détaillées | Indicateurs de performance | Savoirs associés |
| Cahier des charges fonctionnel Maquette numérique de conception détaillée. Bases de données. Logiciel d'aide au choix de matériau. | C11.1 Collaborer au choix d'un matériau et d'un procédé d'élaboration compatibles avec les fonctions et formes de la pièce. | Le choix du matériau est correctement justifié. Le choix du procédé est correctement justifié. | S6 S7.1 |
| Le cahier des charges fonctionnel du produit. Les éléments économiques : lots, délais, coût prévisionnel. Le modèle numérique de conception préliminaire de la pièce concernée. Les résultats de la simulation du procédé d'obtention de la pièce étudiée à l'aide d'un module métier. Rapport d'analyse d'un spécialiste d'un procédé sur la pièce à fabriquer. | C11.2 Intégrer les exigences ou propositions d'un spécialiste. | Les critères retenus sont justifiés au regard du cahier des charges. Le compromis matériau-géométrie-procédé-coût est justifié. Le modèle numérique est correctement modifié. | |
| Le cahier des charges fonctionnel du produit. Les éléments économiques : lots, délais, coût prévisionnel. Le modèle numérique de conception préliminaire de la pièce concernée. Les résultats de la simulation du procédé d'obtention de la pièce étudiée à l'aide d'un module métier. Les exigences de production. Le couple matériau/procédé retenu. | C11.3 Collaborer à la définition/ au choix des moyens de réalisation en réponse à un besoin de conception et de fabrication. | Le choix du couple produit/procédé est compatible au regard des contraintes de production. La solution est valide d'un point de vue économique et/ou environnemental. La définition des moyens est en adéquation avec leur aptitude. | |

Figure 1: compétence détaillées visées extraites du référentiel du BTS Conception de Produits Industriels

| S6.1 – Spécification des produits. | | | | | |
|---|----------------------|---|---|---|--|
| <i>L'approche de la spécification dimensionnelle et géométrique des produits s'appuie sur l'analyse du fonctionnement attendu d'un produit pour aboutir, par l'utilisation d'une méthodologie de cotation structurée, à l'identification de conditions fonctionnelles et à une cotation de définition des différentes pièces d'un mécanisme respectant la norme ISO en vigueur.</i> | | | | | |
| Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes) | Niveaux taxonomiques | | | | Limites de connaissances |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| S6.1.1 – Défauts des surfaces réelles - Caractéristiques des surfaces réelles et identification des défauts dimensionnels, géométriques et micro-géométriques. | | | | | L'analyse de données métrologiques de pièces existantes est recommandée. L'utilisation de dispositifs didactiques amplifiant les défauts est recommandée. |
| S6.1.2 – Types de tolérances et de spécifications: - Tolérancement dimensionnel. - Tolérancement par zones. - Tolérancement par gabarits. - Tolérances générales. - Spécifications géométriques : - forme, - orientation, - position, - battement. - Éléments spécifiés. - Éléments de référence et références spécifiées. - Tolérances projetées. - Interdépendance dimensions/géométrie : - exigence d'enveloppe, - exigence du maximum de matière, - exigence du minimum de matière. - Conditions d'état libre. - Spécifications d'état de surface. | | | | | La détermination quantitative des intervalles de tolérances, dimensionnels ou géométrique, n'est attendue que sur des cas simples de type plan. Dans les autres cas, on se contentera d'une approche qualitative de la spécification. |
| 6.1.3 – Démarche de détermination des spécifications d'un produit : - Inventaire des fonctions mécaniques auxquelles participe la pièce. - Identification des surfaces fonctionnelles (ou groupes de surfaces fonctionnelles) associées. - Analyse et quantification éventuelle des conditions de fonctionnement et de montage (jeux, ajustements, chaîne géométrique des contacts, ...). - Traduction en spécifications : - dimensionnelles, - géométriques, - d'états de surface. | | | | | Voir commentaire précédent |
| 6.1.4 – Relation entre métrologie et tolérancement normalisé - Matrice GPS. - Référentiels de mesure. - Notion d'extraction et critères d'association. - Relation « zone de tolérance » et grandeur mesurée. | | | | | |

Figure 2: extrait du référentiel BTS Conception de Produits Industriels

S7.1 – Interaction conception industrialisation, optimisation de la relation produit-matériau-procédé

L'approche des procédés s'appuie sur l'identification des principes de transformation utilisés et sur les caractéristiques des familles de matériaux transformés.

Elle permet d'associer aux procédés les principales caractéristiques des pièces obtenues (qualités et défauts, dimensions, précision, impacts environnementaux, coûts).

| Savoirs, Connaissances (concepts, notions, méthodes) | Niveaux taxonomiques | | | | Limites de connaissances |
|---|----------------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| <p>S7.1.1 : Procédés d'obtention :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédés primaires relatifs à l'obtention de pièces brutes exigeant éventuellement des transformations ultérieures. La matière d'œuvre entrante est sous une forme primaire ou composée de produits standards (laminés, profilés...) : <ul style="list-style-type: none"> - mise en forme par fonderie (au sable, sous vide, par injection), - mise en forme par moulage (injection, compression, soufflage, extrusion), - mise en forme par déformation (roulage, forgeage, estampage, découpe), - méthodes des poudres (compression, coulée, injection), - mise en œuvre des composites, - procédés additifs, - usinages non conventionnels (électroérosion, découpe au jet d'eau, découpe laser). - Procédés secondaires permettant l'obtention de pièces finies à partir d'éléments bruts issus d'une transformation par un procédé primaire : <ul style="list-style-type: none"> - usinage (tournage, perçage, fraisage...), - procédés primaires utilisés en tant que procédé secondaire (surmoulage, découpe, électro-enfonçage). - Procédés tertiaires de finition, d'assemblage et/ou d'amélioration des caractéristiques physiques permettant l'obtention de pièces finies : <ul style="list-style-type: none"> - traitements thermiques, - soudage et brasage, - collage, - fixation mécanique, - soudage mécanique (par friction, par ultrasons), - peintures et marquages, - polissage et texturation (gravure laser, attaque chimique), - anodisation et chromage, - métallisation, galvanisation. | | | | | Approche qualitative, identifiant des ordres de grandeur significatifs des principales caractéristiques permettant des analyses multi critères. |
| <p>S7.1.2 – Optimisation du choix des procédés de réalisation selon les critères suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forme et état de la matière d'œuvre entrante utilisable (profilés, plats, lingots, poudres, liquide). - Caractéristiques physiques : <ul style="list-style-type: none"> - tolérance, rugosité, - modification des propriétés mécaniques des matériaux, - géométries réalisables et règles de conception associées. - Caractéristiques environnementales et économiques : <ul style="list-style-type: none"> - impact environnemental (déchets, consommables, effluents, bilan carbone, etc.) associés à la | | | | | Optimiser la conception d'un produit en intégrant les exigences ou les propositions d'un spécialiste du procédé. |

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> réalisation, - coût de la matière d'œuvre, - coût de l'équipement (machine), - coût de l'outillage, - coût de la main d'œuvre (durée de préparation de la mise en œuvre, quantités d'opérateurs nécessaires...). - Productivité : <ul style="list-style-type: none"> - production unitaire, petite série, grande série, - disponibilités et délais de réalisation. | | | | |
| <p>S7.1.3 – Relations caractéristiques de l'optimisation de la relation produit - matériau – procédé</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relations fonctions - pièce - matériau - procédé : approche multi critères, caractéristiques influentes, ordres de grandeur associés. - Relations entre formes caractéristiques d'une pièce et procédés. - Relations entre caractéristiques de mise en forme d'un matériau et procédés associés. - Relations entre formes, dimensions, précision d'une surface et outillages associés à un procédé. - Relation matériau-procédé-précision obtenue. - Relation entre aspect (visuel, toucher, estime) d'une forme – matériau – procédé. - Relation coût de fabrication d'une pièce et type de transformation (primaire, secondaire, tertiaire). - Relation densité matériau – volume pièce - coût matière. - Relations - complexité des formes d'une pièce - procédé – coût. | | | | <p>L'analyse multi critères sera pratiquée sur des études de cas en mettant en évidence une ou plusieurs des relations proposées.</p> |
| <p>S7.1.4 – Méthodes de choix et procédures associées à la relation produit - matériau - procédé.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédure de choix d'un matériau relatif à un procédé et à un produit. - Procédure de choix d'un procédé relatif à un matériau et à un produit. | | | | <p>En lien avec le savoir S43</p> |
| <p>S7.1.5 – Optimisation d'un produit réalisé selon un procédé et un processus donné.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adaptation des formes et dimensions d'une pièce aux produits semi-finis standards. - Adaptation de la nuance d'un matériau d'une pièce aux matières d'œuvre standard. - Adaptation du matériau et du procédé de réalisation associé aux normes environnementales en vigueur. - Adaptation des formes, dimensions et précisions d'une pièce aux standard de réalisation disponibles (types de machines, géométrie, capacité machine, ...). | | | | |

Figure 3: extrait du référentiel BTS Conception de Produits Industriels

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

Première phase – Activités pratiques de laboratoire
(Durée 4h00)

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. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP, dans l'optique de l'épreuve, en vérifiant une ou plusieurs performances du support, ainsi que la problématique proposée.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système à l'examineur, le candidat doit réaliser des expérimentations, des manipulations et des essais afin de répondre aux problématiques proposées dans le TP. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre les problèmes posés, d'exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, valeurs numériques...) et de mettre en évidence les écarts entre le souhaité, le mesuré et le simulé, puis d'éventuellement proposer des solutions pour les réduire.

Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Pour cette troisième partie, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans le cadre de la problématique pédagogique expérimentale proposée en précisant :

- le positionnement de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- la compétences visées et les connaissances associées de la séquence ;
- les objectifs et prérequis de la séquence ;
- les modalités pédagogiques (TP, TD, cours, projet) ;
- l'organisation matérielle et pédagogique des activités (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
- les critères d'évaluation et remédiation.

De plus, le candidat devra décrire plus particulièrement une séance en précisant les expérimentations effectuées. Il devra notamment :

- identifier les compétences abordées durant la séance et les connaissances nouvelles associées ;
- mettre en adéquation les objectifs visés de la séance et la séquence ;
- exploiter des informations, des données et des résultats issus des activités ou des investigations conduites au cours des travaux pratiques ;
- faire une synthèse et une structuration des connaissances.

Deuxième phase – Préparation de l'exposé (Durée 1h00)

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent. Il n'a plus accès au système et modèles associés, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet.

Remarque : Il n'y a plus d'accès aux matériels durant cette heure de préparation.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (Durée 1h00)

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 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.

MISE EN SITUATION

L'illustration choisie porte sur la conception du croisillon de l'AR Drone en vue de son industrialisation. Ce constituant supporte les 4 branches du drone. Le couple matériau-procédé retenu est un polyéthylène basse densité, appartenant à la famille des thermoplastiques, et mis en forme par injection plastique.

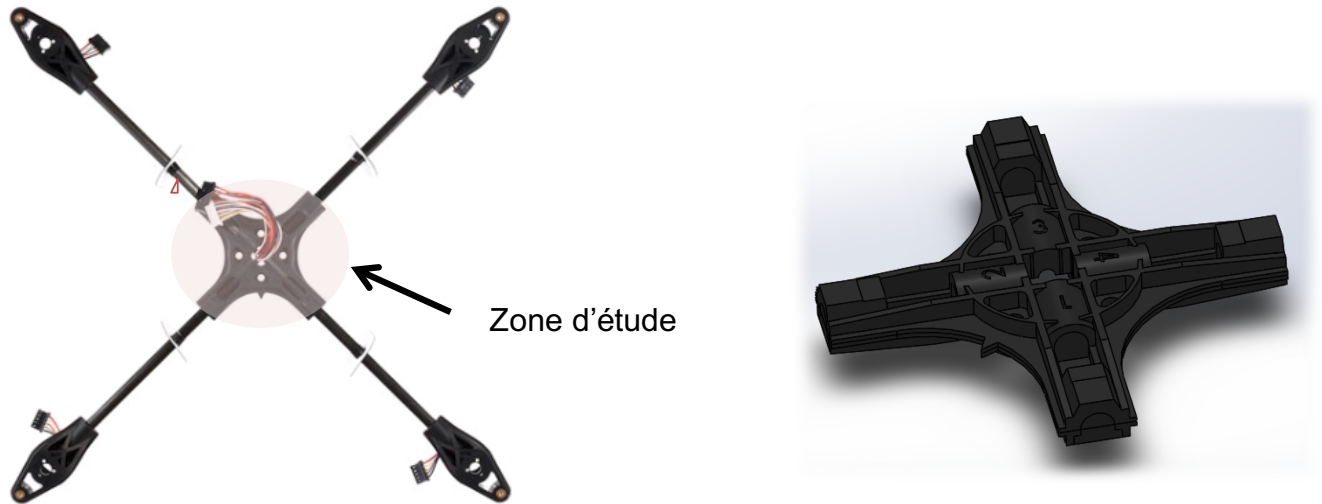


Figure 4: situation du croisillon

Les problèmes rencontrés par les transformateurs de matières plastiques sont multiples. Le principal problème est sans doute le retrait volumique provoqué par la baisse de la température dans la cavité moulante. Les effets de ce retraits sont nombreux :

- non-respect des dimensions de la pièce dues au décollement des parois de la pièce du moule ;
- aussi déformations, contraintes internes – qui peuvent provoquer la rupture de la pièce dans le moule ou au moment de l'éjection ;
- contraintes résiduelles qui peuvent opacifier une pièce censée rester transparente.

La prise en compte, dans la démarche de conception, des contraintes de production et notamment de la prédiction de ces retraits et de leurs conséquences est donc nécessaire.

Lors de l'injection, par exemple, un polymère de rhéologie complexe s'écoule en présence d'air tout en se refroidissant et se solidifiant au contact du moule.

L'objectif de cette étude, en couplant les approches de prédéfinitions des paramètres d'injection par expérimentation et la simulation, porte sur la maîtrise des dimensions de la pièce après injection, et donc, la validation du choix matériau-procédé et du moyen de production associé.

L'objectif est de valider le choix produit - matériau – procédé de ce composant.

Pour cela, il est indispensable d'effectuer une simulation de mise en forme du matériau et de valider le modèle par une expérimentation sur des éprouvettes.

Les éléments suivants sont mis à disposition :

- une presse d'injection plastique ;
- un moule d'éprouvette type 1BA instrumenté d'un système como-injection ;
- un logiciel de simulation d'injection plastique et les modèles 3D nécessaires.

Première phase : Première partie (durée ≈ 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

Les objectifs de cette première partie sont de :

- prédéterminer les conditions opératoires d'injection ;
- définir les principes de l'injection plastique ;
- réaliser une pré-série de pièces en injection plastique.

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

Moyens

La machine BABYPLAST 6/10P (Øpiston=12mm) permet de réaliser des pièces de petites dimensions ou des éprouvettes utilisables en micro-injection.

Sur cette machine, la pression de compactage est égale à la pression d'injection (un seul paramètre de réglage).

Le polymère à injecter est du polyéthylène basse densité (PEbd ou LDPE) conditionné en granulés et stocké dans la trémie de la machine à injecter.

Documents ressources

L'ensemble des documents nécessaires à l'exploitation de cette partie est présent dans le dossier ressources et dans la documentation technique fournie (Kistler).

Activités à réaliser

Activité 1 : procédé d'injection

- mettre en œuvre la machine d'injection selon les conditions opératoires imposées ;
- réaliser une série de 10 éprouvettes.

Activité 2 : Caractérisation du procédé

- décrire le procédé d'injection ;
- décrire le cycle du moulage par injection (chronogramme temps – pression) ;
- relever les conditions opératoires réglées dans la presse à injecter.

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 (durée ≈ 2h)

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.

Introduction

Cette partie a pour objectif de définir des conditions opératoires pertinentes en vue de maîtriser la qualité dimensionnelle de pièces au travers du phénomène de retrait thermique.

Elle se comporte de trois études distinctes. On conseille de consacrer 30 minutes pour chacune de ces études.

Étude 1 : Détermination de l'influence du compactage sur le retrait thermique.

Étude 2 : Validation des paramètres relatifs au domaine d'injection du PEbd

Étude 3 : Modèle de prédiction du retrait thermique.

Étude 1 : détermination de l'influence du compactage sur le retrait thermique

Objectifs

L'objectif de cette étude est de réaliser des éprouvettes en fonction des paramètres prédéfinis dans l'étude précédente. Le but est de déterminer les conditions opératoires d'injection spécifique au PEbd sur la presse BABYPLAST, en vue de maîtriser le retrait thermique des pièces injectées.

Ressources

Vous disposez de la machine à injecter BABYPLAST 6/10P (\varnothing piston=12mm) pour réaliser la campagne d'essais ainsi que de moyens de mesure dimensionnelle.

L'ensemble des documents nécessaires à l'exploitation de cette partie est défini dans le dossier ressources.

Vous avez à votre disposition un PC avec le logiciel EXCEL pour réaliser les courbes, et un pied à coulisse pour mesurer les pièces injectées.

Activités à réaliser

Activité 3 : Vérifications préliminaires

Vérifier la capacité de la presse à injecter en terme :

- d'effort de verrouillage ;
- de volume de polymère injectable à chaque cycle.

Activité 4 : caractérisation dimensionnelle de l'éprouvette injectée en fonction de la pression de compactage

- déterminer les températures respectives de la buse d'injection, de la chambre et de la zone de plastification conformes au domaine d'injection du PEbd ;
- proposer 5 valeurs pour la pression de compactage ;
- produire 3 éprouvettes par conditions opératoires ;
- observer la géométrie des éprouvettes obtenues ;
- mesurer les dimensions transversales, longitudinales et d'épaisseur des éprouvettes injectées ; pour la mesure d'épaisseur, découper l'éprouvette en deux et mesurer la zone centrale ;
- comparer les dimensions mesurées à celles du moules ;
- tracer les graphes d'évolution des dimensions en fonction de la pression de compactage ;
- conclure.

Étude 2 : validation des paramètres relatifs au domaine d'injection du PEbd

Objectif

L'objectif de cette étude est de définir les principales caractéristiques permettant de maîtriser le retrait thermique des pièces par prédiction selon des modèles spécifiques et analytiques, et de les comparer aux résultats expérimentaux. Cette étude est découpée en activités.

Ressources

Vous disposez des résultats d'une DSC et du diagramme PVT du PEbd.

Activités à réaliser

Activité 5 : validation des paramètres de température d'injection

- Analyser la courbe résultante de l'analyse calorimétrique différentielle du PEbd ;
- Déterminer les valeurs des températures clés de ce polymère (T_g , T_c et T_f) ;
- Valider sa plage de température d'injection.

Activité 6 : validation des paramètres de pression d'injection

- A partir des résultats expérimentaux, déterminer le retrait volumique et linéique pour chaque lot d'éprouvettes (formuler si nécessaire des hypothèses simplificatrices) ;
- A l'aide du diagramme PVT, justifier les retraits volumiques obtenus pour les différentes conditions d'injection ;
- Conclure.

Étude 3 : modèle de prédiction du retrait thermique.

Objectif

L'objectif de cette partie est de proposer une modélisation du retrait thermique en injection plastique, en fonction des résultats expérimentaux et de ceux issus des simulations numériques.

Ressources

Vous disposez du modèle numérique volumique de l'éprouvette et du logiciel Solidworks équipé du complément Solidworks Plastics.

Activités à réaliser

Activité 7 : analyse des résultats de la simulation

Une mise en données (module Plastics du logiciel Solidworks) permettant de simuler les phases de remplissage, compactage et refroidissement de la grappe est fournie. Les résultats sont disponibles dans le dossier « Modèles 3D / Grappe éprouvette ».

A partir du menu résultat :

- tracer le chronogramme temps – pression pour 2 points caractéristiques de l'empreinte en utilisant l'outil « Courbes » ;
- identifier le retrait volumique de la grappe à la fin de la phase de remplissage (débit) et à la fin de la phase de compactage ;
- En utilisant l'outil « Plan de section », observer le champ de retrait volumique dans la section utile de l'éprouvette de traction.

Analyser et justifier les résultats obtenus.

Activité 8 : mise en donnée

- à l'aide du logiciel, déterminer les conditions initiales et les conditions aux limites pour simuler les phases de remplissage et de compactage des expérimentations menées lors de l'activité 4.
- à l'aide des résultats obtenus, analyser l'influence de la pression de compactage sur le retrait volumique.
- comparer les valeurs de retraits volumiques obtenues par expérimentation et celles identifiées par simulation.

Activité 9 : transposition sur le croisillon du drone

- conclure sur les conditions opératoires à mettre en place pour l'injection du croisillon de l'AR Drone.

Première phase : troisième partie (durée ≈ 1h30)

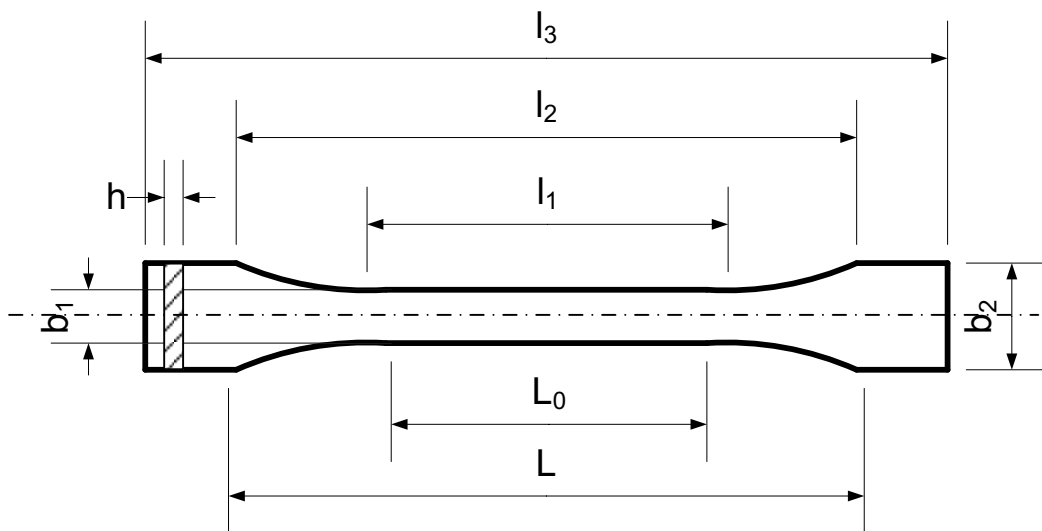
En vue de l'élaboration de l'organisation pédagogique et de l'activité expérimentale, un certain nombre de documents « ressources » sont proposés. Le candidat pourra s'inspirer, transformer, utiliser ces documents comme bon lui semble, au service de son objectif pédagogique. Par contre, les activités utilisées dans la séquence devront être vérifiées sur le banc ou les simulations.

Le dossier « ressources pédagogiques » propose, entre autres, les ressources suivantes :

- Référentiel du BTS CPI ;
- Extrait de la norme NF EN ISO 11357-1 - Analyse calorimétrique différentielle (DSC) ;
- Dossier des techniques de l'ingénieur – Polyéthylène basse densité ;
- Fichier Excel de relevé de compactage ;
- Modélisation numérique volumique de l'éprouvette et du croisillon de l'AR-Drone ;
- Tolérances appliquées aux pièces moulées (NFT 58000).

Annexes

Éprouvette 1BA



| | | |
|-------|--|-----------------|
| l_3 | Longueur totale | ≥ 75 mm |
| l_1 | Longueur de la partie étroite parallèle | 30 ± 0.5 mm |
| l_2 | Distance entre les parties larges à faces parallèles | 58 ± 2 mm |
| b_2 | Largeur aux extrémités | 10 ± 0.5 mm |
| b_1 | Largeur de la partie étroite | 5 ± 0.5 mm |
| h | Épaisseur | ≥ 2 mm |
| L_0 | Longueur de référence | 25 ± 0.5 mm |
| L | Distance initiale entre mâchoires | $l_2^{+2}_0$ mm |

Tolérances applicables aux pièces moulées en polymères
(thermodurcissables et thermoplastiques)

Extrait de la norme NFT 58000 pour information

| Cotes mm | | | Classe de tolérance | | |
|----------|-------|-------|---------------------|---------|--------------|
| | | | normale | réduite | de précision |
| | < a ≤ | 1 | ± 0,13 | ± 0,08 | ± 0,06 |
| 1 | < a ≤ | 3 | ± 0,15 | ± 0,09 | ± 0,07 |
| 3 | < a ≤ | 6 | ± 0,17 | ± 0,10 | ± 0,08 |
| 6 | < a ≤ | 10 | ± 0,20 | ± 0,11 | ± 0,09 |
| 10 | < a ≤ | 15 | ± 0,22 | ± 0,13 | ± 0,10 |
| 15 | < a ≤ | 22 | ± 0,25 | ± 0,15 | ± 0,11 |
| 22 | < a ≤ | 30 | ± 0,28 | ± 0,17 | ± 0,13 |
| 30 | < a ≤ | 40 | ± 0,32 | ± 0,20 | ± 0,15 |
| 40 | < a ≤ | 53 | ± 0,37 | ± 0,24 | ± 0,17 |
| 53 | < a ≤ | 70 | ± 0,44 | ± 0,28 | ± 0,20 |
| 70 | < a ≤ | 90 | ± 0,50 | ± 0,34 | ± 0,24 |
| 90 | < a ≤ | 115 | ± 0,60 | ± 0,41 | ± 0,29 |
| 115 | < a ≤ | 150 | ± 0,75 | ± 0,50 | ± 0,35 |
| 150 | < a ≤ | 200 | ± 0,95 | ± 0,65 | ± 0,45 |
| 200 | < a ≤ | 250 | ± 1,20 | ± 0,80 | ± 0,55 |
| 250 | < a ≤ | 315 | ± 1,40 | ± 0,95 | ± 0,66 |
| 315 | < a ≤ | 400 | ± 1,80 | ± 1,20 | ± 0,82 |
| 400 | < a ≤ | 500 | ± 2,20 | ± 1,50 | ± 1,00 |
| 500 | < a ≤ | 630 | ± 2,80 | ± 1,90 | ± 1,20 |
| 630 | < a ≤ | 800 | ± 3,50 | ± 2,40 | ± 1,50 |
| 800 | < a ≤ | 1 000 | ± 4,40 | ± 2,90 | ± 1,90 |
| 1 000 | < a ≤ | 1 300 | ± 5,50 | ± 3,60 | ± 2,40 |
| 1 300 | < a ≤ | 1 600 | ± 7,00 | ± 4,40 | ± 3,10 |
| 1 600 | < a ≤ | 2 000 | ± 9,80 | ± 5,40 | ± 3,90 |

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 distants ou non 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. Il doit également proposer et mettre 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 dans lequel se trouve le support utilisé.

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

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 du même environnement informatique 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 à sa disposition un ordinateur, un vidéoprojecteur et un tableau. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet et doté 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.

Les thèmes d'études retenus lors de la session 2017 sont les suivants :

- vibrations des machines tournantes ;
- industrialisation de pièces injectées ;
- industrialisation de pièces embouties ;
- industrialisation de pièces usinées ;
- contrôle géométrique de pièces ;
- validation et choix de solutions constructives.

Ces études permettent au candidat de mettre en œuvre ses compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- modélisation 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 ;
- optimisation de solutions industrielles ;
- industrialisation de produits.

Compétences attendues par le jury

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

- faire preuve d'ingénierie pédagogique en élaborant 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 ;
- s'approprier la problématique associée ;
- élaborer, conduire, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter et analyser des résultats expérimentaux ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- caractériser les différents écarts (spécifiés, simulés, réalisés) ;
- faire une synthèse au regard de la problématique proposée en s'appuyant sur les expériences menées et les modèles utilisés ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur ;
- 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 constituent de véritables activités d'apprentissage. Elles constituent des modalités pédagogiques très pertinentes pour la formation des élèves ou des étudiants. 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 parties 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'appropriier 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 d'utilisation.

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. L'instrumentation peut être basique ou raccordée à un ordinateur. 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 et une aide est systématiquement fournie.

Les logiciels proposés peuvent, par leurs possibilités de simulation, faciliter la compréhension des phénomènes et permettre 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 et du contrôle 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 rapidement 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 ;
- corrélérer les phénomènes physiques observables et les mesures effectuées par des logiciels d'acquisition ou des appareils de mesure ;
- présenter les résultats de façon claire et précise ;
- 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 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 ;
- 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 ;
- définir les prérequis nécessaires à la mise en place de cette séquence ;
- utiliser les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre, nombre d'élèves, de groupes, de 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. ;
- 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 (spécialité ITEC), des BTS et des DUT du champ de la spécialité, ainsi que les commentaires associés et les documents d'accompagnement lorsqu'ils existent. 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 qui soit en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour cette partie.

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 :

- d'expliciter les compétences visées par la séquence en lien avec le programme ou référentiel ;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les connaissances et les capacités nouvelles ainsi que les points clés de la séquence ;
- de situer la séance dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- de décrire le ou les systèmes retenus, dont le support utilisé en phase 1 et 2 et leurs potentialités pédagogiques ;
- de proposer, justifier et valider un ou des protocoles expérimentaux qui peuvent être un des protocoles utilisés en phase 1 et 2 avec une adaptation au niveau imposé, ou un nouveau protocole conçu en phase 3 ;
- de décrire les mesures que devront réaliser les élèves ou étudiants. Les candidats peuvent s'appuyer sur les activités réalisées en phase 1 et 2, qui sont pertinentes par rapport à leurs objectifs pédagogiques et qui ont été adaptées au niveau imposé ou de nouvelles expériences réalisées en phase 3 ;
- de commenter la démarche mise en œuvre ;
- d'analyser les résultats expérimentaux ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir les documents qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les critères et la méthodologie d'évaluation retenue ;
- d'utiliser à bon escient 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 se prémunir contre des présentations stéréotypées ne permettant 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 aux candidats pour un recrutement au métier d'enseignant de s'appropriier le référentiel de compétences professionnelles du professeur (BOEN n°30 du 25 juillet 2013). Il conseille de porter une attention particulière sur la maîtrise de la communication écrite et d'éviter les erreurs d'orthographe les plus importantes.

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 trouveront dans le rapport de cette épreuve les éléments relatifs à sa préparation.

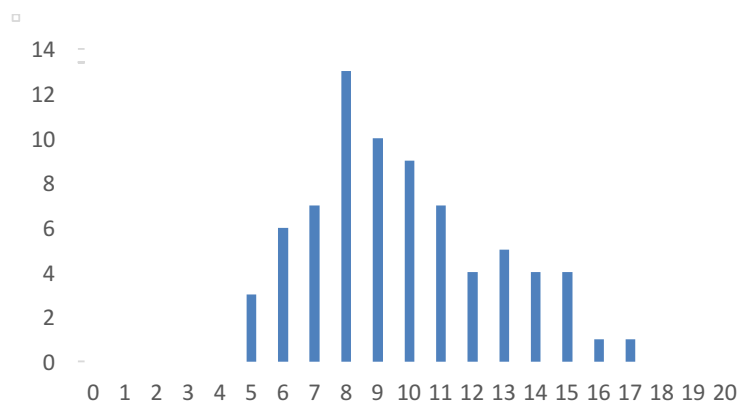
Le jury conseille aux candidats de préparer cette épreuve en s'appropriant concrètement les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les référentiels et les documents d'accompagnement qui les complètent, ainsi que par la lecture des articles pédagogiques qui sont publiés régulièrement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

5. Résultats

74 candidats ont été évalués. La moyenne des notes obtenues est de 9,3/20 et l'écart-type 2,9 avec :

- 16,1 comme meilleure note ;
- 4,9 comme note la plus basse.

Histogramme des notes



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

1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : 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, et des problématiques associées est déterminant pour permettre :

- des développements scientifiques et technologiques du niveau de l'agrégation ;
- 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 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. L'enseignement en IUT n'entre pas dans le champ des exploitations citées dans la description de l'épreuve.

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 et conclusions apportent une plus-value 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, éventuellement 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 ;

- 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.

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

Les professeurs de SII sont susceptibles d'enseigner dans la voie générale, technologique ou professionnelle. Le jury attend donc que les candidats soient en mesure de mettre en perspective la dimension technologique avec les développements scientifiques.

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.

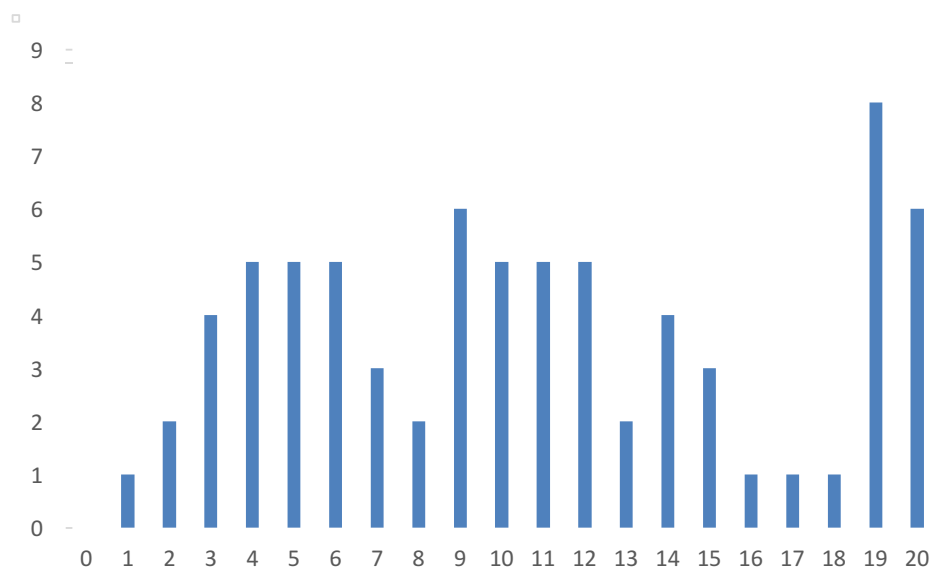
Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

5. Résultats

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