Concours : Agrégation interne

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Ingénierie mécanique

Session 2017

Rapport de jury présenté par : Michel RAGE

Président du jury

© www.devenirenseignant.gouv.fr

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS **3**

ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE D'UN SYSTÈME PLURI TECHNIQUE **7**

COMMENTAIRES DU JURY **34**

ÉPREUVE D'ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION **39**

COMMENTAIRES DU JURY **57**

ACTIVITE PRATIQUE ET EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN SYSTEME PLURI-TECHNIQUE **61**

ÉPREUVE SUR DOSSIER **71**

Avant-propos

L'agrégation interne s'attache à valider le niveau de maîtrise des compétences pour synthétiser les connaissances mobilisables pour répondre à un problème donné ; mais aussi et surtout pour élaborer des séquences pédagogiques.
Ces compétences, pour l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie mécanique, sont d'ordre scientifique, technologique, professionnel et pédagogique. Elles doivent aussi révéler le potentiel d'adaptabilité du candidat à faire évoluer ses pratiques pédagogiques et à montrer sa capacité à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution. Des produits récents et innovants doivent illustrer en permanence nos enseignements.
Cette session 2017 est la quatrième d'un concours dont les épreuves ont largement évolué par rapport aux sessions antérieures. Les deux épreuves d'admissibilité ont donné des résultats peu satisfaisants dans leur globalité. Cette session, dotée d'un faible nombre de places à pourvoir, s'est révélée extrêmement sélective.

Les épreuves d'admissibilité sont définies ainsi :

- **1° Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluri technique**
  Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluri technique. Elle permet également de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative à l'enseignement de technologie du collège ou aux enseignements technologiques du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" ou aux sciences de l'ingénieur de la voie scientifique du lycée, ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation)
  Durée : cinq heures ; coefficient 2.

- ***2*° Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation**
  Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.
  Durée : quatre heures ; coefficient 1.

La première épreuve, commune aux trois agrégations SII, est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences et de connaissances scientifiques, technologiques et professionnelles nécessaires à la maîtrise des activités de conception, de dimensionnement, d'analyse de comportement. Tous les champs liés à la matière, l'énergie et l'information sont susceptibles d'être couverts par les sujets.
Afin de bien se préparer au questionnement pédagogique, je conseille fortement aux futurs candidats de lire attentivement les commentaires contenus dans ce rapport et de bien analyser les rapports des années antérieures, notamment ceux du CAPET SII publiés sur le site du ministère, qui montrent parfaitement les concepts liés à la conception de séquences de formation : http://www.education.gouv.fr/cid49096/exemples-de-sujets-et-notes-de-commentaires-concours-du-second-degre.html.

Les épreuves d'admission sont définies ainsi :

- **1° Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluri technique.** *Dans l'option choisie, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : "conception des systèmes mécaniques" ou "industrialisation des systèmes mécaniques".*
  Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de spécialité 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 choisie.
  L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :
  - *mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation,*
  - *conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique,*
  - *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. La séquence proposée prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.*

  Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa proposition pédagogique.
  Au cours de l'entretien, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.
  Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures ; préparation de l'exposé : 1 heure ; exposé : 40 minutes maximum ; entretien : 20 minutes maximum) Coefficient 2.
  10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

  2° Épreuve sur dossier. *L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un domaine 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. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.
  L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points

remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.
En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes en collège ou en lycée.
Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points.
Durée de totale de l'épreuve : une heure (présentation 30min entretien 30min) ; coefficient 1
Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

La première épreuve comporte deux évaluations distinctes et complémentaires. Si les compétences scientifiques et technologiques sont évaluées dans la première partie, c'est bien une évaluation des compétences pédagogiques qui sont majoritairement analysées dans la deuxième partie. La difficulté des candidats à appréhender cette dernière est préoccupante, elle est pourtant l'essence même des démarches pédagogiques d'aujourd'hui. La deuxième, très exigeante, se prépare dès maintenant ; de la pertinence du choix du support technique dépend la qualité du dossier. Ainsi, cette épreuve impose aux professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème authentique puis de concevoir une séquence d'enseignement en adaptant les documents techniques initiaux au niveau des élèves.

Le jury attend des candidats, dans toutes les épreuves, une expression écrite et orale de qualité.

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

Pour conclure, je souhaite que ce rapport de jury soit une aide efficace pour les futurs candidats à l'agrégation interne SII option ingénierie mécanique, ainsi qu'à leurs formateurs lorsque les préparations académiques, indispensables à l'élévation des compétences professionnelles de l'enseignant, seront organisées.

Michel RAGE
Président du jury

RÉSULTATS STATISTIQUES

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la 1re épreuve d'admissibilité	Présents à la 2e épreuve d'admissibilité	Admissibles	Présents aux deux épreuves d'admission	Admis
Public	**320**	**7**	**213**	**198**	**17**	**17**	**7**
Privé	**37**	**1**	**21**	**22**	**3**	**2**	**1**

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	**15,41**
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	**11,61**
Moyenne obtenue par le premier candidat admis	**12,66**
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	**11,26**

Répartition des admis par académies

Académies	Nombre d'admis
Aix-Marseille	3
Lyon	2
Nice	1
Rouen	2

Épreuve d’analyse et exploitation pédagogique d'un système pluri technique

Coefficient 1 – Durée 5 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

Éléments de correction

Partie 1. Vérification des bogies

- **Exigence – Roulement d'une rame en courbe (DT1)**

Question 1.1. *À l'aide de la figure 2, déterminer l'expression du jeu j_{10} en fonction de L, c et b.*

$\frac{L}{2} = \frac{c}{2} + j_{10} + b$ d'où $\boxed{j_{10} = \frac{L}{2} - \frac{c}{2} - b}$

Question 1.2. *En considérant le contact entre le boudin de la roue 1 et le rail extérieur présenté sur la figure 3, déterminer l'expression du diamètre D_{1max} en fonction du diamètre nominal D, du jeu j_{10} et de la pente Sw du cône de la roue 1 puis l'expression du diamètre D_{2min} en fonction du diamètre nominal D, des largeurs L et L_u, ainsi que de la pente Sw.*

Du côté de la roue 1, on peut écrire :

$tan\,\alpha = S_w = \frac{D_{1max} - D}{2 j_{10}}$ d'où $\boxed{D_{1max} = 2 j_{10}.S_w + D}$

Et pour la roue 2 :

$\tan\alpha = S_w = \frac{D - D_{2min}}{2(L_u - \frac{L}{2})}$ d'où $\boxed{D_{2min} = D - 2S_w(L_u - \frac{L}{2})}$

Question 1.3. *Exprimer le rayon R, de l'axe de voie, en fonction de l'écartement des voies e_c, des diamètres D_{1max} et D_{2min} ainsi que de la largeur des rails c.*

Pour cela le candidat considèrera le roulement sans glissement qui permet d'écrire une relation entre D_{1max}, D_{2min}, R_{ext} et R_{int}.
La condition de roulement sans glissement des roues impose les relations suivantes :

Pour un tour d'essieu, l'angle parcouru sur la courbe est θ : $\begin{cases} \pi . D_{2min} = R_{int}.\theta \\ \pi . D_{1max} = R_{ext}.\theta \end{cases}$

Par conséquent $\frac{D_{2min}}{D_{1max}} = \frac{R_{int}}{R_{ext}}$

Expression des rayons extérieur et intérieur : $\begin{cases} R_{ext} = \frac{c}{2} + \frac{e_c}{2} + R \\ R_{int} = -\frac{c}{2} - \frac{e_c}{2} + R \end{cases}$

En remplaçant dans l'expression du rapport des diamètres, on obtient :

$$\boxed{R = \frac{(e_c + c)}{2} \frac{(D_{1max} + D_{2min})}{(D_{1max} - D_{2min})}}$$

Question 1.4. *Calculer numériquement le rayon minimal que devront avoir les courbes de la ligne de métro. Pour un parcours sinueux avec des rayons de courbes petits, comment faut-il choisir le diamètre D des roues et la pente Sw ?*

$$j_{10} = \frac{135}{2} - \frac{65}{2} - 22 = 13 \text{ mm} \qquad D_{1max} = 2 \times 13 \times 0{,}05 + 840 = 841{,}3 \text{ mm}$$

$$D_{2min} = 840 - 2 \times 0{,}05 \times \left(119 - \frac{135}{2}\right) = 834{,}85 \text{ mm}$$

Enfin $R = \frac{(1455+65)}{2} \times \frac{(841{,}3+834{,}83)}{(841{,}3-834{,}83)} \approx 197{,}5 \times 10^3 \text{mm}$

Le rayon minimal pour respecter le roulement en cône est de 197,5 m

En exprimant le rayon R en fonction de D et S_w, on obtient :

$$R = (e_c + c)\left(\frac{j_{10} - L_u + \frac{L}{2}}{j_{10} + L_u - \frac{L}{2}} + \frac{D}{\left(j_{10} + L_u - \frac{L}{2}\right) S_w}\right)$$

Pour un parcours sinueux, il vaut mieux choisir des petites roues avec un angle α grand.

Question 1.5. *Conclure par rapport à l'exigence du cahier des charges.*

Le cahier des charges impose de pouvoir circuler sur des voies dont le rayon de courbure est supérieur à 200 mètres. La condition est donc validée.

- **Exigence – Renversement du train (DT1)**

Question 1.6. *En appliquant le principe fondamental de la dynamique en A, trouver une équation scalaire permettant d'exprimer N_2.*

On appelle p le nombre d'essieu par voiture.

Bilan des actions mécaniques :

- Pesanteur en G' : $m\vec{g} = -mg\vec{Y}$
- Action en A : $T_1\vec{x} + N_1\vec{y}$
- Action en B : $T_2\vec{x} + N_2\vec{y}$
- Force centrifuge en G' : $-\frac{mV^2}{R}\vec{X}$

Théorème du moment dynamique en A appliqué à une voiture en projection sur l'axe z :

$$\overrightarrow{AG'} \wedge \left(-mg\vec{Y}\right) + p \times \overrightarrow{AB} \wedge (T_2\vec{x} + N_2\vec{y}) + \overrightarrow{AG'} \wedge \left(-\frac{mV^2}{R}\vec{X}\right) = \vec{0}$$

D'où $$N_2 = \frac{1}{p}\left(\frac{L}{e}mg - \frac{H}{e}\frac{mV^2}{R}\right)$$

On prendra pour la suite : $L = \left(\frac{e}{2} - s\right).\frac{1}{cos(\alpha)} + H.tan(\alpha)$

Question 1.7. *Exprimer la condition de non renversement et montrer que le facteur de sécurité au renversement peut se mettre sous la forme suivante (α restant petit) :*

$$n = \frac{\left(\frac{e}{2} - s\right)}{\left(\frac{V^2}{gR} - \frac{h}{e}\right)H}$$

La condition de non-renversement se traduit par : $N_2 > 0$
En remplaçant L par l'expression donnée dans le sujet, on obtient :

$$\left(\left(\frac{e}{2} - s\right).\frac{1}{\cos(\alpha)} + H.\tan(\alpha)\right)\frac{mg}{e} - \frac{H}{e}\frac{mV^2}{R} > 0 \Leftrightarrow \frac{\left(\frac{e}{2} - s\right)\frac{g}{\cos\alpha}}{\left(\frac{V^2}{R} - \frac{gh}{e\cos\alpha}\right)H} > 1$$

On pose n le facteur de sécurité au renversement :

$n = \frac{\left(\frac{e}{2}-s\right)\frac{g}{\cos\alpha}}{\left(\frac{V^2}{R}-\frac{gh}{e\cos\alpha}\right)H}$, α étant petit, $n = \frac{\left(\frac{e}{2}-s\right)}{\left(\frac{V^2}{gR}-\frac{h}{e}\right)H}$

Question 1.8. *On limite l'accélération transversale à 1,12 m/s² pour le confort des passagers. Déterminer numériquement le facteur de sécurité n et conclure vis-à-vis du cahier des charges. h = 100 mm ; s = 10 cm ; H = 1,5 m ; e = 1,520 m ; g = 9,81 m/s².*

L'accélération transversale est égale à $\frac{V^2}{R}$.

$$n = \frac{\left(\frac{1,52}{2} - 0,1\right)}{\left(\frac{1,12}{9,81} - \frac{0,1}{1,52}\right) \times 1,5} \approx 9,1$$

Le cahier des charges indique que le coefficient de renversement doit être supérieur à 5. La condition est donc validée.

Partie 2. Confort des usagers

- **Exigence – Stabilité (DT1)**

Question 2.1. *Exprimer les raideurs k_1 et k_2 du modèle en fonction des raideurs k et K du modèle de suspension primaire et secondaire.*

D'après l'énoncé, $k_1 = 4k$ et $k_2 = K$.

Question 2.2. *Écrire les deux équations différentielles qui régissent les mouvements des masses m et M/2.*

En appliquant le théorème de la résultante dynamique à la masse M/2 et également à la masse m, en projection sur l'axe $\vec{y}$, on obtient :

$$\begin{cases} \frac{M}{2}\ddot{y}_2 = -k_2(y_2 - y_1) \\ m\ddot{y}_1 = -k_1 y_1 - k_2(y_1 - y_2) \end{cases} \Leftrightarrow \boxed{\begin{cases} \frac{M}{2}\ddot{y}_2 + k_2 y_2 = k_2 y_1 \\ m\ddot{y}_1 + (k_1 + k_2)y_1 = k_2 y_2 \end{cases}}$$

Question 2.3. *Quel est l'intérêt d'analyser les fréquences propres ?*

Déterminer les fréquences propres d'un système mécanique permet de d'identifier les fréquences qui seront néfastes au système lorsque celui-ci sera excité. Si la ruine du système n'intervient pas, c'est le confort d'utilisation qui peut être pénalisé.

Question 2.4. *Lorsque l'on excite le système avec une force sinusoïdale sur la masse M/2, on obtient la réponse en module du déplacement de y_1 de la figure 6. Justifier l'allure de la courbe et conclure quant au cahier des charges.*

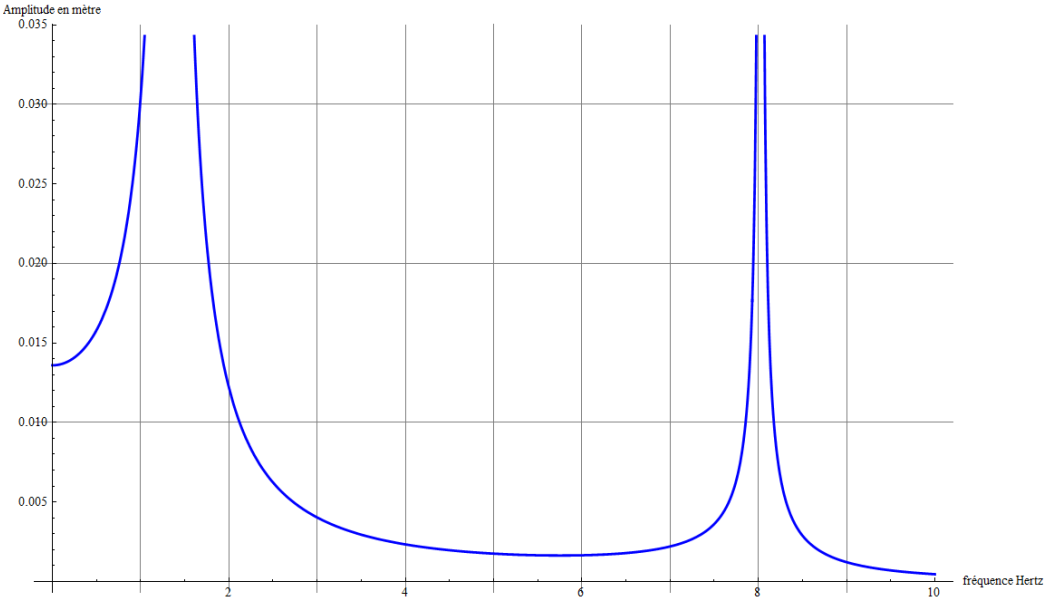


Figure 6 : Analyse fréquentielle de la suspension

Les deux pics à l'infini de la courbe correspondent aux fréquences propres du système. La première se situe à 1,35 Hz et la deuxième à 8 Hz. Le modèle de calcul ne comportant pas d'amortissement, l'amplitude à la résonnance tend vers l'infini. Lorsque la fréquence de l'excitation dépasse 10Hz, l'amplitude tend vers zéro.

Question 2.5. *Sur le document DR1 compléter le schéma du modèle de simulation de la suspension étudiée en précisant les valeurs des paramètres des blocs rajoutés. Identifier les éléments de la suspension et indiquer les données d'entrée et de sortie du modèle de simulation.*

Le schéma du modèle de simulation de la suspension est défini à la figure ci-dessous.
En le lisant de haut en bas, on y retrouve la masse M/2 d'une demi-caisse puis le ressort de la suspension secondaire K. Vient ensuite la masse du m du bogie et les 4 ressorts de la suspension primaire. En entrée, on a une excitation sinusoïdale sur la masse M/2. En sortie, on récupère les déplacements des deux masses.

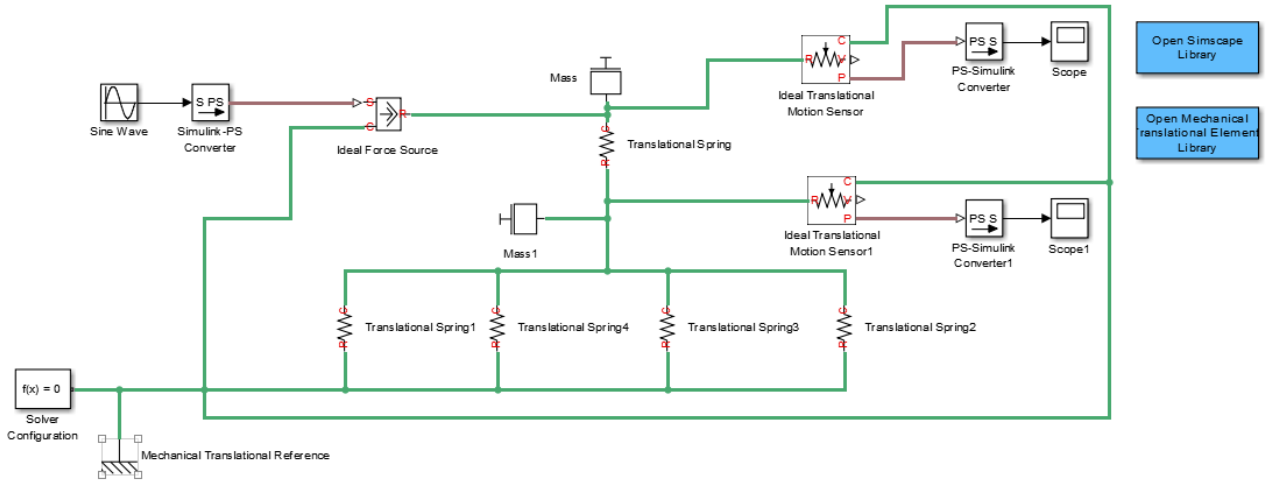


Schéma du modèle de simulation de la suspension étudiée

Question 2.6. *La figure 7 présente la réponse fréquentielle de la suspension du modèle Simscape avec amortissement. Commenter les modifications apportées sur la réponse fréquentielle.*

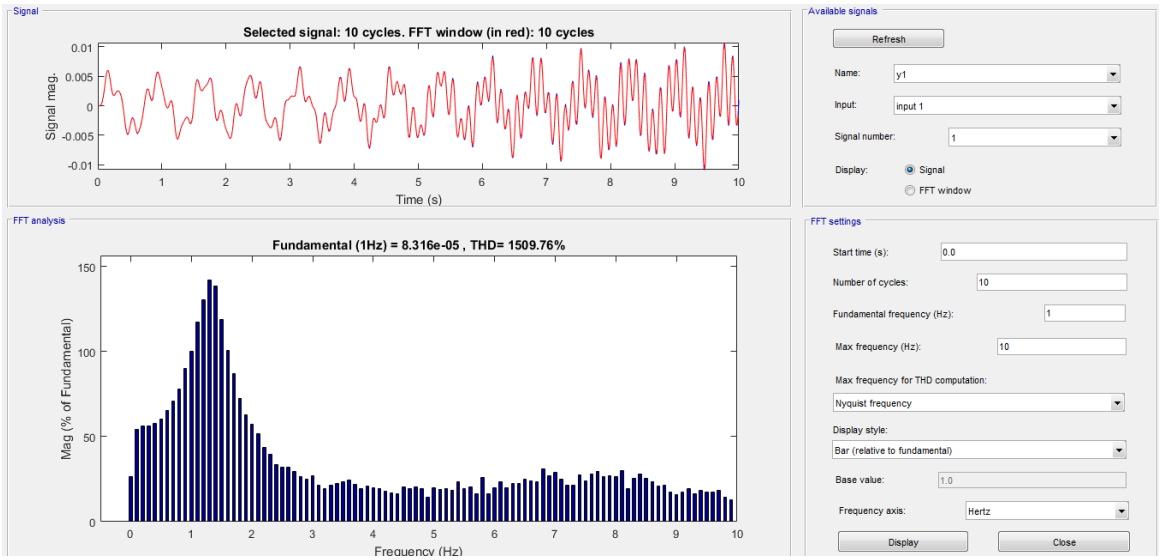


Figure 7 : Analyse fréquentielle Simscape

L'amortissement apporté à la suspension a permis d'atténuer les amplitudes aux fréquences de résonnance. L'atténuation est plus marquée sur la deuxième fréquence où le pic de résonnance a quasiment disparu.

PARTIE 3

Question 3.1. *Calculer la décélération (supposée constante) liée au freinage. En déduire la distance et le temps de freinage de la rame de métro.*

Le nombre de roues de la rame de métro est n=48. Par ailleurs, la masse freinée par une roue est M = 7250 kg.

Au point de fonctionnement F, on peut écrire :

$$\mathrm{Rx} = \mu.\mathrm{Ry} = \mu.\mathrm{M}.\mathrm{g} \Rightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{Rx} = 9957{,}15\mathrm{N}$$

$$\mathrm{n}.\mathrm{M}.\frac{\mathrm{dV_T}}{\mathrm{dt}} = -\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{Rx_i}$$

$$\mathrm{A_T} = \frac{\mathrm{dV_T}}{\mathrm{dt}} = -\frac{\mathrm{Rx}}{\mathrm{M}} \Rightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{A_T} = -1{,}3734\ \mathrm{m/s^2}$$

On peut donc en déduire le temps de freinage (tf) :

$$\mathrm{V_T(t)} = \mathrm{A_T}.\mathrm{t} + \mathrm{V_{T0}} \text{ avec } \mathrm{V_{T0}} = 8{,}33\ \mathrm{m/s}\ (30\ \mathrm{Km/h})$$

$$\text{à } \mathrm{t} = \mathrm{tf},\ \mathrm{V_T(tf)} = 0 \Longrightarrow \mathrm{tf} = -\frac{\mathrm{V_{T0}}}{\mathrm{A_T}} \Longrightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{tf} = 6\mathrm{s}$$

Puis la distance de freinage (D_T) :

$$\mathrm{D_T(t)} = \mathrm{A_T}.\frac{\mathrm{t}^2}{2} + \mathrm{V_{T0}}.\mathrm{t} + \mathrm{D_T}(0) \text{ avec } \mathrm{D_T}(0) = 0$$

$$\text{à } \mathrm{t} = \mathrm{tf}, \mathrm{D_T(tf)} = \mathrm{A_T}.\frac{\mathrm{tf}^2}{2} + \mathrm{V_{T0}}.\mathrm{tf} \Rightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{D_T(tf)} = 25{,}27\ \mathrm{m/s}$$

Question 3.2. *En linéarisant le comportement du facteur de freinage (μ) au voisinage du point de fonctionnement F (figure 12), déterminer la valeur de f'(s_0).*

Au voisinage du point de fonctionnement F, on peut considérer que le facteur de freinage évolue linéairement (entre B et C) donc :

$$\mathrm{f'(So)} = \frac{\Delta\mu}{\Delta S} \Longrightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{f'(So)} = \frac{0.155 - 0.125}{0.125 - 0.075} = 0{,}6$$

Question 3.3. *Montrer que la fonction de transfert entre le glissement (s) et la force de freinage (fr) peut s'écrire* $\boldsymbol{H_2(p) = \frac{S(p)}{Fr(p)} = \frac{K_2}{1+\tau_2.p}}$ *. Vous donnerez l'expression littérale et la valeur numérique du gain statique K_2 et de la constante de temps τ_2*

À partir de l'équation différentielle (2), on peut écrire :

$$J.V_{T0}.p.S(p) + r^2.M.g.f'(So).S(p) = r^2.Fr(p)$$

$$S(p).(r^2.M.g.f'(So) + J.V_{T0}.p) = r^2.Fr(p)$$

$$\Rightarrow \mathrm{S(p)} = \frac{\frac{1}{\mathrm{M.g.f'(So)}}}{1 + \frac{\mathrm{J.V_{T0}}}{\mathrm{r^2.M.g.f'(So)}}}.\mathrm{Fr(p)} = \frac{\mathrm{K_2}}{1 + \tau_2.\mathrm{p}}.\mathrm{Fr(p)}$$

$$\text{avec } \mathrm{K_2} = \frac{1}{\mathrm{M.g.f'(So)}} \Rightarrow \mathrm{AN}: \mathrm{K_2} = 23{,}44.10^{-6}\ \mathrm{N^{-1}}$$

$$\text{avec } \tau_2 = \frac{J.V_{T0}}{r^2.M.g.f'(So)} \Rightarrow AN : \tau_2 = 0{,}7s$$

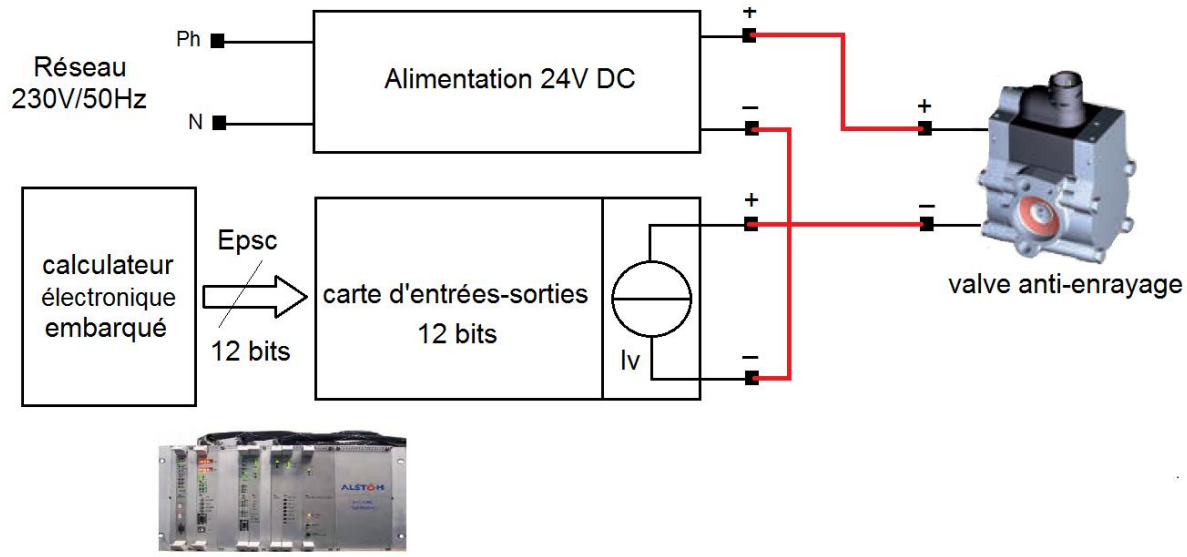
Question 3.4. *En régime établi, calculer la valeur de la force de freinage (Fr_0) qui permettra d'obtenir le glissement souhaité au point de fonctionnement F (figure 12).*

On suppose que l'entrée du système est un échelon d'amplitude Fr_0 dont on détermine la valeur avec le théorème de la valeur finale :

$$\Rightarrow S(p) = \frac{K_2}{1+\tau_2.p}.\frac{Fr_0}{p}$$

$$\lim_{t\to\infty} S(t) = \lim_{p\to 0} P.S(p) = K_2.Fr_0 = So \Rightarrow AN : Fr_0 = 4266{,}2N$$

Question 3.5. *Représenter le câblage de la valve anti-enrayage (document DR2)*



Question 3.6. *Déterminer la relation permettant de calculer le courant dans la boucle (Iv) à partir du nombre binaire 12 bits non signé (Epsc) issu du régulateur PID mixte (figure 13). En déduire la valeur du gain Ki (Ki=dIv/dEpsc) correspondant à l'interface de sortie analogique (figure 13)*

Le nombre Epsc est codé sur 12 bits (n), il peut donc varier entre 0 et 4095 :

$$\Rightarrow Iv(mA) = 4 + \frac{16}{2^n}.Epsc$$

$$\Rightarrow Ki = \frac{dI_V}{dEpsc} = \frac{16}{2^n} \Rightarrow AN : Ki = \frac{16}{2^{12}} = 0{,}0039\ mA/inc$$

Question 3.7. *La mesure de la vitesse angulaire de la roue (ω_r) s'effectue en comptant (entrée compteur 24 bits de la carte d'entrées-sorties) le nombre de périodes (n) du signal issu du montage (V_{OUT}) associé au capteur de vitesse KMI15/16 dans une fenêtre temporelle de largeur Δt. Déterminer (en l'absence de glissement (s)) la relation permettant de calculer la vitesse circonférentielle (V) de la roue en fonction de r, n, N et Δt*

D'une manière générale, on peut écrire : $V_T(t) = r.\omega_r(t) = r\frac{d\theta_r}{dt}$

Si le compteur 24 bits compte n périodes dans un temps Δt, la vitesse V_T est donnée par :

$$V_T = r.\frac{\frac{n}{N}.2.\pi}{\Delta t}$$

Question 3.8. *Déterminer (en l'absence de glissement (s)) le nombre de périodes (n) du signal issu du montage (V_{OUT}) associé au capteur de vitesse KMI15/16 lorsque la rame de métro se déplace à 30 km/h (la largeur de la fenêtre temporelle Δt est supposée égale à 500 ms)*

Si la rame de métro se déplace à une vitesse (V_T) de 30 km/h (8,33 m/s), le nombre d'impulsions comptées est :

$$n = \frac{V_T . N . \Delta t}{2 . \pi . r} \Rightarrow AN : n = 126$$

Question 3.9. On se propose de régler les paramètres (*Ti*, *Td*) du régulateur PID mixte de manière à compenser les pôles de la fonction de transfert $H_1(p)$. Déterminer la valeur des constantes de temps intégrale (*Ti*) et dérivée (*Td*) à implanter dans le régulateur PID mixte

La compensation des pôles de la fonction de transfert $H_1(p)$ conduit à donner aux constantes de temps intégrale (Ti) et dérivée (Td) les valeurs suivantes :

$$Ti = T_1 + T_2 \Rightarrow AN : Ti = 0{,}25\ s$$

$$Td = \frac{T_1 . T_2}{T_i} \Rightarrow AN : Td = 0{,}04\ s$$

Question 3.10. Calculer l'erreur (*Eps*) statique (justifier le résultat obtenu). Quelle action du régulateur (Proportionnelle, Intégrale ou Dérivée) permet de satisfaire l'exigence relative aux variations d'adhérence (justifier votre réponse) ?

Le calcul de l'erreur (Eps) en réponse à une variation d'adhérence (considérée comme une force perturbatrice externe Fa) s'effectue à partir du schéma fonctionnel en boucle fermée (voir la figure 15) :

$$Eps(p) = \frac{-Ks . H_2(p)}{1 + C(p) . H_1(p) . H_2(p) . Ki . Ks} . Fa(p) \quad \text{avec } Fa(p) = \frac{100}{p}$$

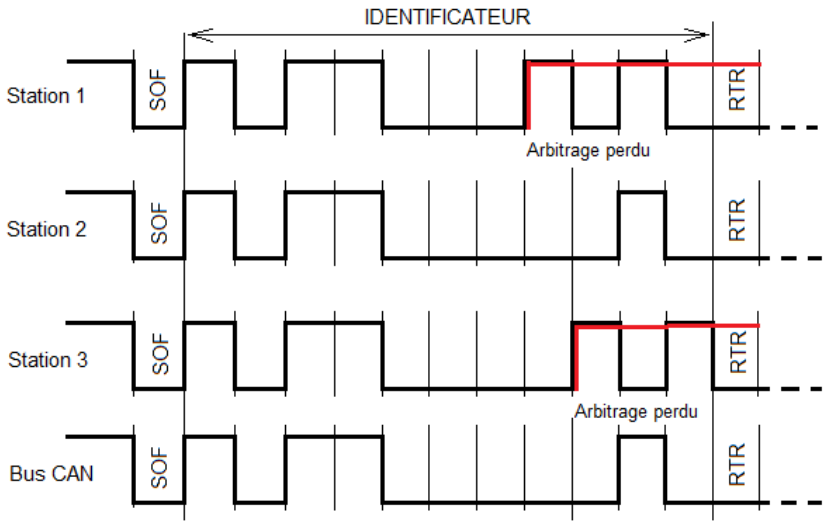
On obtient l'erreur statique en appliquant le théorème de la valeur finale :

$$\lim_{t \to \infty} Eps(t) = \lim_{p \to 0} P . Eps(p) = 0$$

C'est l'action intégrale qui permet d'obtenir ce résultat. La commande appliquée au système augmente (effet de l'intégration) tant que l'erreur statique n'est pas nulle.

Question 3.11. Trois stations cherchent à émettre des données sur le bus CAN (document réponse 3), compléter le chronogramme représentant l'activité résultante sur le bus. Préciser quelle station réussira (arbitrage) à transmettre ses informations sur le bus CAN. Justifier votre réponse

Trois stations essaient d'envoyer un message sur le bus CAN. L'arbitrage (bit à bit) s'effectue pendant la phase d'envoi de l'identificateur. Lorsqu'un bit dominant est envoyé, les stations qui émettent un bit récessif perdent l'arbitrage et doivent rester inactive (dans l'état récessif). Dans notre cas, c'est la station 2 qui remporte l'arbitrage et émettra sur le bus CAN.



Question 3.12. *Déterminer les longueurs minimum et maximum (en bits) d'une trame de données (document DT4) circulant sur le bus CAN (sans bitstuffing).*

Les longueurs minimale (Lmin) et maximale (Lmax) d'une trame sont :

Lmin=1(SOF)+11(ID)+3(RTR,IDE,R0)+4(DLC)+0(DATA)+16(CRC)+2+7 = 44 bits

Lmax=1(SOF)+11(ID)+3(RTR,IDE,R0)+4(DLC)+64(DATA)+16(CRC)+2+7 = 108 bits

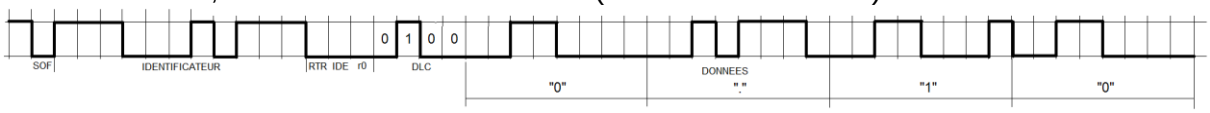
Question 3.13. *Calculer le rendement du protocole CAN standard 2.0 A lorsque l'on émet une trame de données complète (document DT4)*

Le rendement est :

$$\eta = \frac{\text{Données utiles}}{\text{Lmax}} \Rightarrow \text{AN} : \eta = \frac{64}{108} = 59{,}25\%$$

Question 3.14. *Sur le document réponse 3, compléter la trame (sans le champ CRC) envoyée au système de freinage anti-enrayage (WSP - Wheel Slide Protection) lorsque le système de gestion de la rame de métro émet la consigne de glissement « 0.10 » codée en ASCII (documents DT4 et DT5).*

La chaine de caractères comporte 4 octets, le champ DLC est donc codé 0100.
En hexadécimal, le code ascii de « 0 » est 30 (00110000 en binaire).
En hexadécimal, le code ascii de « 1 » est 31 (00110001 en binaire).
En hexadécimal, le code ascii de « . » est 2E (00101110 en binaire).



PARTIE 4

Question 4.1. *Déterminer la vitesse moyenne d'écoulement de l'air* v *en* $m \cdot s^{-1}$ *dans l'échangeur pour l'air neuf et l'air extrait.*

Calcul du débit-volume d'air neuf nécessaire : $\dot{V}_{AN} = \frac{n \times \dot{V}_U}{3600}$, avec $\dot{V}_U$, le débit-volume en $m^3 \cdot h^{-1}$correspondant au besoin d'une personne et n le nombre de personnes.

Application numérique : $\dot{V}_{AN} = \frac{150 \times 30}{3600} = 0{,}833\, m^3 \cdot s^{-1}$

Calcul de la vitesse moyenne d'écoulement de l'air neuf : $v = \frac{\dot{V}_{AN}}{a \times b}$

Application numérique : $v = \frac{0{,}833}{0{,}45 \times 0{,}15} = 12{,}3\, m \cdot s^{-1}$

Les débits massiques de l'air neuf et de l'air extrait étant identiques et la masse volumique de l'air constante on en déduit que $\dot{V}_{AN} = \dot{V}_{AE}$ et donc que la vitesse d'écoulement de l'air repris est égale à celle de l'air neuf.

Question 4.2. *Calculer la perte de charge linéique sur l'air neuf et l'air extrait*

Le calcul de la perte de charge linéique est identique sur l'air neuf et sur l'air repris.

Calcul du diamètre hydraulique de la gaine rectangulaire : $D_h = \frac{2ab}{a+b}$

Application numérique : $D_h = \frac{2 \times 0{,}45 \times 0{,}15}{0{,}45 + 0{,}15} = 0{,}225\, m$

Calcul de j: $j = 0{,}012 \times \frac{v^{1{,}8}}{d_h^{1{,}2}}$

Application numérique : $j = 0{,}012 \times \frac{12{,}3^{1{,}8}}{0{,}225^{1{,}2}} = 6{,}6\, Pa \cdot m^{-1}$

Question 4.3. *Les pertes de charge dues aux frottements sont transformées en chaleur. Calculer la puissance thermique linéaire* p *en* $W \cdot m^{-1}$ *récupérée par chaque fluide.*

Les pertes de charge dues aux frottements sur la longueur de la gaine sont égales à $\Delta P_F = jL$

La puissance mécanique perdue due aux frottements sur la longueur de la gaine est : $\dot{W}_{Perdue} = \dot{V} \Delta P_F$

En supposant que cette puissance mécanique perdue est transformée en chaleur et entièrement récupérée par le fluide, on définit la puissance thermique linéaire de la manière suivante : $p = \frac{\dot{V} \Delta P_F}{L}$, c'est-à-dire $p = \dot{V} j$

Application numérique: $p = 0{,}833 \times 6{,}6 = 5{,}5\, W \cdot m^{-1}$

Question 4.4. *Calculer le coefficient d'échange U de l'échangeur sachant que les coefficients d'échanges superficiels entre le fluide chaud (air neuf) et la paroi et le fluide froid (air extrait) et la paroi sont identiques* $h_C = h_F$ *.*

Calcul de la résistance thermique entre l'air neuf et l'air repris: $r = \frac{1}{h_C} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_F}$

Application numérique: $r = \frac{1}{40} + \frac{0{,}002}{50} + \frac{1}{40} = 0{,}05\,m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

Calcul du coefficient de l'échangeur: $U = \frac{1}{r}$

Application numérique: $U = \frac{1}{0{,}05} = 20\,W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Question 4.5. *Après avoir brièvement expliqué la signification de ces deux grandeurs, donner leur valeur numérique respective puis commenter les résultats.*

Calcul du NUT : $NUT = \frac{US}{\dot{m}c_P}$, avec $S = a \times L$ et $\dot{m} = \rho\dot{V}$. On obtient $NUT = \frac{UaL}{\rho\dot{V}c_P}$

Application numérique: $NUT = \frac{20 \times 0{,}45 \times 70}{1{,}2 \times 0{,}833 \times 1000} = 0{,}63$

Le NUT caractérise la qualité de l'échange thermique dans le récupérateur.

Calcul du coefficient A: $A = \frac{p}{\dot{m}c} = \frac{p}{\rho\dot{V}c}$

Application numérique : $A = \frac{5{,}5}{1{,}2 \times 0{,}833 \times 1000} = 0{,}0055\,°C \cdot m^{-1}$

Le coefficient A permet de caractériser l'élévation de température sur l'air due aux frottements.

Question 4.6. *Après avoir établi la valeur de la température de rosée de l'air extérieur, montrer qu'il n'existe pas de risque de condensation dans l'échangeur*

Pression de vapeur saturante de l'eau à la température extérieure : $P_{VS} = 10^{\frac{7{,}625 \times t}{241+t} + 2{,}7877}$

Application numérique: $P_{VS} = 10^{\frac{7{,}625 \times 35}{241+35} + 2{,}7877} = 5684\,Pa$

Pression partielle de vapeur d'eau de l'air extérieur: $P_{VE} = \frac{HR}{100} \times P_{VS}$

Application numérique: $P_V = 0{,}5 \times 5684 = 2842\,Pa$

Calcul de la température de rosée de l'air extérieur :

On cherche la température pour laquelle P_{VS}=P_{VE}=2842 Pa :

$10^{\frac{7{,}625 t_R}{241+t_R} + 2{,}7877} = 2842\,Pa$, Ce qui donne $t_R = \frac{241(\log(2842) - 2{,}7877)}{7{,}625 - \log(2842) + 2{,}7877} = 23{,}1\,°C$

On constate que la température intérieure est supérieure à la température de rosée de l'air extérieur.

Il n'existe donc pas de risque de condensation à l'intérieur du récupérateur.

Question 4.7. *À partir d'un bilan thermique global sur l'échangeur, montrer que* T_{CE}-$T_{CS} = T_{FS} - T_{FE} - 2AL$

Bilan thermique sur l'échangeur : $\underbrace{\dot{m}CT_{CE} + \dot{m}CT_{FE}}_{\text{Flux enthalpiques ENTRANTS}} + \underbrace{2PL}_{\substack{\text{Création de chaleur} \\ \text{due aux frottements}}} = \underbrace{\dot{m}CT_{CS} + \dot{m}CT_{FS}}_{\text{Flux enthalpiques SORTANTS}}$

On obtient $\dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) + 2PL = \dot{m}C(T_{FS} - T_{FE})$

Puis $T_{CE} - T_{CS} + \frac{2PL}{\dot{m}C} = T_{FS} - T_{FE}$ et donc $T_{CE} - T_{CS} = T_{FS} - T_{FE} - 2AL$

Question 4.8. *Calculer la température de l'air neuf en sortie de l'échangeur, puis la puissance de refroidissement de l'air neuf économisée grâce au récupérateur. Que devient cette puissance si on ne tient plus compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge ? Commenter*

À partir des deux relations sur les températures on en déduit que

$$T_{CE} - T_{CS} = \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE}) + AL - 2AL$$

Ainsi $T_{CS} = T_{CE} - \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE}) + AL$

Application numérique: $T_{CS} = 35 - \frac{0,63}{0,63+1}(35-25) + 0,0055 \times 70 = 31,5\,°C$

Calcul de la puissance de refroidissement économisée: $\Phi_E = \dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) = 3,5\,kW$

Dans le cas où on ne tiendrait plus compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge la relation permettant d'obtenir la température de sortie de l'air extérieur devient :

$$T_{CS} = T_{CE} - \frac{NUT}{NUT+1}(T_{CE} - T_{FE})$$

Application numérique: $T_{CS} = 35 - \frac{0,63}{0,63+1}(35-25) = 31,1\,°C$

La puissance de refroidissement économisée devient : $\Phi_E = \dot{m}C(T_{CE} - T_{CS}) = 3,9\,kW$

À partir de notre modèle, ne pas tenir compte de l'apport de chaleur dû aux pertes de charge entraîne une erreur de $Err = 100x\frac{3,9 - 3,5}{3,5} = 10\%$.

PARTIE 5

Question 5.1. *Déterminer la longueur de la portée entre appuis de cette zone de dalle en prenant en considération les indications de l'Eurocode 2.*

Le document technique DT issu de l'EURODE 2 donne la définition de la portée utile suivante :

$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$, avec l_n la distance libre entre les nus des appuis et

$a_1 = a_2 = \min\left(\frac{h}{2};\frac{t}{2}\right) = \min\left(\frac{0,75}{2};\frac{0,5}{2}\right) = 0,25\,\text{m}$ $l_n = 3,17 + 0,15 + 7,6 + 0,15 + 3,17 = 14,24\,\text{m}$

D'où $l_{eff} = 14,24 + 0,25 + 0,25 = 14,74\,\text{m}$

Question 5.2. *À partir du DT7 déterminer la valeur des charges permanentes linéiques « G » et des charges d'exploitation linéiques (Q). Ces charges linéiques seront exprimées en kN.m^{-1} arrondies à 0,1 près. En déduire la valeur de la combinaison d'actions à l'état limite ultime (E.L.U.) s'exerçant sur la dalle.*

Calcul de la valeur des charges permanentes linéiques G :

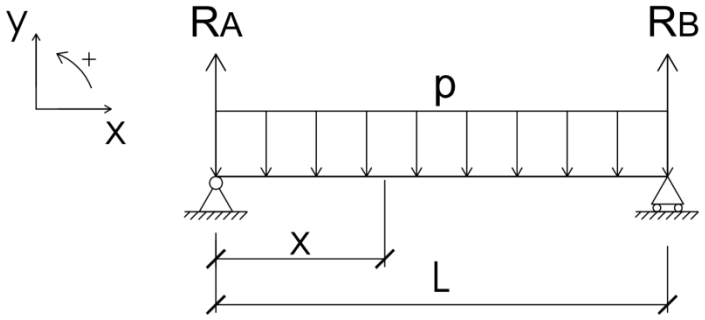
- Poids linéique du béton : $P_{linbét} = \rho_{bét} \times g \times l \times h = 2500 \times 10 \times 1 \times 0,75 = 18750\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$
- Poids linéique des carreaux : $P_{linbét} = m_{scar} \times g \times l = 20 \times 10 \times 1 = 200\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$
  avec $m_{scar} = 20\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$
- Poids linéique de la chape : $P_{lincha} = m_{scha} \times g \times l \times h = 20 \times 10 \times 1 \times 5 = 1000\,\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ avec $m_{scha} = 20\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ par cm d'épaisseur

On obtient $G = 19950\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1} = 19,95\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Calcul de la valeur des charges d'exploitation linéiques : $Q = p_s \times l = 4 \times 1 = 4\,\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Calcul de la résultante aux E.L.U : $ELU = 1,35G + 1,5Q = 32,9\,\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$

Question 5.3. Représenter en justifiant, le schéma mécanique de la dalle avec ses liaisons, son chargement, ses dimensions et le système d'axes qui lui est associé. Cette représentation sera conforme à celle usuellement utilisée en mécanique des poutres



Question 5.4. *Tracer le diagramme de variation du moment fléchissant M_{fz} le long de cette zone de dalle. Indiquer la valeur maximale du moment M_{fzmax}*

Calcul des réactions R_A et R_B:

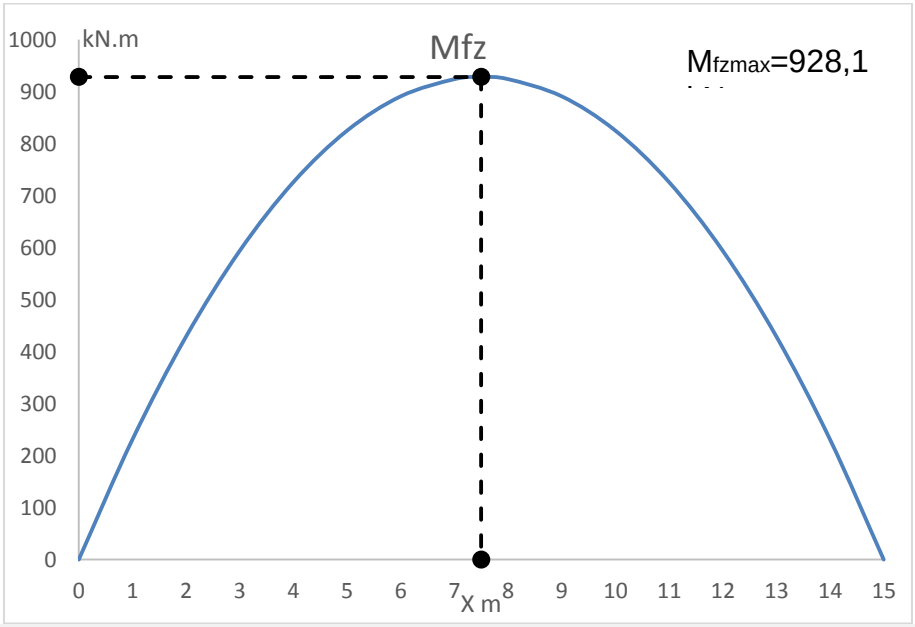
Équation statique des moments en B : $\sum M_B = 0$, on a donc $R_A L - \frac{pL^2}{2} = 0$

d'où $R_A = \frac{pL}{2}$ et $R_A = R_B$ (symétrie).

Le moment fléchissant M_{fz} en une section d'abscisse x de la poutre est donné en écrivant l'équation d'équilibre statique des moments agissants sur le tronçon de la poutre à gauche de la section d'abscisse x.
Ce qui donne : $\sum M_x = 0$

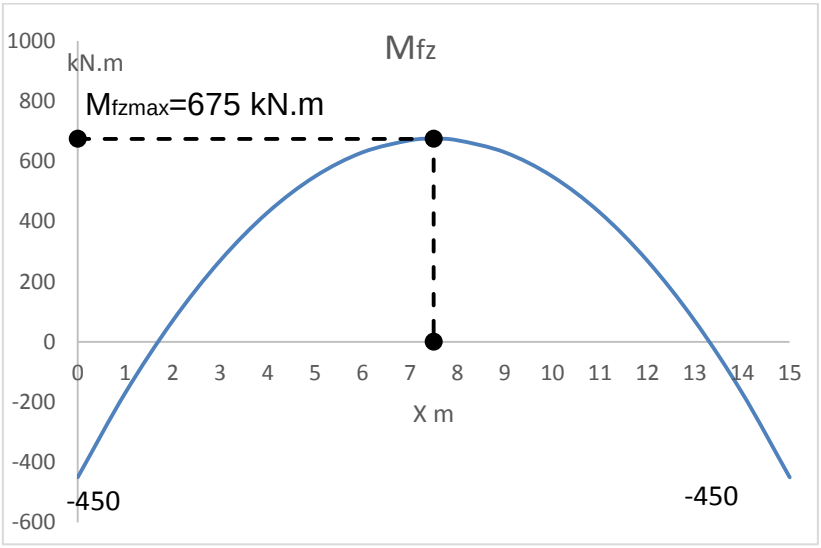
$R_A x - \frac{px^2}{2} - M_{fz} = 0$, ce qui donne pour $0 \le x \le L, M_{fz} = \frac{pL}{2}(L - x)$

Valeur maximale pour $X = \frac{L}{2}$, ce qui donne $M_{fz} = \frac{pL^2}{8} = 928{,}1\,kN \cdot m$



Question 5.5. *Tracer le diagramme de variation du moment fléchissant M_{fz} le long de la travée centrale de la dalle en appliquant la méthode forfaitaire du DT8. Indiquer les valeurs du moment de flexion sur chaque appui et la valeur du moment de flexion maximum en travée ;*

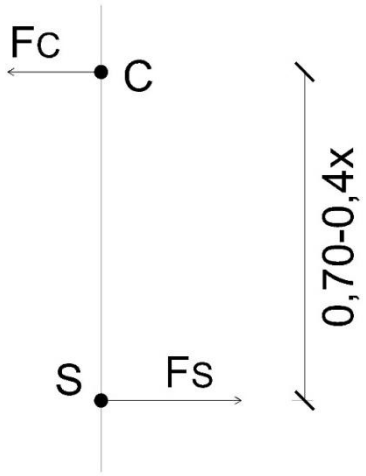
À partir du DT on trouve la valeur des moments sur appuis :
$M_{i-1} = M_i = 0{,}5M_0 = 450\,\text{kN}\cdot\text{m}$
Et la valeur du moment en travée : $M_t + 0{,}5(M_{i-1} + M_i) = 1{,}25M_0$
Ce qui donne $M_t = 0{,}75M_0$ et donc $M_t = 675\,\text{kN}\cdot\text{m}$
Le diagramme de variation du moment fléchissant Mfz, le long de la travée centrale de la dalle, est une parabole de la forme suivante :



Question 5.6. *À partir des valeurs des contraintes indiquées pour le béton et pour l'acier, établir l'expression de l'effort dans le béton F_c en fonction de x et l'expression de l'effort dans l'acier F_s en fonction de A_s.*

Expression de l'effort dans le béton : $F_C = \sigma_{béton} A_C = \sigma_{béton} lh = 16x$
Expression de l'effort dans l'acier : $F_S = \sigma_{acier} A_S = 435A_S$

Question 5.7. *Déterminer la hauteur de béton comprimé x en écrivant l'expression du moment M_{fzmax} fonction de l'effort F_c et du bras de levier.*



Équation d'équilibre des moments en S : $F_C \times (0{,}7 - 0{,}4x) = M_{fz\,max}$ ce qui donne

$16x \times (0{,}7 - 0{,}4x) = M_{fz\,max} \Leftrightarrow 6{,}4x^2 - 11{,}2x + 0{,}675 = 0$

Résolution du trinôme :

- Déterminant $\Delta = b^2 - 4ac = 108{,}16$
- Solutions $x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$, on trouve $x_1 = 0{,}0625\,m$ et $x_2 = 1{,}69\,m$

La hauteur de béton comprimé est donc de x=6,25 cm

Question 5.8. *Déterminer la valeur de la section d'acier A_s en écrivant l'expression du moment M_{fzmax} fonction de l'effort F_s et du bras de levier ;*

Équation d'équilibre des moments en C : $F_S \times (0{,}7 - 0{,}4x) = M_{fz\,max}$, ce qui donne

$435A_S \times (0{,}7 - 0{,}4x) = M_{fz\,max} \Leftrightarrow A_S = \frac{M_{fz\,max}}{435(0{,}7 - 0{,}4x)}$

On trouve la section d'acier suivante : $A_S = \frac{0{,}675}{435(0{,}7 - 0{,}4 \times 0{,}0625)} = 23.10^{-4} m^2 = 23\,cm^2$

PARTIE 6

Le corrigé s'appuie sur la séquence pédagogique décrite dans la partie 6 du sujet mais ne constitue pas une réponse unique.

Question 6. 1 *Sur feuille de copie et à l'aide du document pédagogique DP1*

Décrire en détail l'organisation globale proposée pour la séquence. Expliquer ces choix. Le candidat précisera et justifiera :

- *la mise en situation en lien avec le contexte industriel proposé ;*
- *le ou les problème(s) à résoudre ;*
- *les résultats attendus ;*
- *les compétences développées ;*
- *le ou les supports utilisés ;*
- *les cours ou les synthèses envisagées ;*
- *les activités prévues ;*
- *nombre d'élève par activités ;*
- *l'organisation des groupes à effectif réduit (îlots).*

L'épreuve écrite «Enseignements technologiques transversaux» est évaluée par compétences par l'intermédiaire d'indicateurs de performance qui permettent de faire le lien entre les réponses des copies et les compétences à évaluer. Une analyse nationale identifiant le nombre de réponses et le taux de bonnes réponses par indicateur, met en évidence une difficulté récurrente dans la maîtrise de l'étude statique des systèmes.

Pour la session 2016, les trois indicateurs faisant défauts étaient :

La direction de la réaction à l'appui A est correcte
Le trièdre des efforts est correct
L'intensité de la force du vent est déterminée

Les phénomènes physiques mis en jeu dans ce domaine sont abstraits. Par la suite nous les nommerons en utilisant les termes « étude statique ». Une étude statique peut être abordées de manière théorique décontextualisée ou à partir d'études concrètes dans un contexte réel. La deuxième proposition étant plus appropriée en STI2D, la séquence pédagogique proposée s'inscrit dans une démarche pédagogique inductive. Il ne s'agit pas d'effectuer une étude statique pour une étude statique mais d'apporter du sens à partir d'un dossier technique avec une problématique liée au développement durable ou à l'innovation technologique.

Une étude statique n'ayant de sens que dans le cadre d'un dimensionnement d'une pièce ou le choix de matériaux ou d'une structure, la séquence pédagogique aborde deux centres d'intérêt :
CI1 : Développement durable et compétitivité des produits
CI4 : Dimensionnement et choix des matériaux et structure

La matrice de l'enseignement technologique transversal (DP5) montre qu'il s'agit de la 6eme séquence en première STI2D. 4h concerne le CI1 et 10h le CI4 qui est l'objectif principal.
Les compétences ciblées dans cette séquence pédagogique sont associées à des connaissances mobilisant les phénomènes physiques qui nous intéressent au regard de la problématique de départ. Le tableau suivant énumère les compétences ciblées et les connaissances associées avec en gras les éléments exploitables dans cette séquence.

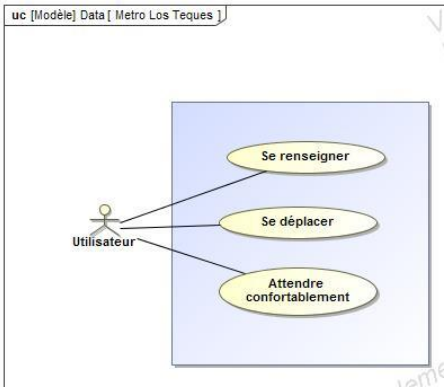
CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et **les énergies mises en œuvre** dans une approche de développement durable.	CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système.	CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure**, à l'énergie et aux informations d'un système.**	CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée.	CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, **y compris dans une langue étrangère.**
<u>Eco conception</u> Étape de la démarche <u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses	<u>Outils de représentation</u>	<u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses	<u>Approche comportementale</u> Modèles de comportement	<u>Outils de représentation</u> <u>Approche comportementale</u> Choix des matériaux Comportement mécanique des systèmes Structures porteuses

La structure globale de la séquence pédagogique consiste à démarrer par l'étude du dossier de la société Alstom car il met en évidence les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux actuels ainsi que les contraintes des entreprises. Il constituera le fil conducteur de cette séquence.
[Depuis plusieurs années, la société Alstom a adopté une politique engagée vis-à-vis des problématiques d'impact environnemental. L'éco conception fait partie intégrante de toutes les réflexions et ce à tous les niveaux. La société a défini des priorités qui sont :

- *l'efficacité énergétique ;*
- *le confort et la sécurité des utilisateurs ;*
- *la réduction du bruit et des vibrations ;*
- *l'utilisation de matières premières non polluantes ;*
- *le contrôle des émissions de fluides et de particules ;*
- *l'Intégration dans le paysage.]*

Le besoin de construire une extension répondant à ces enjeux constitue une véritable problématique technique porteuse de sens pour les élèves et l'occasion pour l'enseignant d'aborder les compétences et connaissances souhaitées.
De ces priorités générales il conviendra de diriger la séquence vers des problématiques de dimensionnement de pièce et de choix de matériaux. Il n'est pas question de traiter les parties du programme liées à la résistance des matériaux qui seront vues en terminale mais les connaissances associées aux phénomènes d'équilibre de solides n'ont de sens que s'il s'agit d'en tirer des conclusions. Cet aspect, souvent absent dans le traitement de ces connaissances empêche de voir l'intérêt d'une étude statique. Les outils de simulation actuel permettent d'avoir des résultats de déformées ou de résistance sans toutefois rentrer dans les détails de calcul en tout cas en première.

Description de la séquence :
La séquence pédagogique démarre par une présentation globale du dossier, l'analyse du besoin et les différents secteurs d'intervention. Cette partie, menée en interaction avec la classe à partir de diagramme SysML, sera l'occasion de remobiliser la compétence CO3.1 « Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système ».
Cette présentation du contexte et de la problématique globale placera les élèves dans une démarche d'investigation.



Après la présentation, un brainstorming associé à la construction d'une carte mentale avec les élèves aura pour objectif de recenser leurs connaissances propres. Les élèves ont déjà abordé ces notions en technologie collège (en 5^{e} avant la rentrée scolaire 2016 et maintenant dans le cycle 4) et en Sciences physiques. Par la suite la synthèse de séquence pourra s'appuyer sur le résultat du brainstorming et ainsi remobiliser les connaissances des élèves en les structurant.

Pendant les heures à effectif réduit, les élèves seront placés par groupe de quatre. Chaque groupe travaillera sur l'amélioration du métro en étudiant des parties complémentaires.
Un groupe sur la mezzanine, le second sur l'essieu d'un bogie, le troisième sur un poteau électrique et le quatrième sur le dispositif d'attelage. Même si les objets d'étude sont différents, ils vont tout de même mobiliser les mêmes compétences. L'étude sur la mezzanine et de l'essieu amènera les élèves à traiter les cas de systèmes soumis à trois actions mécaniques parallèles, les deux autres traiteront les cas de systèmes soumis à trois actions non parallèles. La modélisation des liaisons et les actions transmissibles par une liaison auront été abordées préalablement. Les synthèses des séquences précédentes et les informations spécifiques à chaque groupe pourront être accessibles via un espace numérique de travail.

Ce travail de groupe se décompose en deux phases.
Une première pour prendre connaissance de la partie étudiée et du problème à résoudre. La compétence CO3.1 pourra être à nouveau mobilisée. La relecture du diagramme d'exigence permettra d'identifier les exigences spécifiques pour le travail du groupe.
Suivra une phase d'expérimentation et de simulation pour, à la fois résoudre le problème technique mais également pour mobiliser les compétences CO1.1, CO4.4 et CO5.1 et leurs connaissances associées.
Ici le numérique sera approprié pour faire comprendre ces phénomènes abstraits. Par exemple en s'appuyant sur l'utilisation :

- de la réalité augmentée à l'aide d'une application associant le réel et l'abstrait. L'abstrait étant schématisé (ex : Force Effect) ;
- de bras à retour de force pour solliciter les perceptions kinesthésiques et ainsi faire ressentir des forces ou moments de forces ou encore les mobilités des liaisons.

Ici l'espace numérique de travail peut être utilisé par les élèves pour rassembler des résultats, des photos ou vidéos de leur expérimentation et constituer ainsi un début de synthèse individuelle. Une occasion de mobiliser des compétences numériques et de travail collaboratif.

Toujours pendant les heures à effectif réduit, un temps sera consacré à une synthèse d'activité afin de vérifier le travail des élèves, les rediriger si nécessaire. Ce temps est l'occasion de faire un point avec les différents groupes sur les conclusions de l'activité et de mettre en place une évaluation formative notamment par rapport aux compétences CO5.1 et CO6.3.

En classe entière, la restitution sera l'occasion de confronter les différents travaux et conclusions des groupes ; de mettre en évidence la méthodologie de résolution d'un problème de statique quel que soit le système étudié : Isoler le système, faire le bilan des actions mécaniques extérieures agissant sur le système isolé, analyser les conditions d'équilibre, appliquer le principe fondamental de la statique, déterminer les actions mises en jeux, utiliser ces actions afin de choisir un matériau ou dimensionner une structure.

Question 6. 2 Sur feuille de copie et à l'aide des documents DP1 et DR4

Les heures à effectifs réduits permettent la mise en place d'îlots. Dans l'exemple proposé quatre groupes de quatre élèves travaillent sur des supports différents : Mezzanine d'une station, essieux de bogie, poteaux électrique, accroche des véhicules.
Préciser et détailler les activités, « étude de dossier – résolution de problème » et « expérimentation – simulation » du groupe d'élèves travaillant sur la mezzanine.
Le candidat précisera :

- la démarche pédagogique envisagée ;
- les tâches des élèves ;
- la répartition de ces tâches au sein du groupe ;
- les liens avec les compétences à évaluer ;
- l'utilisation des outils numériques (E.N.T, logiciel, etc.) ;
- les ressources nécessaires (Diagrammes SysML, documents techniques, tutoriels logiciels, etc.) ;
- les maquettes didactiques utilisables.

En STI2D la démarche d'investigation est privilégiée. Cette démarche part d'une situation problème concrète proposée à un groupe d'élèves et les amène à formuler des hypothèses, à les valider par l'expérimentation et/ou la simulation, à analyser les résultats pour découvrir et valider des concepts scientifiques et technologiques.
Dans notre exemple, la situation problème est donnée par le dossier d'extension de métro avec la problématique technique : comment maintenir la mezzanine en toute sécurité ?
Derrière cette problématique, les élèves seront amenés à identifier les paramètres influents : charges mises en jeu, matériaux, etc.

La mise en îlot permet d'engager un travail collaboratif et d'apprendre entre pairs mais il arrive qu'un ou deux élèves effectuent les consignes données alors que les autres regardent. N'étant plus dans l'action ils se démobilisent. Il est donc important de répartir les tâches au sein du groupe et ainsi engager davantage un travail d'équipe où chacun pourra apporter des éléments.

Dans notre étude de dossier il est possible de construire cette répartition ainsi :

<table>
<tr><td></td><td>Élève 1</td><td>Élève 2</td><td>Élève 3</td><td>Élève 4</td></tr>
<tr><td>Lecture du cahier des charges</td><td colspan="4">Définir la fonction d'usage de la mezzanine</td></tr>
<tr><td>Identification des exigences à vérifier</td><td colspan="4">Rechercher les caractéristiques dimensionnelles de la dalle de la mezzanine. Proposer un modèle.</td></tr>
<tr><td>Identification des actions mécaniques en jeux</td><td colspan="2">Rechercher et identifier les charges permanentes</td><td colspan="2">Rechercher et identifier les charges d'exploitations</td></tr>
<tr><td>Expérimenter, simuler un problème plan</td><td>Expérimenter la transmission des charges à l'aide d'une maquette bois</td><td>Simuler la transmission des charges sur un modèle 3d (bois)</td><td>Expérimenter la transmission des charges à l'aide d'une maquette métallique</td><td>Simuler la transmission des charges sur un modèle 3d (métallique)</td></tr>
<tr><td>Établir les principes d'équilibre</td><td colspan="4">À partir des expérimentations et des simulations, établir le Principe Fondamental de la statique dans le cas d'un solide soumis à des actions mécaniques parallèles</td></tr>
<tr><td>Choix de la structure</td><td colspan="2">Définir le nombre de poutres (bois)</td><td colspan="2">Définir le nombre de poutres (métalliques)</td></tr>
<tr><td>Choix d'une structure</td><td colspan="4">Confronter les solutions et justifier un choix</td></tr>
<tr><td>Vérification des normes de sécurité</td><td colspan="4">Valider les solutions technologiques</td></tr>
</table>

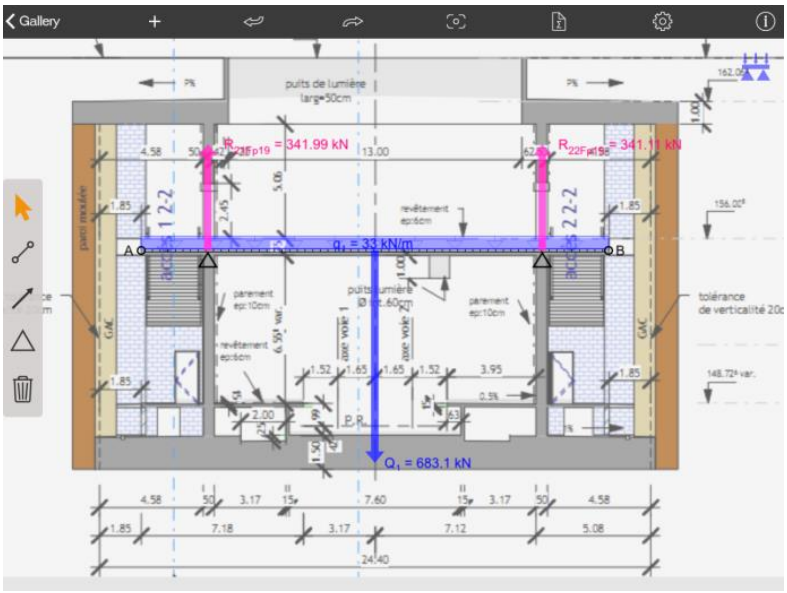
Fiche activité	ED 1 AP 1	
Type d'activité : AP	Étude de dossier/Travaux pratiques	
Durée :		
Nb élèves : 4		
Supports : Mezzanine	Métro de Los Teques	
Centres d'intérêt	1	CI1 : Développement durable et compétitivité des produits
	2	CI4 : Dimensionnement et choix des matériaux et structure
	3	
Compétences ciblées	1	CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable.
	2	CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel.
	3	CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système.
	4	CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère

Ressources	R01	Diagrammes SysML (Extrait Eurocode)
	R02	Animation, fiche de synthèse sur les systèmes soumis à deux ou trois actions mécaniques
	R03	Utilisation de la maquette
	R04	Utilisation modeleur 3D

	2. OUTILS ET METHODES D'ANALYSE ET DE DESCRIPTION DES SYSTEMES 2.3 Approche comportementale 2.3.1 Modèles de comportement Principe généraux d'utilisation Identification et limites des modèles de comportements, paramétrage associé aux progiciels de simulation Identification des variables du modèle, simulation et comparaison des résultats obtenus au système réel ou à son cahier des charges 2.3.3 Comportement mécanique des systèmes Équilibre des solides : modélisation des liaisons, actions mécaniques, principes fondamental de la statique, résolution d'un problème de statique plane

Plan de la séance *(étapes principales)*	1	Phase de lancement
	2	Lecture du cahier des charges
	3	Identification des exigences
	4	Identification des actions mécaniques mis en jeu
	5	Expérimentation, simulation
	6	Choix de solutions technologiques
	7	Validation des solutions technologiques
Répartition des tâches au sein d'un groupe	Élève 1	Cf. détails tableau précédent
	Élève 2	Cf. détails tableau précédent
	Élève 3	Cf. détails tableau précédent
	Élève 4	Cf. détails tableau précédent

La phase d'expérimentation et de simulation aura pour objectif principal de faire ressentir les phénomènes physiques abstraits de manière concrète. Une expérimentation sur une maquette simple reproduisant une poutre de la mezzanine sur deux appuis permettra aux élèves d'identifier le type de charges, ponctuelles, réparties, etc. ainsi que leur répartition sur les pièces en contact.
De même la simulation permet aux élèves de faire varier les charges (masse volumique, action extérieure) de manière virtuelle et de visualiser l'impact qu'il en résulte.



De nouveaux outils numériques, maintenant accessibles, permettent d'associer le ressenti et la visualisation d'une maquette ou d'un système réel avec le résultat instantané d'une simulation. Dans notre exemple, il pourrait être envisagé qu'un élève visualise la mezzanine sur un écran d'ordinateur, une tablette ou des lunettes, et qu'il puisse y exercer des efforts qu'il ressent réellement à l'aide d'un bras à retour de force tout en visualisant l'impact sur les liaisons. D'autres logiciels simples d'utilisation permettent, à partir d'une modélisation d'un système et des actions s'exerçant dessus, de déterminer sa déformée. Dans le cadre de la dalle cela est intéressant car plus que sa résistance, c'est sa déformée lorsque l'on se déplace dessus qui sera le critère prioritaire.

Question 6. 3 Sur feuille de copie :

Préciser et détailler la ou les modalités d'évaluation (formative et/ou sommative)

Proposer une méthode et une grille d'évaluation. Le candidat précisera :

- Les compétences évaluées ;
- Les indicateurs de performances observés ;
- La mise en œuvre.

Souvent négligée, l'évaluation formative est pourtant un point essentiel de l'apprentissage. Il ne s'agit pas de classer les élèves mais de mettre en évidence ce qu'ils savent et les progrès qu'ils ont à faire. Visible et compréhensible par les élèves dès le début de la séquence, elle leur permet de savoir pourquoi ils font telles ou telles activités. Elle n'est pas forcément associée à une note mais positionne les élèves par rapport aux compétences à acquérir.
Il existe plusieurs méthodes d'évaluation. Celle proposée reprend la modalité utilisée pour l'évaluation de l'épreuve de conduite de projet de terminale STI2D qui se déroule en continue en observant les élèves pendant les séances.
Ces observations se faisant au travers d'indicateurs de performances, il est intéressant de faire participer les élèves à leur propre évaluation. Là encore le numérique peut faciliter la mise en œuvre par exemple en saisissant les observations directement pendant les séances avec une tablette synchronisée pour obtenir une synthèse automatique.

Voici des exemples d'indicateurs associés aux compétences de la séquence proposée :

CO1.1 : Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable
i11.1 : l'élève a su argumenter sur le choix des matériaux afin de minimiser l'impact environnemental ;
i11.2 : …

CO3.1 : Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système
i31.1 : l'élève a su identifier la ou les contraintes dans le diagramme d'exigences.
i31.2 : l'élève a su trouver les caractéristiques de la structure ou de la pièce étudiée.
i31.3 : …

CO4.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations d'un système.
i41.1 : …

CO5.1 : Expliquer des éléments d'une modélisation proposée.
i51.1 : l'élève a su expliquer le modèle proposé par l'enseignant.
i51.2 : l'élève a su définir une action mécanique comme donnée d'entrée du modèle.
i51.3 : …

CO6.3 : Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.
i63.1 : l'élève a su décrire la démarche pour déterminer une action mécanique.
i63.2 : …

Dans la séquence proposée le temps dédié au brainstorming pour faire un rappel des connaissances des élèves peut être utilisé pour une évaluation diagnostic et commencer à percevoir les besoins des élèves.

L'évaluation sommative pourra être construite de manière ponctuelle pour évaluer les compétences CO1.1, CO3.1, C04.4 et CO5.1, à partir d'un contexte différent mais avec une problématique similaire. Il peut s'agir de justifier une donnée d'entrée (action mécanique) d'un modèle numérique. La justification nécessitant l'emploi du principe fondamental de la statique. Ou bien vérifier les résultats d'une simulation afin d'en tirer les conclusions sur le choix des matériaux.

Question 6. 4 Sur feuille de copie

On suppose maintenant que l'établissement souhaite mettre en place l'expérimentation définie par l'arrêté du 11 juillet 2016 qui autorise des pratiques pédagogiques relatives au choix différé de la spécialité. Voté au C.A, l'équipe pédagogique organise un renforcement de l'enseignement technologique transversal en début d'année et par conséquent un renforcement de l'enseignement de spécialité en fin d'année. Le cadre règlementaire impose notamment :

- le respect des programmes des enseignements technologiques transversaux et spécifiques des spécialités du cycle terminal de la série STI2D (la démarche de projet permet de mobiliser les compétences communes aux quatre spécialités) ;
- le respect du volume horaire annuel des enseignements technologiques transversaux et de spécialité.

Présenter en quoi cette organisation impacte l'organisation annuelle et montrer l'intérêt.

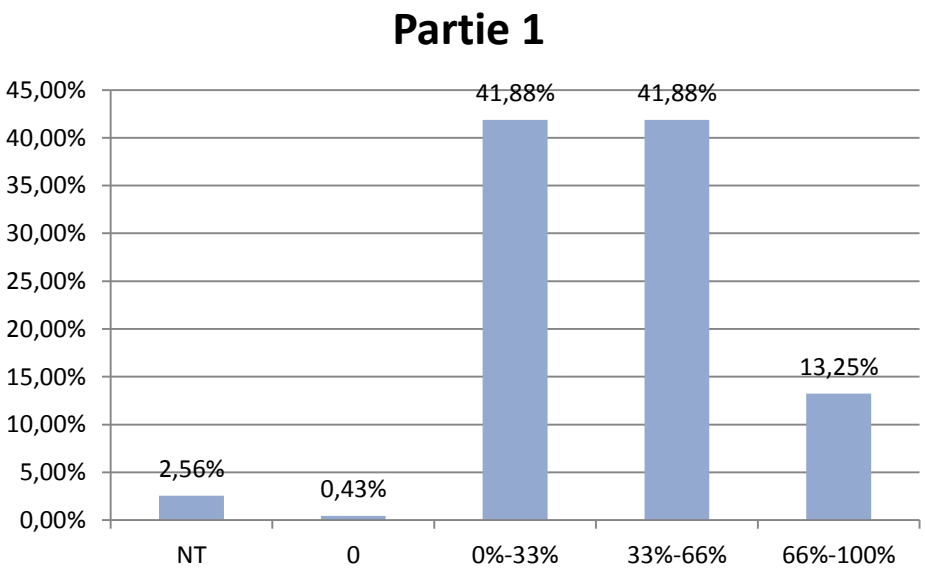
Les enseignements de spécialité ont pour objectif d'approfondir des champs spécifiques abordés en enseignement technologique transversal. En début de première, le fait de démarrer ces deux enseignements en même temps peut poser quelques difficultés pour construire des progressions pédagogiques qui vont dans ce sens. Il existe plusieurs possibilités pour palier à cela et pour permettre aux élèves de choisir la spécialité en connaissance de cause. Par exemple en démarrant l'enseignement technologique transversal par les fondamentaux du programmes et l'enseignement technologique de spécialité par les parties communes aux quatre, notamment la première partie qui concerne la démarche de projet.
Une autre possibilité consiste à démarrer l'année par 12h d'enseignement technologique transversal pour apporter les fondamentaux dans tous les domaines technologiques puis, en fin d'année, mettre en place une pédagogie de projet pour approfondir ces connaissances et les rendre opérationnelles en enseignement technologique de spécialité.

Dans ces deux cas l'équipe pédagogique respecte les programmes et le volume horaire des deux enseignements quel que soit le choix de la spécialité par l'élève.

Commentaires du jury

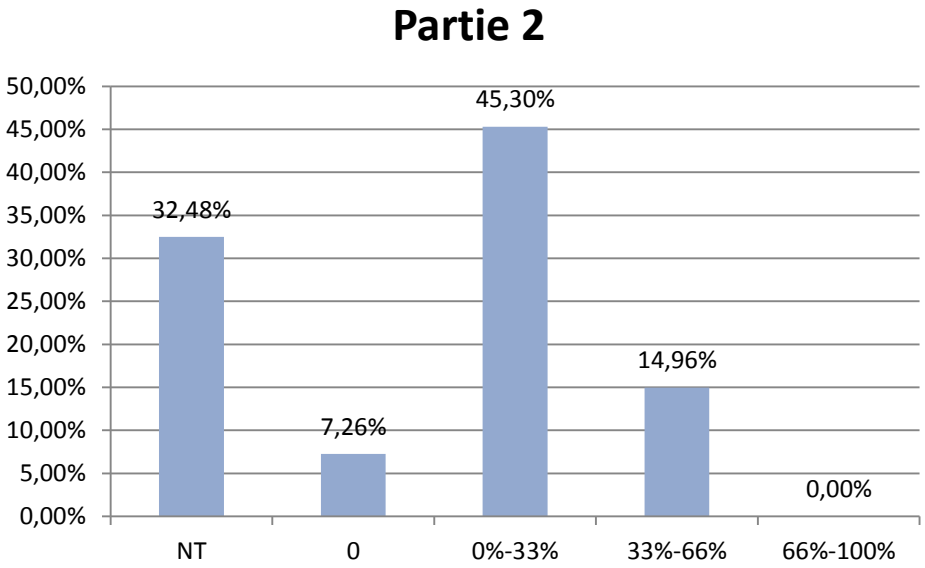
Cette épreuve, commune à toutes les options s'appuie sur le métro de Los Teques dont une extension est prévue dans une démarche de développement durable.
Les cinq premières parties traitaient des aspects scientifiques et techniques dans les domaines correspondants aux différentes options. Le but étant 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.
La sixième partie pouvait être traitée indépendamment et s'appuyait essentiellement sur la capacité à élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative aux enseignements technologiques du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable ».

Partie 1 : vérification des bogies et renversement du train
Cette partie abordait tout d'abord la vérification de l'adéquation du profil de roue des bogies avec la courbure des rails du tracé de Los Teques. Des considérations géométriques simples et des notions élémentaires de cinématique permettaient de résoudre le problème posé. La grande majorité des candidats a traité les premières questions avec succès. Ce premier problème a été plutôt bien réussi.
Le renversement du train en virage était ensuite envisagé. Des notions élémentaires de dynamique étaient nécessaires. Il est à regretter que bon nombre de candidat aligne des lignes de calculs qui ne servent pas à la résolution du problème. Une réflexion au préalable permettrait de n'écrire que les équations nécessaires. Ce deuxième problème a été moins bien traité par l'ensemble des candidats.



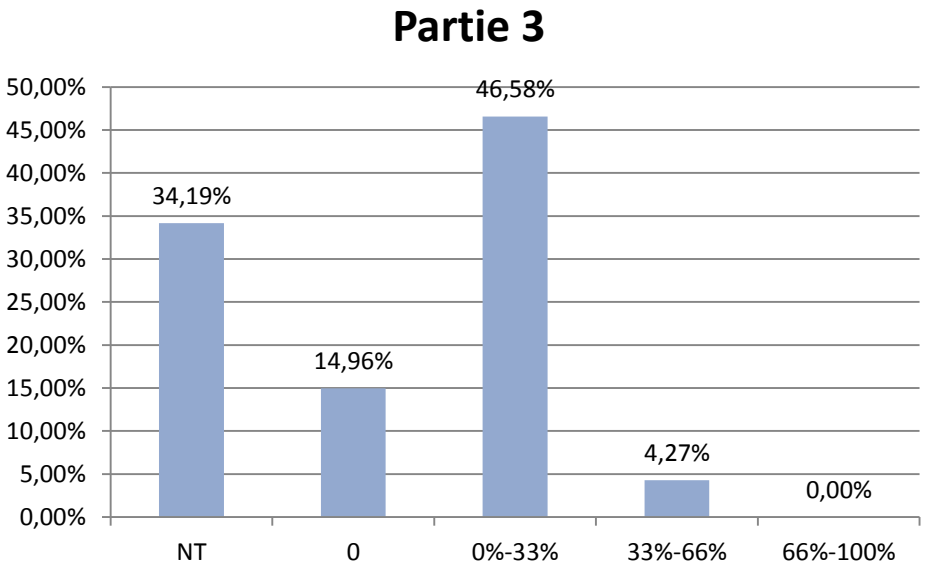
Partie 2 : confort des usagers

Cette partie étudiait le mode de pompage de la suspension bogie-caisse. Il fallait mettre en œuvre des notions de dynamique et analyser des résultats de simulation. Les candidats ont dans l'ensemble moins abordé cette partie et elle a été moins réussie lorsqu'elle a été traitée. Il est surprenant que des candidats à l'agrégation ne sachent pas mettre en équation un système composé de masses et de ressorts. L'analyse des résultats a été mieux réussie que la mise en équation. Le modèle Simscape a très peu été traité de manière satisfaisante.



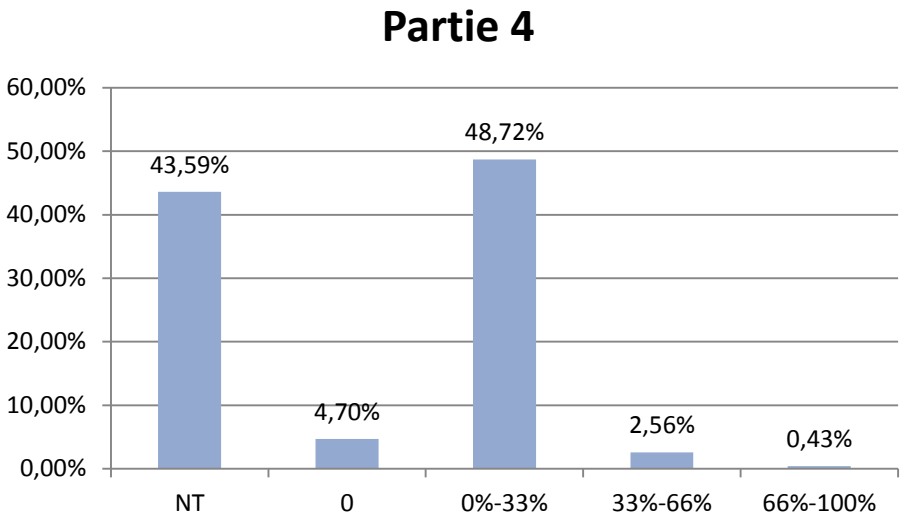
Partie 3 : commande de freinage

Cette partie abordait la commande du système de freinage afin d'éviter le glissement roue/rail. Les questions portaient sur la chaîne de régulation, du réglage du PID aux câblages et convertisseur analogique numérique. Peu de candidats ont abordé cette partie à l'exception des toutes premières questions très mécaniques qui concernaient les temps et distance de freinage, puis la fonction de transfert entre le glissement et la force de freinage. Les quelques candidats qui ont abordé les questions sur le conditionnement du capteur de vitesse et la conversion analogique/numérique qui venaient ensuite ont plutôt bien répondu.



Partie 4 : système de ventilation

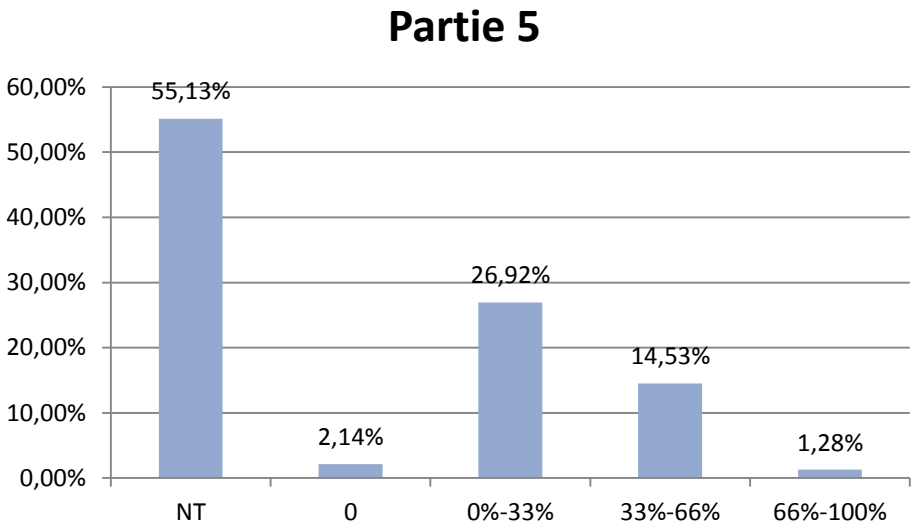
Cette partie portait sur le dimensionnement du système de pré ventilation d'une station de métro dont l'objectif est de réaliser un échange thermique entre l'air neuf à la température extérieure (chaude) et l'air extrait à la température intérieure (froide). Les questions portaient sur de la mécanique des fluides très simple (débit dans une conduite de section rectangulaire et pertes de charges linéiques) et sur l'efficacité des échanges thermiques. Peu de candidats se sont exprimés sur cette partie, ceux qui l'ont fait ont traité préférentiellement les premières questions avec succès.



Partie 5 : Étude d'une dalle d'une station du métro

Cette partie consistait à définir les caractéristiques de la dalle de la mezzanine de la station de métro. Les questions portaient essentiellement sur l'application des méthodes de modélisation et de calcul définies par l'Eurocode et de la résistance des matériaux. De manière globale cette partie a été peu traitée (44%) alors qu'elle était accessible notamment pour la spécialité Ingénierie Mécanique.

Les deux premières questions consistaient à déterminer la longueur de la portée entre les appuis et la valeur des charges exercées sur la mezzanine, à partir des indications de l'Eurocode. Ces questions, traitées respectivement par 44% et 38% des candidats, ont été plutôt bien réussies. Les questions 3, 4 et 5 portaient sur la résistance des matériaux mais ont été peu traitées (respectivement 31%, 23%, 11%) et peu réussies (pourcentage des candidats ayant eu l'ensemble des points de la question 3 (32%), question 4 (32%) et question 5 (8%)). Les questions 6, 7 et 8, plus spécifiques à l'Ingénierie des Constructions, ont été seulement traitées par 11%, 10% et 6%.



Partie 6 : exploitation pédagogique

Cette partie portait sur des questions d'ordre pédagogique. De manière globale elle n'a pas été traitée à la hauteur escomptée. 38% des candidats n'ont répondu à aucune des questions. La longueur du sujet peut expliquer en partie ce pourcentage mais il s'agit tout de même d'une épreuve d'agrégation interne. Tous les candidats doivent donc avoir une expérience dans l'enseignement. Parmi les copies restantes, de nombreuses sont illisibles ou difficilement compréhensibles. Là encore le jury s'interroge sur ces compétences d'expression écrite qui ne sont pas directement ciblées par l'épreuve mais sont très importantes pour enseigner.

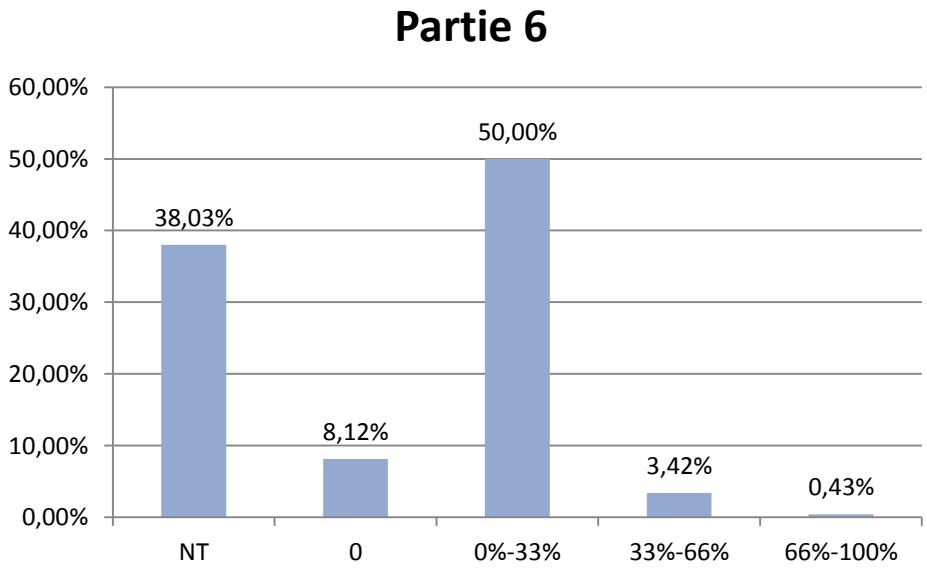
A contrario quelques copies sont très bien rédigées à la manière d'un récit mais la description des activités ne fait appel à aucun fond technique ou scientifique. Le jury rappelle l'importance de construire des séquences pédagogiques pour l'acquisition de compétences qui s'appuient sur des connaissances scientifiques et techniques définies dans le programme.

La première question consistait à décrire, en argumentant, une séquence pédagogique proposée. Beaucoup de candidats se sont contentés de décrire ce qui était déjà définie dans le sujet sans justification. La démarche inductive a été peu citée et expliquée. Les quelques candidats ayant réussi cette question ont su argumenter chaque éléments constituants la séquence pédagogique et proposer une organisation des activités cohérente. Très peu de candidat ont profité de cette question pour expliquer en quoi le numérique pouvait être un moyen facilitateur pour la mise en place d'une démarche inductive et pour la gestion des travaux de groupe via un ENT.

La deuxième question, traitée seulement par 40% des candidats, consistait à définir une activité pour un groupe de 4 élèves. Pour la majorité des copies les descriptions ne sont pas assez précises. Il n'est notamment pas possible de savoir ce que font réellement les élèves. Quels matériels ils utilisent et pourquoi. Quelles utilisations ils font des logiciels : simulation d'un modèle de comportement, gestion des ressources numériques, gestion du travail de groupe, etc.

La troisième question consistait à proposer la mise en place de modalités d'évaluation pour la séquence proposée. 25% des candidats ont traité cette question mais peu ont su énoncer les trois types d'évaluation (Diagnostique, formative et sommative) et les justifier. Cette question était l'occasion d'expliquer comment évaluer l'acquisition des compétences des élèves à partir d'indicateurs de réussite. Là encore le numérique pouvait être énoncé comme outil facilitateur pour le suivi de l'acquisition des compétences des élèves.

La dernière question, plus large et plus ouverte dans la réflexion, demandait de proposer une organisation pour mettre en œuvre l'arrêté du 11 juillet 2016 ainsi que l'intérêt de cette organisation. Seulement deux candidats ont su imaginer une organisation annuelle permettant le respect des horaires des différents programmes, une analyse des besoins des élèves ainsi qu'une réflexion sur les compétences abordables en début d'année.



Recommandations

Pour réussir une telle épreuve, il est vivement conseiller aux candidats de lire le sujet dans sa totalité et de comprendre les problématiques des différentes parties. En effet une lecture attentive du sujet apporte de précieuses informations et permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat.

Les résultats intermédiaires donnés dans l'énoncé doivent permettre aux candidats de poursuivre le questionnement et de valider leur résultat.

Il faut que les futurs candidats pensent à justifier de façon synthétique leurs méthodes de résolution et ne pas se contenter de dérouler un calcul. On évitera donc de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

Un futur agrégé en ingénierie mécanique se doit de maitriser les domaines de la mécanique du solide indéformable (cinématique et dynamique), la résistance des matériaux mais aussi les asservissements, ...

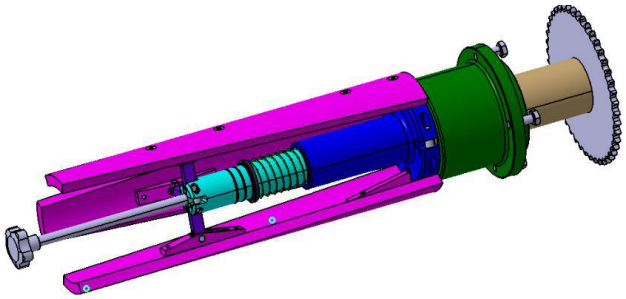
Le caractère transversal de cette épreuve oblige à avoir des connaissances dans les domaines du génie électrique et du génie civil sans pour autant être un expert dans ces deux domaines.

On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication.

Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Coefficient 1 – Durée 4 heures

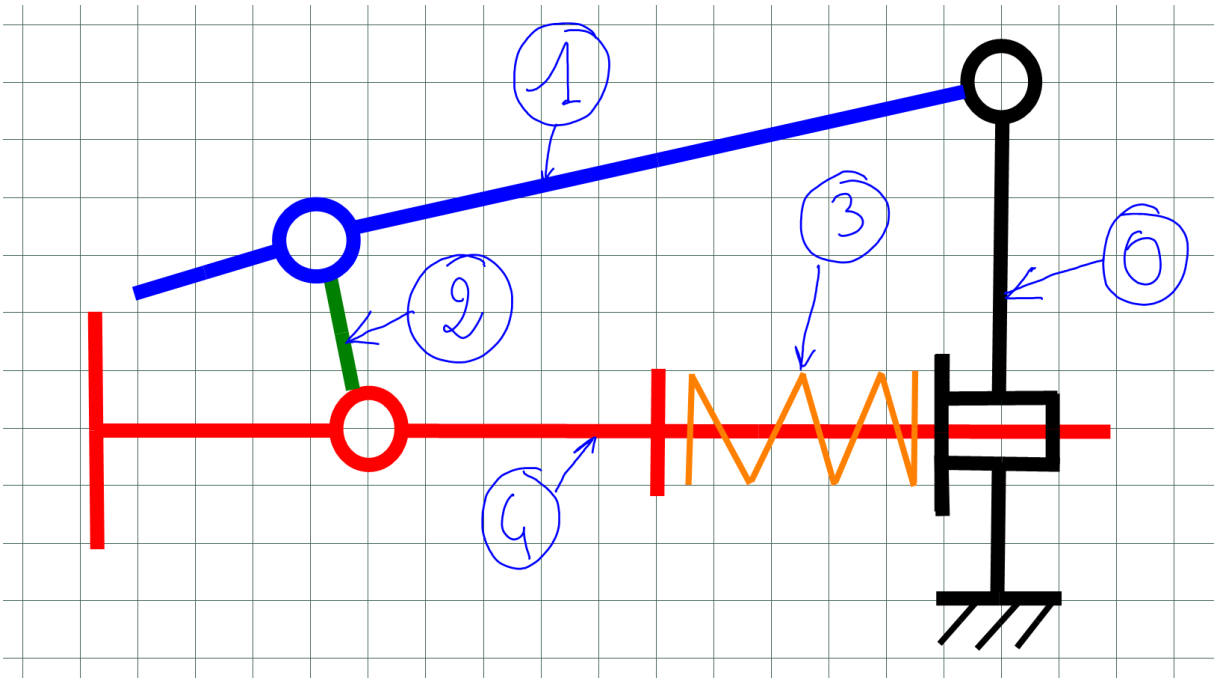
Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère



Éléments de correction

Analyse de la variation de diamètre

Question 1-1 : schéma cinématique minimal du système lors de la phase de diminution de diamètre



Pendant la phase de réduction de diamètre, nous pouvons considérer que l'ensemble des pièces {6,7,8,9,10,12} est fixe par rapport au bâti. La liaison entre l'arbre 4 et cet ensemble est alors une liaison pivot glissant. Nous considérons l'ensemble des autres liaisons comme des liaisons pivot d'axe parallèle.

Question 1-2 : degré de mobilité et d'hyperstatisme du système

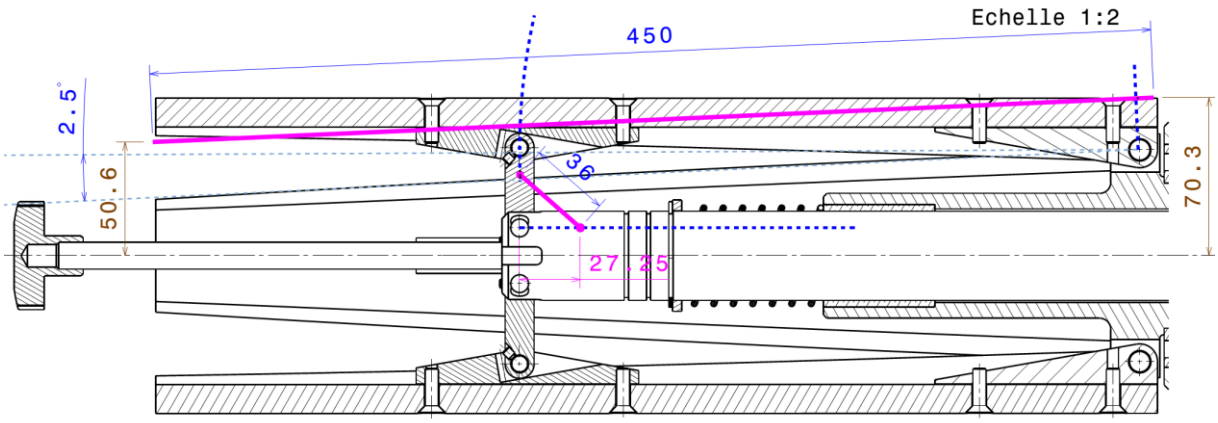
La modélisation du système proposée à un degré de mobilité de **d=1**. En effet, la translation de l'arbre 4 génère la rotation de l'ensemble des pales.
Calcul du degré d'hyperstatisme du système complet avec les 4 pales :

- Nombre de pièces : p=1+2x4=9
- Nombre d'inconnues statiques : Ns=4+(3x5)x4=64

→h=Ns-6xp+d=64-54+1→**h=11**

Si nous nous intéressons uniquement au système composé d'une pale, nous obtenons un degré d'hyperstatisme de h=19-18+1=2.
Ainsi, pour que le système fonctionne, les 3 liaisons pivot entre 0/1, 1/2 et 2/4 doivent être d'axe parallèle. Cette condition doit être validée pour les 4 pales.

Question 1-3 : course de l'axe mobile et diamètre minimum et maximum lorsque le système est replié



L'axe mobile translate horizontalement pendant que la pale tourne autour du centre de la liaison pivot entre la pale et le fourreau 8. La course de l'axe mobile est de 27,3 mm environ. Les jeux présents dans le système permettent bien à l'axe mobile d'effectuer cette course.
Le diamètre maximum est de 140,3 mm (légèrement plus grand que le diamètre pendant l'enroulement du polyane). Le diamètre minimum est de 101,2 mm.

Question 1-4 : fonctionnement du verrouillage du système de diminution de diamètre

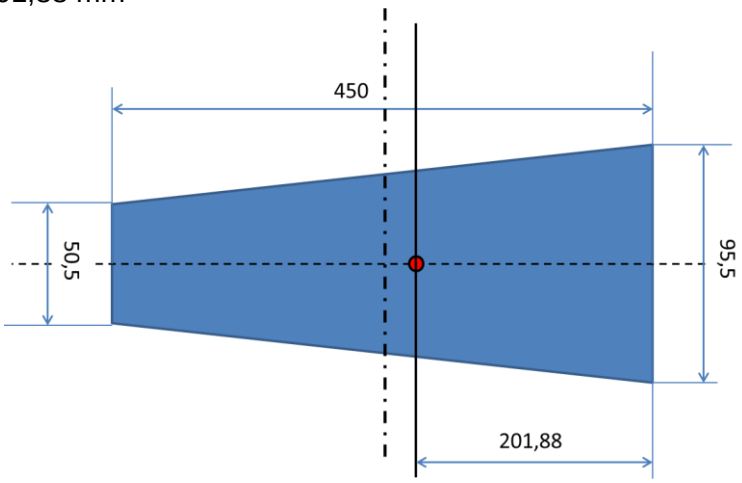
Pendant la phase d'enroulement du polyane, les efforts générés par l'enroulement ne doivent pas générer un mouvement de l'axe mobile et une inclinaison des pales. Le système doit être dans un état d'équilibre stable.
Pour garantir cet état, la bielle 2 doit être légèrement inclinée vers la gauche. Lors de l'enroulement elle entrainera ainsi l'arbre mobile vers la gauche et mettra ainsi l'ensemble des pièces 9,11 et 12 en butée.
Le réglage de la distance entre la surface de contact de l'écrou 11 et le centre de la liaison de l'arbre 4 et de la bielle 2 doit permettre de garantir cette condition. De même, le ressort doit toujours rester en compression quelle que soit la phase de fonctionnement et doit garantir le retour à un état d'équilibre stable du système avant enroulement du polyane.

Question 1-5 : fonctionnement du déverrouillage du système de diminution de diamètre

Le système se déverrouille par un appui sur la manivelle afin de déplacer vers la droite l'arbre mobile. Ce déplacement fait alors basculer la bielle 2 et incliner les pales. La raideur du ressort doit être compatible avec l'effort humain.
Le déverrouillage est effectif quand la bielle 2 a dépassé la position verticale. C'est le passage de ce point particulier qui demande le plus d'effort pour l'opérateur. Il est alors nécessaire de limiter l'inclinaison de la bielle pendant la phase d'enroulement du polyane.

Question 1-6 : effort appliqué sur la pale dans la direction de la bielle

Aire projetée : 50,5x450+(95,5-50,5)/2x450=32 850 mm²
Effort appliqué sur la pale dans la direction de la bielle : F=32 850 N
Position du point d'application :
Une première analyse de la forme de la surface projetée de la pale montre un axe de symétrie. Le point d'application de l'effort F est alors sur cet axe. La surface projetée de la pale est composée d'un rectangle et de deux triangles symétriques. Le barycentre d'un rectangle est en son centre, celui d'un triangle isocèle à 1/3 de sa hauteur par rapport à la base.
Ainsi le point d'application de l'effort est : ((450x50,5)x450/2+(450x(95,5-50,5)/2)x450/3=201,88 mm

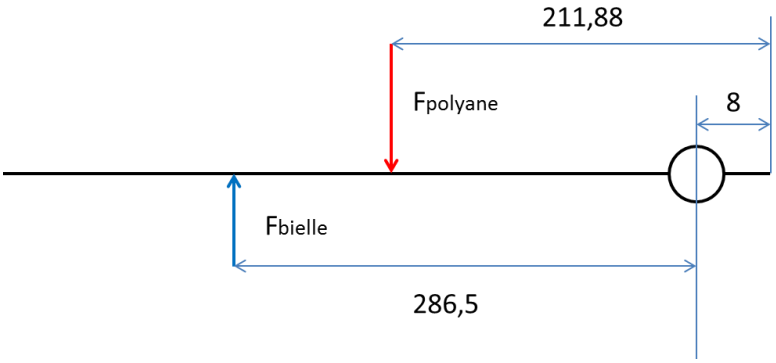


Question 1-7 : effort sollicitant la bielle

Si nous isolons la pale, nous pouvons constater qu'elle est soumise à 3 forces :

- effort de liaison au niveau de la liaison pivot entre la pale et la pièce 8 ;
- effort du polyane déterminé à la question 1-6 ;
- effort de la bielle.

Les positions relatives de ces efforts sont représentées sur le schéma suivant :



Ainsi en écrivant le PFS au niveau de la liaison pivot, nous obtenons :

F_{bielle}x286,5=$F_{polyane}$x(211,88-8) soit **F_{bielle}=22 868,8 N**

Question 1-8 : justification de la sollicitation de la bielle

Si nous analysons le schéma cinématique proposé dans la question 1-1, nous pouvons constater que nous avons fait l'hypothèse d'un problème plan au niveau de l'échange des efforts. Ainsi, la bielle n'est sollicitée que par deux efforts au niveau des liaisons pivots. Ces efforts sont donc alignés et opposés. La bielle est donc uniquement soumise à une sollicitation de compression.

Question 1-9 : calcul de la section de la bielle

$\boldsymbol{\sigma_{élastique}} = \frac{\boldsymbol{F_{max}}}{\boldsymbol{S}}$ avec S la section de la bielle.

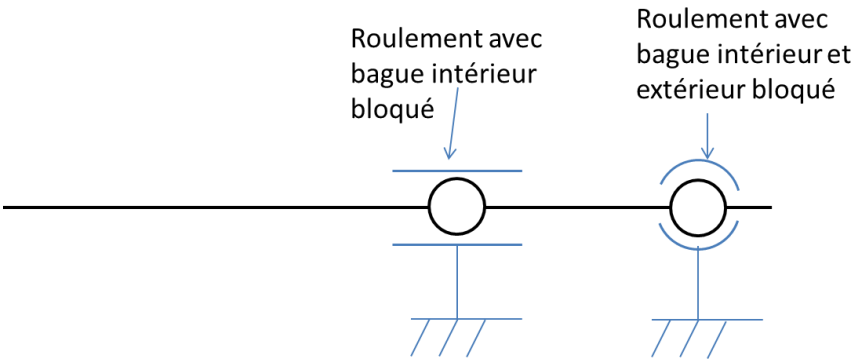
La largeur de la bielle est de l=13 mm sur le document DT-2. Il nous faut donc déterminer sa profondeur p.

Ainsi $\mathrm{p} == \frac{\mathrm{F_{max}}}{\mathrm{l}\sigma_{\mathrm{élastique}}}$=7,5 mm

La bielle a ainsi une section de 13 mm x 7,5 mm ce qui est compatible avec l'encombrement de la bielle dans le système.

Analyse de la liaison par roulements à billes

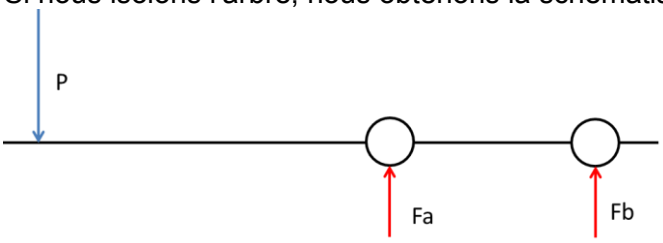
Question 1-10 : schématisation du montage de roulement



La charge est fixe par rapport aux bagues extérieures donc les bagues intérieures doivent être bloquées.

Question 1-11 : calcul de la durée de vie du montage de roulements pour une vitesse de 350 tr/min

Si nous isolons l'arbre, nous obtenons la schématisation suivante :



Ainsi, nous obtenons le système suivant :
Fa+Fb-P=0 et Px200+Fbx80=0 avec P≈400 N (poids de l'arbre récupérateur de polyane)

Soit Fb=-1000 N et Fa=1400 N

Ainsi $L_{10} = \left(\frac{C}{Fa}\right)^3 = \left(\frac{31{,}9.10^3}{1400}\right)^3$ =11 830.10^6 tours

Avec une vitesse de rotation de 350 tr/min, cela correspond à une durée de vie de **563 337 h** environ.
Le cahier des charges d'une maintenance toutes les 600 h est donc respecté.

Question 1-12 : validation du choix du roulement vis-à-vis de la sollicitation statique

Lors de la phase d'extraction du polyane, le roulement B sera sollicité avec un effort de 100 N.
Toutefois la charge statique du roulement est de 25 000 N.
L'effort d'extraction est donc bien inférieur à la charge statique que peut supporter le roulement.
Au vu des résultats des questions 1-11 et 1-12, le montage de roulement peut être validé.

Question 1-13 : conclusion sur le système de type « parapluie »

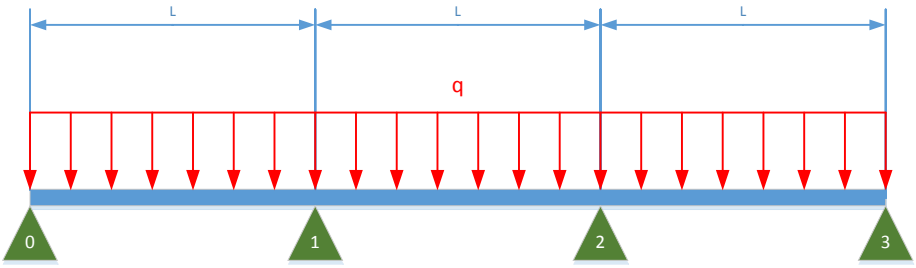
Au vu des résultats obtenus dans les questions précédentes, les composants du système semblent correctement dimensionnés. Toutefois, l'architecture même du système ne permet pas d'obtenir une réduction de diamètre sur l'ensemble des pales ce qui explique la difficulté pour l'extraction des rouleaux de polyane de grande largeur.

Conception du poussoir

Question 2-1 : justifier le modèle poutre proposé exprimant le comportement d'une pale en appui sur les poussoirs

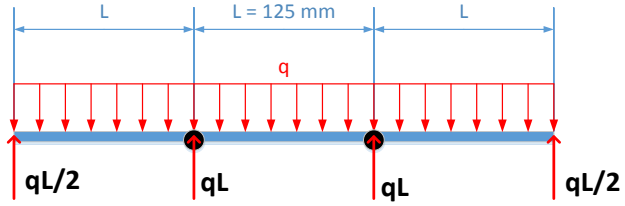
Le modèle reste effectivement approché de la réalité. En effet, les distances entre les points d'appui des pales ne sont pas égales sur le système et varient pour les 4 pales. De plus, les appuis ne se trouvent pas aux extrémités strictes de celles-ci.
Néanmoins, si nous considérons le positionnement du polyane sur l'arbre, celui-ci exerce une pression homogène sur la pale, de façon symétrique, sur une longueur de 375 mm.
Le matériau de la pale est considéré homogène et isotrope. La section ne varie que lentement. La longueur est la dimension la plus grande devant l'épaisseur et la largeur de la pale.
Ce modèle permet donc un pré dimensionnement des éléments par un calcul analytique relativement rapide correspondant à un positionnement moyen des appuis.
Un logiciel de calcul permettrait d'affiner les résultats.

Question 2-2 : en considérant la surface projetée d'une pale de 30513 mm². Déterminer l'effort maximal, dû à l'enroulement du polyane, de la tête de poussoir sur l'excentrique sachant que le polyane exerce une pression maximale de 1 N/mm² ?

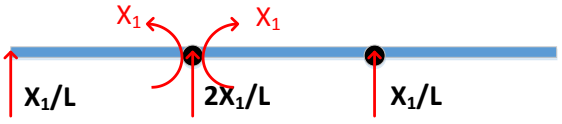


Système hyperstatique

<u>Résolution par la méthode des forces (Méthode de Clapeyron – équations des 3 moments)</u>
On superpose le système rendu isostatique et les couples permettant la continuité des déviations angulaires aux appuis.

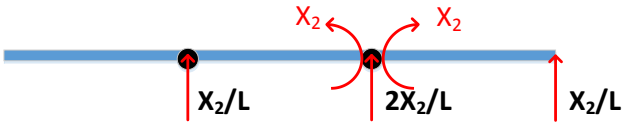


Système rendu isostatique par 2 liaisons rotules au droit de chaque appui intermédiaire.
On a plusieurs poutres isostatiques.



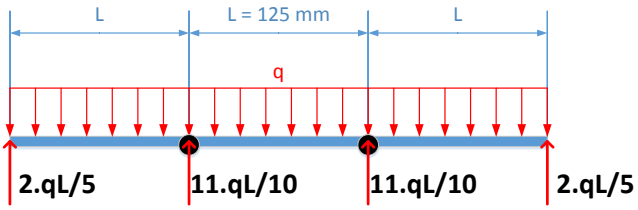
Couple sur appui 1

$$X_1 = -\frac{qL^2}{10}$$



Couple sur appui 1

$$X_2 = -\frac{qL^2}{10}$$



Superposition

Application Numérique (vérifiée avec RdM6) :
q=81.368N/mm , L= 125mm
Effort sur les appuis 2 et 3 : Fmax=11188,1 N.
Effort sur les appuis 1 et 4 : 4068,4 N

Résolution par symétrie avec charge répartie (donne une valeur approchée) :
Effort sur les appuis 2 et 3 : F=9.q.L/8 soit Fmax=11442 N

Question 2-3 : décrire une méthodologie et les critères associés permettant la sélection d'un matériau pour le poussoir. (Pour des raisons d'encombrement le diamètre du poussoir est limité à 8mm)

Le poussoir travaille au frottement et transmission de l'effort par contact direct.
Les critères associés à prendre en compte peuvent être la dureté, la limite élastique, le coût et le module d'élasticité.

Question 2-4 : à l'aide du document réponse DR-3, identifier le meilleur matériau pour le poussoir.

Selon les critères ci-dessus, l'acier faiblement allié est le meilleur choix.
Maximiser l'indice de performance sur le diagramme 1 : M=Re/ρ
Néanmoins, en tenant compte du critère d'environnement en milieu humide précisé au cahier des charges un acier inoxydable pourrait être envisagé mais le coût serait très supérieur.

Comportement mécanique au niveau global :
Matériau acier Limite élastique : 780 MPa (N/mm²)
Contrainte $\sigma = \frac{F}{S}$:
$\sigma = \frac{11188,1}{\pi \times R^2}$ = 222,58 MPa

On reste très largement dans le domaine élastique même avec un coefficient de sécurité.

Question 2-5 : nous pouvons considérer 2 géométries possibles du poussoir : sphérique ou plan. Choisir et justifier une solution de conception pour cette forme de poussoir (impact sur le guidage du poussoir)

Le contact plan/cylindre permet d'avoir une surface de contact plus importante et donc de minimiser la pression de contact. En revanche, cette solution impose des contraintes géométriques importantes entre ces 2 surfaces. Le contact ponctuel sphère/cylindre accentue la pression de contact mais permet davantage de degré de liberté entre ces 2 surfaces.

Question 2-6 : à l'aide du document technique DT-4, déterminer la pression maximale de contact entre le poussoir et l'excentrique, dans le cas d'un contact sphère/cylindre.

Contact ponctuel (solides quelconques n'est pas possible, n et m ne sont pas donnés) : $k_1=k_2=1{,}38.10^{-6}$ MPa^{-1}

Choix du modèle sphère/plan : $a = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{4}(k_1 + k_2)RN} = 0{,}84mm$ et Contrainte max : $P_\max = 7665\ Mpa$

Choix du modèle sphère/sphère : $a = 0{,}746mm$ et Contrainte max : $P_\max = 9592.75\ Mpa$

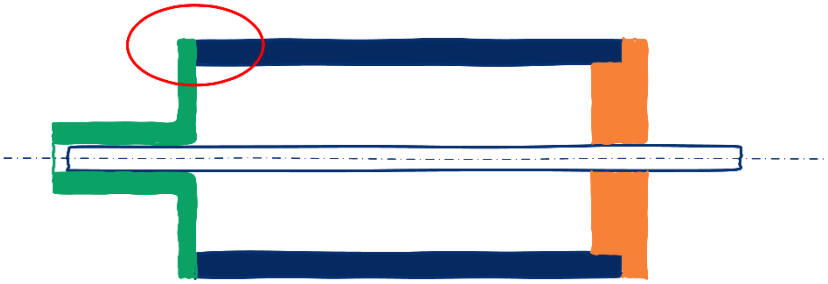
Question 2-7 : conclure définitivement sur le choix du matériau

Pression de contact : 9592.75 MPa, donc très supérieure à la limite élastique des matériaux utilisés.
On peut donc conclure qu'au niveau local il y a aura détérioration des éléments (poussoir et came).
Il sera donc nécessaire de prévoir un traitement thermique ou de choisir un autre matériau.
La profondeur de la contrainte max est de 0,373 mm. (0,5.a).

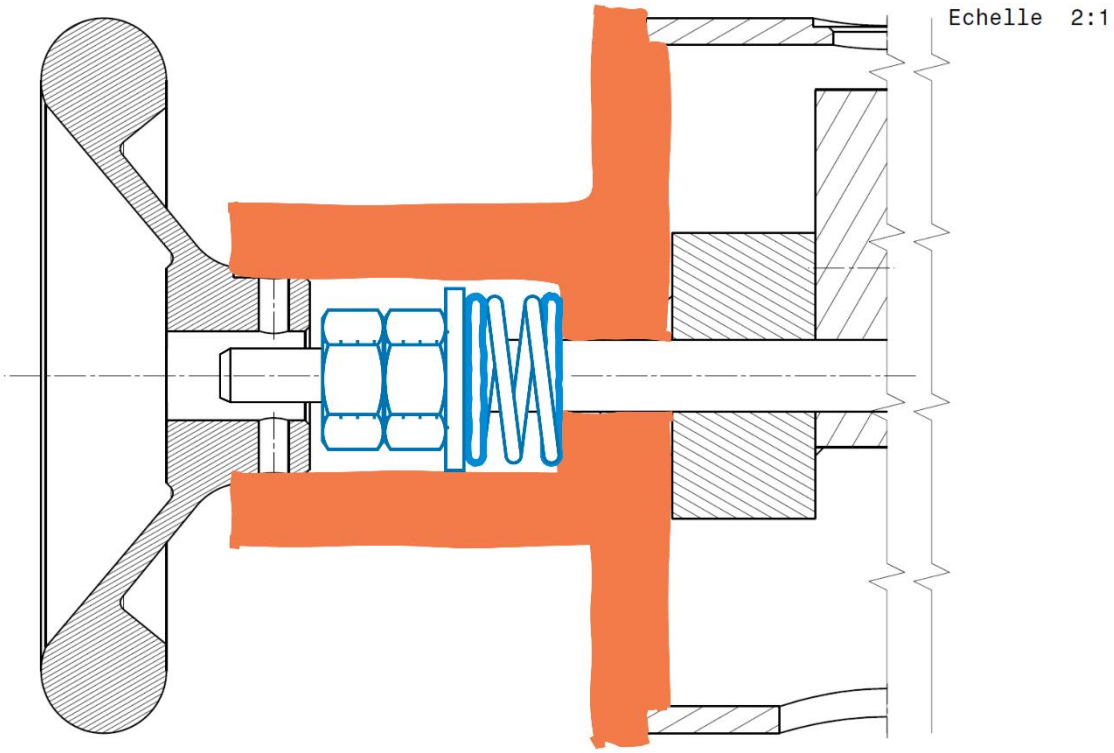
Étude de l'entrainement en rotation et de libération des pales

Question 2-8 : sur cette première version de conception, le corps de guidage n'est pas positionné complétement par rapport à l'axe d'entraînement du côté de l'ensemble volant. Il est donc nécessaire de reconcevoir cet ensemble volant afin d'assurer ce positionnement. Justifier cette affirmation.

En effet, le corps de guidage est simplement en appui du côté de l'ensemble volant sans centrage. Cette mise en position ne peut garantir la coaxialité entre les 2 constituants étant donné leur rapport longueur sur diamètre.



Question 2-9 : proposer, sous forme de croquis sur le document réponse DR-4, une solution de conception permettant de répondre à la remarque de la question précédente et de diminuer le nombre de pièces.



Question 2-10 : en tenant compte des sollicitations mécaniques, proposer 2 méthodologies d'optimisation de structure.

Le constituant ainsi conçu doit principalement transmettre le couple de l'axe d'entrainement à la bague de guidage lors de la phase d'enroulement.
Nous pouvons considérer 3 méthodes d'optimisation :

- Optimisation paramétrique : la géométrie est complétement modélisée et paramétrée, un nombre réduit de variables permettent l'optimisation.
- Optimisation géométrique : les formes géométriques sont complétement définies, l'optimisation se fait par enlèvement de matière sur les zones non sollicitées.
- Optimisation topologique : aucune restriction, l'optimisation consiste à ajouter de la matière là où cela est nécessaire.

Dans notre cas, il est intéressant de mettre en place une optimisation géométrique. En effet, une simulation par éléments finis sur un modèle « coque » permettrait un allégement maximum de la pièce tout en assurant le comportement mécanique de celle-ci. Il est possible de combler les cavités par une structure en treillis (Lattices).

Question 2-11 : conclure sur le choix du procédé de fabrication additive en explicitant les principales contraintes et avantages, préciser les précautions de mise en œuvre de ce procédé.

Le choix du procédé de fabrication est judicieux car il permet de minimiser le nombre de pièces et d'assemblages grâce à l'optimisation de la pièce.
D'un point de vue économique, dans le cadre de ce travail unitaire, ce procédé est parfaitement adapté et permettra de répondre aux exigences de coût du cahier des charges.

Analyse fonctionnelle du corps de guidage

Question 3-1 : proposer une démarche structurée de spécification fonctionnelle du corps de guidage.

Plusieurs démarches de spécification fonctionnelle peuvent être développées.
Les différentes étapes sont les suivantes :

- analyse du cahier des charges et décomposition des exigences en fonctions techniques ;
- analyse des solutions constructives et identification des conditions de fonctionnement ;
- isolement du composant à spécifier et définition des contacts ;
- analyse géométrique ;
- codage ISO des spécifications et tolérancement.

Question 3-2 : exprimer les conditions de fonctionnement sur copie. Identifier sur le document réponse DR-5 les surfaces fonctionnelles, les classes de surface et les éléments de situation permettant de satisfaire la fonction de guidage des poussoirs.

Pour que le système fonctionne il est nécessaire que :

- pour chaque pale, l'axe du corps et les axes du poussoir soient coplanaires ;
- pour chaque pale, les axes des poussoirs soient parallèles ;
- la rainure doit être symétrique par rapport à l'axe du corps de guidage ;
- l'axe du corps de guidage doit être coaxial à l'axe d'entrainement.

Voir DR-5

Question 3-3 : à l'aide du document ressource DR-6, justifier (ou discuter) les spécifications des surfaces de référence A, B et C présentes sur le document DT-6.

La référence A correspond à l'axe de révolution du corps de centrage. Elle est définie par le lien avec l'ensemble d'entraînement.
La référence B permet l'appui plan entre le corps et l'ensemble d'entraînement et doit donc respecter une condition de perpendicularité avec la référence A.
La référence C correspond à la zone commune composée des plans d'appui des guides de poussoirs. Ce plan permet l'orientation des poussoirs par rapport à l'axe de révolution du corps de guidage. Dans la spécification de localisation la référence secondaire B n'est pas utile.

Question 3-4 : sur feuille de copie et à l'aide du document réponse DR-7, analyser et interpréter les spécifications suivantes présentes sur le document DT-6.

Ø 7 4 H 8 Ⓔ Intervalle de tolérance Qualité 8= 0 ,046mm	⌖ | 0 , 1 C Z | A | B
Toutes les dimensions locales sont comprises entre 74 mm et 74,0,046 mm L'enveloppe de révolution parfaite minimum de diamétre 74 mm n'est pas dépassée	Voir document réponse

Question 3-5 : proposer une gamme de contrôle pour cette spécification de localisation mobilisant une machine à mesurer tridimensionnelle.

Éléments palpés :

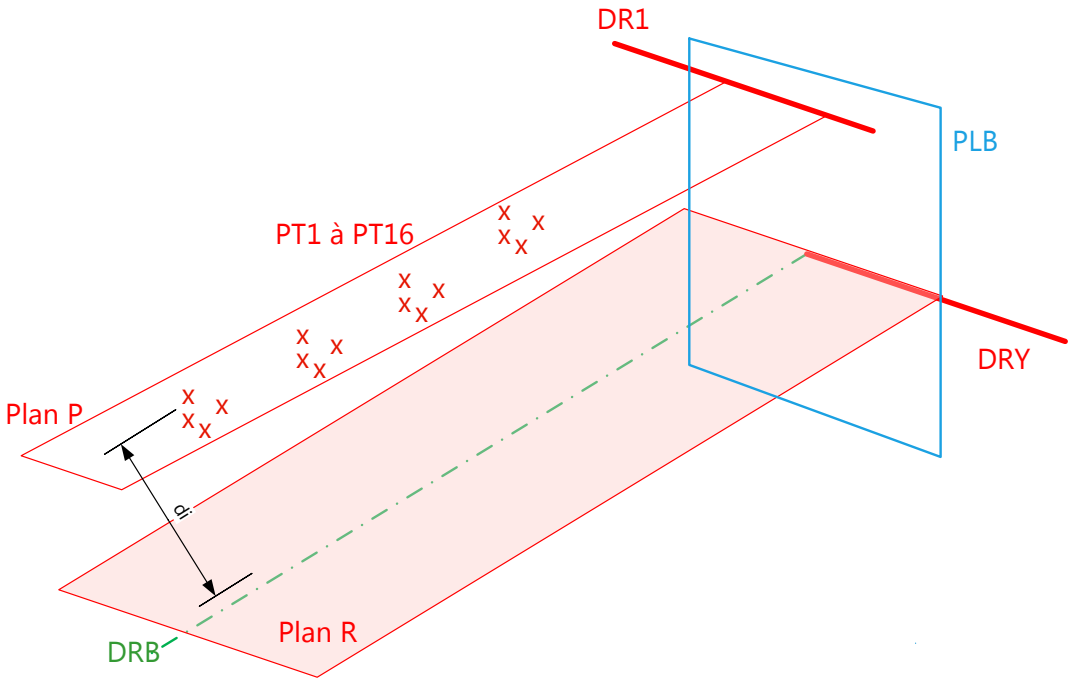
- Palper 16 points sur l'élément tolérancé (PT1 à PT16), associer le plan P avec le critère des moindres carrés.
- Palper 8 points sur l'éléments de référence A, associer le plus grand cylindre inscrit (à défaut associer un cylindre avec le critère des moindres carrés).
- Palper un point PT1 sur l'élément de référence B (si possible identifier le point le plus extrême).

Éléments construits :

- Construire la droite DRA, axe du cylindre A.
- Construire le plan B, perpendiculaire à DRA et passant par PTB.
- Construire la droite DR1 intersection du plan B et du plan P.
- Construire dans le plan B la droite DRY parallèle à DR1 et passant par l'axe du cylindre A.
- Construire le plan R comprenant les 2 droites sécantes DRA et DRY.

Mesure :

- Déterminer la distance de chaque des 16 points (PT1 à PT16) avec le plan R.
- Si toutes les distances sont comprises entre 38,95 et 39,05, la pièce est conforme au regard de cette spécification.



Conception du processus de fabrication du corps de guidage

Question 3-6 : choix du brut du corps de guidage

Le corps de guidage est une pièce cylindrique creuse de Ø80 réalisé en acier.
En tenant compte des surfaces fonctionnelles, un tube en acier standard de Ø80 et d'épaisseur 3 mm peut convenir et serait pertinent économiquement.

Question 3-7 : analyse de la simulation éléments finis

Les conditions aux limites de la simulation correspondent à deux encastrements aux extrémités du corps de guidage.
Ces conditions aux limites sont donc très défavorables pour la déformation de la zone sollicitée. En effet des supports peuvent permettre de se rapprocher de la zone d'insertion des coussinets. Toutefois, les contraintes générées dans la pièce sont localement très importantes et permettent d'envisager une déformation plastique importante dans la zone d'insertion même lorsque le trou est proche de la zone encastrée.
La limite élastique de l'acier est de l'ordre de 235 N/mm² soit $2{,}35.10^6$ N/m². Ainsi, l'insertion des coussinets peut générer une déformation plastique. Toutefois, le positionnement des axes des coussinets ainsi que du plan supérieur doit être maîtrisé avec une précision nécessitant une finition par usinage.

Question 3-8 : fabrication des trous de Ø24 du corps de guidage

Les trous de Ø24 ne permettent que l'assemblage et le réglage du système et doivent respecter un défaut de coaxialité de 0,1. Ainsi, nous pouvons les obtenir par perçage avec un foret de Ø24 par exemple.

Question 3-9 : fabrication des trous de Ø8 du coussinet.

La maîtrise de la forme géométrique et de l'orientation de l'axe entre les différents perçages de Ø8 des coussinets nécessite la mise en œuvre d'un procédé d'usinage. L'intérêt de l'opération d'alésage est que la dimension du trou réalisé est très peu influencée par la trajectoire d'usinage et dépend principalement de la précision géométrique de l'outil d'alésage. De plus, la coupe étant continue, l'opération d'alésage est plus productive qu'une opération de contournage.

Question 3-10 : calcul de l'état de surface pour l'opération d'alésage

Dans le cas de cette opération d'alésage, l'état de surface peut être modélisé par une succession d'arc de cercle de rayon 0,8 distant de 0,1.

Ainsi la hauteur de crête est de $\boldsymbol{R_t = \frac{f^2}{8r_\epsilon}}$=1,56 µm.

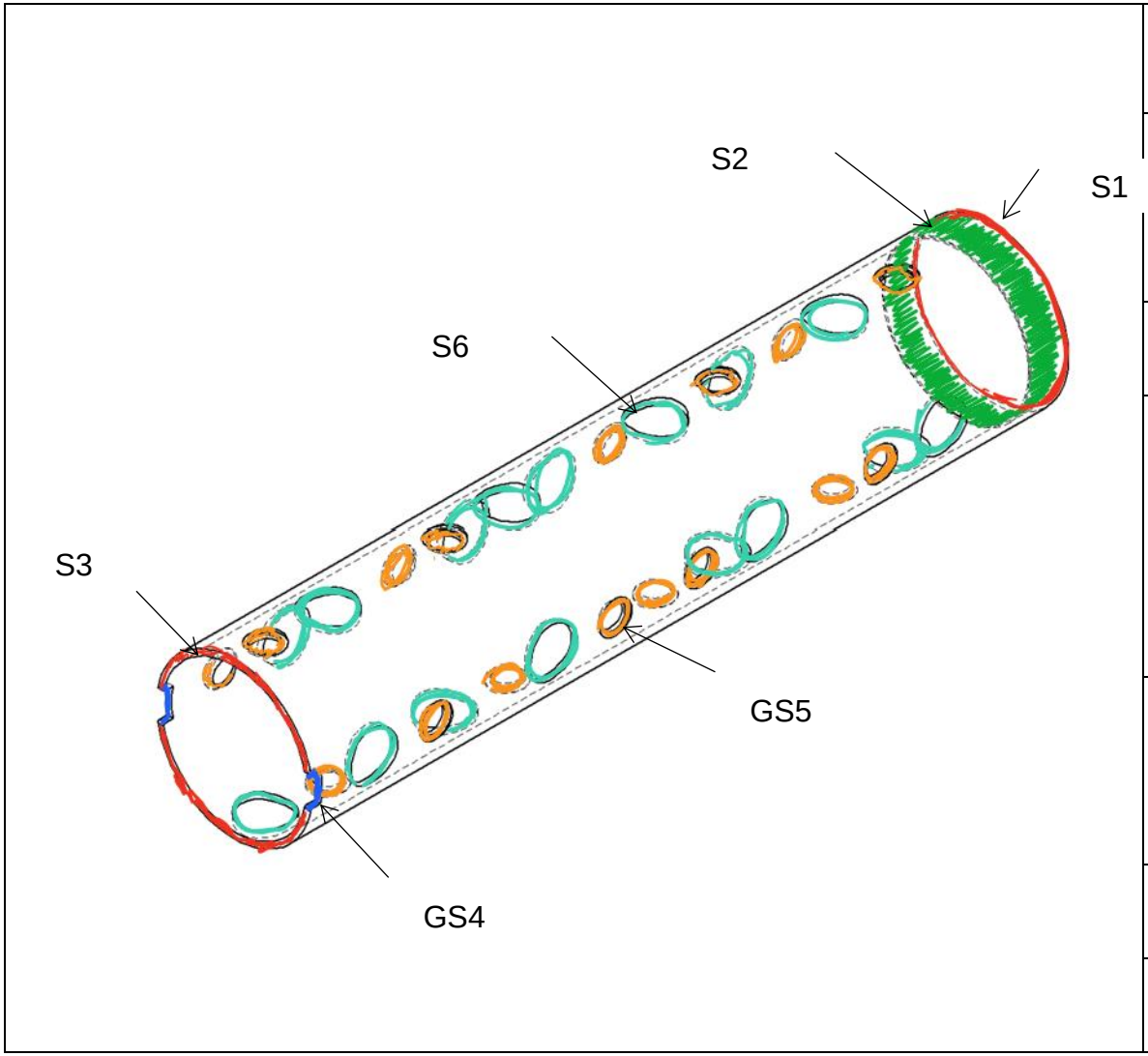
C'est une hauteur de crête très faible compatible avec la fonction de guidage de la surface usinée.

Question 3-11 : conclusion sur la gamme de fabrication

La gamme proposée permet, en usinant les trous de guidage une fois les coussinets assemblés dans le corps de guidage, de garantir la précision de position et d'orientation des axes des trous entre eux et avec les éléments de référence.
Cette gamme semble être suffisamment productive même si une optimisation des conditions de coupe peut être proposée.

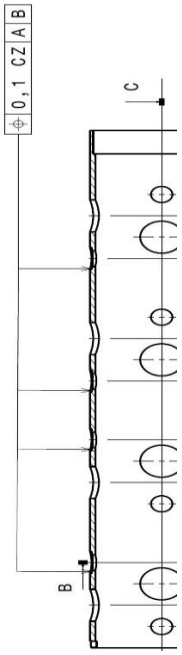
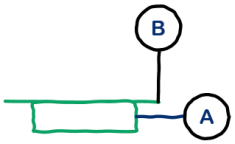
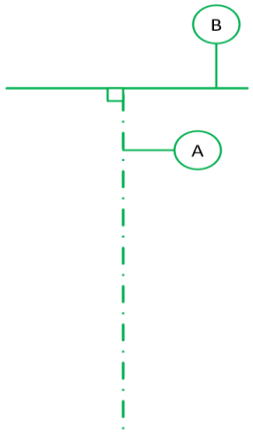
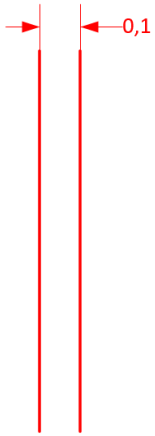
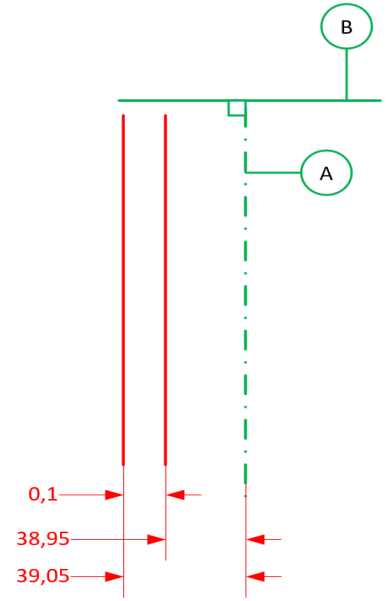
Question 3-12 : conclusion sur le système à cames

Ce système à cames exige une maîtrise de la précision d'orientation et de position des axes des poussoirs entre eux et vis-à-vis des cames.
Il est alors nécessaire de maîtriser la qualité d'usinage attendu pour ne pas générer de surcoût inutile et de prévoir des systèmes de réglage de la position des cames entre elles et vis-à-vis des axes des poussoirs.



Surface	Classe	Eléments de situation
S1	Plan 1	Plan
S2	Cylindre 1	droite
S3	Plan 2	Plan
GS4	Plan 3	Plan
	Plan 4	Plan
	Plan 5	Plan
GS5	Cylindre 2	droite
	Plan 6	Plan
S6	Cylindre 3	droite

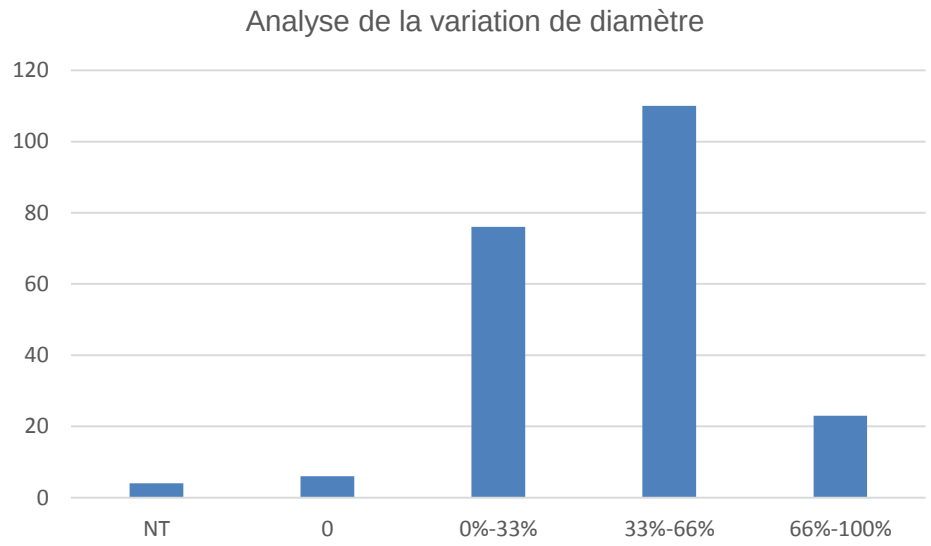
ANALYSE DES ANTERIORITES FONCTIONNELLES ET/OU DE POSITION				**Antériorités**						**Caractéristiques**	
IDENTIFICATION DES SURFACES DU MODÈLE VUES ISOMETRIQUES	**Fonction Technique assurée**	**Surfaces ou groupes de surfaces fonctionnelles**		**Primaire**		**Secondaire**		**Tertiaire**		**Intrinsèques**	**De contact**
S2	Mise en position du corps de guidage	SC 2	Centrage du corps de guidage								
S1	Mise en position du corps de guidage	SC 1	Appui	SC2	⊥						
GS4	Transmettre le mouvement de rotation aux pales	GC 4	Clampage	SC2	=	SC1	⊥			Parallélisme et distance entre les plans	
S3		SC 3									
GS5	Guidage des poussoirs	GC 5		SC1	⌖	SC2	⌖			Perpendicularité entre les 2 surfaces	
S6		S6	Trou de passage							Diamètre	
	Fonction technique assurée : MIP, MAP, passage d'autres pièces, rigidité de la pièce etc.	S = surface libre SC = surface de contact SB = surface brute MIP = Mise en position		G = groupe des surfaces libres GC = groupe des surfaces de contact GB = groupe des surfaces brutes MAP = Maintien en position							

Tolérancement normalisé		**ANALYSE D'UNE SPECIFICATION PAR ZONE DE TOLERANCE**				
Symbole de la spécification		**Éléments non idéaux** (Réels)		**Éléments idéaux** (Modèles)		
Type de spécification ☐ Forme ☐ Orientation ☒ Position ☐ Battement Localisation		**Élément(s) tolérancé(s)**	**Élément(s) de référence**	**Référence spécifiée**	**Zone de tolérance**	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit se situer entièrement dans la zone de tolérance		☐ Unique ☒ Groupe	☐ Unique ☒ Multiple	☐ Simple ☐ Commune ☒ Système	☒ Simple ☐ Composé	**Contraintes :** Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
		Ensemble des 4 surfaces nominalement planes 	La surface nominalement cylindrique A La surface nominalement plane B 	Droite A, axe du plus grand cylindre inscrit dans la surface A Le plan B, perpendiculaire à la droite A et tangent à la surface B 	Volume limité par 2 plans distants de 0,1 mm 	Les plans sont positionnés à 38,95 mm et 39,05 mm de la droite A (et par construction perpendiculaire à B) 

Cette spécification est à vérifier pour chaque pale.

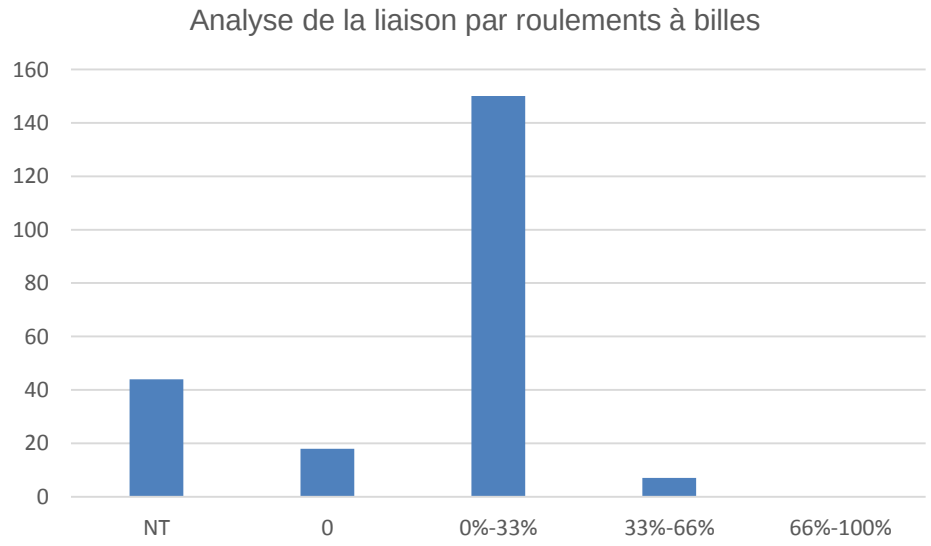
Commentaires du jury

Analyse de la variation de diamètre



La première partie a été traitée par une majorité de candidats. Cependant, beaucoup ont eu des difficultés dans la modélisation cinématique. En effet, les symboles normalisés sont mal maitrisés et les hypothèses simplificatrices ne sont pas prises en compte.
D'autre part, la compréhension du mécanisme se révèle difficile pour beaucoup ce qui ne leur a pas permis de traiter correctement les questions à ce propos.

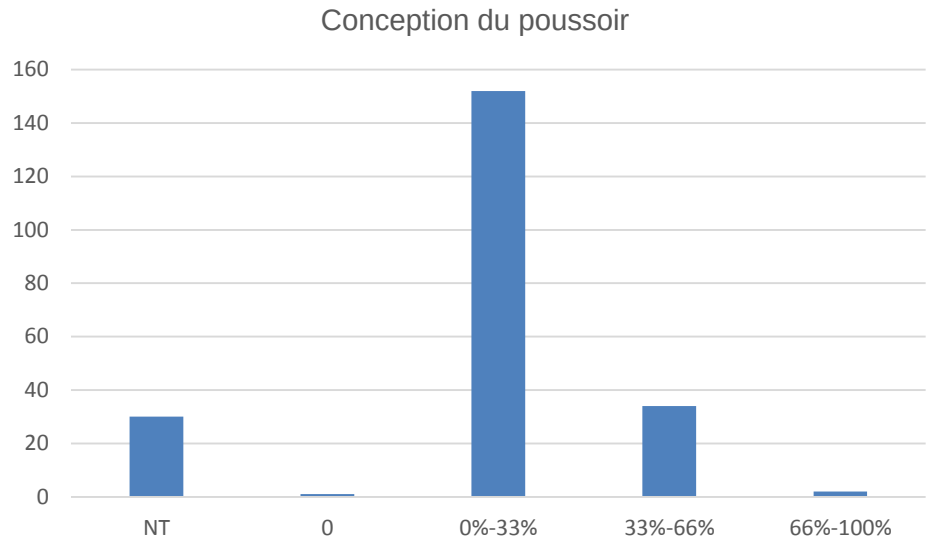
Analyse de la liaison par roulements à billes



Cette partie permet de valider le choix des roulements mis en place dans la solution actuelle.
La question 1-10 sur la schématisation du montage de roulement a été, en général, bien traitée ainsi que la question 1-11 sur la durée de vie du montage.
Toutefois, la question 1-12 traitant d'une sollicitation statique a perturbé beaucoup de candidats qui n'ont pas fait la nuance entre une sollicitation statique et dynamique.

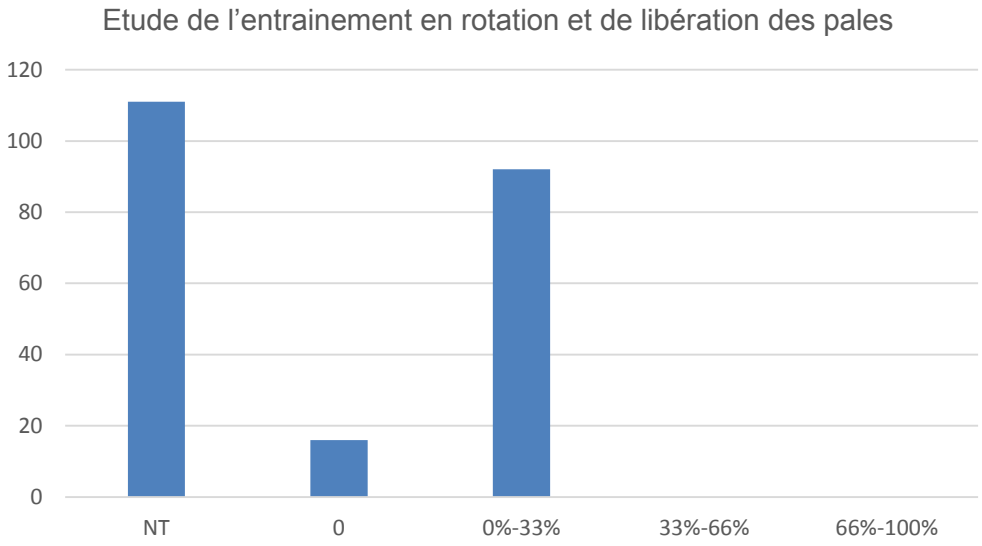
En ce qui concerne la question 1-13 qui était une question permettant de conclure sur le système complet, il était important de conclure à la fois sur le montage de roulement et sur le principe de réduction de diamètre. Les candidats doivent penser à argumenter leurs conclusions vis-à-vis du cahier des charges.

Conception du poussoir



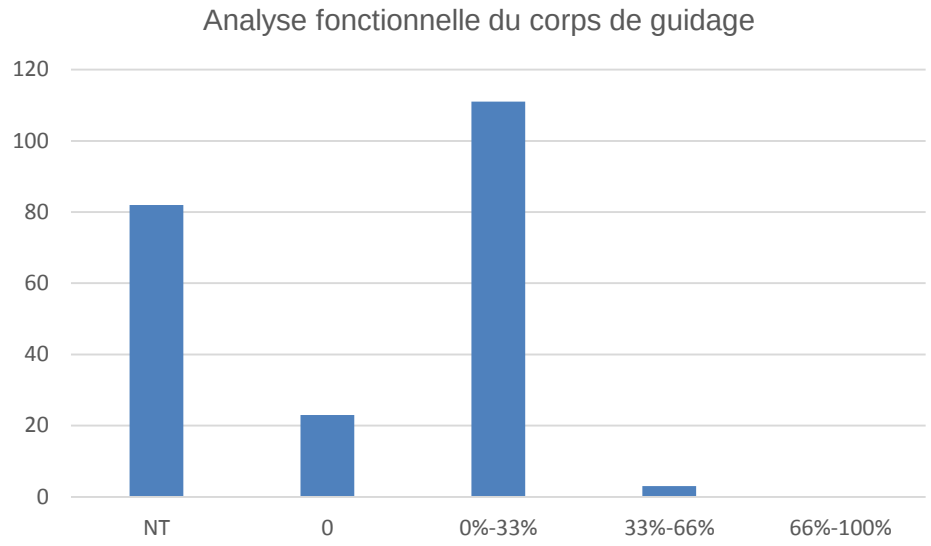
La partie RdM avec charge répartie a été traitée par 90% des candidats mais peu réussie.
Une majorité de candidats déterminent l'effort résultant sur chaque appui en divisant la charge totale par 4.
La méthode de calcul choisie n'est pas toujours bien présentée. 3 candidats ont noté précisément que le modèle proposé était hyperstatique.
Le contact sphère/cylindre avec la théorie de Hertz a été correctement traité par le peu de candidats qui ont répondu à cette partie.
Les relations étant données cette question ne présentait pas de difficulté.
L'analyse PPM est bien abordée.

Étude de l'entrainement en rotation et de libération des pales



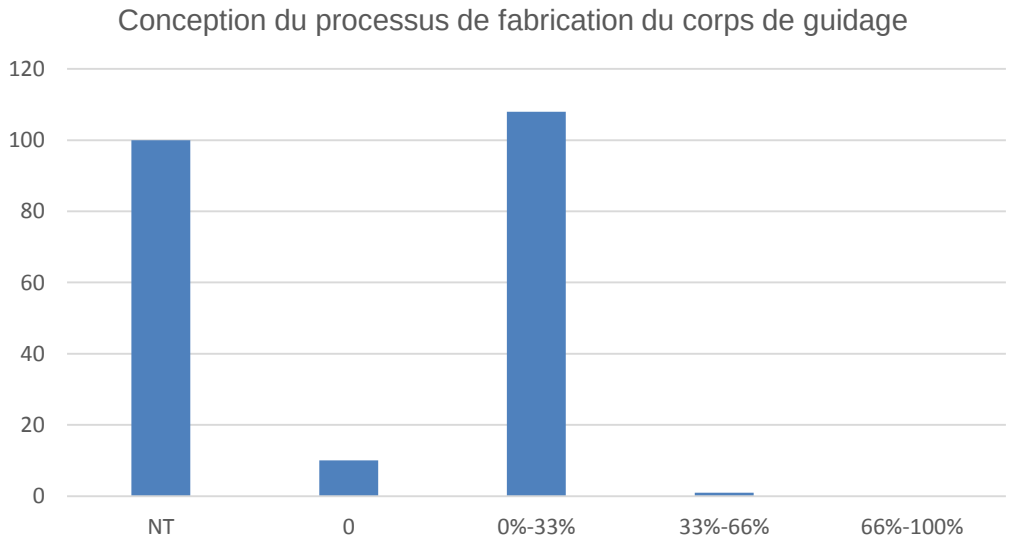
Cette partie d'analyse et d'optimisation fonctionnelle n'a été abordée que par peu de candidats. Ces derniers sont, dans l'ensemble, peu à l'aise avec la représentation graphique sous forme de croquis. Néanmoins quelques candidats ont formulé des réponses tout à fait exploitables.
En conclusion, les méthodologies d'optimisation associées aux procédés de fabrication additive ne sont pas suffisamment connues des candidats.

Analyse fonctionnelle du corps de guidage



Cette partie, traitant des démarches de spécification fonctionnelle, a été peu traitée par les candidats. Même si les grandes lignes de la démarche sont exprimées, les méthodologies ne sont pas suffisamment maitrisées.
En ce qui concerne l'analyse de spécifications, trop peu de candidats ont correctement répondu à ces questions, la plupart d'entre eux ne maîtrise pas le concept GPS. Ces notions, extrêmement fréquentes dans les sujets d'agrégation, sont incontournables dans le domaine de l'ingénierie mécanique.
Néanmoins, une minorité de candidats a fourni une analyse critique et pertinente des spécifications proposées.

Conception du processus de fabrication du corps de guidage



Cette partie permet d'étudier et de justifier une gamme de fabrication du corps de guidage.
La question 3-6 traite du choix du brut. À cette question, les réponses devaient préciser la forme du brut mais aussi ses dimensions.
La question 3-7 est basée sur l'analyse d'une simulation par éléments finis. Les candidats devaient discuter les conditions aux limites, le maillage et le résultat de la simulation. Trop de candidats n'ont pas conclu vis-à-vis des valeurs de contraintes obtenues.
Les questions 3-8 et 3-9 permettent de justifier le choix d'une opération d'usinage par rapport aux exigences du dessin de définition. Peu de candidats les ont traitées correctement ; il était attendu une analyse de la pertinence des choix proposés.
La question 3-10 est une question simple de calcul d'état de surface qui a été bien traitée par les candidats l'ayant abordé.
Les questions 3-11 et 3-12 sont des questions de conclusion. Certains candidats essaient de proposer des conclusions sans avoir compris la problématique de l'étude. Il est important de prendre du recul sur l'étude pour conclure de façon pertinente.

ACTIVITE PRATIQUE ET EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN SYSTEME PLURI-TECHNIQUE

Coefficient 2 – Durée 6 heures

Définition de l'épreuve (extrait du bulletin officiel et arrêté modificatif du 16 avril 2016, publié au journal officiel du 1er juin 2016)

Cette épreuve de coefficient 2 se déroule sur une durée totale de 6 heures réparties comme suit :

- activités pratiques : 4 heures ;
- préparation de l'exposé : 1 heure ;
- exposé : 30 minutes maximum ;
- entretien avec les membres de jury : 30 minutes maximum.

Dans l'option choisie « Ingénierie Mécanique », le candidat a déterminé, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : "conception des systèmes mécaniques" ou "industrialisation des systèmes mécaniques" pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique. De ce fait, les activités pratiques proposées au candidat durant l'épreuve prennent en compte le domaine d'activité déterminé au moment de l'inscription.

Concernant l'évaluation, 10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à l'exposé oral scientifique et pédagogique. Ces deux parties sont évaluées de façon indépendante. La première partie est évaluée par le ou les membres de jury qui ont suivi le candidat durant les activités pratiques proposées au candidat. La deuxième partie est évaluée par les membres de jury à partir de l'exposé du candidat et de l'entretien avec celui-ci.

Les membres de jury disposent d'une grille d'aide à la décision et à l'évaluation des compétences démontrées par le candidat pour ces deux parties distinctes.

Pour la première partie est évalué chez le candidat, sa capacité à :

- mettre en œuvre des matériels et équipements ;
- conduire une expérimentation ;
- **conduire une analyse** de fonctionnement d'un mécanisme ou produit, d'une solution technologique, d'un procédé, d'un processus
- exploiter des résultats obtenus ;
- exploiter les données ou informations échangées en interaction avec le membre de jury qui suit le candidat ;
- formuler des hypothèses et/ou des conclusions
- imaginer la séquence pédagogique qui sera présentée en deuxième partie.

De fait, le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier et relatif à la spécialité de l'agrégation. Pour mettre en œuvre les matériels ou les équipements, sont associés des systèmes informatiques de pilotage, de traitement de données, de simulation, de représentation… L'opérationnalité sur un matériel ou un logiciel spécialisé n'est pas exigée.

Pour la deuxième partie est évalué chez le candidat, sa capacité à :

- décrire, analyser la démarche expérimentale mise en œuvre en TP ;
- décrire une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé ;
- communiquer.

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

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative plus particulièrement des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie. La conception de la séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé, à un niveau de classe donné, suppose de 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 des activités pratiques relatives à un système technique.

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.

Déroulement détaillé de l'épreuve

Cette épreuve de 6 heures comporte donc 3 phases distinctes :

- phase 1 : activités pratiques, mise en œuvre des systèmes techniques et équipements et logiciels associés, et conception d'une séquence de formation (durée 4 heures)
- phase 2 : préparation de l'exposé dans une salle dédiée (durée 1 heure)
- phase 3 : exposé et entretien (durée 1 heure)

Le terme « système technique » doit être compris au sens large, les thèmes ou supports des activités pratiques proposées sont contextualisés, en référence à un système technique ou en référence à un produit extrait d'un support ou système technique.

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée conformément aux textes et circulaire en vigueur. Durant l'épreuve les candidats ont accès à un ensemble de ressources numériques et à internet. Les candidats disposent d'une tablette (système d'exploitation ANDROID) utilisable durant toute la durée de l'épreuve (accès à des ressources photo, vidéos, des animations préparées par les membres de jury, possibilités de prendre des photos ou vidéos pendant les activités pratiques). Durant l'épreuve le candidat n'est pas autorisé à communiquer, par quelque moyen que ce soit, avec toute personne étrangère au concours et qui n'aurait pas la qualité de membre de jury.

Phase 1

Cette phase se déroule au sein du plateau technique où sont mis à disposition des candidats les différents matériels, équipements et supports ou systèmes étudiés. Mobilisés au cours de cette première partie, ces moyens permettront aux candidats de proposer une séquence pédagogique. **La séquence pédagogique qui sera proposée à l'initiative du candidat doit être liée aux activités pratiques réalisées.**

Cette phase se déroule en 3 parties.

Première partie (durée indicative ≈ 0h30)

Le candidat est accueilli par un membre de jury. Il est invité à mettre en œuvre les matériels, supports et équipements associés aux activités pratiques de pilotage, d'expérimentation de traitement, de simulation, de représentation afin d'acquérir rapidement une certaine autonomie dans les activités pratiques proposées. Dans cette partie, les activités proposées ont pour objectif de faciliter l'appropriation du support et de l'environnement du TP. Le membre de jury qui suit le candidat s'attache, durant cette partie à faciliter, pour le candidat, la prise en main des matériels et logiciels associés aux activités pratiques. Le ou les membres de jury qui suivent le candidat durant l'épreuve vérifient que celui-ci s'est correctement approprié la problématique et les différentes activités proposées.

Deuxième partie (durée indicative et conseillée ≈ 2h00)

Le candidat doit d'abord s'organiser. Il lui appartient de répondre aux questions posées afin de résoudre les problèmes mis en évidence dans le cadre des différentes activités pratiques proposées. Ces activités et ces questions peuvent conduire le candidat à analyser le fonctionnement d'un produit, système ou solution technique, à analyser un procédé, un processus de réalisation, à analyser et vérifier les performances d'un système technique.

Le candidat doit donc planifier et répartir son temps, mobiliser ses connaissances et compétences pour résoudre le ou les problèmes mis en évidence. Dans le cadre d'une démarche technologique et/ou scientifique, le candidat doit démontrer sa capacité à formuler des hypothèses, à modéliser, à expérimenter, à organiser et exploiter des résultats obtenus au cours des activités pratiques et à caractériser les écarts constatés entre les réponses mesurées et/ou simulées.

Le candidat dispose de l'ensemble des moyens, données et ressources nécessaires aux activités proposées. S'il souhaite en disposer d'autres, il doit en faire la demande auprès des membres de jury qui décideront de l'opportunité, pour le candidat, d'en disposer.

Troisième partie (durée indicative et conseillée ≈ 1h30)

Le candidat doit concevoir une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé (ensemble, tout ou partie de compétences visées extraites des référentiels et programmes en vigueur), à un niveau de classe donné. Les membres de jury qui seront amenés à s'entretenir et à interroger le candidat, attendent de celui-ci la démonstration de sa capacité à exploiter le contexte qui lui a été proposé durant les activités pratiques, à exploiter les données et ressources fournies, mais aussi à exploiter les résultats obtenus au cours des activités pratiques pour alimenter la conception de sa séquence pédagogique. La proposition doit prendre appui sur ces données et ressources disponibles, sur les investigations, les problèmes qui étaient à résoudre et les analyses qu'il a pu conduire et sur les référentiels des diplômes

Le candidat dispose durant toute la durée de l'épreuve d'un moyen de stockage, avec les données et ressources ou archives numériques fournies, sur lequel il peut sauvegarder ses propres résultats.

Remarque : les membres de jurys font le constat que cette partie est souvent peu investie, partie qui est pourtant une étape essentielle et le fil conducteur de la finalité du TP. Il est rappelé que cette partie conditionne en grande partie l'évaluation du candidat lors de l'exposé oral.

Phase 2 : durée 1 heure, en salle de préparation (mise en loge)

Cette phase se déroule dans une salle mise à disposition du candidat. Il dispose d'un poste informatique relié à internet et équipé des logiciels de bureautique les plus courants afin de continuer à construire les éléments de sa séquence pédagogique et de continuer à préparer son exposé. Le candidat dispose uniquement des données fournies et des données et résultats obtenus qu'il aura pris le temps de sauvegarder durant la première phase.

Durant cette phase de préparation en loge, le candidat n'a plus accès aux matériels, systèmes et moyens mobilisés durant les 4 premières heures.

Le candidat dispose à l'issue de ces 4 heures de quelques minutes pour accéder à la salle de jury, installer et régler les moyens de présentation mis à sa disposition et tester sa présentation.

Phase 3 : durée une heure maximum, en salle de jury

Le candidat dispose d'un poste informatique équipé des principaux logiciels de bureautique, d'un vidéo projecteur relié à cet équipement informatique et d'un tableau blanc. Il peut mobiliser le support sur lequel il aura sauvegardé les données, ses résultats ainsi que sa présentation.

L'exposé oral du candidat d'une durée maximale de 30 minutes doit comporter :

- une présentation du système ou du produit étudié et de la problématique associée (durée conseillée 5 minutes) ;
- le compte rendu des activités, manipulations et investigations menées, une analyse et justification des résultats obtenus dans la deuxième phase de la première partie (durée conseillée 10 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique conçue (durée conseillée 15 minutes).

Le candidat est invité, au cours de sa présentation orale, en appui de la présentation numérique qu'il aura préparée et à l'aide des ressources et données fournies et organisées, à expliciter et justifier sa démarche, la méthode, les informations mobilisées dans le cadre de ses activités pratiques et de ses investigations, les éléments qui lui permettent de construire et de proposer ultérieurement une séquence pédagogique.

Il appartient ensuite au candidat de présenter sa séquence pédagogique, l'articulation des différentes modalités d'enseignement retenues, les moyens utilisés, la description des activités des élèves ou étudiants, les ressources mobilisées, la stratégie pédagogique envisagée ainsi que les conditions d'évaluation. À l'approche du temps imparti, le candidat sera invité à conclure.

L'entretien avec les membres de jury dure 30 minutes au maximum. Au cours de cet entretien, le candidat est interrogé et invité à préciser, à justifier et/ou à développer certains points de sa présentation, tant sur les aspects techniques et scientifiques en lien avec les activités pratiques réalisées que sur ses choix en matière de didactique et de pédagogie pour la séquence pédagogique proposée.

Thèmes et études proposées à la session 2017

- conception et validation d'une géométrie à partir d'études statique et dynamique ;
- dimensionnement d'une géométrie à partir d'études de comportement dynamique ;
- étude structurelle et énergique d'une chaîne de transmission de puissance ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification de processus ;
- étude de qualification et optimisation d'une phase de production ;
- caractérisation du phénomène de retrait dans un processus d'obtention de produit ;
- étude de solutions constructives dans un contexte technico économique ;
- étude d'une commande en position, caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé.

Le jury tient à préciser que les supports des travaux pratiques sont principalement en lien et prennent appui sur les référentiels des BTS et DUT industriels relevant des champs de l'ingénierie mécanique et mettant plus particulièrement en œuvre des moyens, des supports susceptibles de réaliser des activités de conception (préliminaire, détaillée) de produits industriels, de pré-industrialisation ou d'industrialisation de produits mécaniques, d'optimisation de processus faisant intervenir la relation « produit (fonctions et usages) – matériau – procédé – processus ».

Ces études proposées ont permis aux candidats de démontrer et mettre en œuvre leurs compétences dans le cadre des activités proposées (tout ou partie).

Pour la partie « travaux pratiques » :

- s'approprier le système, produit ou processus ;
- s'approprier la problématique proposée, les ressources associées ;
- mettre en œuvre les systèmes, des matériels ou les procédés ;
- mettre en œuvre les outils informatiques, les logiciels métiers, les instruments de mesure, les protocoles expérimentaux proposés ;
- conduire une analyse fonctionnelle, structurelle ou comportementale de façon rigoureuse ;
- obtenir et exploiter des données et/ou résultats exploitables ;
- formuler des hypothèses ;
- réaliser des développements scientifiques et technologiques ;
- décrire et caractériser des éléments du modèle de fonctionnement ou de comportement ;
- élaborer, justifier et analyser de manière critique les modèles ;
- comparer les données ou résultats issus des expérimentations ou des simulations par rapport aux performances réelles constatées, évaluées à partir d'un modèle ou à partir de critères issus d'un cahier des charges ;
- proposer des solutions d'amélioration ou d'optimisation ;
- proposer des solutions pour réduire les écarts constatés (réel, simulé, modélisé, expérimenté) ;
- formuler des conclusions.

Pour la partie exposé oral :

- décrire le système étudié ;
- synthétiser, mettre en forme, organiser les résultats des expérimentations, des investigations ;

- analyser, justifier les résultats obtenus issus des expérimentations, des investigations menées ;
- analyser les écarts constatés, formuler des hypothèses.

Et à la suite, en lien avec les référentiels de formation et de certifications en vigueur :

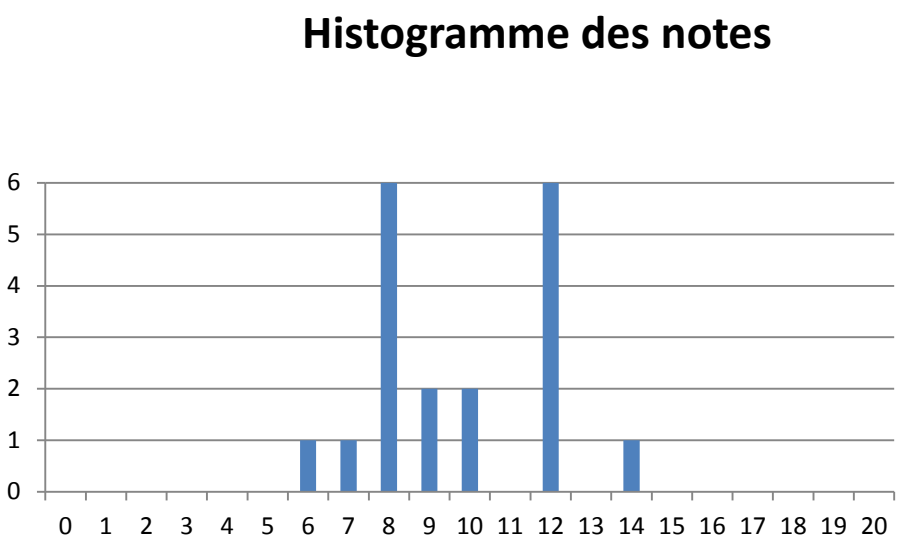
- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;
- replacer tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « travaux pratiques » dans la séquence pédagogique proposée ;
- décrire les activités des étudiants ;
- identifier les moyens et ressources mobilisés ;
- préciser les critères, modalités et conditions d'évaluation ;
- exposer de façon claire, précise et synthétique ;
- mobiliser les moyens de présentation mis à disposition ;
- communiquer avec les membres de jury de façon dynamique, interactive, réactive ;
- répondre aux questions posées de façon synthétique, cohérente, pertinente et argumentée.

Analyse des résultats

19 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- La moyenne des notes obtenues est de 09,3 /20
- La meilleure note est de 13,6/ 20.
- La note la plus basse est de 05,8/ 20.

Les notes se répartissent comme suit pour les deux parties évaluées :



En première analyse, ces résultats démontrent une moindre étendue des résultats, en comparaison avec les résultats des sessions précédentes. La différence dans la performance des candidats est notable vis-à-vis des 2 parties de cette épreuve. Seuls quelques candidats démontrent des performances satisfaisantes dans les 2 parties et obtiennent de ce fait une note supérieure à 10/20

Pour la 2ième partie « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury », (moyenne de 04/10), les performances démontrées sont en deca des performances démontrées en première partie. (moyenne de 05,3 /10)

Si le niveau de culture technologique reste globalement satisfaisant, les membres de jury ont constaté au travers des épreuves pratiques et lors des entretiens, des faiblesses en termes de connaissances scientifiques et d'approche méthodologique des problèmes à résoudre et à analyser. Pour un petit nombre de candidats, les résultats ne confirment pas les résultats obtenus dans le cadre des épreuves écrites.

Sur la première partie de l'épreuve**,** le jury constate pour plusieurs candidats, des difficultés récurrentes à :

- s'approprier rapidement le contexte et les ressources disponibles ;
- à utiliser les données fournies et/ou à mobiliser des outils de description ou d'analyse ;
- à effectuer les manipulations proposées ;
- à effectuer des développements scientifiques, démontrant ainsi ces lacunes en termes de compétences scientifiques pourtant attendues au niveau de l'agrégation ;
- à associer les activités à caractère expérimental (ou les investigations à mener) avec la nécessité de produire, à terme, une séquence pédagogique.

Des candidats ne consacrent pas suffisamment de temps pour exploiter les données et informations disponibles ou apportées par le membre de jury lors du suivi du candidat durant la première partie. Cette organisation des données est pourtant nécessaire pour ensuite les replacer judicieusement dans le cadre de la conception de la séquence pédagogique attendue. Ce constat est devenu récurrent. **De façon générale, les candidats consacrent trop peu de temps, durant le TP, à l'organisation et la mise en forme des données et résultats en vue de l'exploitation pédagogique attendue.**

Les membres de jury attendent du candidat la démonstration de sa compétence à concevoir une séquence pédagogique à partir d'un contexte et d'un environnement matériel et logiciel disponible. La finalité de cette partie réside bien dans la possibilité, pour le candidat, à pouvoir disposer de données, d'une approche méthodologique, technologique, scientifique, de résultats d'expérimentation, issus de simulation pour décrire la séquence pédagogique imaginée et les activités des étudiants au cours de différentes séances d'enseignement.

Sur la deuxième partie de l'épreuve, les membres de jury font les constats suivants :

Nombre de candidats ne valorisent pas leurs propres expériences de l'enseignement. Certains candidats consacrent beaucoup plus de temps à présenter une organisation générique de la séquence pédagogique sans toujours replacer les ressources disponibles, utilisées, existantes et les résultats obtenus. A cette session, peu de séquences ont été suffisamment bien conçues, décrites et détaillées.

Les recommandations suivantes restent d'actualité pour les futurs candidats

- Bien comprendre la commande pédagogique

Il est important que les candidats puissent disposer, avant de se présenter à cette épreuve, d'une meilleure connaissance des référentiels de BTS et de DUT relevant des champs de l'ingénierie mécanique et ce, pour pouvoir répondre aux attentes quant à concevoir et exposer une séquence pédagogique. Trop de candidats semblent découvrir le jour de l'épreuve, la structure, l'organisation et les contenus et les spécificités des référentiels de diplômes en vigueur.

Il est important également pour les futurs candidats d'avoir à l'esprit ce qui est demandé en termes de développement pédagogique. Dans un premier temps, la proposition ou la commande pédagogique présentée au candidat par le membre de jury, en début d'épreuve, doit permettre au candidat de comprendre la finalité des travaux pratiques et expérimentations proposées. La commande pédagogique est systématiquement limitée aux apprentissages associés à quelques tâches et compétences du référentiel du diplôme visé.

- Mettre en œuvre des matériels et des équipements

Durant l'activité pratique, les membres de jury recommandent aux futurs candidats :

- d'identifier les informations essentielles, étape indispensable pour une appropriation rapide du support et de la problématique ;
- d'utiliser les outils formalisés d'analyse externe et interne pour décrire le système ou le produit, les problématiques proposées ;
- de mobiliser leurs acquis techniques, scientifiques, leur connaissance des outils et méthodes d'ingénierie mécanique ;
- d'appréhender rapidement le fil directeur des activités et manipulation proposées afin de donner du sens à la proposition de la séquence pédagogique ;
- de respecter le temps conseillé pour chaque activité pour pouvoir s'appuyer sur chacune d'elle et pour donner davantage de consistance à la séquence pédagogique proposée ;
- d'organiser et présenter les résultats obtenus ;
- de sélectionner, au fur et à mesure des activités, les données et ressources jugées pertinentes, qui alimenteront l'exposé et la construction de la séquence pédagogique.

Pour cette activité pratique, il est rappelé aux futurs candidats la nécessité de faire la distinction entre valeurs mesurées et résultats extraits des simulations. L'activité pratique est au centre de la démarche de diagnostic des écarts puisqu'elle permet de formuler des hypothèses à partir des résultats obtenus, voire de remettre en cause la simulation ou la pertinence des mesures.

- Décrire l'organisation et le contenu d'une séquence

Pour rappel, une séquence est un ensemble de séances articulées entre elles dans le temps et organisées autour d'une ou plusieurs activités en vue d'atteindre un ou plusieurs objectifs. Il appartient au candidat de faire une proposition de séquence pédagogique qui permette de mettre en évidence et donc d'apporter les éléments suivants :

- pour l'étudiant, la définition de l'objectif de la séance, ce qui est visé ;
- les compétences que l'étudiant devra démontrer à la fin de la séquence ;
- les objectifs opérationnels qui permettent d'atteindre l'objectif de la séquence ;
- les savoir-faire et savoirs associés mobilisés durant la séquence ;
- les supports pouvant être mobilisés ;
- les activités (cours, TD, TP, projets, synthèses, structurations, …) qui seront initiées ;
- la durée de la séquence ;
- les évaluations prévues, avec la définition des indicateurs et critères d'évaluation.

Pour aborder la question de l'évaluation des étudiants à l'issue de la séquence proposée et présentée, les candidats doivent maitriser ce qui caractérise une compétence en termes de compétences détaillées, indicateurs de performance (critères et d'indicateurs d'évaluation). Cette question de l'évaluation n'est que trop rarement exposée.

- Communiquer : au cours de l'exposé, les membres de jury recommandent aux futurs candidats de répartir le temps consacré aux différentes parties de cet exposé de manière à répondre aux compétences attendues.

De ce fait, les membres de jury attendent des candidats :

- de concevoir un exposé qui soit à la fois structuré, organisé et dynamique en termes de présentation orale ;
- de ne pas négliger la présentation du système, le contexte du TP, la problématique, l'analyse des résultats obtenus qui alimenteront la séquence pédagogique ;
- de consacrer un temps suffisant pour exposer la conception de la séquence pédagogique imaginée, finalité du TP proposé ;
- de replacer la séquence dans le continuum de formation des étudiants, en référence aux programmes officiels (durées de formation, modalités de formation, définition des activités professionnelles, référentiel de certification, définition des épreuves) ;
- de capitaliser sur l'expérience vis-à-vis des modalités d'apprentissage, du concept de centres d'intérêts, de construction de séquences articulant les cours, les TD, les TP, de la notion de synthèse et de structuration des connaissances acquises ;
- de dégager les prérequis, les savoirs ou connaissances associées aux compétences visées, en référence aux contenus des programmes officiels (définition des activités professionnelles, référentiel de compétence et savoirs associés) ;
- de structurer la démarche de construction des compétences dans le cadre des différents apprentissages et activités proposés, en les distinguant, dans le cadre d'une intervention face à une la classe ou à un groupe d'étudiants ;
- de ce fait, d'identifier les moyens et/ou matériels, les outils logiciels et ressources numériques qui permettront aux étudiants de vivre la séquence pédagogique imaginée ;
- de dégager la plus-value de l'activité ou de la séquence proposée, préciser les avantages, les conditions de réussite mais aussi les contraintes pressenties ;
- de conclure sur l'intérêt du système ou support étudié, sa finalité en termes d'apprentissages pour les étudiants.

Conclusion

Il reste nécessaire que les futurs candidats identifient la finalité de cette épreuve et s'y préparent par une meilleure maitrise des outils d'analyse courants, par une plus grande capacité à construire, à mener des protocoles expérimentaux, à synthétiser, à organiser et à exploiter des données. Pour réussir cette épreuve, les futurs candidats doivent être en capacité de mobiliser leurs connaissances scientifiques et technologiques pour conduire ou construire des démarches technologiques et scientifiques qui permettront de mettre en évidence ou de conclure sur les écarts constatés entre les données disponibles les résultats issus de la mise en œuvre de système ou produits, des modèles simulés, d'étude expérimentale de comportement. **Les connaissances scientifiques et technologiques relevant des sciences de l'ingénieur et de l'industrie doivent être mobilisées et affirmées.**

Les candidats doivent pouvoir démontrer leur capacité à concevoir une séquence pédagogique cohérente, structurée, de ce fait il leur appartient de s'approprier les différentes évolutions pédagogiques et didactiques proposées dans les documents qui accompagnent les référentiels de formation, de compléter cette préparation par une lecture des articles pédagogiques régulièrement publiés sur les sites ressources académiques, nationaux et dans les revues disciplinaires. La connaissance de ces éléments et évolutions en matière de didactique et de pédagogie, la réflexion personnelle et l'expérience acquise, devraient pouvoir amener les futurs candidats à améliorer leur réflexion dans la construction, dans la présentation et la justification

de leur séquence pédagogique. Comme pour les épreuves écrites, pour cette épreuve pratique, scientifique et pédagogique, **la didactique et la pédagogie des enseignements en sciences de l'ingénieur et de l'industrie méritent d'être confortées par cette veille professionnelle.**

Les membres de jury recommandent aux futurs candidats **d'étudier de façon plus approfondie, les référentiels en vigueur**, ceux récemment rénovés ainsi que les documents ou ressources ou actes des séminaires qui les accompagnent. Ainsi les candidats pourront plus facilement identifier l'organisation des référentiels de formation, véritables cahiers des charges des enseignements à dispenser (référentiel des activités professionnelles, référentiel de compétences, nature, contenu et exigences des compétences détaillées à faire acquérir, savoirs associés, grille horaire, horaires des différents enseignements généraux et professionnels et contenus, définition de la certification , cadre de l'évaluation de ces compétences, et niveau d'exigence attendu).

ÉPREUVE SUR DOSSIER

Coefficient 1 – Durée 1 heure

Cette épreuve impose un rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relatif à un système pluri technologique contemporain. Pour cela, il est indispensable que les candidats prennent contact avec des responsables (ingénieurs, chercheurs, ...) au sein d'une entreprise afin d'identifier les problématiques techniques pertinentes ; un dossier élaboré à partir de ressources téléchargées sur Internet ne répond pas à l'esprit de cette épreuve.
Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à celle du candidat. Elle s'appuie sur la résolution d'un problème technique identifié et ne saurait se limiter à une simple vérification de performance. La justification de la solution à ce problème est conduite par le candidat au regard d'un cahier des charges explicite.
Ce compte rendu vise à mettre en évidence les caractéristiques de l'épreuve et les attentes du jury, afin de permettre aux candidats de conduire leur préparation dans les meilleures conditions.

1. Les attentes du jury, les critères d'évaluation

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat ; le jury le vérifie. Le dossier est réalisé dans le cadre d'un échange avec une entreprise. Le candidat doit montrer les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles. Ces investigations et développements doivent être traités au plus haut niveau scientifique et déboucher sur un travail personnel d'analyse sérieuse, de propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés, le tout démontrant la maîtrise d'une démarche scientifique pertinente complétée si cela est possible par des résultats d'expérimentation. Le niveau de confidentialité ne doit pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury. Le travail personnel attendu du candidat prend sens par la présentation argumentée des conclusions et non par la liste des actions menées.
Le dossier doit contenir les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine de la conception, de l'industrialisation et de la mécanique industrielle. On veillera à ce que les développements théoriques soient toujours justifiés au regard de la problématique posée.

Le support de l'étude doit permettre au candidat de faire preuve de réelles connaissances scientifiques et technologiques dans un contexte industriel choisi pour sa pertinence technique et pédagogique. Le candidat s'attachera à produire des documents techniques conformes aux normes en vigueur.
L'épreuve s'appuie sur un dossier personnel réalisé par le candidat. Le dossier est préparatoire à l'épreuve. Le jury demande au candidat de faire parvenir les dossiers en deux exemplaires et une clé USB. La clé USB contient le fichier du dossier à minima au format pdf, la maquette numérique 3D dont le fichier complet est fourni, les fichiers de simulation et tout document jugé utile par le candidat. La clé USB est à structurer en quatre répertoires : CAO, simulations,

dossier, et éventuellement annexes. Les maquettes numériques sont en format natif et en format neutre (iges ou step).

2. Les compétences évaluées

Parmi les compétences d'un futur enseignant, l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel permet d'évaluer plus particulièrement celles décrites ci-après à l'aide des points d'observations précisés.

1 - Construire un dossier technique et scientifique
- Choisir un support adapté aux attentes de l'épreuve
- Analyser un système et développer une étude en lien avec la problématique identifiée
- Présenter et justifier des solutions en réponse à la problématique

2 – Exploiter le dossier technique et scientifique dans le cadre d'activités pédagogiques
- Proposer une séquence pédagogique s'insérant dans une progression clairement formalisée
- Développer cette séquence en relation avec les attendus d'un référentiel spécifié
- Décrire les démarches et stratégies pédagogiques mises en œuvre
- Expliciter le dispositif d'évaluation associé

3 - Communiquer par écrit et oralement une idée, un principe, une solution technique ou un projet, des concepts pédagogiques
- Mobiliser des outils de communication efficients
- Développer une argumentation de qualité

3. Constats et recommandations du jury

De trop nombreux dossiers apparaissent comme traités dans l'urgence par les candidats.
Cette épreuve nécessite, comme toutes les autres, une sérieuse préparation tant dans la recherche d'un support pertinent que dans la résolution de la problématique technique authentique qui constituera le fil conducteur du dossier.
Le jury constate que de trop nombreux dossiers ne présentent pas le niveau d'analyse et d'investigation requis pour l'agrégation. En effet, le dossier technique présenté ne saurait se résumer à une simple description du système choisi par le candidat. Ce qui donne sens à l'analyse scientifique et technologique est uniquement constitué par la mise en exergue d'une véritable problématique technique authentique. Ainsi, le jury a apprécié l'introduction par certains candidats d'expérimentations en rapport avec la problématique traitée.

Quel que soit le support analysé, les éléments de définition du système (produit, processus, etc.) tels que cahier des charges fonctionnel du produit, dessin de définition, processus d'usinage, documents graphiques descriptifs du ou des outillages, etc. doivent être associés au dossier.
Les candidats doivent veiller à proposer des documents graphiques aux normes en relation avec l'étude menée. Le jury pourra toutefois être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles », le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Les candidats veilleront à ne pas rechercher de procédé ou de système technologique conduisant à une prestation purement descriptive et sans développement scientifique et technologique personnel.
Il n'y a pas de modèle unique tant les préoccupations, et donc les poids relatifs des parties, peuvent varier. Cependant, le jury attend que le candidat développe des applications pédagogiques et propose une progression au sein de laquelle prend part la ou les séances détaillées.
Une simple évocation des intentions pédagogiques ne saurait satisfaire aux exigences de l'épreuve.
A minima, on pourra trouver les parties suivantes : le contexte, l'entreprise, le système étudié ; la ou les problématiques techniques ; les développements au plus haut niveau permettant de déboucher sur une conclusion liée à la résolution de ces problématiques.
Ainsi, ces développements scientifiques et technologiques seront adaptés puis réinvestis dans l'exploitation pédagogique.

L'aspect technologique et scientifique
Le jury conseille de nouveau aux candidats :

- de rechercher un support moderne pluri-technologique, attrayant et industrialisé dès la décision d'inscription au concours ;
- de choisir un support dont l'authenticité et l'actualité sont des éléments décisifs. Il se caractérise par une compétitivité reconnue, par la modernité de sa conception et par sa disponibilité réelle, qu'il soit de type "grand public" ou de type "équipement industriel" ;
- de vérifier les potentialités du support au regard des développements scientifiques, technologiques et pédagogiques possibles ;
- d'utiliser une ou plusieurs problématiques techniques pour guider l'étude répondant à un cahier des charges précisé et explicite. L'expérience montre que sans problématique technique, il est difficile d'éviter le piège de la validation de l'existant ;
- de rechercher une pertinence et une authenticité des problèmes posés ;
- de mettre en œuvre de manière lisible les méthodes de résolution de problème et les outils associés. Il est utile de rappeler que les outils numériques ne doivent pas être utilisés comme des « boîtes noires ». La maîtrise des modèles scientifiques utilisés avec ces outils est exigée. Pour le cas des codes « Éléments Finis », il convient de maîtriser les formulations, les algorithmes de résolution, la mise en données ;
- de ne pas se limiter à des photos annotées et légendées ou à une description textuelle pour expliquer le fonctionnement du système. L'utilisation de schémas, voire d'animations, est vivement encouragée ;
- de justifier les modèles d'étude et leur domaine de validité, les hypothèses formulées, les solutions technologiques retenues et les méthodologies utilisées ; le développement des calculs associés au cours de l'exposé doit être réduit aux étapes essentielles (l'utilisation d'outils de simulation numérique est appréciée lorsqu'elle est pertinente) ;
- de s'appuyer sur une maquette numérique fonctionnelle, permettant l'utilisation d'outils de simulation de comportement ou de simulation de procédé/processus pour la partie étudiée ;
- de placer l'étude d'une manière adaptée dans le cadre général d'une méthode moderne de développement de produit (ingénierie collaborative, simulation numérique, optimisation produit-matériau-procédé, spécifications ISO, utilisation d'une chaîne numérique intégrée, pré-industrialisation, industrialisation, réalisation...) sans voir dans chaque point un passage obligé ;
- de proposer un dessin d'ensemble et la définition ISO d'un composant respectant la normalisation ;

- de conserver un regard critique par rapport au travail réalisé en lien avec l'entreprise.

Le jury rappelle aux candidats que le développement de l'étude scientifique et technologique ne peut pas se résumer à l'élaboration d'outils d'analyse. In fine, si ces outils sont nécessaires à l'étude, ils n'ont de sens que pour répondre à la conception ou reconception technique de tout ou partie du système étudié, objet de la problématique à résoudre.
Le jury apprécie des réponses, précises, quant au contexte de la conception, de l'industrialisation ou de la réalisation car elles attestent d'une réelle investigation au sein de l'entreprise fruit d'une étroite collaboration.

L'aspect pédagogique

Dans sa partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Au moins une d'entre elles doit faire l'objet d'un développement conséquent, c'est une séquence complète qu'il s'agit de développer. Outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, il est impératif de mettre en situation la ou les activités proposées, leurs finalités pédagogiques et d'intégrer cette séquence dans une progression pédagogique formalisée. Le jury regrette, malgré ses précédentes recommandations, que trop peu de dossiers n'aient présenté ces caractéristiques pour la session 2015.
La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury. La partie pédagogique ne peut pas être entièrement décorrélée de la problématique investiguée dans la partie étude scientifique et technique.

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

- d'identifier des propositions d'exploitation pédagogique, pré et post baccalauréat pertinentes en relation avec les points remarquables du dossier. L'exhaustivité n'a pas à être recherchée ;
- de proposer les exploitations pédagogiques dans le respect des référentiels et des directives pédagogiques ;
- de positionner la séquence dans une progression pédagogique sur le cycle de formation choisi ;
- de détailler les intentions pédagogiques ;
- de préciser les objectifs pédagogiques et d'être attentif à leur formulation ;
- d'identifier les difficultés prévisibles afin de scénariser la séquence et préciser la démarche pédagogique retenue en argumentant les raisons de ce choix ;
- préciser les acquis et besoins des élèves pour réaliser l'activité ;
- de privilégier les activités pédagogiques s'adossant à un problème technique réel issu du support industriel ;
- d'envisager des travaux pratiques sur le réel lorsque le support et la problématique le permettent.

L'expression et la communication dans le dossier

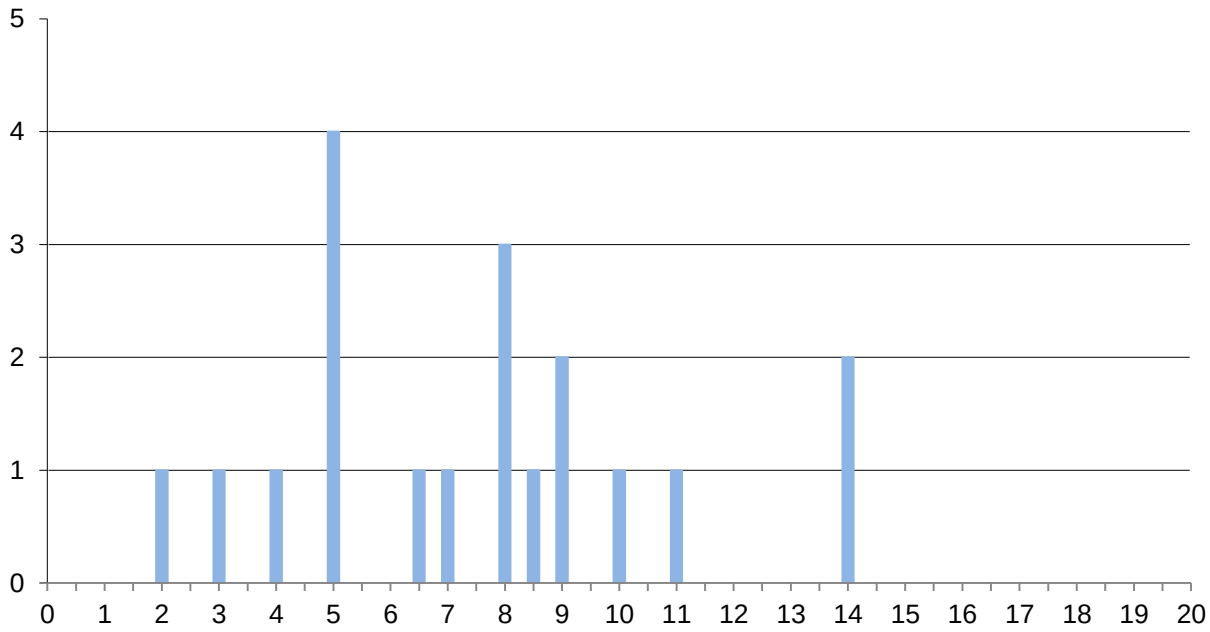
La qualité du dossier et le respect des règles qui lui sont imposées (date d'envoi, support numérique) montrent la maîtrise par le candidat des outils de la communication écrite et la façon dont il s'inscrit dans une institution.
La prestation du candidat, à l'oral permet au jury d'évaluer qu'il sait maîtriser la communication dans une classe et exercer de manière efficace et sereine sa fonction de professeur.

Les questions posées par le jury permettent d'approfondir quelques-unes des informations données par le candidat, dans le dossier autant que dans l'exposé, et à renforcer au sein du jury la conviction que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel.

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats de :

- préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée de trente minutes maximum ;
- préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement ;
- lors de la présentation, limiter le nombre de diapositives ;
- profiter des temps de préparation, qui ne sont pas des temps d'attente ; en particulier, ouvrir les fichiers annexes (CAO, vidéo) qui peuvent être utiles pour répondre à certaines questions ;
- de prendre un soin particulier à l'orthographe et à la typographie (notamment à l'écriture des unités de mesure) ;
- pour les candidats qui souhaitent présenter à nouveau un dossier élaboré pour une précédente session, de continuer à faire vivre le partenariat engagé, de faire évoluer le dossier et de prendre en compte les remarques du jury lors des entretiens précédents.

4. Histogramme des résultats

19 candidats ont composé

- La moyenne des notes obtenues est de 07,5 /20
- La meilleure note est de 14 / 20.
- La note la plus basse est de 02 / 20.