



# **Concours du second degré**

## **Rapport de jury**

---

### **Concours : agrégation externe**

**Section : sciences industrielles de l'ingénieur**  
**Option : sciences industrielles de l'ingénieur et**  
**ingénierie mécanique**

**Session 2015**

Rapport de jury présenté par :

Monsieur Norbert PERROT  
Inspecteur Général

Président de jury

## Sommaire

Membres du jury de la session 2015	3
Résultats statistiques	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	27
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	31
Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	43
Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	46
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	62
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	66
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	72
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	79
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	86
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	90

## Membres du jury

### Président

PERROT Norbert – IGEN

### Vice-président

CHAMPANEY Laurent – Professeur des Universités – Arts et Métiers ParisTech – Paris

### Secrétaire du jury

GAMELON Cédric – Professeur de chaire supérieure – Lycée La Martinière Monplaisir – Lyon

### Membres du jury

BERTHIAUD Olivier – Chef de travaux – Lycée La Martinière Monplaisir – Lyon

BLANC-SERRIER Séverine – Professeure de chaire supérieure – Lycée Montaigne – Bordeaux

BOUDELIER Aude – Professeure agrégée – Arts et Métiers ParisTech Angers

CHARLAT Sylvain – Professeur agrégé – IFMA – Aubière

CHÉREAU Jean-Marc – Professeur de chaire supérieure – Lycée Condorcet – Paris

DERUMAUX Marc – Professeur de chaire supérieure – Lycée Saint-Louis – Paris

DONY Benoît – Professeur agrégé – Lycée Louis Aragon – Givors

GARREAU Christian – Professeur de chaire supérieure – Lycée Déodat de Séverac – Toulouse

GAREL Jean-Michel – IA-IPR – Lille

GERGADIER Sébastien – Professeur de chaire supérieure – Lycée Richelieu – Rueil-Malmaison

GOMBERT Sandrine – Professeure de chaire supérieure – Lycée Henri Wallon – Valenciennes

HÉLARD David – IA-IPR – Lille

JACQUET Benoît – Professeur agrégé – Université Paris-Est – Marne-la-Vallée

LEFEBVRE Philippe – IA-IPR – Dijon

MORICE Yannick – IA-IPR – Clermont-Ferrand

NOËL Nadine – Professeure agrégée – INSA Lyon – Villeurbanne

POTIER Patrick – IA-IPR – Poitiers

PUGNETTI Stéphane – Professeur de chaire supérieure – Lycée Victor Hugo – Caen

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2015 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 24 juin inclus au 2 juillet 2015 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

## Résultats statistiques de la session 2015

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
427*	27	199**	63	27

\*dont 46 candidats à l'agrégation marocaine

\*\* dont 22 candidats à l'agrégation marocaine

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	17,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	9,5
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par les deux premiers candidats ex aequo admis	17,4
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	10,7

## Avant-propos

Cette session est dans la continuité de la précédente tant au niveau du comportement des candidats que du taux de sélection puisque 27 candidats ont été déclarés admis alors que 199 ont participé aux trois épreuves d'admissibilité.

Dans cet avant-propos, je souhaite surtout insister sur les éléments que j'ai déjà énoncés dans les rapports des sessions 2013 et 2014. Le paragraphe suivant, issu du rapport 2014, est encore et toujours d'actualité : *« L'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Celles-ci sont évaluées dans les trois épreuves d'admission. Il importe donc de les préparer dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique ne s'improvise pas, cela nécessite entraînement et réflexion. Si le jury apprécie que le candidat positionne sa séquence dans la progression pédagogique annuelle et précise les objectifs et les prérequis, il attend que le candidat décrive et justifie les activités et les démarches qui permettent d'atteindre les objectifs. Ensuite, le candidat doit proposer une évaluation et éventuellement une remédiation ».*

D'ailleurs la direction générale des ressources humaines a adressé le rappel suivant aux présidents de concours de recrutement de professeurs : *« Comme vous le savez, les nouvelles épreuves des CAPES, CAPET, CAPLP et CAPEPS ont été conçues afin de prendre en compte une évaluation des compétences disciplinaires tout en établissant une professionnalisation progressive de leur contenu. Ainsi, les épreuves d'admissibilité évaluent la capacité du candidat à mobiliser des savoirs et des techniques dans une perspective professionnelle, tandis que les épreuves d'admission évaluent la capacité à élaborer une activité pédagogique à destination des élèves, à investir une situation d'enseignement en tant que futur professeur et à maîtriser des gestes techniques et professionnels ».*

Les coefficients des épreuves d'admission et leur définition mettent clairement en évidence la nécessité d'axer la préparation sur l'élaboration de séquences pédagogiques.

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps et impose de commencer à l'élaborer dès l'inscription au concours. L'objectif du dossier est **de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers l'Éducation nationale, afin d'enrichir son enseignement par des exploitations pertinentes de supports techniques modernes et innovants. Il n'est pas demandé aux candidats de concevoir ou de reconcevoir un système ou un sous-système pluritechnologique.**

Il est conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 25 novembre 2011 publié au JORF du 10 janvier 2012 et l'arrêté du 25 juillet 2014 publié au JORF du 12 août 2014, et les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport.

La description des épreuves des concours prévoit qu'*« au cours de l'entretien qui suit l'exposé du candidat, la perspective d'analyse de situation professionnelle définie par l'épreuve est élargie à la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République ».* Madame la ministre de l'Éducation nationale a demandé à tous les présidents des concours de recrutement *« de veiller à ce que dans ce*

*cadre, les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place » afin « que l'École soit en mesure, par la formation et le recrutement de nos futurs enseignants, de valider la mission première que lui fixe la Nation, à savoir de transmettre et de faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République ainsi que l'ensemble des dispositions de la Charte de la laïcité, portant notamment égale dignité de tous les êtres humains et liberté de conscience de chacun ».*

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

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

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

Cette session 2015 s'est révélée être d'un excellent niveau. Le jury félicite les candidats et leurs formateurs. Le classement à l'issue des épreuves d'admissibilité a été complètement bousculé après les épreuves d'admission. Cela prouve que celles-ci doivent être préparées dès l'inscription au concours.

Parmi les 63 candidats admissibles, cinq ne se sont pas présentés aux épreuves de la session d'admission.

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

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

Norbert PERROT  
Président du jury

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

## Question 1

Équipement	P	Q	S	cos(φ)
Dessableur Sotres	326	193	379	0,86
Dessilteur	144	108	180	0,80
Centrifugeuse	90	58	107	0,84
Base vie	32	0	32	1,00
Auxiliaires	14	7	16	0,90
<b>Total</b>	<b>606</b>	<b>366</b>	<b>709</b>	<b>0,86</b>

$$S = \sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2} = \sqrt{606^2 + 366^2} = 709 \text{ kVA}$$

La puissance apparente nominale du groupe électrogène vaut 800 kVA pour une puissance nominale consommée de 709 kVA, le groupe semble bien dimensionné.

## Question 2

$$\underline{I}_1 = \frac{(U_{12} - U_{31})}{\left(\frac{R_m}{g} + j \cdot X_m\right)}, \quad \underline{I}_1 = \frac{(V_1 - V_2 - V_3 + V_1)}{\frac{R_m}{g} + j \cdot X_m} \text{ avec } \underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = 0$$

$$\text{d'où } \underline{I}_1 = \frac{3 \times V_1}{\frac{R_m}{g} + j \cdot X_m} = \frac{V_1}{Z_{MPND}}$$

$$Z_{MPND} = \frac{\left(\frac{R_m}{g} + j \cdot X_m\right)}{3}$$

## Question 3

pour  $g = 1$  (démarrage) :

$$I = \frac{V'}{\sqrt{\left(R_c + \frac{R_m}{3g}\right)^2 + \left(X_c + \frac{X_m}{3}\right)^2}} = \frac{230}{10^{-3} \sqrt{\left(1,1 + \frac{54}{3}\right)^2 + \left(2,4 + \frac{600}{3}\right)^2}} = 1131 \text{ A}$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{X_m \cdot g}{R_m}\right) = \arctan\left(\frac{600}{54}\right) = 85^\circ$$

Au démarrage, le seul moteur du dessableur absorbe à lui tout seul un courant plus important que le courant nominal total de l'installation. Le groupe électrogène sera très fortement surchargé si le démarrage a lieu alors que plusieurs machines sont déjà sous tension.

#### Question 4

$$\underline{I} = \frac{\underline{E}}{R_s + R_c + \frac{R_m}{3g} + j \cdot \left( X_s + X_c + \frac{X_m}{3} \right)}$$

Ce qui donne en module :

$$I = \frac{E}{\sqrt{\left( R_s + R_c + \frac{R_m}{3g} \right)^2 + \left( X_s + X_c + \frac{X_m}{3} \right)^2}} = \frac{230}{10^{-3} \sqrt{\left( 40 + 1,1 + \frac{54}{3} \right)^2 + \left( 180 + 2,4 + \frac{600}{3} \right)^2}} = 594 \text{ A}$$

$$\underline{V} = \frac{\underline{E} \cdot (R_m + j \cdot X_m)}{3R_s + 3R_c + R_m + j \cdot (3X_s + 3X_c + X_m)}$$

$$V = \frac{E \cdot \sqrt{R_m^2 + X_m^2}}{\sqrt{(3R_s + 3R_c + R_m)^2 + (3X_s + 3X_c + X_m)^2}} = \frac{230 \cdot \sqrt{54^2 + 600^2}}{\sqrt{(3 \cdot 40 + 3 \cdot 1,1 + 54)^2 + (3 \cdot 180 + 3 \cdot 2,4 + 600)^2}} = 119 \text{ V}$$

La chute de tension sur le réseau est très importante, elle provoquera un affaiblissement très marqué des points lumineux connectés sur l'installation et causera de nombreux dysfonctionnements. Cette chute de tension provoquera une baisse importante du couple de démarrage du moteur. Il en résultera une augmentation du temps de démarrage, voire l'impossibilité de démarrer.

#### Question 5

On obtient directement  $\underline{Z}_{MPNY} = \left( \frac{R_m}{g} + j \cdot X_m \right)$

#### Question 6

$$I' = \frac{V'}{\sqrt{\left( R_c + \frac{R_m}{g} \right)^2 + (X_c + X_m)^2}} = \frac{230}{10^{-3} \sqrt{(1,1 + 54)^2 + (2,4 + 600)^2}} = 392 \text{ A}$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{X_m \cdot g}{R_m}\right) = \arctan\left(\frac{600}{54}\right) = 85^\circ$$

Le courant de démarrage est trois fois plus faible que précédemment. Le gain est très intéressant.



### Question 7

Équipement	P	Q	S	cos(φ)	I
Dessableur Sotres	326	193	379	0,86	547
Dessilteur	144	108	180	0,80	260
Centrifugeuse	24	270	272	0,09	392
Base vie	32	0	32	1,00	46
Auxiliaires	14	7	16	0,90	23
Total	541	579	792	0,68	1143

$$I_2 = \frac{S_{total}}{\sqrt{3} \cdot U} = 1143A$$

Ce courant reste inférieur au courant maximal du groupe électrogène qui vaut 1 270A. Cette solution est donc utilisable.

### Question 8

$$I = \frac{V}{\sqrt{\left(\frac{R_m}{g}\right)^2 + X_m^2}}$$

$$P_T = 3 \cdot \left(\frac{R_m}{g}\right) \cdot I^2 \quad \text{et} \quad C_{EM} = \frac{P_T}{\Omega_s}$$

$$C_{EM} = \frac{3 \cdot R_m}{g \cdot \Omega_s} \cdot \frac{V^2}{\left(\frac{R_m}{g}\right)^2 + X_m^2}$$

d'où

$$C_{EM} = 3 \cdot R_m \cdot V^2 \cdot \frac{(\Omega_s - \Omega)}{\Omega_s^2 \cdot R_m^2 + (\Omega_s - \Omega)^2 \cdot X_m^2}$$

### Question 9

Pendant le démarrage étoile,  $\Omega = 0$ , le moteur est sous tension réduite d'un facteur  $\sqrt{3}$ .

$$C_{démarrage} = V^2 \cdot \frac{3 \cdot R_m}{\Omega_s \cdot (R_m^2 + X_m^2)}$$

Le couple électromagnétique est 3 fois moins élevé qu'en démarrage direct. Ce couple de démarrage faible impose que le moteur démarre à vide ou avec une charge réduite. C'est le cas des centrifugeuses dont le moment du couple est une fonction quadratique de la vitesse de rotation :

$$C_{charge} = K_\Omega \cdot \Omega^2 + K$$

### Question 10

Le variateur de vitesse permet un démarrage plus progressif, moins brutal pour la machine et la charge entraînée en limitant les à-coups mécaniques. Le courant de démarrage est fortement réduit et le fort appel de courant transitoire lors du passage du couplage étoile au couplage triangle est éliminé. En revanche, le variateur présente l'inconvénient d'absorber un courant non sinusoïdal, générateur

d'harmoniques qui, compte tenu des fortes impédances du groupe électrogène, déformera la tension du réseau.

### Question 11

Pour une pompe, on a :

$$H_p = H_{oha} + A_a \cdot Q_1 + B_a \cdot Q_1^2$$

$$H_c = H_s + M \cdot Q_1^2$$

Le point de fonctionnement correspond à  $H_c = H_p$ .

d'où, en ne conservant que la solution positive :

$$Q_1 = \frac{A_a + \sqrt{A_a^2 - 4 \cdot (M - B_a) \cdot (H_s - H_{oha})}}{2 \cdot (M - B_a)} = \frac{0,1 + \sqrt{0,1^2 - 4 \cdot (2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3}) \cdot (5 - 70)}}{2 \cdot (2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3})} = 201,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Pour deux pompes, chacune fournit un débit  $Q = Q_2/2$  où  $Q_2$  est le débit total fourni par les deux pompes. On obtient la caractéristique des deux pompes en parallèle :

$$H_p = H_{oha} + \frac{A_a}{2} \cdot Q_2 + \frac{B_a}{4} \cdot Q_2^2$$

$$H_c = H_s + M \cdot Q_2^2$$

d'où, en ne conservant que la solution positive :

$$Q_2 = \frac{A_a + \sqrt{A_a^2 - 4 \cdot (4 \cdot M - B_a) \cdot (H_s - H_{oha})}}{(4 \cdot M - B_a)} = \frac{0,1 + \sqrt{0,1^2 - 4 \cdot (4 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3}) \cdot (5 - 70)}}{(4 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3})} = 349,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Même raisonnement pour trois pompes fournissant chacune un tiers du débit total  $Q_3$ .

$$H_p = H_{oha} + \frac{A_a}{3} \cdot Q_3 + \frac{B_a}{9} \cdot Q_3^2$$

$$H_c = H_s + M \cdot Q_3^2$$

d'où, en ne conservant que la solution positive :

$$Q_3 = \frac{3 \cdot A_a + 3 \cdot \sqrt{A_a^2 - 4 \cdot (9 \cdot M - B_a) \cdot (H_s - H_{oha})}}{2 \cdot (9 \cdot M - B_a)}$$

$$Q_3 = \frac{3 \cdot 0,1 + 3 \cdot \sqrt{0,1^2 - 4 \cdot (9 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3}) \cdot (5 - 70)}}{(9 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 1,9 \cdot 10^{-3})} = 440,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

### Question 12

On cherche la caractéristique manométrique de la pompe entraînée à une vitesse de rotation différente de la valeur nominale.

D'après les lois de similitude, en posant  $\mu_1 = \mu_2$  et  $\sigma_1 = \sigma_2$  on obtient :

$$\frac{g \cdot H_1}{\omega_1^2 \cdot R_1^2} = \frac{g \cdot H_2}{\omega_2^2 \cdot R_2^2} \quad \text{et} \quad \frac{Q_1}{\omega_1 \cdot R_1^3} = \frac{Q_2}{\omega_2 \cdot R_2^3}$$

C'est la même pompe donc le rayon de la roue ne change pas :

$$H_2 = \frac{H_1 \cdot \omega_2^2}{\omega_1^2} \text{ et } Q_2 = \frac{Q_1 \cdot \omega_2}{\omega_1}$$

$$H_p = \frac{\omega_x^2}{\omega_N^2} \left( H_{ohe} + A_e \cdot \frac{\omega_N}{\omega_x} \cdot Q_x + B_e \cdot \frac{\omega_N^2}{\omega_x^2} \cdot Q_x^2 \right)$$

$$H_p = H_{ohe} \cdot \frac{\omega_x^2}{\omega_N^2} + A_e \cdot \frac{\omega_x}{\omega_N} \cdot Q_x + B_e \cdot Q_x^2$$

$$H_c = H_s + M \cdot Q_x^2$$

dont on tire  $\omega_x$  en résolvant l'équation :

$$H_{ohe} \cdot \frac{\omega_x^2}{\omega_N^2} + A_e \cdot \frac{\omega_x}{\omega_N} \cdot Q_x + (B_e - M) \cdot Q_x^2 - H_s = 0$$

$$\omega_x = \frac{\left( \sqrt{A_e^2 \cdot Q_x^2 - 4 \cdot H_{ohe} \cdot (B_e \cdot Q_x^2 - M \cdot Q_x^2 - H_s)} - A_e \cdot Q_x \right) \cdot \omega_N}{2 \cdot H_{ohe}}$$

#### Application numérique

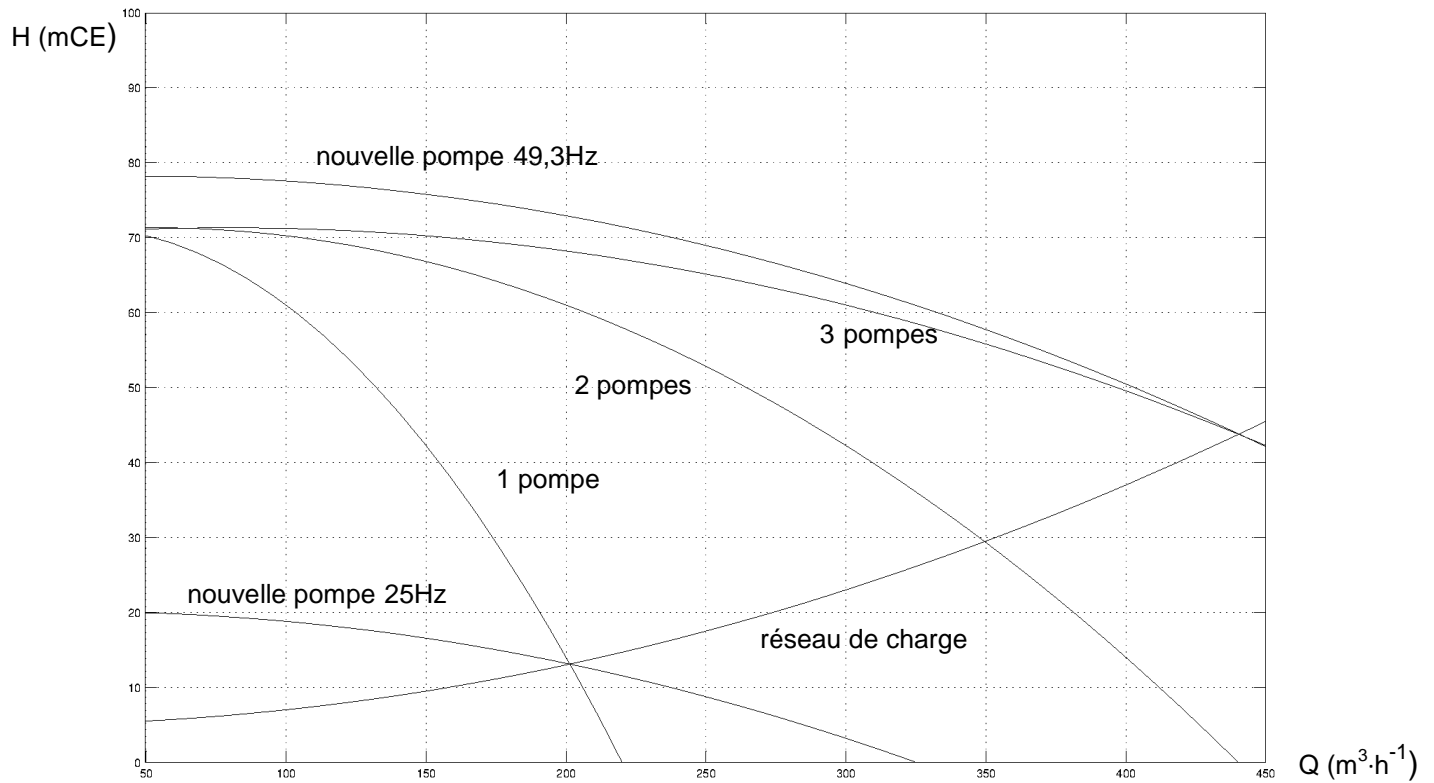
Pour  $Q_x = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , on obtient

$$\omega_x = \frac{\left( \sqrt{0,02^2 \cdot 200^2 - 4 \cdot 80 \cdot (-2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 - 5)} - 0,02 \cdot 200 \right) \cdot 50}{2 \cdot 80} = 24,9 \text{ Hz}$$

Pour  $Q_x = 450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , on obtient

$$\omega_x = \frac{\left( \sqrt{0,02^2 \cdot 450^2 - 4 \cdot 80 \cdot (-2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 450^2 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot 450^2 - 5)} - 0,02 \cdot 450 \right) \cdot 50}{2 \cdot 80} = 50,3 \text{ Hz}$$

La nouvelle pompe, alimentée entre 25 et 50 Hz, permet bien de couvrir la même plage de débit que le gradin (ensemble) de trois pompes.



**Question 13**

Le débit d'eau  $q$  pénétrant dans un cylindre d'aire latérale  $S$  est donné par la relation  $q = v \cdot S$   
 D'où

$$q = k \frac{dz}{dr} \cdot 2\pi r z$$

**Question 14**

L'intégration de l'expression précédente entre  $r_0$  et  $R$  d'une part et  $h_0$  et  $H_0$  d'autre part conduit à

$$q \int_{r_0}^R \frac{dr}{r} = 2\pi k \int_{h_0}^{H_0} z dz$$

et donc

$$q = \rho k \frac{H_0^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}}$$

Si nous calculons maintenant entre  $r$  et  $R$  d'une part et entre  $z(r)$  et  $H_0$  d'autre part, nous obtenons

$$q = \rho k \frac{H_0^2 - z^2(r)}{\ln \frac{R}{r}}$$

puis, en utilisant les expressions ci-dessous,

$$H_0 - z(r) = s(r) \text{ et } H_0 + z(r) = 2\left(H_0 - \frac{H_0 - z(r)}{2}\right) = 2\left(H_0 - \frac{s(r)}{2}\right)$$

Comme  $q = \rho k \frac{(H_0 - z(r))(H_0 + z(r))}{\ln \frac{R}{r}}$ , alors on en déduit :

$$q = 2\rho k \frac{s(r) \left(H_0 - \frac{s(r)}{2}\right)}{\ln \frac{R}{r}}$$

Puisque  $H_0 \geq s(r)$  alors  $q = 2\rho k H_0 \frac{s(r)}{\ln \frac{R}{r}}$ .

D'où la relation souhaitée :  $s(r) = \frac{q}{2\rho k H_0} \ln \frac{R}{r}$

### Question 15

Si l'on considère les puits dont l'ordonnée est positive, manifestement, les points les plus éloignés de la fouille sont les points  $M_3(-55, -15)$  et  $M_4(55, -15)$ . Le même raisonnement s'opère en considérant les puits dont l'ordonnée est négative. Les quatre coins du rectangle sont donc les points où le rabattement est le plus faible.

### Question 16

Ces quatre pompes étant les pompes les plus proches des points où le rabattement sera le plus faible, il est donc logique que les pompes  $P_1, P_4, P_5, P_8$  soient choisies en priorité pour optimiser le pompage. On pourrait vérifier que le débit (supposé identique) d'une de ces pompes par rapport à l'autre choix serait plus faible.

### Question 17

On se place, par exemple, au point  $M_2(55, 15)$ .

Le rabattement total à réaliser en ce point a pour valeur numérique :

$$s = 68,1 - 56,7 + 2 = 13,4 \text{ m}$$

Soit  $q$  le débit identique de chaque pompe. Soit  $S$  le rabattement souhaité. Chaque pompe apportera un rabattement en fonction de sa position dans la fouille. On aura donc au total :

$$s = \frac{q}{2\rho k H_0} \sum_{i \in \{1,4,5,8\}} \ln \frac{R}{r_{ij}}$$

Le débit d'une pompe est donc donné par :

$$q = \frac{2\rho k H_0 s}{\sum_{i \in \{1,4,5,8\}} \ln \frac{R}{r_{ij}}}$$

Numériquement, on trouve :

$$q = \frac{2\rho \cdot 10^{-6} \cdot 68,1 \cdot 13,4}{\ln \frac{200}{\sqrt{(55+33)^2 + (15-9)^2}} + \ln \frac{200}{\sqrt{(55-33)^2 + (15-9)^2}} + \ln \frac{200}{\sqrt{(55-33)^2 + (15+9)^2}} + \ln \frac{200}{\sqrt{(55+33)^2 + (15+9)^2}}}$$

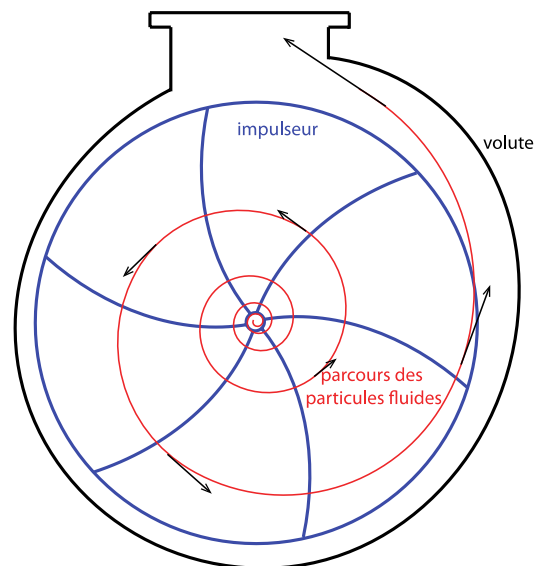
$$= 1,025 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$= 3,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

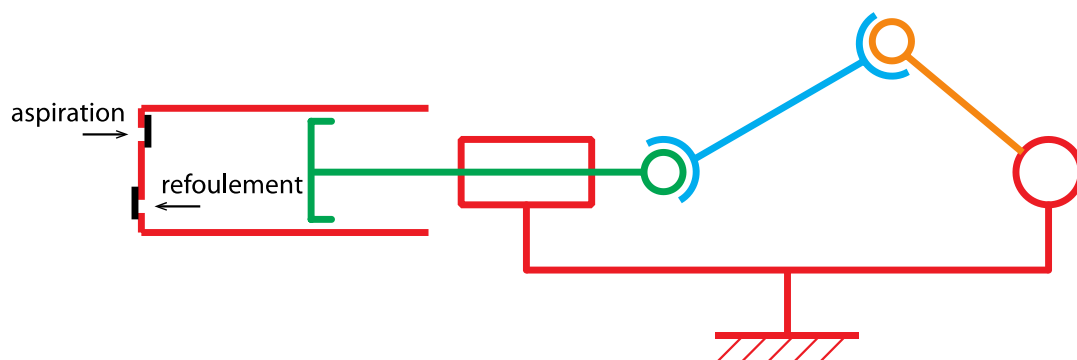
$$q = 3,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

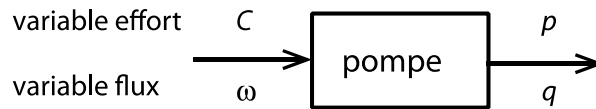
### Question 18

Une pompe centrifuge est une machine rotative ouverte qui déplace un liquide en le « forçant » au travers d'une roue à aubes ou d'une hélice appelée impulseur. C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement dans la volute et enfin refoulé tangentiellement. Ce déplacement des particules fluides est dû au champ de forces généré par l'accélération centrifuge du rotor.



L'autre famille de pompes est appelée pompes volumétriques. Elle est basée sur le déplacement d'un fluide dû à une variation du volume de la pompe.





### Question 19

On a :  $q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = \frac{4}{3600} = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Calcul de la vitesse du fluide à l'aspiration :  $v_{asp} = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 1,11 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,06^2} = 0,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Calcul de la vitesse du fluide au refoulement :  $v_{ref} = \frac{4q}{\rho d^2} = \frac{4 \cdot 1,11 \cdot 10^{-3}}{\rho \cdot 0,03^2} = 1,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Calcul des pertes de charges

Nombres de Reynolds :

- à l'aspiration,  $Re_{asp} = \frac{v_{asp} d}{\nu} = \frac{0,39 \cdot 0,06}{10^{-6}} = 23400$ , régime turbulent ;
- au refoulement,  $Re_{ref} = \frac{v_{ref} d}{\nu} = \frac{1,57 \cdot 0,03}{10^{-6}} = 47100$ , régime turbulent.

Pertes de charges régulières :

- à l'aspiration,  $\frac{1}{\sqrt{\lambda_{asp}}} = -2 \log \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot 0,06} \Rightarrow \lambda_{asp} \approx 0,019$  ;
- au refoulement,  $\frac{1}{\sqrt{\lambda_{ref}}} = -2 \log \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot 0,03} \Rightarrow \lambda_{ref} \approx 0,022$ .

On en déduit :

$$\Delta H_r = 0,019 \frac{0,8}{0,06} \frac{0,39^2}{2 \cdot 9,81} + 0,022 \frac{23,5}{0,03} \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} = 2,17 \text{ m}$$

Pertes de charges singulières :

$$\Delta H_s = (4 + 0,3) \frac{0,39^2}{2 \cdot 9,81} + (0,3 + 0,4 + 0,3) \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} = 0,16 \text{ m}$$

### Question 20

Le théorème de Bernoulli généralisé s'écrit :  $H_A = H_B + \Delta H_r + \Delta H_s - H_{pompe}$

On a, en prenant pour origine des hauteurs, la position du point A, et pour origine des pressions la

pression atmosphérique  $p_{atm}$  :  $H_A = \frac{p_A}{\rho g} = z_{libre} - z_A = L_0 = 0,8 \text{ m}$

et  $H_B = \frac{p_{atm}}{\rho g} + z_B = 0,8 + 13,5 = 14,3 \text{ m}$

et donc :  $H_{pompe} = H_B - H_A + \Delta H_r + \Delta H_s = 14,3 - 0,8 + 2,17 + 0,16 \approx 15,8 \text{ m}$

AN :

$$H_{pompe} = 14,3 - 0,8 + 2,17 + 0,16 \approx 15,8 \text{ m}$$

**Question 21**

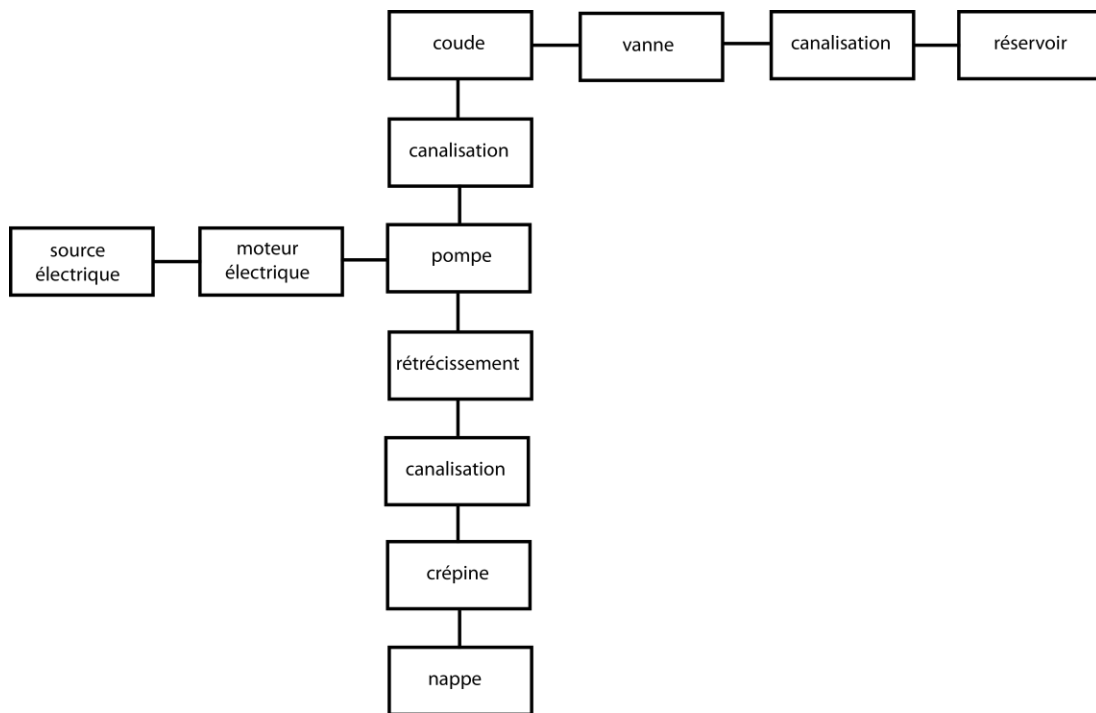
La puissance hydraulique est donnée par  $P_H = \rho \cdot q = \rho \cdot g \cdot H_{pompe} \cdot q$

$$P_H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 15,8 \cdot 1,11 \cdot 10^{-3} = 172 \text{ W}$$

On en déduit la puissance électrique nécessaire pour ce débit :

$$P_{el} = \frac{P_{hy}}{\eta} = \frac{172}{0,85} = 203 \text{ W}$$

**Question 22**



**Question 23**

Élément	Type	Paramètres	Grandeurs en entrée	Grandeurs en sortie
moteur	source électrique	gain, constante de temps	tension, intensité	couple, vitesse angulaire
vanne	résistance hydraulique	gain	pression, débit	pression, débit
crépine	résistance hydraulique	gain	pression, débit	pression, débit
canalisation	résistance hydraulique	gain	pression, débit	pression, débit
rétrécissement	résistance hydraulique	gain	pression, débit	pression, débit



coude	résistance hydraulique	gain	pression, débit	pression, débit
pompe	source hydraulique	cylindrée, rendement	couple, vitesse angulaire	pression, débit

Analogie

Grandeur hydraulique	Grandeur thermique
Pression	Température
Débit	Flux d'entropie

### Question 24

Les grandeurs caractéristiques utilisées pour le choix des pompes dans les abaques proposés sont le débit (en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ), la hauteur totale (en m) et la puissance électrique (en kW). Les valeurs trouvées aux questions précédentes sont respectivement, par pompe, un débit  $q \approx 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , une hauteur totale de 14,3 m et une puissance électrique  $P_{elec} \approx 0,2 \text{ kW}$ . Avec le facteur de sécurité de 2 sur la hauteur et le débit, plusieurs pompes proposées permettent d'atteindre ces valeurs. La puissance électrique minimale de ces pompes (0,37 kW) est même supérieure à ce qui est nécessaire. Bien évidemment le coût de location est également à prendre en compte et cette dernière remarque nous conduit à choisir la pompe référencée Telsar Hydro 4", FS-98D. Ce type de pompe couvre le besoin d'exhaure souhaité.

### Question 25

$$M_{fz}(x) = -\frac{\rho}{6L}(L-x)^3$$

### Question 26 :

On utilise la relation moment-courbure :

$$E \cdot I_{Gz} \cdot y''(x) = -\frac{\rho}{6 \cdot L}(L-x)^3$$

$$E \cdot I_{Gz} \cdot y'(x) = -\frac{\rho}{24 \cdot L}(L-x)^4 + A$$

$$E \cdot I_{Gz} \cdot y(x) = -\frac{\rho}{120L}(L-x)^5 + A \cdot x + B$$

Les conditions aux limites permettent de déterminer les deux constantes A et B.

Il y a un encastrement en  $x = 0$ , donc :  $y(0) = 0$  et  $y'(0) = 0$  d'où :  $A = -\frac{\rho L^3}{24}$  et  $B = \frac{\rho L^4}{120}$ .

L'expression de la déformée est :  $y(x) = \frac{\rho}{E \cdot I_{Gz}} \left[ -\frac{(L-x)^5}{120L} - \frac{\rho L^3 x}{24} + \frac{\rho L^4}{120} \right]$

La flèche est maximale pour  $x = L$  soit  $f_{\max} = -\frac{\rho L^4}{30 \cdot E \cdot I_{Gz}} = -\frac{66,6 \cdot 10^3 \cdot 10^4}{30 \cdot 30\,000 \cdot 10^6 \cdot I_{Gz}}$  avec

$$I_{Gz} = \frac{h^3 b}{12} = \frac{0,62^3 \cdot 1}{12} = 0,01986 \text{ m}^4, \text{ d'où } f_{\max} = 0,037 \text{ m}$$

### Question 27

$$M_{fz}^{\max} = M_{fz}^{\max}(0) = -\frac{\rho}{6} L^2$$

Application numérique :  $M_{fz}^{\max} = 1110 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{fz} \cdot \nu}{I_{Gz}} = \frac{1110 \cdot 10^3 \cdot \nu}{0,01986} \text{ avec } \nu = \frac{0,62}{2} = 0,31 \text{ m}$$

Application numérique :  $\sigma_{\max} = 17326 \text{ kPa} = 17,3 \text{ MPa}$

### Question 28

$$x \in [0, b] \text{ et } M_{fz}(x) = -\frac{\rho}{6L}(L-x)^3 + F(b-x)$$

$$x \in [b, L] \text{ et } M_{fz}(x) = -\frac{\rho}{6L}(L-x)^3$$

### Question 29

Pour  $x \in [0, b]$  les équations de la déformée sont :

$$\begin{cases} E \cdot I_{Gz} \cdot y_1''(x) = -\frac{\rho}{6L}(L-x)^3 + F(b-x) \\ E \cdot I_{Gz} \cdot y_1'(x) = \frac{\rho}{24L}(L-x)^4 - \frac{F}{2}(b-x)^2 + A_1 \\ E \cdot I_{Gz} \cdot y_1(x) = -\frac{\rho}{120L}(L-x)^5 + \frac{F}{6}(b-x)^3 + A_1 \cdot x + B_1 \end{cases}$$

pour  $x \in [b, L]$  les équations de la déformée sont :

$$\begin{cases} E \cdot I_{Gz} \cdot y_2''(x) = -\frac{\rho}{6L}(L-x)^3 \\ E \cdot I_{Gz} \cdot y_2'(x) = \frac{\rho}{24L}(L-x)^4 + A_2 \\ E \cdot I_{Gz} \cdot y_2(x) = -\frac{\rho}{120L}(L-x)^5 + A_2 \cdot x + B_2 \end{cases}$$

Avec  $A_1, B_1, A_2, B_2$  les constantes d'intégration.

### Question 30

Aux conditions aux limites :  $y(0) = 0$  et  $y'(0) = 0$  (encastrement à l'origine) et  $y(b) = 0$  (appui en  $x=b$ )

$$\begin{cases} 0 = -\frac{\rho}{120L}L^5 + \frac{F}{6}b^3 + B_1 \\ 0 = \frac{\rho}{24L}L^4 - \frac{F}{2}b^2 + A_1 \\ 0 = -\frac{\rho}{120L}(L-b)^5 + A_1b + B_1 \end{cases} \quad \text{d'où } F = \frac{\rho}{8b^3} \left( \frac{L^4}{5} + bL^3 + \frac{(L-b)^5}{5L} \right)$$

$$F = \frac{\rho}{8b^3} \left( \frac{L^4}{5} + bL^3 + \frac{(L-b)^5}{5L} \right) = \frac{66,6 \cdot 10^3}{8 \cdot 7^3} \left( \frac{10^4}{5} + 7 \cdot 10^3 + \frac{(3)^5}{5 \cdot 10} \right) = 24,27 \cdot (-2000 + 7000 + 4,86) = 121,5 \text{ kN}$$

### Question 31

Même réponse qu'à la question 28.

### Question 32

Le cas « simplement encastré » correspond à la série 2.

Le cas « buton parfaitement rigide » correspond à la série 1.

Contrainte maximale dans la poutre :

Le moment fléchissant est maximal en valeur absolue à l'encastrement, soit pour  $x = 0$  :

$$M_{fx}^{\max} = -259,7 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{fz} \cdot \nu}{I_{Gz}} = \frac{259,7 \cdot 10^3 \cdot \nu}{0,01986} \text{ avec } \nu = \frac{-0,62}{2} = -0,31 \text{ m}$$

$$\sigma_{\max} = 4\,054 \text{ kN/m}^2 = 4,05 \text{ MPa}$$

### Question 33

Le cas « simplement encastré » correspond à la série 2.

Le cas « buton parfaitement rigide » correspond à la série 1.

Le cas « buton souple » correspond à la série 3.

### Question 34

Les équations à utiliser sont les mêmes que celles obtenues à la question 29.

Les conditions aux limites deviennent :  $y(0) = 0$  et  $y'(0) = 0$  (encastrement à l'origine) et

$$y(b) = \frac{-F}{K} \text{ (appui élastique en } x = b\text{)}.$$

$$\text{d'où le système suivant : } \begin{cases} 0 = -\frac{p}{120L}L^5 + \frac{F}{6}b^3 + B_1 \\ 0 = \frac{p}{24L}L^4 - \frac{F}{2}b^2 + A_1 \\ E \cdot I_{Gz} \cdot \frac{F}{K} = -\frac{p}{120L}(L-b)^5 + A_1b + B_1 \end{cases} \quad \text{d'où } F = \frac{\frac{p}{24} \left( \frac{(L-b)^5}{5L} + bL^3 - \frac{L^4}{5} \right)}{\frac{b^3}{3} + \frac{E \cdot I_{Gz}}{K}}$$

$$F = \frac{\frac{p}{24} \left( \frac{(L-b)^5}{5L} + bL^3 - \frac{L^4}{5} \right)}{\frac{b^3}{3} + \frac{E \cdot I_{Gz}}{K}} = \frac{\frac{66,6 \cdot 10^3}{24} \left( \frac{3^5}{50} + 7 \cdot 10^3 - \frac{10^4}{5} \right)}{\frac{7^3}{3} + \frac{30000 \cdot 10^6 \cdot 0,01986}{10^6}} = \frac{2775 \cdot (4,86 + 7000 - 2000)}{114,3 + 595,8}$$

$$F = 19,5 \text{ kN}$$

### Question 35

Le premier calcul, correspondant à une paroi simplement encastrée, conduit à des contraintes de traction élevées et à un déplacement non négligeable ( $>L/300$ ). La mise en place d'un buton pendant la phase de construction permet de réduire de façon considérable les contraintes maximales si l'on considère que le buton est parfaitement rigide. En fait, le buton est souple, mais un calcul des contraintes montrerait que le bénéfice pour les contraintes et les déplacements reste très intéressant.

La faiblesse des modèles proposés ici, réside dans le choix de modéliser la liaison en  $x = 0$  par un encastrement parfait, car il conduit à un moment (et donc des contraintes) très élevé dans cette zone.

En effet, la liaison paroi moulée/sol est plus complexe et il faudrait la représenter de façon plus réaliste pour éviter la concentration de contraintes liée à la modélisation. On verrait alors que le système constructif proposé est cohérent ce qui explique qu'il soit très fréquemment utilisé.

### Question 36

Sous le point de vue de la dynamique avec une modélisation plane :

- nombre d'équations données par le principe de la mécanique,  $E_S = 5 \times 3 = 15$  ;
- nombre d'inconnues de liaison  $I_S = 12$  ;
- mobilités du mécanisme,  $m = 5$  ;
- rang du système d'équations données par le principe de la mécanique,  $r_S = E_S - m = 10$ .

D'où le degré d'hyperstatisme :  $h = r_S - I_S = 2$ . Le modèle n'est donc pas résoluble.

Il faudra donc faire des hypothèses supplémentaires et se donner deux équations supplémentaires :  $Y_1 = Y_2$  et  $Y_3 = Y_4$ .

### Question 37

On isole le camion : SM5.

Inventaire des actions mécaniques agissant sur SM5.

*Action à distance*

$$\text{En G : } \vec{P}_G = -m.g.\sin(a).\vec{x} - m.g.\cos(a).\vec{y}$$

*Actions de liaison*

4 contacts roues/sol : en  $I_1, I_2, I_3$  et  $I_4$ ,

$$\text{Contact en } I_i : T_{0 \rightarrow i} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_{0 \rightarrow i}, \vec{M}_{I_i, 0 \rightarrow i} \\ N_i \vec{z} \end{array} \right\}_I \quad \text{avec } i = [1, 2, 3, 4]$$

Nombre d'inconnues de liaisons :  $3 \times 4 = 12$  :  $X_i, Y_i, Z_i$  avec  $i = [1, 2, 3, 4]$

*Nombre de mobilités du mécanisme SM5*

Pour inventorier, les mobilités du mécanisme camion, il faut donner les vecteurs suivants :

$$\vec{I}_1 \vec{G} = a\vec{x} + h\vec{y}, \vec{I}_3 \vec{G} = -d\vec{x} + h\vec{y}, \vec{I}_1 \vec{I}_2 = c\vec{x}, \vec{I}_3 \vec{I}_4 = c\vec{x} \text{ et } \vec{I}_2 \vec{I}_3 = b\vec{x} \text{ et angle de la pente est } a = (\vec{x}, \vec{x}_0)$$

Coordonnées des centres d'inertie de chaque solide isolé :	Vecteur rotation de chaque solide isolé :
$\vec{O}_0 \vec{G} = x(t).\vec{x} + h\vec{y}$	$\vec{W}_{5/0} = \vec{0}$
$\vec{O}_0 \vec{O}_1 = (x(t) - a).\vec{x} + R.\vec{y}$	$\vec{W}_{1/5} + \vec{W}_{5/0} = \vec{W}_{1/0} = \dot{q}_1(t).\vec{z}$
$\vec{O}_0 \vec{O}_2 = (x(t) - a + c).\vec{x} + R.\vec{y}$	$\vec{W}_{2/5} + \vec{W}_{5/0} = \vec{W}_{2/0} = \dot{q}_2(t).\vec{z}$
$\vec{O}_0 \vec{O}_3 = (x(t) + d).\vec{x} + R.\vec{y}$	$\vec{W}_{3/5} + \vec{W}_{5/0} = \vec{W}_{3/0} = \dot{q}_3(t).\vec{z}$
$\vec{O}_0 \vec{O}_4 = (x(t) + d + c).\vec{x} + R.\vec{y}$	$\vec{W}_{4/5} + \vec{W}_{5/0} = \vec{W}_{4/0} = \dot{q}_4(t).\vec{z}$

Le mécanisme étudié a donc 5 mobilités :  $x(t), q_1(t), q_2(t), q_3(t)$  et  $q_4(t)$ .

*Nombre d'équations qu'il est possible d'obtenir par le principe de la mécanique et le modèle du contact sol/roues fournis sur le document technique DT2*

Lois de Coulomb : Contact en $I_1$ et $I_2$ avec $i = [1,2]$	Lois de Coulomb : Contact en $I_3$ et $I_4$ avec $i = [3,4]$
$\vec{V}_{I_i \in i / 0} = \vec{0} \quad (1)$ $\vec{F}_{0 \rightarrow i} \cdot \vec{V}_{I_i \in i / 0} \leq 0 \quad (2)$ $\tan j = \left  \frac{X_i}{Y_i} \right  \text{ et } \tan j_a = f_a \quad (3)$ <p>Les relations (2) et (3) donnent dans le cas des points <math>I_1, I_2</math> :</p> $\frac{X_i}{Y_i} \text{ et } \tan j_a = f_a \quad (2.3)$ <p>À la limite de l'adhérence (ou du glissement), la relation (3) devient : <math>\tan j = \left  \frac{X_i}{Y_i} \right  = \tan j_a = f_a</math></p> <p style="text-align: center;">(3)</p>	$\vec{V}_{I_i \in i / 0} = \vec{0} \quad (1)$ $\vec{F}_{0 \rightarrow i} \cdot \vec{V}_{I_i \in i / 0} \leq 0 \quad (2)$ $\tan j = \left  \frac{X_i}{Y_i} \right  \text{ et } \tan j_a = f_a \quad (3)$ <p>Les relations (2) et (3) donnent dans le cas des points <math>I_1, I_2</math> :</p> $-\frac{X_i}{Y_i} \text{ et } \tan j_a = f_a \quad (2.3)$
Frottement de roulement : contact en $I_1$ et $I_2$ $N_{0i} = dY_{0i}$	Frottement de roulement : contact en $I_3$ et $I_4$ $N_{0i} = dY_{0i}$

Nombre d'équations qu'il est possible d'obtenir à la suite de l'isolement de SM5.

Théorèmes généraux : 3 équations.

Lois de Coulomb aux contacts sol/roues : 2 équations et une inéquation par contact sol/roues d'où 8 équations et 4 inéquations.

Si, les roues arrière sont toujours en adhérence avec le sol et que le contact est considéré à la limite de l'adhérence, on obtient donc 13 équations et 2 inéquations.

### Conclusion

Il manque donc des équations par rapport aux relations entre les inconnues mises en évidence lors de l'isolement de SM5.

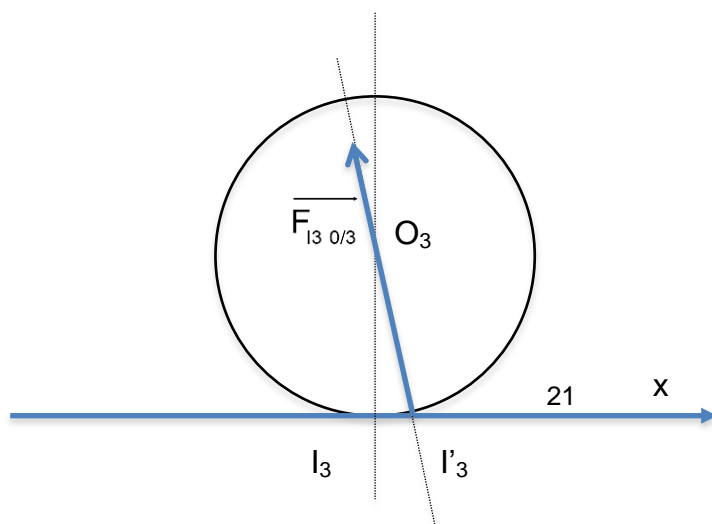
**Il nous faut donc isoler d'autres systèmes matériels. Il faut donc isoler les quatre roues indépendamment.**

### Question 38

On écrira suite à l'application du PFD à la roue SM2 que  $\sum \vec{M}_{O_2}^{AM_{ext \rightarrow 2}} \cdot \vec{z} = 0$  et en négligeant le moment dynamique en  $O_2$  de la roue. On obtient :  $N_2 - Cm_2 + RX_2 = 0$ .

L'application du PFD à la roue SM1 donne par analogie à SM2 :  $N_1 - Cm_1 + RX_1 = 0$

En appliquant le PFD à la roue SM3 et en négligeant le moment dynamique en  $O_3$  de la roue 3, on



montre que les deux glisseurs sont directement opposés et par une résolution semi-graphique semi-analytique :

$\vec{l}_3 J_3 = d\vec{x}$  avec  $d$  coefficient de frottement de roulement entre le sol et la roue.

$$\text{D'où : } \overrightarrow{F_{I_3 O_3}} \dot{\cup} \overrightarrow{I_3 I_3} = \vec{0}$$

Et donc :

$$\frac{X_3}{Y_3} = -\frac{d}{R} \text{ en dynamique}$$

La roue 4 se comporte comme la roue 3, il en est donc de même  $\frac{X_4}{Y_4} = -\frac{d}{R}$ .

### Question 39

La loi de mouvement exprime la relation entre les mobilités du mécanisme et les actions mécaniques. On dénombre ici : 19 équations et 20 inconnues et 2 inéquations (contact sol/roues en  $I_3$  et  $I_4$  à vérifier.

Pour résoudre et trouver la pente, il est nécessaire de se donner soit le couple moteur  $C_m = C_{m1} + C_{m2}$  soit l'accélération du camion MAN.

Ainsi, il sera possible de déterminer la pente maximale de la rampe.

### Question 40

La pente maximale que le camion peut gravir avec un coefficient d'adhérence roues/sol de  $f_a = 0,6$  est  $\arctan(0,6) @ 31^\circ$ . Au-delà de cet angle, le glissement du camion sera observé, suite à la loi de Coulomb.

En plus, la décroissance du couple  $C_m = C_{m1} + C_{m2}$  à la limite du glissement en fonction de  $a$  s'explique par le fait que plus  $a$  augmente plus  $Y_1$  et  $Y_2$  donc  $X_1$  et  $X_2$  diminuent. En conséquence le couple  $C_m$  diminue.

En supposant que le couple du moteur soit capable de fournir ce couple, plus la pente augmente, moins il faut mettre du couple sur les roues, sinon les roues patineront.

### Question 41

Le rapport de réduction du moteur aux roues en  $1^{re} L$  est de  $16,41 \cdot 3,08 = 50,54$ .

$$C_{mMaxi} = 1900 \text{ N}\cdot\text{m} \text{ et } \eta = 0,85 \text{ avec } \omega_m = \frac{1400 \cdot \pi}{30} = 146,5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$P_{rMaxi} = P_{mMaxi} \cdot \eta = \omega_m \cdot \eta \cdot C_{mMaxi} = \frac{1400 \cdot \pi}{30} 1900 \cdot 0,85 = 236,6 \text{ kW}$$

$$\omega_{r(1^{re} L)} = \frac{\omega_m}{r_{1^{re} L} \cdot r_{pont}} = \frac{146,5}{50,54} = 2,9 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$P_{rMaxi} = \omega_{r(1^{re} L)} C_{rMaxi} = \omega_m \cdot \eta \cdot C_{mMaxi} = 236,6 \text{ kW}$$

$$C_{rMaxi} = \frac{\omega_m \cdot \eta \cdot C_{mMaxi}}{\omega_{r(1^{re} L)}} = r_{1^{re} L} \cdot r_{pont} \cdot \eta \cdot C_{mMaxi} = 50,54 \cdot 0,85 \cdot 1900 = 81\,622 \text{ N}\cdot\text{m}$$

### Question 42

Sur la courbe, on peut lire qu'à partir de  $12^\circ$ , l'accélération, sous un couple aux essieux, devient négative. Si le camion n'a pas une vitesse initiale, il ne pourra pas monter la rampe.

À 14°, l'accélération sous un couple maximum de 81662 N·m sur les roues motrices est de  $-0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , d'où :

$$\begin{cases} \ddot{x} = -0,5 \\ \dot{x} = -0,5t + v_0 \\ x = \frac{-0,5t^2}{2} + v_0t + x_0 \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{x} = -0,5 \\ \dot{x} = -0,5t + v_0 \\ 20 = \frac{-0,5t^2}{2} + v_0t \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{x} = -0,5 \\ \dot{x} = -0,5t + v_0 \\ 20 = t(-0,25t + v_0) \end{cases}$$

Conditions limites :  $\begin{cases} x(t_1) = x_0 = 0 \text{ et } x(t_2) = d = 20\text{m} \\ \dot{x}(t_1) = v_0 \text{ et } \dot{x}(t_2) = 0 \end{cases}$  d'où

$$v_0 = \sqrt{20 \cdot 2 \cdot 0,5} = 4,47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad \text{et } t_2 = \frac{4,47}{0,5} = 8,94 \text{ s}$$

À 0°, l'accélération sous un couple maximal de 81 662 N·m sur les roues motrices est de  $1,76 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  (voir courbes).

$$\begin{cases} \ddot{x} = 1,76 \\ \dot{x} = 1,76t + v_0 \\ x = \frac{1,76t^2}{2} + v_0t + x_0 \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{x} = 1,76 \\ \dot{x} = 1,76t \\ d_1 = \frac{1,76t^2}{2} \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{x} = 1,76 \\ 4,47 = 1,76t \\ d_1 = 0,88t^2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} x(t_1) = x_0 = 0 \text{ et } x(t_2) = d_1 \\ \dot{x}(t_1) = 0 \text{ et } \dot{x}(t_2) = 4,47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

La distance pour se lancer pour une rampe de 14° vaut :  $d_1 = 0,88 \cdot \left(\frac{4,47}{1,76}\right)^2 = 5,67 \text{ m}$ .

### Question 43

Modélisation proposée

$$\{T_G\}_G = \begin{pmatrix} \vec{P} \\ \vec{0} \end{pmatrix}_{\vec{p}_G} \quad \text{avec } \vec{P} = -Mg \sin(a)\vec{x} - Mg \cos(a)\vec{y}$$

$$\{T_A\}_A = \begin{pmatrix} \vec{F}_A \\ \vec{0} \end{pmatrix}_{\vec{p}_A} \quad \text{avec } \vec{F}_A = X_A\vec{x} + Y_A\vec{y} \quad \text{et} \quad \{T_B\}_B = \begin{pmatrix} \vec{F}_B \\ \vec{0} \end{pmatrix}_{\vec{p}_B} \quad \text{avec } \vec{F}_B = X_B\vec{x} + Y_B\vec{y}$$

La somme des torseurs au point G doit être nulle si le système est immobile.

$$\{T_A\}_G + \{T_B\}_G + \{T_G\}_G = \begin{pmatrix} \vec{0} \\ \vec{0} \end{pmatrix}_{\vec{p}_G} \quad \text{avec } \{T_A\}_G = \begin{pmatrix} \vec{F}_A \\ \vec{F}_A \cup \overline{AG} \end{pmatrix}_{\vec{p}_G}, \quad \{T_B\}_G = \begin{pmatrix} \vec{F}_B \\ \vec{F}_B \cup \overline{BG} \end{pmatrix}_{\vec{p}_G} \quad \text{et} \quad \{T_G\}_G = \begin{pmatrix} \vec{P} \\ \vec{0} \end{pmatrix}_{\vec{p}_G}$$

$$\text{avec } \overline{BG} = -\frac{c}{2}\vec{d} + \frac{c}{2}\vec{x} + h\vec{y} \quad \text{et} \quad \overline{AG} = \frac{c}{2}\vec{a} - \frac{c}{2}\vec{x} + h\vec{y} \quad \text{d'où}$$

$$-Mg \sin(a) + X_A = 0 \quad \text{et} \quad -Mg \cos(a) + Y_A + Y_B = 0 \quad \text{et} \quad \vec{F}_B \cup \overline{BG} + \vec{F}_A \cup \overline{AG} = \vec{0} \quad \text{soit}$$

$$Y_B \frac{c}{2} \vec{d} + \frac{c}{2} Y_A \vec{a} - \frac{c}{2} Y_A \vec{x} + h X_A = 0$$

Le basculement est obtenu lorsque la composante  $Y_B = 0$ .

Soit pour le basculement :  $-Mg \frac{c}{2} \cos(a_{\max}) + Mgh \sin(a_{\max}) = 0$  d'où :

$$a_{\max} = \arctan \frac{c}{h} = \arctan \frac{1,5}{1,9} = \arctan(0,789) = 38,3^\circ$$

Le dérapage est obtenu pour  $X_A = f Y_A$ .

$$Y_A = \frac{Mgh \sin(a) + Mg \frac{c}{2} \cos(a)}{a+d} \text{ et } X_A = Mg \sin(a) \text{ soit } f = \frac{X_A}{Y_A}$$

d'où le dérapage est obtenu pour

$$f \leq \frac{a+d}{h + \left(d + \frac{c}{2}\right) \tan^{-1}(a)} = \frac{6,605}{1,9 + (5,105) \tan^{-1}(38,3^\circ)} = \frac{6,605}{1,9 + (5,105) \cdot 1,266} = \frac{6,605}{8,36} = 0,79$$

Donc il y a bien glissement pour cet angle  $a_{\max}$ .

#### Question 44

L'accélération est portée par l'axe  $(O, \vec{x})$ , d'où les équations du PFD :

$$\begin{cases} -Mg \sin(\alpha) + X_A = M\gamma_{\max} \\ -Mg \cos(\alpha) + Y_A + Y_B = 0 \\ Y_B \left(d + \frac{c}{2}\right) - Y_A \left(a - \frac{c}{2}\right) + X_A h = 0 \end{cases}$$

La limite du basculement est atteinte pour  $Y_B = 0$  soit :  $(\gamma_{\max} + g \sin(a)) h - g \frac{c}{2} \cos(a) = 0$

$$\text{Soit } \gamma_{\max} \leq g \left( \left( a - \frac{c}{2} \right) \frac{\cos(\alpha)}{h} - \sin(\alpha) \right) = g \cdot \left( 1,5 \frac{\cos(8^\circ)}{1,9} - \sin(8^\circ) \right) = g \cdot (0,782 - 0,139)$$

$$\gamma_{\max} \leq 6,43 \text{ g}$$

#### Question 45

$$Mg - Mg \sin(a) + Ma t U(t) = 0 \text{ d'où } v = -gt \sin(a) + a \frac{t^2}{2} U(t) = 0$$

La vitesse est nulle à  $t = 0$  et négative pour  $t \leq \frac{2g \sin(a)}{a}$

Pour  $t \geq \frac{2g \sin(a)}{a}$  le véhicule accélère et monte la pente après avoir reculé.

#### Question 46

Les efforts normaux sont déduits des équations du PFD avec :  $X_A - Mg \sin(a) - M \frac{dV_x}{dt} = 0$

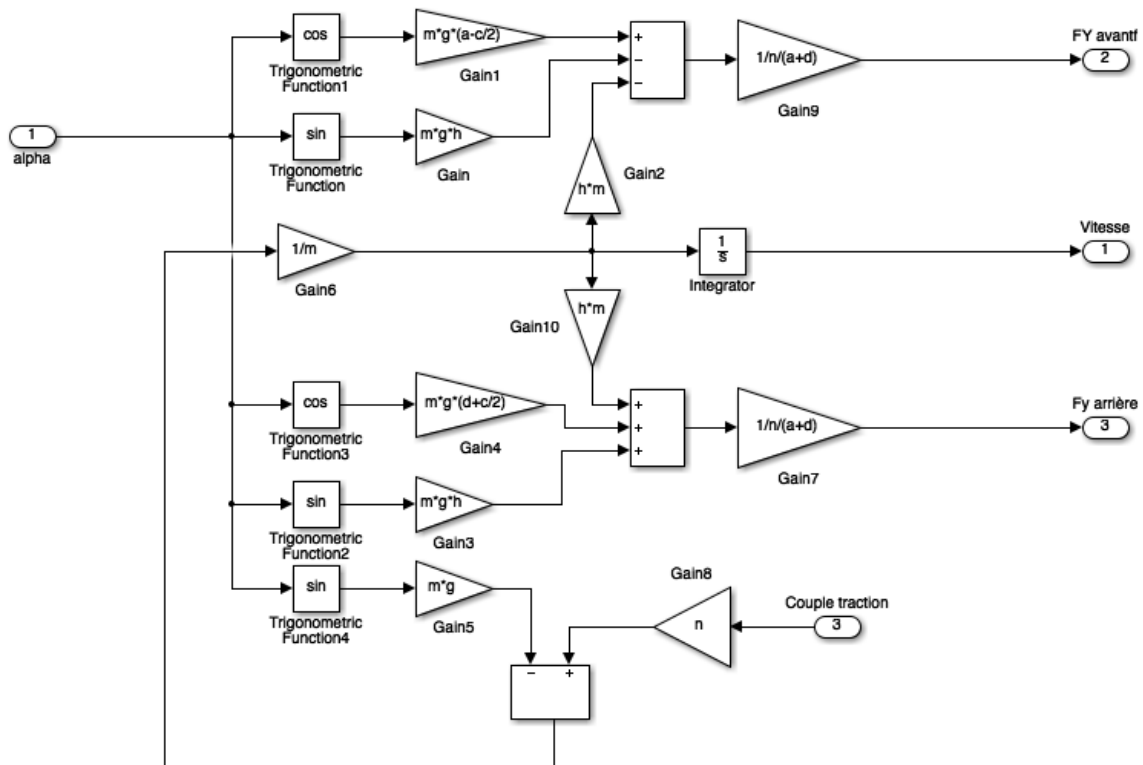
$$\text{et } F_{y_{\text{-arrière}}} = \frac{Y_A}{2} \text{ et } F_{y_{\text{-avant}}} = \frac{Y_B}{2} \text{ (deux essieux)}$$



$$F_{y\_avant} = \frac{-h m g \sin a - h m \frac{dV}{dt} \frac{x}{c} + \frac{c}{2} a - \frac{c}{2} m g \cos a}{2(a+d)}$$

$$F_{y\_arriere} = \frac{h m g \sin a + h m \frac{dV}{dt} \frac{x}{c} + \frac{c}{2} d + \frac{c}{2} m g \cos a}{2(a+d)}$$

**Question 47**



**Question 48**

La figure 37 montre que pour  $t \geq 12s$  le couple de traction exercé entraîne un glissement des roues arrière sur le sol.

**Question 49**

La figure 38 présente les efforts normaux qui s'exercent sur les roues avant et arrière ; pour  $t \leq 0s$  les efforts calculés sont les efforts statiques (véhicule à l'arrêt). Pour  $t \leq 12s$  on constate que les efforts normaux sur la roue avant s'annulent et deviennent négatifs (soulèvement des roues avant). Pour  $t \geq 12s$ , on constate que les efforts tangentiels ne sont plus transmis (dérapage des roues), dans ces conditions, il n'y a plus d'accélération.

**Question 50**

$$J \frac{dW}{dt} + f W = C_{mot} - C_{res} \quad \text{avec } V = RW$$

$$M \frac{dV}{dt} + f_v V = C_{res}$$

$$\text{soit : } \frac{J}{R} + M \frac{dV}{dt} + \frac{f}{R} + f_v V = C_{mot}$$

$$\text{la fonction de transfert est : } H(p) = \frac{K}{1 + \tau p} \text{ avec } K = \frac{1}{\frac{f}{R^2} + f_v} \text{ et } \tau = \frac{\frac{J}{R^2} + M}{\frac{f}{R^2} + f_v}$$

Application numérique :

$$K = \frac{1}{\frac{f}{R^2} + f_v} = \frac{1}{\frac{0,001}{0,5^2} + 10} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-1} \quad \tau = \frac{\frac{J}{R^2} + M}{\frac{f}{R^2} + f_v} = \frac{\frac{20}{0,5^2} + 32000}{\frac{10}{0,5^2} + 10} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ s}$$

### Question 51

Le couple moteur est contrôlé en boucle fermée, par un correcteur proportionnel de gain  $K_p$ , la

$$\text{fonction de transfert en boucle fermée s'écrit : } \frac{V}{C_{ref}} = \frac{K_p K}{1 + K_p K} \frac{1}{1 + \frac{t}{1 + K_p K} p}$$

Pour obtenir un temps de montée 100 fois plus élevé, il faut un gain  $K_p = \frac{100-1}{K}$  soit  $K_p = 990$ .

### Question 52

Pour  $t \leq 1 \text{ s}$ , le couple moteur n'est pas transmis, les efforts normaux calculés sont les efforts statiques du véhicule.

Pour  $t \leq 200 \text{ s}$ , le couple moteur est constant d'où une accélération constante avec un glissement contrôlé. La vitesse référence n'est pas atteinte, le bloc de saturation (de la boucle de couple) produit un couple moteur constant.

Pour  $t \geq 200 \text{ s}$ , la vitesse de référence est atteinte et la régulation de vitesse fonctionne en mode linéaire, la vitesse est constante (accélération nulle). L'effort tangentiel sur les roues arrière compense uniquement l'effet de la gravitation dû à la pente d'angle  $\alpha$ .

### Question 53

Tant que le poids de l'immeuble en construction n'impose pas une force supérieure à la poussée d'Archimède, il est nécessaire de rabattre la nappe en dessous de la dalle de fond.

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

Cette épreuve est commune aux trois options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 25/11/2011, « *cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluri-technique automatique* ».

## 1. Présentation du sujet

Le sujet proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur s'appuie sur la réalisation de la fouille d'un bâtiment à usage de bureaux, situé en région parisienne.

Ce bâtiment présente 8 étages (R+7) et 4 niveaux de sous-sols. Le terrain naturel se situe à une cote comprise entre 67,20 NGF<sup>1</sup> et 68,70 NGF (cote moyenne 68,00 NGF). Un pré-terrassement général est réalisé à la cote 66,50 NGF avant le début des travaux. La présence d'une nappe phréatique proche du niveau supérieur du terrain naturel est une contrainte complémentaire pour l'ouvrage.

Les études proposées se limitent à la réalisation d'une fouille étanche.

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

- analyse des constituants (réalisation de la paroi moulée) ;
- typologie des chaînes d'énergie et stratégie de commande de moteurs (besoins énergétiques validation du choix du groupe électrogène d'alimentation du chantier) ;
- modèle multiphysique (rabattement de la nappe, choix des pompes d'exhaure) ;
- modèle de connaissance et comportement des structures (stabilité de la paroi moulée) ;
- modèle de connaissance et de comportement des systèmes (excavation, pente de la rampe de fouille) ;
- modèle de la commande (modélisation d'une roue de camion et de sa commande)
- synthèse (condition de démarrage de l'étape suivante de la construction).

## 2. Analyse globale des résultats

La majorité des candidats a abordé l'ensemble des parties du sujet et la progression a été principalement linéaire. La progressivité de la difficulté dans le questionnement a permis d'identifier les candidats les plus performants. Le jury encourage les futurs candidats à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur à poursuivre leur effort de formation afin de développer les compétences transversales de sciences de l'ingénieur.

---

<sup>1</sup> NGF, nivellement général de la France constituant un repérage altimétrique.

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

#### *Partie 2 - Amélioration de l'alimentation des moteurs de la centrale à boue*

L'objectif de cette partie (questions 1 à 12) était de valider le choix du groupe électrogène d'alimentation du chantier. L'étude montrait l'impact des démarrages des moteurs sur le courant demandé au groupe électrogène et sur la tension du réseau. Pour finir, il était demandé aux candidats de rechercher la meilleure stratégie de commande des moteurs pour limiter ces effets et réduire la taille du groupe électrogène.

Le jury constate que les modèles de connaissance et de comportement des échanges énergétiques dans le cas des systèmes électriques sont assez bien maîtrisés par la majorité des candidats.

Un grand nombre de candidats n'a pas identifié la différence entre les kVA et les kW, et utilise les expressions données de façon aléatoire.

Les calculs d'impédances complexes équivalentes pour les montages en étoile et triangle sont bien traités. À l'opposé, les calculs d'intensités dans les lignes aboutissent rarement. Les expressions des relations électriques s'appuient souvent sur une mauvaise partie du schéma donné dans le sujet.

Le jury conseille aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur d'aborder avec rigueur tous les champs disciplinaires de la première épreuve d'admissibilité, et ceci indépendamment de la spécialité propre des candidats.

#### *Partie 3 - Rabattement de la nappe*

Les objectifs de cette partie (questions 13 à 24) étaient de proposer une modélisation multiphysique du circuit d'exhaure pour constituer une bibliothèque de modèles.

Le jury constate que les phénomènes physiques mis en jeu dans cette partie et leurs modélisations sont bien maîtrisés pour un tiers des candidats.

Certaines erreurs constatées dans cette partie (inhomogénéité des expressions, incohérence des ordres de grandeur, manque de rigueur dans la résolution d'équations différentielles) auraient sans doute pu être évitées.

Les technologies, liées aux systèmes fluidiques, ne sont pas toujours bien connues.

#### *Partie 4 - Stabilité d'une paroi moulée avec excavation*

L'objectif de cette partie (questions 25 à 35) était de valider la stabilité de la paroi moulée lors de l'excavation en phase de travaux et de comparer cette stabilité pour des solutions avec ou sans butons.

Seul un tiers des candidats parvient à développer une analyse convenable concernant le problème posé.

Un grand nombre de candidats ne trouve pas le bon moment fléchissant dès la première question. Les méthodes de résolution de problèmes en RdM sont connues pour un tiers des candidats (équations différentielles, conditions limites, problème hyperstatique), mais les ordres de grandeurs des résultats ou l'analyse critique des hypothèses sont souvent incohérents.

Il est rappelé que la modélisation en résistance des matériaux touche à des problématiques communes à l'ensemble des trois options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

## *Partie 5 - Évacuation de la terre de la fouille (excavation)*

### *5.1. Évaluation de la pente maximale de la rampe en fonction des caractéristiques géométriques du camion et du sol*

L'objectif de cette partie (questions 36 à 42) était de déterminer la pente maximale de la rampe, afin que les camions choisis précédemment, puissent sortir en charge de la fouille.

Le jury constate un manque de rigueur dans les démarches d'analyse de la dynamique des systèmes à masse conservative et regrette que les documents techniques fournis ne soient pas lus avec attention par certains candidats.

Le jury conseille aux futurs candidats d'être plus rigoureux quant aux démarches de modélisation et de résolution de problèmes appliquées aux systèmes complexes.

### *5.2. Évaluation de la pente maximale de la rampe en fonction des caractéristiques motrices du camion*

L'objectif des questions 41 et 42 était d'évaluer la pente de la rampe que le camion MAN peut monter en s'appuyant sur les caractéristiques motrices du camion fournies dans le document technique DT3. Les réponses fournies par les candidats ayant accédé à cette partie ont été bien rédigées.

### *5.3. Modélisation d'une roue de camion et de sa commande*

La partie théorique et la représentation graphique des équations sont relativement bien abordées par la moitié des candidats. L'interprétation des courbes de simulation est cependant nettement moins bien réussie.

La modélisation de la commande est bien abordée par les rares candidats qui sont arrivés à cette partie du sujet.

## *Partie 6 - Conditions de démarrage de l'étape suivante de la construction*

L'unique question (53) de cette partie permettait d'évaluer le recul du candidat face aux études faites en amont.

### *Conseils aux futurs candidats*

Le jury encourage les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur.

La présentation des copies doit être claire. Il faut indiquer le numéro des questions traitées et la démarche de résolution. Cette dernière doit être exposée avec rigueur, les hypothèses doivent être explicitées clairement et les notations doivent être précises, claires et respecter scrupuleusement celles imposées dans le sujet.

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

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

## **4. Conclusion**

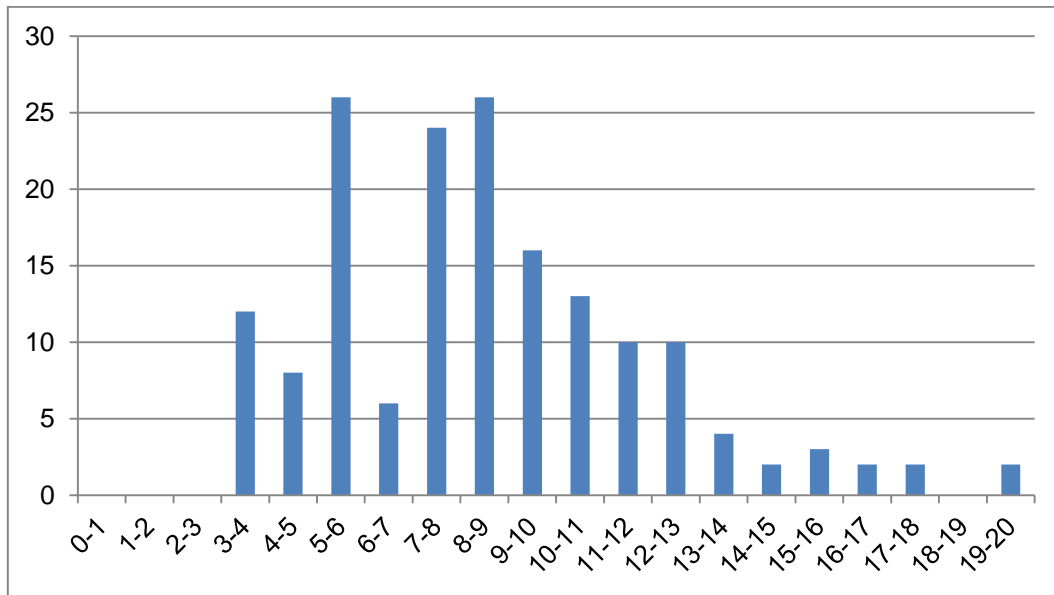
Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans le cadre de cette épreuve transversale. Toutes les questions du sujet ont été abordées par les candidats

quelle que soit l'option choisie. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus (arrêté du 25/11/2011).

## 5. Résultats

211 copies ont été évaluées, dont 24 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8,0/20 et l'écart-type 3,5 avec :

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



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

## Question 1

Les déplacements et sollicitations possibles sont proposés sur le DT 3.

La liaison rotule en C permet un mouvement de rotation d'axe  $(C, \vec{x})$ , il est donc possible d'effectuer un essai de torsion pure et de torsion simple.

Une translation du quadrangle (10) est possible, mais le bras (11) ne permet pas que cette translation soit rectiligne (composition de mouvement de rotation avec deux angles). La traction/compression simple ou pure n'est pas réalisable.

La rotation d'axe  $(G_{10}, \vec{y})$  du quadrangle (10) est possible, mais avec un déplacement du point  $G_{10}$ . La flexion pure n'est pas envisageable (le mors fixe restant horizontal), mais la flexion simple est possible.

## Question 2

La lecture des courbes de traction proposées indique un déplacement de 4 à 8 mm.

La lecture du DT 3 donne la réponse avec un déplacement de 100 mm pour les courses du vérin de 250 mm.

Il est également possible d'effectuer le calcul. Le bras ayant une longueur de 545 mm, on peut estimer  $\theta_1$  à  $0,84^\circ$  et un déplacement vertical de moins de 0,1 mm.

Pour vérifier que la course des vérins est suffisante, les coordonnées des points  $A_5, A_6, A_7, A_8$  sont calculées pour la position initiale de l'essai et pour la position finale.

$$\text{Position initiale de l'essai : } \begin{array}{c} \overline{A_8 O_4} : \\ \overline{O_4 A_7} : \\ \overline{O_2 A_6} : \\ \overline{O_1 A_5} : \end{array} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 926,7 \\ -150 \\ -190 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ -190 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ 339,20 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ 339,20 \end{array} \right. \end{array}$$

$$\text{Position finale de l'essai : } \begin{array}{c} \overline{A_8 O_4} : \\ \overline{O_4 A_7} : \\ \overline{O_2 A_6} : \\ \overline{O_1 A_5} : \end{array} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 918,7 \\ -150 \\ -190 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ -190 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ 339,20 \end{array} \right. \\ \left| \begin{array}{c} 150 \\ 339,20 \end{array} \right. \end{array}$$

On déduit la variation de longueur de chacun des vérins.

Étant donnée la symétrie suivant le plan  $(G_{10}, \vec{y}, \vec{z})$ , le calcul est effectué pour le vérin (3) et le vérin (2).

Soit  $L_{3\text{initiale}} = 957,79$  mm et  $L_{3\text{finale}} = 950,05$  mm

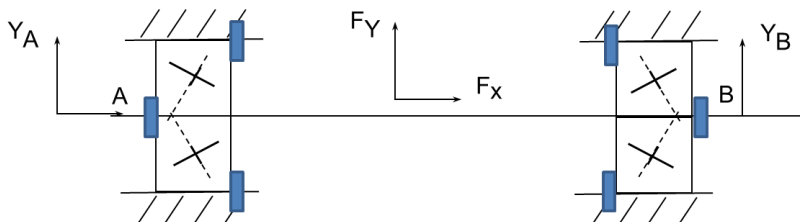
Et  $L_{2\text{initiale}} = 998,16$  mm et  $L_{2\text{finale}} = 990,74$  mm

La course des vérins est très largement suffisante pour des essais dont la composante principale est la traction.

### Question 3

Fraisage, découpe par jet d'eau

### Question 4



### Question 5

Le théorème de la résultante statique donne :  $Y_A + Y_B + F_y = 0$

Le théorème du moment statique donne :  $-Y_A \frac{L_{AB}}{2} + Y_B \frac{L_{AB}}{2} = 0$

D'où :  $Y_A = Y_B = 7500N$

Calcul des efforts axiaux induits :

$$F_{A/A} = F_{A/B} = \frac{F_R}{2 Y_0} = \frac{7500}{2 \cdot 0,94} = 3990 N$$

Application du PFS :

$-F_{A/A} + F_{A/B} + F_x > 0$  donc le roulement B fonctionne avec jeu.

$F_{A/B} = F_{A/A}$  et pour trouver  $F_{A/A}$  on écrit le PFS :

$-F_{A/A} + F_{A/B} + F_x = 0$  donc  $F_{A/A} = F_{A/B} + F_x = 33990 N$

### Question 6

Selon le document DT 6,  $P_0 = \max(F_R, 0,5 F_R, Y_0 F_{A/A})$

Pour le roulement A :  $P_0 = \max(33990 \cdot 0,94 + 0,5 \cdot 7500, 7500) < 57000N$

Pour le roulement B :  $P_0 = \max(3990 \cdot 0,94 + 0,5 \cdot 7500, 7500) < 57000 N$

Le dimensionnement est validé.

### Question 7

L'intérêt de la précontrainte est de supprimer le jeu entre les bagues et les éléments roulants pour permettre une plus grande rigidité. On peut appliquer la précontrainte par un écrou vissé sur l'arbre.

### Question 8

Phase 1 : rattrapage des jeux et mise sous tension de l'éprouvette.

Phase 2 : traction lente jusqu'à la rupture.

Phase 3 : rupture de l'éprouvette, chute de l'effort, déplacement rapide du mors dû à l'absence d'effort résistant.

Phase 4 : le mors mobile est arrêté et le technicien retire l'éprouvette de la machine.



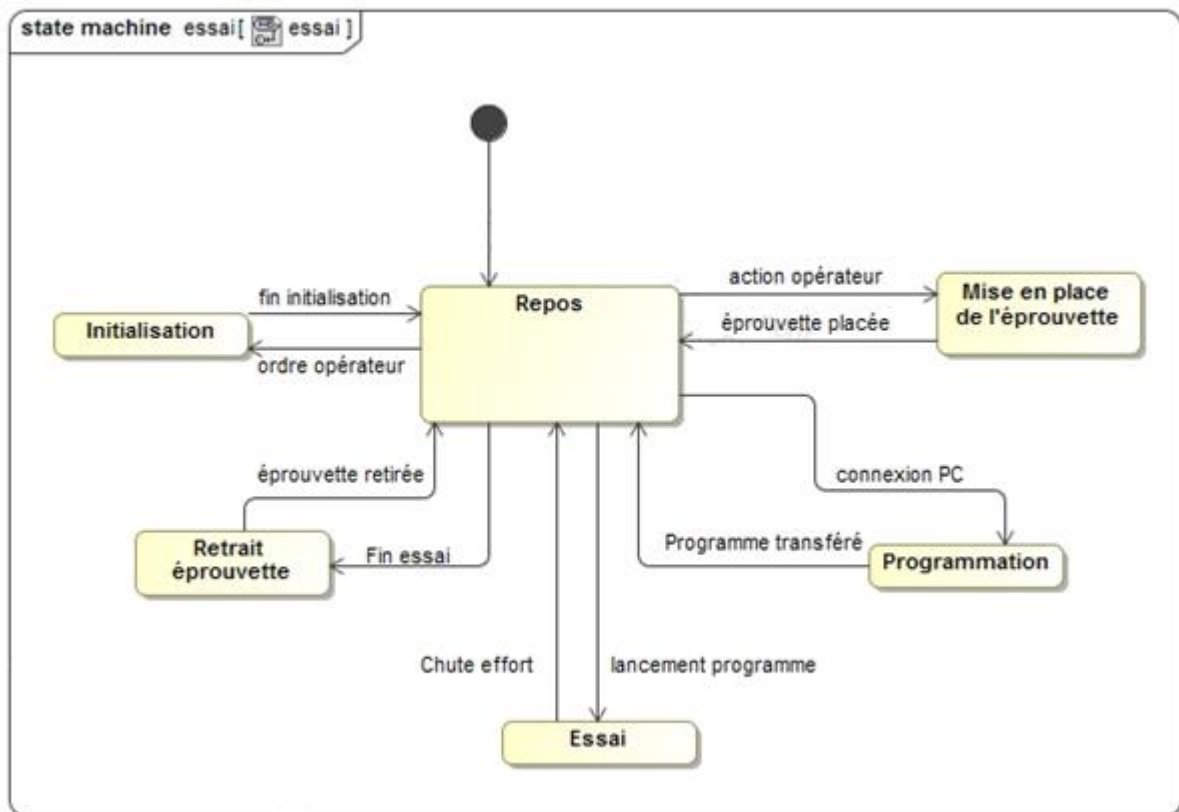
Phase 5 : retour en position initiale.

### Question 9

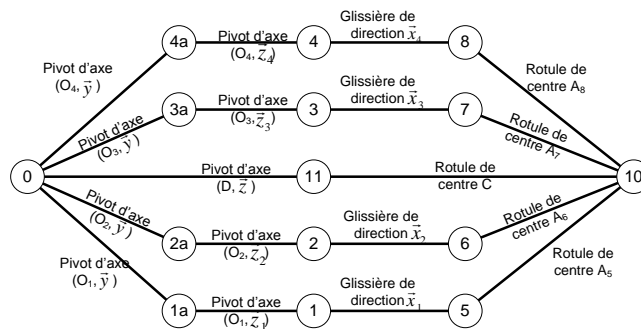
Il est possible d'utiliser des jauges de déformation. Le principe est basé sur une résistance variable avec un montage en pont de Wheatstone. La détection de la rupture se fait par l'observation d'une forte chute de tension.

### Question 10

Il est possible de faire, par exemple, un diagramme d'état.



### Question 11



$$\text{On a } m_c - m_s = 6(N_p - 1) - \sum n_{si}$$

$$\text{Avec } N_p = 15 ; \sum n_{si} = 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 3 + 5 + 3 = 80, m_c = 4.$$

Soit  $m_s = 0$ . Le système est isostatique, il n'y a donc pas de contraintes géométriques particulières à prévoir pour le montage, mais des contraintes de réglages et de mises en position relative à prévoir. Il suffit de fixer 4 inconnues cinématiques pour commander le système, ici il s'agit des angles  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ .

Il est possible d'écrire la matrice relative aux 14 isolements statiques en fonction des inconnues statiques, de déterminer le rang de la matrice et d'en déduire  $m_s$ . Il faut faire de même, pour la mobilité avec les boucles cinématiques fermées.

### Question 12

Le modèle géométrique :

$$\overrightarrow{O_i A_{i+4}} = \overrightarrow{O_i O_0} + \overrightarrow{O_0 D} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CA_{i+4}}$$

$$\lambda_i = \left\| \overrightarrow{O_i A_{i+4}} \right\| = \left\| \overrightarrow{O_i O_0} + \overrightarrow{O_0 D} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CA_{i+4}} \right\|$$

$$\lambda_i = \left\| e_i \bar{y} + f_i \bar{z} + c \bar{x} + d \bar{z} + L \bar{z}_{11} + L_1 \bar{x}_{10} + a_i \bar{y}_{10} + b_i \bar{z}_{10} \right\|$$

$$\lambda_i^2 = e_i^2 + (f_i + d)^2 + c^2 + L^2 + L_1^2 + a_i^2 + b_i^2$$

$$+ 2 \cdot (f_i + d) \cdot e_i \bar{y} \cdot \bar{z} + 2 \cdot c \cdot e_i \bar{y} \cdot \bar{x} + 2 \cdot L \cdot e_i \bar{y} \cdot \bar{z}_{11} + 2 \cdot L_1 \cdot e_i \bar{y} \cdot \bar{x}_{10} + 2 \cdot e_i \cdot a_i \bar{y} \cdot \bar{y}_{10} + 2 \cdot e_i \cdot b_i \bar{y} \cdot \bar{z}_{10}$$

$$+ 2 \cdot (f_i + d) \cdot c \bar{x} \cdot \bar{z} + 2 \cdot (f_i + d) \cdot L \bar{z}_{11} \cdot \bar{z} + 2 \cdot (f_i + d) \cdot L_1 \bar{x}_{10} \cdot \bar{z} + 2 \cdot (f_i + d) \cdot a_i \bar{y}_{10} \cdot \bar{z} + 2 \cdot (f_i + d) \cdot b_i \bar{z}_{10} \cdot \bar{z}$$

$$+ 2 \cdot c \cdot L \bar{z}_{11} \cdot \bar{x} + 2 \cdot c \cdot L_1 \bar{x}_{10} \cdot \bar{x} + 2 \cdot c \cdot a_i \bar{y}_{10} \cdot \bar{x} + 2 \cdot c \cdot b_i \bar{z}_{10} \cdot \bar{x}$$

$$+ 2 \cdot L \cdot L_1 \bar{x}_{10} \cdot \bar{z}_{11} + 2 \cdot L \cdot a_i \bar{y}_{10} \cdot \bar{z}_{11} + 2 \cdot L \cdot b_i \bar{z}_{10} \cdot \bar{z}_{11}$$

$$+ 2 \cdot L_1 \cdot a_i \bar{y}_{10} \cdot \bar{x}_{10} + 2 \cdot L_1 \cdot b_i \bar{z}_{10} \cdot \bar{x}_{10}$$

$$+ 2 \cdot a_i \cdot b_i \bar{y}_{10} \cdot \bar{z}_{10}$$

$$\lambda_i^2 = g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) = e_i^2 + (f_i + d)^2 + c^2 + L^2 + L_1^2 + a_i^2 \bar{y}_{10} + b_i^2$$

$$+ 2 \cdot L_1 \cdot e_i \sin \theta_3 + 2 \cdot e_i \cdot a_i \cdot \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_4 - 2 \cdot e_i \cdot b_i \cdot \cos \theta_3 \cdot \sin \theta_4,$$

$$+ 2 \cdot (f_i + d) \cdot L \cdot \cos \theta_1 - 2 \cdot (f_i + d) \cdot L_1 \cdot \cos \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \theta_1$$

$$+ 2 \cdot (f_i + d) \cdot a_i \cdot (\cos \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \theta_1 \mp \sin \theta_4 \cdot \cos \theta_2 + \theta_1)$$

$$+ 2 \cdot (f_i + d) \cdot b_i \cdot (-\sin \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \theta_1 \mp \cos \theta_4 \cdot \cos \theta_2 + \theta_1)$$

$$+ 2 \cdot c \cdot L \cdot \sin \theta_1 + 2 \cdot c \cdot L_1 \cdot \cos \theta_3 \cdot \cos \theta_2 + \theta_1$$

$$+ 2 \cdot c \cdot a_i \cdot (-\cos \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \cos \theta_2 + \theta_1 \mp \sin \theta_4 \cdot \sin \theta_2 + \theta_1)$$

$$+ 2 \cdot c \cdot b_i (\sin \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \cos \theta_2 + \theta_1 \mp \cos \theta_4 \cdot \sin \theta_2 + \theta_1)$$

$$- 2 \cdot L \cdot L_1 \cdot \cos \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \infty \cdot L \cdot a_i \cdot (\cos \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \sin \theta_4 \cdot \cos \theta_2) + 2 \cdot L \cdot b_i \cdot (-\sin \theta_4 \cdot \sin \theta_3 \cdot \sin \theta_2 + \cos \theta_4 \cdot \cos \theta_2)$$

$$\lambda_i = \sqrt{g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)}$$

Pour obtenir la matrice  $[J]^T$ , nous pouvons écrire avec  $\lambda_i^2 = g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$  que

$$2 \cdot \dot{\lambda}_i \cdot \lambda_i = \frac{d}{dt} (g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)) \text{ d'où}$$

$$\dot{\lambda}_i = \frac{d}{dt} (g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4))$$

$$= \frac{f_1(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \cdot \dot{\theta}_1 + f_2(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \cdot \dot{\theta}_2 + f_3(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \cdot \dot{\theta}_3 + f_4(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \cdot \dot{\theta}_4}{2 \cdot \sqrt{g(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)}}$$

on déduit :

$$[J]^{-1} = \begin{bmatrix} f_{16}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{16}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{16}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{16}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \\ f_{26}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{26}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{26}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{26}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \\ f_{36}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{36}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{36}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{36}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \\ f_{46}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{46}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{46}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) & f_{46}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \end{bmatrix}$$

$[J]^{-1}$  caractérise le modèle cinématique inverse.

Pour obtenir le modèle cinématique direct, il faut que la matrice soit inversible, donc :

- être carrée ;
- avoir un déterminant non nul.

La loi de commande en modèle direct n'est pas déduite automatiquement et peut ne pas exister.

### Question 13

La machine synchrone a, en première approximation, la structure d'une machine à courant continu inversée : l'inducteur est tournant et l'induit est fixe, il n'y a plus de courant d'induit à commuter mécaniquement. Il n'est pas autopiloté par l'intermédiaire des balais. Sa commande est réalisée par une électronique externe.

Le choix d'un moteur à courant continu et aimant permanent permet d'avoir, dans une première approche très simplifiée, une commande directement réalisée par les grandeurs électriques sans pilotage externe.

Le modèle classique d'un moteur à courant continu est défini par l'équation différentielle :

$$\begin{aligned} u(t) &= R \cdot i(t) + L \cdot \frac{d i(t)}{dt} + e(t) \quad ; \\ k_c \cdot i(t) &= C_m(t) \quad ; \\ k_e \cdot \omega_m(t) &= e(t) \quad ; \\ I_m \cdot \frac{d \omega_m(t)}{dt} &= C_m(t) \end{aligned}$$

L'effort résistant n'est pas proposé dans les données, il est introduit au travers de la question 4.

### Question 14

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique successivement sur le réducteur, le système poulies-courroie et le moteur et sur la vis à bille, on obtient :

$$\frac{dE(\text{red. moteur})}{dt} = \sum P_{\text{ext}} + \sum P_{\text{int}}$$

$$\text{soit } \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} (I_r + I_m) \cdot \omega_m^2 \right) = C_m \cdot \omega_m - C_r \cdot \omega_r - (1 - \eta_r) \cdot C_m \cdot \omega_m \text{ d'où}$$

$$(I_r + I_m) \cdot \dot{\omega}_m = \eta_r \cdot C_m - \frac{C_r}{r}$$

$$\frac{dE(\text{vis / R } b)}{dt} = \sum P_{\text{ext}} + \sum P_{\text{int}}$$

$$\text{soit } \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot \dot{\lambda}_t^2 \right) = C_r \cdot \omega_r - F_i \cdot \dot{\lambda}_t - (1 - \eta_v) \cdot C_r \cdot \omega_r \text{ d'où } \left( m_t \cdot \frac{\rho \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi} \right) \cdot \dot{\omega}_m = \eta_v \cdot \frac{C_r}{r} - F_i \cdot \frac{\rho \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$\left( I_r + I_m + m_t \cdot \frac{\rho \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi} \right) \cdot \dot{\omega}_m = \eta_r \cdot C_m - \frac{C_r}{r} + \eta_v \cdot \frac{C_r}{r} - F_i \cdot \frac{\rho \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$\left( I_r + I_m + m_t \cdot \frac{p \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi} \right) \cdot \dot{\omega}_m = \eta_r \cdot C_m - (1 - \eta_v) \cdot (\eta_r \cdot C_m - (I_r + I_m) \cdot \dot{\omega}_m) - F_i \cdot \frac{p \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$C_m = \underbrace{\left( \frac{I_r + I_m}{\eta_r} + \frac{m_t}{\eta_r \cdot \eta_v} \cdot \left( \frac{p \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi} \right)^2 \right)}_{I_{eq}} \cdot \dot{\omega}_m + \underbrace{F_i \cdot \frac{p \cdot 10^{-3}}{r \cdot 2 \cdot \pi \cdot \eta_r \cdot \eta_v}}_{r_{eq}}$$

Avec :

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \dots ;$$

$$k_c \cdot i(t) = C_m \cdot \dot{\omega}_m ;$$

$$k_e \cdot \omega_m = e \cdot t ;$$

$$C_m \cdot I_{eq} = \dot{\omega}_m \cdot t + F_i \cdot t \cdot r_{eq}$$

$$\text{Avec } \omega_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{p \cdot 10^{-3}} \cdot \lambda \cdot t$$

$$\text{On a : } u(t) = \frac{R}{K_C} i + r \frac{L}{K_C} \cdot \frac{dF(t)}{dt} + e \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{p \cdot 10^{-3}} \cdot \lambda \cdot t + \frac{R}{K_C} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{p \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{d^2 \lambda \cdot t}{dt^2} + \frac{L}{K_C} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{p \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{d^3 \lambda \cdot t}{dt^3}$$

### Question 15

Seuls les angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  sont à mettre en œuvre pour obtenir de la flexion suivant la direction  $\vec{y}$  et de traction-compression suivant la direction  $\vec{x}$ . Donc :  $\theta_1 \neq 0$ ,  $\theta_2 \neq 0$ ,  $\theta_3 = 0$  et  $\theta_4 = 0$ .

### Question 16

Les résultats de la question n°15 sont  $\theta_1 \neq 0$ ,  $\theta_2 \neq 0$ ,  $\theta_3 = 0$  et  $\theta_4 = 0$ . La géométrie du banc d'essai est symétrique par rapport au plan  $(O, \vec{z}, \vec{x})$ .

Les mouvements permis au système pour respecter ces conditions sont :

- des translations dans le plan  $(O, \vec{z}, \vec{x})$  ;
- des rotations ayant des axes portés par  $\vec{y}$ .

Un problème plan  $(O, \vec{z}, \vec{x})$  est donc compatible avec les conditions imposées à la question n°15.

### Question 17

Avec  $\theta_1 = \vec{x}, \vec{x}_{11} \simeq \vec{z}, \vec{z}_{11}$  et  $\theta_2 = \vec{x}_{11}, \vec{x}_{10} \simeq \vec{z}_{11}, \vec{z}_{10}$

Équation associée à  $\theta_1$  :

$$\ddot{\theta}_1 \cdot (B_{10} + B_{11} + m_{10} \cdot (L^2 + L_1^2) + m_{11} \cdot \frac{L^2}{9} - 2 \cdot m_{10} \cdot L \cdot L_1 \cdot \sin\theta_2) + \ddot{\theta}_2 \cdot (B_{10} + m_{10} \cdot L_1^2 - m_{10} \cdot L \cdot L_1 \cdot \sin\theta_2)$$

$$- \dot{\theta}_2 \cdot (m_{10} \cdot L \cdot L_1 \cdot (2 \cdot \dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \cdot \cos\theta_2) - m_{11} \cdot g \cdot \frac{L}{3} \cdot \sin\theta_1 - m_{10} \cdot g \cdot (L \cdot \sin\theta_1 + L_1 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2)) =$$

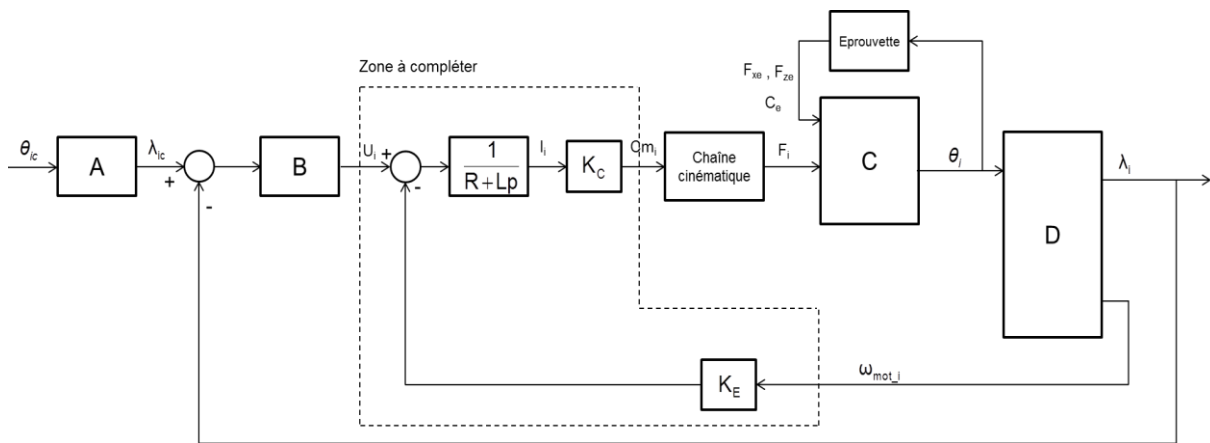
$$(F_{P1} \cdot g(\theta_1, \theta_2) + F_{P2} \cdot g_f(\theta_1, \theta_2)) + F_{ex} \cdot (L \cdot \cos\theta_1 - L_1 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)) + F_{ez} \cdot (-L \cdot \sin\theta_1 - L_1 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2)) + C_{ey}$$

Équation associée à  $\theta_2$  :

$$\ddot{\theta}_1 \cdot (B_{10} + m_{10} \cdot L_1^2 - m_{10} \cdot L \cdot L_1 \cdot \sin\theta_2) + \ddot{\theta}_2 \cdot (B_{10} + m_{10} \cdot L_1^2) + m_{10} \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot L \cdot L_1 \cdot \cos\theta_2 - m_{10} \cdot g \cdot L_1 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) =$$

$$(F_{P1} \cdot f_f(\theta_1, \theta_2) + F_{P2} \cdot f_f(\theta_1, \theta_2)) - F_{ex} \cdot L_1 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) - F_{ez} \cdot L_1 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + C_{ey}$$

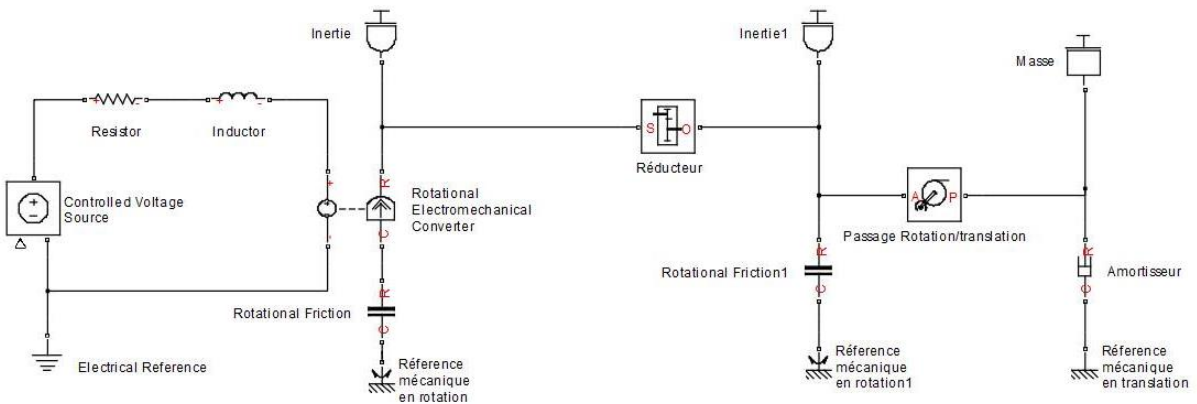
### Question 18



### Question 19

- Bloc A : adaptation de la consigne.
- Bloc B : correcteur et amplificateur.
- Bloc C : équations de Lagrange (Q15).
- Bloc D : modèle géométrique inverse (Q12).

### Question 20



NB : il est également possible de rajouter une source de force pilotée.

### Question 21

Équation d'équilibre local :

$$\text{div}(\overline{\overline{\sigma}}) \mp \overline{\overline{f}}_v = \overline{\overline{0}}$$

Loi de comportement sous la forme :

$$\overline{\overline{\varepsilon}} = \frac{1+\nu}{E} \cdot \overline{\overline{\sigma}} - \frac{\nu}{E} \cdot \text{tr}(\overline{\overline{\sigma}}) \cdot \overline{\overline{1}}$$

$$\overline{\overline{\sigma}} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \left( \overline{\overline{\varepsilon}} + \frac{\nu}{1-2 \cdot \nu} \cdot \text{tr}(\overline{\overline{\varepsilon}}) \cdot \overline{\overline{1}} \right)$$

Relation entre les déplacements et la déformation linéarisée :

$$\overline{\overline{\varepsilon}} = \frac{1}{2} \cdot \left( \overline{\overline{\text{grad}}} \overline{\overline{U}} \mp \overline{\overline{\text{grad}}}^T \overline{\overline{U}} \right)$$

Conditions aux limites sur les surfaces  $S_1$  et  $S_2$  :  $M_{f(x=0)} = M_{f1}$  et  $M_{f(x=L)} = M_{f2}$ .

### Question 22

En utilisant la relation entre les déplacements et la déformation linéarisée, nous avons :

$$\vec{U}(\vec{M}) = -z \cdot U_{z,x} \cdot \vec{x} - z \cdot U_{z,y} \cdot \vec{y} + U_z \cdot \vec{z}$$

D'où les champs de contrainte en fonction du champ de déplacement :

$$\sigma_{xx} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (-z \cdot U_{z,x^2} - \nu \cdot z \cdot U_{z,y^2}) \quad \sigma_{yy} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (-z \cdot U_{z,y^2} - \nu \cdot z \cdot U_{z,x^2})$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1+\nu}{E} \cdot (-z \cdot U_{z,xy})$$

L'équation d'équilibre des moments permet d'écrire :

$$M_{fy} = \int_{-\frac{e}{2}}^{\frac{e}{2}} \sigma_{xx} \cdot z \cdot dz = \int_{-\frac{e}{2}}^{\frac{e}{2}} \frac{E}{1-\nu^2} \cdot (-z \cdot U_{z,x^2} + \nu \cdot -z \cdot U_{z,y^2}) \cdot z \cdot dz \quad M_{fy} = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot (U_{z,x^2} + \nu \cdot U_{z,y^2})$$

En tenant compte du champ de déplacement associé au chargement  $U_{z,y^2} = 0$

En s'appuyant sur la relation de Love Kirchhoff dans le cas de cette étude, nous avons :

$$\text{grad}(U(\vec{M})) \cdot z = \vec{\theta}, \text{ on a : } \theta_x = U_{z,y} \text{ et } \theta_y = -U_{z,x}$$

$$M_{fy} = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \theta_{y,x} \text{ ou } M_{fy} = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2}$$

### Question 23

En s'appuyant sur la théorie des poutres nous avons  $M_{fy} = E \cdot I \cdot \theta_{y,x}$  avec  $I = \frac{b \cdot e^3}{12}$ , moment quadratique.

Pour une largeur unitaire  $b$ , nous avons :  $M_{fy} = \frac{E \cdot e^3}{12} \cdot \theta_{y,x}$  soit une différence entre les deux moments fléchissant de  $\frac{1}{(1-\nu^2)}$  avec le coefficient de Poisson du matériau 0,28 nous obtenons un écart de 8,5 %.

### Question 24

L'équation de la déformée de la plaque suivant la direction  $\vec{x}$  est  $y = \frac{M_{fy} \cdot (1-\nu^2) \cdot 12}{E \cdot e^3} \left( x^2 - \frac{L}{2} x \right)$

Soit  $f_{max} = 8,58 \cdot 10^{-4} \cdot M_{fy}$  avec  $f_{max}$  en mm et  $M_{fy}$  en Nmm

Le coefficient directeur de la droite fournie est  $\frac{38,34 - 4,26}{45\,000 - 5\,000}$  soit  $8,52 \cdot 10^{-4}$

Aux erreurs de lecture sur la courbe près, nous obtenons des résultats similaires.

L'étude s'effectue sur des matériaux composites, le matériau est donc par définition non homogène et non isotrope. Le choix d'une étude en plaque mince introduit des hypothèses qui sont justifiées à la vue de la courbe obtenue.

### Question 25

Pour la matrice :

$$\sigma_{mm} = 2 \cdot K_m \cdot \left( A_m + \nu_m \cdot D_m - (1 - 2 \cdot \nu_m) \cdot \frac{B_m}{r^2} \right)$$

$$\sigma_{xxm} = 2 \cdot K_m \cdot (2 \cdot \nu_m \cdot A_m - (1 - \nu_m) \cdot D_m)$$

Pour la fibre :

$$\sigma_{ff} = 2 \cdot K_f \cdot (A_f + \nu_f \cdot D_f)$$

$$\sigma_{xxf} = 2 \cdot K_f \cdot (2 \cdot \nu_f \cdot A_f - (1 - \nu_f) \cdot D_f)$$

### Question 26

Les hypothèses de l'étude permettent d'écrire les conditions limites, à chaque condition limite correspond une équation :

- les déformations suivant  $\vec{x}$  de la matrice et de la fibre sont identiques  
d'où  $\varepsilon_{xxm} = \varepsilon_{xxf} = \varepsilon = D_m = D_f$
- la contrainte est nulle sur le rayon extérieur de la matrice ( $r = r_m$ )  
d'où  $\sigma_{mm} = 0$
- les déplacements sont les mêmes à l'interface entre la fibre et la matrice (conditions de continuité) d'où  $u_{rf} = u_{rm}$  pour  $r = r_f$
- les déplacements de la surface  $S_2$  sont identiques pour la fibre et pour la matrice  
d'où  $u_{xf} = u_{xm}$  pour  $x = x_{S_2}$
- les contraintes radiales sont identiques à l'interface entre la fibre et la matrice  
d'où  $\sigma_{rf} = \sigma_{rm}$  pour  $r = r_f$

Nous obtenons le système suivant :

$$\varepsilon_{xxm} = \varepsilon_{xxf} = \varepsilon = D_m = D_f \quad (1)$$

$$A_m + \nu_m \cdot \varepsilon - (1 - 2 \cdot \nu_m) \cdot \frac{B_m}{r_m^2} = 0 \quad (2)$$

$$A_f \cdot r_f = A_m \cdot r_m + \frac{B_m}{r_f} \quad (3)$$

$$D_f \cdot x_{S_2} = D_m \cdot x_{S_2} \text{ avec } x_{S_2} \text{ la coordonnée suivant } \vec{x} \text{ de la face } S_2 \quad (4)$$

$$K_f \cdot (A_f + \nu_f \cdot \varepsilon) = K_m \cdot \left( A_m + \nu_m \cdot \varepsilon - (1 - 2 \cdot \nu_m) \cdot \frac{B_m}{r_f^2} \right) \quad (5)$$

### Question 27

On déduit  $E_L = E_{xx} = \frac{\bar{\sigma}_{xx}}{\varepsilon} = \frac{1}{\pi \cdot r_m^2 \cdot \varepsilon} \cdot \int_S \sigma_{xx} \cdot r \cdot dS$  soit  $E_L = \frac{1}{\pi \cdot r_m^2 \cdot \varepsilon} \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^{r_m} \sigma_{xx} \cdot r \cdot dr \cdot d\theta$

$$E_L = \frac{2}{r_m^2 \cdot \varepsilon} \cdot \left( \int_0^{r_f} r \cdot \sigma_{xxf} \cdot r \cdot dr + \int_{r_f}^{r_m} r \cdot \sigma_{xxm} \cdot r \cdot dr \right)$$

Avec  $\sigma_{xxm} = 2 \cdot K_m \cdot (2 \cdot \nu_m \cdot A_m - (1 - \nu_m) \cdot D_m)$  et  $\sigma_{xxf} = 2 \cdot K_f \cdot (2 \cdot \nu_f \cdot A_f - (1 - \nu_f) \cdot D_f)$

$$E_L = 2 \cdot K_f \cdot (2 \cdot \nu_f \cdot A_f - (1 - \nu_f) \cdot D_f) \cdot V_f + 2 \cdot K_m \cdot (2 \cdot \nu_m \cdot A_m - (1 - \nu_m) \cdot D_m) \cdot (1 - V_f)$$

$$v_{LT} = v_{xy} = -\frac{u_{rm}}{D_f \cdot r_m}$$

### Question 28

Cette étude permet d'obtenir le module d'Young et le coefficient de Poisson transversal. Il serait nécessaire d'obtenir le module de cisaillement longitudinal et transversal (associé à de la torsion) et le module de compression latérale.

Une fois ces déterminations effectuées, il est nécessaire de construire des matrices de raideur caractérisant la superposition des couches de composites et les directions principales de celles-ci (direction des fibres).

Un nombre important de couches couvrant un maximum de directions permettra d'obtenir un comportement quasi isotrope (dans le sens d'une plaque fine).

### Question 29

La méthode du mouchetis (appelé également « corrélation d'images numériques ») est une méthode optique 2D ou 3D qui permet de mesurer les déplacements entre deux images. Elle est de plus en plus employée en sciences des matériaux pour déterminer des champs de déformations, détecter des fissures ou pour fournir des champs de déplacements.

### Question 30

Le déplacement du point A selon  $\bar{x}$  est l'intégrale de la déformation  $\varepsilon_x$  de 0 à  $x_{Av}$  :  $u_{Ax}^T = \int_0^{x_{Av}} \varepsilon_x dx$ .

Avec  $\varepsilon_x = \frac{\sigma_N}{E}$  et  $\sigma_N = -\frac{F_x}{e \cdot b}$

d'où :

$$u_{Ax}^T = -\frac{F_x}{E \cdot e \cdot b} \cdot x_{Av}$$

### Question 31

Pour une section d'abscisse  $x$ , le moment de flexion dépend de  $C_f$  et  $F_y$  :

$$M_f = -C_f + F_y (L - x)$$

En flexion, la dérivée seconde de la déformée est liée au moment de flexion :

$$E \cdot I \cdot v''(x) = M_f = -C_f + F_y (L - x)$$

soit :

$$E \cdot I \cdot v''(x) = M_f = -C_f \cdot x - F_y \cdot \frac{(L - x)^2}{2} + C_1$$

avec  $C_1 = \frac{F_y \cdot L^2}{2}$  car il y a un encastrement en  $x = 0$

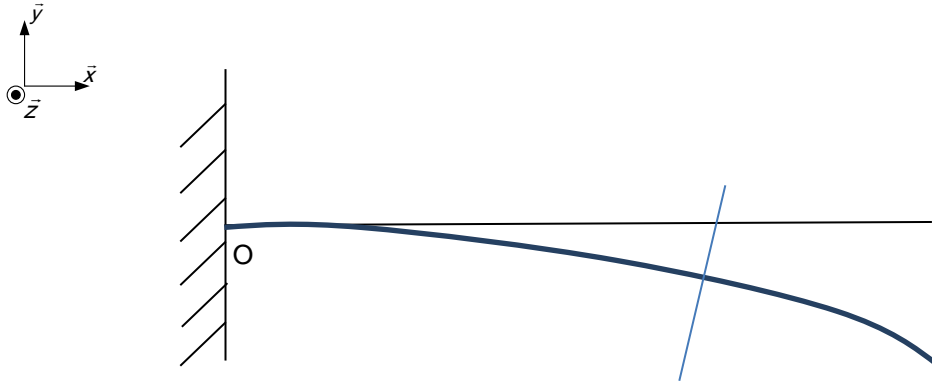
$$v'(x) = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot x - F_y \cdot \frac{(L - x)^2}{2} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \right)$$

Pour information, l'expression de la flèche est alors :

$$v(x) = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot \frac{x^2}{2} + F_y \cdot \frac{(L - x)^3}{6} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \cdot x + C_2 \right)$$

avec  $C_2 = -\frac{F_y \cdot L^3}{6}$





En raison de la flexion, le déplacement du point A :

$$u_{Ac}^F = -y_{Ac} \cdot \sin \vartheta(x_{Ac}) = -y_{Ac} \cdot \sin \vartheta(x_{Ac})$$

$$u_{Ac}^F = -y_{Ac} \cdot \sin \vartheta(x_{Ac}) = -y_{Ac} \cdot \sin \left( \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot x_{Ac} - F_y \cdot \frac{(L - x_{Ac})^2}{2} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \right) \right)$$

$$u_{Ac}^F = -y_{Ac} \cdot \sin \vartheta(x_{Ac}) = -\frac{e}{2} \cdot \vartheta(x_{Ac})$$

$$u_{Ac}^F = -\frac{e}{2} \cdot \left( \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot x_{Ac} - F_y \cdot \frac{(L - x_{Ac})^2}{2} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \right) \right)$$

Le déplacement global au niveau du point A s'exprime donc :

$$u_{Ac} = u_{Ac}^T + u_{Ac}^F = -\frac{F_x}{E \cdot e \cdot b} \cdot x_{Av} - \frac{e}{2 \cdot E \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot x_{Ac} - F_y \cdot \frac{(L - x_{Ac})^2}{2} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \right)$$

d'où

$$E = \frac{1}{u_{Ac}} \cdot \left( -\frac{F_x}{e \cdot b} \cdot x_{Av} - \frac{e}{2 \cdot I} \cdot \left( -C_f \cdot x_{Ac} - F_y \cdot \frac{(L - x_{Ac})^2}{2} + \frac{F_y \cdot L^2}{2} \right) \right)$$

$$I = \frac{b \cdot e^3}{12} = \frac{130 \cdot 10^{-3} \cdot (4,6 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 1,05 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$E = \frac{1}{299,623 \cdot 10^{-3} - 300 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( -\frac{30000}{4,6 \cdot 10^{-3} \cdot 130 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,3 - \frac{4,6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-9}} \cdot \left( -30 \cdot 299,623 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot \left( \frac{0,6 - 299,623 \cdot 10^{-3}}{2} \right)^2 + \frac{50 \cdot 0,6^2}{2} \right) \right)$$

On trouve  $E = 26,8 \text{ GPa}$

### Question 32

Par définition :  $\nu = \frac{-\varepsilon_z}{\varepsilon_x}$

On approxime :  $\varepsilon_z = \frac{\Delta \overline{AB} \cdot \vec{z}}{AB} = \frac{-14,9862 + 15}{65 - 15} = 2,76 \cdot 10^{-4}$  et  $\varepsilon_x = \frac{300 - 299,623}{300} = 13 \cdot 10^{-4}$

On trouve  $\nu = 0,21$

### Question 33

L'énoncé donne :  $R = \rho \frac{L}{S}$  donc :  $\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dS}{S}$

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V} = C(1 - 2\nu) \frac{dL}{L}$$

$$\frac{dS}{S} = -2\nu \frac{dL}{L}$$

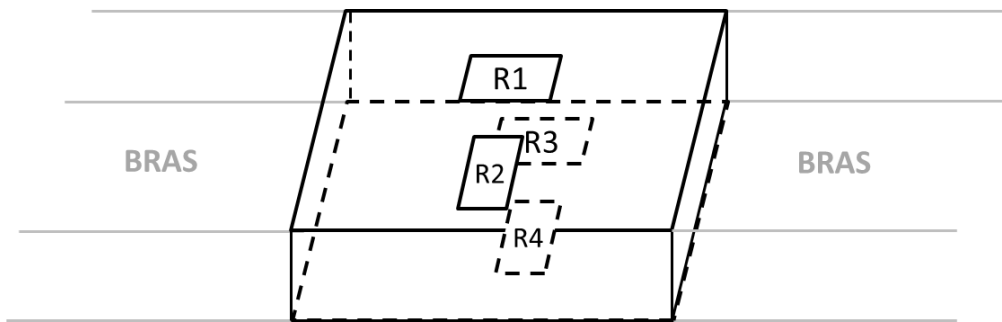
$$\text{D'où : } \frac{dR}{R} = \frac{dL}{L} (1 + C(1 - 2\nu) + 2\nu) \cong K \frac{dL}{L}$$

Avec K : facteur de jauge

$$\frac{dR}{R} \approx 2 \frac{dL}{L}$$

Une mesure de résistance permet donc de mesurer la déformation longitudinale.

### Question 34



Pour les jauges 1 et 3 l'effet de la flexion se compense, il ne reste donc que la traction. Les jauges 2 et 4 ne subissent pas la flexion.

$$\varepsilon_1^f = -\varepsilon_3^f, \quad \varepsilon_1^t = \varepsilon_3^t \quad \text{et} \quad \varepsilon_4^t = -\nu\varepsilon = \varepsilon_2^t$$

$$\text{D'où : } e = \frac{V_{EX}}{4} K \left( \frac{\Delta L_1}{L_1} - \frac{\Delta L_2}{L_2} + \frac{\Delta L_3}{L_3} - \frac{\Delta L_4}{L_4} \right) = \frac{V_{EX}}{4} K (2\varepsilon + \nu\varepsilon)$$

### Question 35

En regardant la simulation, on observe que  $\varepsilon_{max} = 1,377 \cdot 10^{-3}$  pour un effort  $F = 20$  kN.

De plus,  $e = \frac{V_{EX}}{4} K (2\varepsilon + \nu\varepsilon)$  avec  $e = 1 \mu V$ ,  $V_{EX} = 2V$  et  $\nu = 0,23$

$$\text{D'où : } \varepsilon_{min} = \frac{e}{\frac{V_{EX}}{4} K (2 + \nu)} = 0,4 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Enfin : } F_{min} = \varepsilon_{min} \cdot \frac{F}{\varepsilon_{max}} = 5,9 \text{ N}$$

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

## 1. Présentation du sujet

Le sujet proposé portait sur l'étude d'un banc d'essai multiaxial permettant de réaliser des essais afin d'améliorer les connaissances des matériaux composites et plus spécifiquement la réparation de ceux-ci dans le cadre des opérations de maintenance aéronautique.

## 2. Analyse globale des résultats

Dans leur globalité, les candidats ont abordé le sujet de façon linéaire en suivant l'ordre des questions. La progressivité du questionnement permettait cette démarche et a permis aux candidats les plus brillants d'exprimer toutes leurs qualités.

L'analyse et l'interprétation des documents, courbes et schémas fournis sont bien traitées par l'ensemble des candidats. Néanmoins, il est à remarquer que l'utilisation des outils de description de type SysML est mal connue et mal maîtrisée par un nombre non négligeable de candidats.

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

Les compétences spécifiques aux sciences industrielles de l'ingénieur et celles associées à la modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation n'ont été mobilisées, lors des questions de synthèses et dans la conclusion du sujet, que par un nombre restreint de candidats. Les réponses formulées sont souvent très générales et pas suffisamment étayées technologiquement et scientifiquement.

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

### *Partie 1 : vérification des caractéristiques globales du banc d'essai.*

Le questionnement proposait aux candidats de déterminer de façon qualitative les modes de sollicitation, les usinages nécessaires pour obtenir les éprouvettes d'essais et de façon quantitative, une caractéristique du banc d'essai. Une majorité des candidats s'est correctement appropriée les questions, mais les démarches utilisées pour y répondre ont souvent conduit à développer des calculs non demandés.

### *Partie n°2 : validation d'une solution technologique*

Le questionnement proposait aux candidats d'effectuer une validation de dimensionnement d'une liaison pivot. De nombreux candidats se sont attachés à représenter précisément le montage de roulement allant au-delà du questionnement, ce choix ne s'inscrit pas dans une démarche de concours où la précision de la réponse et la maîtrise du temps sont un des critères de réussite. Il est dommageable qu'un nombre significatif de candidats ne soit pas en mesure de mener intégralement une vérification de dimensionnement de roulement à billes.

### *Partie n°3 : création d'un modèle pour la commande des vérins*

Le questionnement proposait aux candidats d'aborder les principaux points nécessaires à la conception de la commande du banc d'essai. Il est regrettable de constater que de nombreux candidats n'ont pas abordé la modélisation de la commande séquentielle du système ni la modélisation multiphysique. L'utilisation de modèles multiphysiques dans les modélisations de systèmes pluritechnologiques constitue l'une des compétences d'un professeur de sciences industrielles de l'ingénieur. Sur les autres réponses aux questions de cette partie, de nombreux candidats ont proposé des démarches cohérentes. Il est néanmoins regrettable que la mise en œuvre de celles-ci ait posé de grosses difficultés principalement dues au non-traitement des développements mathématiques.

Une appropriation plus forte des méthodes énergétiques d'étude des systèmes serait pertinente pour aborder ce type d'épreuve. Ce conseil s'inscrit dans la continuité de celui formulé pour cette épreuve lors de la session 2014.

### *Partie 4 : analyse approfondie des conditions et des résultats d'essais*

Le questionnement proposait aux candidats d'établir dans un premier temps un modèle de comportement d'une plaque mince et de le comparer avec un modèle poutre, puis dans un second temps de mettre en évidence une démarche permettant de déterminer des caractéristiques mécaniques équivalentes et enfin de s'intéresser aux moyens de mesure. Appuyée sur la mécanique des milieux continus, cette partie a été abordée par un nombre restreint de candidats, mais pour ceux-ci, elle a été bien traitée.

### *Partie 5 : synthèse de l'étude menée sur le banc d'essai pour éprouvette en matériaux composites*

Le questionnement proposait aux candidats de faire une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet, pour répondre à la problématique globale d'amélioration des connaissances sur les caractéristiques mécaniques de la réparation sur matériaux composites.

La synthèse produite, par un très faible nombre de candidats, se réduit trop souvent à un argumentaire très éloigné de l'étude scientifique et technique attendue.

### *Commentaires généraux*

Le jury encourage les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet.

Le jury apprécie les candidats qui justifient, ou même simplement expliquent, les démarches adoptées pour répondre aux questions posées.

Si la majorité des candidats présente des copies claires, proprement rédigées, certains rendent des copies comportant de nombreuses ratures, ce qui est inadmissible de la part d'un futur enseignant.

## **4. Conclusion**

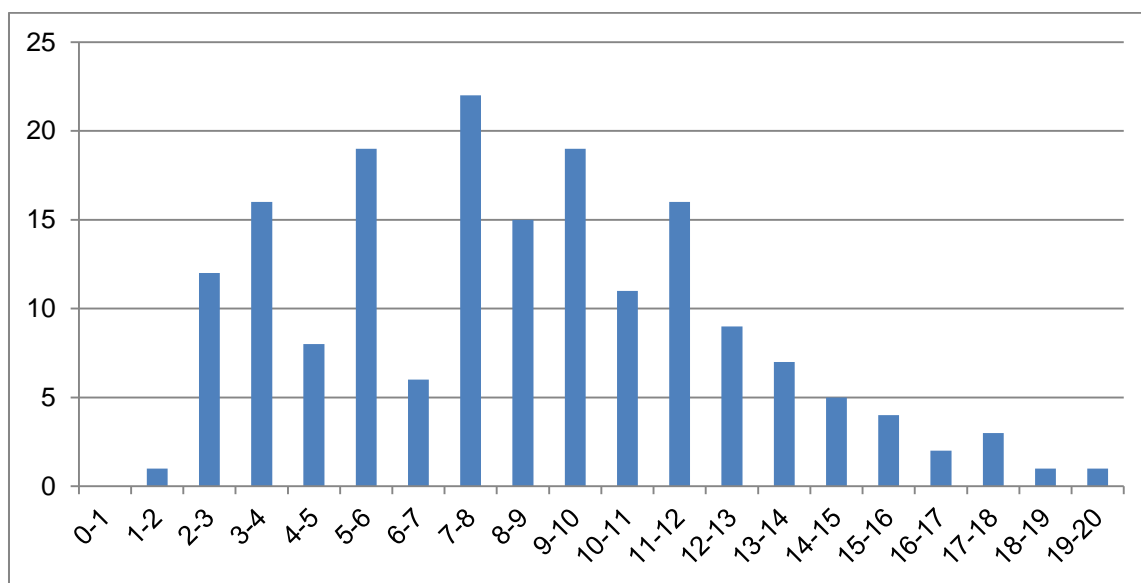
Le sujet avait pour objectif de permettre à un maximum de candidats d'exprimer au mieux leur potentiel. Le spectre des compétences mobilisées était large et, pour une partie significative, relativement classique pour une épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation de l'agrégation externe. Composer sur des sujets de concours, et en particulier à l'agrégation externe, nécessite une réelle expertise disciplinaire. Néanmoins, la gestion du temps, du questionnement et la qualité rédactionnelle sont également des facteurs de réussite. Le jury invite

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

## 5. Résultats

204 copies ont été évaluées, dont 22 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8,1/20 et l'écart-type 3,8 avec :

- 19,0 comme meilleure note ;
- 1,8 comme note la plus basse.



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

## Question 1

Une bobine de 100 mètres a une masse  $m$  de 13 kg :

$$m = \frac{1200 \times 100}{9200} = 13 \text{ kg}$$

La masse de la bobine la plus lourde est inférieure à 10 % de la masse du plateau. La longueur de la bobine sur le plateau a peu d'influence et la masse de celle-ci peut être considérée comme négligeable.

## Question 2

On isole la bobine et on lui applique le PFD suivant l'axe  $\vec{z}$  (vertical).

Les actions sur la bobine sont :

- le poids  $\vec{P} = -m \cdot g \cdot \vec{z}$  ;
- l'action de la table  $\vec{F} = F \cdot \vec{z}$  avec  $F > 0$ .

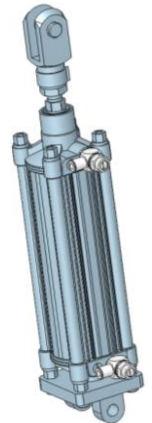
L'application du P.F.D. donne :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F} + \vec{P} = F \cdot \vec{z} - m \cdot g \cdot \vec{z}$$

En cas de décollement :  $F = 0$ .

$$a_{\max} = -g$$

L'accélération maximale est donc l'accélération de pesanteur.



## Question 3

En prenant pour l'accélération de montée, l'accélération de pesanteur :

$$\begin{aligned} a &= g \\ v &= g \cdot t \\ z &= g \cdot \frac{t^2}{2} \end{aligned}$$

La hauteur initiale est nulle et la course fait 100 mm avec accélération sur une demi-course (c'est-à-dire de 0 à  $t_1$ ) et décélération sur l'autre moitié. Il vient :

$$z_{\text{init}(0)} = 0 \text{ et } z_{\text{final}(t_1)} = 50 \text{ mm}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot z_{\text{final}(t_1)}}{g}}$$

$$\text{AN : } t_1 = \sqrt{\frac{2 \times 50 \cdot 10^{-3}}{10}} = 0,1 \text{ s}$$

Le temps de montée est :

$$t_{\text{montée}} = 2 \cdot t_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot z_{\text{final}(t_1)}}{g}}$$

$$\text{AN : } t_{\text{montée}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 50 \cdot 10^{-3}}{10}} = 0,2 \text{ s}$$

#### Question 4

La masse de la bobine est négligée.  $M$  représente donc uniquement la masse du plateau.

$$M = 153 \text{ kg}$$

L'application du théorème de la résultante dynamique en projection sur  $\vec{z}$  donne :

$$M \cdot g = \vec{F}_{2 \text{ vérins}} \cdot \vec{z} + P = F_{Z2 \text{ vérins}} - M \cdot g$$

$$F_{Z2 \text{ vérins}} = 2 \cdot M \cdot g = 3000 \text{ N}$$

$$\text{AN : } F_{Z2 \text{ vérins}} = 2 \times 153 \times 9,81 = 3000 \text{ N}$$

Les vérins doivent pouvoir exercer un effort de 3000 N. Soit 1500 N chacun.

$$F_{Z \text{ vérin}} = \frac{F_{Z2 \text{ vérins}}}{2}$$

$$\text{AN : } F_{Z \text{ vérin}} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ N}$$

Le choix se porte sur les vérins dont le diamètre de section est de 63 mm (1960 N à 6,3 bar).

La course du vérin sera d'au moins 100 mm. Le vérin n'étant pas totalement dans l'axe il faudra choisir le vérin dont la course est de 125 mm.

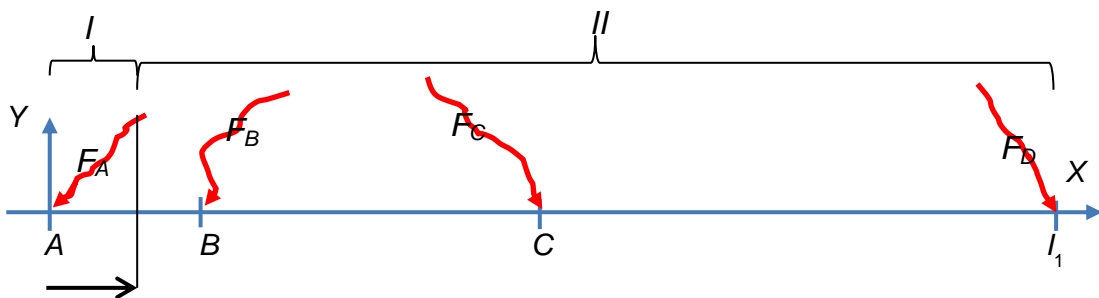
#### Question 5

Ce type de profil de vitesse permet d'éviter les à-coups de démarrage et d'arrêt du plateau. Cela évite les chocs qui engendrent bruits et sollicitations qui finissent par détruire des contacts.

Une solution technologique est le choix de vérins avec amortisseur de fin de course.

Ce type d'amortissement est généralement réalisé par la réduction de section de l'alimentation pour le démarrage du vérin et de l'échappement pour l'arrêt.

#### Question 6



Tronçon 1 :  $G \in ]A; B[ ; \lambda \in ]0; b[$

Actions extérieures à II :

$$- \{I \rightarrow II\} = \begin{Bmatrix} -N \cdot \vec{x} - T_y \cdot \vec{y} \\ -M_{Iz} \cdot \vec{z} \end{Bmatrix}_D ;$$

$$- \{\text{Vérin} \rightarrow II\} = \begin{Bmatrix} F_D \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D ;$$

$$- \{\text{Bras}(2) \rightarrow II\} = \begin{Bmatrix} -F_C \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C ;$$

$$- \{ (0) \rightarrow II \} = \left\{ \begin{array}{c} -F_I \cdot \sin \beta \cdot \bar{x} + F_I \cdot \cos \beta \cdot \bar{y} \\ \bar{0} \end{array} \right\}_I$$

PFS appliqué à II :

$$N = -F_I \cdot \sin \beta$$

$$\text{AN : } N = -1049 \cdot \sin 10 = -182 \text{ N}$$

$$T_y = F_D - F_C + F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } T_y = 1960 - 1960 + 1049 \cdot \cos 10 = 1033 \text{ N}$$

$$M_{Iz} = (b - d - \lambda) \cdot F_D - (b + c - \lambda) \cdot F_C + (b + c + a - \lambda) \cdot F_I \cdot \cos \beta \text{ avec } \lambda \in ]0; b[$$

$$M_{Iz}(\lambda = 0) = (b - d) \cdot F_D - (b + c) \cdot F_C + (b + c + a) \cdot F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } M_{Iz}(\lambda = 0) = \frac{1}{10^3} \times [(110 - 140) \times 1960 - (110 + 240) \times 1960 + (110 + 240 + 360) \times 1049 \times \cos 10] = -11,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Iz}(\lambda = b) = -d \cdot F_D - c \cdot F_C + (c + a) \cdot F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } M_{Iz}(\lambda = b) = \frac{1}{10^3} \times [-140 \times 1960 - 240 \times 1960 + (240 + 360) \times 1049 \times \cos 10] = -125 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tronçon 2 :  $G \in ]B; C[; \lambda \in ]b; b + c[$

$$N = -F_I \cdot \sin \beta$$

$$\text{AN : } N = -1049 \cdot \sin 10 = -182 \text{ N}$$

$$T_y = -F_C + F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } T_y = -1960 + 1049 \cdot \cos 10 = -927 \text{ N}$$

$$M_{Iz} = -(b + c - \lambda) \cdot F_C + (b + c + a - \lambda) \cdot F_I \cdot \cos \beta \text{ avec } \lambda \in ]b; b + c[$$

$$M_{Iz}(\lambda = b) = -c \cdot F_C + (c + a) \cdot F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } M_{Iz}(\lambda = b) = \frac{1}{10^3} \times [-240 \times 1960 + (240 + 360) \times 1049 \times \cos 10] = 149,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Iz}(\lambda = b + c) = a \cdot F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } M_{Iz}(\lambda = b + c) = \frac{1}{10^3} \times [360 \times 1049 \times \cos 10] = 371,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tronçon 3 :  $G \in ]C; I[; \lambda \in ]b + c; b + c + a[$

$$N = -F_I \cdot \sin \beta$$

$$\text{AN : } N = -1049 \cdot \sin 10 = -182 \text{ N}$$

$$T_y = F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } T_y = 1049 \cdot \cos 10 = 1033 \text{ N}$$

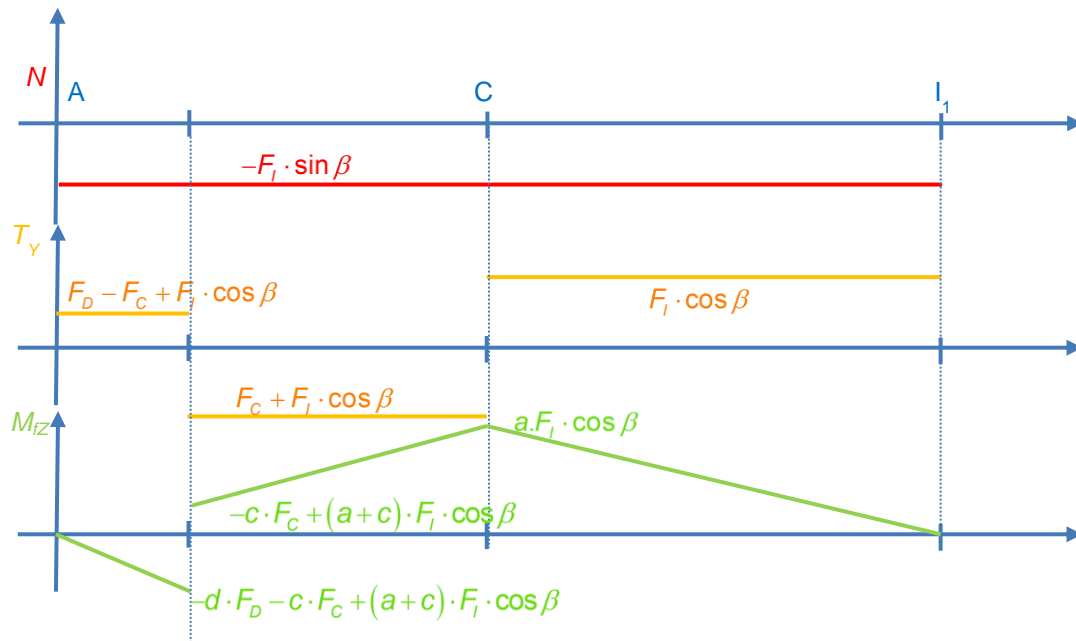
$$M_{Iz} = (b + c + a - \lambda) \cdot F_I \cdot \cos \beta \text{ avec } \lambda \in ]b + c; b + c + a[$$

$$M_{Iz}(\lambda = b + c) = a \cdot F_I \cdot \cos \beta$$

$$\text{AN : } M_{Iz}(\lambda = b + c) = \frac{1}{10^3} \times [360 \times 1049 \times \cos 10] = 371,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{Iz}(\lambda = b + c + a) = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$





### Question 7

Le moment quadratique  $I_{GZ}$  s'écrit :

$$I_{GZ} = \frac{j \cdot h^3}{12} - \frac{(j-2e) \cdot (h-2e)^3}{12}$$

$$\text{AN : } I_{GZ} = \frac{40 \times 80^3}{12} - \frac{(40 - 2 \times 3) \times (80 - 2 \times 3)^3}{12} = 558\,531 \text{ mm}^4$$

Contrainte de traction :

$$S = j \cdot h - (j-2e) \cdot (h-2e)$$

$$\text{AN : } S = 40 \times 80 - (40 - 2 \times 3) \times (80 - 2 \times 3) = 684 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{traction}} = \frac{-F_1 \cdot \sin \beta}{S}$$

$$\text{AN : } \sigma_{\text{traction}} = \frac{-1049 \cdot \sin 10}{684} = -0,26 \text{ MPa}$$

Contrainte de flexion :

$$\sigma_{f \max} = \frac{-M_{fz \max}}{I_{GZ}} \cdot y_{\max} = \frac{-a \cdot F_1 \cdot \cos \beta}{I_{GZ}} \cdot \frac{h}{2}$$

$$\text{AN : } \sigma_{f \max} = \frac{-360 \cdot 1049 \cdot \cos 10}{558\,531} \cdot \frac{80}{2} = -26,6 \text{ MPa}$$

Contrainte normale maximale :

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{traction}} + \sigma_{f \max}$$

$$\text{AN : } \sigma_{\max} = -0,26 - 26,66 = -26,9 \text{ MPa}$$

Le dimensionnement à la contrainte maximale n'est pas un critère limitant.

### Question 8

La flexion de la poutre est générée par le moment fléchissant  $M_{fz}$ .

L'équation utilisée pour déterminer la déformation est la suivante :

$$E \cdot I_{GZ} \cdot y''(\lambda) = M_{Iz}$$

La poutre comportant trois tronçons, le moment fléchissant est défini par morceaux sur les trois tronçons. La flèche est déterminée par intégration de l'équation précédente sur les trois tronçons. Cette intégration génère 6 inconnues d'intégration.

Les conditions aux limites sont les suivantes :

$$y_1(0) = 0 \text{ et } y_3(a + b + c) = 0$$

Les conditions de continuité s'écrivent :

$$y_1(b) = y_2(b) ; y'_1(b) = y'_2(b) ; \\ y_1(b + c) = y_2(b + c) ; y'_1(b + c) = y'_2(b + c)$$

La déformée en tous points de la poutre est donc connue.

### Question 9

Une étude statique 2D ignore trois composantes sur six dans les torseurs d'actions. On obtient ainsi une partie seulement des résultats. Les autres composantes ne sont généralement pas nulles. Lors d'une étude de RdM, elles peuvent être à l'origine de sollicitations qui ne doivent pas être ignorées. Ici une sollicitation de torsion est largement ignorée en 2D. La section de la poutre étant rectangulaire, l'étude en torsion est de toute manière compromise...

### Question 10

Il faut veiller à mettre en place une modélisation cohérente (conditions aux limites et chargements). L'action du vérin peut être modélisée par un effort réparti sur la moitié de la surface cylindrique (hypothèse liaison sans jeu) et dont la résultante est orientée dans la direction adéquate. Les autres actions mécaniques de contact peuvent être introduites par une modélisation similaire en prenant garde à la direction de chacune d'elles. Les conditions aux limites sont plus complexes. La surface de l'alésage en A peut-être encastree mais les résultats à proximité de cette zone seront à prendre avec précaution.

### Question 11

Le maillage volumique de profilés est délicat : nécessité d'avoir beaucoup d'éléments dans l'épaisseur pour obtenir des résultats pertinents. Le nombre d'éléments dans l'épaisseur est coûteux quant aux ressources (inversion de matrice de rigidité) et donc de temps de calcul.

Les éléments quadratiques permettent de converger plus rapidement que des éléments linéaires (nombre de nœuds et fonction de forme). Les paramètres permettant de jauger de la qualité sont : ratio (élancement), % ratio < 3 (bons éléments), % ratio > 10 ("mauvais éléments"), % distorsion.

La qualité est satisfaisante : pas d'éléments distordus et aspect ratio compatible avec les études à mener, même si la taille de maille moyenne est importante au regard des épaisseurs. L'activation des transitions automatiques permet d'éviter d'affiner le maillage là où sont localisées les concentrations de contrainte. Une cartographie de l'élancement (ratio) permettrait de compléter l'analyse de la qualité du maillage.

Le maillage est globalement de qualité (même si le recours à des éléments volumiques n'est pas idéal) et l'erreur moyenne sur l'énergie totale de déformation montre que les résultats ont suffisamment convergé. Les résultats de l'étude sont donc valides, mais très/trop coûteux en termes de ressources donc de temps de calcul.

### Question 12

Les deux premières hypothèses sont trop restrictives et ne permettent pas de prendre en compte les désaxages des efforts du galet sur le système, mais surtout du vérin sur le système dont la sollicitation est loin d'être négligeable.

La troisième étude met le doigt sur ce problème, mais ne prend pas en compte la surépaisseur du cordon de soudure (ce qui va *a priori* diminuer la contrainte maximale). Dans l'hypothèse 3, il y a une concentration de contrainte de Von Mises qui atteint une valeur qui est trop importante pour un matériau courant. Mais cette dernière étude ne prend pas en compte le cordon de soudure. Quoi qu'il en soit, un dimensionnement recourant à l'EUROCODE sera nécessaire.

### Question 13

La technologie MAG est économiquement adaptée pour un soudage d'acier S355 et pour une production quasi-unitaire telle que celle-ci. La vitesse est assez élevée et le cordon est régulier.

La gamme de soudage peut se décomposer comme suit :

- découpe à la longueur de la barre de section rectangulaire ;
- découpe du petit raccord de section carrée entre la barre principale et la pièce rapportée ;
- découpe dans un tube des deux axes percés ;
- usinage en ébauche de l'axe du galet ;
- perçage des trois alésages et soudage des trois axes ;
- découpe des tôles puis assemblage de celle-ci pour réaliser la pièce rapportée ;
- soudage du raccord à la pièce rapportée puis à la barre principale ;
- finition par usinage des deux alésages et de l'axe du galet.

### Question 14

La faiblesse des caractéristiques mécaniques de la ZAT provient de la modification dimensionnelle des grains du matériau. La limite élastique baisse et la limite en fatigue est mauvaise (propagation de fissures le long des joints de grain).

Exemples de solutions permettant de pallier la faiblesse de la ZAT :

- solution 1 - gousset (nervure soudée) ;
- solution 2 - traitement thermique pour affiner les grains dans la ZAT (efficace, mais cher) ;
- solution 3 - augmenter la dimension du tube (demande probablement l'utilisation de tubes non standards) ;
- solution 4 - augmenter la dimension du cordon de soudure pour éloigner la ZAT des actions (solution limitée par l'épaisseur du tube) ;
- solution 5 - utiliser un matériau plus résistant (mais l'efficacité n'est pas garantie et cette solution peut se révéler assez chère).

### Question 15

La question 3 a permis de calculer un temps minimal de montée de 0,2 s. Ce temps sera doublé du fait des amortissements de démarrage et d'arrêt. Le temps de montée est donc de 0,4 s. Le temps de descente également.

Le temps cycle complet théorique, montée et descente, sera donc de 0,8 s.

### Question 16

Effort du vérin à la poussée (montée) :  $F_1 = 1991 \text{ N}$

Effort du vérin à la traction (descente) :  $F_2 = 1802 \text{ N}$

Masse totale en mouvement :  $m = 110 + 40 = 150 \text{ kg}$

Montée (accélération  $a_1$ ) :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F} + \vec{P} = F_1 \cdot \vec{z} - m \cdot g \cdot \vec{z}$$

$$a_1 = \frac{F_1}{m} - g$$

AN :  $a_1 = \frac{1991}{150} - 9,81 = 3,46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  soit  $0,35 \cdot g$  environ.

Descente (accélération  $a_2$ ) :

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F} + \vec{P} = -F_2 \cdot \vec{z} - m \cdot g \cdot \vec{z}$$

$$a_2 = -\frac{F_2}{m} - g$$

AN :  $a_2 = \frac{-1802}{150} - 9,81 = -21,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  soit  $-2,2 \cdot g$  environ.

La course « c » est de 600 mm.

Le temps de montée  $T_1$  vaut :

$$T_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot c}{a_1}}$$

AN :  $T_1 = \sqrt{\frac{2 \times 600 \cdot 10^{-3}}{3,46}} = 0,59 \text{ s}$

Le temps de descente  $T_2$  vaut :

$$T_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot c}{|a_2|}}$$

AN :  $T_2 = \sqrt{\frac{2 \times 600 \cdot 10^{-3}}{21,8}} = 0,23 \text{ s}$

Le temps théorique total  $T_{théo}$  est de 0,82 s :

$$T_{théo} = T_1 + T_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot c}{a_1}} + \sqrt{\frac{2 \cdot c}{|a_2|}}$$

AN :  $T_{théo} = T_1 + T_2 = \sqrt{\frac{2 \times 600 \cdot 10^{-3}}{3,36}} + \sqrt{\frac{2 \times 600 \cdot 10^{-3}}{21,8}} = 0,82 \text{ s}$

### Question 17

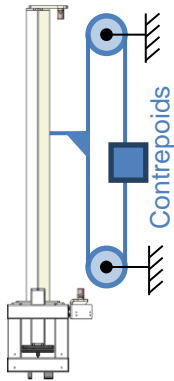
Les vitesses du vérin en fin de course sont :

$$V_1 = a_1 \cdot T_1 = 2,03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$V_2 = a_2 \cdot T_2 = -5,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Les chocs en fin de course ne seront pas admissibles par le système.

### Question 18



Le système de compensation peut être constitué d'un contrepoids de 150 kg. Celui-ci permet d'avoir un système en équilibre statique. Le comportement dynamique devient symétrique à la montée et à la descente en supposant l'action du vérin identique à la montée et à la descente.

Les accélérations supérieures à 1g ne permettent pas d'avoir un simple contrepoids sur une poulie, il faut un câble bouclé.

L'inertie de l'ensemble est beaucoup plus importante et comme le système fonctionne en grande partie en dynamique, cette inertie, en plus de la relative complexité du système de poulies, est un inconvénient majeur.

### Question 19

Les caractéristiques de l'amortisseur Enidine OEM 1,25 x 2 sont les suivantes :

	mm	mm	m/sec	Nm	Nm	N
<b>OEM 1.25M x 2</b>	16,0	50	0,3 - 3,3	385,0	111 400	<b>11 120</b>

Énergie maximale par cycle :

$$E_{cycle} = E_{cinématique} + E_{potentielle}$$

$$\text{avec } E_{cinématique} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 = 310 \text{ J}$$

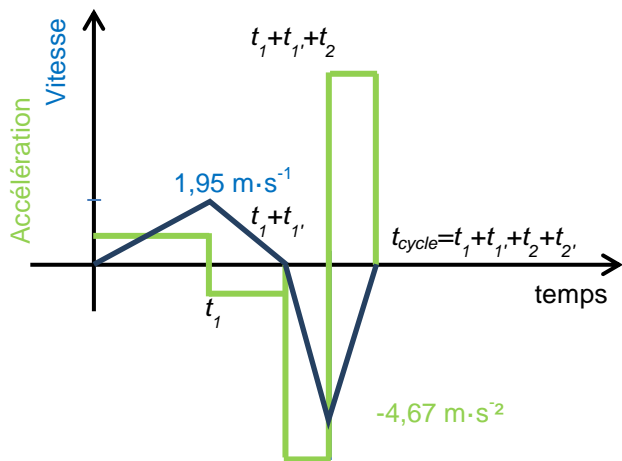
$$\text{et } E_{potentielle} = (F_{vérin} - m \cdot g) \cdot course = 26 \text{ J}$$

$$E_{cycle} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 + (F_{vérin} - m \cdot g) \cdot course = 336 \text{ J}$$

Donc  $E_{cycle}$  est inférieure aux 385 J admissibles par l'amortisseur.

En ce qui concerne l'énergie maximale par heure, l'amortisseur admet 111 400 J.h<sup>-1</sup>. Le nombre de cycles dans les conditions d'utilisation est donc de 111 400 / 336 soit 331 cycles.h<sup>-1</sup> soit 5,5 cycles par minute, ce qui largement supérieur au cycle de réalisation d'une bobine.

### Question 20



La course de relevage est de  $c_1 = 550$  mm jusqu'à l'amortisseur puis  $c'_1 = 50$  mm d'amortissement.

La course de repose est de  $c_2 = 500$  mm jusqu'à l'amortisseur puis  $c'_2 = 100$  mm d'amortissement.

Soit  $t_1$ , le temps de montée jusqu'à l'amortisseur :

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot c_1}{a_1}}$$

$$\text{AN : } t_1 = \sqrt{\frac{2 \times 550 \cdot 10^{-3}}{3,46}} = 0,56 \text{ s}$$

$$\text{et } V_1 = a_1 \cdot t_1 = 1,95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Soit  $t_2$ , le temps de descente jusqu'à l'amortisseur :

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot c_2}{a_2}}$$

$$\text{AN : } t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 500 \times 10^{-3}}{2,23}} = 0,21 \text{ s et } V_2 = a_2 \cdot t_2 = -4,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Soit  $t'_1$ , le temps de décélération créé par l'amortisseur lors la montée.

$$t'_1 = \frac{2}{V_1} \cdot c'_1$$

$$\text{AN : } t'_1 = \frac{2}{1,95} \times 50 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ s}$$

Soit  $t'_2$ , le temps de décélération créé par l'amortisseur lors la descente.

$$t'_2 = \frac{2}{V_2} \cdot c'_2$$

$$\text{AN : } t'_2 = \frac{2}{4,67} \times 100 \cdot 10^{-3} = 0,04 \text{ s}$$

Soit  $t_{\text{cycle}}$ , le temps de cycle :

$$t_{\text{cycle}} = t_1 + t'_1 + t_2 + t'_2$$

$$\text{AN : } t_{\text{cycle}} = 0,56 + 0,05 + 0,21 + 0,04 = 0,86 \text{ s}$$

### Question 21

Le gousset au niveau de l'encastrement au sol permet au modèle de négliger cette déformation (encastrement). Les barres sont considérées longues et un modèle treillis rotulé est possible. La section équivalente est le double d'une section des barres de la structure, ce qui correspond au moment quadratique de deux barres. Le modèle 2D néglige la flexion des barres perpendiculaires au plan, ce qu'il faudrait valider. Le modèle néglige les jeux et déformations dans le guidage en translation, cela reste à vérifier.

## Question 22

La poutre (3) est soumise à deux glisseurs. L'application du PFS donne :

$$X_{32} \cdot \vec{u} = X_{31} \cdot \vec{u}$$

Actions extérieures à {2} :

$$- \{3 \rightarrow 2\} = \left\{ \begin{array}{c} X_{32} \cdot \vec{u} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C ;$$

$$- \{1 \rightarrow 2\} = \left\{ \begin{array}{c} X_{12} \cdot \vec{X} + Y_{12} \cdot \vec{Y} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B ;$$

$$- \{F \rightarrow 2\} = \left\{ \begin{array}{c} -F \cdot \vec{X} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C ;$$

PFS appliqué à {2} :

Résultante :

$$/ \vec{X} : X_{12} + X_{32} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - F = 0$$

$$/ \vec{Y} : Y_{12} + X_{32} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

Moment en B :

$$/ \vec{Z} : X_{32} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot L = 0$$

Conclusion

$$\begin{array}{ll} X_{32} = F \cdot \sqrt{2} & X_{32} = 3000 \times \sqrt{2} = 4242 \text{ N} \\ X_{12} = 0 & \text{AN : } X_{12} = 0 \\ Y_{12} = -F & Y_{12} = -3000 \text{ N} \end{array}$$

Déformations

La poutre 2 est soumise à de la traction.

$$s = 2 \cdot (b^2 - (b - 2e)^2)$$

$$\text{AN : } s = 2 \cdot (100^2 - (100 - 2 \times 5)^2) = 3800 \text{ mm}^2$$

Donc :

$$\overline{Y_2(C)} = \Delta L_2 \cdot \vec{Y} = \frac{F \cdot L}{E \cdot s} \cdot \vec{Y}$$

$$Y_2(C) = \frac{F \cdot L}{E \cdot s}$$

$$\text{AN : } Y_2(C) = \frac{3000 \times 1}{210\,000 \times 3\,800} = 3,7 \mu\text{m}$$

$$\overline{Y_2(D)} = \Delta L_2' \cdot \vec{X} = -\frac{F \cdot 2L}{E \cdot s} \cdot \vec{X} ;$$

$$Y_2(D) = -\frac{F \cdot 2L}{E \cdot s}$$

$$\text{AN : } Y_2(D) = -\frac{3000 \times 2 \times 1}{210\,000 \times 3\,800} = -7,5 \mu\text{m}$$

La poutre 3 est soumise à de la traction (compression) donc :

$$\overline{Y_3(C)} = \Delta L_3 \cdot \vec{u} = \frac{-F \cdot \sqrt{2} \cdot L \cdot \sqrt{2}}{E \cdot s} \cdot \vec{u} ;$$

$$Y_3(C) = \frac{-F \cdot \sqrt{2} \cdot L \cdot \sqrt{2}}{E \cdot s}$$

$$\text{AN : } Y_3(C) = \frac{-3000 \times \sqrt{2} \times 1 \times \sqrt{2}}{210\,000 \times 3\,800} = -7,5 \mu\text{m}$$

Pour la poutre 1, il vient, de manière immédiate :

$$\overline{X_1(B)} = \Delta L_1 \cdot \overline{X} = \frac{-F \cdot L}{E \cdot s} \cdot \overline{X} \quad (\text{dû à l'effort de 3 sur 1 en A}) ;$$

$$X_1(B) = \frac{-F \cdot L}{E \cdot s}$$

$$\text{AN : } X_1(B) = \frac{-3000 \times 1}{210\,000 \times 3\,800} = -3,7 \mu\text{m}$$

Poutre encastree de longueur  $2L$  avec un effort  $(-F)$  à  $L$  :

$$\overline{Y_1(A)} = \frac{-F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

$$\overline{Y_1'(A)} = \frac{-F \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

Poutre encastree de longueur  $2L$  avec un effort  $(+F)$  à  $2L$  :

$$\overline{Y_1(B)} = \frac{8 \cdot F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

$$\overline{Y_1(A)} = \frac{5 \cdot F \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

$I_{GZ}$  est le double de celui d'une section de poutre « simple » (section de 100 mm par 100 mm et d'épaisseur 5 mm) :

$$I_{GZ} = 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot b^3}{12} - \frac{(b-2e) \cdot (b-2e)^3}{12} \right]$$

$$\text{AN : } I_{GZ} = 2 \times \left[ \frac{100 \times 100^3}{12} - \frac{(100 - 2 \times 5) \times (100 - 2 \times 5)^3}{12} \right] = 5\,731\,666 \text{ mm}^4$$

*Conclusion*

$$\overline{Y_1(A)} = \frac{+F \cdot L^3}{2 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

$$\text{AN : } Y_1(A) = \frac{3\,000 \times 1\,000^3}{2 \times 210\,000 \times 5\,731\,666} = 1,25 \text{ mm}$$

$$\overline{Y_1(B)} = \frac{13 \cdot F \cdot L^3}{6 \cdot E \cdot I_{GZ}} \cdot \overline{Y}$$

$$\text{AN : } Y_1(B) = \frac{13 \times 3\,000 \times 1\,000^3}{6 \times 210\,000 \times 5\,731\,666} = 5,4 \text{ mm}$$

Seules  $Y_1(A)$  et  $Y_1(B)$  apparaissent comme non négligeables car les autres déplacements sont, quant à elles, de l'ordre de quelques micromètres.

### Question 23

Torseur de petits déplacements :

$$\{d\Sigma/0\} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{\theta_{\Sigma/0}} = \theta_{\Sigma/0} \cdot \overline{z} \\ \overline{d_{\Sigma}(A \in \Sigma/0)} = \overline{d_1(A)} = X_{1A} \cdot \overline{x} + Y_{1A} \cdot \overline{y} \end{array} \right\}_A$$

$$\{d\Sigma/0\} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{\theta_{\Sigma/0}} = \theta_{\Sigma/0} \cdot \overline{z} \\ \overline{d_{\Sigma}(B \in \Sigma/0)} = \overline{d_1(B)} = X_{1B} \cdot \overline{x} + Y_{1B} \cdot \overline{y} \end{array} \right\}_B$$

$$\overline{d_{\Sigma}(B \in \Sigma/0)} = \overline{d_{\Sigma}(A \in \Sigma/0)} + \overline{BA} \wedge \theta_{\Sigma/0} \cdot \overline{z} \Rightarrow \theta_{\Sigma/0} = \frac{Y_{1B} - Y_{1A}}{L}$$

$$\overline{d_{\Sigma}(D \in \Sigma/0)} = [X_{1B} - (Y_{1B} - Y_{1A})] \cdot \overline{x} + [-Y_{1B} - Y_{1A}] \cdot \overline{y}$$

Ceci correspond à un déplacement de  $-4,2$  mm suivant  $\overline{X}$  et  $-6,7$  mm suivant  $\overline{y}$ .



#### Question 24

Il n'est pas nécessaire de limiter technologiquement les déplacements verticaux, car ceux-ci n'influencent pas de manière significative sur la position de la coiffe.

Les déplacements horizontaux peuvent par contre être limités en recourant à un « nez de centrage » conique intégré à la coiffe permettant son auto-alignement sur la croix-support.

#### Question 25

L'excentration permet de régler le jeu ou la précharge radiale du guidage en translation verticale afin d'éliminer les vibrations et d'assurer la qualité du guidage.

#### Question 26

L'axe est positionné sur la potence par les surfaces A et B. Dans ce groupe fonctionnel au regard de sa dimension, le cylindre est prépondérant (centrage long et appui court). Le système de références ordonnées A primaire et B secondaire est donc justifié.

#### Question 27

Lecture des spécifications voir DR1&2.

Les spécifications 1 et 2 participent à la mise en position du galet par rapport à la potence en maîtrisant la position de l'arbre rapporté par rapport à la potence.

#### Question 28

La vérification de la spécification 1 peut se décomposer selon les étapes suivantes :

- palpation de 8 points sur la surface réputée cylindrique A ;
- construction CYL1 du cylindre des moindres carrés ;
- palpation de 4 points sur la surface réputée plane B ;
- construction du plan PL1 perpendiculaire à CYL1 et passant par le point palpé « extérieur matière » ;
- palpation de 4 points sur la surface élément tolérancé : H, I, J et K ;
- évaluation distance des 4 points au plan PL1,  $d(H ; PL1)$ ,  $d(I, PL1)$ ,  $d(J ; PL1)$  et  $d(K, PL1)$  ;
- vérification de la localisation par comparaison à la distance théorique exacte de 25 mm :  $24,95 < d_i < 25,05$ .

#### Question 29

La raison de cette non-conformité peut s'expliquer ainsi : le brut de la pièce est laminé, cela génère un fibrage et des tensions internes au brut. L'alésage étant désaxé les fibres de laminage sont coupées de manière non symétrique par l'usinage. Il en résulte une libération asymétrique des contraintes internes qui font fléchir la pièce.

Il faut éliminer les contraintes internes avant usinage de l'alésage. Un recuit permet de relaxer les contraintes dans la pièce avant l'usinage.

#### Question 30

La gamme de réalisation de l'axe excentrique peut se décomposer ainsi :

- découpe du brut dans la barre laminée ;

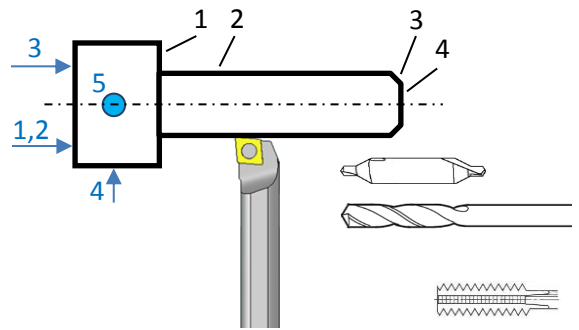
- traitement thermique de recuit pour éliminer les tensions dans la pièce ;
- usinage en ébauche de toutes surfaces de la pièce ;
- usinage en demi-finition de toutes surfaces de la pièce ;
- cémentation et trempe superficielle de la pièce ;
- usinage en finition de toutes les surfaces de la pièce ;
- éventuellement nitruration de la surface nécessitant une dureté de 58HRc (pas utile pour atteindre 58 HRc).

### Question 31

#### Phase 10 : Sur tour 2 axes

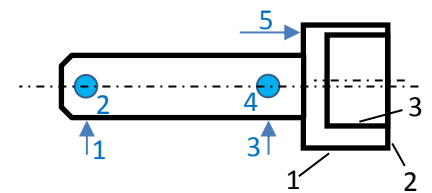
Prise dans des mors sur le Ø60 mm (le montage en l'air est possible au regard de la longueur de la pièce, mais il faut vérifier le respect des spécifications)

- dressage, chariotage, et chanfreinage des surfaces 1, 2, 3 et 4 avec outil carbure :  $V_c = 200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,08 \text{ mm}$  et  $a = 0,2 \text{ mm}$  ;
- perçage en bout au foret à centrer ;
- perçage avec un foret hélicoïdal Ø 13,6 mm :  $V_c = 15 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,1 \text{ mm/dt}$  ;
- taraudage avec taraud  $V_c = 10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 2 \text{ mm}\cdot\text{tr}^{-1}$  (pas de 2 mm).



#### Phase 2 : Sur fraiseuse 3 axes

- surfaçage en bout de la surface 2 avec fraise à surfacer de Ø 80 mm :  $V_c = 90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,1 \text{ mm/dt}$ ,  $a = 0,2 \text{ mm}$  ;
- contournage de la surface 1 avec fraise carbure monobloc Ø 16 mm et longueur utile supérieure à 40 mm :  $V_c = 50 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,1 \text{ mm/dt}$ ,  $a_p = 40 \text{ mm}$  et  $a_e = 0,2 \text{ mm}$  ;
- finition de la poche 3 avec fraise carbure monobloc Ø 16 mm et longueur utile supérieure à 15 mm avec obligatoirement une coupe au centre :  $V_c = 50 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  et  $f = 0,08 \text{ mm/dt}$  ;
- perçage avec un foret hélicoïdal Ø 8,5 mm :  $V_c = 20 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,1 \text{ mm/dt}$  ;
- taraudage avec taraud  $V_c = 10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $f = 1,5 \text{ mm}\cdot\text{tr}^{-1}$  (pas de 1,5 mm).



### Question 32

Le temps de cycle obtenu est de 46,52 s. Il respecte bien le cahier des charges qui impose 50s maxi.

### Question 33

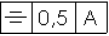
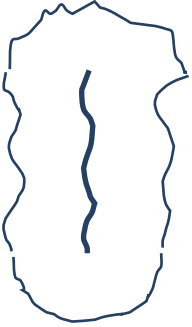

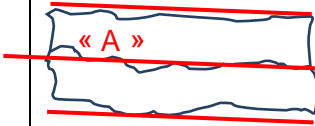
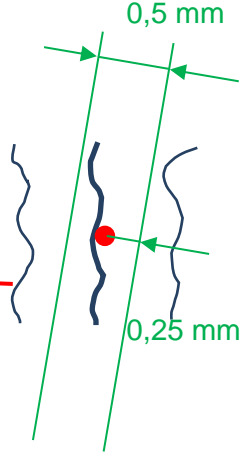
Nom de la tâche	Temps prévisionnels (en s)
Déverrouillage du câble sur le touret et rotation de la croix-support	1
Constitution d'une bobine par basculement manuel de spires du touret	20
Verrouillage et découpe du câble sur le touret	1
Pose manuelle de 4 cerclages sur la bobine	20
Relevage de coiffe (cycle de relevage et posage)	0,86
Rotation de la croix-support avant évacuation	0,4
Montée de la table élévatrice pour évacuation	0,4
Évacuation de la bobine sur le convoyeur	1,6
Descente de la table élévatrice	0,4
Descente de la coiffe (cycle de relevage et posage)	0,86

Le temps de cycle peut-être optimisé en réalisant différentes phases en parallèle, mais le cycle laisse peu de liberté à ce niveau et les temps des opérations automatisées sont assez faibles pour espérer



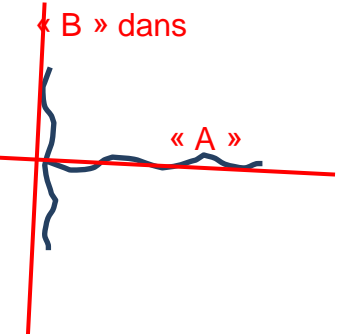
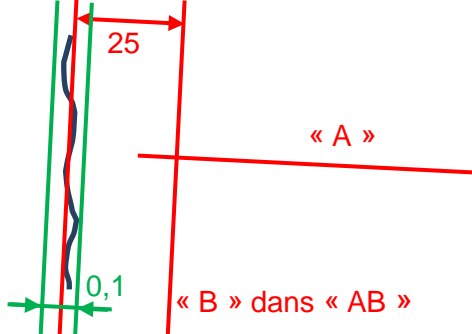
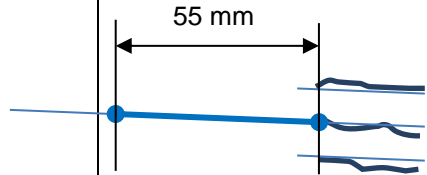
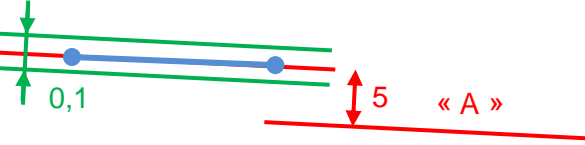
un gain important. Il semble plus judicieux d'optimiser les opérations manuelles étant donnée leur prépondérance. On peut par exemple :

- être vigilant vis-à-vis de la formation de l'opérateur et dans l'optimisation de son poste de travail afin de minimiser la perte de temps inhérente aux gestes inutiles ;
- envisager d'automatiser ou de mécaniser les opérations manuelles coûteuses en temps comme le basculement manuel des spires et cerclage. S'il faut faire un choix, la pose des cerclages peut être plus facilement automatisée (ou même simplement mécanisée à l'aide d'une cerceuse professionnelle) que la tâche de basculement des spires. Un gain de 50 % sur le temps de cerclage permet un gain de 20 % de productivité.

DR1 – Document Réponse 1

Spécifications	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence spécifiée	Zone de tolérance et condition de conformité	Spécifications
	<p>Surface réputée plane médiane à deux surfaces réputées planes</p> 	<p>Surface réputée cylindrique (ou axe réel)</p> 	<p>« A » : droite axe du plus petit cylindre circonscrit à la surface réputée cylindrique</p> 	<p>Espace compris entre 2 plans distants de 0,5 mm symétriques par rapport à « A »</p> 	<p>La pièce est conforme si tous les points de l'élément tolérancé sont dans la zone de tolérance</p>
<p>55±0.5 (E)</p>	<p>Tous les bipoints en vis-à-vis doivent avoir une distance <math>d_i</math> tel que : <math>54,5 &lt; d_i &lt; 55,5</math> mm et tous les points des deux surfaces réputées planes doivent entrer dans une enveloppe constituée de deux plans distants de 55,5 mm.</p>				

DR2 – Document réponse 2

Spécifications	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence spécifiée	Zone de tolérance et condition de conformité
<p>⊕ 0,1 A B</p> 	<p>Surface réputée plane</p>	<p>A : Idem spécification de symétrie ; B : surface réputée plane.</p> 	<p>« A » : idem spécification de symétrie ; « B » dans AB : plan perpendiculaire à « A », tangent extérieure matière.</p> 	<p>Espace compris entre deux plans distants de 0,1 mm dont le plan médian est à 25 mm de « B » dans AB.</p> 
<p>⊕ ∅ 0,1 (P) A</p> 	<p>Prolongement sur une longueur de 55 mm de l'axe réel</p>	<p>Idem spécification de symétrie</p>	<p>Idem spécification de symétrie</p>	<p>Cylindre de diamètre 0.1 et d'axe distant de 5 mm de « A ».</p> 

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

## 1. Présentation du sujet

Le support du sujet est une chaîne de production de bobine de câble. Les câbles sont produits en aciérie et conditionnés sur des tourets de plusieurs kilomètres. La chaîne de production permet de réaliser des bobines de longueur adaptée à la vente au détail (usuellement entre 10 et 100 m). La problématique principale développée dans le sujet est l'optimisation du temps de cycle de réalisation d'une bobine. Les compétences nécessaires à la résolution de ce problème s'inscrivent dans le champ de la conception mécanique et font appel aux dimensionnements d'actionneurs, aux calculs de structures par des modèles de résistance des matériaux ou par éléments finis, à la lecture et l'écriture de spécifications géométriques, à la réalisation de bruts, aux processus de réalisation de pièce finie, et à la métrologie.

## 2. Analyse globale des résultats

Dans leur ensemble, les candidats se sont bien appropriés le support et en ont compris la problématique. Les candidats qui ont démontré des compétences transversales à la conception ont bien réussi cette épreuve. À l'opposé, ceux, qui ont de fortes compétences dans quelques domaines spécifiques, mais des lacunes importantes dans d'autres, ne parviennent pas à traiter le problème. Par ailleurs, les spécifications géométriques sont au cœur de la conception, elles permettent une conception fonctionnelle robuste et elles sont le cahier des charges de toute réalisation moderne. Leur maîtrise est indispensables pour l'option IM de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur. Enfin il est à déplorer quelques copies dont l'orthographe et la qualité graphique sont inadmissibles pour un futur enseignant.

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

*Question 1* – Question bien traitée par une grande majorité des candidats qui quantifient le rapport de masse, mais oublient de conclure sur l'aspect négligeable de la masse de la bobine devant celle de la table.

*Question 2* – Souvent la réponse est bonne, mais issue d'une intuition. Une démonstration rigoureuse était attendue : application du PFD avec assimilation à une chute libre ou introduction de l'annulation de l'effort de contact. Du recul par rapport aux résultats est nécessaire.

*Question 3* – Une erreur récurrente est constatée dans la réponse à cette question : l'accélération est prise uniforme jusqu'à l'arrêt (donc sur l'ensemble de la course de la table). Or, il est nécessaire d'avoir sur cette course une phase d'accélération et une phase de décélération.

*Question 4* – Trop peu de candidats ont considéré un problème dynamique, négligeant à tort l'accélération. L'effort total à fournir était à répartir entre deux vérins. Pour finir, peu de candidats se sont intéressés à la course du vérin qui doit être prise immédiatement supérieure à 100 mm (125 mm)

pour prendre en compte l'inclinaison de  $10^\circ$  car si celle-ci peut être négligée pour le calcul d'effort, elle doit être prise en compte dans le choix de la course du vérin.

*Question 5* – Question globalement bien traitée par ceux qui l'ont abordée. Des solutions simples (sans notion d'asservissement) étaient à envisager.

*Question 6* – De nombreux candidats n'ont pas traité correctement cette question. Certains ont confondu application du PFS pour déterminer les inconnues de liaisons et torseur de cohésion.

*Question 7* – Souvent la contrainte normale est oubliée dans le calcul de la contrainte maximale alors que le sujet y faisait explicitement allusion. Pour la contrainte de flexion, des erreurs de calcul pour le moment quadratique  $I_{Gz}$  sont fréquentes.

*Question 8* – Les candidats se sont souvent contentés de dire qu'il fallait intégrer l'équation  $E \cdot I \cdot y'' = M_{fz}$ . Parfois, les inconnues d'intégration sont évoquées, mais sans en dire le nombre. Très peu ont énuméré les conditions aux limites et les conditions de continuité qu'il est possible d'écrire sur les trois tronçons.

*Question 9* – Question globalement bien traitée par ceux qui l'ont abordée.

*Question 10* – Dans cette question, la cohérence du modèle est primordiale. Beaucoup trop de candidats ont traité cette question sous l'approche RdM 2D et ne sont pas dans l'esprit d'une modélisation éléments finis. Supprimer l'ensemble des degrés de liberté des nœuds en B est une aberration trop souvent proposée.

*Question 11* – La critique d'un maillage volumique se résumait trop souvent à une analyse du nombre de mailles dans l'épaisseur ou à un rejet systématique du modèle dans le cadre de profilés sans interroger la qualité des résultats. La critique de la qualité du modèle ne s'appuyait pas assez sur les indicateurs présentés (qualité du maillage et convergence des résultats).

*Question 12* – Question globalement bien traitée par ceux qui l'ont abordée.

*Question 13* – Le choix de la technologie de soudage choisie est trop peu souvent justifié. Les gammes de réalisation du bras sont peu présentes, mais lorsqu'elles le sont, les gammes proposées sont de qualité et présentées via des croquis en perspective appréciés.

*Question 14* – Les explications données pour la zone affectée thermiquement abordent peu la modification dimensionnelle des grains dans le métal de base à proximité de la zone fondue. De nombreux candidats ne proposent qu'une ou deux solutions sans analyser les avantages et les inconvénients de chacune d'elles.

*Question 15* – Question peu traitée alors qu'elle est la conclusion de l'étude. Sans entrer dans la quantification, un simple rappel des résultats de la question 5 et de la manière de les exploiter au regard des amortissements étaient valorisés.

*Question 16* – La détermination du temps de montée et descente a été bien traitée.

*Question 17* – Les vitesses de fin de course du vérin découlent de la question précédente. La conclusion sur les conséquences est généralement correctement traitée.

*Question 18* – La conception d'un système permettant de compenser le poids de la coiffe a été relativement bien traitée, mais les conséquences ont été trop rapidement évoquées.

*Question 19* – Le dimensionnement de l'amortisseur de fin course s'appuie sur deux critères dans le sujet. Certains candidats ne lisent pas la question et choisissent d'autres critères.

*Question 20* – La détermination des temps n'a pas été traitée correctement par la majorité des candidats. Trop peu de candidats ont été capables de tracer des allures de vitesses et d'accélération.

*Question 21* – La justification d'un modèle n'est visiblement pas maîtrisée par les candidats. Trop souvent, les candidats se focalisent sur un seul critère (modèle 2D par exemple) et ne justifient que ce critère sans prendre en compte tous les critères.

*Question 22* – La démarche de résolution d'un problème de statique est souvent mal abordée par les candidats, ce qui ne permet pas de traiter des problèmes de déformations de structures.

*Question 23* – L'outil mathématique des torseurs de petits déplacements est très peu connu par les candidats.

*Question 24* – Le manque de capacité d'imaginer des solutions technologiques pour résoudre un problème n'a généralement pas permis aux candidats de proposer des solutions pertinentes.

*Remarque* - Pour les questions 21 à 24, le sujet fait référence à une épaisseur du profilé de 55 mm. Les candidats ont identifié cette erreur et pris 5 mm ou 5,5 mm. Ce qui conduit, dans un cas comme dans l'autre, à une conclusion similaire.

*Question 25* – Cette question a été bien traitée, ce qui démontre la capacité des candidats à comprendre le fonctionnement du système de réglage simple du guidage en translation de la coiffe.

*Question 26* – Les candidats confondent souvent l'explication de la norme et les raisons fonctionnelles qui ont engendré les spécifications.

*Question 27* – Les candidats oublient trop souvent que la lecture des spécifications s'appuie sur des normes ISO de tolérancement qui sont univoques et précises.

*Question 28* – Un agrégé doit maîtriser la métrologie avec une MMT. Une explication d'une utilisation d'une MMT n'est pas ce qui était attendu dans cette question. Une réflexion plus scientifique est nécessaire.

*Question 29* – La question n'a pratiquement pas été traitée par les candidats qui se sont contentés d'imaginer des raisons simplistes aux défauts d'usinages.

*Question 30* – Les conséquences de traitements thermiques sur une pièce ne sont généralement pas connues. Une culture minimale dans ce domaine paraît pourtant essentielle.

*Question 31* – Les contrats de phase proposés nécessitaient une certaine autonomie des candidats. Plusieurs choix étaient possibles, mais peu de candidats ont le recul suffisant pour proposer des solutions pertinentes.



Question 32 – La simple réponse positive à ce type de question ne suffit évidemment pas. Une justification minimale est nécessaire.

Question 33 – Les propositions des candidats ne sont généralement pas suffisamment développées même si un certain nombre d'entre eux propose une conclusion pertinente.

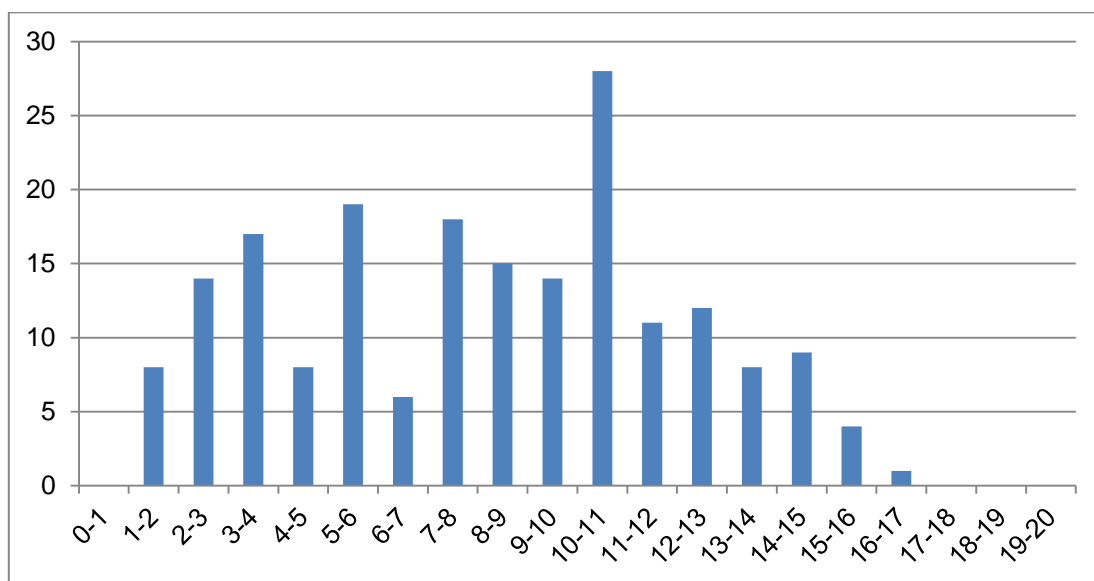
#### 4. Conclusion

Cette épreuve fait appel à de nombreuses compétences dans le contexte d'une conception préliminaire. Il n'est pas possible de réussir une agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie mécanique, sans démontrer des compétences minimales dans tous les domaines liés à la conception mécanique. Avoir des lacunes importantes dans un domaine est très fortement pénalisant. Le jury conseille donc aux futurs candidats d'acquérir de bonnes compétences et une forte culture technologique en conception.

#### 5. Résultats

200 copies ont été évaluées, dont 22 pour les candidats à l'agrégation marocaine. La moyenne des notes obtenues est de 8,1/20 et l'écart-type 3,8 avec :

- 16,3 comme meilleure note ;
- 1,1 comme note la plus basse.



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

L'épreuve se déroule en trois phases.

## Première phase – Activités au laboratoire (durée 4 h 00)

Cette phase se déroule en trois temps :

- premier temps (durée conseillée 0 h 30)

Pour cette partie, les manipulations et les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de travail pratique ainsi que la problématique proposée.

- second temps (durée conseillée 2 h 00)

Pour cette partie, après la présentation du système à l'examineur, le candidat doit traiter les activités afin de répondre aux problématiques proposées dans le travail pratique. Cette partie, permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre les problèmes posés afin de produire des résultats expérimentaux et/ou simulés en lien avec l'exploitation pédagogique spécifiée au début de l'épreuve par l'examineur puis d'en exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, valeurs numériques...).

- troisième temps (durée conseillée 1 h 30)

Pour cette troisième partie, une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans laquelle il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique en s'aidant des manipulations nécessaires et en précisant et validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

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

Le candidat prépare son intervention devant le jury.

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

L'exposé oral doit comporter :

- la présentation du système et les résultats des manipulations effectuées dans la deuxième partie de la première phase ;
- la présentation globale de la séquence pédagogique avec la description de la séance pédagogique à caractère expérimental.

L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mettre en œuvre et conduire une expérimentation, une analyse de comportement d'un système réel ou d'un équipement, notamment à l'aide de systèmes informatiques associés à des logiciels de traitement, de simulation, de représentation ;
- analyser et vérifier ou comparer les performances de tout ou partie de ce système pluritechnique, notamment à partir de modèles de comportement et de mesures ;

- justifier ou critiquer les solutions constructives retenues et les choix relatifs à la réalisation (hypothèses, comparaison multicritère des choix techniques et des organisations, évaluations économiques....) en regard du cahier des charges ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser le plan d'une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

## Énoncé du sujet

### 1. Problématique associée à ce TP

Sur un voilier, la source d'énergie (batteries d'accumulateurs 12V) possède une capacité limitée et ne peut être renouvelée sans dispositif annexe (groupe électrogène, éolienne...). Il semble donc fondamental que la consommation énergétique du dispositif soit la plus faible possible.

Le travail pratique proposé s'intéresse à la caractérisation des conditions de fonctionnement optimal garantissant un rendement maximal.

Les sous problématiques associées à cette étude sont donc l'identification et la quantification des différentes pertes énergétiques.

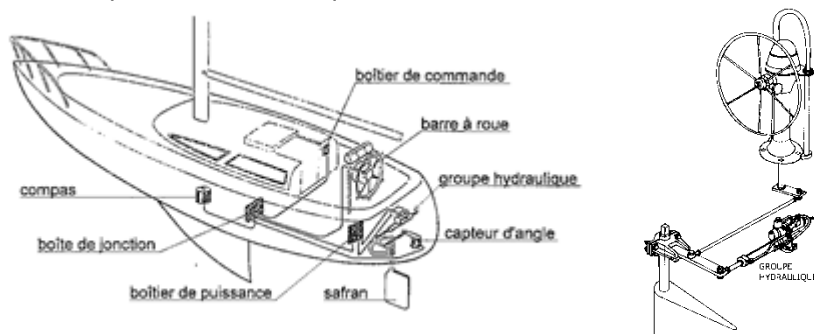
Le candidat dispose des éléments suivants :

- un pilote automatique hydraulique de barre de roue ;
- un logiciel d'acquisition dédié ;
- un dossier technique et ressource ;
- une suite logicielle de CAO pour étudier la maquette numérique.

### 2. Présentation du système

Sur un voilier, le système « pilote automatique » est installé en complément du dispositif de pilotage manuel. Il permet de naviguer en équipage réduit en suivant automatiquement un cap préalablement fixé ou la direction suivie par le bateau par rapport au vent apparent.

Le système est constitué d'une console de communication AP16, d'un ordinateur AC10, d'un convertisseur électromécanique (moteur à courant continu, pompe hydraulique et vérin double effet) ainsi que de différents capteurs (capteur d'angle de barre et compas électronique). L'ensemble est alimenté par les batteries d'accumulateurs embarqués à bord rechargées par l'alternateur du navire ou par le réseau EDF lorsque le voilier est à quai.



### 3. Le système de laboratoire et le matériel

Le système présent dans le laboratoire est le pilote automatique hydraulique réel « instrumenté », pilotable et configurable.

Deux types de sollicitations sur le safran sont possibles :

- une action constante sur l'axe du safran à l'aide d'une masse créant un couple résistant ;
- une action variable réalisée en modifiant les caractéristiques de fonctionnement de la pompe.

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

- la définition du contexte d'utilisation du pilote automatique en fonctionnement réel présentant l'ensemble des contraintes liées à son utilisation ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs, plans et maquettes 3D).

L'ensemble des fichiers numériques sont disponibles dans des dossiers placés sur le Bureau de l'ordinateur.

#### Première phase – Activités au laboratoire

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

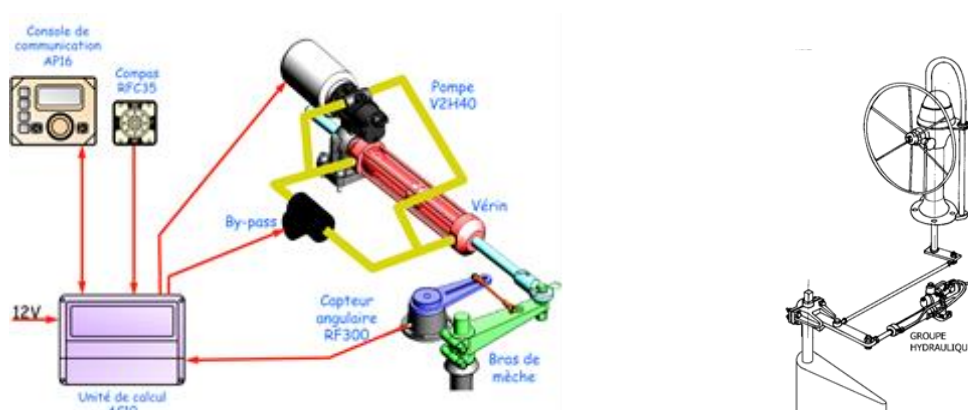
###### 1. Objectifs de cette première partie

Le but de l'étude est de :

- découvrir, comprendre et valider le fonctionnement du pilote automatique hydraulique ;
- décrire la structure fonctionnelle du pilote automatique hydraulique ;
- proposer un comparatif entre un pilote automatique hydraulique et la maquette du laboratoire du pilote automatique hydraulique.

###### 2. Questionnement pour comprendre le fonctionnement global

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

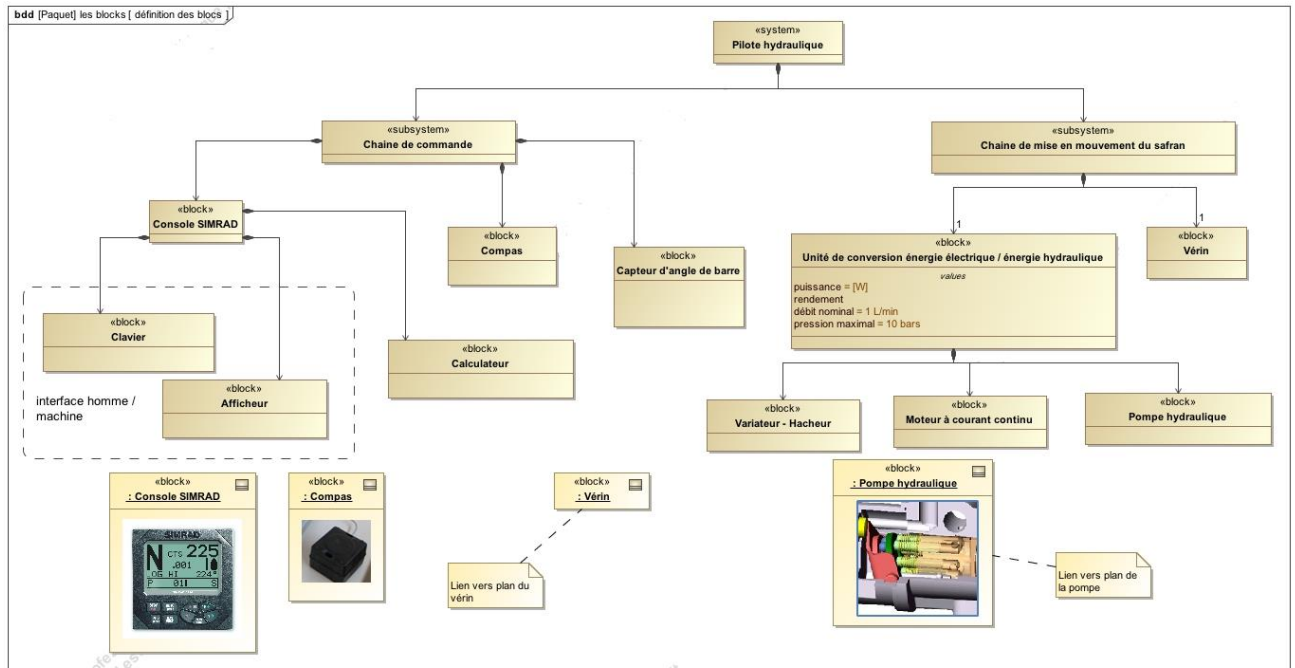


**Activité 1** : mettre en œuvre la maquette après avoir pris connaissance du guide de prise en main du pilote automatique et des équipements mis à votre disposition.

**Activité 2 :** proposer des protocoles expérimentaux permettant de vérifier les exigences de performances (voir dossier technique) en termes de débattement angulaire, de charge, de rapidité.

**Activité 3 :** repérer sur la maquette les différents capteurs utilisés, expliquer leur principe de fonctionnement et préciser s'ils équipent le système réel ou sont uniquement destinés aux applications pédagogiques.

**Activité 4 :** représenter la structure fonctionnelle globale du système sous forme de chaînes d'énergie et d'information en vous aidant du diagramme fonctionnel fourni dans le dossier d'accompagnement.



**Activité 5 :** effectuer une analyse comparative des conditions d'utilisation du système réel et de la maquette ainsi que des phénomènes naturels modélisables sur la maquette.

## Partie 2 : activités aidant à répondre aux problèmes techniques proposés (≈ 2 heures)

Objectif : proposer un modèle de connaissance simple, étudier la validité des hypothèses posées et conclure sur la pertinence du modèle vis-à-vis des résultats expérimentaux et sur les conditions optimales d'utilisation.

### 1. Élaboration d'un modèle de connaissance

On cherche à déterminer la puissance du moteur  $P_m$  nécessaire au déplacement en montée de la charge à vitesse constante  $V$ .

**Activité 6 :** préciser et justifier les hypothèses retenues, les simplifications effectuées ainsi que le domaine de validité de ce modèle.

## **2. Caractérisation expérimentale du comportement du pilote automatique**

**Activité 7 :** proposer des protocoles expérimentaux à réaliser afin de valider ou infirmer les hypothèses retenues à l'activité précédente.

**Activité 8 :** identifier les différentes puissances transitant par la chaîne d'énergie et donner leur expression en fonction des grandeurs mesurables sur la maquette.

**Activité 9 :** déterminer expérimentalement les rendements énergétiques des différents composants de la chaîne d'énergie. En déduire le rendement global pour une expérimentation où l'action de l'eau est modélisée par une action constante.

On souhaite observer l'influence de la charge (action mécanique de l'eau sur le safran) sur le comportement du pilote automatique.

**Activité 10 :** proposer deux expérimentations permettant de répondre à cette problématique.

**Activité 11 :** mettre en œuvre ces deux expérimentations. En déduire les réglages optimaux permettant de maximiser le rendement global.

**Activité 12 :** proposer une conclusion générale décrivant les études que vous avez menées ainsi que les conclusions vis-à-vis de la problématique du TP.

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

Objectif : présenter au jury en salle (troisième phase citée en introduction), la trame détaillée d'une séquence pédagogique dans laquelle une séance à caractère expérimental sera explicitée en s'aidant des manipulations nécessaires et en précisant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

#### **1. Niveau et situation de l'exploitation pédagogique**

Au terme de tout ou partie des analyses et manipulations précédentes, le candidat doit définir une séquence de travaux pratiques de sciences industrielles de l'ingénieur avec les contraintes ci-dessous.

**Classe et niveau :** terminale STI2D – enseignement technologique transversal.

**Positionnement dans l'année :** à définir.

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

**Domaine :** l'exploitation pédagogique doit permettre de répondre partiellement ou complètement à la problématique pédagogique suivante :

« Dans le cadre d'une séance de travaux pratiques de 2 heures utilisant la maquette de pilote automatique hydraulique, préparer une activité dédiée à l'étude des différentes transformations d'énergie et à la caractérisation des différents types de rendements ».

Le programme, commentaires et compétences correspondants sont donnés dans le dossier pédagogique et le contenu du programme sollicité est rappelé ci-dessous.

« 2. *Outils d'analyse et méthodes d'analyse et de description des systèmes*

2.3. *Approche comportementale*

2.3.5. *Comportement énergétique des systèmes :*

- *transformation de l'énergie ;*
- *conservation d'énergie, pertes et rendements. »*

## **2. Objectifs du travail pratique**

En utilisant la maquette et les outils logiciels fournis, mettre en évidence expérimentalement l'existence de pertes lors de transformations d'énergie.

À partir des différentes définitions du rendement, déterminer les causes des pertes constatées dans les différents constituants.

## **3. Objectifs de formation visés par l'activité à présenter**

Dans le cadre pédagogique défini ci-dessus, en prenant appui sur tout ou partie des connaissances qui permettent de mettre en évidence les caractéristiques des équipements mis à sa disposition, le candidat devra élaborer une séance d'enseignement à caractère expérimental.

Pour cela, le candidat doit :

- situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique ;
- préciser les objectifs et pré-requis de l'exploitation pédagogique ainsi que les compétences développées et les moyens de leurs évaluations ;
- définir la démarche des activités que doivent réaliser les élèves ainsi que les données de départ et le matériel dont ils disposent pour la problématique donnée ;
- proposer et valider au moins un protocole expérimental défini dans l'exploitation pédagogique.

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

## 1. Présentation de l'épreuve

### Les objectifs de l'épreuve

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

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

L'exploitation pédagogique proposée, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative à l'enseignement technologique transversal du cycle terminal de la série sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), à l'enseignement de sciences de l'ingénieur de la série S et à celui des sciences industrielles de l'ingénieur des classes préparatoires aux grandes écoles. Au cours de son exposé, le candidat est invité à préciser l'organisation et la structuration des groupes d'élèves dont il a la charge.

### Déroulement de l'épreuve

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

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

#### **La phase 1 – Activités pratiques (durée 4 h 00).**

Cette première phase se déroule dans un laboratoire dans lequel sont mis à disposition de chaque candidat un système pluritechnologique, un environnement numérique de travail relié à l'Internet, des moyens de mesurage et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition ou de simulation.

Cette phase se décompose en trois temps bien définis.



### **Premier temps (durée ≈ 0 h 30)**

Une étude fonctionnelle et structurelle permet au candidat de s'approprier le système pluritechnologique support de l'activité pratique. À la fin de ce premier temps, l'examineur s'assure que le candidat a bien atteint cet objectif.

### **Deuxième temps (durée ≈ 2 h 00)**

Ce deuxième temps est consacré à la résolution d'une problématique. Le questionnement du sujet et les échanges avec l'examineur permettent de mobiliser les compétences et les connaissances technologiques et scientifiques associées, communes aux trois options, caractéristiques du niveau de l'agrégation.

### **Troisième temps (durée ≈ 1 h 30)**

Ce dernier temps est destiné à la construction d'une trame de séquence pédagogique et à l'élaboration d'une séance incluse dans celle-ci. À ce stade, le candidat dispose des travaux déjà réalisés qu'il peut compléter par des manipulations ou des mesures destinées à valider ses choix pédagogiques et à étayer la conception détaillée des activités proposées.

### **La phase 2 – préparation de l'exposé (durée 1 h 00).**

Le candidat prépare la présentation qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat disposera toujours d'un poste informatique relié à l'Internet, des logiciels courants de bureautique, des caractéristiques du système pluritechnologique et de ses résultats obtenus lors de la phase 1.

### **La phase 3 – exposé devant le jury (durée 1 h 00).**

L'exposé oral, d'une durée maximale de 40 minutes, comporte :

- la présentation succincte du système et des résultats dans le but de satisfaire les objectifs de formation développée par la suite l'exploitation pédagogique.

L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 20 minutes.

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

- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques ;
- décrire et situer la séquence de formation dans une progression pédagogique du niveau de formation imposé ;
- préciser les compétences et les connaissances associées visées par cette séquence ;
- présenter la structure de la séquence pédagogique et justifier la succession des activités proposées pour répondre aux objectifs de formation ;
- préciser la problématique technique de la séance à laquelle devra finalement répondre les activités proposées ;
- identifier les pré requis nécessaires à cette séance ;
- préciser, avec réalisme, l'organisation de cette séance autant du point de vue matériel (choix des ressources matérielles), qu'humain (nombre et tailles des groupes d'élèves, travail en projet, travail en îlot...) ;
- détailler les activités proposées aux élèves lors de la séance ;
- présenter les résultats expérimentaux ou de simulation attendus et les conclusions qui permettent de répondre à la problématique énoncée initialement ;
- définir les stratégies d'évaluation des acquis des élèves.

Au cours de l'entretien, le jury pourra demander au candidat de préciser certains points de sa présentation et d'en approfondir quelques éléments.

Lors de la présentation devant le jury, le candidat dispose d'un vidéoprojecteur et d'un poste informatique relié à l'Internet, doté des logiciels courants de bureautique. Le candidat accède à toutes les productions numériques réalisées pendant les phases 1 et 2 de l'épreuve.

Les supports retenus, lors de la session 2015, ont été les suivants :

- un banc d'étude sismique ;
- un banc de transmission thermique ;
- un robot collaboratif ;
- une monture de télescope ;
- un pilote automatique de bateau ;
- un compacteur de déchets ;
- un banc de pompe à chaleur ;
- une maquette de pont levant.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- identification des comportements de constituants ou d'un système ;
- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- optimisation d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performances ;
- évaluation des écarts entre les performances souhaitées, mesurées ou simulées.

## **2. Analyse globale des résultats**

Le jury observe une grande disparité dans les prestations des candidats. Les candidats pertinents mobilisent à bon escient compétences et connaissances associées pour répondre à la problématique demandée en positionnant correctement leur future exploitation pédagogique. Les prérequis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement mis en œuvre lors de l'exposé oral. Ces candidats ont produit une présentation orale de qualité.

Certains candidats sont bien préparés à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats, mais n'abordent que partiellement l'exploitation pédagogique des manipulations.

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

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

### **Compréhension du système pluritechnologique support des activités pratiques**

Pour cette partie, les activités ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'approprier le support du travail pratique et la problématique proposée. Les candidats

disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

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

- l'extraction des informations pertinentes des ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique proposée par le sujet ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés.

### **Résolution de la problématique et exploitation des résultats**

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

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

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou logicielles. La connaissance de l'ergonomie des systèmes et la maîtrise des logiciels ne sont pas exigées.

Lors de l'activité pratique, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- s'approprier la problématique ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- mener les expérimentations avec un souci de rapidité et d'efficacité pour en assurer l'exploitation pédagogique ultérieure en respectant les règles de prévention des risques et la sécurité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels et fonctionnels) ;
- exploiter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures et les interpréter dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des mesures effectuées par les logiciels d'acquisition ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux et simulés ;
- mettre en œuvre des démarches de résolution des problèmes techniques posés ;
- proposer aux examinateurs une présentation et/ou justification des protocoles ;
- justifier les écarts constatés entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus par simulation ;
- utiliser un vocabulaire concis et adapté.

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

### **Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental**

Une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans laquelle il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental. Il précisera les manipulations nécessaires et les protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

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

- définir la place de la séquence proposée dans une progression pédagogique pour le niveau proposé ;
- décrire le fil directeur et la succession pertinente des séances ;
- préciser de façon argumentée la place de l'exploitation pédagogique développée ensuite dans la séquence, en précisant bien l'intérêt des séances précédentes et suivantes ;
- choisir et énoncer la problématique technologique qui pourra être énoncée sous forme interrogative à laquelle la séance développée va s'attacher à répondre ;
- dégager et formaliser les objectifs pédagogiques (compétences à faire acquérir et connaissances associées à transmettre en corrélation avec les programmes officiels) ;
- analyser le choix de la modalité pédagogique en vue de répondre à l'objectif de la séance ;
- structurer une démarche cohérente conduisant à la transmission de compétences nouvelles au niveau imposé ;
- proposer des protocoles expérimentaux et analyser les résultats obtenus ;
- exploiter pleinement la durée de préparation de l'exposé ;
- faire preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation d'élèves.

Le jury conseille aux futurs candidats de prendre connaissance préalablement et attentivement des programmes et des objectifs de formation de la série S (option sciences de l'ingénieur), de l'enseignement technologique transversal de la série STI2D, et des CPGE, ainsi que les commentaires associés. L'appréhension de ces programmes ainsi que la lecture des documents « Ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation est indispensable pour cette partie. Les candidats ne doivent pas hésiter à intégrer dans leur séquence de formation des outils comme la démarche d'investigation, la démarche de l'ingénieur ou encore le projet.

### **Présentation orale devant un jury**

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

- de présenter la pertinence du système par rapport à la séquence pédagogique demandée (à partir des activités menées dans la partie 1) ;
- de présenter le ou les protocoles expérimentaux mis en œuvre, analyser succinctement les résultats obtenus en cohérence avec la séquence demandée (à partir des activités de la partie 2) ;
- de situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- d'explicitier les connaissances et les compétences visées par la séance ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- de présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des qualités professionnelles comme :

- s'exprimer avec clarté, rigueur et dynamisme ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- dégager l'essentiel et donner du sens aux activités proposées.

Le jury a été extrêmement attentif au positionnement des candidats sur le respect des valeurs et des principes de la République. Ces points ont été systématiquement abordés et ont fait l'objet de questions au travers de mises en situations pédagogiques ou de conduite de classe. Ils sont plus précisément décrits dans le paragraphe spécialement consacré à la contribution des sciences industrielles de l'ingénieur, à la construction des valeurs et principes de la République. Une connaissance du fonctionnement des EPLE est indispensable ainsi que du rôle et des missions de chacun de ses acteurs.

Le jury conseille aux candidats, qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours (STI2D – SSI – CPGE) et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

### **Comportement des candidats**

L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle et leur esprit créatif.

## **4. Conclusion**

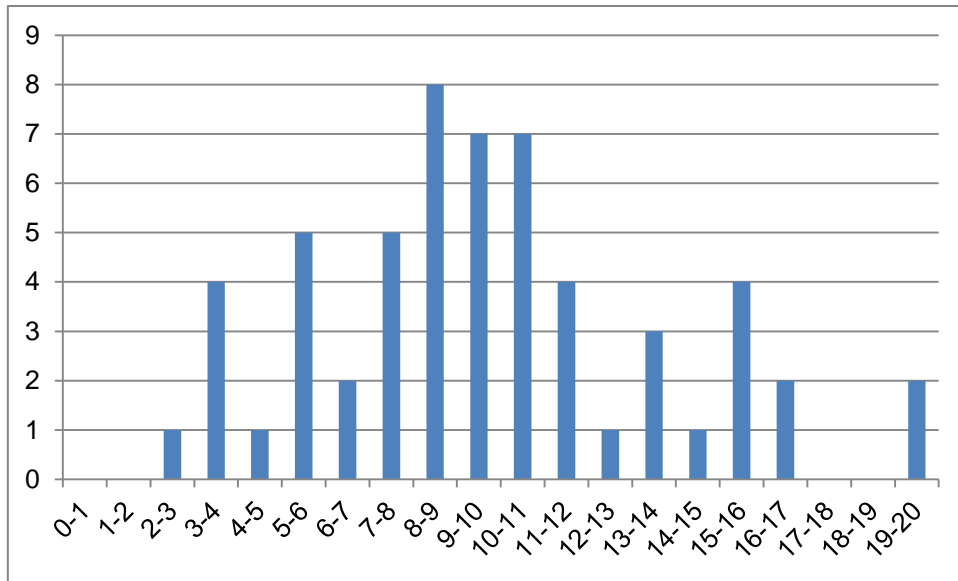
Cette session confirme les évolutions engagées lors des deux années précédentes. Le laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux trois options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat une appropriation de tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». L'ingénierie pédagogique à mettre en œuvre leur impose une bonne connaissance des différents programmes de formation et des objectifs de formation associés.

Pour la session 2016, lors de l'exposé, il ne sera pas demandé aux candidats de restituer les activités de travaux pratiques effectuées au cours de la phase 1. Seule l'exploitation des résultats expérimentaux ou simulés utile à la séquence pédagogique présentée intéresse le jury.

## **5. Résultats**

57 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 9,6/20 et l'écart-type 4,0 avec :

- 19,7 comme meilleure note ;
- 2,1 comme note la plus basse.



# Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique

## 1. Présentation de l'épreuve

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

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

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

## Déroulement de l'épreuve

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

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

### **La phase 1 – Activités pratiques au laboratoire (durée 4 h 00)**

Cette phase, d'une durée totale de 4 h 00, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports<sup>2</sup> qui permettent à chaque candidat de proposer une séquence pédagogique. Celle-ci est liée aux activités pratiques réalisées par le candidat.

#### **Première partie (durée ≈ 0 h 30)**

Pour cette partie, les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de travail pratique ainsi que la problématique proposée.

---

<sup>2</sup> systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

### **Deuxième partie (durée ≈ 2 h 00)**

Pour cette partie, après la présentation du système à l'examineur, le candidat doit suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans les activités pratiques. Cette partie, permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre les problèmes posés puis d'en exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, valeurs numériques...).

### **Troisième partie (durée ≈ 1 h 30)**

Le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence, en s'aidant des manipulations qu'il vient de réaliser ou d'autres qu'il a conçues, en précisant et en validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support utilisé. Celui-ci doit permettre de proposer des séquences pédagogiques. L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un ou plusieurs postes informatique, relié à l'Internet, dotés des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé.

### **La phase 2 – préparation de la présentation (durée 1 h 00)**

Le candidat prépare l'intervention qu'il fera devant le jury. Il dispose d'un poste informatique relié à l'Internet doté des logiciels courants de bureautique. Il dispose des résultats obtenus lors de la phase 1.

### **La phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1 h 00)**

L'exposé oral est d'une durée maximale de 40 minutes. Le jury n'intervient pas pendant l'exposé du candidat. L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 20 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale :

- à expliciter sa démarche méthodologique ;
- à mettre en évidence les informations, données et résultats, issus des investigations conduites au cours des activités pratiques, qui lui ont permis de construire sa séquence de formation ;
- à décrire et à situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

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

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

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

Les études retenues, lors de la session 2015, sont les suivantes :

- étude de résistance des matériaux ;
- étude des vibrations de structures ;
- étude de treillis ;
- étude des vibrations des machines tournantes ;
- étude de qualification d'une pièce de fonderie ;



- étude d’industrialisation d’une pièce en polymère ;
- étude d’industrialisation d’une pièce de tôlerie ;
- étude de pré-industrialisation d’une pièce en polymère ;
- étude de corrections d’un axe numérique de machine-outil à commande numérique.

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

- modélisation de systèmes ;
- détermination de paramètres significatifs dans une modélisation ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performances ;
- identification du comportement de composants ;
- caractérisation d’une chaîne de mesure ;
- mesure du comportement de systèmes ;
- recalage de modèles ;
- optimisation de solutions industrielles ;
- pré-industrialisation de produits ;
- choix ou caractérisation d’un matériau ;
- industrialisation de produits.

### **Compétences attendues par le jury**

Lors de cette épreuve d’activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences suivantes :

- faire preuve d’ingénierie pédagogique en élaborant **une séance d’activités pratiques** dans une séquence cohérente, inscrite dans une progression pédagogique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations **nouvelles**, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;
- s’approprier un support ;
- s’approprier la problématique associée ;
- élaborer, conduire, justifier un protocole expérimental ;
- exploiter et analyser des résultats expérimentaux ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- caractériser les différents écarts (spécifiés, simulés, réalisés) ;
- faire une synthèse au regard de la problématique proposée en s’appuyant sur les expériences menées et les modèles utilisés ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux (clarté, précision, rigueur) ;
- être réactif et pertinent dans les réponses aux questions posées par les membres du jury.

## **2. Analyse globale des résultats**

Les résultats pour cette troisième session sont encourageants du point de vue de la préparation des candidats. Ils avaient dans l’ensemble connaissance des modalités de cette épreuve, certains y étaient manifestement bien préparés. Il semble indispensable que les futurs candidats s’imprègnent de l’idée que les activités pratiques peuvent constituer de véritables activités d’apprentissage. Elles constituent des modalités pédagogiques qui peuvent, dans certains cas, être très pertinentes pour la formation des élèves.

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

#### **Sur la compréhension du système (phase 1)**

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

Pour cette partie, le jury recommande :

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

#### **Sur les travaux pratiques de résolution des problèmes posés et d'exploitation des résultats (phase 2)**

Pour cette partie de l'épreuve, le candidat peut être amené à utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés. Une aide dans l'utilisation de ces instruments est fournie et le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles. L'instrumentation peut être basique ou raccordée à un ordinateur.

Les candidats peuvent également être amenés à mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, modeleurs volumiques, logiciels de simulation, choix de matériaux...). La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée et une aide est systématiquement fournie.

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

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

#### **Sur la réalisation d'une activité pédagogique à caractère expérimental (phase 3)**

Une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de la globalité de sa séquence pédagogique. Il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental en s'appuyant sur des manipulations pertinentes, dont une partie peut être issue des phases 1 et 2, et en précisant et en validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

Le jury recommande aux candidats de :

- dégager les objectifs pédagogiques, les connaissances à transmettre et les points-clés de la séquence ;
- définir et justifier la place de la séquence dans la progression pédagogique du niveau proposé ;
- utiliser les horaires officiels du niveau d'enseignement demandé ;
- définir les hypothèses de mise en œuvre, nombre d'élèves, nombre de groupes, nombres de systèmes présents dans le laboratoire ou l'atelier... ;
- décrire et justifier la structure de la séquence, cours, travaux dirigés, activités pratiques, projets, synthèse... ;
- préciser de façon argumentée la place de l'activité pratique dans la séquence ;
- structurer la démarche pédagogique permettant le développement de compétences nouvelles au niveau imposé ;
- proposer et justifier les protocoles expérimentaux et à mettre en œuvre avec les élèves ;
- définir et justifier l'évaluation des compétences visées.

Comme lors des années précédentes, le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats STI2D (spécialité ITEC), des BTS et des IUT du champ de la spécialité, ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « Ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra de proposer une exploitation pédagogique qui soit en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour cette partie.

### **Sur la présentation orale devant un jury**

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

- d'expliciter les compétences visées par la séquence en lien avec le programme ou référentiel ;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'identifier les connaissances et les capacités nouvelles ainsi que les points-clés de la séquence ;
- de situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique en s'appuyant sur une problématique clairement identifiée ;
- de décrire le ou les systèmes retenus, dont le support utilisé en phase 1 et 2 et leurs potentialités pédagogiques ;
- de proposer, justifier et valider un ou des protocoles expérimentaux, qui peuvent être un des protocoles utilisés en phase 1 et 2, qui auront été adaptés au niveau imposé, ou un nouveau protocole conçu en phase 3 ;
- de décrire les mesures que devront réaliser les apprenants. Les candidats peuvent s'appuyer sur les activités réalisées en phase 1 et 2, qui sont pertinentes par rapport à leurs objectifs pédagogiques et qui ont été adaptées au niveau imposé ou de nouvelles expériences réalisées en phase 3 ;
- de commenter la démarche mise en œuvre ;
- d'analyser les résultats expérimentaux ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir les documents qui seront proposés aux élèves ;
- de définir les critères et la méthodologie d'évaluation retenue ;
- d'utiliser à bon escient les différents outils de description.

Les candidats ayant bien réussi la présentation de l'activité expérimentale, dans le cadre de la séquence pédagogique, se sont attachés à :

- analyser le sujet proposé ;
- exploiter la problématique ;
- s'approprier le matériel mis à disposition et à identifier les paramètres modifiables ;
- exploiter les équipements, les manipulations et les interprétations des résultats obtenus, qui résultent d'une pratique affirmée d'une démarche à caractère expérimental ;
- présenter rapidement le système proposé, la problématique posée, les données et l'environnement matériel ;
- structurer l'exposé à partir d'un plan ;
- présenter la démarche de résolution du problème technique posée ;
- confronter le modèle et le réel, dissocier le réel à l'échelle 1 : 1 de la maquette à échelle réduite ;
- présenter et justifier les protocoles ;
- corréler les phénomènes physiques observables et les mesures effectuées par des logiciels d'acquisition ou des appareils de mesure ;
- présenter les résultats de façon claire et précise ;
- faire une analyse critique, organisée et pertinente de ces résultats ;
- tirer les conclusions vis-à-vis du problème posé.

Le jury attend également des candidats qu'ils mettent en œuvre des compétences professionnelles en matière de communication :

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

Le jury constate que de nombreux candidats ne savent pas mettre à profit le temps qui leur est imparti (40 minutes au total) pour valoriser la réflexion, les analyses et les synthèses issues des travaux à caractères expérimentaux qu'ils ont menés.

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

### **Sur le comportement des candidats**

De trop nombreux candidats manquent de méthode et de rigueur pour appréhender un système dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Au-delà de la structuration nécessaire à un discours cohérent, les candidats doivent se prémunir contre des présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Le jury attend des candidats un savoir-être compatible avec les exigences d'un concours de recrutement de cadres A de la fonction publique.

Les candidats se réfèrent parfois avec une confiance aveugle aux modèles numériques et ont en revanche beaucoup de méfiance vis-à-vis des résultats expérimentaux. Même si c'est une évidence, il

n'est pas inutile de le rappeler ici qu'une épreuve d'activités pratiques est avant tout une épreuve expérimentale.

#### 4. Conclusions

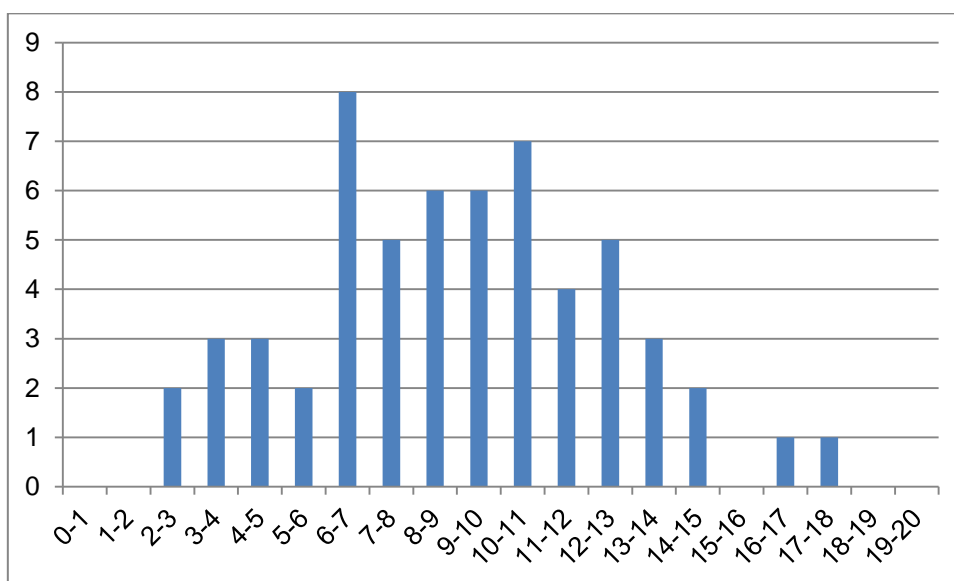
Le jury est conscient de la difficulté de cette épreuve exigeante, mais fondamentale en sciences industrielles de l'ingénieur. Pour cette troisième session de l'agrégation, les résultats de la deuxième épreuve d'admission sont encourageants. Les candidats des prochaines sessions de cette épreuve trouveront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

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

#### 5. Résultats

58 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 9,0/20 et l'écart-type 3,4 avec :

- 17,8 comme meilleure note ;
- 2,0 comme note la plus basse.



# Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel

## 1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : août 2014) précise :

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

*L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée. »*

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

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

## 2. Analyse globale des résultats

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

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

### Le dossier industriel

Le choix du support, produit ou système technique représentatif des technologies actuelles, et des problématiques associées est déterminant pour :

- permettre des développements scientifiques et technologiques du niveau de l'agrégation ;
- permettre un transfert pertinent vers l'enseignement.

Le dossier industriel doit aborder plusieurs dimensions :

- socio-culturelle pour mettre en contexte le problème traité vis-à-vis d'une question sociétale ou du développement durable ;
- scientifique pour appliquer des démarches, pour conduire et analyser des expérimentations, des modélisations, des simulations, pour justifier des hypothèses et formuler des conclusions ;
- éventuellement ingénierie-design pour résoudre des problématiques de conception, de fabrication...

Bon nombre de candidats ont fondé leur dossier industriel sur un travail de reconception ce qui n'est plus expressément demandé dans les textes en vigueur. Cette option ne peut être envisagée que si la problématique l'impose et si elle est réalisée dans des conditions de qualité et de rigueur méthodologique optimales.

Ce dossier doit comporter une première partie consacrée à une investigation scientifique et technologique permettant un transfert vers l'enseignement et une seconde consacrée à des propositions d'exploitation pédagogique dans un contexte d'enseignement du second degré (enseignement d'exploration en seconde, cycle terminal du baccalauréat S option SI, cycle terminal du baccalauréat STI2D, BTS, CPGE et éventuellement collège).

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, les sources doivent être citées ; le jury utilise des moyens de détection de plagiat.

Le niveau de confidentialité ne devra pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Le candidat doit faire parvenir le dossier en deux exemplaires et une clé USB. La clé USB est à structurer en quatre répertoires : CAO, simulations, dossier (format pdf) et éventuellement annexes. Les maquettes numériques sont en format natif et en format neutre (IGES ou STEP).

Le jury apprécie particulièrement :

- les dossiers élaborés autour d'une véritable problématique liée à un support et issue d'une relation authentique avec l'entreprise (ce dossier ne s'apparente pas à un rapport de stage, de projet, ou de recherche de type master) ;
- les dossiers clairement structurés comportant des schémas, graphes et autres images s'appuyant sur une documentation technique authentique et sur une maquette numérique... ;
- les dossiers n'excédant pas 40 pages (annexes éventuelles comprises), rédigés dans une langue française soignée ;
- des démarches scientifiques et technologiques rigoureuses, adaptées, formalisées et étayées par des essais, expérimentations, mesures... et dont les conclusions apportent une plus-value à la problématique traitée ;
- des exploitations pédagogiques en application cohérente avec les considérations scientifiques et technologiques développées ;
- des exploitations pédagogiques précises et abouties (niveau d'enseignement, contexte matériel choisi, position de la séquence dans le plan de progression, contenu et déroulement de la séquence, évaluations associées développées, documents pour le professeur, documents pour les élèves...)
- des propositions d'exploitation pédagogique dans une perspective d'activités pluritechniques, voire interdisciplinaires.

La pertinence et l'authenticité du support et des problématiques ont facilité la richesse des développements scientifiques et techniques, le transfert pertinent du support industriel vers l'enseignement.

Les dossiers, dans leur majorité, sont bien présentés et leur construction est assez souvent cohérente. Cependant, le jury regrette que leur structure soit trop souvent stéréotypée notamment dans la partie pédagogique.

### **L'exposé et les échanges avec le jury**

Durant les 30 minutes de l'exposé, le candidat met en valeur ses qualités de pédagogue pour expliquer ses choix, ses démarches et ses analyses.

Les 30 minutes d'échange avec le jury permettent d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé. Cet échange porte tant sur les développements scientifiques et

technologiques engagés que sur les propositions d'exploitation pédagogiques qui en découlent. Le jury élargit son questionnement pour vérifier que le candidat a entrepris une réelle réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement technologique et ses interactions avec d'autres disciplines ;
- les démarches d'apprentissage utilisées pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- l'ensemble des compétences qu'un enseignant doit développer et sur les missions qui lui sont confiées ;
- les situations au cours desquelles il est en position de faire partager les valeurs de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

Le jury apprécie particulièrement

- les exposés clairement structurés dont le dynamisme s'appuie sur une expression claire et maîtrisée, un vocabulaire technique adapté, une fluidité des propos ;
- les supports visuels judicieusement utilisés ;
- les réponses aux questions du jury posément argumentées ;

Les présentations orales ont été, pour une grande majorité de candidats, bien préparées avec un temps d'exposé bien maîtrisé. L'échange avec le jury a été de qualité.

Afin d'assurer une équité entre tous les candidats, quel que soit le support choisi, l'usage de supports matériels (produits, échantillons, maquettes didactiques...) apportés par les candidats n'est pas autorisé durant l'épreuve. S'ils existent, ces éléments pourront être mis en valeur à travers les documents présentés.

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

#### **4. Conclusions**

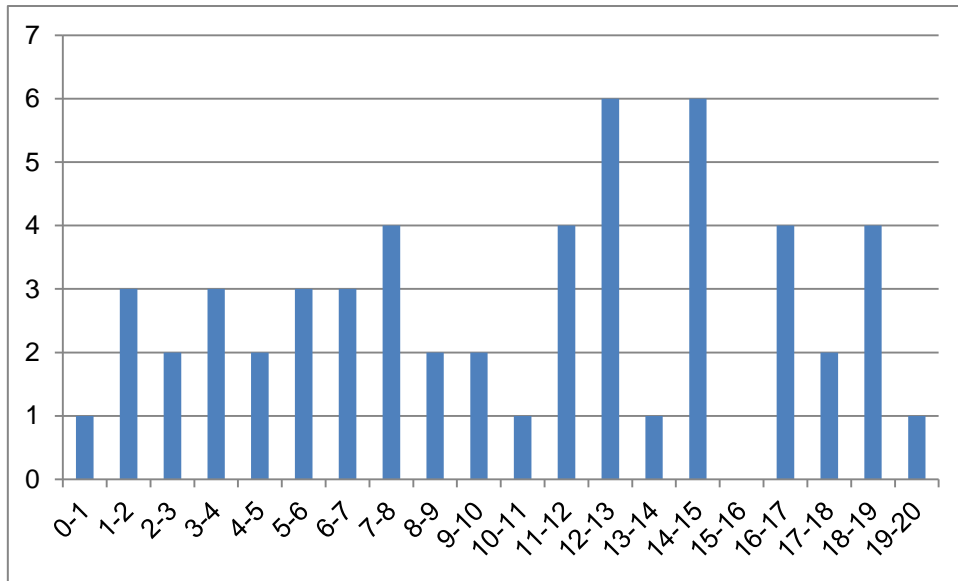
La nouvelle description des épreuves, publiée en août 2014, apporte des évolutions significatives dans les attendus de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel. Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

#### **5. Résultats**

57 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 10,8/20, et l'écart-type 5,7 avec :

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





# Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité du candidat à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...);
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

Le candidat doit prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

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

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

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

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

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

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

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