



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport de jury

Concours : Agrégation interne et CAER-Agrégation

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Session 2024

Rapport de jury présenté par :

Madame Karine LAVERNHE, Maitresse de conférences, Présidente du jury

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	3
STATISTIQUES DE LA SESSION 2024	7
ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE	8
ÉLÉMENTS DE CORRECTION	8
COMMENTAIRES DU JURY	28
ÉPREUVE D'ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION	32
ÉLÉMENTS DE CORRECTION	32
COMMENTAIRES DU JURY	50
ÉPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE	56
COMMENTAIRES DU JURY	56
ÉPREUVE SUR DOSSIER	67
COMMENTAIRES DU JURY	67

Avant-propos

L'agrégation interne s'attache à valider un haut niveau de maîtrise de compétences scientifiques, technologiques, industrielles et professionnelles. Pour les candidats il s'agit de montrer comment ils mobilisent leurs connaissances et savoir-faire, des ressources, comment ils exploitent des données, des résultats pour analyser et répondre à un problème donné et par la suite imaginer et décrire une séquence ou des séances pédagogiques.

Les programmes ainsi que la définition des épreuves de l'agrégation interne sont précisés à partir de textes de référence (arrêtés) et peuvent être consultés sur le site du ministère : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr>

Les épreuves d'admissibilité comportent :

- une épreuve « Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique »

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

Durée : cinq heures ; coefficient 2.

- une épreuve « Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation »

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Durée : quatre heures ; coefficient 1.

La première épreuve d'admissibilité, commune aux trois agrégations internes SII, est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences et de connaissances scientifiques, technologiques et industrielles nécessaires à la maîtrise des activités de conception, de dimensionnement, d'analyse de comportement. Tous les champs technologiques et scientifiques liés à la matière, l'énergie et l'information (MEI) sont susceptibles d'être couverts par les sujets proposés.

Les candidats doivent s'obliger à traiter les différentes parties et les questions d'ordre didactiques et pédagogiques intégrées à ces différentes parties, dans la mesure où elles permettent d'alimenter la conception de la séquence attendue. Pour optimiser ses chances de réussite, il convient de traiter à la fois les parties et les questions scientifiques et les parties et les questions pédagogiques. Le barème de notation prend en compte cette capacité à traiter ces deux aspects.

Compte tenu du caractère très sélectif de ces deux épreuves et afin de bien préparer ces deux épreuves, il est fortement conseillé aux futurs candidats d'analyser et de s'entraîner à partir des sujets des sessions antérieures, ceux des agrégations externe et interne SII mais aussi ceux des CAPET interne et externe SII publiés sur le site du ministère, qui abordent les concepts et compétences en Sciences de l'Ingénieur et de l'Industrie et les attentes liées à la conception de séquences de formation.

Encore à la session 2024, de nombreux candidats se sont présentés à ces deux épreuves sans s'y être préparés. Le jury a constaté, au travers de la correction des copies, la faiblesse des connaissances et compétences d'un grand nombre de candidats. Pour certains, de nombreux fondamentaux font défaut.

Pour envisager d'être déclaré admissible, il convient de maîtriser les compétences décrites dans les référentiels et les programmes SI des classes de CPGE, de la spécialité SI, de STI2D et des BTS ou BUT des champs de la mécanique. Compte tenu du coefficient 2, l'épreuve écrite transversale reste déterminante. Une faiblesse relative dans l'épreuve transversale peut être compensée par l'épreuve de spécialité, épreuve pour laquelle il convient aussi d'assurer la réussite.

Les épreuves d'admission sont définies ainsi :

- « Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluri technique »

Dans l'option choisie, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : "conception des systèmes mécaniques" ou "industrialisation des systèmes mécaniques".

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de spécialité du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" du lycée et des programmes de BTS et BUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie.

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

- *mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;*
- *conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;*
- *exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;*

- *concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. La séquence proposée prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.*

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa proposition pédagogique. Au cours de l'entretien, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.

Durée totale de l'épreuve : 6 heures (activités pratiques : 4 heures ; préparation de l'exposé : 1 heure ; exposé : 40 minutes maximum ; entretien : 20 minutes maximum) ; coefficient 2. 10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

- **Épreuve sur dossier.**

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat ou la candidate dans un domaine de l'option préparée, suivie d'un entretien.

*L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement **en lycée (baccalauréat général ou technologique), en BTS ou BUT.***

L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.

*En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes **en lycée (pré ou post baccalauréat).***

Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points.

Durée de totale de l'épreuve : une heure (présentation 30 min entretien 30 min) ; coefficient 1

Les dossiers doivent être déposés sur l'application Cyclades au minimum 5 jours ouvrés avant le début des épreuves d'admission.

La première épreuve d'admission (épreuve de travaux pratiques et d'exploitation pédagogique) comporte deux évaluations distinctes et complémentaires. Si les compétences scientifiques et technologiques sont évaluées au travers des études et des problèmes à résoudre, ce sont aussi les compétences professionnelles en matière de didactique et de pédagogie qui sont évaluées. La difficulté des candidats à associer études et problèmes et exploitations pédagogiques reste délicate pour les candidats admissibles. Cette capacité est pourtant l'essence même des démarches pédagogiques attendues dans l'exercice du métier de professeur de SII.

La deuxième épreuve reste exigeante et se prépare dès la décision de s'inscrire au concours ; de la pertinence du choix du support technique dépend la qualité du dossier. Ainsi, cette épreuve impose aux professeurs de s'engager de nouveau dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Cette épreuve oblige tout candidat à conduire personnellement une analyse scientifique, technique et économique d'un support authentique puis de concevoir des séquences d'enseignement en adaptant les documents techniques, ressources, développements réalisés aux résolutions de problèmes qui seront proposés aux élèves ou étudiants.

Il est rappelé aux candidats déclarés admissibles que, pour se présenter avec les meilleures chances de réussite, il convient de préparer efficacement l'épreuve de dossier en anticipant le choix d'un support et en y consacrant un temps optimal pour réaliser les développements scientifiques et pédagogiques. Les délais entre la déclaration des candidats admissibles et le dépôt des dossiers sur l'application Cyclades sont généralement très courts.

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

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

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

Karine LAVERNHE
Présidente du jury

Statistiques de la session 2024

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la première épreuve d'admissibilité	Présents à la seconde épreuve d'admissibilité	Admissibles	Admis
AG INT SII IM	244	7	141	139	22	6
CAER		1			2	1

139 candidats ont composé aux deux épreuves
105 candidats inscrits ne sont pas présentés aux épreuves écrites
4 candidats ne sont pas présentés aux épreuves d'admission

Agrégation interne (concours du public) :

- Barre d'admissibilité : 26,05/60 (soit une moyenne de 8,68/20)
- Barre d'admission : 61,55/120 (soit une moyenne de 10,25/20)

CAER-Agrégation (concours du privé) :

- Barre d'admissibilité : 35,60/60 (soit une moyenne de 11,86/20)
- Barre d'admission : 73,80/120 (soit une moyenne de 12,3/20)

Répartition des admis par académies : Agrégation interne et CAER

Académies	Nombre d'admis
Bordeaux	1
Créteil-Paris-Versailles	2
Orléans-Tours	2
Rennes	1
Strasbourg	1

Les sujets sont en téléchargement sur le site du ministère :
<https://www.devenirenseignant.gouv.fr>

Épreuve d'analyse et exploitation d'un système pluritechnique

Éléments de correction

Coefficient 2 – Durée 5 heures
Le sujet comporte 3 parties

Partie 1. Déploiement de la couverture

Question 1 : Déterminer les déplacements totaux que doivent effectuer les ailes 1 et 10 pendant la durée t_3 (notés $d_{3,a1}$ et $d_{3,a10}$) entre les configurations pliées et dépliées présentées sur le document **DT3**.

	Aile 1	Aile 2	Aile 3	Aile 4	Aile 5	Aile 6	Aile 7	Aile 8	Aile 9	Aile 10	Aile 11
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pliée	29000	26100	23200	20300	17400	14500	11600	8700	5800	2900	0
Dépliée	91300	82170	73040	63910	54780	45650	36520	27390	18260	9130	0
Déplacement	$d_{3,a1}$	$d_{3,a2}$	$d_{3,a3}$	$d_{3,a4}$	$d_{3,a5}$	$d_{3,a6}$	$d_{3,a7}$	$d_{3,a8}$	$d_{3,a9}$	$d_{3,a10}$	
	62300	56070	49840	43610	37380	31150	24920	18690	12460	6230	

$$d_{3,a1} = 91300 - 29000 = 62300 \text{ mm}$$

$$d_{3,a10} = 9130 - 2900 = 6230 \text{ mm}$$

Question 2 : Déterminer pour chaque aile sa vitesse lors de la phase à vitesse constante (notées respectivement v_{a1} et v_{a10}). Tracer les profils de vitesse pour les ailes 1 et 10 en fonction du temps sur le diagramme vitesse du document réponse **DR1** (les valeurs en ordonnée seront à préciser).

$$v_{a1(m.s^{-1})} = \frac{d_{3,a1}}{900 - 10} = \frac{62300}{890} = 70 \text{ mm.s}^{-1} = 0,070 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_{a10(m.s^{-1})} = \frac{d_{3,a10}}{900 - 10} = \frac{6230}{890} = 7 \text{ mm.s}^{-1} = 0,007 \text{ m.s}^{-1}$$

Voir profil de vitesse sur DR1

Question 3 : Calculer les valeurs numériques des constantes A et B en unités SI.

$$v_{an(m.s^{-1})} = A \times n + B$$

$$v_{an(m.s^{-1})} = -0,007 \times n + 0,077$$

Question 4 : Déterminer les vitesses angulaires du pignon de l'aile 1 et 10. En considérant le couple nécessaire constant, **justifier** l'utilisation de trois motoréducteurs différents pour le déplacement des ailes.

$$\omega_{an}(\text{rad.s}^{-1}) = \frac{2 \times v_{an}}{D_{pc}} \quad \text{avec} \quad D_{pc(m)} = 0,318 \text{ m}$$

$$\omega_{a1}(\text{rad.s}^{-1}) = \frac{2 \times 0,07}{0,318} = 0,44 \text{ rad. s}^{-1}$$

$$\omega_{a10}(\text{rad.s}^{-1}) = \frac{2 \times 0,007}{0,318} = 0,044 \text{ rad. s}^{-1}$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Van	0,07	0,063	0,056	0,049	0,042	0,035	0,028	0,021	0,014	0,007
Vitesse angulaire des pignons	0,440	0,396	0,352	0,308	0,264	0,220	0,176	0,132	0,088	0,044
Vitesse rotation des pignons (tr/min)	4,206	3,786	3,365	2,944	2,524	2,103	1,682	1,262	0,841	0,421
nb poles moteur	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6
Vitesse synchro moteur (tr/min)	1500	1500	1500	1500	1500	1000	1000	1000	1000	1000
Réduction	283	283	283	283	283	334	334	334	898	898
Vitesse sortie réducteur	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300	2,994	2,994	2,994	1,114	1,114
PN moteur kW	11	11	11	11	11	5,5	5,5	2,2	2,2	2,2
Couple sortie réducteur	19828	19828	19828	19828	19828	17551	17551	7020	18875	18875

En considérant que le déploiement des ailes nécessite un couple constant, la puissance des moteurs est optimisée en fonction des vitesses de déplacement des ailes.

Moteur 11kW / 4 pôles (1500 tr/min) avec une réduction de 283 dispose d'un couple 19820 Nm

Moteur 3kW / 6 pôles (1000 tr/min) avec une réduction de 334 dispose d'un couple 17507 Nm

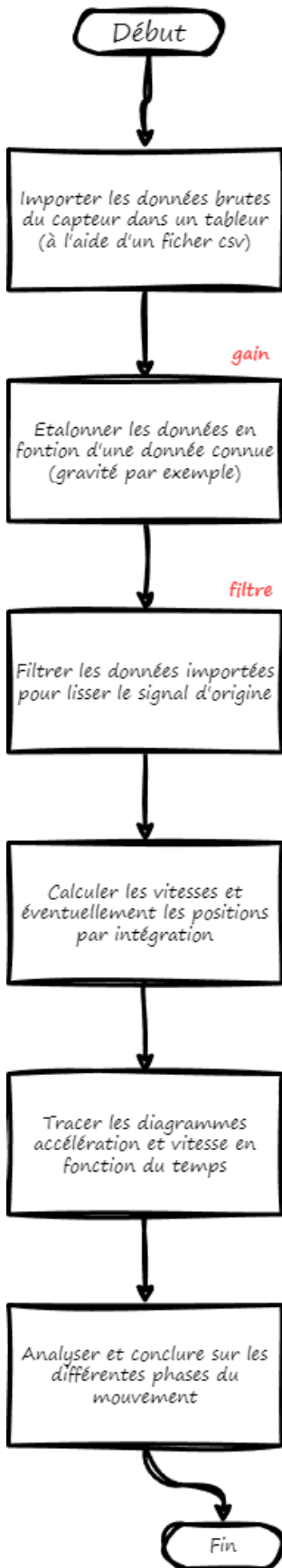
Moteur 2,2kW / 6 pôles (1000 tr/min) avec une réduction de 898 dispose d'un couple 18926 Nm

On observe que les vitesses en sortie des réducteurs sont toujours supérieures à la vitesse de rotation des pignons. Associés à des variateurs de vitesses, ces moto-réducteurs pourront fournir ce couple aux vitesses attendues

Question 5 : Proposer une fiche méthodologique (format recto A4) à destination des élèves permettant de tracer les profils de position, de vitesse et d'accélération à partir de résultats expérimentaux et d'identifier le type de mouvement.

fiche méthodologique

Comment tracer les profils de position, vitesse et accélération à partir de résultats expérimentaux ?



gain

Etalonner les données en fonction d'une donnée connue (gravité par exemple)

filtre

Filtrer les données importées pour lisser le signal d'origine

Calculer les vitesses et éventuellement les positions par intégration

Tracer les diagrammes accélération et vitesse en fonction du temps

Analyser et conclure sur les différentes phases du mouvement

Fin

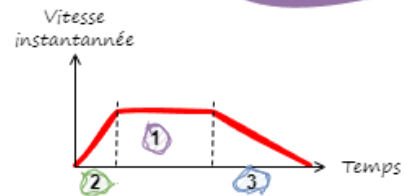
- Utiliser par exemple la moyenne des mesures de l'accélération verticale qui doit être égale à la pesanteur ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) quand l'objet est immobile
- Utiliser le gain pour déterminer les accélérations des autres axes
- Exprimer les données en unité SI

$$\text{moy}_z \times \text{gain} = 9,81$$

- Filtrer les données (Moyenne mobile, filtre de kalman, filtre passe-bas, ...)

- En tenant compte des conditions initiales, calculer les vitesses instantanées

$$V_{t+dt} = a \cdot dt + V_t$$



Trajectoires

rectiligne



curviligne



circulaire



- mouvement uniforme : la vitesse instantannée est constante, l'accélération instantannée est nulle (1)
- mouvement accéléré : la vitesse instantannée augmente, l'accélération instantannée est positive (2)
- mouvement retardé ou ralenti : la vitesse instantannée diminue, l'accélération instantannée est négative (3)

Mouvements

Partie 2. Détermination des charges appliquées sur un bogie

2.1 Charges de neige appliquées au système

Question 6 : Calculer la charge de neige surfacique S appliquée à la couverture, puis la charge de neige ponctuelle S_p appliquée au point A à l'aide du formulaire donné sur le DT7.

Zone A1 $\rightarrow S_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Charge de neige surfacique : $S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \times 1 \times 1 \times 0,45 = \mathbf{0,36 \text{ kN/m}^2}$

Surface totale de neige sur l'aile $S = 1166,7 \text{ m}^2 \rightarrow$ Surface de neige sur une $\frac{1}{2}$ aile = $583,35 \text{ m}^2$

Charge ponctuelle de la neige sur une $\frac{1}{2}$ aile : $S_p = 583,35 \times 0,36 = \mathbf{210 \text{ kN}}$

Question 7 : Calculer la charge de l'accumulation de neige S_a dans le chéneau en $\text{kN}\cdot\text{ml}^{-1}$, puis en kN appliquée sur le bogie.

Charge d'accumulation de neige dans le chéneau = $2 \times 0,74 = \mathbf{1,48 \text{ kN/ml}}$

Charge d'accumulation appliquée sur le bogie = $1,48 \times \text{Longueur de la } \frac{1}{2} \text{ aile}$
= $1,48 \times 50,8 = \mathbf{75,2 \text{ kN}}$

Question 8 : Conclure et justifier sur la valeur de la charge à retenir.

Pour la suite, on retiendra uniquement la charge de neige ponctuelle S_p (= 210 kN) qui est supérieure à la charge de l'accumulation de neige S_a (= 75,2 kN).

2.2 Descente de charge sur bogie

Question 9 : Calculer le moment engendré par la charge de neige ponctuelle S_p au point D.

$$\left| \begin{array}{c} \longrightarrow \\ M_{y/D} \end{array} \right| = S_p \times 1,55 = 210 \times 1,55 = 325,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Question 10 : Déterminer l'expression littéral du torseur d'action mécanique du vent sur la $\frac{1}{2}$ aile au point D. Réaliser l'application numérique.

Torseur pour la charge de vent (pression)

$$\begin{aligned} \{T_{\text{vent} \rightarrow 1/2 \text{ aile}}\}_{/D} &= \begin{pmatrix} F_x & 0 \\ 0 & M_y \\ F_z & 0 \end{pmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \\ &= \begin{pmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -297,7 + F_x \times 0,72 - F_z \times 0,146 \\ -139,4 & 0 \end{pmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \end{aligned}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -297,7 + (-116,7 \times 0,72 - (-139,4 \times 0,146)) \\ -139,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} F_X & 0 \\ 0 & M_y \\ F_Z & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -361,4 \\ -139,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Torseur pour la charge de vent (soulèvement)

$$\begin{aligned} \{T_{vent \rightarrow 1/2aile}\}_{/D} &= \begin{Bmatrix} F_X & 0 \\ 0 & M_y \\ F_Z & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \\ &= \begin{Bmatrix} 79,2 & 0 \\ 0 & 458,2 + F_x \times 0,72 - F_z \times 0,146 \\ 165,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \end{aligned}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} 79,2 & 0 \\ 0 & 458,2 + (79,2 \times 0,72 - (165,4 \times 0,146)) \\ 165,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} F_X & 0 \\ 0 & M_y \\ F_Z & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} 79,2 & 0 \\ 0 & 325,7 \\ 165,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Question 11 : Calculer, à l'aide du formulaire du **DT8**, pour la combinaison de charges à l'ELU (STR) en Vent dominant-Pression les efforts F_X , F_Z et M_Y appliqués au point **D**. **Conclure** sur les valeurs F_X , F_Z et M_Y à retenir.

Charges sur l'aile n°1		Fx (kN)	Fz (kN)	My (kNm)	Point d'application	M_{yD} (kNm)
Poids propre (aile repliée) + charge permanente	P	0	-1542	-1448	point B	-1448
Charge de vent (pression)	V	-116,7	-139,4	-297,7	point C	-361,4
Charge de vent (soulèvement)		79,2	165,4	458,2	point C	325,7
Charge de neige	N	0	-210		point A	-325,5
Charge due au tassement de l'appui	T	0	0	-200	point B	-200
Arrêt d'urgence		205	0	349	point B	349
Résultats selon ELU (STR)		Fx (kN)	Fz (kN)	My (kNm)		M_{yD} (kNm)
V dominant - pression		-192,56	-2693,13			-3257,13
<i>Valeurs fournies dans le sujet pour la suite de l'étude</i>		-193,00	-2693,00			-3257,00
V dominant - soulèvement		130,68	-1269,09	-933,97		-1152,60
<i>Valeurs fournies dans le DT8</i>		130,68	-1269,09	-933,97		-933,97
N dominant - pression		-115,53	-2774,38	-2687,00		-3287,14
<i>Valeurs fournies dans le DT8</i>		-115,53	-1499,00	-32,00		-32,00

Question 12 : À partir de la description de la séquence pédagogique du **DP1** et en complétant le **DR2**, proposer des indicateurs permettant l'évaluation du niveau d'acquisition des compétences ciblées, les modalités d'évaluation utilisées et les descripteurs pour identifier le niveau d'acquisition atteint. **Justifier** les réponses.

Voir DR2

Partie 3. Choix du motoréducteur et logique de commande

3.1 Vérification de la puissance motrice nécessaire

Question 13 : Déterminer le lien entre la vitesse de translation de l'ensemble E notée v_E et la vitesse de rotation des moteurs notée ω_m en fonction de D_{pc} et k .

$$w_r = 2 \cdot \frac{v_e}{D_{pc}} = \frac{w_r}{k} = 2 \cdot \frac{v_e}{k \cdot D_{pc}} \quad v_e = \frac{k \cdot D_{pc} \cdot w_m}{2} \quad v_e = 5,61 \cdot 10^{-4} \cdot w_m$$

Question 14 : Déterminer la masse équivalente notée m_{eq} de l'ensemble E dans son mouvement de translation en fonction de $m_e, m_m, m_{gp}, j_m, j_{gp}, k, d_{gp}$ et D_{pc} . Effectuer l'application numérique.

$$E_{c E/0} = \frac{1}{2} \times v_e^2 \times (m_e + 4 \times m_m + 6 \times m_{gp} + \frac{4 \times J_m \times \eta_r \times \eta_{pc}}{k^2 \times (\frac{D_p}{2})^2} + \frac{6 \times J_{gp}}{(\frac{D_{gp}}{2})^2})$$

$$m_{eq} = m_e + 4 \times m_m + 6 \times m_{gp} + \frac{16 \times J_m \times \eta_r \times \eta_{pc}}{k^2 \times D_p^2} + \frac{24 \times J_{gp}}{D_{gp}^2}$$

$$m_{eq} = 355000 + 4 \times 80 + 6 \times 210 + \frac{16 \times 0,03 \times 1 \times 1}{(\frac{0,318}{283})^2} + \frac{24 \times 27}{0,5^2}$$

$$m_{eq} = 355000 + 320 + 1260 + 380154 + 2592$$

$$m_{eq} = 739300 \text{ kg}$$

Question 15 : Exprimer, en justifiant, la puissance des actions mécaniques extérieures sur l'ensemble E dans son mouvement par rapport à R_0 . Exprimer ensuite en justifiant la puissance des actions mécaniques intérieures.

$$P_{\text{ext} \rightarrow S/0} = 4 \times C_m \times w_m \times \eta_r \times \eta_{pc}$$

Les liaisons sont considérées parfaites sans jeu ni frottement $\rightarrow P_{\text{int}} = 0$

Question 16 : Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble E dans son mouvement par rapport à R_0 afin de déterminer le couple moteur nécessaire.

$$\frac{dE_{c S/0}}{dt} = 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} \cdot w_m - F_v \cdot v_e$$

$$\frac{d\left(\frac{1}{2} \cdot m_{eq} \cdot v_e^2\right)}{dt} = 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} \cdot w_m - F_v \cdot v_e$$

Avec $v_e = \frac{D_{pc}}{2} \cdot w_r = \frac{k \cdot D_{pc}}{2} \cdot w_m$

$$w_m = v_e \cdot \frac{2}{k \cdot D_{pc}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_{eq} \cdot \left(\frac{k \cdot D_{pc}}{2}\right)^2 \cdot \dot{w}_m^2 = 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} \cdot w_m - F_v \frac{k \cdot D_{pc}}{2} \cdot w_m$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_{eq} \cdot \left(\frac{k \cdot D_{pc}}{2}\right)^2 \cdot 2 \cdot w_m \cdot \dot{w}_m = 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} \cdot w_m - F_v \frac{k \cdot D_{pc}}{2} \cdot w_m$$

$$m_{eq} \cdot \left(\frac{k \cdot D_{pc}}{2}\right)^2 \cdot \dot{w}_m = 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} - F_v \frac{k \cdot D_{pc}}{2}$$

$$m_{eq} \cdot \frac{k \cdot D_{pc}}{2} \cdot \dot{w}_m = \frac{2}{k \cdot D_{pc}} 4 \cdot C_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc} - F_v$$

$$C_m = \frac{m_{eq} \cdot \frac{k \cdot D_{pc}}{2} \cdot \dot{w}_m + F_v}{\frac{8 \eta_r \eta_{pc}}{k \cdot D_{pc}}}$$

Question 17 : Tracer le profil du couple moteur délivré par un moteur à partir du profil de vitesse angulaire ($\omega_m(t)$) fourni sur le **DR3**. Calculer la valeur du couple moteur maximal et nominal nécessaire pour un moteur de l'aile 1. Conclure sur le choix du moteur retenu (alimenté en 400 V) pour cette aile présenté **DT12**.

En phase d'accélération :

$$C_m = \frac{740000 \times \frac{0,318}{2} \times \frac{1}{283} \times 12,46 + 386000}{\frac{8}{0,318 \frac{1}{283}}} =$$

54,94 N.m

En régime établi :

$$C_m = \frac{386000}{\frac{8}{0,318 \frac{1}{283}}} = 54,22 \text{ N.m}$$

En phase de décélération :

$$C_m = \frac{740000 \times \frac{0,318}{2} \times \frac{1}{283} \times (-12,46) + 386000}{\frac{8}{0,318 \frac{1}{283}}}$$

= 53,5 N.m

Puissance par moteur en régime établi : $P_m = 54,22 \times 124,6 = 6728 \text{ W}$

Moteur choisi : Puissance nominale = 11 kW > 6,728 kW

Couple de démarrage = 209,67 N.m > 54,94 N.m

Couple nominal = 72,3 N.m > 54,2 N.m

En régime établi, le moteur sera utilisé à 61,2% de sa puissance nominale

La vitesse nominale du moteur (1452 tr.mn⁻¹) est supérieure à la vitesse en régime établi (1190 tr.mn⁻¹) d'où la nécessité d'utiliser un variateur de vitesse.

3.2 Asservissement des moteurs

3.2.1 Gestion du problème d'angle de crabe maximum (Id9)

Question 18 : Déterminer l'équation logique de la variable Alarm définie au DT13. Justifier la valeur de 57,2958 de la constante utilisée dans ce modèle

$$\text{Alarm} = [|\varphi_{(\text{degré})}| > 1^\circ] \cdot \overline{\text{Stop_LAX_Angr_Crabe}}$$

Avec
$$\varphi_{(\text{degré})} = \text{artan} \left(\frac{\text{PositionEst} - \text{PositionOuest}}{\text{Distance_rails}} \right) \times 57,2958$$

Le coefficient 57,2958 permet de convertir l'angle de radian en degré

Question 19 : Déterminer les valeurs en millimètre des positions données par les deux codeurs.

Codeur Est : 011301₍₁₆₎

Codeur Ouest : 0125C4₍₁₆₎

Position donnée par le codeur Est :

$$\text{Position Est} = 0 \times 16^5 + 1 \times 16^4 + 1 \times 16^3 + 3 \times 16^2 + 0 \times 16^1 + 1 \times 16^0 = 70404 \text{ mm}$$

Position donnée par le codeur Ouest :

$$\text{Position Ouest} = 0 \times 16^5 + 1 \times 16^4 + 2 \times 16^3 + 5 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 4 \times 16^0 = 75204 \text{ mm}$$

Question 20 : Déterminer la valeur de Angle_Crab. En déduire la valeur de Alarm et indiquer si le défaut « mise en crabe » est présent.

$$\text{Ecart de position} = 75204 - 70404 = 4800 \text{ mm} = 4,8 \text{ m}$$

$$\varphi_{(\text{degré})} = \text{artan} \left(\frac{4,8}{101,6} \right) \times 57,2958 = 2,7^\circ$$

L'angle étant supérieur à 1°, le bit « Alarm » est actif. On peut donc supposer que le défaut « mise en crabe » est présent.

3.2.1.1 Mise en place du modèle d'asservissement

Question 21 : Compléter le schéma bloc fourni sur le document réponse **DR4** à partir des données ci-dessus et de l'équation obtenue par le théorème de l'énergie cinétique donnée en partie 3.1.

Voir DR4

3.2.1.2 Étude des performances de la boucle de vitesse non corrigée

Question 22 : Déduire l'erreur statique relative de vitesse dans les cas avec et sans perturbation. Conclure quant au respect de l'exigence Id 8 (Erreur en régime permanent).

Sans perturbation $\varepsilon_s = 0$

Avec perturbation $\varepsilon_s = (0,07 - 0,525) / 0,07 = 25\%$

L'exigence Id 8 n'est respectée car l'erreur doit être nulle en régime permanent pour une perturbation constante ce qui n'est pas le cas avec la réponse avec perturbation.

Question 23 : Démontrer que dans ces conditions, l'exigence Id9 (Angle de mise en crabe maximum) n'est pas respectée.

L'angle maximum de mise en crabe (1°) correspond à un écart de déplacement de 1,77 m entre les bogies Ouest et Est.

$v_{\text{Ouest}} = 0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $v_{\text{Est}} = 0,0525 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \rightarrow$ Ecart de vitesse = $0,0175 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

L'angle de mise en crabe sera obtenu au bout de $1,77 / 0,0175 = 101 \text{ s}$ soit un peu moins de 2 min donc avant la fin du parcours de 15 minutes

3.2.1.3 Étude des performances de la boucle de vitesse corrigée

Question 24 : Justifier le choix de ce correcteur au regard des résultats de simulation sur le modèle corrigé.

L'erreur statique est nulle

Le temps de réponse (9 s) est largement inférieur au temps de mise en crabe calculé à la question précédente.

Question 25 : Justifier dans le cas de ce modèle complet, que la correction proposée précédemment ne suffit pas et qu'il est nécessaire de mettre en place une solution de synchronisation pour le déplacement des deux côtés d'une aile entre les positions repliée et dépliée et ainsi valider Id9.

Sur un déplacement total, l'écart de déplacement final avec/sans perturbation est de 3 m (62300 mm – 59300 mm) est supérieur à 1,77 m correspondant à l'angle

de mise en crabe maximum (1°). La mise en crabe se produira avant la fin du déploiement. L'exigence Id 8 n'est donc pas respectée

3.2.1.4 Étude de la boucle de vitesse optimisée

Question 26 : Justifier que le schéma de synchronisation proposé permet de corriger correctement le système en cas d'écart entre la vitesse de consigne et les vitesses réelles côté EST et côté OUEST d'une aile.

Lorsque les deux moteurs sont à la même vitesse, $u_{mes1}(t) = u_{mes2}(t)$, les deux boucles de vitesses voient le même écart de vitesse à l'entrée des correcteurs, d'où $u_{c1}(t) = u_{c2}(t)$.

Si la vitesse de l'aile côté EST est supérieure à celle côté OUEST, alors l'écart de vitesse $u_{mes1}(t) - u_{mes2}(t)$ croît ainsi que la consigne de commande $u_{c2}(t)$ et donc la vitesse du moteur côté OUEST augmente.

Dans le cas inverse, l'écart de vitesse est réduit donc la vitesse du moteur du moteur côté OUEST ralentit.

3.2.2 Gestion et contrôle de la distance entre les ailes (Id10)

Question 27 : Tracer les cônes délimitant les zones d'alarme et d'arrêt sur le document DR5.

Voir DR5

Question 28 : Sur le modèle multiphysique du DR6 permettant de simuler les positions des ailes 1 et 2 en fonction du temps, identifier les domaines physiques mécanique et électrique et compléter la nature des variables de flux et d'efforts.

Voir DR6

Question 29 : Interpréter l'allure de la courbe de position de l'aile 1. Relever graphiquement la distance entre les deux ailes à l'instant $t = 800$ s, en déduire graphiquement sur le DR5 dans quelle configuration se trouve le système à cet instant t .

La position de référence « 0 » sur le graphique correspond à la position repliée de l'aile 2. En effet, la position finale de l'aile 1 au bout de 900 s (15 minutes) semble correspondre à 65200 mm (= 91300 – 29000 + 2900) en référence à la position repliée de l'aile 2.

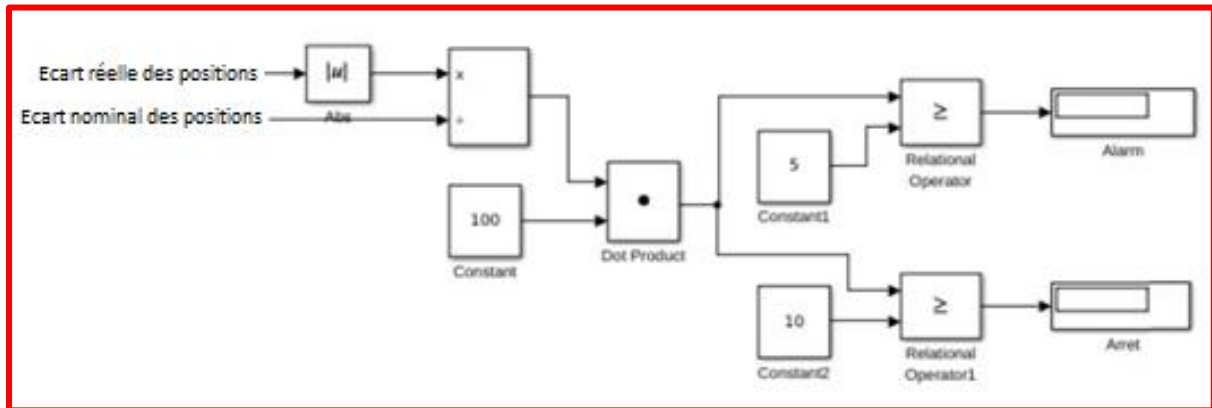
Il s'agit donc bien d'une position relative par rapport à la position repliée de l'aile 2 et non la position par rapport à la position de l'aile 11 qui est fixe.

D'après le modèle multiphysique, le déplacement de l'aile 1 est le déplacement nominal et celui de l'aile 2 le déplacement perturbé.

Ainsi, l'écart réel entre les deux ailes à l'instant 800s est de 7820 mm (= 57820 – 50000).

Graphiquement sur le DR5, le système se trouve en situation d'alarme.

Question 30 : Compléter le modèle du DR6 pour permettre l'activation d'une alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance simulée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites (blocs « Alarm » et Arrêt » à l'état 1).



Question 31 : Le modèle multiphysique DR6 étant utilisé pour une séquence pédagogique, en complétant le DR7, proposer une expérimentation permettant de valider le modèle.

Voir DR7

DT1 – 1/2 : Description SysML de la Toiture

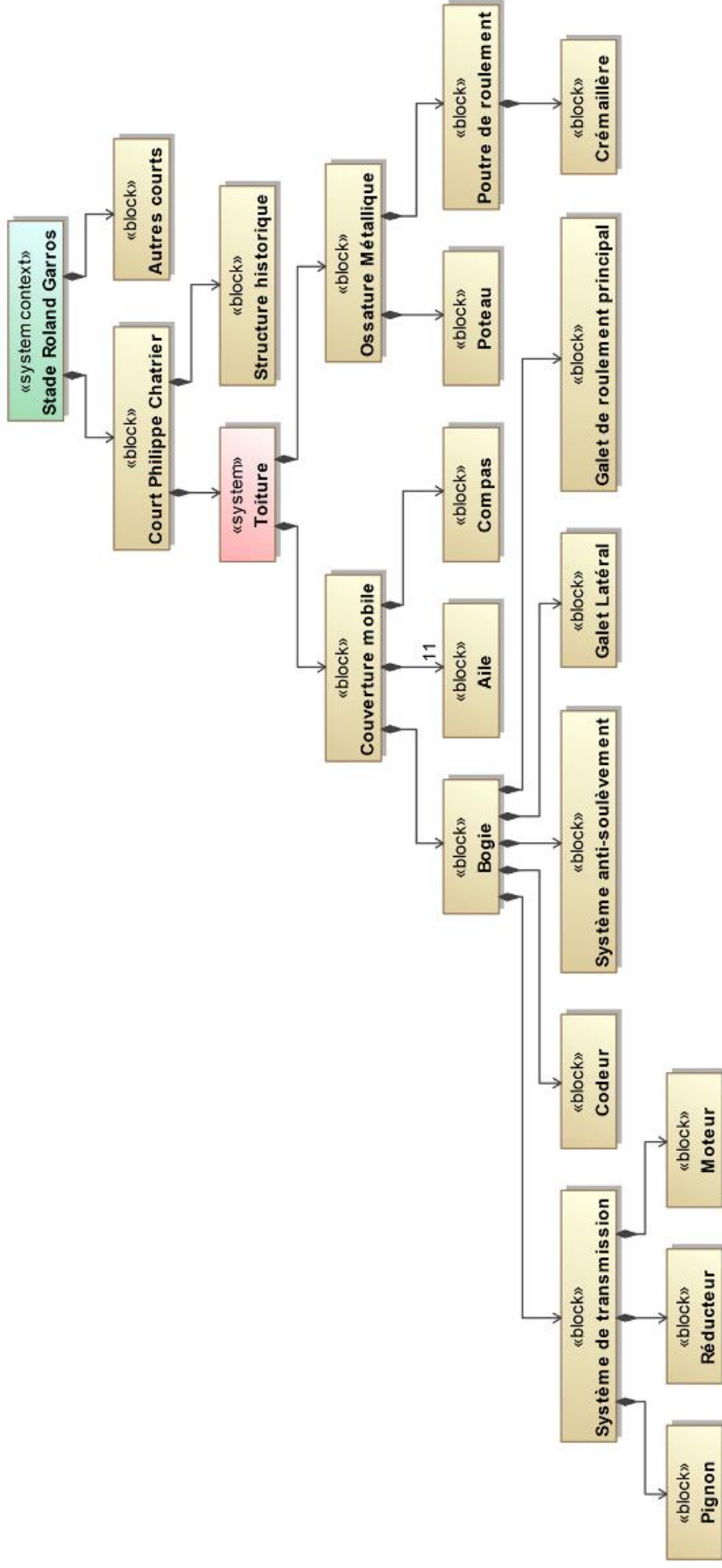
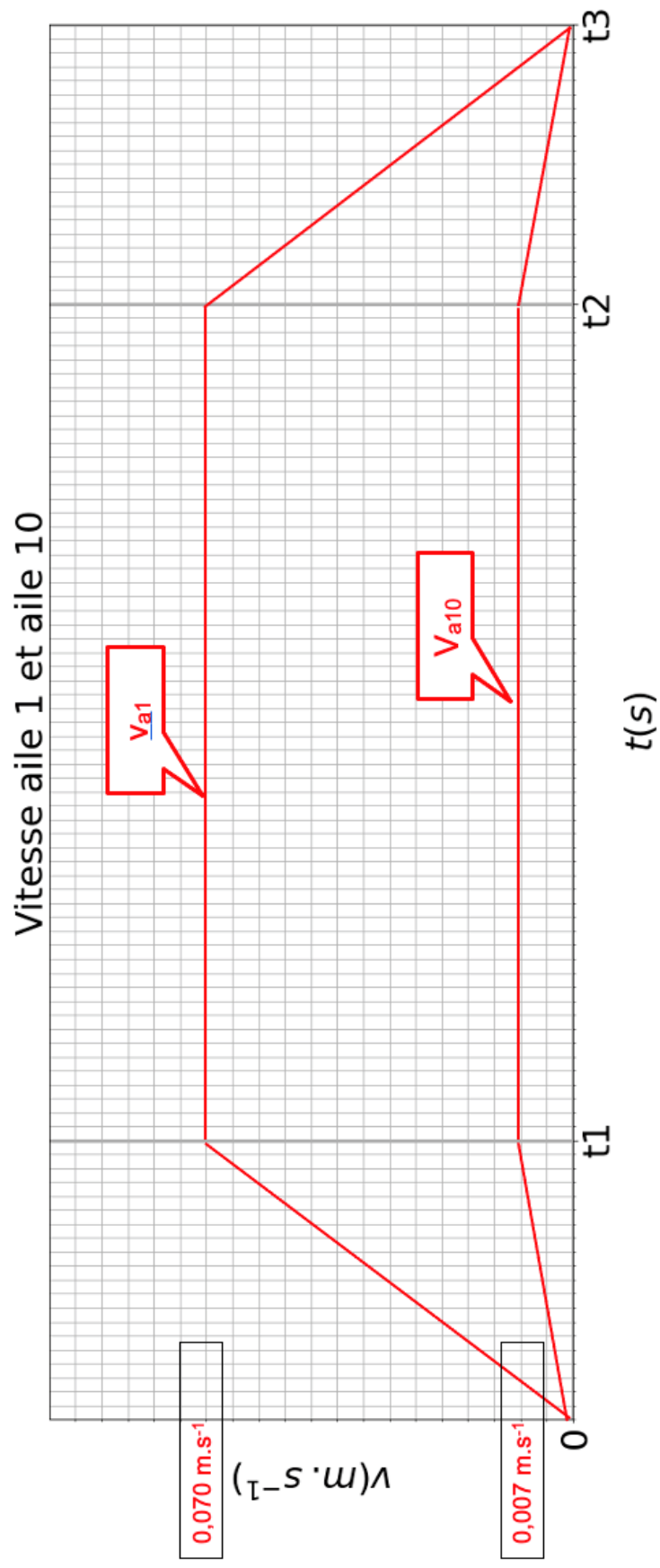


Figure DT1 1/2 : Diagramme de définition des blocs de la toiture

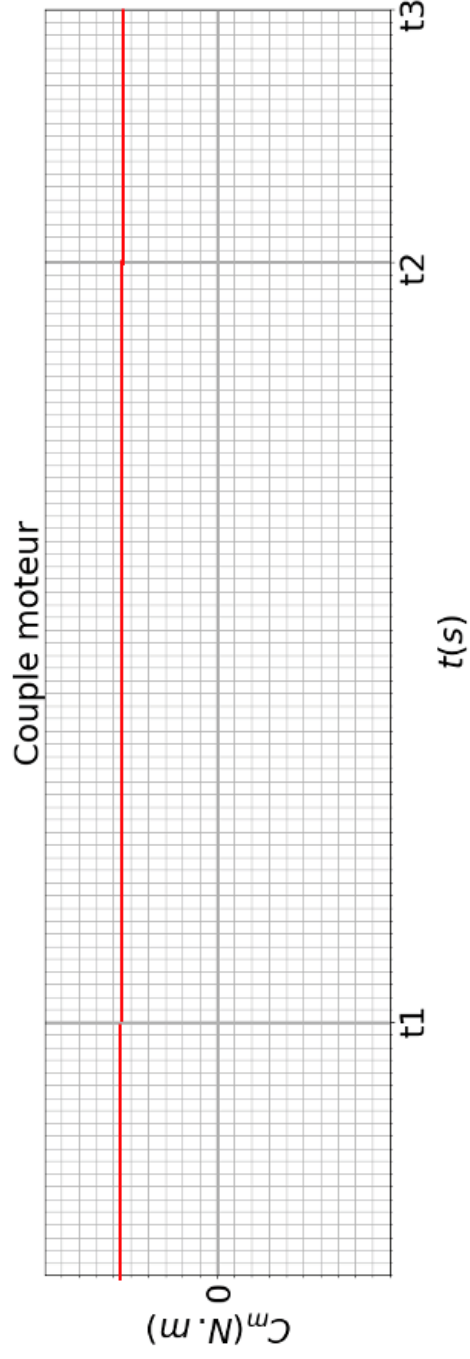
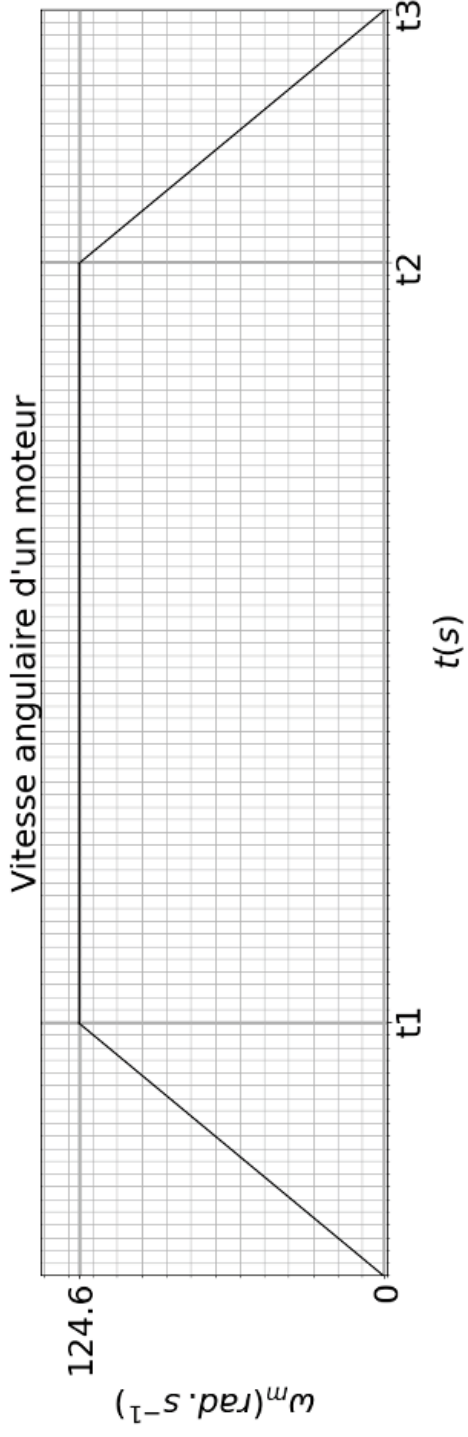
DR1 – Vitesses de l'aille 1 et aile 10 en fonction du temps



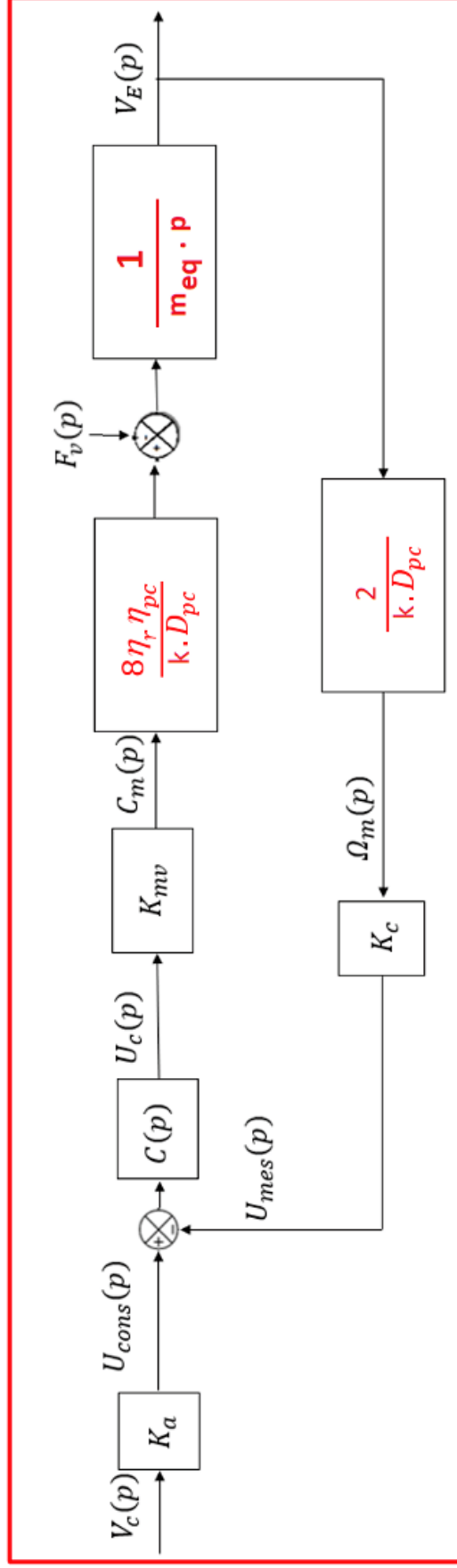
DR2 – Evaluation des compétences – Exemples de réponses possibles

Compétences	Indicateurs d'évaluation	Modalités d'évaluation au sein de la séquence	Niveaux d'appréciation		
			Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
CO1.2 : justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design	La solution choisie est justifiée du point de vue des notions de confort, d'efficacité et de sécurité dans les relations Homme - produit, Homme – système.	Lors de l'étude de dossier, au fil de l'eau : l'élève complète le diagramme d'exigences en associant une solution technique à une contrainte d'ergonomie et de design.	L'élève associe correctement quelques contraintes simples avec la solution technique correspondante.		L'élève associe correctement toutes les fonctions avec la solution technique correspondante et argumente à partir des différentes contraintes.
CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques	La solution technique pour chaque fonction est identifiée.	Lors de l'étude de dossier, au fil de l'eau : l'élève complète le diagramme d'exigences en associant une solution technique à une fonction. ET Lors d'une évaluation sommative à partir d'un cahier des charges similaire.	L'élève associe correctement quelques fonctions simples avec la solution technique correspondante.		L'élève associe correctement toutes les fonctions avec la solution technique correspondante et sait expliquer pourquoi.
CO5.5 : Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue	La démarche de créativité mise en œuvre pour rechercher des solutions est présentée. Le choix de la solution (logiciels, matériaux, constituants) retenue est argumenté au regard des performances attendues.	Lors de l'étude de dossier l'élève sous la forme d'une carte mentale propose des solutions pour répondre au cahier des charges. Il s'appuie sur une méthode rationnelle.	L'élève propose des solutions sans lien avec le problème technique.	L'élève propose quelques idées pertinentes de manière aléatoire sans les argumenter.	L'élève fait preuve de méthodologie pour trouver des solutions pertinentes au regard du cahier des charges. L'élève argumente de manière pertinente les solutions qu'il propose.
CO6.1 : expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit	Le modèle multiphysique est expliqué de manière globale. Les différents éléments du modèle multiphysique sont explicités.	Lors de l'activité « partie 2 : mobilité » : l'élève structure le modèle à partir de blocs donnés, il renomme et paramètre les blocs par rapport à l'élément qu'il représente et lance la simulation. ET Lors d'une évaluation sommative à partir d'un modèle légèrement différent pour lequel il faut identifier des éléments en lien avec le système.	L'élève utilise le modèle et obtient des résultats mais les interprète mal. L'élève confond les différents éléments.	L'élève utilise le modèle et interprète correctement les résultats obtenus sans faire le lien avec le réel. L'élève identifie quelques éléments du modèle mais il reste des confusions.	L'élève explique clairement ce que représente le modèle, les paramètres externes et interprète correctement les résultats attendus. L'élève identifie tous les éléments du modèle et sait expliquer leur rôle.
CO7.1 : Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial	Les moyens mobilisés pour la réalisation du prototype sont adaptés. Le prototype réalisé permet de valider les performances attendues.	Lors de l'activité pratique, au fil de l'eau : soit dans la « partie 1 : structure » si le prototype est prévu après la recherche de solutions, soit dans la « partie 2 : mobilité ».	L'élève a su rassembler une partie des éléments nécessaires à la réalisation du prototype. L'élève a réalisé un prototype fonctionnel mais ne fait pas le lien avec les attendus du cahier des charges.	L'élève a réalisé une partie du prototype attendu.	L'élève a rassemblé de manière autonome l'ensemble des éléments nécessaire à la réalisation du prototype. L'élève a réalisé le prototype complet et valide les performances du cahier des charges.

DR3 – Vitesse de rotation d'un moteur - Couple moteur

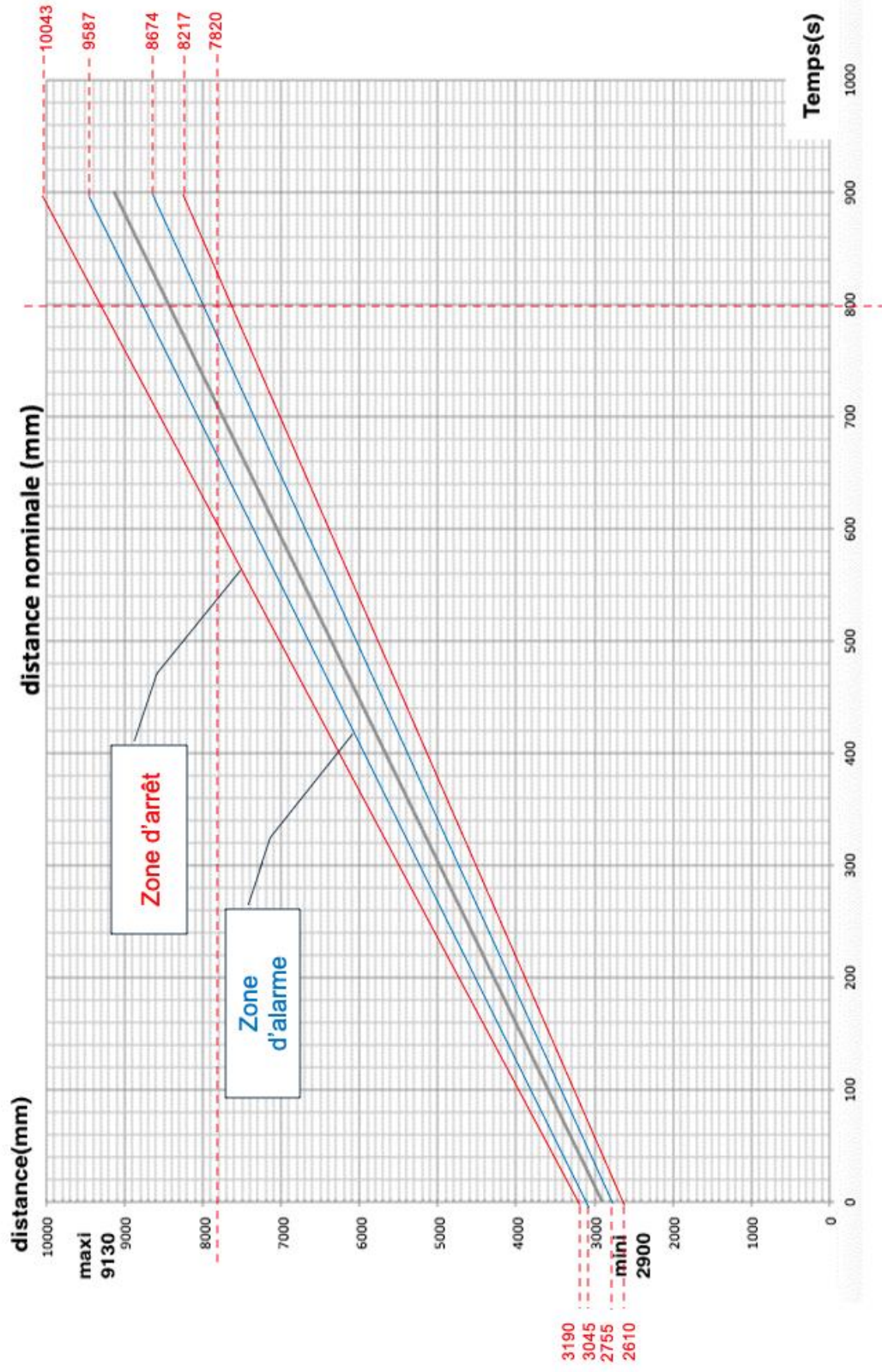


DR4 – Schéma-bloc de la commande d'un moteur

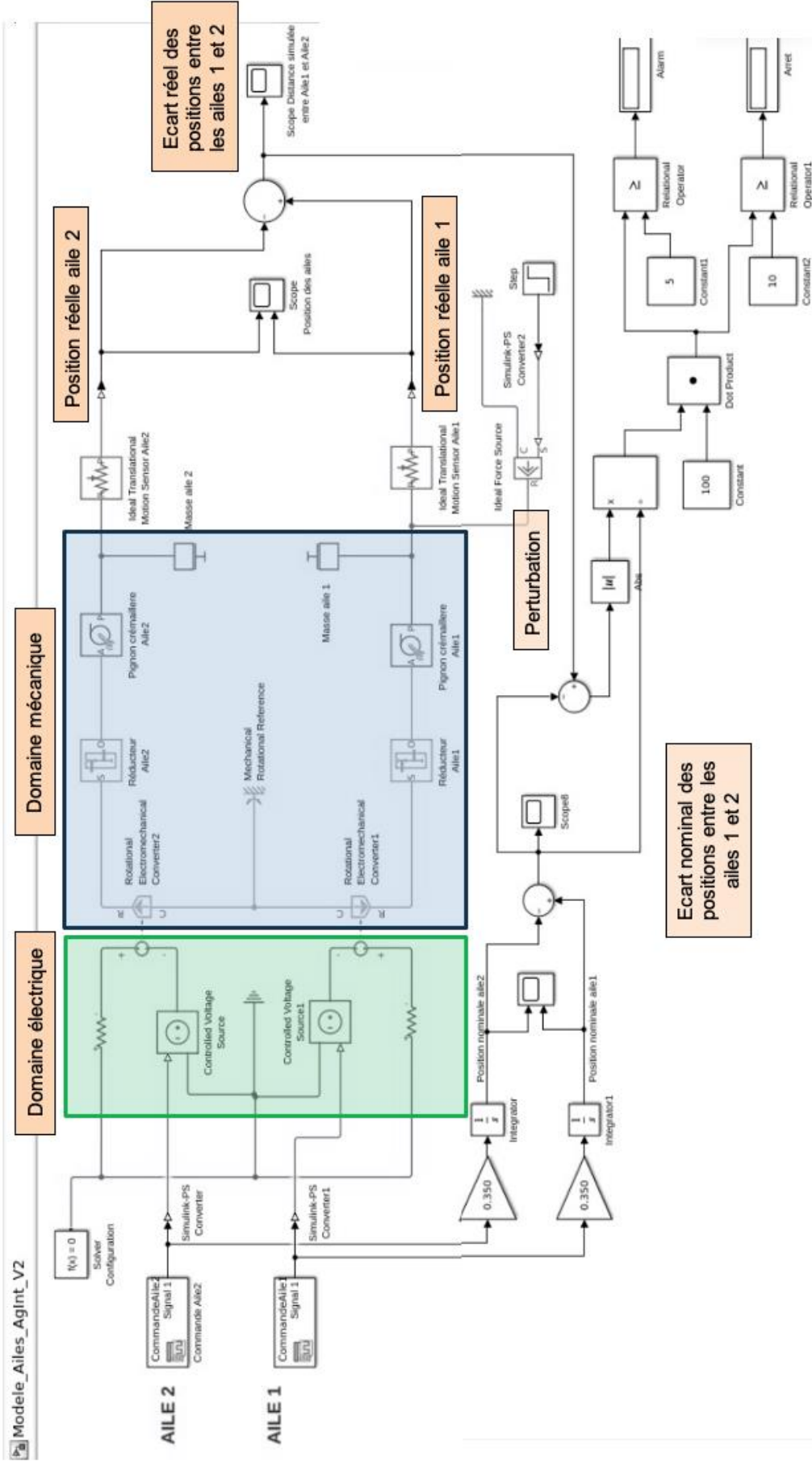


DR5 – Gestion et contrôle de la distance entre les ailes

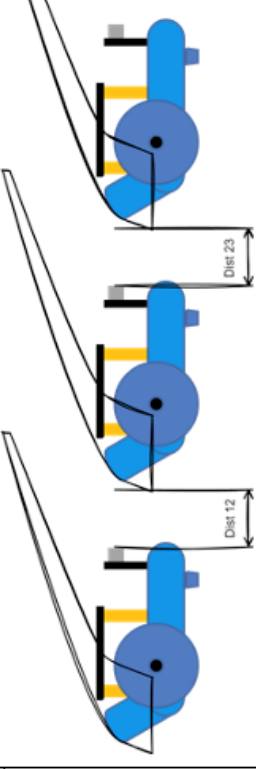
Les phases d'accélération et de décélération sont négligées.



DR6 – Modèle multiphysique d'un bogie



DR7 – Définition du protocole d'essais

<p>Identification du protocole <i>Gestion de la distance entre 2 ailes</i></p>	<p>Schéma du dispositif expérimental</p> 	<p>Protocole expérimental</p> <p>1. Étape 1 <i>Implémenter les 3 programmes dans chaque robots (vitesses de déplacement différentes, temps de déplacement identique, mesure des distances, ...) contenant l'algorithme de l'alerte</i></p> <p>2. Étape 2 <i>Lancer l'expérimentation sans perturbation, exporter les distances mesurées en fonction du temps</i></p> <p>3. Étape 3 <i>Lancer l'expérimentation avec une perturbation sur le robot central, vérifier le bon déclenchement de l'alerte, exporter les distances mesurées en fonction du temps</i></p>
<p>Problématique, Question scientifique <i>Comment déclencher une alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance réelle mesurée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites ?</i></p>		<p>Hypothèse <i>Le modèle ou algorithme proposé permettra de comparer la distance réelle et la distance nominale afin de déclencher l'alerte.</i></p>
<p>Paramètres contrôlés <i>Vitesse de l'aile 1</i> <i>Vitesse de l'aile 3</i></p>	<p>Paramètres observés <i>Distance entre aile 1 et aile 2</i> <i>Distance entre aile 2 et aile 3</i></p>	<p>Matériels <i>3 robots programmables</i></p>
<p>Traitement des résultats <i>L'analyse des résultats et l'observation de l'expérimentation ont mis en évidence le bon déclenchement de l'alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance réelle mesurée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites</i></p>		

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude de la réalisation d'une toiture mobile sur le court Philippe Chatrier du site de Roland-Garros. La FFT, son commanditaire, avait établi un cahier des charges particulièrement exigeant, à commencer par la conservation de l'ambiance d'un court plein air tout en permettant la mise à l'abri en cas d'intempéries. Dans un premier temps, le sujet amène le candidat à analyser les déplacements des ailes qui doivent se faire simultanément afin d'obtenir un effet de dilatation en un temps de déploiement maximal imposé. Dans un deuxième temps, le candidat détermine les différentes charges qui s'appliquent sur un bogie en vue du choix de la motorisation réalisé au travers d'une étude énergétique. Enfin, la commande des moteurs est définie afin d'obtenir le mouvement de déploiement souhaité. Tout au long du questionnement scientifique, trois questions d'ordre pédagogique sont posées (questions 5, 12 et 31) afin d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié.

Les poids relatifs des aspects scientifiques et pédagogiques du sujet correspondent au prorata du temps conseillé pour composer sur chacune d'elles, à savoir :

- Questions scientifiques 80 %
- Questions pédagogiques 20 %

COMMENTAIRE GENERAL DES RESULTATS DE L'EPREUVE

Les questions pédagogiques sont intégrées aux parties scientifiques pour permettre un meilleur traitement de celles-ci. Il en résulte donc une évaluation plus large des compétences des candidats. Ils peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité.

Dans toutes les parties scientifiques du sujet, des connaissances de base sont évaluées, bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas :

- Étude d'un trapèze de vitesse en cinématique
- Calcul d'un produit vectoriel
- Expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et rotation
- Justification et expression des puissances extérieures et intérieures
- Justification d'un résultat

Un trop grand nombre de candidats donnent des résultats numériques sans préciser les unités, c'est pourtant essentiel.

Sur les parties pédagogiques, de nombreux candidats ne répondent pas à la consigne donnée que ce soit sur le fond ou sur la forme de leur réponse.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques générales :

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Même si la partie 3 est moins traitée que les deux premières, la plupart des candidats ont balayé l'ensemble du sujet.

PARTIE 1 : Déploiement de la couverture

Cette première partie est largement traitée par les candidats. Les premières questions permettaient d'entrer dans le sujet progressivement, en analysant le mouvement de déploiement des ailes avec une approche cinématique. Une majorité des candidats ne parvient pas à travailler à partir d'une loi en trapèze de vitesse. Les arguments donnés à la question 4 ne font souvent que survoler l'idée globale d'une motorisation différente en fonction du numéro de l'aile, sans réelle argumentation pour ce choix.

Question pédagogique :

Cette question a été très mal traitée. Pour cause, les candidats ne sont pas attentifs à la consigne donnée tant sur le fond - une fiche méthodologique n'est pas un questionnaire à trous - que sur la forme « A4 » demandée. De plus, la fin de la question qui est de pouvoir « identifier le type de mouvement » est souvent oubliée.

PARTIE 2 : Détermination des charges appliquées sur un bogie

Dans le début de cette seconde partie, le candidat est guidé afin de déterminer les efforts dus à la neige sur le bogie. Dans l'ensemble, ces trois questions sont bien traitées. Cependant, beaucoup de candidats omettent qu'une aile est soutenue par 2 bogies et qu'il faut donc retenir sa demi-longueur pour déterminer les charges de neige sur un seul bogie.

Les questions 9 et 10 nécessitent l'expression des torseurs en un nouveau point en recalculant les moments. De nombreux candidats commettent des erreurs de signes, généralement dues à une mauvaise formule des champs de moment ou à des erreurs lors des calculs des produits vectoriels. La question 11 a été plutôt mal traitée pour la grande majorité des candidats qui ne comprennent pas le principe des combinaisons d'actions.

Question pédagogique :

A partir de la description d'une séquence pédagogique proposée en terminale STI2D, les candidats devaient compléter un tableau composé de trois zones distinctes :

- des indicateurs d'évaluation : cette première partie du tableau est assez bien traitée dans l'ensemble.
- des modalités d'évaluation utilisées : trop de candidats se contentent des mots « formatives » et « sommatives » mais cela ne suffit pas à décrire correctement les modalités d'évaluation.
- des descripteurs pour identifier le niveau d'acquisition atteint : les candidats se contentent parfois de cocher un niveau par indicateur, alors que chaque indicateur doit être évalué selon au moins deux niveaux d'acquisition en fonction des attendus décrits.

PARTIE 3 : Choix du motoréducteur et logique de commande

Cette dernière partie se découpe en 3 grandes sous-parties.

Dans un premier temps, le candidat est guidé au travers d'une étude énergétique pour déterminer le couple moteur nécessaire au déplacement de l'aile 1. La question 14 permet de déterminer la masse équivalente en translation en exprimant l'énergie cinétique de l'ensemble en mouvement en fonction de la vitesse d'avance de l'aile 1. Bien que la description de l'ensemble isolé soit clairement explicitée, beaucoup de candidats ne prennent pas en compte les 6 galets principaux et les 4 moteurs. Une petite majorité des candidats omettent que les

galets et les rotors moteurs sont à la fois en translation et en rotation pour le calcul des énergies cinétiques. L'expression des puissances à la question 15 n'a pas été bien traitée car une justification pour chaque puissance nulle était attendue. De plus, beaucoup de candidats comptent la puissance des moteurs comme une puissance extérieure au système isolé et oublient de multiplier par 4 (car 4 moteurs pour une aile). Par conséquent, la question 16 avec l'application du théorème de l'énergie cinétique n'a pas été correctement traitée dans l'ensemble. L'expression du couple moteur étant fournie, beaucoup de candidats ont pu traiter la question 17. Malheureusement, les applications numériques ne sont pas souvent justes. L'allure du tracé du couple moteur, pour un mouvement de trapèze, est rarement exacte.

Dans un deuxième temps, une étude sur l'asservissement d'un moteur va permettre la gestion du problème de mise en crabe d'une aile. La question 18 est bien traitée pour une majorité des candidats. En revanche, les candidats ne réussissent pas souvent les questions 19 et 20. En effet, très peu de réponses prennent en compte le bit de parité lors de la conversion en mm. Le calcul de *Angle_Crab* est souvent non traité. La question 21 proposait de compléter le schéma bloc de l'asservissement du moteur. Peu de candidats répondent correctement à cette question nécessitant l'utilisation du domaine de Laplace. Les questions 22 à 26 guidaient les candidats jusqu'à une proposition de mise en place d'une solution de synchronisation pour le déplacement des deux côtés d'une aile. Des résultats graphiques issus d'un modèle Scilab permettaient de vérifier les exigences de précision, de mise en crabe et de conclure sur le fait qu'un correcteur proportionnel intégral n'était pas suffisant. Beaucoup de candidats oublient d'exprimer l'erreur statique en pourcentage afin de donner l'erreur statique relative comme stipulé dans la question 22. La justification du choix du correcteur (question 24) n'est pas toujours convaincante, notamment vis-à-vis du dépassement et du risque de mise en crabe. Une justification chiffrée était attendue mais rarement retrouvée dans les copies. Enfin, question 26, l'explication de la synchronisation est succincte, peu de candidats ont les points maximum sur cette question.

Enfin, cette dernière étude concerne la gestion et le contrôle de la distance entre deux ailes successives et a été peu traitée par les candidats. Le tracé des cônes (question 27) délimitant les zones d'alarme et d'arrêt n'est souvent pas justifié par des résultats numériques. L'identification des domaines sur le modèle multiphysique est plutôt bien réussie, en revanche, l'identification des variables d'effort et de flux fréquemment oubliée. La question 29 n'a pas été bien cernée par la quasi-totalité des candidats. Enfin, la question 30, où il s'agissait de compléter le modèle Matlab, est très peu souvent traitée et n'est pas réussie.

Question pédagogique :

Cette dernière question pédagogique demandait au candidat de proposer une expérimentation afin de valider le modèle multiphysique étudié précédemment. Très peu de candidats traitent cette question. Le tableau fourni n'est quasiment jamais complété. Un schéma et un protocole peu précis sont les quelques réponses obtenues pour cette dernière question. Pour proposer une expérimentation réaliste, il est nécessaire d'écrire un protocole clair avec la liste du matériel et les hypothèses émises.

Recommandations aux candidats qui se présenteront aux futures épreuves :

Pour réussir une telle épreuve, il est vivement conseillé aux candidats de lire le sujet dans sa totalité afin de comprendre les problématiques des différentes parties et leurs liens. En effet,

une lecture attentive du sujet apporte de précieuses informations et permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat. Quelques candidats ont pu ainsi augmenter significativement leurs notes en traitant des questions relativement simples de fin de sujet. Les résultats intermédiaires donnés dans l'énoncé permettent aux candidats de poursuivre le questionnement et de valider leur résultat.

Il convient que les futurs candidats pensent à justifier leurs hypothèses et leurs méthodes de résolution, et à ne pas se contenter de dérouler un calcul. On évitera donc de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement. Inversement, il faut utiliser des justifications chiffrées lorsque cela est nécessaire. Trop de candidats donnent des résultats numériques sans préciser les unités. On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication.

Pour les réponses aux questions pédagogiques, il est vivement conseillé aux candidats d'être attentifs à la forme de la réponse attendue et au vocabulaire utilisé dans la question. Une fiche méthode au format A4 ne peut en aucun cas être remplacée par un questionnaire de plusieurs pages.

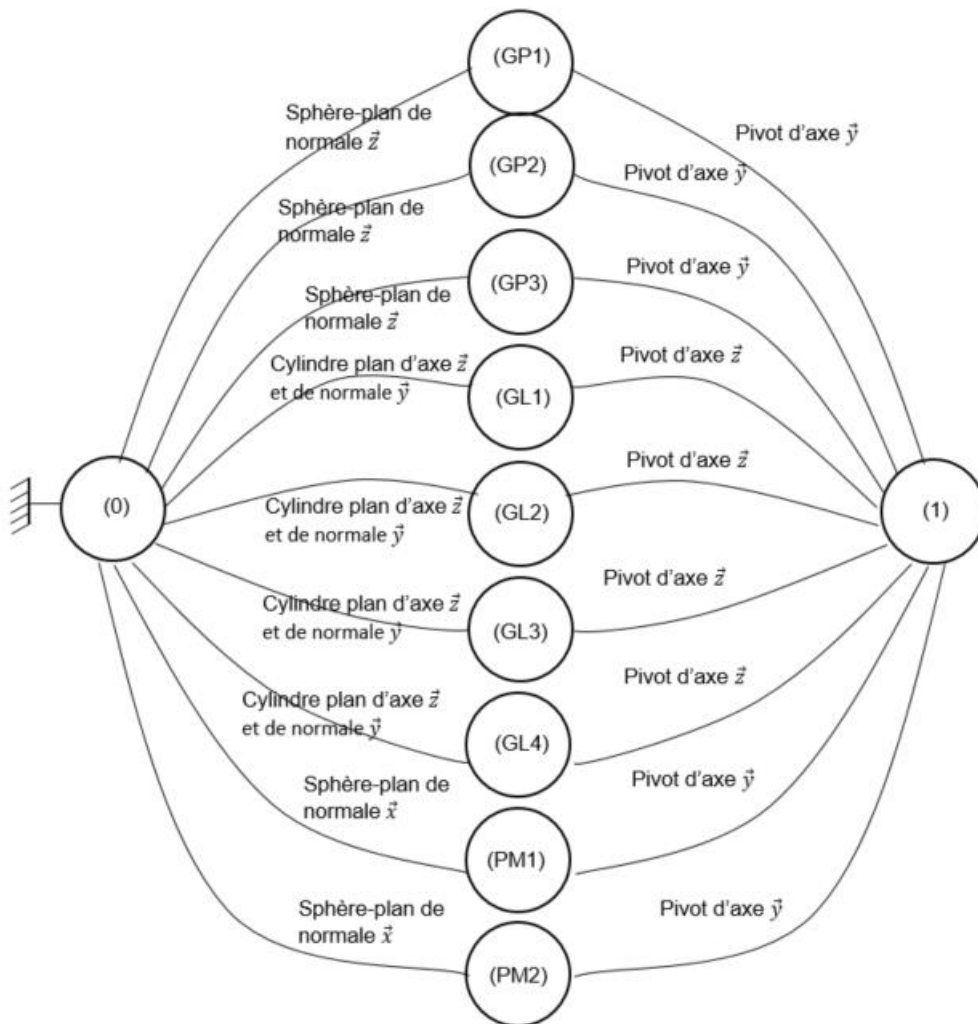
Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation
 Éléments de correction

Coefficient 1 – Durée 4 heures
 Le sujet comporte 5 parties

1^{re} PARTIE : Analyse de la liaison du bogie par rapport aux voies de roulement.

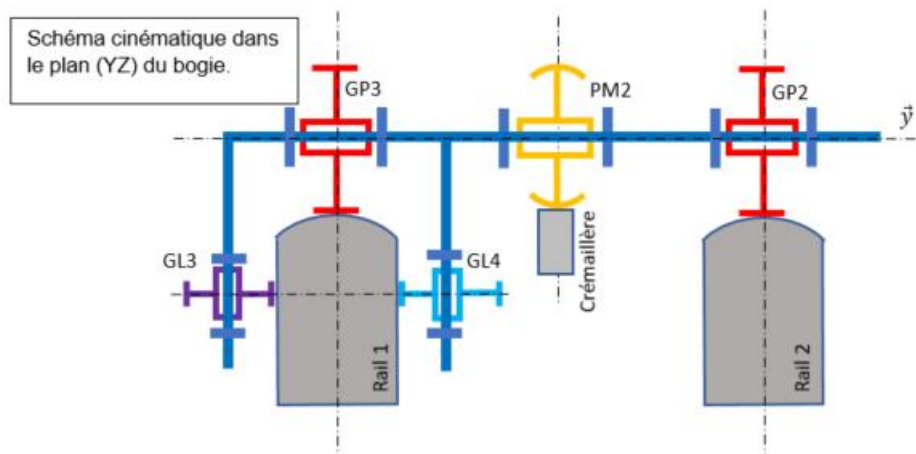
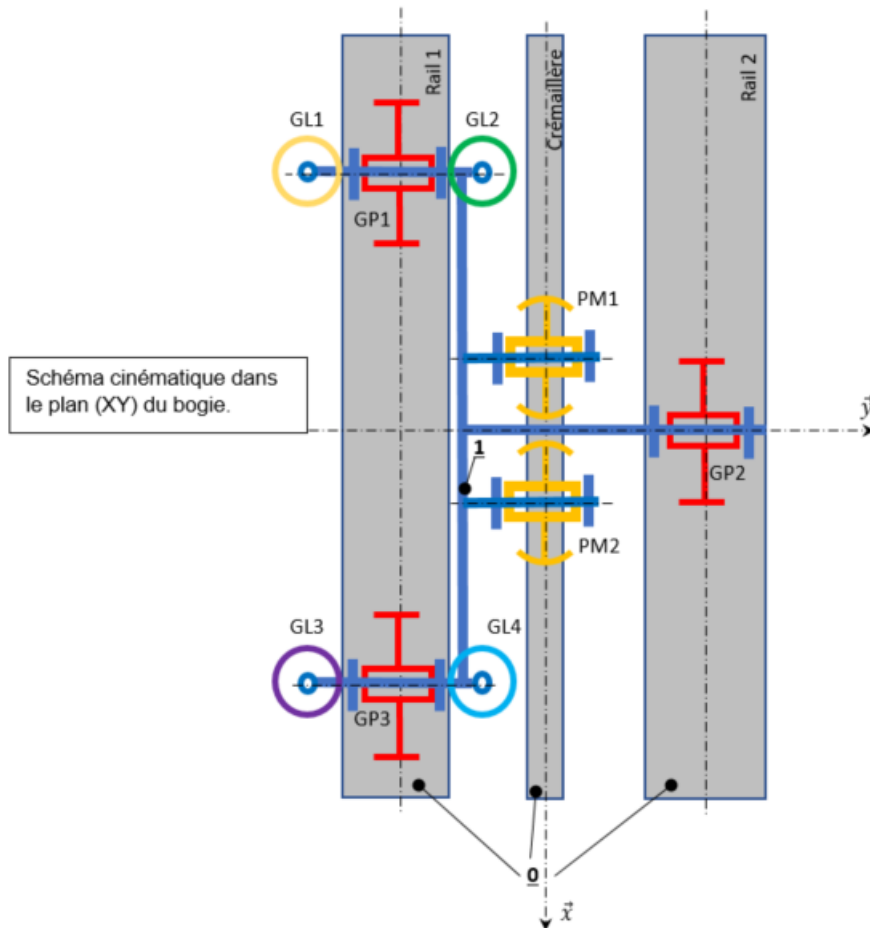
QUESTION 1.1

Établir le graphe de liaisons limité aux solides (0), (1), aux galets principaux, aux galets latéraux de guidage et aux pignons moteurs. **Préciser** les éléments caractéristiques du type axe, normale, ..., des liaisons.



QUESTION 1.2

Dans le plan (XY) et le plan (YZ), **établir** les schémas cinématiques 2D, limités aux solides (0), (1), aux galets principaux, aux galets latéraux de guidage et aux pignons moteurs.



QUESTION 1.3

Sans prendre en compte les liaisons (0) / PMi, **montrer** que la liaison équivalente entre le bogie et la voie de roulement est une liaison glissière de direction \vec{x} .

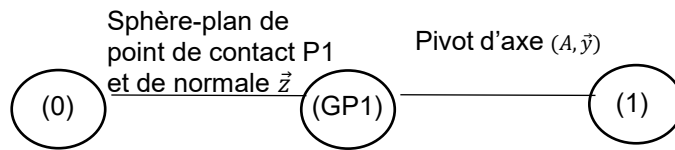
Tous les torseurs seront exprimés dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

Pour déterminer la liaison équivalente entre (0) et (1) sans prendre en compte les liaisons (0) / PMi, on cherchera les liaisons équivalentes de chaque groupe de liaison (GP1, GL1, GL2) ; (GP3, GL3, GL4) ; GP2.

On cherchera ensuite la liaison équivalente à la mise en parallèle de ces 3 liaisons équivalentes entre (0) et (1).

Pour le groupe (GP1, GL1, GL2)

La liaison série concernant (GP1) :



$$\{v_{GP1/0}\} = \begin{Bmatrix} \omega_x & v_x \\ \omega_y & v_y \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(P1)}$$

$$\{v_{1/GP1}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ \omega_y & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(A)}$$

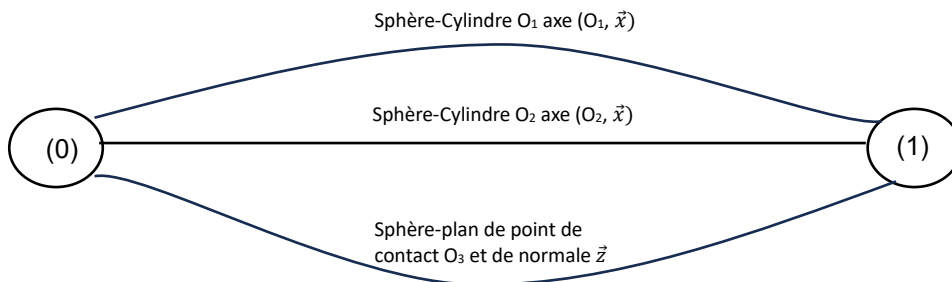
Soit $\{L_{eq}\} = \begin{Bmatrix} \omega_x & v_x \\ \omega_y & v_y \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(P1)}$ Liaison sphère-plan

Soit O_1 le point appartenant aux 3 domaines de validité des torseurs des actions mécaniques du groupe (GP1, GL1, GL2). Ces 3 liaisons sont en parallèles, nous pouvons sommer les torseurs des actions mécaniques :

$$\{T_{eq(0\setminus 1)}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(O1)}$$
 Liaison sphère cylindre

On applique le même raisonnement pour le groupe (GP2, GL3, GL4) en O_2

Le graphe de liaison se réduit à :



En déplaçant le point d'application des torseurs d'action mécanique en O_1 avec $\vec{O_1O_2} = -h' \cdot \vec{x}$ et $\vec{O_1O_3} = -dx \cdot \vec{x} + h \cdot \vec{y}$

On obtient (au signe près) : $\{T_{0 \rightarrow 1}^{O_2}\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_{O_2} & 0 \\ Z_{O_2} & 0 \end{pmatrix}_{(O_2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_{O_2} & h'Z_{O_2} \\ Z_{O_2} & -h'Y_{O_2} \end{pmatrix}_{(O_1)}$

$$\{T_{0 \rightarrow 1}^{O_3}\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{O_3} & 0 \end{pmatrix}_{(O_3)} = \begin{pmatrix} 0 & h \cdot Z_{O_3} \\ 0 & dx \cdot Z_{O_2} \\ Z_{O_3} & 0 \end{pmatrix}_{(O_1)}$$

L'addition de ces 3 torseurs d'action mécanique est de la forme :

$$\{T_{0 \rightarrow 1}^{Eq}\} = \begin{pmatrix} 0 & L \\ Y & M \\ Z & N \end{pmatrix}_{(O_1)}$$

C'est donc bien une liaison glissière de direction \vec{x} .

QUESTION 1.4

En tenant compte de l'ensemble des liaisons, **déterminer** le degré d'hyperstatisme de la liaison entre le solide « châssis bogie - moteurs » (1) et le solide « rails - crémaillère » (0). **Commenter** le résultat calculé.

Le système possède 1 mobilité utile (la glissière) et 7 mobilités internes (les galets)

$$m = m_u + m_i = 8$$

$$l_s = 9 \times 5 + 5 \times 1 + 4 \times 2 = 58$$

$$h = l_s - 6 \times (p-1) + m \text{ avec } p = 11$$

Le système est hyperstatique de degré 6. Etant donné les longueurs des ailes, et la rigidité souhaitée des liaisons aux rails, il est logique de se retrouver avec une solution de conception hyperstatique.

En considérant les liaisons linéaires rectilignes comme des liaisons sphères plans, nous pouvons baisser le degré d'hyperstatisme. Compte tenu de la redondance du système d'entraînement, il n'est pas possible de rendre le système isostatique.

QUESTION 1.5

Déterminer les expressions littérales des réactions R_1 , R_2 et R_3 sur le solide (2). **Effectuer** une application numérique.

On isole le solide 2.

Bilan des actions :

$\{T_{(A1 \rightarrow 2)}\} = \begin{pmatrix} F_x & 0 \\ F_y & M_y \\ F_z & 0 \end{pmatrix}_{A,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$ $= \begin{pmatrix} F_x & b \cdot F_z - c \cdot F_y \\ F_y & M_y - b' \cdot F_z + c \cdot F_x \\ F_z & b' \cdot F_y - b \cdot F_x \end{pmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$	$\overline{BA} = b' \cdot \vec{X} + b \cdot \vec{Y} + c \cdot \vec{Z}$
$\{T_{(PP \rightarrow 2)}\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -PP & 0 \end{pmatrix}_{CdG,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})} = \begin{pmatrix} 0 & +dy \cdot PP \\ 0 & -dx \cdot PP \\ -PP & 0 \end{pmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$	$\overline{BCdG} = dx \cdot \vec{X} + dy \cdot \vec{Y} + \underbrace{dz \cdot \vec{Z}}_{\text{inutile}}$

$\{T_{(C \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ R_3 & 0 \end{Bmatrix}_{C,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -h' \cdot R_3 \\ R_3 & 0 \end{Bmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$	$\vec{BC} = h' \cdot \vec{X}$
$\{T_{(D \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ R_2 & 0 \end{Bmatrix}_{D,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})} = \begin{Bmatrix} 0 & h \cdot R_2 \\ 0 & -\frac{h'}{2} \cdot R_2 \\ R_2 & 0 \end{Bmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$	$\vec{BD} = \frac{h'}{2} \cdot \vec{X} + h \cdot \vec{Y}$
$\{T_{(B \rightarrow 2)}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ R_1 & 0 \end{Bmatrix}_{B,(\vec{X},\vec{Y},\vec{Z})}$	

Les actions des galets latéraux et des pignons moteurs n'ont pas de composantes en résultante selon \vec{Z} et leur moment autour des axes (B, \vec{X}) et (B, \vec{Y}) sont nuls.

$$R_2 = \frac{-PP \cdot dy - Fz \cdot b + Fy \cdot c}{h}$$

$$R_2 = \frac{94,667 \cdot 0,358 + 2894 \cdot 0,3 - 230 \cdot 1,22}{1,15} = 540 \text{ kN}$$

$$R_3 = \frac{My - b' \cdot Fz + c \cdot Fx - dx \cdot PP - R_2 \cdot \frac{h'}{2}}{h'}$$

$$R_3 = \frac{-3550 + 2894 \cdot 2,575 - 193 \cdot 1,22 + 94,667 \cdot 1,85 - 540 \cdot 1,85}{3,7} = 768 \text{ kN}$$

$$R_1 = PP + Fz - R_2 - R_3$$

$$R_1 = 94,667 + 2894 - 540 - 768 = 1680 \text{ kN}$$

QUESTION 1.6

Définir les conditions que doivent satisfaire ces réactions pour assurer la stabilité du bogie ?

Les réactions R1, R2, R3 doivent être positives.

2° PARTIE : Choix matériau rail, galets principaux et axe (pivot) des galets latéraux

QUESTION 2.1

La fiche technique de l'acier 17-4PH (cf. DT3) indique, dans les propriétés et domaines d'application, que c'est un « Acier martensitique à durcissement structural par le cuivre », **expliquez** les termes « martensitique » et « durcissement structural par le cuivre ».

Martensite : phase métastable, solution solide d'insertion sursaturée en carbone dans le fer α . Matrice sous forme de lattes ou d'aiguilles, résultant, suite au traitement thermique de trempe, de la transformation, sans diffusion de carbone, de l'austénite γ . La dureté obtenue est complètement dépendante du pourcentage de carbone de l'alliage.

Dans le cas de l'acier 17-4 PH, le taux de carbone étant très faible, peu de saturation en carbone de la structure martensitique qui reste donc très proche de celle du fer α .

Durcissement structural par le cuivre : suite à une trempe, un traitement thermique dit de « durcissement structural » permet la libération contrôlée de composés durcissants constitués à partir d'éléments d'addition spécifiques, le cuivre dans le cas de l'acier 17-4 PH. Cette précipitation permet la formation d'agrégats fins intermétalliques qui renforcent de façon significative la résistance du matériau.

QUESTION 2.2

En se référant à l'extrait de la norme NF EN 13001-3-3 présenté dans le DT4 3/3, **déterminer** le cas de charge applicable, **justifier** la réponse.

Cas de charge applicable : n° 3

Justifications :

Galet plat et rail convexe

Vérification des conditions d'application du cas n° 3 :

$$r_k = 800 \text{ mm}$$

$$\min (b_r ; b_w) = 150 - 2 \times 10 = 130$$

$$5 \times \min (b_r ; b_w) = 650 \text{ et } 200 \times \min (b_r ; b_w) = 26\ 000$$

donc $r_k > 5 \times \min (b_r ; b_w)$ et $r_k < 200 \times \min (b_r ; b_w)$, le cas n°3 s'applique donc.

QUESTION 2.3

Préciser sur feuille de copie les valeurs des données non-remplées du tableau ci-dessous et nécessaires au calcul de $F_{Rd,s}$.

$$b = \min (b_r ; b_w) = 150 - 2 \times 10 = 130 \text{ mm}$$

$$E_m = (2 \cdot E_w \cdot E_r) / (E_w + E_r) = 210\ 000 \text{ MPa}$$

QUESTION 2.4

Déterminer par calcul la valeur de dureté HB minimale des matériaux du rail et du galet principal qui permet de valider l'aptitude du contact galet principal/rail. **Proposer** une nuance d'acier du rail A150 parmi celles disponibles (cf. DT4 2/3).

On a :

$$F_{Rd,s} = \frac{(7 \cdot HB)^2 \cdot (\pi \cdot D_w \cdot b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot f_1 \cdot f_2}{\gamma_m \cdot E_m}$$

Il faut $F_{Sd,s} \leq \text{Min} [F_{Rd,s \text{ galet}} ; F_{Rd,s \text{ rail}}]$, avec $F_{Rd,s \text{ galet}} = F_{Rd,s \text{ rail}}$

$$\text{donc } F_{Sd,s} \leq \frac{(7 \cdot HB)^2 \cdot (\pi \cdot D_w \cdot b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot f_1 \cdot f_2}{\gamma_m \cdot E_m}$$

$$HB \geq \sqrt{\frac{\gamma_m \cdot E_m \cdot F_{Sd,s}}{7^2 \cdot (\pi \cdot D_w \cdot b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot f_1 \cdot f_2}}$$

AN : $HB \geq 207,7$

Il est donc possible de choisir comme nuance d'acier du rail A150 la nuance S900 ou S1100.

QUESTION 2.5 | Suivant la valeur de dureté HB minimale calculée à la question précédente, **proposer** un traitement thermique adéquat de l'acier 17-4PH du galet principal (cf. DT3), **préciser** les caractéristiques mécaniques correspondantes.

Il faut $HB_{\text{galet}} \geq 207,7$

L'analyse du document DT3 montre que tous les traitements thermiques permettent l'obtention d'une dureté supérieure à celle qui est requise. Il est donc choisi celui permettant l'obtention d'un acier le plus résilient (Kv maximal), donc le moins fragile, c'est-à-dire avec la dureté la plus faible proposée. Le traitement choisi a la codification H1150M/A7.

$R_m \geq 795 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} \geq 520 \text{ MPa}$, $A\% \geq 18$, $Z\% \geq 55$, $Kv \geq 75 \text{ J}$, $HRc \geq 24$, $HB \geq 255$

QUESTION 2.6 | En se plaçant en limite de glissement, **calculer** la valeur de F_{ripage} , **calculer** la valeur du moment de ripage M_{ripage} .

$$F_{\text{ripage}} = F_{\text{pivot2}} \times \mu = 276 \times 0,3 = 82,8 \text{ kN}$$

$$M_{\text{ripage}} = F_{\text{ripage}} \times \text{rayon galet latéral} = 82,8 \times 99 = 8197,2 \text{ kNmm}$$

QUESTION 2.7 | **Déterminer** la valeur unitaire de la charge uniformément répartie « q ».

$$q = F_{\text{pivot2}} / L' = 276 / 50 = 5,52 \text{ kN/mm}$$

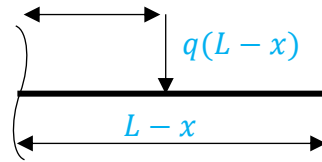
QUESTION 2.8 | Sur le DR1, **déterminer** par calcul les variations de l'effort tranchant T. **Tracer** le diagramme des efforts tranchants T. La convention de signe n'est pas imposée. **Faire apparaître** sur les axes du diagramme les valeurs littérales significatives.

L'effort tranchant est étudié sur 2 tronçons distincts :

- un tronçon sans charge (nommé par exemple BC, de longueur 6mm)
- un tronçon soumis à la charge répartie (nommé par exemple CD), de longueur 50mm).

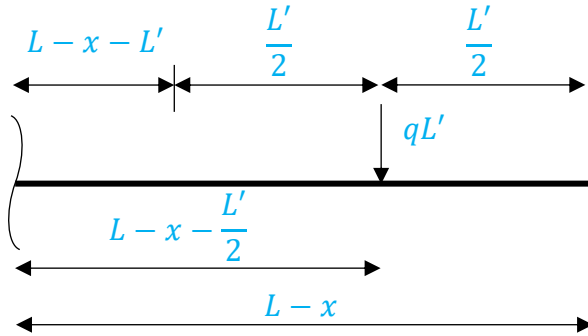
“Coupure” dans le tronçon CD :

$$\frac{(L - x)}{2}$$



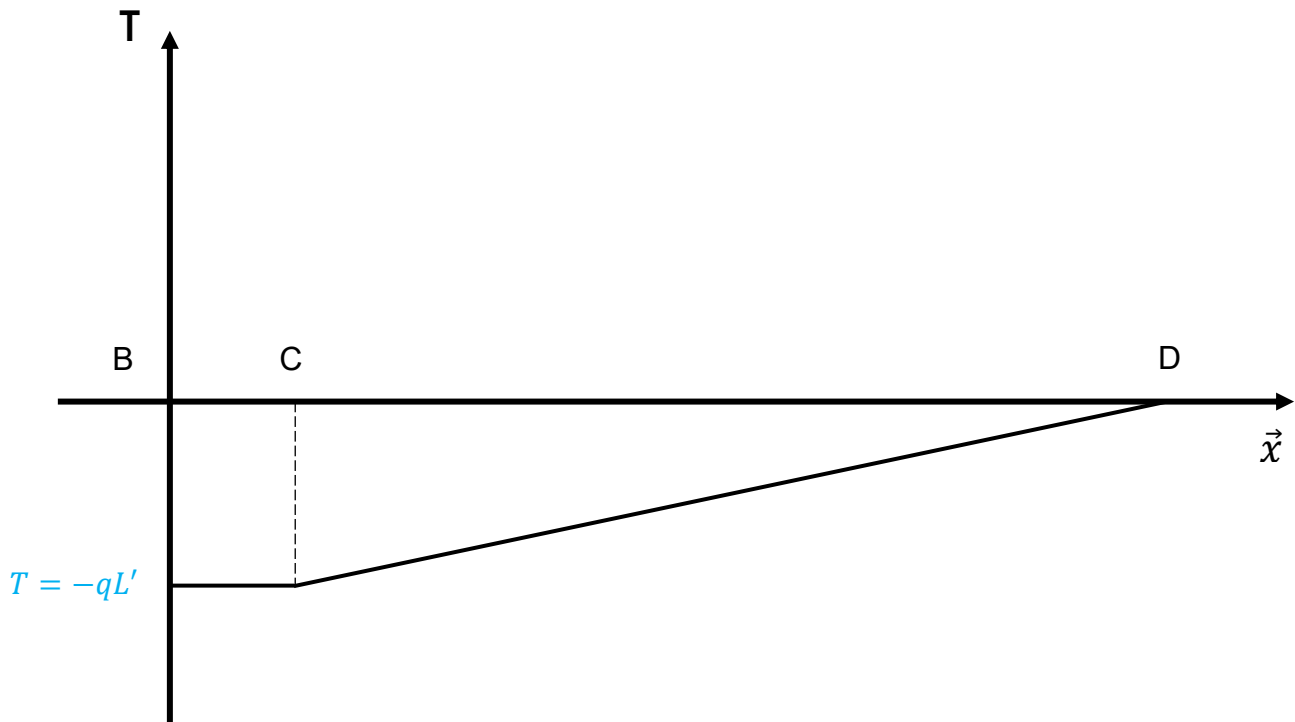
On a $T = -q(L - x)$

“Coupure” dans le tronçon BC :



On a $T = -qL'$

Représentation graphique :



QUESTION 2.9

Sur le DR2, **déterminer** par calcul les variations du moment fléchissant M_f résultant uniquement de l'application de la charge répartie « q ». **Tracer** le diagramme des moments fléchissants M_f . La convention de signe n'est pas imposée.

Faire apparaitre sur les axes du diagramme les valeurs littérales significatives.

Le moment fléchissant est étudié sur les 2 tronçons BC et CD précédemment cités.

Sur le tronçon CD, suivant le schéma correspondant ci-dessus, nous avons :

$$M_f = q(L - x) \frac{(L - x)}{2} = \frac{q(L - x)^2}{2}$$

Quand $x = L$:

$$M_f = 0$$

Quand $x = L - L'$:

$$M_f = q \frac{L'^2}{2}$$

Sur le tronçon BC, suivant le schéma correspondant ci-dessus, nous avons :

$$M_f = qL'(L - x - \frac{L'}{2})$$

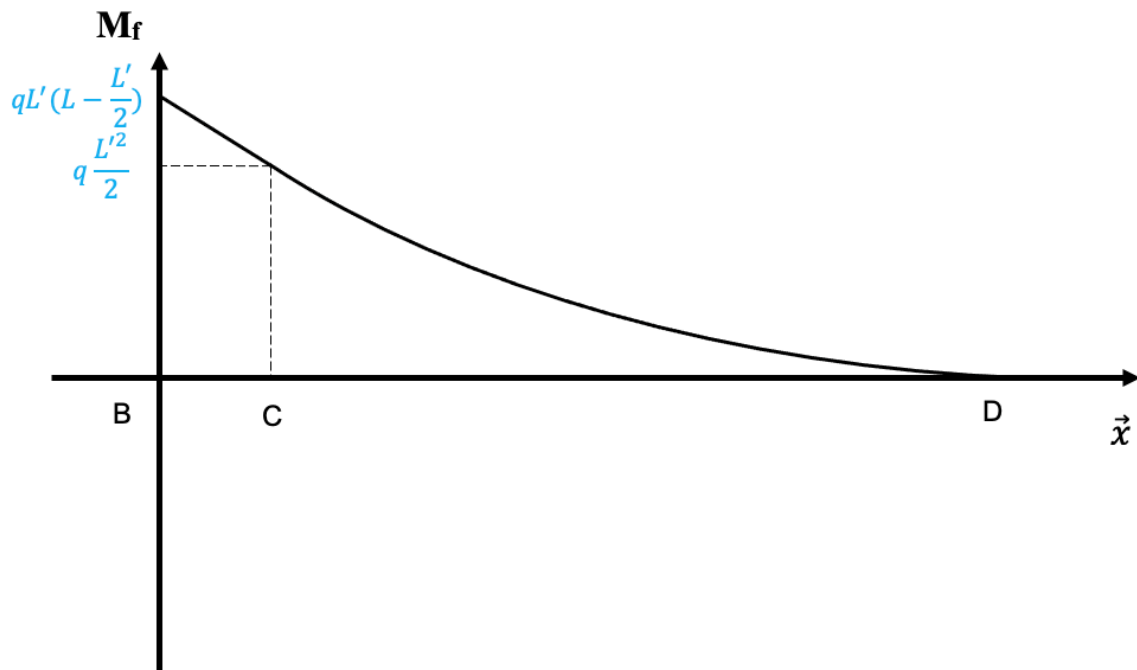
Quand $x = 0$:

$$M_f = qL'(L - \frac{L'}{2})$$

Quand $x = L - L'$:

$$M_f = q \frac{L'^2}{2}$$

Représentation graphique :



Nota : la courbe parabolique du tronçon CD est tangente en C à la droite du tronçon BC (même valeur de dérivée au point C).

En effet, sur le tronçon CD, $M_f = \frac{q(L-x)^2}{2}$

Donc $\frac{dM_f}{dx} = -q(L-x)$

Pour $x = L - L'$, $M'_f(L - L') = -qL'$

Sur le tronçon BC, $M_f = qL' \left(L - x - \frac{L'}{2} \right)$ donc $\frac{dM_f}{dx} = -qL'$

QUESTION 2.10

Préciser la valeur maximale du moment fléchissant M_f .
Donner la valeur maximale du moment fléchissant total M_{tot} résultant de F_{pivot2} et du phénomène de ripage.

M_f est maximal pour $M_f = qL' \left(L - \frac{L'}{2} \right)$

$M_{fmax} = qL' \left(L - \frac{L'}{2} \right) = 5,52 \cdot 50 \left(56 - \frac{50}{2} \right) = 8556 \text{ kNmm}$

$M_{tot} = M_{fmax} + M_{Ripage} = 8556 + 8197,2 = 16753,2 \text{ kNmm}$

QUESTION 2.11

Préciser sur feuille de copie les données et valeurs non-renseignées du tableau ci-après et nécessaires à la vérification de la résistance à la flexion du pivot.

$$I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \approx 636173 \text{ mm}^4$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^3}{4} \approx 2827 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_n = \frac{M_{tot}}{I_z} \cdot y = \frac{16753200}{636173} \cdot \frac{60}{2} \approx 790 \text{ MPa}$$

Suivant question 2.8, valeur maximale de T :

$$T_{max} = 5,52 \times 50 = 276 \text{ kN}$$

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{max}}{S} = \frac{4}{3} \cdot \frac{276000}{2827} \approx 130 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{vm} = (\sigma_n^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2)^{0,5} = \sqrt{(790^2 + 3 \cdot 130^2)} \approx 821 \text{ MPa}$$

QUESTION 2.12
DT3

En tenant compte du coefficient de sécurité γ_m , **proposer** un traitement thermique adéquat de l'acier 17-4PH du pivot du galet latéral (cf. DT3), **préciser** les caractéristiques mécaniques correspondantes.

$$\gamma_m = 1,1$$

Donc la limite d'élasticité conventionnelle $R_{p0,2}$ de l'acier 17.4PH doit être supérieure à $\sigma_{vm} \cdot \gamma_m$

$$R_{p0,2} \geq 821 \times 1,1$$

$$R_{p0,2} \geq 903 \text{ MPa}$$

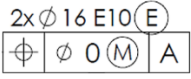



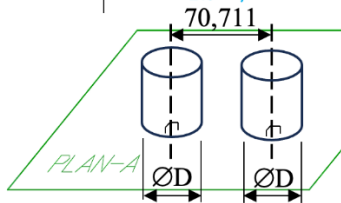
Plusieurs traitements thermiques peuvent convenir. Celui choisi a pour codification H1025/A3 car il présente, parmi les traitements possibles, la résilience la plus élevée (Kv maximal).

$$R_m \geq 1070 \text{ MPa}, R_{p0,2} \geq 1000 \text{ MPa}, A\% \geq 12, Z\% \geq 45, K_v \geq 20 \text{ J}, HR_c \geq 34, HB \geq 331$$

**3^e PARTIE : Modification de la conception des lames anti-soulèvement
(Durée conseillée : 40 min)**

QUESTION 3.1

Décoder, sur le DR3, la spécification géométrique indiquée, extraite du dessin de définition présenté dans le DT6.

Type de spécification	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance et condition de conformité
Forme Orientation <u>Position</u> Battement	Unique <u>Groupe</u>	<u>Unique</u> Multiples	<u>Simple</u> Commune Système	Simple <u>Composée</u>
<p>2x $\varnothing 16 E10 (E)$</p> 	<p>2 lignes nominalement rectilignes, axes réels de deux surfaces nominalement cylindriques</p> 	<p>Surface nominalement plane, nommée A</p> 	<p>Plan associé à l'élément réel, contraint tangent extérieur matière et qui réduit au minimum la distance maximale entre l'élément associé et l'élément réel A</p> 	<p>2 cylindres dont les axes sont perpendiculaires à la référence spécifiée A et distants l'un de l'autre de 70,711 mm. Les diamètres $\varnothing D$ des cylindres varient linéairement de 0 mm (alésages dans leur état maximal de matière) à $0+IT_{E10}$ (alésages dans leur état minimal de matière). Avec $IT_{E10}=0,070$</p>  <p>Conditions de conformité :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>les éléments tolérancés</u> doivent être inclus dans la zone de tolérance • <u>les valeurs des « dimensions locales »</u> (bipoints) des alésages sont dans l'intervalle défini par la tolérance E10 • la dimension des 2 enveloppes cylindriques parfaites au maximum de matière ($\varnothing 16,032$) n'est pas dépassée

QUESTION 3.2

En considérant les données du DT8, **démontrer** la formule suivante :

$$e = \frac{J}{d} * \sqrt{a^2 + b^2} * \sin\left(\beta - \frac{J}{2d}\right)$$

$$\text{On a : } \frac{J}{2} = \alpha \cdot \frac{d}{2} \text{ donc } \alpha = \frac{J}{d}$$

$$AA' = \alpha \cdot MA \text{ donc } AA' = \frac{J}{d} \cdot MA$$

$$MA = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ donc } AA' = \frac{J}{d} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$e = AA' \cdot \cos(\delta) \text{ avec } \delta = (\pi - \gamma - \beta), \text{ et } \gamma = \frac{\pi - \alpha}{2} \text{ donc } \delta = \frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2} - \beta$$

$$e = \frac{J}{d} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\alpha}{2} - \beta\right)$$

$$e = \frac{J}{d} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \sin\left(\beta - \frac{J}{2d}\right)$$

QUESTION 3.3

Calculer la valeur maximale du déplacement « e ».

$$\text{On a } e_{max} = \frac{J_{max}}{d} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \sin\left(\beta - \frac{J_{max}}{2d}\right)$$

J_{max} dans un ajustement entre une goupille $\varnothing 16 \text{ m6 } (\varnothing 16_{+0.018}^{+0.018})$ et un trou lisse $\varnothing 16 \text{ E10 } (\varnothing 16_{+0.032}^{+0.02})$:

$$J_{max} = 0,102 - 0,007 = 0,095$$

$$e_{max} = \frac{0,095}{70,711} \cdot \sqrt{128^2 + 75^2} \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{128}{75}\right) - \frac{0,095}{2 \cdot 70,711}\right)$$

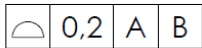
$$e_{max} = 0,172 \text{ mm}$$

QUESTION 3.4

En considérant la valeur déterminée à la question précédente et les tolérances de fabrication de la lame anti-soulèvement, **donner** la valeur de variation d'écart à prendre en compte pour l'étude d'interférence.

Le dessin de définition de la lame précise une tolérance générale applicable notamment au profil extérieur :

TOLERANCE GENERALE : ISO 22081



La forme extérieure de la lame varie donc dans un intervalle de tolérance de $\pm 0,1$ centré autour d'un profil nominal dont les dimensions sont définies par les TED.

La valeur de variation de l'écart à prendre en compte pour l'étude d'interférence est donc égale à $0,172 + 0,1 = 0,272$ mm.

QUESTION 3.5

Déterminer, à l'aide des données présentées ci-dessus et dans le DT9, la valeur arrondie au $1/10^{\text{ème}}$ de la variation horizontale maximale de position de la forme basse de la lame par rapport au rail. **Statuer** sur le risque d'interférence entre la lame et le rail lors des manœuvres.

L'étude d'interférence entre les lames anti soulèvement et le rail se fait au niveau du galet principal n°2, les galets latéraux de guidage n'étant présents qu'au niveau des galets n°1 et n°3.

Valeurs à considérer pour l'évaluation de la variation horizontale maximale au niveau du galet principal n°2 :

- jeu fonctionnel entre le galet latéral et le rail : **1 mm**
- tolérance de fabrication des galets latéraux : $0,2/2 = 0,1$ mm
- tolérance de fabrication du profil du rail : **1 mm** (seul le rail au niveau du galet principal est pris en compte du fait de l'absence de galets latéraux de guidage)
- tolérance de montage du rail : $2 \times 1,5 = 3$ mm (prise en compte des deux rails)
- tolérances de fabrication et d'assemblage des éléments du bogie : **1 mm**
- tolérances de fabrication et d'assemblage des lames anti-soulèvement : **0,272 mm**
- déplacement latéral du galet principal n°2 en raison des charges appliquées sur le bogie : **1,5 mm**

Variation horizontale maximale : $1 + 0,1 + 1 + 3 + 1 + 0,272 + 1,5 \approx 7,9$ mm

$7,9$ mm < 8 mm, donc pas d'interférence.

4^e PARTIE : Étude d'un traitement de surface des lames anti-soulèvement

QUESTION 4.1

Donner la signification de la désignation « S355 ».

S355 : acier de structure (de construction), limite d'élasticité minimale 355 MPa

QUESTION 4.2

Déterminer, à l'aide des données présentées ci-dessus et dans le DT10, la valeur de l'épaisseur de zinc nécessaire à

déposer sur les lames anti-soulèvement afin de garantir leur intégrité sans aucun entretien pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage.

Épaisseur minimale de zinc : $50 \text{ ans} \times 2,1 \mu\text{m/an} = 105 \mu\text{m}$

Pour garantir la durée de vie (50 ans) du traitement de surface, prise en compte de la valeur haute de la fourchette de valeurs pour la perte annuelle de l'épaisseur de zinc.

QUESTION 4.3

Déterminer, à l'aide du DT11, la ou les catégorie(s) d'acier envisageable(s) en considérant qu'aucun critère d'aspect de surface ne sera privilégié.

L'épaisseur minimale de zinc étant de $105 \mu\text{m}$, seules les catégories B et C conviennent.

QUESTION 4.4

Étudier la compatibilité des nuances d'acier S355 du DT12 avec le processus de galvanisation à chaud. **Préciser** pour les nuances compatibles la/les catégorie(s) au sens de la NF A 35-503 (cf. DT11).

La catégorie dépend du taux combiné de Silicium et de Phosphore :

Catégorie A : $0\% (\sim) < \text{Taux} < 0,09\%$

Catégorie B : $0,09\% < \text{Taux} < 0,11\%$

Catégorie C : $0,2\% < \text{Taux} < \text{env. } 0,31\%$

Avec $\text{Taux} = \% \text{Si} + 2,5 \times \% \text{P}$

		Catégorie	Justification
S355JR EN 10025-2	S355JR	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355JR AM FCE	S355JR	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355JO EN 10025-2	S355JO	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355JO AM FCE	S355JO	Catégorie B (en limite)	Taux $\leq 0,0927\%$
S355J2 EN 10025-2	S355J2	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355J2 AM FCE	S355J2	Catégorie B (en limite)	Taux $\leq 0,0927\%$
S355J2+N EN 10025-2	S355J2+N	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355J2+N AM FCE	S355J2+N	Catégorie C	Taux $\leq 0,3125\%$
S355K2 EN 10025-2	S355K2	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355K2+N EN 10025-2	S355K2+N	Hors catégorie	Taux > 0,31%
S355K2+N AM FCE	S355K2+N	Catégorie C	$0,2125\% \leq \text{Taux} \leq 0,3125\%$

QUESTION 4.5

Choisir une nuance d'acier S355 parmi celles du DT12.
Justifier le choix. **Préciser** l'épaisseur de revêtement estimée.

L'analyse des compositions des nuances d'aciers du DT10 montre que les références ci-dessous sont adaptées, même si le taux combiné peut être possiblement proche des limites de valeurs des catégories :

- S355JO AM FCE : catégorie B (en limite), épaisseur de revêtement $\approx 100 \mu\text{m}$
- S355J2 AM FCE : catégorie B (en limite), épaisseur de revêtement $\approx 100 \mu\text{m}$
- S355J2+N AM FCE : catégorie C, épaisseur de revêtement $\approx 200 \mu\text{m}$
- S355K2+N AM FCE : catégorie C, épaisseur de revêtement $\approx 200 \mu\text{m}$

Commentaires :

L'analyse du DT11 permet de constater qu'à un taux combiné de 0,9% (taux bas de la catégorie B) correspond une épaisseur de zinc d'environ $100 \mu\text{m}$. Cela semble acceptable au regard de la valeur de zinc minimale calculée précédemment ($105 \mu\text{m}$), surtout en considérant qu'a été prise en compte pour le calcul la valeur haute ($2,1 \mu\text{m}/\text{an}$) de la fourchette de perte annuelle de zinc (cf. DT10).

Les deux références en catégories C permettent de garantir l'épaisseur en zinc (environ $200 \mu\text{m}$) mais sont en limite haute de catégorie. La galvanisation pourrait donc présenter quelques incertitudes quant aux résultats et serait donc à valider par des essais préalables.

QUESTION 4.6

Préciser quelles sont les implications de ce traitement de surface par rapport aux spécifications géométriques et/ou dimensionnelles de la lame anti-soulèvement.

Ce traitement de surface augmente l'épaisseur de la pièce (pas d'impact fonctionnel), augmente la taille du profil extérieur de la pièce et réduit le diamètre des trous.

Afin de garantir l'absence d'interférence (cf. partie 3), il est nécessaire, lors de la fabrication des lames, de prendre en compte l'épaisseur de zinc qui sera déposée (fonction de la nuance de l'acier qui sera choisie et donc de sa catégorie, B ou C) pour que les dimensions du profil extérieur respectent la tolérance générale indiquée. Pour les 2 trous $\varnothing 16,5$, la même démarche de prise en compte de l'épaisseur de zinc déposée doit être menée.

L'intervalle de la tolérance E10 appliquée aux 2 trous $\varnothing 16$ est de $0,070 \text{ mm}$. S'il est décidé de galvaniser leur surface, il sera nécessaire de maîtriser parfaitement l'épaisseur de zinc déposée pour qu'elle soit prise en compte dans le processus de fabrication ou alors de procéder à une reprise d'usinage. Sinon, il peut être décidé de ne pas galvaniser leur surface en y appliquant du silicone, du ruban adhésif spécifique, de la peinture spéciale, de la pâte lubrifiante, ..., (création de "zones d'épargne") ce qui empêchera leur galvanisation.

5^e PARTIE : Étude de la réalisation de la lame anti-soulèvement

QUESTION 5.1 | **Déterminer**, pour la phase 10 du Processus 1, la taille de la barre résultant du sciage. **Justifier** la réponse.

D'après le dessin de définition de la lame anti-soulèvement, la forme de la pièce s'inscrit dans un rectangle de 140x193 mm. En tenant compte des courses maxi et en prévoyant une marge afin de pouvoir maintenir le brut dans la machine d'électroérosion, une longueur de 400 mm pourra convenir afin de réaliser 2 lames.

QUESTION 5.2 | À partir des documents DT6 et DT13, **déterminer** le nombre de passe(s) de découpe électroérosion nécessaire et le ou les numéros de régime permettant la réalisation d'une lame en ph30. **Justifier** la réponse.

La spécification dimensionnelle présentant l'intervalle de tolérance le plus contraignant est $\varnothing 16E10$ soit un IT de 70 μm . Le régime 61024 en une passe avec une précision de $\pm 17 \mu\text{m}$ permettra de fabriquer la pièce.

QUESTION 5.3 | Pour le Processus 1, **déterminer** le temps de cycle global de la phase 30.

Élément	Lame	2 trous $\varnothing 16E10$	Segment d'attaque
Longueur à découper (mm)	574	$2 \cdot (\pi \cdot 16 + 6) = 112,5$	10

Longueur à couper pour une lame dans un brut: $L = 574 + 112,5 + 10 = 696,5 \text{ mm}$
 D'après les données techniques de vitesse moyenne, considérant que 3 ré-enfilages sont nécessaires.

$$T_{\text{cycle moyen}} = \frac{696,5}{4,67} + 3 \cdot 0,5 = 150,6 \text{ min}$$

QUESTION 5.4 | Pour la phase 30 du Processus 1, **déterminer** le coût du fil laiton nécessaire à la découpe d'une pièce.

Vitesse défilement du fil : 10 m/min
 Nous avons besoin de 1491 m de fil
 D'après le DT13, 37440 m de fil coûte 180€ HT
 Coût fil de laiton : $C = \frac{1491}{37440} \cdot 180 = 7,2 \text{ € HT}$

QUESTION 5.5 |

Calculer le coût de fabrication du lot de 48 pièces pour les deux processus envisagés. **Conclure**.

Pour 48 pièces :

	Processus 1	Processus 2
Phase 10	$30 \cdot \frac{2}{60} \cdot 48 = 48 \text{ €}$	$30 \cdot \frac{2}{60} \cdot 48 = 48 \text{ €}$
Phase 20	$80 \cdot \frac{5}{60} \cdot 48 = 320 \text{ €}$	$80 \cdot \frac{4,5}{60} \cdot 48 = 288 \text{ €}$
Phase 30	$40 \cdot \frac{150,6}{60} \cdot 48 = 4819 \text{ €}$	$80 \cdot \frac{21}{60} \cdot 48 = 1344 \text{ €}$
Outillage	$7,2 \cdot 48 = 346 \text{ €}$	400 €
Total	5533 €	2080 €

Le processus 2 est le plus avantageux. Le processus 1 aurait été pertinent avec un plus petit nombre de lames à fabriquer.

Constats sur la composition des candidats

1^{re} PARTIE : Analyse de la liaison du bogie par rapport aux voies de roulement.

Remarques générales

La première partie d'analyse de la liaison du bogie par rapport aux voies de roulement permettait de montrer que le candidat avait bien compris le fonctionnement du support. Elle a été traitée par un grand nombre de candidats. On trouve malheureusement des copies n'ayant traité que cette partie, nous recommandons de bien lire le sujet en entier avant de commencer à composer pour bien identifier les questions plus abordables.

Question 1.1

Le schéma cinématique a été traité par une majorité de copies mais peu respectaient les données de l'énoncé. Une structure cohérente avec des liaisons erronées apportait une partie des points et permettait de répondre aux questions suivantes.

Question 1.2

L'élaboration du schéma cinématique a posé beaucoup de problèmes aux candidats, le système a été mal interprété et la normalisation des liaisons n'est pas toujours connue. Néanmoins, quelques copies ont su proposer un schéma cohérent.

Question 1.3

Cette question a été peu traitée par les candidats. L'étude s'est souvent résumée à une description de la liaison équivalente sans réelle démonstration.

Question 1.4

Le calcul du degré d'hyperstatisme est souvent mal maîtrisé et a abouti à des résultats incohérents. Le jury a apprécié que les candidats mettent en doute la pertinence de leur solution.

Question 1.5

Une étude statique classique, la difficulté principale était l'interprétation du signe des forces à appliquer. Les hypothèses ont été bien posées mais les calculs ont rarement abouti.

2^e PARTIE : Choix matériau rail, galets principaux et axe (pivot) des galets latéraux

Remarques générales :

Cette partie avait comme objectifs la détermination des matériaux du rail et des galets principaux, par la vérification de l'aptitude des contacts galets principaux/rail, et la détermination du matériau du pivot des galets latéraux par vérification de sa résistance à une sollicitation de flexion.

Cette partie a été abordée par la quasi-totalité des candidats. Exception faite de la question 2.1, la partie a été traitée plutôt correctement par l'ensemble des candidats jusqu'à la question 2.7 incluse. L'étude de flexion, débutant à la question 2.8, n'a été traitée correctement que par peu de candidats, et a donc souvent empêché la poursuite de cette partie.

Question 2.1

Cette question de métallurgie n'a jamais été traitée correctement. Si quelques candidats ont pu définir ce qu'est la « Martensite », beaucoup de réponses étaient très approximatives, voire parfois complètement farfelues. Aucun candidat n'a pu définir correctement ce qu'est le « durcissement structural par le cuivre » et n'a évoqué le traitement thermique, postérieur à celui de trempe, permettant la libération contrôlée de précipités durcissants.

Question 2.2

La détermination du cas de charge applicable n'a pas posé de problèmes particuliers, mais peu de candidats ont pris le soin de bien analyser le document fourni (DT4 3/3) et ont pensé à vérifier que le cas de charge s'appliquait bien. La norme prévoit une vérification d'application avec deux critères, des points étaient bien entendu attribués à cette vérification.

Questions 2.3 et 2.4

La dureté HB a été correctement calculée par nombre de candidats, même si souvent la valeur de la largeur b était erronée, seul le rayon de bord du galet principal ayant été pris en compte alors que le rayon de bord du rail avait une valeur supérieure.

Question 2.5

La question n'a été traitée que partiellement car s'il est possible de dire que la majorité des candidats ont proposé un traitement thermique, peu ont répondu de manière complète à la question en précisant, comme demandé, les caractéristiques mécaniques correspondantes.

De manière générale, il est très important d'être attentif à l'ensemble des éléments de réponses qui sont demandés aux candidats.

Questions 2.6 et 2.7

Ces questions qui ne présentaient pas de difficultés majeures ont été correctement traitées par la majorité des candidats.

Questions 2.8 et 2.9

Ces questions, et notamment la 2.9, ont posé beaucoup de problèmes à une majorité de candidats qui ne disposent pas des bases pour traiter un problème de flexion. La détermination de l'expression littérale de l'effort tranchant maximal a pu se faire de manière correcte mais avec une représentation graphique souvent erronée. Par contre la question 2.9 concernant l'étude du moment fléchissant et surtout sa représentation graphique n'a été correctement traitée que par quelques candidats.

Il est à souligner que les questions ne demandaient pas, à ce stade, le calcul des valeurs maximales mais la détermination des expressions littérales significatives qu'il était demandé de faire apparaître sur les représentations graphiques, ce qui n'a été fait que dans de rares copies.

Question 2.10

La valeur maximale du moment fléchissant était à calculer dans cette question, il était à additionner au moment résultant du phénomène de ripage.

Beaucoup de candidats n'ont pas abordé cette question, étant restés bloqués à la question précédente.

Questions 2.11 et 2.12

Les calculs ne présentaient pas de difficultés particulières et ont permis aux candidats ayant atteint ce stade d'obtenir des résultats satisfaisants.

De même que pour la question 2.5, la question 2.12 n'a été traitée que partiellement car si des candidats ont proposé un traitement thermique, peu ont répondu de manière complète à la question en précisant, comme demandé, les caractéristiques mécaniques correspondantes.

3^e PARTIE : Modification de la conception des lames anti-soulèvement

Remarques générales :

Cette partie avait comme objectif de valider la modification de la conception des lames anti-soulèvement par l'analyse de l'absence de contact avec le rail lors des déplacements des ailes, validation par une étude d'interférence lames/rails.

Les deux premières questions ont été abordées par une majorité de candidats mais très peu ont répondu correctement. Les deux dernières questions ont été peu traitées, et lorsque cela était le cas, majoritairement de manière non satisfaisante.

Question 3.1

Cette question a posé des problèmes à la quasi-totalité des candidats, seuls quelques-uns ont répondu correctement. Les éléments tolérancés, l'élément de référence, la référence spécifiée n'ont que rarement été définis correctement. Le principe du maximum de matière n'a pas été compris par nombre de candidats et beaucoup se sont contentés de rédiger une condition de conformité de type

« l'élément tolérancé doit être compris dans un cylindre de diamètre 0 » ... Condition qui n'a pas de sens, qu'il est évidemment impossible de satisfaire sans prendre en compte le principe du maximum de matière. Le principe d'enveloppe n'a pas toujours été évoqué.

Le jury déplore que cette analyse de spécification géométrique ait posé tant de problèmes aux candidats. Cette question est pourtant un grand classique et l'analyse correcte de spécifications est une base incontournable de la discipline option mécanique, tant du point de vue de la conception que de la production, et donc du contrôle, de pièces mécaniques.

Questions 3.2 à 3.4

Peu de candidats ont réussi à démontrer la formule. Il a parfois été observé des développements mathématiques incohérents. L'application numérique ne pouvait être effectuée qu'à la condition d'avoir préalablement déterminé le jeu maximal « J » dans l'ajustement « goupille cylindrique / trou lisses lame », ce qui a posé des soucis à nombre de candidats, qui n'ont donc pas pu aller plus avant.

La question 3.4 ne pouvait être traitée qu'à la condition d'identifier, de décrypter et d'exploiter correctement la spécification géométrique associée à la tolérance générale ISO 22081 applicable au profil extérieur de la pièce. Cela n'a pas souvent été le cas.

Question 3.5

Cette question ne requérait pas de connaissances particulières mais appelait, au travers des documents et informations fournis, à une analyse fine du mécanisme de guidage des bogies ainsi que des différents critères influant le positionnement relatif des lames anti-soulèvement placées sur le bogie, sans galets latéraux de guidage, par rapport au rail. Il fallait identifier pour chaque critère s'il fallait prendre en compte l'intervalle de tolérance dans sa globalité ou alors la moitié de celui-ci.

Peu de candidats ont traité la question et seulement quelques-uns ont pu donner une réponse satisfaisante.

4^e PARTIE : Étude d'un traitement de surface des lames anti-soulèvement

Remarques générales :

Cette partie avait comme objectif la détermination et la validation d'une nuance d'acier pour les lames anti-soulèvement afin de garantir la compatibilité avec le traitement de surface par galvanisation à chaud et la durée de vie imposée de l'ouvrage.

Cette partie ne requérait pas de connaissances particulières mais proposait, au travers d'une analyse des documents et informations fournis, d'aborder un sujet souvent méconnu.

Cette partie a été abordée par de nombreux candidats, souvent avec une certaine réussite, même s'il faut déplorer que les questions ne soient pas toujours traitées de manière rigoureuse.

Question 4.1

Nombre de candidats ont répondu correctement à cette question. Néanmoins, un nombre conséquent de copies ont fait mention de la résistance à la traction au lieu de la limite d'élasticité minimale.

Questions 4.2 et 4.3

Pour garantir la durée de vie du traitement de surface, il était important de prendre en compte de la valeur haute de la fourchette de valeurs pour la perte annuelle de l'épaisseur de zinc.

Deux catégories d'acier étaient compatibles, des candidats n'en ont parfois mentionné qu'une seule.

Question 4.4

Il était demandé d'étudier la compatibilité des nuances d'acier S355 du DT12 avec le processus de galvanisation à chaud. Cela supposait de donner une réponse avec justification pour chaque nuance du DT12, ce qui a malheureusement rarement été fait.

Question 4.5

Cette question n'a pas toujours été traitée de manière complète. En effet, il était demandé de **choisir** une nuance d'acier, de **justifier** le choix, de **préciser** l'épaisseur de revêtement estimée. Les verbes « d'action » en « gras » appelaient chacun à une réponse spécifique.

Question 4.6

Cette question n'a que rarement été traitée de manière complète. Une réponse ne mentionnant uniquement que l'augmentation des dimensions de la pièce ne pouvait être acceptable. En effet, il fallait identifier les spécifications impactées et apporter une réponse adaptée à chacune en fonction de leur intervalle de tolérance (le profil extérieur, les trous $\varnothing 16,5$, les trous $\varnothing 16E10$). L'épaisseur pouvait être mentionnée en précisant que le traitement de surface n'avait pas d'impact sur l'aspect fonctionnel.

5^e PARTIE : Étude de la réalisation de la lame anti-soulèvement

Remarques générales :

Cette partie relevait du domaine de la fabrication mécanique, elle ne présentait pas de difficultés majeures. Elle a souvent été traitée en fin d'épreuve avec très peu de

temps, ce qui a entraîné des erreurs de calcul et d'unité grossières. Quelques candidats, en commençant par cette partie, ont obtenu de bons résultats.

Question 5.1 et 5.2

L'énoncé du sujet a souvent été mal interprété, de nombreuses bonnes réponses mais souvent sans justification.

Question 5.3 à 5.6

Une suite de questions « à tiroir », une erreur dans une des questions n'entraînait pas de perte de points dans les suivantes. Cette partie plutôt triviale a néanmoins été souvent mal traitée par faute de temps.

Recommandations aux futurs candidats

Il est fortement conseillé aux candidats de mieux préparer cette épreuve et de lui réserver un temps important en termes de préparation au concours. Le jury conseille ainsi aux candidats de se préparer en balayant l'ensemble des compétences de l'ingénierie mécanique afin de pouvoir aborder, au moins partiellement, chacune d'entre elles.

Bien que les parties soient indépendantes, une lecture complète du sujet et des documents techniques associés est vivement conseillée afin de s'imprégner des différentes problématiques et d'ainsi pouvoir faire le lien entre les parties. Cela permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat.

Le jury regrette que de nombreuses réponses données par les candidats restent partielles et lapidaires ou ne correspondent pas aux attentes. Le jury rappelle qu'il attend des candidats qu'ils se montrent rigoureux sur les démarches employées, et également qu'ils fassent preuve de pédagogie en expliquant et argumentant leurs réponses. Une part importante du barème est ainsi consacrée à ces éléments. À ce titre, les candidats sont invités à utiliser des schémas propres, clairs et explicites, des tableaux et toutes les représentations à leur disposition.

Le jury rappelle enfin que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication. Par ailleurs, les copies étant scannées et corrigées sur écran le jury conseille aux candidats d'écrire et de dessiner lisiblement, en suffisamment gros caractères et avec des encres pas trop claires.

Épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique

Commentaires du jury

Coefficient 2 – Durée 6 heures

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

Cette épreuve de coefficient 2 se déroule sur une durée totale de 6 heures réparties en 3 phases :

- phase 1 d'une durée de 4 heures : réalisation d'activités;
- phase 2 d'une durée de 1 heure : finalisation du support de présentation et préparation de l'exposé oral ;
- phase 3 d'une durée de 1 heure : exposé oral et entretien avec les interrogateurs.

Concernant l'évaluation, le barème indicatif retenu est le suivant : 10 points attribués à la phase d'activités pratiques et 10 points attribués à la phase liée à l'exposé oral et à l'entretien. Ces deux parties sont évaluées de façon indépendante par le ou les membres de jury ayant suivi le candidat durant les activités pratiques et par les membres de jury assistant à l'exposé oral et participant à l'entretien avec le candidat.

Les membres de jury disposent de 2 grilles distinctes d'aide à la décision et à l'évaluation des compétences mobilisées par le candidat pour chacune de ces deux parties.

Dans l'option « Ingénierie Mécanique » de la section « Sciences Industrielles de l'ingénieur » de l'agrégation interne, le candidat choisit, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : "conception des systèmes mécaniques" ou "industrialisation des systèmes mécaniques". Ce choix est pris en compte dans les activités pratiques proposées au candidat durant l'épreuve.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation.

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements spécifiques liés à la spécialité du cycle terminal ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal " sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) " du lycée, à l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur, des programmes de CPGE ou des programmes de BTS et BUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie.

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation,

- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique,
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions,
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.

Déroulement détaillé de l'épreuve :

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

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

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

Phase 1 : activités pratiques, 4 heures

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

Cette phase se déroule en 3 parties :

- **Première partie (durée indicative ≈ 0h30)**

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

de jury qui suivent le candidat durant l'épreuve vérifient que celui-ci s'est correctement approprié la problématique et les différentes activités proposées.

- **Deuxième partie (durée indicative et conseillée ≈ 2h00)**

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

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

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

- **Troisième partie (durée indicative et conseillée ≈ 1h30)**

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

Remarque : Les membres du jury font le constat que cette partie est souvent peu investie, alors même qu'elle constitue une étape essentielle et le fil conducteur de la finalité du TP. Il est rappelé que cette partie conditionne l'évaluation du candidat lors de l'exposé oral.

Phase 2 : préparation de l'exposé en salle de préparation, durée 1h

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

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

Phase 3 : exposé et entretien, durée 1h

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

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

- une présentation du système ou du produit étudié et de la problématique associée (durée conseillée 5 minutes) ;
- une synthèse des résultats obtenus ainsi que la démarche permettant de répondre à la problématique proposée durant la deuxième phase de la première partie (durée conseillée 5 minutes) ;
- une présentation de la séquence pédagogique conçue et détaillée (durée conseillée 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 proposition pédagogique.

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

Au cours de l'entretien d'une durée de 30 minutes maximum, le candidat est conduit plus particulièrement à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.

Thèmes et études proposées à la session 2024 :

- étude énergétique d'une chaîne de transmission de puissance d'un véhicule ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification d'un processus d'usinage ;
- étude d'un axe asservi en vitesse ;
- influence des paramètres d'un procédé de moulage sur les caractéristiques des pièces obtenues ;
- validation du dimensionnement d'un système de mesure de couple ;
- métrologie et qualification d'un constituant mécanique ;
- étude d'un système robotique.

Sont décrites ci-dessous des exemples d'activités demandées aux candidats sur les différents thèmes et études proposées

- étude du comportement cinématique et dynamique d'un système asservi en position, description d'un système pluri-technique de type "maitre-esclave" avec les outils de l'ingénierie système, modélisation du comportement cinématique et analyse du tracé d'une résolution informatique, mise en œuvre d'un protocole expérimental et caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé, modélisation du comportement dynamique à l'aide d'un logiciel multiphysique, caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé, synthèse et conclusion sur la capacité à répondre aux exigences imposées par le cahier des charges ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification de processus : caractéristiques du matériau, étude et justification de la relation produit matériau procédé, mise en œuvre d'un protocole expérimental à partir d'une table d'expérimentation, détermination de données, modélisation puis simulation logicielle du comportement, vérification de spécifications géométriques et dimensionnelles, optimisation, synthèse et conclusion sur la capacité à qualifier un processus en pré industrialisation ;
- étude de qualification et optimisation d'une phase de production : analyse de spécifications, évolution d'une gamme de fabrication fournie et justification au regard de contraintes technico-économiques, détermination d'une campagne d'essais, analyse et modélisation du comportement d'une pièce sous efforts de serrage, définition des paramètres de mise en œuvre en vue de la réalisation de la pièce, comparaison et analyse des résultats prévisionnels et réels ;
- comparaison de l'autonomie énergétique de deux systèmes, l'un en situation réelle et l'autre en situation de laboratoire : détermination de l'autonomie d'un système en situation réelle et en laboratoire, proposition d'un cas type d'utilisation afin d'effectuer une expérimentation in situ, comparaison de modèles dans différentes phases de vie, utilisation d'une loi de mouvement afin de quantifier un paramètre du modèle à partir de résultats expérimentaux, comparaison modèle/réel dans différentes phases d'utilisation ;
- pré-dimensionnement d'une chaîne de transmission mécanique réversible sur des critères énergétiques : identification des enjeux sociétaux d'un produit, analyse de modèles numériques puis de résultats de simulations, justification et mise en œuvre d'un protocole expérimental, vérification de performances par étude des écarts entre le réel et le modèle, détermination expérimentale de performances énergétiques ;
- influence des paramètres de mise en œuvre d'un alliage et conception d'un produit mécanique : caractéristiques du matériau, étude et justification de la relation produit-matériau-procédé, détermination de données, mise en œuvre d'un protocole expérimental simulé à partir d'une table d'expérimentation, modélisation puis simulation logicielle du procédé, modélisation puis simulation logicielle du comportement mécanique, optimisation de structure, conception sur modèleur 3D ;
- étude de solutions constructives dans un contexte technico-économique : analyse de l'évolution de la cinématique, des choix des solutions techniques, du triptyque produit / procédé / matériaux et du dimensionnement dans un contexte d'évolution technico-économique.

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

Pour la partie « activité pratique » :

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

Pour la partie « exposé oral » :

- décrire le système étudié ;
- décrire la/les problématique(s) de l'activité pratique proposée ;
- synthétiser, mettre en forme, organiser les résultats des expérimentations, des investigations ;
- analyser, justifier les résultats obtenus issus des expérimentations, des investigations menées ;
- analyser les écarts constatés, formuler des hypothèses.

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

- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;
- adapter tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « activité pratique » à la séquence pédagogique proposée ;
- décrire les activités des étudiants ;
- identifier les moyens et ressources mobilisés ;
- préciser les critères, modalités et conditions d'évaluation ;
- exposer de façon claire, précise et synthétique ;

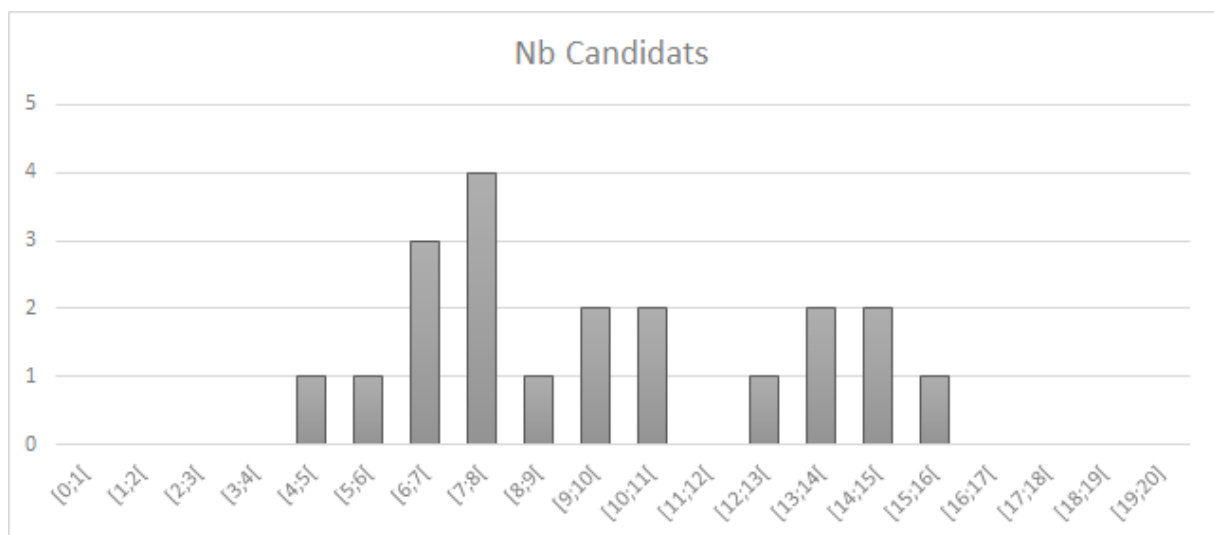
- mobiliser les moyens de présentation mis à disposition ;
- communiquer avec les membres de jury de façon dynamique, interactive, réactive ;
- répondre aux questions posées de façon synthétique, cohérente, pertinente et argumentée.

Analyse des résultats :

20 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- la moyenne des notes obtenues est de **9,5/20** ;
- la meilleure note est de **15,1/20** ;
- la note la plus basse est de **4,9/20**
- l'écart type est de **3,3**.

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



La différence dans la performance des candidats est notable vis-à-vis de la réussite aux deux parties de cette épreuve. Peu de candidats démontrent des performances supérieures à **05/10** dans les deux parties. Pour la session, **8** candidats obtiennent une note supérieure à 10/20.

Les performances démontrées en première partie « activité pratique » (moyenne de **5,4/10**), sont supérieures à celles de la deuxième partie « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury » (moyenne **4,1/10**).

Les membres de jury ont constaté au travers des épreuves pratiques et lors des entretiens, des faiblesses en termes de connaissances scientifiques et d'approche méthodologique des problèmes à résoudre et à analyser. Des écarts importants sont observés sur la partie relative à l'exploitation pédagogique qui démontre que certains candidats ne s'emparent pas suffisamment des différents contextes pédagogiques ciblés par cette épreuve.

Quelques remarques récurrentes par rapport aux années précédentes :

- les candidats doivent connaître les programmes et référentiels du champ disciplinaire où ils pourront être amenés à enseigner, il n'est pas envisageable pour un candidat de

découvrir les modalités spécifiques d'un référentiel ou d'un programme lors des épreuves orales ;

- de trop nombreux candidats affichent des lacunes dans la connaissance des matériaux (désignation, essai de traction, structure de la matière, ...) ; des plans d'expérience et de l'intégration numérique.
- la formulation d'hypothèses scientifiques supplémentaires et la proposition de modèles sont fortement valorisées. Malheureusement certains candidats se contentent de répondre linéairement aux différentes activités proposées sans prise d'initiative ;
- les candidats doivent adapter les activités effectuées lors de la phase 1 au niveau requis dans leur application pédagogique ;

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

- s'approprier rapidement le contexte et les ressources disponibles ;
- utiliser les données fournies ;
- mobiliser des outils de description ou d'analyse ;
- effectuer les manipulations proposées ;
- prendre du recul sur les manipulations proposées ;
- effectuer des développements scientifiques, démontrant ainsi un manque d'acquisition de compétences scientifiques pourtant attendues au niveau de l'agrégation ;
- produire une séquence pédagogique en regard de l'activité pratique menée.

Ces difficultés deviennent récurrentes session après session.

Certains candidats ne consacrent pas suffisamment de temps à exploiter les données et informations disponibles ou, le cas échéant, apportées par le membre de jury lors du suivi du candidat durant la première partie. Cette collecte de données est pourtant nécessaire pour concevoir la séquence pédagogique attendue. Ce constat est devenu récurrent. **De façon générale, les candidats consacrent trop peu de temps, durant l'activité pratique, à l'organisation et la mise en forme des données et résultats en vue de l'exploitation pédagogique attendue.**

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

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

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

Les recommandations suivantes restent d'actualité pour les futurs candidats

Bien comprendre la commande pédagogique :

Il est important que les candidats puissent disposer, avant de se présenter à cette épreuve, d'une meilleure connaissance des référentiels et programmes relevant des champs de l'ingénierie mécanique et ce, pour pouvoir concevoir et exposer une séquence pédagogique répondant aux attendus. Trop de candidats semblent découvrir le jour de l'épreuve sa structure et son organisation, ainsi que les contenus et les modalités pédagogiques spécifiques des référentiels et programmes des diplômes en vigueur.

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

Mettre en œuvre des matériels et des équipements :

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

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

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

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

Pour rappel, une séquence est un ensemble de séances articulées entre elles dans le temps et organisées autour d'une ou plusieurs activités en vue d'atteindre un ou plusieurs objectifs. Il

appartient au candidat de faire une proposition de séquence pédagogique qui permette de mettre en évidence et donc d'apporter les éléments suivants :

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

Pour aborder l'évaluation des élèves ou étudiants à l'issue de la séquence proposée et présentée, les candidats doivent être capables de caractériser une compétence en termes de compétences détaillées, indicateurs de performance (critères et indicateurs d'évaluation). Cette question de l'évaluation est trop souvent abordée de façon superficielle.

Communiquer :

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

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

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

- de conclure sur l'intérêt du système ou support étudié et sur sa finalité en termes d'apprentissages pour les étudiants.

Il semblerait que ces recommandations rappelées pourtant lors de l'accueil des candidats ne soient pas connues ou intégrées.

Conclusion

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

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

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

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

Épreuve sur dossier

Commentaires du jury

Coefficient 1 – Durée 1 heure

Cette épreuve impose un rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relatif à un système pluritechnologique contemporain. Pour cela, il est indispensable que les candidats prennent contact, et ce dès leur décision de se présenter à cette agrégation interne, avec des responsables (ingénieurs, chercheurs, ...) au sein d'une entreprise afin d'identifier les problématiques techniques pertinentes. Un dossier élaboré à partir de ressources téléchargées sur Internet ne répond pas à l'esprit de cette épreuve. Une simple transmission de données techniques n'est pas suffisante pour permettre seule l'élaboration du dossier.

Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à l'initiative du candidat. Elle s'appuie sur la résolution d'un problème technique identifié, authentique et ne saurait se limiter à une simple vérification de performance. Les développements techniques, scientifiques, la justification de la solution à ce problème sont conduits par le candidat au regard d'un cahier des charges explicite intégrant des attendus caractérisés.

À l'issue de cette analyse, après un inventaire du potentiel didactique et pédagogique du support retenu, le candidat doit proposer et développer une séquence pédagogique à un niveau choisi du second degré ou du supérieur dont la progression du cycle de formation est précisée.

Ce compte-rendu vise à mettre en évidence les caractéristiques de l'épreuve et les attentes du jury, afin de permettre aux candidats de conduire leur préparation dans les meilleures conditions.

1. Les attentes du jury

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, le jury le vérifie. Le dossier est réalisé dans le cadre d'un réel échange avec une entreprise. Le niveau de confidentialité ne doit pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Le support de l'étude doit permettre au candidat de faire preuve de réelles connaissances scientifiques et technologiques dans un contexte industriel choisi pour sa pertinence technique et pédagogique.

Le candidat doit montrer les investigations qu'il a conduites et les développements traités au plus haut niveau scientifique pour s'approprier totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles du support choisi. Il veillera à ce que les développements scientifiques soient toujours justifiés au regard de la problématique posée, complétés si cela est possible par des résultats d'expérimentation.

Ce travail personnel d'analyse sérieuse débouche sur des propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés. Le dossier doit contenir les études conduites exploitant les

connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine de la conception, de l'industrialisation et de la mécanique industrielle, et comporter des documents techniques conformes aux normes en vigueur.

Le travail personnel attendu du candidat prend sens par la présentation argumentée des développements et conclusions et non par la liste des actions menées.

L'épreuve s'appuie sur un dossier personnel réalisé par le candidat. Le dossier est préparatoire à l'épreuve. Il doit être déposé au format pdf sur une plate-forme dédiée en amont de l'épreuve.

2. Les compétences évaluées

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

1 - Construire un dossier technique et scientifique :

- choisir un support adapté aux attentes de l'épreuve (Pluritechnologique, M.E.I, innovant) ;
- analyser un système et développer une étude en lien avec la problématique identifiée ;
- présenter et justifier des solutions en réponse à la problématique.

2 – Exploiter le dossier technique et scientifique dans le cadre d'activités pédagogiques :

- proposer une séquence pédagogique s'insérant dans une progression clairement formalisée sur l'ensemble du cycle de formation choisi ;
- développer cette séquence en relation avec les attendus d'un référentiel spécifié ;
- décrire les démarches et stratégies pédagogiques mises en œuvre ;
- Expliciter le dispositif d'évaluation associé.

3 - Communiquer par écrit et oralement une idée, un principe, une solution technique ou un projet, des concepts pédagogiques :

- mobiliser des outils de communication efficaces ;
- développer une argumentation de qualité.

3. Constats et recommandations du jury

De trop nombreux dossiers apparaissent comme traités dans l'urgence par les candidats.

Cette épreuve nécessite, comme toutes les autres, une sérieuse préparation, tant dans la recherche d'un support pertinent que dans la résolution de la problématique technique authentique qui constituera le fil conducteur du dossier.

Le jury constate que de trop nombreux dossiers ne présentent pas le niveau d'analyse et d'investigation requis pour l'agrégation. En effet, le dossier technique présenté ne saurait se résumer à une simple description du système choisi par le candidat.

Faute d'avoir anticipé leur admissibilité, des candidats retiennent comme support, un dossier qu'ils ont été amenés à présenter pour valider soit un niveau d'étude (licence, master, diplôme ingénieur, ...) ou un autre concours ou encadré dans le cadre de leurs enseignements de projets industriels. Il convient de se poser la question de la pertinence du support, de la nature des développements scientifiques qu'il convient de présenter et d'adapter au niveau d'exigence de cette agrégation SII.

À cette session, ont été également déclarés admissibles, des candidats qui avaient déjà présenté dans le cadre de cette épreuve, un dossier technique et pédagogique à une session antérieure. Il est conseillé aux candidats qui représentent le même dossier, d'analyser leurs prestations et notes antérieures pour engager ce même dossier et leur prestation dans une démarche d'amélioration.

Une véritable problématique technique identifiée sur le support est nécessaire pour justifier et donner du sens aux analyses scientifiques et technologiques.

Ainsi, le jury a apprécié l'introduction par certains candidats d'expérimentations en rapport avec la problématique traitée.

Quel que soit le support analysé, les éléments de définition du système (produit, processus, ...) tels que cahier des charges fonctionnel du produit, dessin de définition, processus de réalisation, documents graphiques descriptifs du ou des outillages doivent être associés au dossier.

Les candidats doivent veiller à proposer des documents graphiques aux normes en relation avec l'étude menée. Le jury pourra toutefois être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles », le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Les candidats veilleront à ne pas rechercher de procédé ou de système technologique conduisant à une prestation purement descriptive et sans développement scientifique et technologique personnel.

Le jury attend que le candidat développe des séquences pédagogiques et propose une progression au sein de laquelle prend part la ou les séances détaillées.

Une simple évocation des intentions pédagogiques ne saurait satisfaire aux exigences de l'épreuve.

A minima, on pourra trouver les parties suivantes : le contexte, l'entreprise, le système étudié, la ou les problématiques techniques, les développements au plus haut niveau permettant de déboucher sur une conclusion liée à la résolution de ces problématiques.

Ainsi, ces développements scientifiques et technologiques seront adaptés puis réinvestis dans l'exploitation pédagogique.

L'aspect technologique et scientifique

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

- de placer l'étude d'une manière adaptée dans le cadre général d'une méthode moderne de développement de produit (ingénierie collaborative, simulation numérique, optimisation produit-matériau-procédé, spécifications ISO, utilisation d'une chaîne numérique intégrée, pré-industrialisation, industrialisation, réalisation, ...) sans voir dans chaque point un passage obligé ;
- de conserver un regard critique par rapport au travail réalisé en lien avec l'entreprise.

Le jury rappelle aux candidats que le développement de l'étude scientifique et technologique ne peut pas se résumer à l'élaboration d'outils d'analyse. *In fine*, si ces outils sont nécessaires à l'étude, ils n'ont de sens que pour répondre à la conception ou reconception technique de tout ou partie du système étudié, objet de la problématique à résoudre.

Les développements scientifiques nécessitent parfois l'utilisation d'outils multi physiques (démonstration, simulation, ...). Les candidats doivent être en mesure de justifier le choix, la conception de leur modèle et les éléments caractéristiques constitutifs.

Le jury apprécie des réponses précises quant au contexte de la conception, de l'industrialisation ou de la réalisation car elles attestent d'une réelle investigation au sein de l'entreprise, fruit d'une étroite collaboration.

L'aspect pédagogique

Dans sa partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Au moins une d'entre elles doit faire l'objet d'un développement conséquent. C'est une séquence complète qu'il s'agit de développer. Outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, il est impératif de mettre en situation la ou les activités proposées, leurs finalités pédagogiques et d'intégrer cette séquence dans une progression pédagogique formalisée sur le cycle de formation.

Le jury regrette, malgré ses précédentes recommandations, que trop peu de dossiers n'aient présenté ces caractéristiques pour la session 2024.

La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury. La partie pédagogique ne peut pas être entièrement distincte de la problématique ayant fait l'objet d'investigations dans la partie étude scientifique et technique.

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

L'expression et la communication dans le dossier

La qualité du dossier et le respect des règles qui lui sont imposées (date d'envoi, support numérique) montrent la maîtrise par le candidat des outils de la communication écrite et la façon dont il s'inscrit dans une institution.

La prestation du candidat, à l'oral, permet au jury d'évaluer qu'il sait maîtriser la communication dans une classe et exercer de manière efficace et sereine sa fonction de professeur.

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

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats :

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