



Concours de recrutement du second degré

Rapport de jury

Concours : Agrégation interne

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

**Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et
Ingénierie mécanique**

Session 2016

Rapport de jury présenté par :
Monsieur Michel RAGE , Inspecteur général
Président du jury

SOMMAIRE

<i>Avant-propos</i>	3
<i>RÉSULTATS STATISTIQUES</i>	6
ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR	7
ÉPREUVE D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN DOSSIER TECHNIQUE	41
ACTIVITE PRATIQUE, EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN SYSTEME PLURI-TECHNIQUE	50
ÉPREUVE SUR DOSSIER	59

Avant-propos

L'agrégation interne s'attache à valider le niveau de maîtrise des compétences pour synthétiser les connaissances mobilisables pour répondre à un problème donné ; mais aussi et surtout pour élaborer des séquences pédagogiques.

Ces compétences, pour l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie mécanique sont d'ordre scientifique, technologique, professionnel et pédagogique. Elles doivent aussi révéler le potentiel d'adaptabilité du candidat à faire évoluer ses pratiques pédagogiques et à montrer sa capacité à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution. Des produits récents et innovants doivent illustrer en permanence nos enseignements.

Cette session 2016 est la troisième d'un concours dont les épreuves ont largement évolué par rapport aux sessions antérieures. Les deux épreuves d'admissibilité ont donné des résultats peu satisfaisants dans leur globalité. Cette session, dotée d'un faible nombre de places à pourvoir, s'est révélée extrêmement sélective.

Les épreuves d'admissibilité sont définies ainsi :

- **1° Sciences industrielles de l'ingénieur.** *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 aux besoins exprimés 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 automatique. Durée : quatre heures ; coefficient 2.*
- **2° Exploitation pédagogique d'un dossier technique.** *A partir d'un dossier technique fourni au candidat comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, dont le thème est proposé par le jury, relative 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, et aux enseignements des BTS du domaine considéré ainsi que les documents techniques et pédagogiques nécessaires (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation). Durée : six heures ; coefficient 1.*

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

Afin de bien préparer la deuxième épreuve, je conseille fortement aux futurs candidats de lire attentivement les commentaires liés aux épreuves d'admission contenus dans ce rapport et de bien analyser les sujets zéro, notamment ceux du CAPET SII publiés sur le site du ministère, qui montrent parfaitement les concepts liés à la conception de séquences de formation : (<http://www.education.gouv.fr/cid49096/exemples-de-sujets-et-notes-de-commentaires-concours-du-second-degre.html>).

Les épreuves d'admission sont définies ainsi :

- **1° Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique.** *Dans l'option choisie, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi les deux proposés ci-après : "conception des systèmes mécaniques" ou "industrialisation des systèmes mécaniques".*

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

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

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

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

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

Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures ; préparation de l'exposé : 1 heure ; exposé : 40 minutes maximum ; entretien : 20 minutes maximum) Coefficient 2.

10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

2° Épreuve sur dossier. *L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un domaine de l'option préparée, suivie d'un entretien.*

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.

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

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les

évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes en collège ou en lycée.

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

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

Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

La première épreuve comporte deux évaluations distinctes et complémentaires. Si les compétences scientifiques et technologiques sont évaluées dans la première partie, c'est bien une évaluation des compétences pédagogiques qui sont elles majoritairement analysées dans la deuxième partie. La difficulté des candidats à appréhender cette dernière est préoccupante, elle est pourtant l'essence même des démarches pédagogiques d'aujourd'hui.

La deuxième, très exigeante, se prépare dès maintenant ; de la pertinence du choix du support technique dépend la qualité du dossier. Ainsi, cette épreuve impose aux professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème authentique puis de concevoir une séquence d'enseignement en adaptant les documents techniques initiaux au niveau des élèves.

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

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

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

Michel RAGE
Président du jury

RÉSULTATS STATISTIQUES

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la 1 ^{re} épreuve d'admissibilité	Présents à la 2 ^e épreuve d'admissibilité	Admissibles	Présents aux deux épreuves d'admission	Admis
Public	307	7	206	203	17	16	7
Privé	34	1	23	24	3	3	1

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	16,38
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	13,4
Moyenne obtenue par le premier candidat admis	15,12
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	12,78

Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Coefficient 2 – Durée 4 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère



Éléments de correction

Première partie – Étude de la chaîne cinématique

Question 1. A partir du modèle cinématique défini sur la figure 1, déterminer l'expression de k

avec $k = \left| \frac{\omega_{2/1}}{\omega_{5/1}} \right| = \left| \frac{\omega_{\text{mot1}}}{\omega_{\text{rouem}}} \right|$ en fonction des nombres de dents Z_i des différentes roues i . En déduire

le nombre de dents Z_5 sachant que $k = 53$.

$$k = \left| \frac{\omega_{2/1}}{\omega_{5/1}} \right| = \left| \frac{\omega_{\text{mot1}}}{\omega_{\text{rouem}}} \right| = \frac{Z_5 Z_{4-3} Z_{3-2}}{Z_{4-5} Z_{3-4} Z_2}$$

A.N. :

$$\text{Sachant que } k = 53 \text{ alors } Z_5 = \frac{k Z_{4-5} Z_{3-4} Z_2}{Z_{4-3} Z_{3-2}} = \frac{53 \times 32 \times 21 \times 20}{71 \times 79} \approx 126,99$$

Or Z_5 est un entier donc $Z_5 = 127$.

Question 2. On suppose un roulement sans glissement des roues de l'avion par rapport à la piste. L'avion se déplace en ligne droite, sa vitesse par rapport à la piste est notée $V(t)$, déterminer en fonction de $V(t)$ l'expression de la vitesse de rotation des rotors des moteurs $M1$ et $M2$ par rapport au train principal. Ces vitesses seront notées respectivement ω_{mot1} et ω_{mot2} .

Roulement sans glissement entre la roue motorisée $\underline{5}$ et la piste en A_1 donc :

$$\vec{V}(A_1, \text{roue motorisée/piste}) = \vec{V}(A_1, 5/\text{piste}) = \vec{0}$$

$$\text{De plus } \vec{V}(A_1, 5/\text{piste}) = \vec{V}(A_1, 5/1) + \vec{V}(A_1, 1/\text{piste})$$

$$\text{Alors } \vec{\Omega}_{5/1} \wedge \overrightarrow{C_1 A_1} + V(t) \vec{y}_a = \vec{0}$$

$$\omega_{5/1} \vec{x}_a \wedge -R \vec{z}_a + V(t) \vec{y}_a = \vec{0} \quad \text{et} \quad \omega_{5/1} = \omega_{\text{rouem}}$$

$$\text{Donc } V(t) = -R \omega_{\text{rouem}}(t)$$

$$\text{De plus } \frac{\omega_{\text{mot1}}}{\omega_{\text{rouem}}} = - \frac{Z_5 Z_{4-3} Z_{3-2}}{Z_{4-5} Z_{3-4} Z_2} = -k$$

Donc comme l'avion se déplace en ligne droite on trouve :

$$\omega_{\text{mot1}} = \omega_{\text{mot2}} = k \frac{V(t)}{R}$$

Question 3. Lors du taxiage, le CdCF donne une vitesse maxi de l'avion par rapport à la piste de 20 kts = 20 nœuds (1 nœud = 1,852 km.h⁻¹), calculer la vitesse de rotation maxi des moteurs en tr.min⁻¹.

$$(\omega_{\text{mot1}})_{\text{maxi}} = (\omega_{\text{mot2}})_{\text{maxi}} = k \frac{V_{\text{maxi}}}{R}$$

A.N. : Sachant que $k = 53$; $R = 0,55 \text{ m}$ et $V_{\text{maxi}} = 20 \text{ kts}$.

$$(\omega_{\text{mot1}})_{\text{maxi}} = (\omega_{\text{mot2}})_{\text{maxi}} = 53 \times \frac{20 \times 1,852}{0,55 \times 3,6} \times \frac{30}{\pi} \approx 9467,9 \text{ tr. min}^{-1}$$

Question 4. En supposant qu'il y a roulement sans glissement en A_1 et A_2 entre les roues motorisées et la piste, déterminer l'expression des vitesses de rotation (ω_{mot1} et ω_{mot2}) à imposer aux moteurs M1 et M2 en fonction de R , k , $V(t)$, L_2 , L_3 et $\theta(t)$.

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est un mouvement plan, on définit le point I (appelé Centre Instantané de Rotation de l'avion/piste) tel que : $\vec{V}(I, \text{avion/piste}) = \vec{0}$ donc :

$$\vec{V}(E, \text{avion/piste}) = \omega_{\text{avion/piste}} \vec{z}_a \wedge \overline{IE}$$

$$\text{De plus } \vec{V}(E, \text{avion/piste}) = V(t) \vec{y}_a \quad \text{et} \quad \overline{IE} = Rvm \vec{x}_a$$

$$\text{Alors} \quad \omega_{\text{avion/piste}} = \frac{V(t)}{Rvm}$$

$$\text{Et} \quad \vec{V}(C_1, \text{avion/piste}) = \frac{V(t)}{Rvm} (Rvm + L_3) \vec{y}_a$$

$$\vec{V}(C_2, \text{avion/piste}) = \frac{V(t)}{Rvm} (Rvm - L_3) \vec{y}_a$$

Roulement sans glissement entre la roue motorisée et la piste en A_1 donc :

$$\vec{V}(A_1, \text{roue motorisée/piste}) = \vec{0}$$

$$\vec{V}(A_1, \text{roue motorisée/avion}) + \vec{V}(A_1, \text{avion/piste}) = \vec{0}$$

$$\text{Alors} \quad R \omega_{\text{rouem1}} \vec{y}_a + \vec{V}(C_1, \text{avion/piste}) = \vec{0}$$

$$\text{De plus } \tan\theta = \frac{L_2}{Rvm}$$

$$\text{Et} \quad \frac{\omega_{\text{mot1}}}{\omega_{\text{rouem1}}} = -k$$

Donc on trouve :

$$\omega_{\text{mot1}} = \frac{k V(t)}{R} \left(1 + \frac{L_3}{L_2} \tan\theta \right)$$

Avec la même démarche on trouve :

$$\omega_{\text{mot2}} = \frac{k V(t)}{R} \left(1 - \frac{L_3}{L_2} \tan\theta \right)$$

Question 5. Le CdCF impose $(Rvm)_{\text{mini}} = L_3$ c'est-à-dire que l'avion doit pouvoir tourner autour du point A_2 ou du point A_1 , en déduire les expressions de ω_{mot1} et ω_{mot2} .

$$\text{Rotation autour du point } A_2 \text{ donc : } \omega_{\text{mot1}} = \frac{2k V(t)}{R} \quad \text{et} \quad \omega_{\text{mot2}} = 0$$

Deuxième partie – Étude de la motorisation

Question 6. En appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique en A à l'avion, déterminer l'ensemble des équations scalaires.

On isole l'avion.

Inventaire des actions mécaniques extérieures exercées sur l'avion :

- L'action de la piste sur les deux roues motorisées :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{roues motorisées})\} = 2 \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{p \rightarrow RM} = T_1 \vec{y}_a + N_1 \vec{z}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

- L'action de la piste sur les deux roues non motorisées :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{roue non motorisée})\} = 2 \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{p \rightarrow RNM} = N_1 \vec{z}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

- L'action de la piste sur le train avant :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{train avant})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{p \rightarrow TA} = N_2 \vec{z}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B$$

- La résistance au roulement des pneumatiques due à leur déformation :

$$\{T(\text{résistance au roulement} \rightarrow \text{avion})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{RR} = -C_{RR} M \vec{y}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B$$

- L'action de la pesanteur sur l'avion :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{train avant})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{pesanteur} \rightarrow \text{avion}} = -M g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$$

Application du Principe Fondamental de la Dynamique à l'avion en A :

$$\{T(\overline{\text{avion}} \rightarrow \text{avion})\} = \{D(\text{avion} / Rg)\} \quad \text{avec } Rg = R_0 = R_p$$

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est une translation rectiligne et l'inertie de tous les

solides en rotation est négligée, alors $\{D(\text{avion} / Rg)\} = \left\{ \begin{array}{l} M \gamma \vec{y}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$.

Théorème de la résultante dynamique :

$$2 T_1 \vec{y}_a + 4 N_1 \vec{z}_a + N_2 \vec{z}_a - C_{RR} M \vec{y}_a - M g \vec{z}_0 = M \gamma \vec{y}_a$$

Donc on obtient les équations scalaires suivantes :

$$\begin{cases} 2 T_1 - C_{RR} M - M g \sin \alpha = M \gamma \\ 4 N_1 + N_2 - M g \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

Théorème du moment dynamique en A en projection sur \vec{x}_a :

$$\begin{aligned} (\vec{AB} \wedge N_2 \vec{z}_a) \cdot \vec{x}_a + (\vec{AG} \wedge (-M g \vec{z}_0)) \cdot \vec{x}_a &= (\vec{AG} \wedge M \gamma \vec{y}_a) \cdot \vec{x}_a \\ (L_2 \vec{y}_a \wedge N_2 \vec{z}_a) \cdot \vec{x}_a + ((L_1 \vec{y}_a + h \vec{z}_a) \wedge (-M g \vec{z}_0)) \cdot \vec{x}_a &= ((L_1 \vec{y}_a + h \vec{z}_a) \wedge M \gamma \vec{y}_a) \cdot \vec{x}_a \end{aligned}$$

$$\boxed{L_2 N_2 - M g L_1 \cos \alpha + M g h \sin \alpha = -M \gamma h}$$

Question 7. En déduire l'expression littérale :

a) De l'effort tangentiel T_1 en fonction de M , g , α , C_{RR} et γ .

$$\boxed{T_1 = \frac{M}{2} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})}$$

b) De l'effort normal N_2 en fonction de $M, g, \alpha, L_1, L_2, h$ et γ .

$$N_2 = \frac{M}{L_2} (g L_1 \cos \alpha - \gamma h - g h \sin \alpha)$$

c) De l'effort normal N_1 en fonction de $M, g, \alpha, L_1, L_2, h$ et γ .

$$4 N_1 = -\frac{M}{L_2} (g L_1 \cos \alpha - \gamma h - g h \sin \alpha) + M g \cos \alpha$$

$$N_1 = \frac{M}{4} \left(\left(1 - \frac{L_1}{L_2} \right) g \cos \alpha + \frac{h}{L_2} (\gamma + g \sin \alpha) \right)$$

Question 8. Déterminer la relation entre N_1 et T_1 garantissant l'adhérence entre les roues motorisée et le sol. En déduire la relation entre $f_0, g, \alpha, C_{RR}, L_1, L_2, h$ et γ .

Loi de Coulomb, il y aura adhérence si on vérifie : $\left| \frac{T_1}{N_1} \right| < f_0$

Soit $\left| \frac{2 L_2 (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})}{(L_2 - L_1) g \cos \alpha + h (\gamma + g \sin \alpha)} \right| < f_0$

Sachant que la pente de la piste est au maximum de 1,5%, l'adhérence est-elle garantie pour les différents cas définis ci-dessous ?

A.N. : $M = 79000 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$; $C_{RR} = 0,07 \text{ N.kg}^{-1}$; $L_1 = 1,5 \text{ m}$; $L_2 = 12,7 \text{ m}$ et $h = 4 \text{ m}$.

Pente maximum de 1,5% donc $\alpha = \arctan(0,015) \approx 0,86^\circ$

Accélération : $\gamma = \frac{5,14}{20} = 0,257 \text{ m.s}^{-2}$

Donc

$$\left| \frac{2 L_2 (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})}{(L_2 - L_1) g \cos \alpha + h (\gamma + g \sin \alpha)} \right| = \left| \frac{2 \times 12,7 \times (0,257 + 9,81 \times \sin(0,86^\circ) + 0,07)}{(12,7 - 1,5) \times 9,81 \times \cos(0,86^\circ) + 4 \times (0,257 + 9,81 \times \sin(0,86^\circ))} \right|$$

$$\left| \frac{2 L_2 (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})}{(L_2 - L_1) g \cos \alpha + h (\gamma + g \sin \alpha)} \right| \approx 0,108$$

Pour le cas 1 ($f_0 = 0,5$) et le cas 2 ($f_0 = 0,3$) on vérifie bien $\left| \frac{T_1}{N_1} \right| < f_0$ donc l'adhérence est garantie.

Pour le cas 3 ($f_0 = 0,1$) l'adhérence n'est pas garantie car $\left| \frac{T_1}{N_1} \right| > f_0$.

Question 9. Le rapport des vitesses de rotation du rotor du moteur électrique et de la roue motorisée est défini par : $k = \left| \frac{\omega_{mot}}{\omega_{rouem}} \right| = 53$. En précisant votre démarche, montrer que la relation littérale définissant le couple « C_{mot} » de chaque moteur est : $C_{mot} = \frac{RM}{2k} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})$.

On isole une roue motorisée

Inventaire des actions mécaniques extérieures exercées sur la roue motorisée :

- L'action de la piste sur la roue motorisée :

$$\{T(\text{piste} \rightarrow \text{roue motorisée})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{p \rightarrow RM} = T_1 \vec{y}_a + N_1 \vec{z}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

- L'action de 4 sur la roue motorisée : $\{T(4 \rightarrow \text{roue motorisée})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{4 \rightarrow RM} \\ C_{rouem} \vec{x}_a \end{array} \right\}_C$

- L'action de 1 sur la roue motorisée :

$$\{T(1 \rightarrow \text{roue motorisée})\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1 \rightarrow RM} \\ \vec{M}(C, 1 \rightarrow RM) \end{array} \right\}_C \text{ avec } \vec{M}(C, 1 \rightarrow RM) \bullet \vec{x}_a = 0$$

Les inerties et les masses des solides en rotation sont négligées.

Théorème du moment dynamique en A en projection sur \vec{x}_a :

$$(\vec{CA} \wedge (T_1 \vec{y}_a + N_1 \vec{z}_a)) \bullet \vec{x}_a + C_{rouem} = \vec{\delta}(C, \text{roue motorisée}/R_0) \bullet \vec{x}_a$$

$$(-R \vec{z}_a \wedge (T_1 \vec{y}_a + N_1 \vec{z}_a)) \bullet \vec{x}_a + C_{rouem} = 0$$

$$C_{rouem} = -R T_1 \quad \text{or} \quad T_1 = \frac{M}{2} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})$$

$$\text{Donc } C_{rouem} = -\frac{R M}{2} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})$$

Les inerties et les masses des solides en rotation sont négligées, les solides en rotation sont équilibrés et les liaisons sont supposées parfaites donc : $C_{mot} \omega_{mot} = C_{rouem} \omega_{rouem}$.

$$\text{On a aussi : } \frac{\omega_{mot}}{\omega_{rouem}} = -k.$$

$$C_{mot} = \frac{R M}{2k} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})$$

Remarque :

Pour retrouver cette relation, on peut aussi appliquer le théorème de l'énergie cinétique (énergie-puissance) à l'ensemble avion dans son mouvement par rapport à la piste.

$$\frac{d E_C(\text{avion}/R_p)}{dt} = P(\text{avion} \rightarrow \text{avion}/R_p) + P_{int}$$

$$\text{Avec } \frac{d E_C(\text{avion}/R_p)}{dt} = M V(t) \gamma \quad \text{car les inerties des solides en rotation sont négligées.}$$

Les liaisons sont supposées parfaites, donc :

$$P(\text{avion} \rightarrow \text{avion}/R_p) + P_{int} = -M g \sin \alpha V(t) - C_{RR} V(t) + 2 C_{mot} \omega_{mot}(t)$$

$$\text{Or } \omega_{mot} = k \frac{V(t)}{R} \quad \text{donc le TEC donne : } M V(t) \gamma = -M g \sin \alpha V(t) - C_{RR} V(t) + 2 C_{mot} k \frac{V(t)}{R}$$

$$\text{On obtient : } C_{mot} = \frac{R M}{2k} (\gamma + g \sin \alpha + C_{RR})$$

Question 10. On rappelle que la pente de la piste est au maximum de 1,5 %, calculer le couple moteur maximum $(C_{mot})_{Maxi}$ pour chaque moteur. En déduire la puissance P_{max} du moteur.

$$\text{A.N. : } M = 79000 \text{ kg ; } g = 9,81 \text{ m.s}^{-2} ; C_{RR} = 0,07 \text{ N.kg}^{-1} ; \alpha \approx 0,86^\circ ; \gamma = 0,257 \text{ m.s}^{-2}$$

et $R = 0,55 \text{ m}$

$$(C_{mot})_{Maxi} = \frac{0,55 \times 79 \times 10^3 \times (0,257 + 9,81 \times \sin(0,86^\circ) + 0,07)}{2 \times 53}$$

$$(C_{mot})_{Maxi} \approx 194,35 \text{ N.m}$$

Pour le profil de vitesse donné on a : $(\omega_{mot})_{Maxi} = 53 \frac{5,14}{0,55} = 496,27 \text{ rad.s}^{-1}$

Donc la puissance maxi du moteur est : $P_{Max} = (C_{mot})_{Maxi} (\omega_{mot})_{Maxi} \approx 96,45 \text{ kW}$

Question 11. Déterminer la durée $t_f - t_2$, qui correspond à la phase de décélération, afin de limiter le couple moteur C_{mot} à $+10 \text{ Nm}$.

Avec la restriction $\alpha = 0$, le couple moteur a pour expression :

$$C_{mot} = \frac{RM}{2k}(\gamma + C_{RR}) \Rightarrow \gamma = \frac{2k}{RM}C_{mot} - C_{RR}$$

Pour $t \in [t_2, t_f]$, on substitue à l'accélération le rapport des accroissements finis de la vitesse et du temps :

$$\gamma = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2k}{RM}C_{mot} - C_{RR}$$

Soit :

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{\frac{2k}{RM}C_{mot} - C_{RR}}$$

A.N. : $R = 0,55 \text{ m}$, $M = 79000 \text{ kg}$, $C_{RR} = 0,07 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, $k = 53$

$$\Delta t = - \frac{5,14}{\frac{2 \times 53}{0,55 \times 79000} \times 10 - 0,07} = 112,7 \text{ s} \approx 1,88 \text{ mn}$$

Question 12. Pour le profil de vitesse proposé sur la figure 5, tracer l'évolution du point de fonctionnement $c_{mot} = f(\omega_{mot})$ d'un moteur.

Compléter le document DR1 en précisant bien les valeurs puissance, couple et vitesse aux points caractéristiques et commentez.

Temps(s)	$C_{mot}(\text{Nm})$	$\omega_{mot} = \frac{k}{R}V(\text{rd/s})$
$[0, \dots, t_1[$	134	-
$[t_1, \dots, t_2[$	28,7	495
$[t_2, \dots, t_f]$	10	-

$t_f = 10 \text{ min}$

Cf. DR1 pour l'évolution du point de fonctionnement et ses valeurs remarquables.

Question 13. Calculer le couple thermique c_{th} , l'équilibre thermique de la machine est-il assuré ?

Le couple équivalent thermique est défini par l'expression : $c_{th} = \sqrt{\frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} c_{mot}^2(t) dt}$.

Il est assuré lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites (Cf. DR1) :

- Le couple (c_{th}, ω_{moy}) se situe dans la zone du plan couple-vitesse délimitée par la frontière 1.
- L'évolution du point de fonctionnement (c_{mot}, ω_{mot}) reste confiner à l'intérieur de la zone délimitée 2.

Remarque : il n'est pas demandé de calculer explicitement la vitesse moyenne ω_{moy} . On cherche simplement à localiser le couple (c_{th}, ω_{moy}) .

$$c_{th}^2 = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} c_{mot}^2(t) dt = \frac{1}{t_f} \left[\int_0^{t_1} c_{mot}^2(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} c_{mot}^2(t) dt + \int_{t_2}^{t_f} c_{mot}^2(t) dt + \right]$$

$$\Rightarrow c_{th}^2 = \frac{1}{t_f} \left[c_{mot[0, \dots, t_1]}^2 t_1 + c_{mot[t_1, \dots, t_2]}^2 (t_2 - t_1) + c_{mot[t_2, \dots, t_f]}^2 (t_f - t_2) \right]$$

$$AN : c_{th}^2 = \frac{1}{600} [134^2 \times 20 + 29^2 \times (600 - 20 - 112,7) + 10^2 \times 112,7]$$

$$c_{th} = 35,66 \text{ Nm}$$

Les deux conditions sont réunies. En conséquence, l'équilibre thermique de la machine est assuré.

Question 14. Au regard des résultats obtenus et des contraintes imposées par le cahier des charges, une motorisation « standard » peut-elle convenir ou faut-il développer un produit spécifique ?

Les contraintes sont extraites du diagramme partiel des exigences :

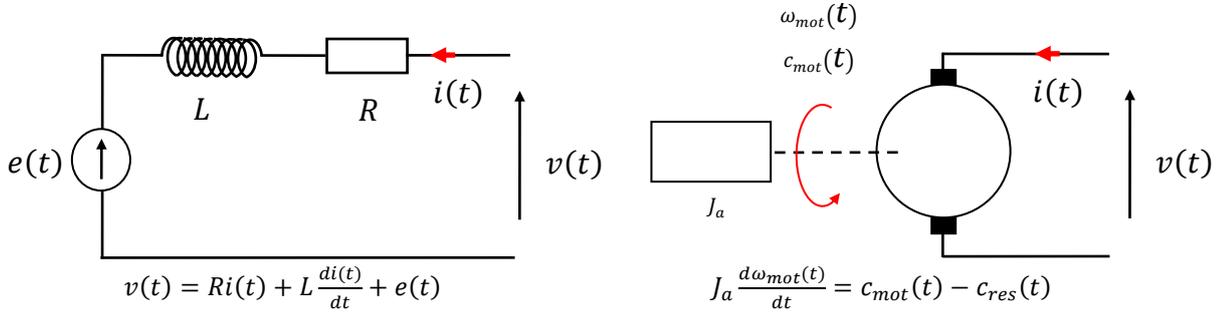
- 1- La masse d'un moteur ne doit pas dépasser 120 kg.
- 2- L'EGTS doit s'intégrer aux trains principaux en minimisant l'encombrement .
- 3- Le couple retenu est de 134 Nm. Le couple de décollage ainsi que les aspects dynamiques ne sont pas considérés.

TIPO MOTORE MOTOR TYPE	simbolo symbol	u. mis. u. m.	B26S			B26M			B26L			B26G		
Tensione di alimentazione azionamento Drive operating voltage			400V											
Coppia a rotore bloccato 100K Δt Continuous stall torque 100K Δt	To	Nm	122	120	121	232	236	231	338	338	337	442	442	445
Coppia a rotore bloccato 65K Δt Continuous stall torque 65K Δt	To	Nm	99	97	97	187	190	186	273	273	272	356	356	359
Velocità nominale Rated Speed	n	RPM	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000
Potenza alla velocità nominale 100K Δt Power at rated speed 100K Δt	Pn	W	12810	24453	35168	23835	46189	62800	34230	64372	86350	44205	82137	108330
Coppia alla velocità nominale 100K Δt Torque at rated speed 100K Δt	Tn	Nm	122	117	112	227	221	200	326	308	275	411	393	345
Coppia di picco con S.I.R. 10% Peak torque with S.I.R. 10%	Tpk	Nm	333	333	333	638	638	638	931	931	931	1241	1214	1214
Inerzia rotorica Rotor Inertia	Jm	mKgm ²	22,0	22,0	22,0	36,0	36,0	36,0	49,0	49,0	49,0	63,0	63,0	63,0
Inerzia rotorica (motore con freno) Rotor Inertia (motor with brake)	Jmb	mKgm ²	30,1	30,1	30,1	44,1	44,1	44,1	62,0	62,0	62,0	76,0	76,0	76,0
Accelerazione rif. alla coppia di picco Acceleration at peak torque	apk	rad/s ²	15149	15149	15149	17733	17733	17733	19007	19007	19007	19271	19271	19271
Accelerazione rif. alla coppia di picco (motore con freno) Acceleration at peak torque (motor with brake)	apkb	rad/s ²	11000	11000	11000	14400	14400	14400	15000	15000	15000	16000	16000	16000
Massa Weight	M	Kg	55	55	55	85	85	85	116	116	116	146	146	146
Massa con freno Weight with brake	Mb	Kg	85	85	85	115	115	115	151	151	151	181	181	181

Les valeurs encadrées rendent éligible la motorisation pour le paramètre considéré. Une motorisation « sur étagère » existe, le problème porte sur les aspects dimensionnels qui sont incompatibles avec les contraintes imposées par l'expression du besoin. Ainsi, les machines qui ont pour référence B26M et B26L ont une longueur respective de 577 et 684 mm. La motorisation est un des éléments de la chaîne de transmission à laquelle il faut ajouter un étage de réduction, un embrayage et un élément qui assure la liaison mécanique avec la roue de l'avion. L'ensemble est placé entre les deux roues du train d'atterrissage principal qui ont un rayon de 0,55 m. Le volume disponible ne permet pas d'intégrer un produit standard. En conséquence, un développement spécifique s'impose.

Troisième partie – Étude de l'asservissement

Question 15. Ecrire l'équation de la maille du modèle électrique ainsi que l'équation mécanique appliquée au modèle linéaire de la machine représenté sur la **figure 7**.



Equations de liaisons : $e(t) = K\omega_{mot}(t)$ et $c_{mot}(t) = Ki(t)$

Question 16. A partir des relations établies précédemment, exprimer $I(p)$ tel que :

$$I(p) = H_1(p)V(p) + H_2(p)C_{res}(p)$$

▪ Montrer que les fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ ont les expressions canoniques suivantes :

$$H_1(p) = H_0 \frac{p}{\omega_1(p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2)} \quad \text{avec : } \omega_n^2 = \frac{K^2}{LJ_a}, \quad \omega_1 = \frac{K^2}{RJ_a}, \quad \xi = \frac{1}{2} \frac{R}{K} \sqrt{\frac{J_a}{L}} \quad \text{et } H_0 = \frac{1}{R}$$

et
$$H_2(p) = \frac{1}{K} \frac{\omega_n^2}{(p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2)}$$

$$\begin{cases} v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} V(p) = (R + Lp)I(p) + E(p) \\ J_a \frac{d\Omega_{mot}(t)}{dt} = c_{mot}(t) - c_{res}(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} J_a p \Omega_{mot}(p) = C_{mot}(p) - C_{res}(p) \\ e(t) = K\omega_{mot}(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} E(p) = K\Omega_{mot}(p) \\ c_{mot}(t) = Ki(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} C_{mot}(p) = KI(p) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I(p) = \frac{V(p) - E(p)}{R + Lp} \\ E(p) = K\Omega_{mot}(p) \\ \Omega_{mot}(p) = \frac{KI(p) - C_{res}(p)}{J_a p} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I(p) = \frac{V(p) - K\Omega_{mot}(p)}{R + Lp} \\ \Omega_{mot}(p) = \frac{KI(p) - C_{res}(p)}{J_a p} \end{cases} \text{ et}$$

$$\Rightarrow I(p) = \frac{1}{R + Lp} V(p) - \frac{K}{R + Lp} \Omega_{mot}(p) = \frac{1}{R + Lp} V(p) - \frac{K^2}{J_a p(R + Lp)} I(p) + \frac{K}{J_a p(R + Lp)} C_{res}(p)$$

$$\Rightarrow \left[1 + \frac{K^2}{J_a p(R + Lp)} \right] I(p) = \frac{1}{R + Lp} V(p) + \frac{K}{J_a p(R + Lp)} C_{res}(p)$$

$$\Rightarrow I(p) = \frac{J_a p}{K^2 + RJ_a p + LJ_a p^2} V(p) + \frac{K}{K^2 + RJ_a p + LJ_a p^2} C_{res}(p)$$

$$\text{soit : } I(p) = \frac{1}{R} \frac{p}{\frac{K^2}{RJ_a} + \frac{R}{L} p + p^2} V(p) + \frac{1}{K} \frac{\frac{K^2}{LJ_a}}{\frac{K^2}{LJ_a} + \frac{R}{L} p + p^2} C_{res}(p)$$

Par identification :

$$H_1(p) = \frac{1}{R} \frac{p \frac{K^2}{LJa}}{\frac{K^2}{RJa} + \frac{K^2}{LJa} p + p^2} \quad H_2(p) = \frac{1}{K} \frac{\frac{K^2}{LJa}}{\frac{K^2}{LJa} + \frac{R}{L} p + p^2}$$

Nous vérifions bien que : $H_0 = \frac{1}{R}$, $\omega_n^2 = \frac{K^2}{LJa}$, $\omega_1 = \frac{K^2}{RJa}$ et l'amortissement $\xi = \frac{1}{2} \frac{R}{K} \sqrt{\frac{Ja}{L}}$

AN : $H_0 \cong 143 \Omega^{-1}$, $\omega_n \cong 0,158 \text{ rd/s}$, $\omega_1 \cong 0,01 \text{ rd/s}$ et l'amortissement $\xi \cong 7,37$

- Conclure quant au comportement du système, est-il sur ou sous-amorti ?

$\xi > 1$, le système est sur amorti.

Question 17. Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée $H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)}$ pour $C_{res}(p) = 0$.

- Montrer qu'elle peut s'écrire sous la forme suivante :

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = k_{cons} \frac{p}{\omega_1 (p^2 + 2\xi'\omega_n p + \omega_n^2)}$$

Avec la restriction $C_{res}(p) = 0$ et les hypothèses, nous avons : $\begin{cases} I(p) = H_1(p)V(p) \\ V(p) = k_c(I_{cons}(p) - k_i I(p)) \end{cases}$

$$\Leftrightarrow I(p) = k_c H_1(p)(I_{cons}(p) - k_i I(p))$$

$$\Rightarrow I(p)(1 + k_i k_c H_1(p)) = k_c H_1(p) I_{cons}(p) \Leftrightarrow \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \frac{k_c H_1(p)}{1 + k_i k_c H_1(p)}$$

Soit :

$$\frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \frac{H_0 k_c \frac{p \frac{\omega_n^2}{\omega_1 \omega_n^2 + 2\xi \omega_n p + p^2}}{1 + H_0 k_c k_i \frac{p \frac{\omega_n^2}{\omega_1 \omega_n^2 + 2\xi \omega_n p + p^2}}} = \frac{H_0 k_c}{k_{cons}} \frac{p \frac{\omega_n^2}{\omega_1 p^2 + 2(\xi + \frac{1}{2} H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1}) \omega_n p + \omega_n^2}}{\xi'}$$

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} = \frac{H_0 k_c}{k_{cons}} \frac{p}{\omega_1 p^2 + 2(\xi + \frac{1}{2} H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1}) \omega_n p + \omega_n^2}$$

- Vous préciserez la valeur du gain k_{cons} ainsi que l'amortissement en boucle fermée ξ' .

Par identification, nous avons :

$$\begin{cases} \xi' = \xi + \frac{1}{2} H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1} \\ k_{cons} = H_0 k_c \end{cases}$$

Question 18. Représenter la fonction de transfert $H_{cons}(p)$ en module et en phase dans le plan de Bode. Compléter le document réponse DR2.

$$\text{AN : } \begin{cases} H_0 = 143 \Omega^{-1} \\ k_i = 10^{-4} \\ k_c = 10^3 V/A \\ \omega_n = 0,158 \text{ rd/s} \\ \omega_1 = 0,01 \text{ rd/s} \\ \xi = 7,37 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \xi' = \xi + \frac{1}{2} H_0 k_c k_i \frac{\omega_n}{\omega_1} \cong 120 \\ k_{cons} = H_0 k_c \cong 103 \text{ dB} \\ \omega_n = 0,158 \text{ rd/s} \end{cases}$$

Le système est fortement sur amorti, en conséquence nous avons deux racines réelles stables p_1, p_2 et un mode dominant.

$$p_1 = -\xi' \omega_n - \omega_n \sqrt{\xi'^2 - 1} \cong -2\xi' \omega_n$$

$$p_2 = -\xi' \omega_n + \xi' \omega_n \sqrt{1 - \frac{1}{\xi'^2}} \cong -\xi' \omega_n + \xi' \omega_n \left(1 - \frac{1}{2\xi'^2}\right) + \mathcal{O}(\xi'^{-2}) \cong -\frac{\omega_n}{2\xi'}$$

$$\text{AN : } p_1 \cong -2\xi' \omega_n = -38 \text{ et } p_2 \cong -\frac{\omega_n}{2\xi'} = -6,6 \times 10^{-4}$$

$$H_{cons}(p) = k_{cons} \frac{p}{\omega_1 (p + 2\xi' \omega_n)} \frac{\omega_n^2}{\left(p + \frac{\omega_n}{2\xi'}\right)} = k_{cons} \frac{p}{\omega_1 (1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$$

$$\begin{cases} \tau_1 = \frac{2\xi'}{\omega_n} \cong 1519 \text{ s} \\ \tau_2 = \frac{1}{2\xi' \omega_n} \cong 26 \text{ ms} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \omega_{c1} = \frac{\omega_n}{2\xi'} \cong 6,6 \times 10^{-4} \text{ rd/s} \\ \omega_{c2} = 2\xi' \omega_n \cong 38 \text{ rd/s} \end{cases}$$

Cf. DR2 pour la représentation du lieu de transfert dans le plan de Bode.

Question 19. Montrer que dans ces conditions la fonction de transfert $H_{cons}(p)$ admet la représentation asymptotique suivante :

$$H_{cons}(p) = \frac{I(p)}{I_{cons}(p)} \cong \frac{1}{k_i} \times \frac{1}{1 + \frac{p}{\omega_c}} \quad \text{avec} \quad \omega_c = H_0 k_c k_i \frac{\omega_n^2}{\omega_1} = k_{cons} k_i \frac{\omega_n^2}{\omega_1}$$

La restriction du support spectral de la consigne est telle que $\omega > \frac{\omega_n}{2\xi'} = \omega_{c1} = \frac{1}{\tau_1}$

En conséquence $\omega \tau_1 > 1$ soit : $H_{cons}(p) \cong k_{cons} \frac{\omega_{c1}}{\omega_1} \frac{1}{1 + \tau_2 p}$

avec $\xi' \cong \frac{1}{2} k_{cons} k_i \frac{\omega_n}{\omega_1} \Rightarrow \frac{1}{k_{cons} k_i} = \frac{\omega_n}{2\xi' \omega_1} = \frac{\omega_{c1}}{\omega_1}$ et $\omega_{c2} = 2\xi' \omega_n = k_{cons} k_i \frac{\omega_n^2}{\omega_1} = \omega_c$

Nous retrouvons bien l'expression recherchée de la fonction de transfert pour $\omega > \omega_{c1}$:

$$H_{cons}(p) \cong \frac{1}{k_i} \times \frac{1}{1 + \frac{p}{\omega_c}}$$

Question 20. Calculer $I_{est}(p)$ en fonction des entrées $I_{ref}(p)$ et $\Omega_{mot}(p)$ ainsi que des constantes k_Ω, k_1 et τ_3 .

$$I_{est}(p) = k_1 \left\{ \frac{I_{ref}(p)}{\tau_3 p} - k_\Omega \Omega_{mot}(p) \right\}$$

Question 21. A partir du précédent résultat et d'une équation supplémentaire sur les courants $I_{ref}(p), I_{est}(p)$ et $I_{cons}(p)$, en déduire la relation entre $I_{cons}(p), I_{est}(p)$ et $\Omega_{mot}(p)$ et les constantes du système.

$$I_{cons}(p) = I_{ref}(p) + I_{est}(p) \Leftrightarrow I_{ref}(p) = I_{cons}(p) - I_{est}(p)$$

$$\Rightarrow I_{est}(p) = k_1 \left\{ \frac{I_{cons}(p) - I_{est}(p)}{\tau_3 p} - k_\Omega \Omega_{mot}(p) \right\}$$

$$\Leftrightarrow I_{est}(p) \left\{ 1 + \frac{k_1}{\tau_3 p} \right\} = \frac{k_1}{\tau_3 p} I_{cons}(p) - k_1 k_\Omega \Omega_{mot}(p)$$

Question 22. Déduire des précédents résultats, la relation recherchée entre le courant $I_{est}(p)$, la vitesse $\Omega_{mot}(p)$ et le couple $C_{res}(p)$.

Equation du modèle de la boucle de courant :

$$\Omega_{mot}(p) = \left\{ I_{cons}(p) \frac{K}{k_i} - C_{res}(p) \right\} \frac{1}{J_a p} \Leftrightarrow I_{cons}(p) = \left\{ J_a p \Omega_{mot}(p) + C_{res}(p) \right\} \frac{k_i}{K}$$

Avec l'équation précédente, nous avons la relation recherchée :

$$I_{est}(p) \left\{ 1 + \frac{k_1}{\tau_3 p} \right\} = \left\{ J_a \frac{k_1 k_i}{K \tau_3} - k_1 k_\Omega \right\} \Omega_{mot}(p) + \frac{k_1 k_i}{K \tau_3 p} C_{res}(p)$$

Question 23. Montrer que pour $\tau_3 = \frac{k_i J_a}{K k_\Omega}$, $i_{est}(t)$ est une estimation linéaire du couple $c_{res}(t)$. On rappelle que $H_{cons}(p) \cong \frac{1}{k_i}$.

$$\text{Pour } J_a \frac{k_1 k_i}{K \tau_3} - k_1 k_\Omega = 0 \Rightarrow \tau_3 = \frac{k_i J_a}{K k_\Omega},$$

$$I_{est}(p) \left\{ 1 + \frac{k_1}{\tau_3 p} \right\} = \frac{k_1 k_i}{K \tau_3 p} C_{res}(p)$$

Soit :

$$I_{est}(p) = \frac{k_i}{K} \frac{1}{1 + \frac{\tau_3}{k_1} p} C_{res}(p)$$

- Donner l'expression de la fonction de transfert $\frac{I_{est}(p)}{C_{res}(p)}$.

$$\frac{I_{est}(p)}{C_{res}(p)} = \frac{k_i}{K} \frac{1}{1 + \frac{\tau_3}{k_1} p}$$

Question 24. Discuter des performances de l'architecture de commande proposée en la comparant à une commande sans estimateur du couple $c_{res}(t)$ soit pour $k_1 \rightarrow 0$.

On vous demande, dans cette question, de faire une synthèse qualitative des performances de la commande.

- Commande sans estimateur du couple $c_{res}(t)$ soit pour $k_1 \rightarrow 0$

L'expression de la vitesse, dans le domaine transformé, a pour expression :

$$\Omega_{mot}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_3}{k_G} p} \times \left(\Omega_{ref}(p) - \frac{k_i}{K k_G k_\Omega} \times C_{res}(p) \right)$$

⇒ erreur de vitesse en régime établi.

- Commande avec estimateur du couple $c_{res}(t)$

$$\Omega_{mot}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_3}{k_G} p} \times \left(\Omega_{ref}(p) - \frac{k_i}{K k_G k_\Omega} \times \frac{\frac{\tau_3}{k_1} p}{1 + \frac{\tau_3}{k_1} p} \times C_{res}(p) \right)$$

⇒ Pas d'erreur de vitesse en régime établi.

⇒ L'action dérivée réduit les composantes BF de $c_{res}(t)$.

Quatrième partie – Étude de l'embrayage

Question 25. Déterminer l'inertie équivalente J_{eq} de l'ensemble $\{2, 3, 4\}$ ramenée sur l'axe de rotation du solide 4 dans son mouvement par rapport à l'avion. Cette inertie équivalente sera exprimée en fonction de J_2, J_3, J_4 et Z_i .

L'inertie équivalente de l'ensemble $\{2, 3, 4\}$ ramenée sur l'axe de rotation du solide 4 :

$$J_{eq} = J_4 + J_3 \left(\frac{\omega_{3/1}}{\omega_{4/1}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_{2/1}}{\omega_{4/1}} \right)^2 = J_4 + J_3 \left(\frac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{Z_{4-3} Z_{3-2}}{Z_{3-4} Z_2} \right)^2$$

Question 26. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble $\{2, 3, 4\}$ et en déduire l'expression de F en fonction $J_2, J_3, J_4, Z_i, R_{4-5}$ et $\dot{\omega}_{roue}$.

Le mouvement de l'avion par rapport à la piste est un mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à la piste. Donc le repère R_a lié à l'avion est un repère galiléen.

Théorème de l'énergie cinétique (énergie puissance) appliqué à l'ensemble $\Sigma = \{2, 3, 4\}$ dans son mouvement par rapport au repère galiléen R_a : $\frac{dE_C(\Sigma/R_a)}{dt} = P(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) + \underbrace{P_{int}}_0$

On sait que : $E_C(\Sigma/R_a) = \frac{1}{2} J_{eq} \omega_{4/1}^2$ donc $\frac{dE_C(\Sigma/R_a)}{dt} = J_{eq} \omega_{4/1} \dot{\omega}_{4/1}$

Pour les puissances galiléennes des actions mécaniques extérieures exercées sur $\{2, 3, 4\}$.

$$P(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = \underbrace{P(\text{pesanteur} \rightarrow \Sigma/R_a)}_0 + P(5 \rightarrow 4/R_a) + \underbrace{P(1 \rightarrow \Sigma/R_a)}_0$$

$$P(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{5 \rightarrow 4.5} = F \vec{u} \\ \vec{D}_{I_{45}} \wedge F \vec{u} \end{array} \right\}_D \otimes \left\{ \begin{array}{l} \vec{\Omega}_{4/1} = \omega_{4/1} \vec{x}_a \\ \vec{0} \end{array} \right\}_D$$

$$P(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/R_a) = (-R_{4.5} \vec{z}_a \wedge F \vec{u}) \bullet \omega_{4/1} \vec{x}_a = \omega_{4/1} R_{4.5} F \cos(20^\circ)$$

On obtient : $J_{eq} \dot{\omega}_{4/1} = R_{4.5} F \cos(20^\circ)$ Remarque $\dot{\omega}_{4/1} > 0$

$$\text{De plus } \left| \frac{\dot{\omega}_{4/1}}{\dot{\omega}_{roue}} \right| = \frac{Z_5}{Z_{4.5}}$$

$$\text{Alors } F = \frac{J_{eq} \frac{Z_5}{Z_{4.5}} |\dot{\omega}_{roue}|}{R_{4.5} \cos(20^\circ)} = \frac{J_{eq} Z_5 |\dot{\omega}_{roue}|}{Z_{4.5} R_{4.5} \cos(20^\circ)}$$

$$\text{Or } J_{eq} = J_4 + J_3 \left(\frac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{Z_{4-3} Z_{3-2}}{Z_{3-4} Z_2} \right)^2$$

$$\text{On obtient : } F = \frac{J_4 + J_3 \left(\frac{Z_{4-3}}{Z_{3-4}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{Z_{4-3} Z_{3-2}}{Z_{3-4} Z_2} \right)^2}{Z_{4.5} R_{4.5} \cos(20^\circ)} Z_5 |\dot{\omega}_{roue}|$$

Question 27. Sachant que le module de l'engrenage pignon 4-5 et roue dentée 5 est de 4 mm. Calculer la valeur de F et conclure.

A.N. : $J_2=0,0152 \text{ kg.m}^2$; $J_3=0,013 \text{ kg.m}^2$; $J_4=0,0561 \text{ kg.m}^2$; $Z_2=20$; $Z_{3-2}=79$; $Z_{3-4}=21$; $Z_{4-3}=71$; $Z_{4-5}=32$ et $Z_5=127$.

$$|\dot{\omega}_{\text{roue}}| = \frac{1750 \times \frac{\pi}{30}}{0,1} = 1832,6 \text{ rad.s}^{-2}$$

$$R_{4-5} = \frac{m Z_{4-5}}{2} = \frac{4 \times 32}{2} = 64 \text{ mm}$$

$$J_{\text{eq}} = 0,0561 + 0,013 \times \left(\frac{71}{21}\right)^2 + 0,0152 \times \left(\frac{71 \times 79}{21 \times 20}\right)^2 = 2,92 \text{ kg.m}^2$$

$$F = \frac{J_{\text{eq}} Z_5 |\dot{\omega}_{\text{roue}}|}{Z_{4-5} R_{4-5} \cos(20^\circ)} \approx \frac{2,92 \times 127 \times 1832,6}{32 \times 64 \times 10^{-3} \times \cos(20^\circ)} \approx 352602 \text{ N}$$

Lors du « taxiage out », le couple maxi du moteur est d'environ 200 N.m, on obtient un effort dans l'engrenage 5/4-5 d'environ $F_1 = 45000 \text{ N}$.

A partir du résultat de cette question, on constate que l'effort dans l'engrenage 5/4-5 est très important, environ 8 fois F_1 .

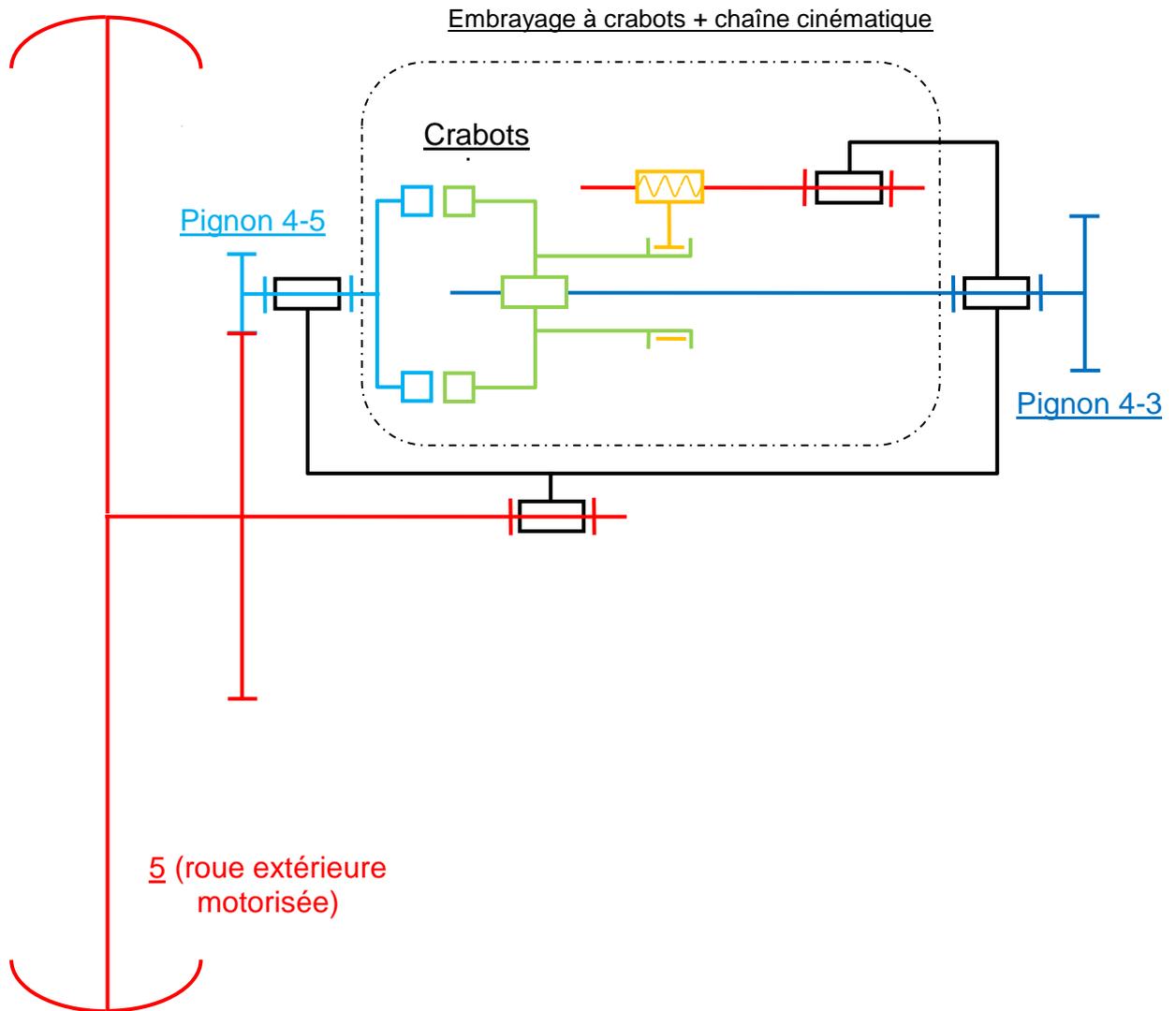
Question 28. A partir des résultats de la question précédente et des exigences du CdCF, justifier l'utilisation de l'embrayage placé entre le pignon 4-5 et la sortie du réducteur GB12.

A partir du résultat de la question précédente, on constate que l'effort dans l'engrenage 5/4-5 est très important.

Donc pour réduire cet effort, il faut limiter le nombre de solides à mettre en rotation pour diminuer l'inertie équivalente J_{eq} .

De plus le CdCF impose de ne pas perturber la rotation de la roue lors des phases d'atterrissage et de décollage d'où l'utilisation d'un embrayage placé le plus près possible de la roue motorisée.

Question 29. Recopier sur votre copie le schéma cinématique ci-dessous (**figure 13**) et le compléter en proposant un modèle cinématique de l'embrayage à crabot en position débrayée ainsi que la chaîne cinématique relative au déplacement du crabot-M.



Cinquième partie - Études des infrastructures aéroportuaires.

Question 30. Sachant que la masse totale de l'avion est de 79000kg et en utilisant les données de la **figure 14**, déterminer les efforts transmis à la piste par le train avant et les trains principaux d'un Airbus A320. Vous donnerez vos résultats en kN .

$$\text{Poids Airbus A320} \rightarrow 79000 \times 9,81 = 774990 \text{ N} \rightarrow 775 \text{ kN}$$

$$\text{Symétrie de l'avion} \rightarrow 775/2 = 387,5 \text{ kN}$$

$$\sum M_f / \text{train avant} = 0$$

$$387,5 \times 11,42 - F_{\text{train prin.}} \times 12,70 = 0$$

$$F_{\text{train prin.}} = 4425,3/12,70 = \underline{348,4 \text{ kN par train principal}}$$

$$\sum F / \bar{Y} = 0$$

$$348,4 - 387,5 + \frac{1}{2} \times F_{\text{att.av}} = 0$$

$$F_{\text{att.av.}} = 39,1 \times 2 = \underline{78,2 \text{ kN pour le train avant}}$$

Question 31. Calculer la répartition des charges en pourcentage entre le train avant et les trains principaux.

$$\text{Charge sur les trains principaux} : 348,4 \times 2 = 696,8 \text{ kN}$$

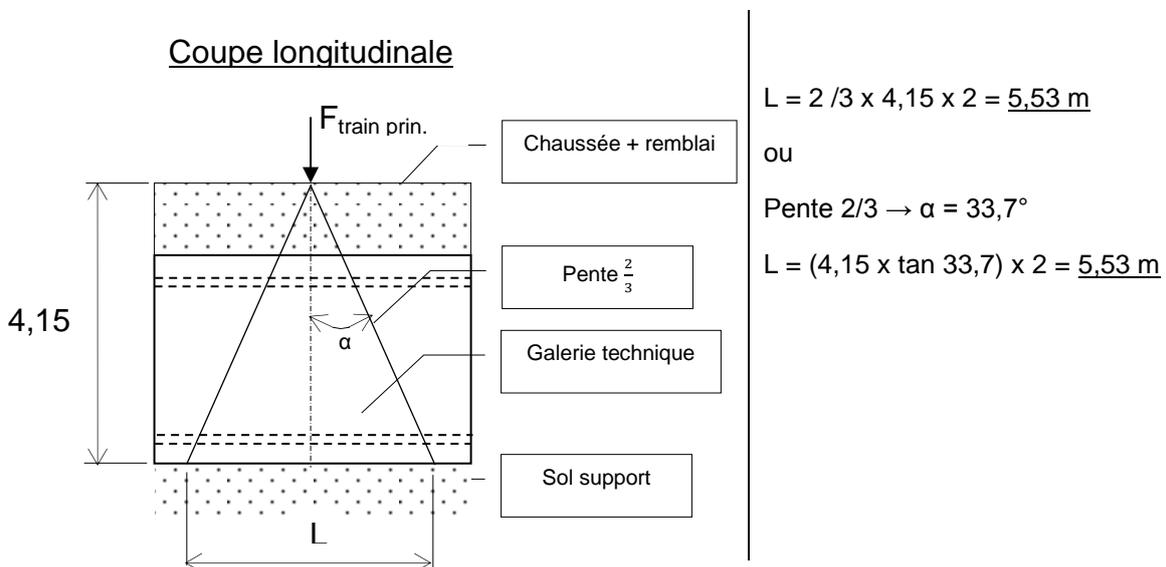
$$\text{En \%} : (696,8 / 775) \times 100 \approx \underline{90 \%}$$

$$\text{Charge sur le train avant} : 78,2 \text{ kN}$$

$$\text{En \%} : (78,2 / 775) \times 100 \approx \underline{10 \%}$$

Question 32. Lorsque un train principal est positionné au droit de la galerie technique, et en admettant que la diffusion de la charge se fait avec une pente de $2/3$ dans les couches de chaussée et dans la structure en béton de la galerie technique, calculer la longueur de galerie diffusant la charge d'un train principal sur le sol support.

Le document **DT3** comporte les données ayant trait à l'architecture de la galerie technique.



Question 33. *En considérant que l'ensemble des charges s'appliquent sur l'axe de symétrie de la galerie technique.*

Calculer la pression verticale appliquée sur le sol par le radier. L'étude sera conduite pour une longueur de galerie égale à 5,00 m. Le sol support est supposé élastique et le radier infiniment rigide.

Poids propre d'un mètre de galerie :

Surface vide pour plein :

$$2,400 \times 2,950 = 7,08 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface vide : } 2,000 \times 2,450 = 4,90 \text{ m}^2$$

$$\text{Déduire : } 4 \text{ fois } (0,100 \times 0,100) / 2 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Ensemble : } \quad \quad \quad \underline{4,88 \text{ m}^2}$$

$$\text{Reste : } \quad \quad \quad 2,20 \text{ m}^2$$

$$\text{X 1 mètre} \quad \quad \quad 2,200 \text{ m}^3$$

$$\text{X poids propre B.A.} \quad \quad \quad 55 \text{ kN}$$

$$\text{Poids propre d'un mètre de chaussée : } 0,300 \times 2,400 \times 1,000 \times 25 = 18 \text{ kN}$$

$$\text{Poids propre d'un mètre de couche de forme : } 0,400 \times 2,400 \times 1,000 \times 19 = 18,3 \text{ kN}$$

$$\text{Poids propre d'un mètre de couche de remblai : } 0,500 \times 2,400 \times 1,000 \times 18 = 21,6 \text{ kN}$$

$$\text{Poids propre d'un mètre de réseaux} = 5 \text{ kN}$$

Résultante aux E.L.U. :

$$R = 1,35 \times [(55 + 18 + 18,3 + 21,6 + 5) \times 5] + (1,5 \times 350)$$

$$R = (1,35 \times 589,5) + (1,5 \times 350)$$

$$R = 795,8 + 525 = 1320,8 \text{ kN}$$

Calcul de la pression sur le sol :

$$q_{\text{sol}} = 1320,8 \cdot 10^{-3} / (2,40 \times 5,00) = \underline{0,11 \text{ MPa}}$$

Question 34. *La contrainte ultime conduisant à la rupture du sol sous une fondation peut être évaluée à partir des résultats d'essais en laboratoire. Un essai de cisaillement à long terme (conditions drainées) à la boîte de Casagrande a été effectué sur le sol support. Calculer la contrainte ultime du sol.*

Lecture sur la droite de Coulomb :

$$C' = 0,02 \text{ MPa}$$

$$\varphi' = 0,200/0,40 = 0,50 \rightarrow \varphi' = 26,6^\circ$$

Calcul de q_u :

$\varphi' = 26,6^\circ \rightarrow$ lecture sur les tableaux par interpolation linéaire

$$N_\gamma = 11,69 ; N_c = 23,26 ; N_q = 12,66$$

Le radier de la galerie peut être assimilé à une semelle filante ($L \approx \infty$)

$$S_\gamma = 1 ; S_c = 1 ; S_q = 1$$

$$q_o = \sum_i h_i \cdot \gamma_i$$

$$q_o = (0,300 \times 25) + (0,400 \times 19) + (3,450 \times 18)$$

$$q_o = 7,50 + 7,60 + 62,10 = 77,20 \text{ kPa} \rightarrow 0,0772 \text{ MPa}$$

$$q_u = (0,5 \times 1 \times 18 \cdot 10^{-3} \times 2,40 \times 11,65) + (1 \times 0,02 \times 23,26) + (1 \times 0,0772 \times 12,66)$$

$$q_u = 0,251 + 0,465 + 0,977$$

$$\underline{q_u = 1,69 \text{ MPa}}$$

Question 35. *En comparant votre résultat de la question 33 et celui de la question 34 et en incluant la notion de tassement, conclure sur la résistance du sol support.*

Contrainte sur le sol : $q_u = 0,11 \text{ MPa}$

Pour prendre en compte les tassements, si il n'y a pas d'étude spécifique, on estime q_d en prenant $q_u / 2$.

$$q_d \rightarrow 1,69 / 2 = 0,84 \text{ MPa}$$

$0,11 < 0,84 \text{ MPa} \rightarrow$ conclusion : les conditions de résistance et de tassement sont vérifiées.

Question 36. *Justifier par le calcul les valeurs des pressions retenues sur les piedroits.*

Donnée complémentaire : Les efforts de poussée étant repris par le radier et la dalle, le déplacement de l'ouvrage n'existe pas (paroi rigide). Le calcul de la poussée se fera avec le coefficient K_0 (coefficient des terres au repos). La formule de Jaky donne une valeur de K_0 en fonction de l'angle de frottement φ' .

Coefficient des terres au repos :

$$K_0 = 1 - \sin 38$$

$$K_0 = 0,38$$

Contrainte verticale en en haut des piedroits :

$$\sigma'_v = \gamma_i \times h_i$$

$$\sigma'_v = (18 \times 0,500) + (19 \times 0,400) + (25 \times 0,300)$$

$$\sigma'_v = 9 + 7,6 + 7,5$$

$$\sigma'_v = 24,1 \text{ kPa}$$

Pression en haut des piedroits :

$$\underline{\sigma'_h = 0,38 \times 24,1 = 9,15 \text{ kPa} \rightarrow \text{Valeur arrondie à } 10 \text{ kPa}}$$

Contrainte verticale en en bas des piedroits :

$$\sigma'_v = \gamma_i \times h_i$$

$$\sigma'_v = (18 \times 3,450) + (19 \times 0,400) + (25 \times 0,300)$$

$$\sigma'_v = 62,1 + 7,6 + 7,5$$

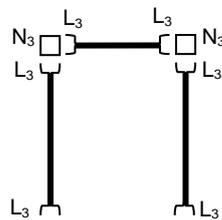
$$\sigma'_v = 77,2 \text{ kPa}$$

Pression en bas des piedroits :

$$\sigma'_h = 0,38 \times 77,2 = 29,3 \text{ kPa} \rightarrow \text{Valeur arrondie à 30 kPa}$$

Question 37. Définir de façon rigoureuse, le degré d'hyperstaticité de la structure.

On se place dans un système plan, on décompose la structure en barres et en nœuds :



$$3 \times b + \sum N_i - \sum L_i$$

$$3 \times 3 + (2 \times 3) - (6 \times 3) = -3 \rightarrow \text{la structure est hyperstatique de degré 3.}$$

Question 38. Calculer les inconnues de liaison verticale en A et en B.

Structure symétrique, symétriquement chargée :

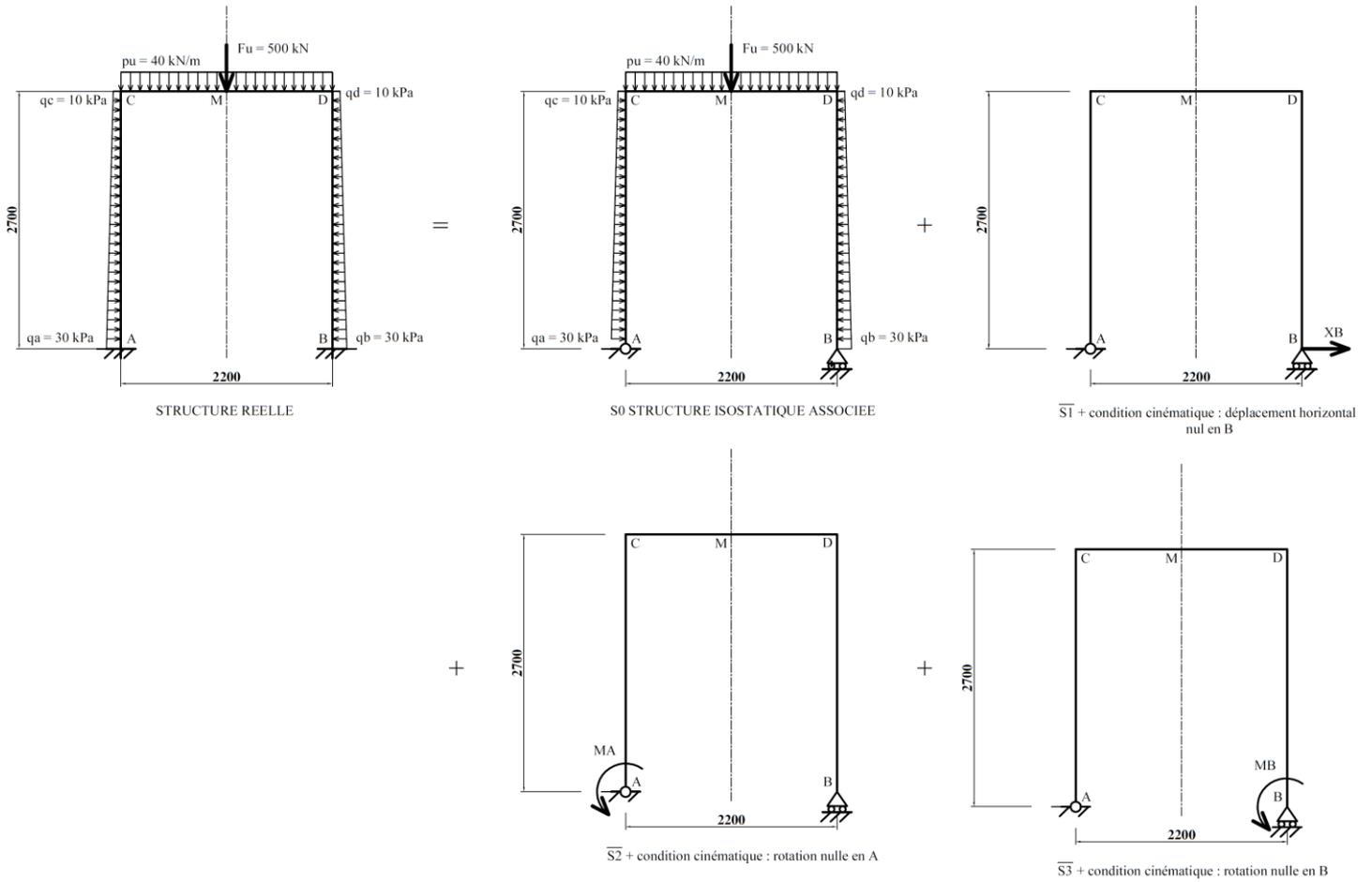
$$Y_A = Y_B = [500 + (40 \times 2,200)] / 2 = \underline{294 \text{ kN}} \quad \uparrow$$

Question 39. En utilisant le principe de superposition et des conditions cinématiques, proposer le principe de résolution de cette structure hyperstatique pour cela :

- Vous effectuerez les schémas des différentes structures associées.
- Vous tracerez les diagrammes du moment fléchissant sur vos différentes structures.
- Vous écrirez le système d'équations à résoudre. Par contre la résolution numérique du système n'est pas demandée.

La structure est hyperstatique d'ordre 3.

- On choisit une structure isostatique associée S_0 .
- En appliquant le principe de superposition et des conditions cinématiques, on définit 3 structures auxiliaires permettant de recréer les liaisons supprimées.
- On se fixe des conditions cinématiques : déplacements et rotations nuls aux points A et B.



- On trace les diagrammes de moment fléchissant de S_0 ; \bar{S}_1 ; \bar{S}_2 ; \bar{S}_3 .

Équations de M_f sur la demi-structure isostatique associée auxiliaire S_0 .

Entre AC :

$$\sum M_f / G = 0$$

$$M_f(x) + \frac{10x^2}{2} + 20 \times \frac{(2,70 - x)}{2,70} \times x \times \frac{x}{2} + [20 - (20 - 7,41x)] \times x \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} x = 0$$

$$M_f(x) = 1,23x^3 - 15x^2$$

Valeurs : $x = 0 \rightarrow Mf(0) = 0$

$x = 2,700 \text{ m} \rightarrow Mf(2,700) = -85 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Entre CM :

$$\sum Mf/G = 0$$

$$Mf(x) + 27 \times 1,35 + 27 \times 1,80 - 294x + \frac{40x^2}{2} = 0$$

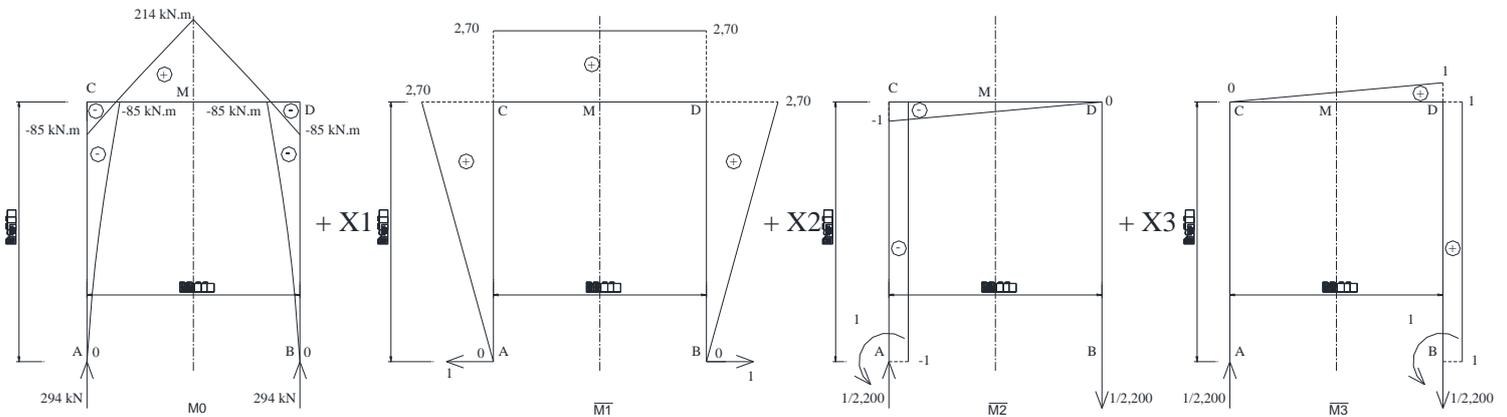
$$Mf(x) = -20x^2 + 294x - 85,05$$

Valeurs :

$x = 0 \rightarrow Mf(0) = -85 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$x = 1,100 \rightarrow Mf(1,100) = 214 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Pour les structures \bar{S}_1 ; \bar{S}_2 ; $\bar{S}_3 \rightarrow$ tracé des diagrammes sans les équations.



- On applique le théorème de Muller-Breslau. En négligeant N et V devant Mf, on peut écrire :

$$\Delta_{10} = \int_S \frac{M_0 \times \bar{M}_1}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\bar{M}_1 \times \bar{M}_1}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\bar{M}_1 \times \bar{M}_2}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\bar{M}_1 \times \bar{M}_3}{EI} \cdot ds = 0$$

$$\Delta_{20} = \int_S \frac{M_0 \times \bar{M}_2}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\bar{M}_2 \times \bar{M}_1}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\bar{M}_2 \times \bar{M}_2}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\bar{M}_2 \times \bar{M}_3}{EI} \cdot ds = 0$$

$$\Delta_{30} = \int_S \frac{M_0 \times \bar{M}_3}{EI} \cdot ds + X1 \int_S \frac{\bar{M}_3 \times \bar{M}_1}{EI} \cdot ds + X2 \int_S \frac{\bar{M}_3 \times \bar{M}_2}{EI} \cdot ds + X3 \int_S \frac{\bar{M}_3 \times \bar{M}_3}{EI} \cdot ds = 0$$

- On calcule ces intégrales (primitives, tableau d'intégrales de Mohr, théorème de Véréchaguine).

- On résout le système suivant : en posant $X2 = X3$ et en simplifiant par EI.

- On trouve $X1$; $X2$; $X3$ égal à X_B ; M_A ; M_B .

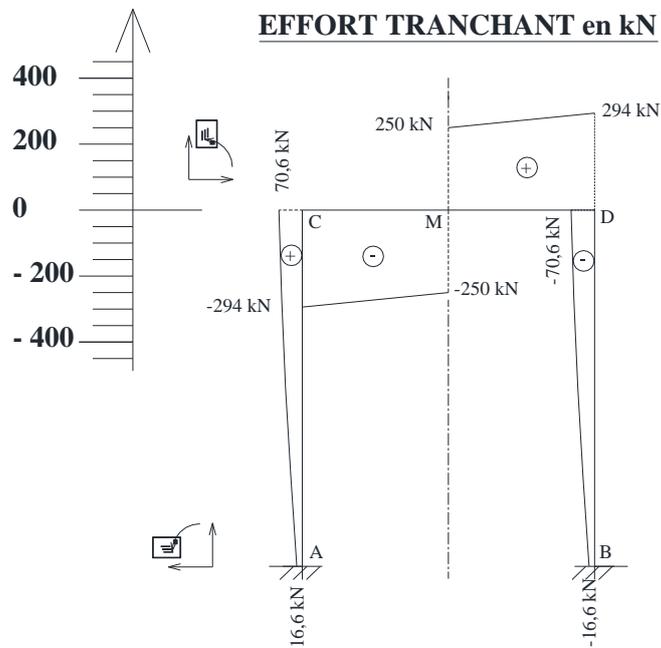
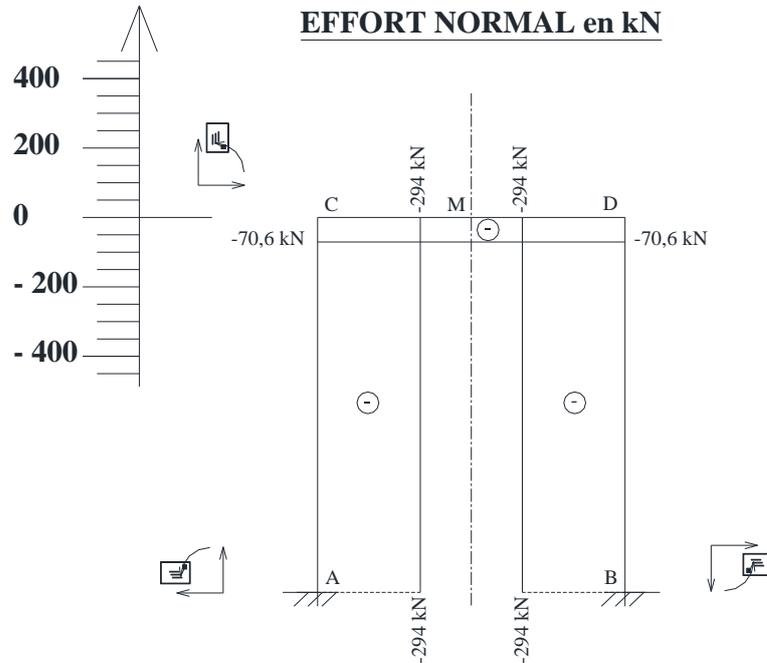
$$X1\delta_{11} + X2\delta_{12} + X3\delta_{13} = -\Delta_{10}$$

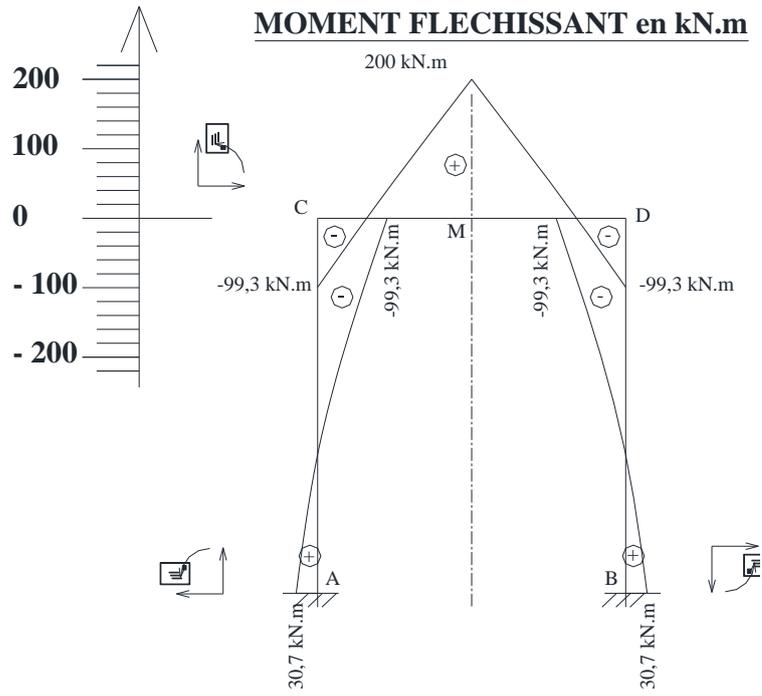
$$X1\delta_{21} + X2\delta_{22} + X3\delta_{23} = -\Delta_{20}$$

$$X1\delta_{31} + X2\delta_{32} + X3\delta_{33} = -\Delta_{30}$$

Question 40. Tracer les diagrammes de variations des efforts internes [effort normal $N(x)$, effort tranchant $V(x)$ et moment fléchissant $M_fz(x)$] dans les piedroits et la dalle. Pour cela vous utiliserez les résultats du calcul informatique fournis dans le **DT7**.

Vous complétez les documents réponses **DR3** à **DR5** en indiquant sur vos diagrammes les valeurs particulières.





Question 41. Déterminer la section d'armature en travée pour la dalle supérieure. Les efforts de compression dans la dalle étant faibles, on se placera dans le cas de la flexion simple. Vérifier la valeur réelle de d , la section minimale et maximale des armatures. Le document **DT6** présente un organigramme de calcul respectant l'Eurocode 2. Le document **DT8** donne les caractéristiques des aciers de construction.

Armatures en travée :

$$d \leq 0,9 \times h \rightarrow 0,9 \times 0,300 = 0,270 \text{ m}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \rightarrow \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \rightarrow \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} \rightarrow \frac{0,200}{1,000 \times 0,270^2 \times 23,3} = 0,1177 \leq 0,3717$$

Pivot B les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \rightarrow 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,1177}) = 0,157$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0,4\alpha_u) \times f_{yd}} \rightarrow \frac{0,200}{0,27 \times (1 - 0,4 \times 0,157) \times 434,8} = 18,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w \times d} \rightarrow \frac{18,18 \cdot 10^{-4}}{1,000 \times 0,270} = 0,0067 \rightarrow 0,67 \%$$

Choix des armatures : En travée : 12 HA 14 / m \rightarrow 18,48 cm² / m

Les armatures seront réparties en deux lits.

Vérification de d :

$$d_{\text{réel}} = 0,300 - (0,030 + 0,014) = 0,256 \text{ m} \neq 0,270 \text{ m}$$

On redimensionne avec le $d_{\text{réel}}$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} \rightarrow \frac{0,200}{1,000 \times 0,256^2 \times 23,3} = 0,131 \leq 0,3717$$

Pivot B les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \rightarrow 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,131}) = 0,176$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0,4\alpha_u) \times f_{yd}} \rightarrow \frac{0,200}{0,256 \times (1 - 0,4 \times 0,176) \times 434,8} = 19,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w \times d} \rightarrow \frac{19,33 \cdot 10^{-4}}{1,000 \times 0,256} = 0,0076 \rightarrow 0,76 \%$$

Nouveau choix en travée : 6 HA 16 + 6 HA 14 / m \rightarrow 12,10 + 9,24 = 21,34 cm² / m

Vérification armatures min

$$A_{s1} > A_{s1min} = \max \left[0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_w \times d ; 0,0013 \times b_w \times d \right]$$

$$A_{s1} > A_{s1min} = \max \left[0,26 \times \frac{3,2}{500} \times 1,000 \times 0,256 ; 0,0013 \times 1,000 \times 0,256 \right]$$

$$A_{s1} > A_{s1min} = \max [4,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 ; 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2]$$

21,34 cm² > 4,26 cm² → condition vérifiée

Vérification armatures max

$$A_{s1} < 0,04 \times A_c = 0,04 \times 1,000 \times 0,300$$

$$A_{s1} < 0,0120 \text{ m}^2$$

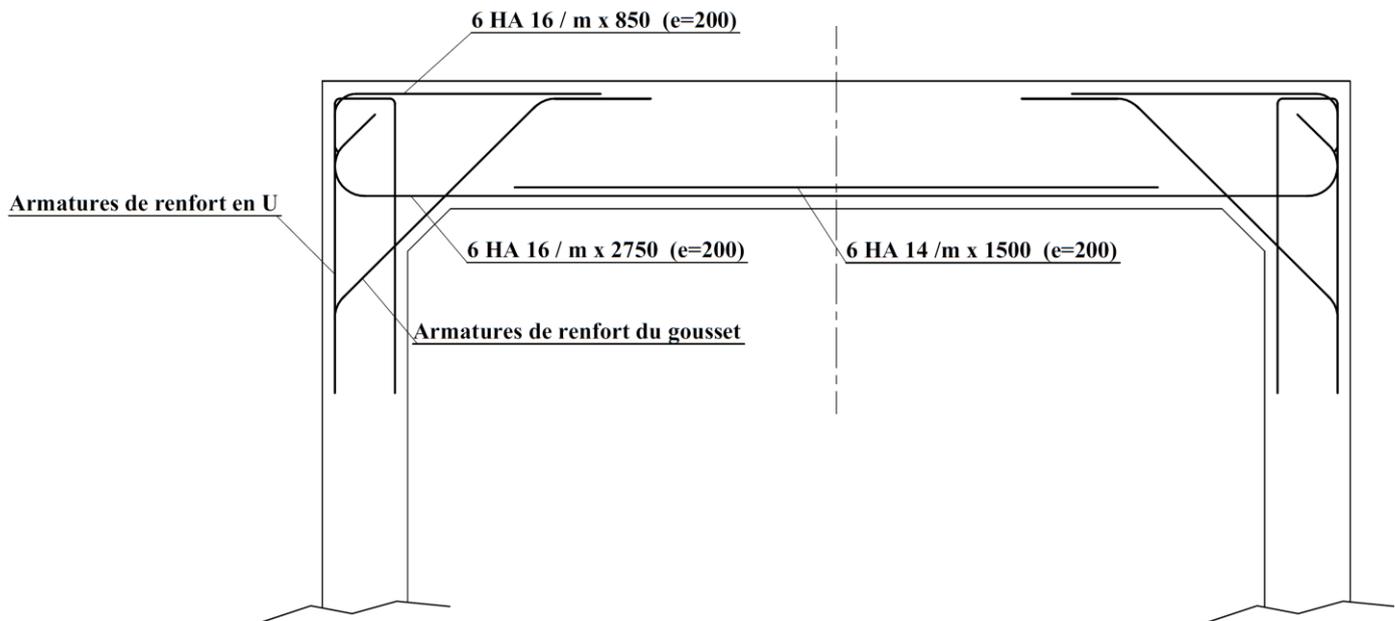
120 cm² > 21,34 cm² → condition vérifiée

Question 42. Déduire de la question 41 la section d'armature sur les appuis. Proposer un schéma de principe des armatures pour la dalle supérieure sur le document réponse **DR5**. Vous préciserez les diamètres des armatures choisies. Le document **DT8** donne les caractéristiques des aciers de construction.

Sur appuis :

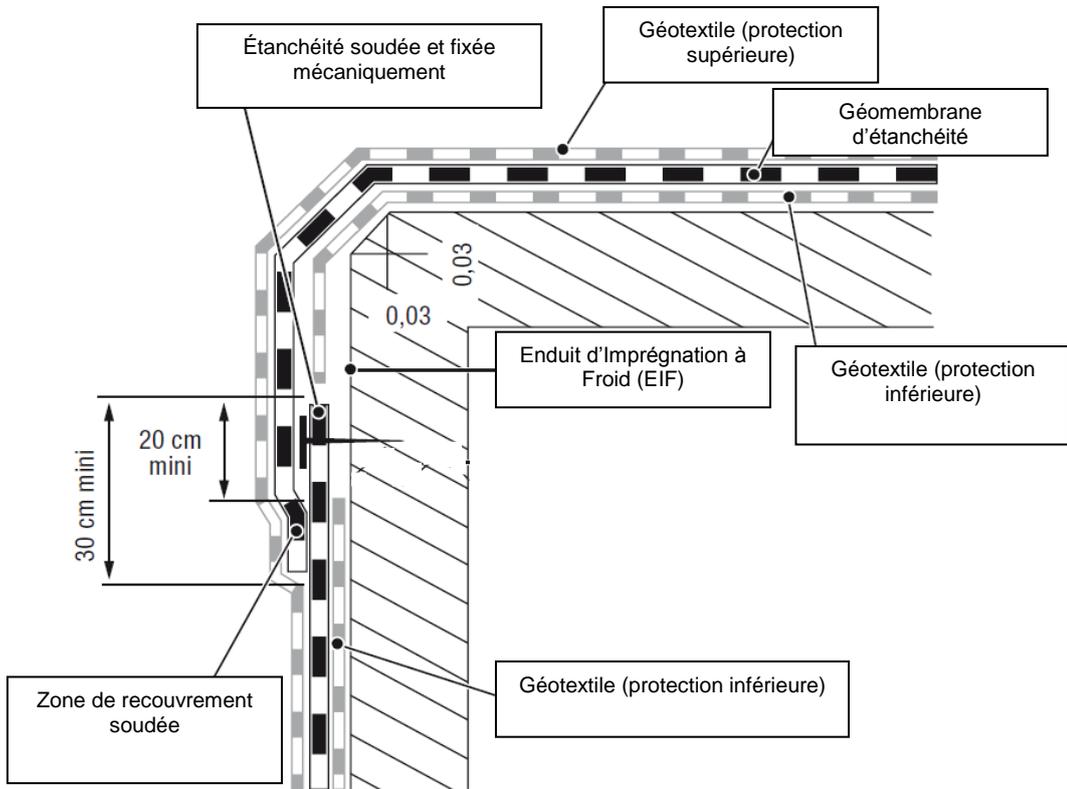
$$19,33 / 2 = 9,67 \text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \underline{6 \text{ HA } 16 \text{ (12,10 cm}^2 / \text{m)}}$$

Schéma de principe des armatures pour la dalle de la galerie technique

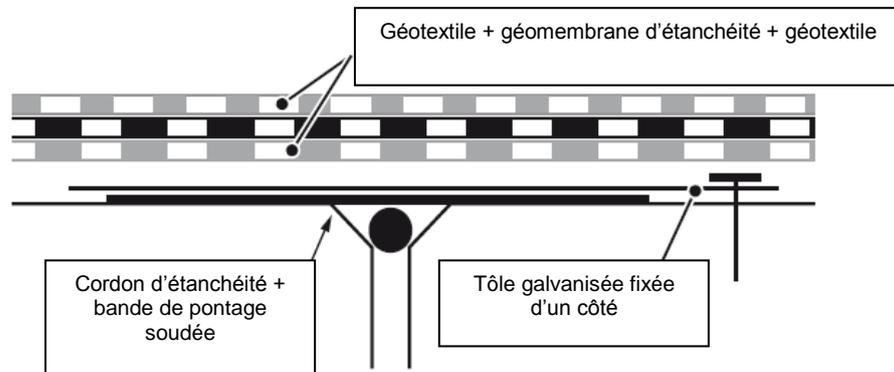


2 géotextiles (protection inférieure et supérieure). La protection supérieure peut être renforcée par une feuille de polypropylène embossée + écran thermocollé en non tissé polypropylène.

Liaison voile / dalle supérieure



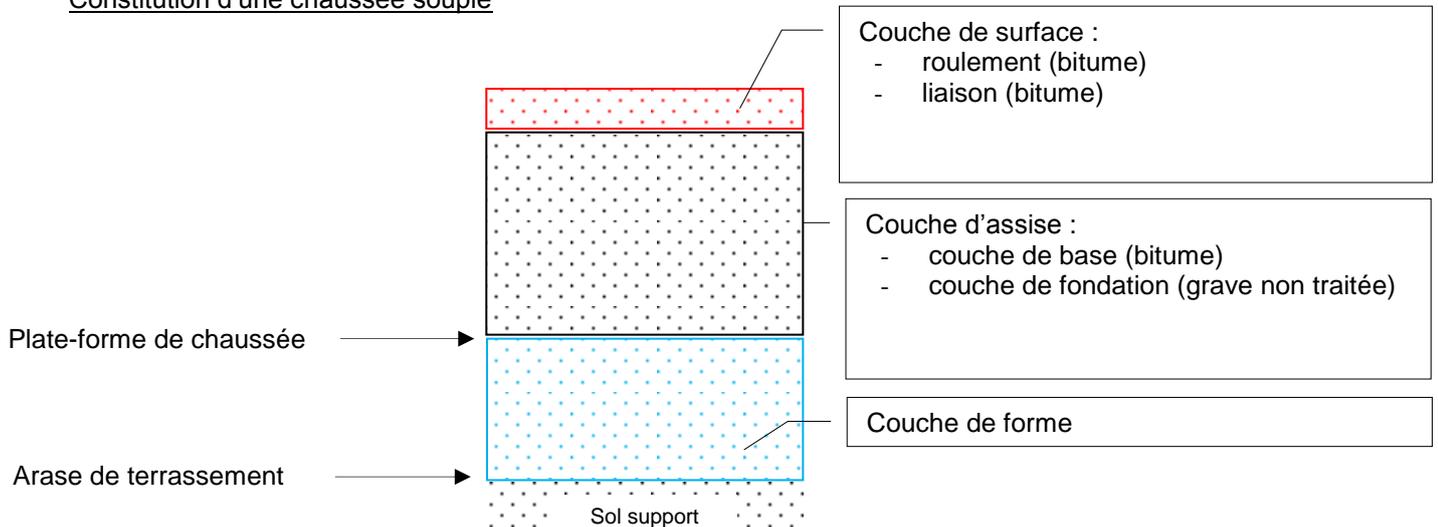
Traitement des joints



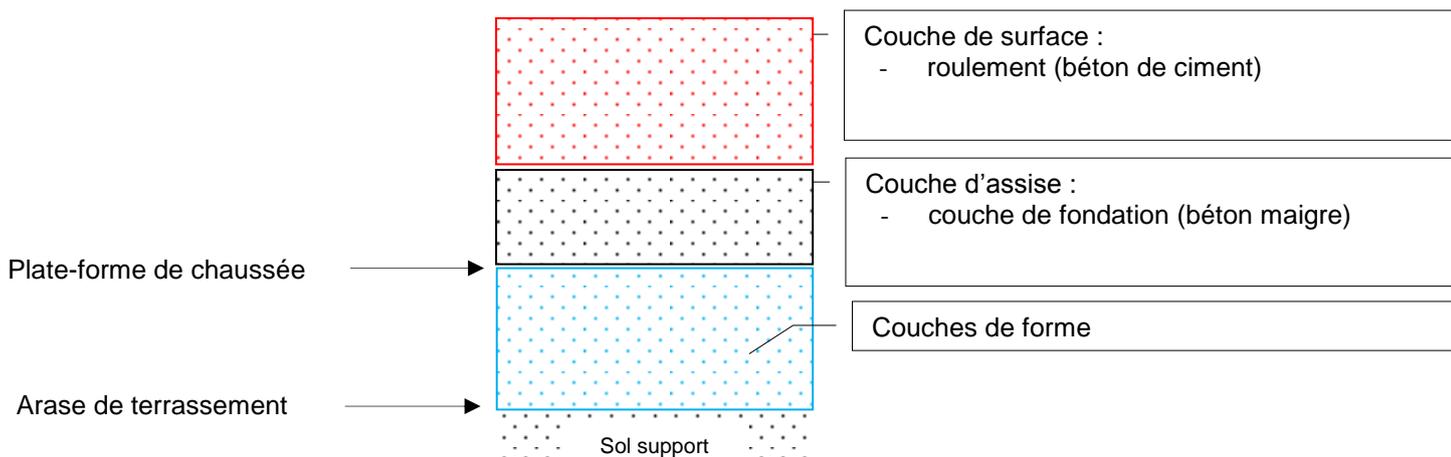
Question 44. Le CCTP préconise la réalisation d'une chaussée souple pour la piste et une chaussée rigide en béton pour les aires de stationnement.

A l'aide de schémas légendés, préciser la constitution de ces deux chaussées, puis justifier le choix de la chaussée rigide en béton pour les aires de stationnement.

Constitution d'une chaussée souple



Constitution d'une chaussée rigide



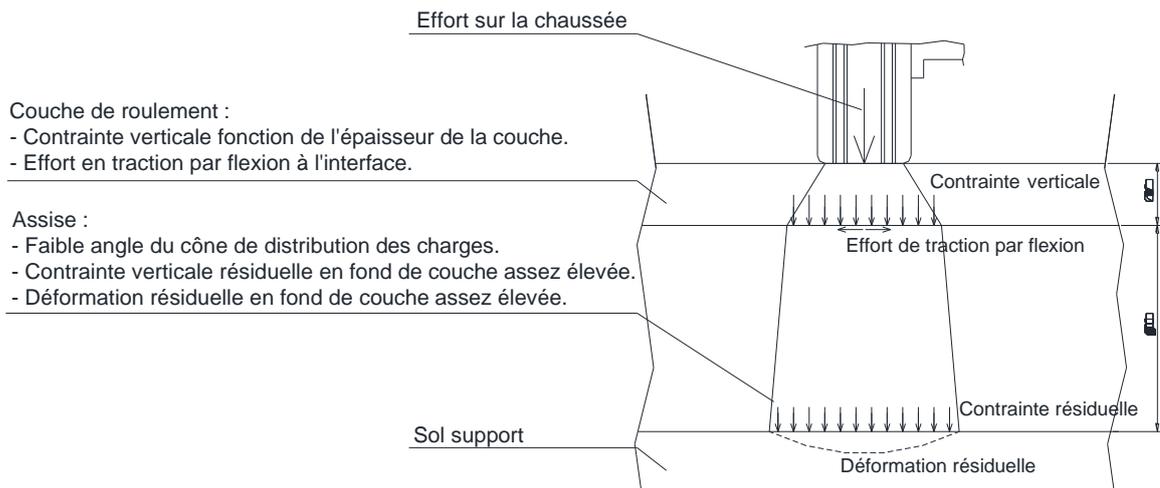
L'emploi d'une structure souple bitumineuse est déconseillé pour les aires de stationnement pour plusieurs raisons :

- 1) Il y a des risques de poinçonnement importants sous l'effet des charges transmises par les trains principaux. Par nature même, le béton ne s'ornièrè pas. De plus, la forte rigidité du béton permet de mobiliser des efforts notables de traction par flexion. La répartition des efforts au niveau des couches de fondation conduit à une faible sollicitation de ces dernières et donc à l'élimination de tout risque de déformation.
- 2) Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés sont sensibles aux hydrocarbures, le matériau béton ne subit aucune dégradation suite à l'attaque des hydrocarbures.
- 3) Le matériau béton est insensible aux variations de températures.

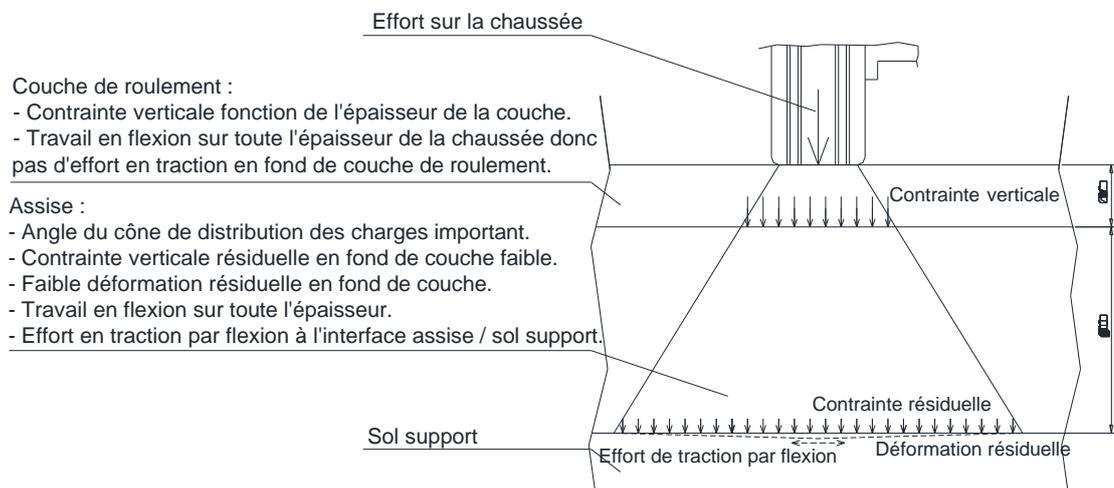
Question 45. D'une façon générale, schématiser le principe de fonctionnement mécanique d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide. Vous adopterez un modèle de comportement élastique linéaire.

Pour cela, sur le document réponse **DR6**, vous dessinerez le cône de distribution des charges, vous préciserez sans les calculer, la nature des efforts, des contraintes et des déformations, aux interfaces des couches.

Chaussée souple



Chaussée rigide



Question 46. En utilisant la méthode exposée dans le **DT9**, effectuer la vérification au gel-dégel de la partie courante de la piste pour une protection totale.

Conclure sur l'intégrité de la chaussée vis à vis des conditions climatiques.

La protection thermique Q_{ng} apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme vaut :

$$Q_{ng} = \frac{A_n \times h_n^2}{h_n + 10} \rightarrow \frac{0,12 \times 40^2}{40 + 10} = 3,84 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2}$$

Quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme de la chaussée vaut :

$$Q_{PF} = Q_{ng} + Q_g \rightarrow 3,84 + 0 = 3,84 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2}$$

$Q_g = 0$ car on souhaite une protection totale.

Quantité de gel transmise à la surface de la chaussée :

$$Q_s = \sqrt{0,7 \times (I - 10)} \rightarrow \sqrt{0,7 \times (170 - 10)} = 10,58 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2}$$

Quantité de gel transmise au niveau de la plate-forme de la chaussée :

$$Q_s = (1 + a \times h) \times Q_t + b \times h$$

$$h = \sum h_i \rightarrow 6 + 12 + 40 = 58 \text{ cm}$$

$$a = \frac{1}{h} \sum (a_i \times h_i) \rightarrow \frac{1}{58} (0,008 \times 6 + 0,008 \times 12 + 0,008 \times 40) = 0,008 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2} \text{cm}^{-1}$$

$$b = \frac{1}{h} \sum (b_i \times h_i) \rightarrow \frac{1}{58} (0,06 \times 6 + 0,06 \times 12 + 0,10 \times 40) = 0,088 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2} \text{cm}^{-1}$$

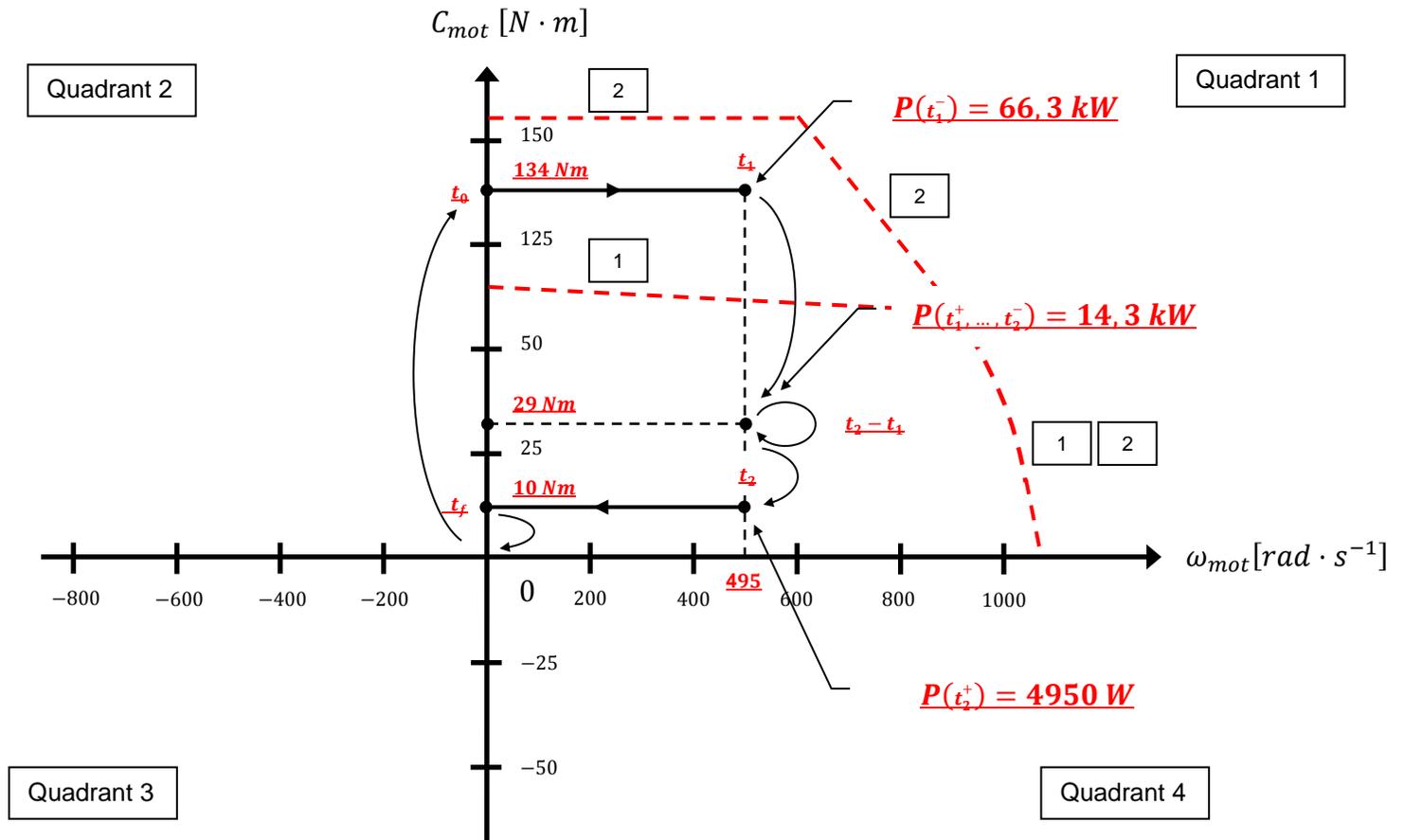
$$Q_t = \frac{Q_s - (b \times h)}{1 + (a \times h)} \rightarrow \frac{10,58 - (0,088 \times 58)}{1 + (0,008 \times 58)} = 3,74 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2}$$

On doit vérifier que : $Q_t < Q_{PF} \rightarrow 3,74 < 3,84 (\text{°c} \cdot \text{jour})^{1/2}$

Conclusion : La structure de chaussée est donc bien vérifiée au gel-dégel pour une protection totale.

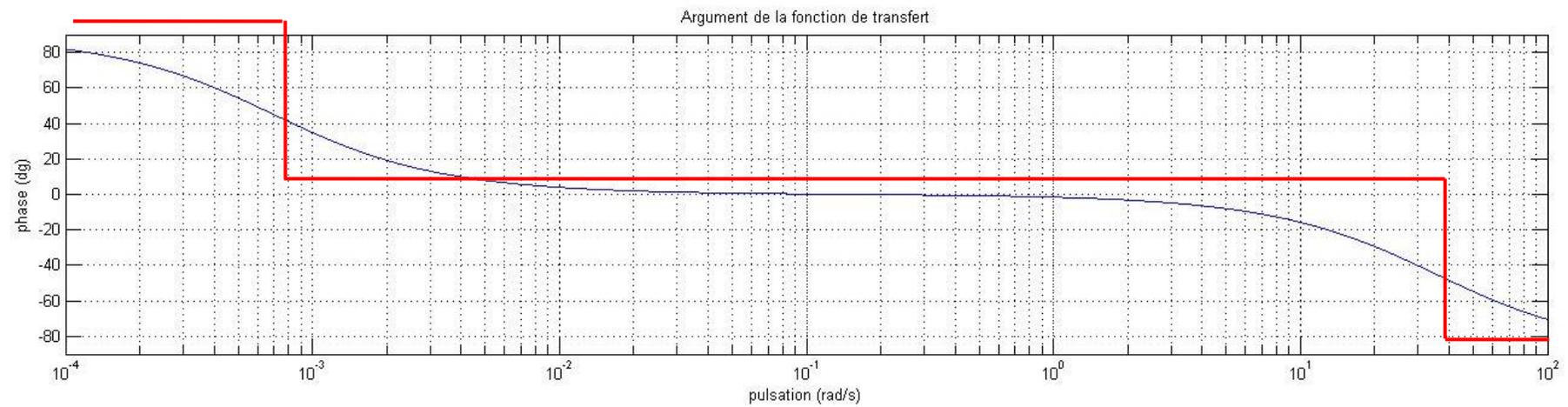
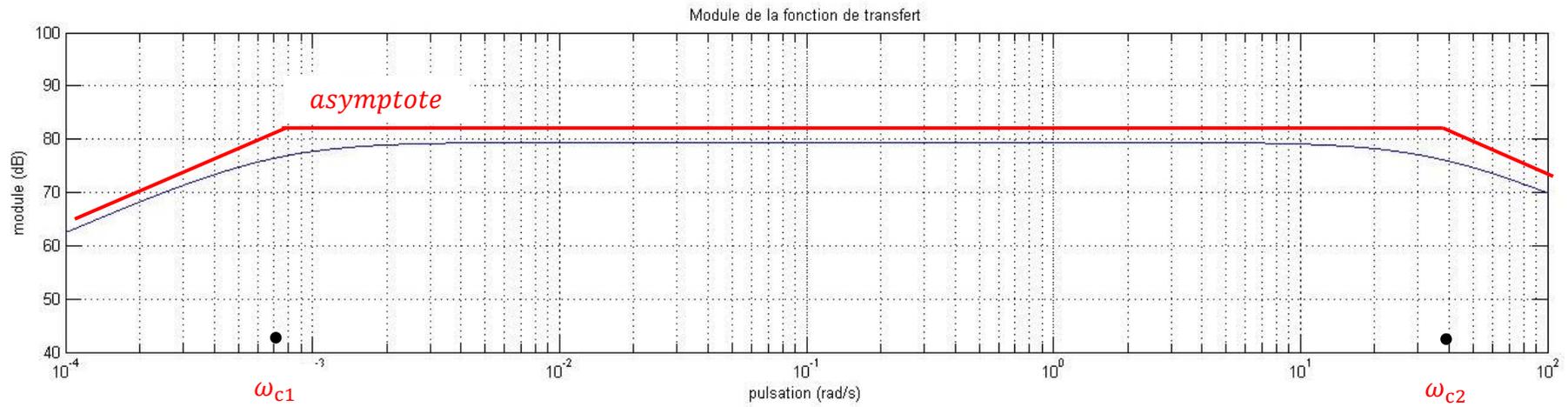
Document Réponse DR1

Evolution du point de fonctionnement dans le plan couple-vitesse



Document Réponse DR2

Représentation du module et de la phase dans le plan de Bode de la fonction de transfert $H_{cons}(j\omega)$



Le sujet prenait appui sur l'**Electric Green Taxiing System (EGTS)** destiné à équiper des avions de ligne. L'EGTS est un actionneur électro-mécanique permettant de déplacer les avions au sol sans avoir recours à l'utilisation des réacteurs.

Le questionnement était structuré en cinq parties indépendantes :

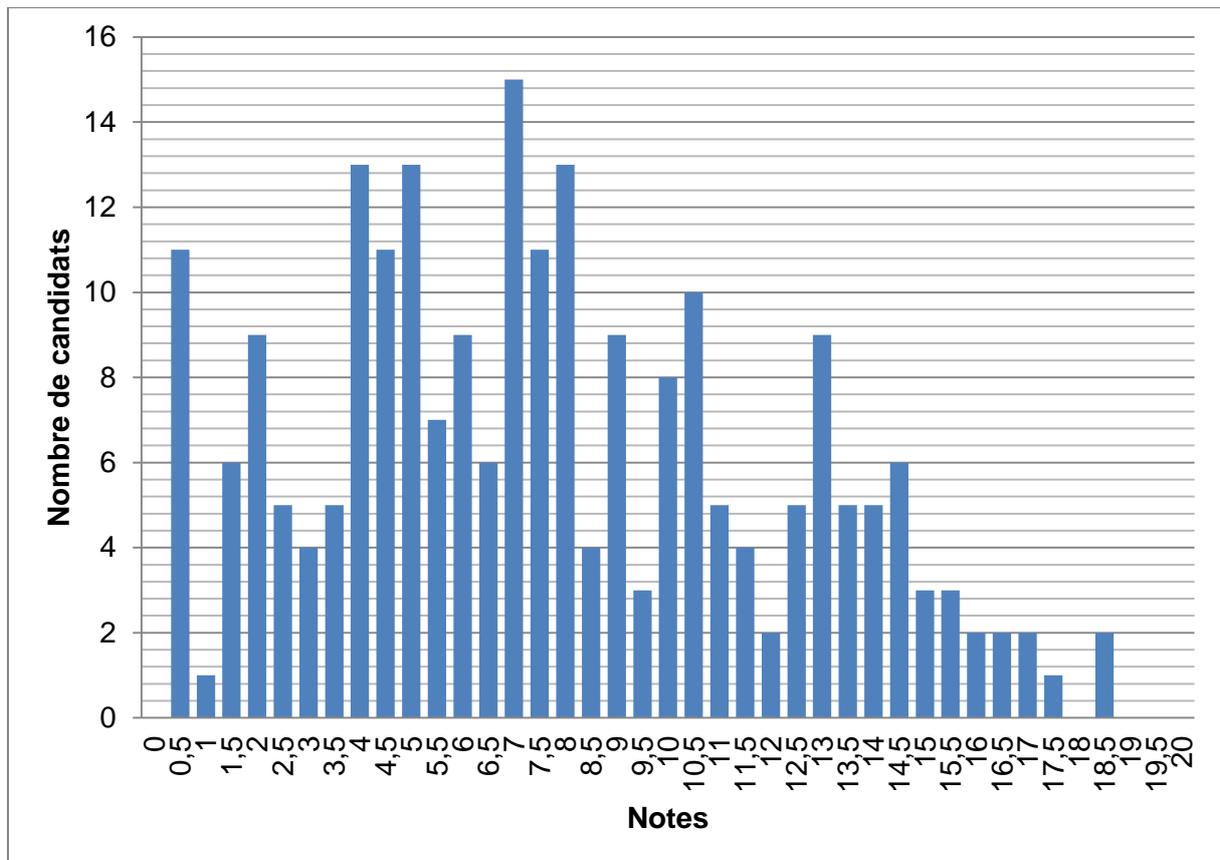
- étude de la chaîne cinématique ;
- étude de la motorisation ;
- étude de l'asservissement des moteurs ;
- étude de l'embrayage ;
- étude des infrastructures aéroportuaires.

229 candidats ont composé lors de cette épreuve.

Les notes s'échelonnent de 0,5 à 18,5 avec une moyenne à 7,72 et un écart type de 4,37.

74 candidats ont obtenu une note supérieure ou égale à 10.

La répartition est illustrée par l'histogramme ci-dessous.



Première partie

Cette première partie permettait d'étudier la chaîne cinématique de l'EGTS et de déterminer les lois de commande en vitesse des deux moteurs de l'EGTS lors du déplacement de l'avion sur la piste. Cette première partie a été traitée par 97% des candidats. Elle ne présentait pas de difficultés majeures mais les résultats sont très hétérogènes, seuls 15% candidats l'ont traitée correctement dans sa totalité. Beaucoup d'erreurs sont souvent dues à des démarches peu structurées et imprécises. La vérification de l'homogénéité et la cohérence des résultats sont des phases obligatoires dans toute démarche scientifique. Cette dernière remarque vaut pour l'ensemble des parties.

Deuxième partie

A partir d'une étude dynamique, il était demandé de vérifier les conditions d'adhérence, de déterminer le couple maximum des moteurs pour une phase d'accélération.

A partir d'un profil de vitesse proposé, il fallait tracer l'évolution du point de fonctionnement d'un moteur, de vérifier l'équilibre thermique des moteurs et de conclure sur la nécessité de développer des moteurs spécifiques. Cette partie a été abordée par 75% des candidats mais peu de candidats l'ont bien traitée. Il est dommage que les questions classiques de dynamique en translation n'aient pas été mieux traitées.

Troisième partie

Cette partie portait sur l'asservissement en couple et en vitesse des moteurs autour de leur point de fonctionnement. Le questionnement et les résultats intermédiaires fournis auraient dû permettre à beaucoup plus de candidats de traiter cette partie. Seuls 37% l'ont abordée et souvent avec peu de succès.

Quatrième partie

Cette partie avait pour objectif de valider l'utilisation d'un embrayage et de proposer, à l'aide d'un schéma cinématique, un mécanisme assurant l'embrayage et le débrayage.

La longueur du sujet peut expliquer que seulement 41% de candidats ont abordé cette partie mais les notions fondamentales d'inertie équivalente ne sont pas toujours bien maîtrisées. La question sur le schéma cinématique a été abordée par beaucoup de candidats. Toutefois, de trop nombreux schémas ne représentaient pas le fonctionnement de l'embrayage et étaient même incohérents. Les candidats doivent, même s'ils ne maîtrisent pas toutes les subtilités du système étudié, au moins proposer un schéma cinématique dont les mouvements sont possibles et cohérents.

Cinquième partie

Cette partie abordait les différentes facettes de l'ingénierie des constructions.

- L'étude des matériaux de construction.
- La technologie des ouvrages.
- Les principes de dimensionnement basés sur les règlements Eurocodes.

66% des candidats ont abordé cette partie. Les questions de statique, de répartition de charge et de pression de contact ont été abordées généralement de manière satisfaisante. Les questions relatives à la RdM sont moins bien réussies. Les questions plus orientées génie civil, ont été abordées par certains candidats mais rarement de manière satisfaisante. La longueur du sujet et la quantité de documents à analyser ont pu décourager certains candidats.

RECOMMANDATIONS

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

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

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

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

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

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

ÉPREUVE D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN DOSSIER TECHNIQUE

Coefficient 1 – Durée 6 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère



Partie 1 : appropriation et exploitation du support

- *Identification des enjeux et de(s) la problématique(s).*
- *Analyse de la pertinence de l'étude, des éléments, des choix.*

La lecture du DT doit rapidement permettre de dégager les enjeux liés à l'utilisation de l'EGTS. En premier lieu la réduction de coût liée à la baisse de consommation de kérosène est bien sûr le facteur le plus évident (DT 2/11, 3/11). Mais, d'autres aspects sont également à prendre en compte pour justifier la pertinence de l'investissement réalisé pour équiper les aéronefs.

La pollution sonore est un premier élément (DT 2/11) ; cela impacte les conditions de travail des personnels au sol et des riverains d'aéroports placés à proximité de lieux d'habitation. Certaines procédures de déplacement au sol sont interdites à certaines heures à cause de la pollution sonore ; l'EGTS permettrait de s'affranchir de ces contraintes et réduire la durée de taxiage, donc le coût global du vol.

Un autre aspect est celui de l'autonomie vis-à-vis des « remorqueurs » de l'aéroport. La manœuvre de « push back » permettant à l'aéronef de quitter la porte est possible avec l'EGTS sans aide externe et sans coût (prestation en général payante) (DT5/11).

Il y a aussi un aspect sécurité lié à l'utilisation de moteurs en présence de personnels sur le tarmac ; l'EGTS élimine le risque d'accident (DT5/11).

Il y a aussi l'intérêt de l'aéroport qui peut intensifier le trafic du fait du raccourcissement de la durée d'escale des aéronefs, réduire la pollution (DT 4/11 ; 7/11 ; 8/11).

L'intégration de l'EGTS pose malgré tout des problèmes techniques : intégration d'un nouveau composant embarqué sur l'avion ce qui peut engendrer des nouvelles causes de défaillance, un poids embarqué supplémentaire, un coût de maintenance (DT5/11).

Le poids de l'EGTS est un facteur critique car il conditionne la rentabilité du système du point de vue de la consommation de carburant (économies au sol mais surcoût en vol).

L'encombrement est un autre facteur critique car il conditionne l'intégration du système aux trains existants.

La rigidité de l'ensemble est également un facteur critique car l'EGTS est placé sur un organe sensible de l'aéronef – le train d'atterrissage – qui est sollicité dans les phases les plus à risque dans un cycle d'utilisation de l'aéronef (DT 6/11).

- *Pistes d'exploitations pédagogiques pour CPRP et CPI (développement "horizontal" du support : détailler au même niveau l'ensemble des activités/pistes pédagogiques pertinentes).*

L'appropriation du support et de son contexte mis face aux contenus de la formation de BTS CPI ou CPRP doit amener le candidat à proposer des exploitations des problèmes énoncés pour viser des compétences contenues dans les BTS.

- *Choix d'une activité et développement de la phase d'activation de la séquence.*

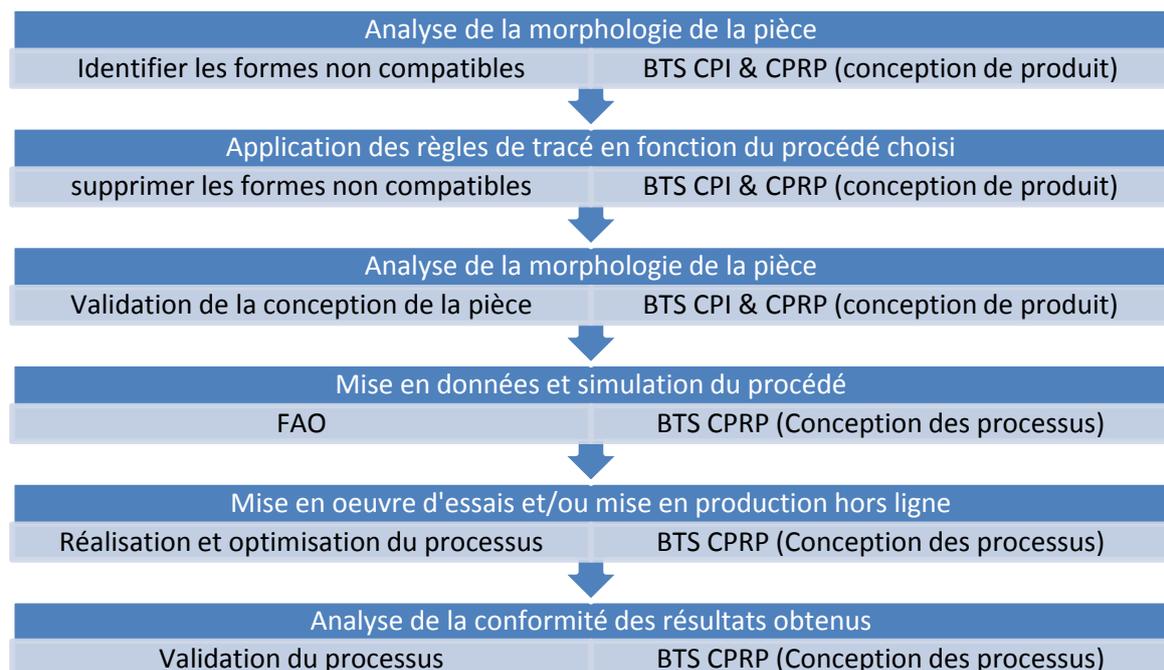
L'idée est ici d'évaluer la capacité du candidat à « mettre en scène » les problématiques de façon à capter l'attention des étudiants, donc d'avoir une démarche pédagogique dans l'exploitation de son support. Il peut imaginer une mise en situation réelle de « taxi out » (les plans de Zurich sont fournis DT 9/11 10/11 pour construire un scénario, par exemple surcoût d'un changement de porte, de piste), constituer des sous-groupes dans sa classe pour mettre en concurrence des solutions de réduction du coût du taxiage, etc...

Partie 2 : à partir d'une problématique technique, développer de manière exhaustive une séquence pédagogique.

- Proposition d'une nouvelle géométrie du berceau compatible avec le procédé choisi.
- Élaboration d'un document de synthèse à destination des élèves présentant la démarche conduisant à une nouvelle géométrie du produit en prenant en compte les contraintes liées au procédé retenu.

En s'appuyant sur la résolution du problème posé : "proposer une nouvelle géométrie du berceau compatible avec le procédé choisi (enlèvement de matière, usinage dans la masse)", le document de synthèse attendu devait faire apparaître une chronologie permettant à l'élève de structurer sa prise de décision pour arriver à transposer son analyse à d'autres situations d'apprentissages.

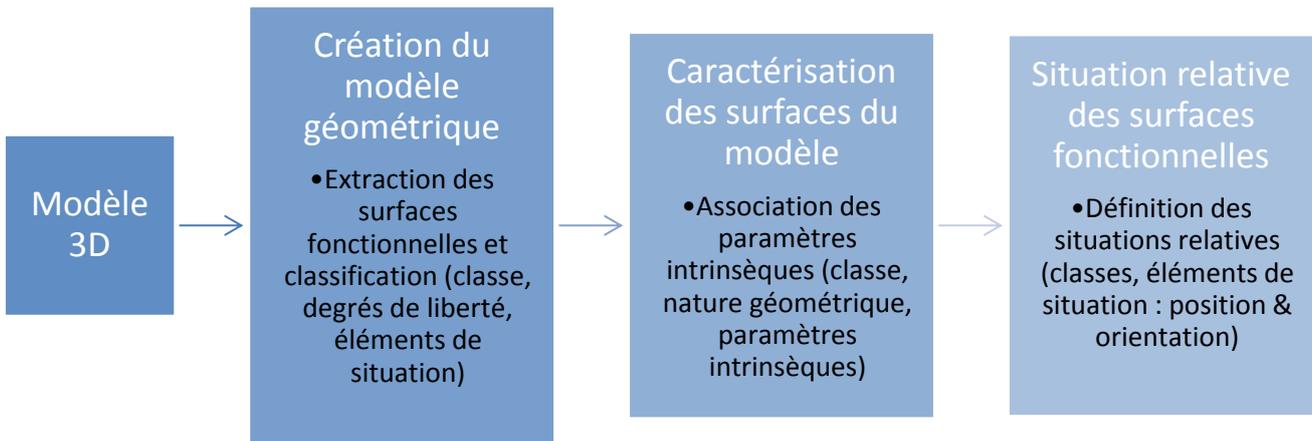
BTS CPRP & CPI en phase de travail collaboratif et BTS CPRP – Référentiel CPRP	
C7	Participer à un processus collaboratif de conception et de réalisation d'un produit
C8	Recenser et spécifier des technologies et des moyens de réalisation
C9	Concevoir et définir, en collaboration ou en autonomie, tout ou partie d'un ensemble mécanique unitaire
C10	Définir des processus de réalisation
C11	Définir et mettre en œuvre des essais réels et simulés



- Compléter la définition du berceau en proposant une écriture partielle du tolérancement relatif au choix de la géométrie choisie précédemment.
- Elaboration d'une fiche de structuration des connaissances à destination des élèves qui précisera la démarche conduisant à une ou plusieurs propositions d'écriture des spécifications fonctionnelles du berceau.

Peu de candidats ont traité cette question. Les réponses proposées montrent que beaucoup ne maîtrisent pas ou peu l'écriture des spécifications et du tolérancement.

La fiche de structuration des connaissances attendue devait prendre la forme d'un document d'accompagnement adapté en fonction de l'origine des élèves (bac Pro., STI, etc...)

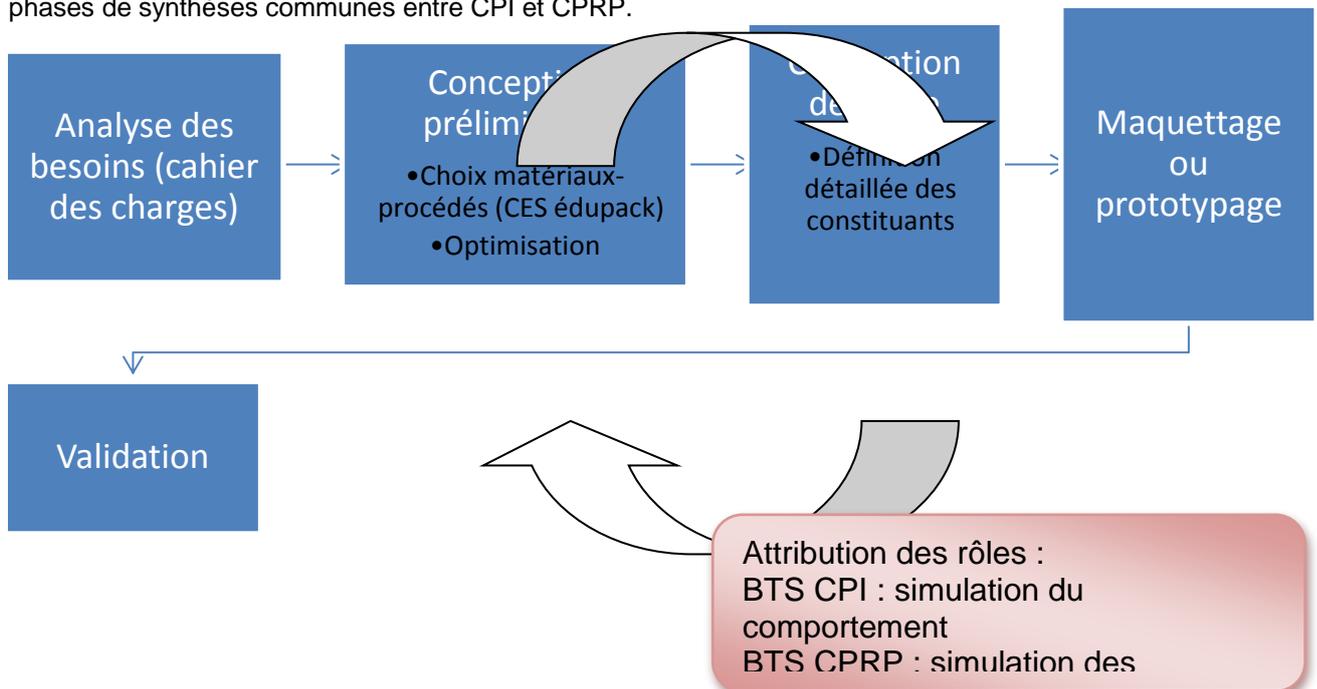


BTS CPI – Référentiel CPI	
C14	Élaborer le dossier de définition d'un produit (pièces cotées et tolérancées).

- Proposition d'une description des différentes étapes, ainsi que leur enchaînement, permettant la réalisation d'une phase de conception conduisant du stade préliminaire au stade détaillé.

Peu de candidats ont proposé l'attribution des rôles pour arriver à l'organisation de l'enchaînement des étapes du stade préliminaire au stade détaillé du berceau.

L'analyse du cahier des charges peut se faire en travail d'équipe (équilibre CPI-CPRP) puis pendant le reste de la démarche, Les CPI seront orientés sur la simulation du comportement et les CPRP sur la simulation des procédés. Un des points clés importants concerne les itérations successives entre la conception préliminaire et la conception détaillée. Cette démarche doit être entrecoupée par des phases de synthèses communes entre CPI et CPRP.

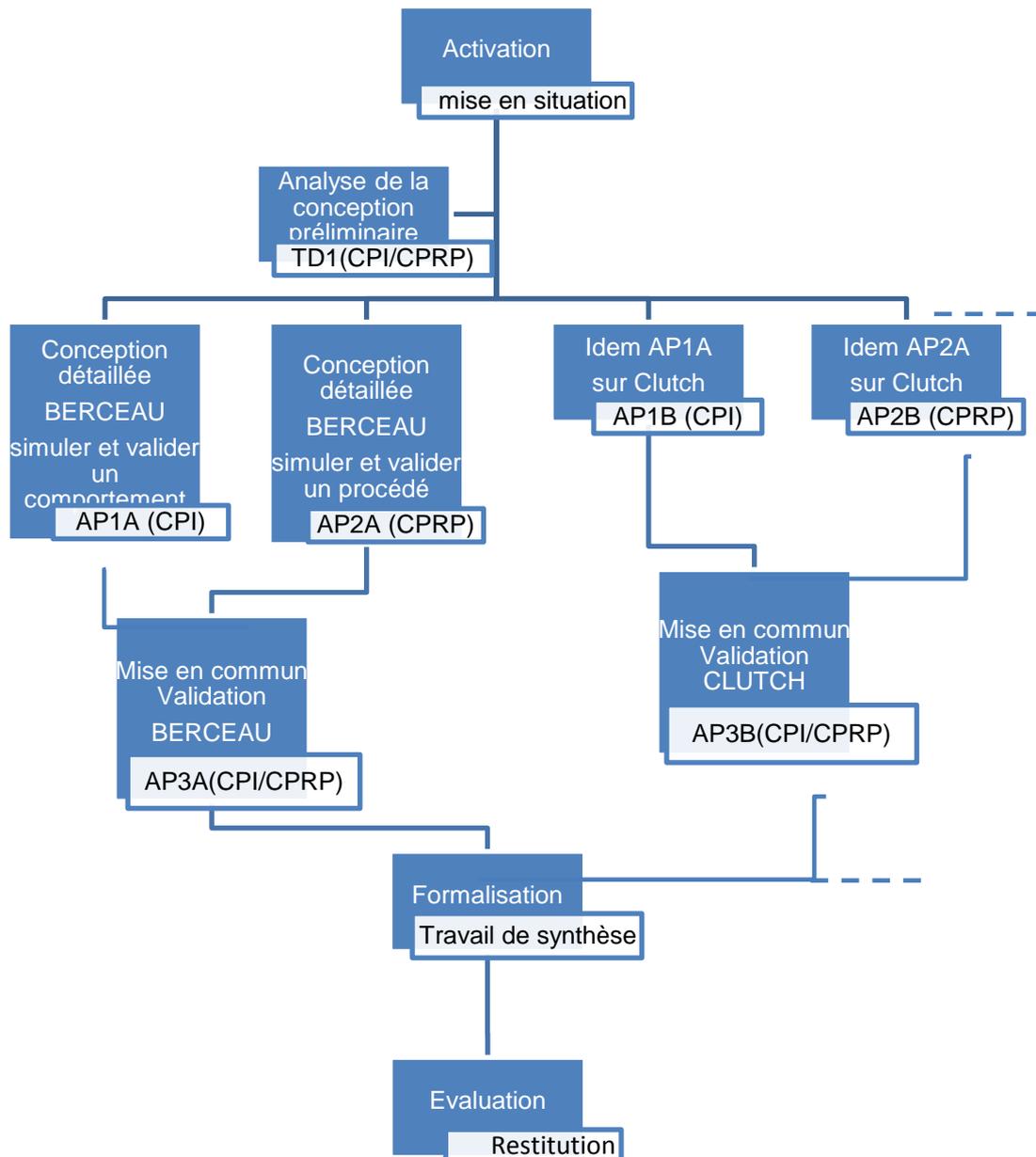


Dans le contexte d'une division mixte de 30 étudiants de BTS CPI et BTS CPRP :

- Description détaillée d'une séquence d'enseignement centrée sur l'étape de travail permettant le passage à la conception détaillée dans le cas de l'étude de définition du berceau.

Peu de candidats ont traité cette question. L'objectif ici n'est pas de balayer l'intégralité du programme mais de cibler un thème et de l'analyser en construisant la séquence nécessaire à son acquisition. L'utilisation de supports multiples autres que celui proposé est indispensable et permet de proposer plusieurs démarches pédagogiques (cours et activités pratiques).

Exemple de parcours pédagogiques permettant de construire une séquence :



Partie 3 (au choix, 3A ou 3B) : élargir l'exploitation du support pour cibler d'autres compétences, savoirs et situations d'apprentissage.

Partie 3A

- *Rédiger une étude comparative de plusieurs gammes de fabrication du berceau mobilisant différentes typologies cinématiques.*

Beaucoup de candidats n'ont pas traité cette question qui permettait de faire appel aux connaissances métiers de la fabrication.

Les gammes de fabrication attendues devaient permettre aux candidats d'exploiter leurs connaissances sur les moyens de production en fabrication. Différentes pistes possibles en fonction des cinématiques des machines à commande numérique pouvaient être proposées ici : machines CN 3/4 axes positionnés, machines 5 axes positionnés et continus, centres d'usinages à structure parallèle type tripode ou hexapode, robots d'usinage.

Pour les candidats ayant proposé une voire deux gammes de fabrication, les solutions de mise et maintien en position ont été traitées très superficiellement. Aucune référence à la notion de positionnement isostatique, pas de proposition de moyens techniques pour la mise en position et le maintien. Pour le berceau, une technologie de montage modulaire pouvait être envisageable avec adaptation des systèmes de maintien à la morphologie de la pièce.

Partie 3B

- *Rédiger une étude comparative de plusieurs méthodes permettant une simulation comportementale du berceau sous contrainte.*

Différentes méthodes d'étude du comportement sous contrainte de la pièce étudiée peuvent être envisagées, comme l'utilisation du modèle poutre, une simulation des contraintes et des déformations par éléments finis ou encore en mettant en œuvre des essais sur un prototype fonctionnel.

Il est ici attendu une analyse critique de ces différentes solutions.

Dans le premier cas, le problème de la précision et de la justesse des résultats pourra être évoqué, compte tenu de la complexité géométrique du modèle.

Dans le cas des méthodes par éléments finis, plusieurs points peuvent être abordés, comme les caractéristiques du maillage ou la modélisation des conditions aux limites sur la pièce ou dans l'assemblage.

Le point de vue économique peut également être abordé dans le cadre de la mise en œuvre d'essais sur prototype.

- *Définir le système de prototypage utile à chaque étape du projet de reconception du berceau.*

Le berceau reconçu doit s'intégrer dans un assemblage existant. Cette étude doit donc prendre en compte des contraintes géométriques et dimensionnelles, tout en améliorant la rigidité globale de l'ensemble.

Différents prototypes, réels ou numériques, peuvent être utilisés dans le cadre de la validation de chacune des relations produit-matériau-procédé.

Plusieurs activités pédagogiques peuvent donc être envisagées, le choix de la nature du prototype étant directement lié à la nature de la tâche attendue.

Compte tenu des spécificités de la pièce étudiée, une activité de mesure de déformation sur pièce réelle permettant de qualifier le procédé semble difficilement envisageable.

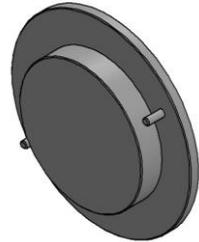
Questions communes partie 3A et 3B

- *Décoder, au sens de la norme, la spécification par gabarit relative au groupe de surfaces repérées "C" du corps de Clutch et définir une solution de contrôle de cette spécification adaptée à chaque typologie de fabrication (prototype et réalisation sériele).*

La norme NF EN ISO 2792 relative aux spécifications par gabarit défini de façon univoque les caractéristiques attendues du gabarit permettant le contrôle d'une fonction d'assemblage ou de « montabilité » de pièces par l'utilisation de l'exigence du maximum de matière.

Valider la conformité du produit par rapport à cette exigence va donc conduire à vérifier deux points :

- que les limites mini et maxi de tailles locales ne soient pas dépassées ;
- que les éléments non-idéaux de la partie extérieure de la matière tolérancés ne "dépassent" pas l'état virtuel au maximum de matière, définissant le gabarit dont les caractéristiques dimensionnelles et géométriques sont à déterminer pour chaque cas. (ici un centreur de diamètre 150 mm et deux "pions" de diamètre 7,96 mm positionnés sur un diamètre 180 mm)



- *Proposer une stratégie pédagogique permettant d'aborder la notion de gabarit vue à la question précédente.*

La proposition pédagogique attendue doit permettre d'aborder de manière progressive les différents points relatifs au tolérancement par gabarit.

L'exigence du maximum de matière permet de cibler directement une fonction (ici une montabilité) en prenant en compte la dépendance entre défauts dimensionnels et défauts de forme.

Le décodage des spécifications géométriques et dimensionnelles est donc un pré-requis essentiel pour aborder ces notions.

- *Proposer une analyse critique des usages et apports du numérique pour la formation des BTS CPRP et CPI, dans le cadre des enseignements relatifs au décodage des spécifications et à la métrologie.*

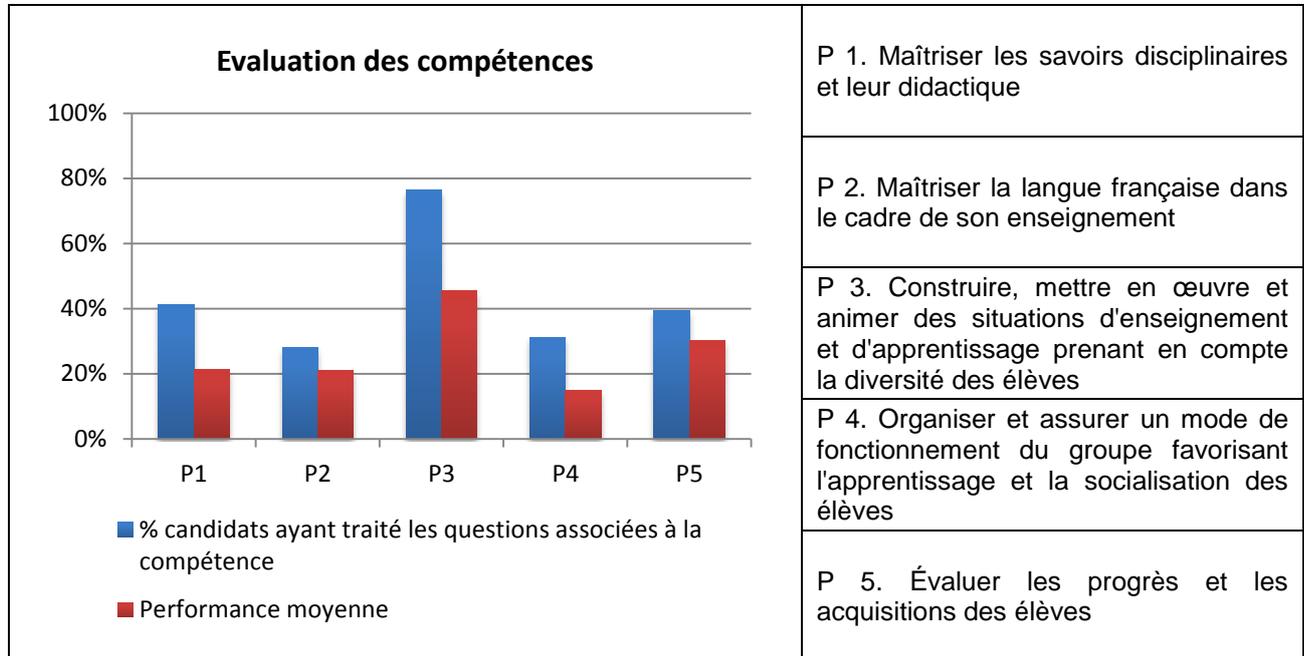
Beaucoup de candidats se sont lancés dans une dissertation sur les apports ou au contraire les « nuisances » du numérique dans l'enseignement technique en faisant l'éloge de la planche à dessin.

Le propos concernait uniquement l'apport du numérique dans le décodage des spécifications et la métrologie. Il est indéniable que le numérique est un élément incontournable tout d'abord dans le développement d'outils professionnels du domaine de la mesure et du tolérancement. On pourra citer par exemple les outils d'écritures des spécifications 3D directement sur la maquette numérique ou encore les chaînes de mesures et de contrôle permettant de comparer les pièces réelles avec le modèle théorique dans le même environnement (scanning, gabarits virtuels, balayage 3D ...).

Concernant l'aspect pédagogique, l'évolution « numérique » des outils de mesure et de contrôle conduit à l'émergence de nouvelles méthodes et pratiques qui doivent être abordées dans l'enseignement. De plus, la possibilité de construire les zones de tolérancement des spécifications dans un environnement 3D associées ou non au modèle numérique de la pièce permet une meilleure identification des défauts par les élèves.

Commentaires du jury

L'épreuve est construite autour de l'évaluation de cinq compétences pour lesquelles le graphique ci-dessous présente pour chacune d'entre elles les performances constatées ainsi que la proportion de candidats ayant traité les parties du sujet associées à l'évaluation de ces compétences.



En premier lieu, l'analyse des résultats appelle des remarques d'ordre général. Le jury constate un nombre important de copies dans lesquelles les candidats n'ont traité qu'une partie très limitée du sujet. On peut donc s'interroger sur le niveau de préparation et l'investissement consenti face à un concours permettant la valorisation interne du corps enseignant.

Les niveaux de performance au regard des compétences évaluées restent globalement faibles, même si la compétence P3 au cœur de l'activité de l'enseignant présente des résultats plus encourageants. La recherche de stratégies pédagogiques adaptées à un public hétérogène demeure un enjeu vis-à-vis duquel les propositions des candidats restent toutefois peu élaborées – une attention particulière doit être portée sur cet aspect du métier.

P 1. Maîtriser les savoirs disciplinaires et leur didactique

Une part importante de l'épreuve portait sur la lecture et l'écriture des spécifications. Le jury constate que malgré les recommandations faites lors de la session précédente, ce point est manifestement mal maîtrisé par une majorité de candidats. Il n'est donc pas surprenant que les réponses aux questions de didactique liées à ces savoirs abordés dans les parties 2 et 3 du point de vue du concepteur comme du point de vue du fabricant aient été décevantes. Le jury rappelle la nécessité pour un enseignant d'ingénierie mécanique d'enrichir et d'actualiser ses connaissances dans ce domaine transversal.

Concernant les questions générales de pédagogie et de didactique, la majorité des candidats n'est pas suffisamment préparée à mettre en forme des propositions d'organisation dans le cadre d'une épreuve écrite. Le jury aurait souhaité voir plus de réponses formalisées sous forme de graphiques ou d'organigrammes qui permettent de traduire visuellement une chronologie d'activités ou une succession d'étapes.

P 2. Maîtriser la langue française dans le cadre de son enseignement

Le format de l'épreuve, ainsi que le questionnement proposé, laisse au candidat une possibilité d'apporter des réponses argumentées face à des questions relativement ouvertes, permettant ainsi d'exprimer ses capacités d'analyse et de synthèse. Le jury constate qu'un nombre important de candidats ne démontre pas suffisamment ces aptitudes, et s'engage sur de longs développements ne faisant pas ressortir les éléments clé de la réflexion et des propositions formulées. De tels développements sont contre-productifs.

P 3. Construire, mettre en œuvre et animer des situations d'enseignement et d'apprentissage prenant en compte la diversité des élèves

La construction de situations d'apprentissage s'articule autour de la notion de séquence. La maîtrise des différentes étapes de la construction d'une séquence est donc à la base des développements attendus. L'étape d'activation, souvent délaissée lors de la mise en œuvre de situations d'enseignement, faisait ici l'objet d'une question spécifique (partie I, question 3). Certains candidats ne maîtrisent pas la notion même d'activation, ou la réduisent à une présentation relativement générale du support sans amener la problématique qui constitue le fil rouge de la séquence du point de vue des élèves ou étudiants. Les approches retenues dans cette phase doivent permettre au candidat de faire des propositions originales, novatrices. Si quelques propositions relevées font preuve de créativité, la majorité reste limitée à un échange avec l'enseignant en début de séance, s'appuyant parfois sur un support de type "reportage vidéo".

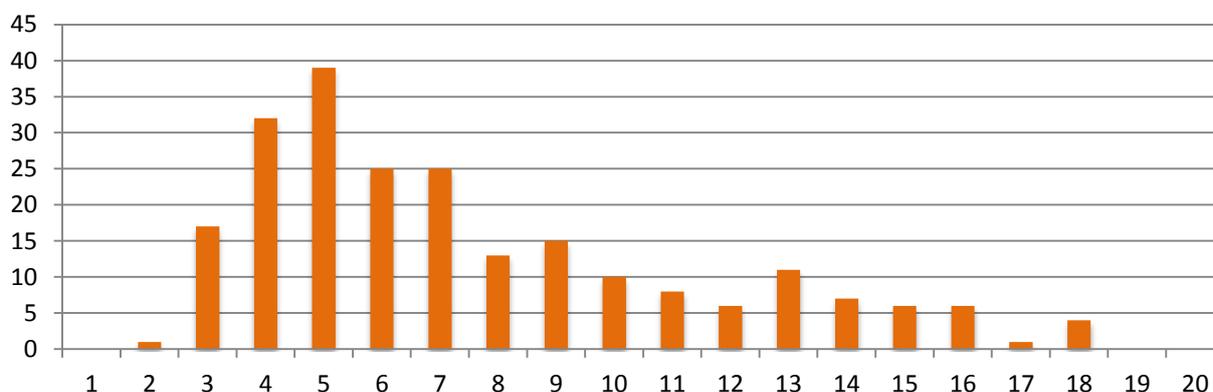
P 4. Organiser et assurer un mode de fonctionnement du groupe favorisant l'apprentissage et la socialisation des élèves

Très peu de candidats ont proposé des organisations de séquences avec du travail de groupe. Il aurait été intéressant de trouver parmi les réponses des candidats des propositions d'organisation centrées sur la notion de projets ou mini-projets autour desquels sont formés des groupes de travail intégrant un public d'étudiants d'origines divers (bac Pro, STI2D et autres parcours). De plus, aucune proposition n'a été faite de varier les modes d'organisation des activités comme par exemple alterner des rotations de TP tournants en mixant les publics, proposer des activités de travail collaboratif CPI/CPRP, tout en intégrant des activités de projets dans la progression globale.

P 5. Évaluer les progrès et les acquisitions des élèves

La question de l'évaluation a été traitée de façon correcte par les candidats ayant répondu. Les différents modes d'évaluation proposés sont cohérents par rapport à la nature des activités élèves envisagées (TP, TD). Peu de candidat ont proposé des activités de projets ou de travail de groupe collaboratif et la question délicate de l'évaluation dans ce contexte n'a pas été abordée. L'importance du travail de groupe à la fois dans l'enseignement et dans les tâches professionnelles rend nécessaire une réflexion sur l'évaluation et la valorisation des acquis individuels lors de ce type d'activités.

Histogramme des notes



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

Coefficient 2 – Durée 6 heures

Définition de l'épreuve (extrait du bulletin officiel)

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

- activités pratiques : 4 heures ;
- préparation de l'exposé : 1 heure ;
- exposé : 40 minutes maximum ;
- entretien avec les membres de jury : 20 minutes maximum.

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

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

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

Pour la première partie sont évalués chez le candidat :

- la capacité à mettre en œuvre des matériels et équipements ;
- la capacité à conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'un mécanisme ou produit, d'une solution technologique, d'un procédé, d'un processus : qualité des expérimentations et de l'analyse ;
- la capacité à exploiter des résultats obtenus, à formuler des hypothèses et/ou des conclusions.

De fait, 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. Pour mettre en œuvre les matériels ou les équipements, sont associés des systèmes informatiques de pilotage, de traitement de données, de simulation, de représentation...L'opérationnalité sur un matériel ou un logiciel spécialisé n'est pas exigée.

Pour la deuxième partie sont évalués chez le candidat :

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

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 plus particulièrement des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie. La conception de la séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé, à un niveau de classe donné suppose de présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.

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.

Déroulement détaillé de l'épreuve :

Cette épreuve de 6 heures comporte donc 3 phases distinctes :

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

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

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

Phase 1

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

Cette phase se déroule en 3 parties.

Première partie (durée indicative ≈ 0h30)

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

Deuxième partie (durée indicative et conseillée ≈ 2h00)

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

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

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

Troisième partie (durée indicative et conseillée ≈ 1h30)

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

Le candidat dispose durant toute la durée de l'épreuve d'une archive numérique et d'un moyen de stockage avec les données et ressources fournies, sur laquelle ils peuvent sauvegarder leurs propres résultats.

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

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

Durant cette phase de préparation en loge, le candidat n'a plus accès aux matériels, systèmes et moyens mobilisés durant les 4 premières heures. Le candidat dispose de quelques minutes pour accéder à la salle de jury, installer et régler les moyens de présentation mis à sa disposition et tester sa présentation.

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

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

L'exposé oral d'une durée maximale de 40 minutes doit comporter :

- une présentation du système ou produit étudié et de la problématique associée (durée conseillée 5 minutes au maximum) ;
- le compte rendu des activités, manipulations et investigations menées, une analyse et justification des résultats obtenus dans la deuxième phase de la première partie (durée conseillée 15 minutes au maximum) ;
- l'exploitation pédagogique conçue (durée conseillée 20 minutes au maximum).

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

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

L'entretien avec les membres de jury dure 20 minutes au maximum. Au cours de cet entretien, le candidat est interrogé et invité à préciser, à justifier et/ou à développer certains points de sa présentation, tant sur les aspects techniques et scientifiques en lien avec les activités pratiques réalisées que sur ses choix en matière de didactique et de pédagogie pour la séquence pédagogique proposée.

Thèmes et études proposées à la session 2016

- conception et validation d'une géométrie à partir d'études statiques et dynamiques ;
- étude structurelle et énergétique d'une chaîne de transmission de puissance ;
- validation du dimensionnement d'un capteur de couple ;
- étude de pré-industrialisation, choix de matériau et étude de comportement d'un produit mécanique ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification de processus ;
- étude de qualification et optimisation d'une phase de production ;
- caractérisation du phénomène de retrait dans un processus d'obtention de produit.
- caractérisation de produits issus d'un procédé de fabrication additive ;

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

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

Pour la partie « travaux pratiques »

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

Pour la partie pédagogique

- décrire le système étudié ;
- synthétiser, mettre en forme, organiser et justifier les résultats des expérimentations, des investigations ;
- analyser les écarts constatés, formuler des hypothèses ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue.

Et à la suite :

- proposer un objectif ou une organisation (didactique et pédagogique) de la séquence de formation ;
- replacer les activités vécues au cours de la partie « travaux pratiques » dans la séquence pédagogique proposée ;
- décrire les activités des étudiants ;
- identifier les moyens et ressources mobilisés ;
- préciser les critères, modalités et conditions d'évaluation ;
- exposer son travail 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 : réponse synthétique, cohérente, pertinente et argumentée.

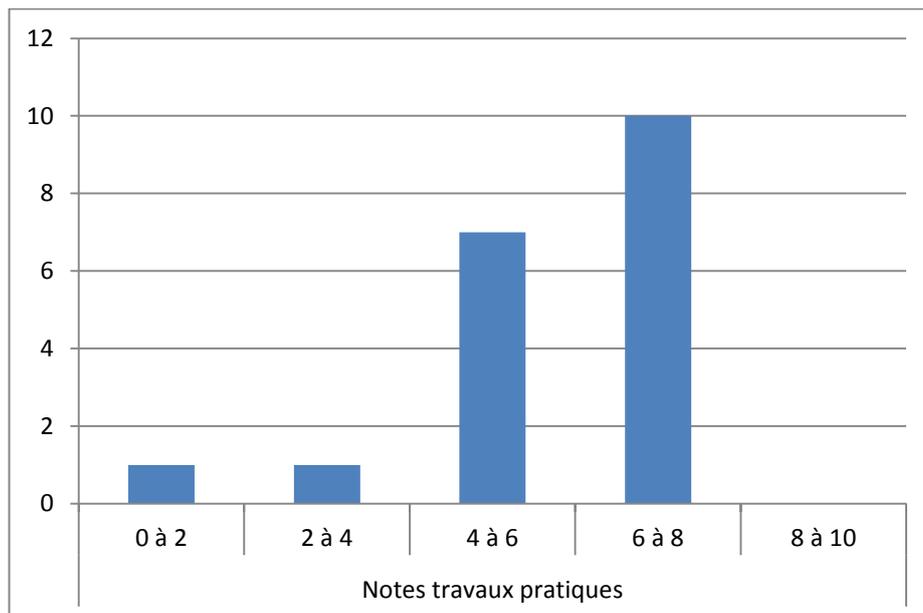
Analyse des résultats

19 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- La moyenne des notes obtenues est de **10,21 / 20**
- La meilleure note est de **16 / 20**.
- La note la plus basse est de **01,4 / 20**.

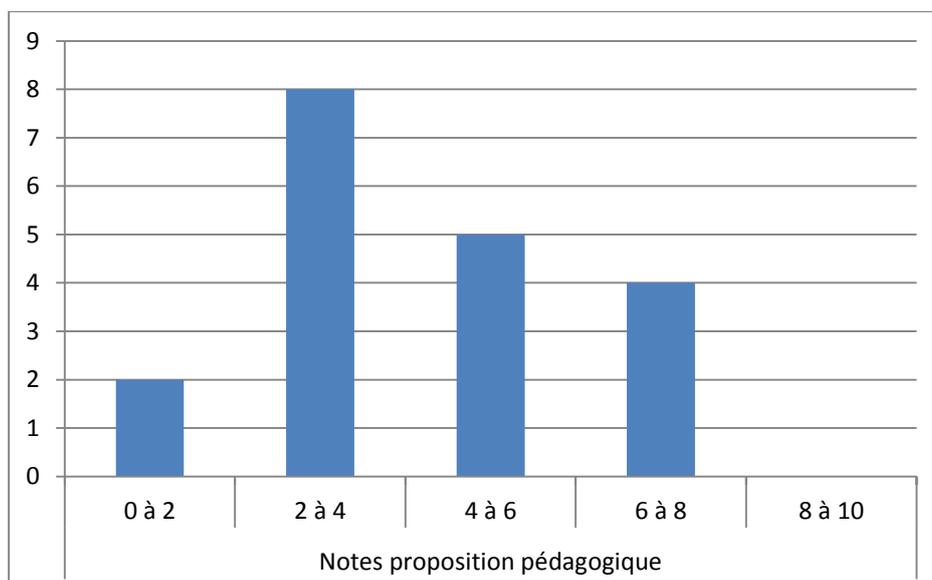
Répartition des notes obtenues par les 19 candidats dans la première partie de l'épreuve

- Moyenne : **05,83/10**
- Note minimum attribuée : **00,70/10**
- Note maximum attribuée : **08,00/10**



Répartition des notes obtenues par les 19 candidats dans la deuxième partie de l'épreuve

- Moyenne : **04,38/10**
- Note minimum attribuée : **00,70/10**
- Note maximum attribuée : **08,00/10**



En première analyse, ces résultats démontrent une grande étendue des résultats, avec des écarts significatifs mais surtout une différence dans la performance des candidats vis-à-vis des 2 parties de cette épreuve, de fait le constat d'une performance plus faible des candidats sur la 2^{ème} partie : « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury ». Par comparaison avec les sessions antérieures, la première partie de l'épreuve est mieux traitée par les candidats, ils obtiennent de meilleures performances, à associer à un niveau scientifique jugé satisfaisant même si pour un petit nombre de candidats, les résultats ne confirment pas les résultats obtenus dans le cadre des épreuves écrites.

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

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

Des candidats ne consacrent pas suffisamment de temps pour exploiter les données et informations disponibles ou apportées par le membre de jury dans le cadre de son entretien et suivi du candidat durant la première partie. Cette organisation des données est pourtant nécessaire pour ensuite les replacer judicieusement dans le cadre de la conception de la séquence pédagogique attendue.

Sur la deuxième partie de l'épreuve, nombre de candidats ne valorisent pas leurs propres expériences de l'enseignement. Pourtant, la partie pédagogique développée à leur initiative devrait être un atout. Certains consacrent beaucoup plus de temps à présenter une organisation générique de la séquence pédagogique sans toujours replacer les ressources disponibles, utilisées, existantes et les résultats obtenus. A cette session, peu de séquences ont été suffisamment détaillées.

Des recommandations pour les futurs candidats

➤ Bien comprendre la commande pédagogique

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

➤ Mettre en œuvre des matériels et des équipements

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

- d'identifier les informations essentielles, étape indispensable pour une appropriation rapide du support et de la problématique ;
- d'utiliser les outils formalisés d'analyse externe et interne pour décrire le système ou le produit, les problématiques proposées ;
- de mobiliser leurs acquis techniques, scientifiques, leur connaissance des outils et méthodes d'ingénierie mécanique ;
- d'appréhender rapidement le fil directeur des activités et manipulation proposées afin de donner du sens à la proposition de la séquence pédagogique ;

- de respecter le temps conseillé pour chaque activité pour pouvoir s'appuyer sur chacune d'elle et pour donner davantage de consistance à la séquence pédagogique proposée ;
- d'organiser et présenter les résultats obtenus ;
- de sélectionner, au fur et à mesure des activités, les données et ressources jugées pertinentes, qui alimenteront l'exposé et la construction de la séquence pédagogique.

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

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

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

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

Il est important que les candidats abordent la question de l'évaluation des acquis des étudiants à l'issue de la séquence proposée et présentée.

➤ 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, il apparaît important :

- de ne pas négliger la présentation du système, le contexte du TP, la problématique, l'analyse des résultats obtenus qui alimenteront la séquence pédagogique ;
- de consacrer un temps suffisant pour exposer la conception de la séquence pédagogique imaginée, finalité du TP proposé ;
- de replacer la séquence dans le continuum de formation des étudiants, en référence aux programmes officiels (durées de formation, modalités de formation, définition des activités professionnelles, référentiel de certification, définition des épreuves),
- de capitaliser sur leur expérience vis-à-vis des modalités d'apprentissage, du concept de centres d'intérêts, de construction de séquences articulant les cours, les TD, les TP, de la notion de synthèse et de structuration des connaissances acquises ;
- de dégager les prérequis, les savoirs ou connaissances associées aux compétences visées, en référence aux contenus des programmes officiels (définition des activités professionnelles, référentiel de compétence et savoirs associés) ;
- de structurer la démarche de construction des compétences dans le cadre des différents apprentissages et activités proposés, en les distinguant, à la classe, au groupe, pour un étudiant ;

- d'identifier les moyens et/ou matériels, les outils logiciels et ressources numériques qui permettront aux étudiants de vivre la séquence pédagogique ;
- de dégager la plus-value de l'activité ou de la séquence proposée, préciser les avantages, les conditions de réussite mais aussi les contraintes pressenties ;
- de conclure sur l'intérêt du système ou support étudié, sa finalité en termes d'apprentissages pour les étudiants.

Conclusion

Il est important 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, 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 conduire ou construire des démarches technologiques et scientifiques qui permettront de mettre en évidence ou de conclure sur les écarts constatés entre les données disponibles les résultats issus de la mise en œuvre de système ou produits, des modèles simulés, d'étude expérimentale de comportement.

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

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

ÉPREUVE SUR DOSSIER

Coefficient 1 – Durée 1 heure

Cette épreuve impose un rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique. Pour cela, il est indispensable que les candidats prennent contact avec des responsables (ingénieurs, chercheurs, ..) au sein d'une entreprise afin d'identifier les problématiques techniques pertinentes ; un dossier élaboré à partir de ressources téléchargées sur Internet ne répond pas à l'esprit de cette épreuve.

Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à celle du candidat. Elle s'appuie sur la résolution d'un problème technique identifié ; la justification de la solution à ce problème est conduite par le candidat au regard d'un cahier des charges explicite.

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

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

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat ; le jury le vérifie. Le dossier est réalisé dans le cadre d'un échange avec une entreprise. Le candidat doit montrer les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les évolutions potentielles. Ces investigations et développements doivent être traités au plus haut niveau scientifique et déboucher sur un travail personnel d'analyse sérieuse, de propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés, le tout démontrant la maîtrise d'une démarche scientifique pertinente complétée si cela est possible par des résultats d'expérimentation. Le niveau de confidentialité ne doit pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury. Le travail personnel attendu du candidat prend sens par la présentation argumentée des conclusions et non par la liste des actions menées.

Le dossier doit contenir les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine de la conception, de l'industrialisation et de la mécanique industrielle. On veillera à ce que les développements théoriques soient toujours justifiés au regard de la problématique posée.

Le support de l'étude doit permettre au candidat de faire preuve de réelles connaissances scientifiques et technologiques dans un contexte industriel choisi pour sa pertinence technique et pédagogique. Le candidat s'attachera à produire des documents techniques conformes aux normes en vigueur.

L'épreuve s'appuie sur un dossier personnel réalisé par le candidat. Le dossier est préparatoire à l'épreuve. Le jury demande au candidat de faire parvenir les dossiers en deux exemplaires et un cédérom ou une clé USB. Le cédérom ou la clé USB contient le fichier du dossier à minima au format pdf, la maquette numérique 3D dont le fichier complet est fourni, les fichiers de simulation et tout document jugé utile par le candidat. Le cédérom ou la clé USB est à structurer en quatre répertoires : CAO, simulations, dossier, et éventuellement annexes. Les maquettes numériques sont en format natif et en format neutre (iges ou step).

2. Les compétences évaluées

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

1 - Construire un dossier technique

- Choisir un support
- Analyser un système
- Imaginer des solutions, répondre à un besoin

2 - Imaginer des activités pédagogiques à partir d'un système

- Décrire des activités d'apprentissage en relation avec le référentiel choisi
- Présenter des orientations, des concepts pédagogiques
- Maîtriser l'usage du numérique

3 - Communiquer une idée, un principe, une solution technique ou un projet, des concepts pédagogiques

- Etre capable de communiquer par écrit et oralement

3. Constats et recommandations du jury

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

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

Le jury constate que de trop nombreux dossiers ne présentent pas le niveau d'analyse et d'investigation requis pour l'agrégation. En effet, le dossier technique présenté ne saurait se résumer à une simple description du système choisi par le candidat. Ce qui donne sens à l'analyse scientifique et technologique est uniquement constitué par la mise en exergue d'une véritable problématique technique authentique. Ainsi, le jury a apprécié l'introduction par certains candidats d'expérimentations en rapport avec la problématique traitée.

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

Les fichiers informatiques font partie du dossier. Ils ne peuvent donc pas se limiter au dossier proprement dit. S'ils peuvent aider à une présentation du contexte, ils doivent aussi contribuer à une bonne perception des études et des simulations avec les conditions de leur réalisation.

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

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

Il n'y a pas de modèle unique tant les préoccupations, et donc les poids relatifs des parties, peuvent varier. Cependant, le jury attend que le candidat développe des applications pédagogiques et propose une progression au sein de laquelle prend part la ou les séances détaillées.

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

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

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

L'aspect technologique et scientifique

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

Le jury rappelle aux candidats que le développement de l'étude scientifique et technologique ne peut pas se résumer à l'élaboration d'outils d'analyse. In fine, si ces outils sont nécessaires à l'étude, ils

n'ont de sens que pour répondre à la conception ou reconception technique de tout ou partie du système étudié, objet de la problématique à résoudre.

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

L'aspect pédagogique

Dans sa partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions. Au moins une d'entre elles doit faire l'objet d'un développement conséquent, c'est une séquence complète qu'il s'agit de développer. Outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, il est impératif de mettre en situation la ou les activités proposées, leurs finalités pédagogiques et d'intégrer cette séquence dans une progression pédagogique formalisée. Le jury regrette, malgré ses précédentes recommandations, que trop peu de dossiers n'aient présenté ces caractéristiques pour la session 2015.

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

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

L'expression et la communication dans le dossier

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

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

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

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats de :

- préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée de quarante minutes maximum ;
- préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement ;

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

4. Histogramme des résultats

