



# Concours de recrutement du second degré

## Rapport de jury

---

### **Agrégation interne et CAER**

### **Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

### **Option : ingénierie mécanique**

### **Session 2019**

Rapport de jury présenté par :

Jean-Marc DESPREZ  
Inspecteur général de l'éducation nationale  
Président du jury

## SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>3</b>
<b>STATISTIQUES DE LA SESSION .....</b>	<b>7</b>
<b>ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE .....</b>	<b>8</b>
ÉLÉMENTS DE CORRECTION .....	9
COMMENTAIRES DU JURY .....	30
<b>ÉPREUVE D'ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION</b>	<b>38</b>
ÉLÉMENTS DE CORRECTION .....	38
COMMENTAIRES DU JURY .....	56
<b>ÉPREUVE D'ACTIVITÉ PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE.....</b>	<b>60</b>
<b>ÉPREUVE SUR DOSSIER .....</b>	<b>71</b>

## Avant-propos

L'agrégation interne s'attache à valider le niveau de maîtrise des compétences, qui nécessite de pouvoir mobiliser des connaissances pour analyser et des savoir-faire pour répondre à un problème donné ; mais aussi pour exploiter ces ressources, données et résultats pour imaginer et élaborer des séquences pédagogiques.

Les épreuves d'admissibilité sont définies ainsi :

- **1 - Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique**

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

*Durée : cinq heures ; coefficient 2.*

- **2 - Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation**

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

*Durée : quatre heures ; coefficient 1.*

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

Afin de bien 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 des sessions précédentes :

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/pid34315/se-preparer-pour-les-concours-second-degre-jurys.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-clefs des séances de formation constitutives. La séquence proposée prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.*

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

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

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

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

## **2 - Épreuve sur dossier.**

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

*L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée.*

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

*L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques.*

*Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.*

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

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

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

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

Remarques :

La première épreuve comporte deux évaluations distinctes et complémentaires. Si les compétences scientifiques et technologiques sont évaluées au travers des études et des problèmes à résoudre, c'est bien une évaluation des compétences pédagogiques qui sont également analysées. La difficulté des candidats à appréhender les études et problèmes pour une exploitation pédagogique est préoccupante pour des candidats se présentant à l'agrégation interne, elle est pourtant l'essence même des démarches pédagogiques d'aujourd'hui et attendues dans l'exercice du métier de professeur de SII.

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

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, sont organisées.

Jean-Marc DESPREZ  
Président du jury

## RÉSULTATS STATISTIQUES

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la 1 <sup>re</sup> épreuve d'admissibilité	Présents à la 2 <sup>e</sup> épreuve d'admissibilité	Admissibles	Admis
Public	<b>282</b>	<b>7</b>	<b>161</b>	<b>154</b>	<b>14</b>	<b>7</b>
Privé	<b>31</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

### 2 absents aux épreuves d'admission

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	<b>13,25</b>
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	<b>9,5</b>
Moyenne obtenue par le premier candidat admis (toutes épreuves)	<b>12,99</b>
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	<b>10,06</b>

Les statistiques par épreuve figurent dans les commentaires associés

#### Candidats admissibles

Note maxi épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	<b>14,1</b>
Note mini épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	<b>4,1</b>
Note maxi épreuve sur dossier	<b>17,9</b>
Note mini épreuve sur dossier	<b>2,9</b>

#### Candidats admis

Note maxi épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	<b>14,1</b>
Note mini épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	<b>10</b>
Moyenne des admis	<b>11,78</b>
Note maxi épreuve sur dossier	<b>17,9</b>
Note mini épreuve sur dossier	<b>6,7</b>
Moyenne des admis	<b>12,05</b>

#### Répartition des admis par académies

Académies	Nombre d'admis
Aix Marseille	<b>1</b>
Créteil Paris Versailles	<b>1</b>
Grenoble	<b>1</b>
Guadeloupe	<b>1</b>
Lyon	<b>1</b>
Nantes	<b>1</b>
Rennes	<b>1 privé</b>
Strasbourg	<b>1</b>

# ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient 2 – Durée 5 heures

ÉVOLUTION DE VANNES CLAPETS DU PONT BARRAGE SUR L'ALLIER ENTRE  
BELLERIVE/ALLIER ET VICHY



**Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère**



## ÉLÉMENTS DE CORRECTION

**Les parties 2, 4 et 5 portant sur des aspects pédagogiques, les éléments de corrigé indiquent ce que les membres de jury ont cherché à évaluer. Ils ne constituent pas une réponse unique.**

**PARTIE 1 : Analyse et choix de solutions en vue de respecter l'exigence 1.1.3  
« Supporter les efforts de poussée de l'eau »**

**Partie 1.1 : Détermination des actions mécaniques agissant sur une vanne-clapet.**

**Question 1.1.1 :** Le modèle retenu de répartition de la pression de l'eau sur la paroi est défini par la loi :  $p(z) = \rho \cdot g \cdot (h_{\text{eau}} - z)$ , où  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  est la masse volumique de l'eau et  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  est l'accélération de la pesanteur. **Justifier** ce modèle et les hypothèses associées.

Hypothèses :

- statique des fluides (Théorème de Pascal) : on ne tient pas compte de l'effet de la vitesse de l'eau qui se déverse sur la retenue ;
- pression atmosphérique négligée devant celle de l'eau (ou compensée par action de l'air côté aval).

**Question 1.1.2 :** Compte tenu du modèle de répartition de pression de la question précédente, et des paramètres géométriques et vectoriels de la figure 5, **déterminer** les expressions littérales de  $\vec{F}_{\text{eau} \rightarrow \text{paroi}}$  la force exercée par l'eau sur la paroi et de  $\vec{M}_{O, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}}$  le moment au point O, pied de la paroi, exercé par l'eau sur la paroi.

$$\vec{F}_{\text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = \iint_S \rho_{\text{eau}} g (h_{\text{eau}} - z) d\vec{S} = l \int_0^{z=h_{\text{eau}}} \rho_{\text{eau}} g (h_{\text{eau}} - z) dz \vec{x}$$

$$\vec{F}_{\text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = l \rho_{\text{eau}} g \left[ h_{\text{eau}} z - \frac{z^2}{2} \right]_0^{h_{\text{eau}}} \vec{x} = l \rho_{\text{eau}} g \frac{h_{\text{eau}}^2}{2} \vec{x}$$

$$\vec{M}_{O, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = \iint_S \vec{OM} \wedge -p(z) d\vec{S} = l \rho_{\text{eau}} g \frac{h_{\text{eau}}^3}{6} \vec{y}$$

**Question 1.1.3 :** **Déterminer** la position du centre de poussée Q tel que  $\vec{M}_{Q, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = \vec{0}$  et **commenter** la forme du torseur d'actions mécaniques de l'eau sur la paroi.

$$\vec{M}_{Q, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = \vec{0} = \vec{M}_{O, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}} + \vec{QO} \wedge \vec{F}_{\text{eau} \rightarrow \text{paroi}}$$

$$\vec{M}_{Q, \text{eau} \rightarrow \text{paroi}} = l \rho_{\text{eau}} g \frac{h_{\text{eau}}^3}{6} \vec{y} + (-z_Q \vec{z}) \wedge l \rho_{\text{eau}} g \frac{h_{\text{eau}}^2}{2} \vec{x}$$

d'où  $z_Q = \frac{h_{\text{eau}}}{3}$

Le torseur d'action mécanique est donc un glisseur dont le centre de poussée est à 1/3 de la hauteur de la retenue d'eau.

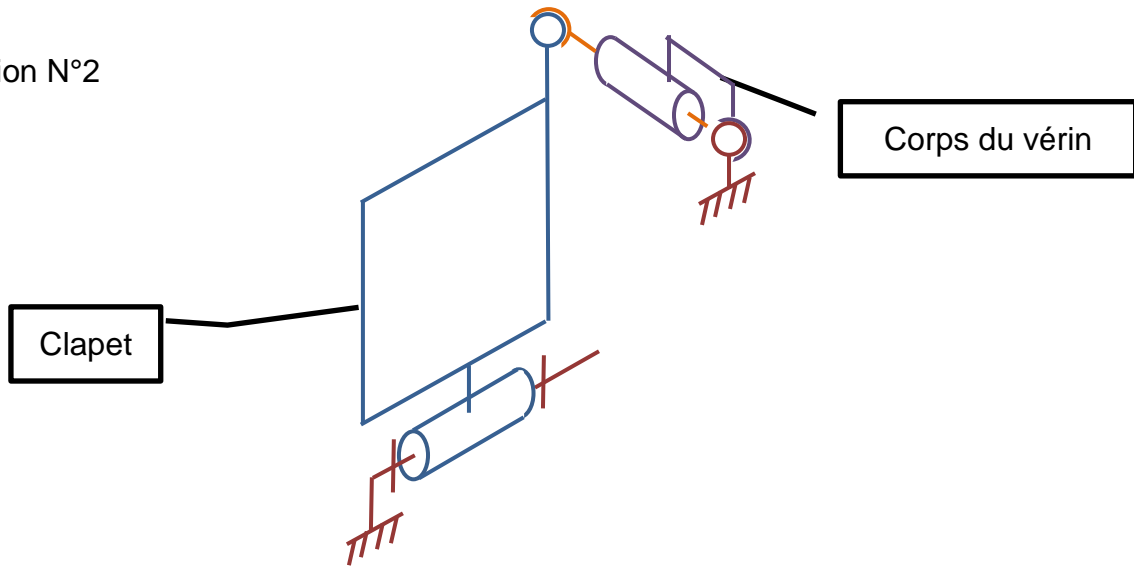
**Question 1.1.4 : Déterminer** les valeurs numériques des composantes du torseur d'actions mécaniques de l'eau sur la paroi.

$$\{\mathcal{F}_{\text{eau} \rightarrow \text{paroi}}\} = \begin{Bmatrix} 2,35 \cdot 10^6 & 0 \\ 0 & 6,28 \cdot 10^6 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} = \begin{Bmatrix} 2,35 \cdot 10^6 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{Q, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}} \quad \text{en N et N.m.}$$

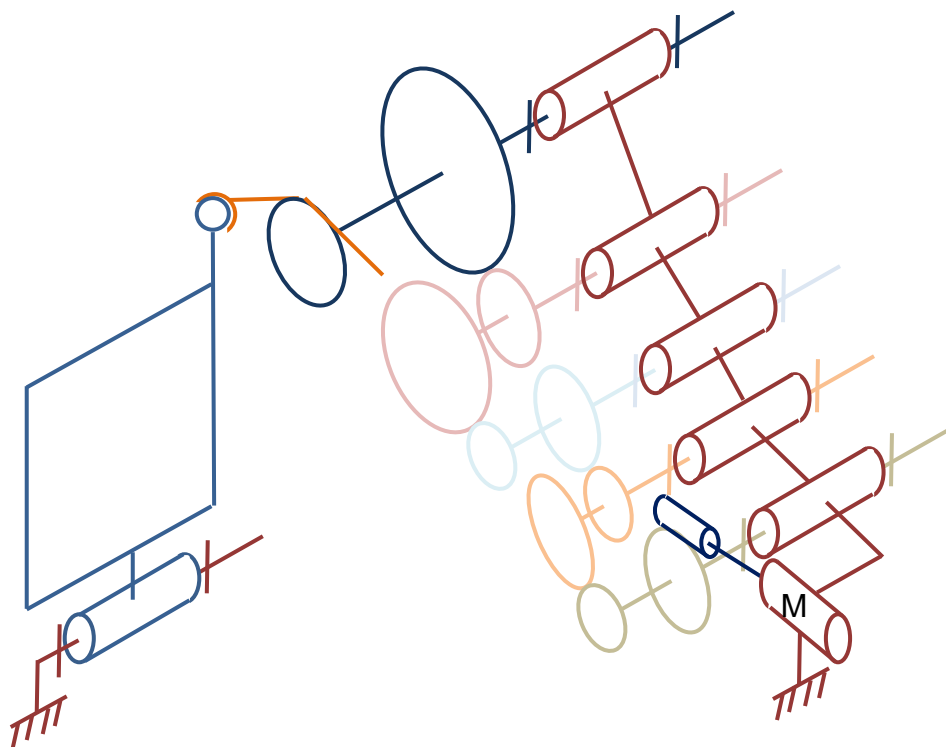
**Partie 1.2 : Pré-dimensionnement de la liaison pivot en pied de vanne**

**Question 1.2.1 : Décrire** les systèmes d'ouverture N°1 et N°2 à l'aide de schémas cinématiques.

Solution N°2



Solution N°1



**Question 1.2.2** : Dans la position « vannes hautes » sur la trame fournie au DR1, **déterminer** par une méthode graphique la valeur de l'action mécanique exercée par le sol sur le clapet dans l'articulation de pied de vanne pour la solution N°2. **Préciser** la méthode utilisée.

Bilan des Actions Mécaniques Extérieures :

- (1) Action de l'eau : glisseur dans la direction orthogonale à CD vers la gauche, appliqué au point Q de norme  $F_{eau \rightarrow paroi} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ N}$ .
- (2) Poids de la vanne : glisseur dans la direction  $-\vec{z}$ , appliqué au point G centre de masse, de norme  $P_{vanne} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ N}$ .
- (3) Action dans la liaison pivot (ou articulation de pied de vanne) : glisseur appliqué au point C, direction et norme inconnues.
- (4) Action du vérin (ou de la chaîne) : glisseur appliqué au point D, de direction connue (cf. traits bleu ou rouge figure 4), de norme inconnue.

Principe Fondamental de la Statique :

Statique (plane) graphique d'un solide soumis à 4 glisseurs. Il faut recombinaison les deux glisseurs complètement connus i.e. (1) et (2) pour en faire un glisseur connu (norme direction et point d'application) ce qui permet de se ramener à un solide soumis à 3 glisseurs.

Les trois glisseurs sont concourants en un point P ce qui permet de déterminer la direction de (3).

Puis triangle des forces : 1 glisseur connu, un dont la direction est connue au départ (4), un dont la direction a été déterminée à l'étape précédente (3).

On trouve  $1,9 \cdot 10^6 \text{ N}$  à plus ou moins  $0,5 \cdot 10^5 \text{ N}$  près en fonction de la précision de la construction graphique.

**Question 1.2.3** : Sans détailler la résolution des calculs, **préciser** les étapes et **poser** les équations qui permettent de tracer ces diagrammes.

Deux étapes :

- Isoler la vanne, soumise toujours aux 4 glisseurs de la question 1.2.3 : (1) est toujours appliqué au point Q mais sa norme dépend de  $h_{eau}$  donc de l'angle alpha, (2) reste inchangé mais la position de G dépend de alpha, (3) est inconnu (norme et direction), (4) a une direction qui dépend de la solution (N°1 ou N°2) mais aussi de la configuration donc de l'angle alpha. Il faut écrire les 2 équations en résultante (problème plan) et en 1 équation en moment par exemple au point C.
- Écrire une équation de fermeture géométrique permettant de retrouver la relation entre la direction du glisseur (4), l'angle alpha et les autres paramètres géométriques.

**Question 1.2.4** : **Conclure** sur l'influence du choix constructif du système d'ouverture vis-à-vis des efforts engendrés dans la liaison de pied de vanne.

Le choix constructif a assez peu d'influence sur l'effort en pied de vanne (en C). Il y a une légère influence sur les efforts en D, qui sont un peu plus constants quel que soit l'angle alpha sur la solution N°2 mais rien de très flagrant. Les deux choix se valent donc à ce titre.

### Partie 1.3 : Étude de comportement associée au choix de matériau

**Question 1.3.1** : Sur la vue en perspective de la vanne clapet donnée au DR2, **indiquer** les conditions aux limites qu'il faut appliquer sur la vanne clapet pour réaliser le calcul par la méthode des éléments finis. **Préciser** également quelles autres données doivent être fournies pour l'étude de comportement.

Conditions aux limites en déplacement :

- déplacements normaux nuls au niveau de la liaison du haut de la vanne (liaison avec le vérin) ;
- déplacements normaux nuls au niveau des 15 pivots de pied de vanne.

Conditions aux limites en effort :

- pesanteur : effort volumique réparti dans toute la structure de la vanne ;
- efforts de pression de l'eau : effort surfacique normal au contact qui évolue avec la profondeur.

Autres données :

- sur le matériau : paramètres élastiques (module de Young, coefficient de Poisson) ;
- sur les éléments : type d'éléments et taille.

**Question 1.3.2** : Le matériau choisi pour la vanne est un acier du type S335. **Analyser** l'influence de ce choix sur le résultat du calcul par éléments finis. **Donner** les avantages et inconvénients de ce matériau dans le contexte d'utilisation du barrage de l'Allier.

S335 est un acier de construction de limite élastique à 335 MPa.

Il présente une bonne aptitude au soudage et à la mise en forme. Pour éviter la corrosion il faut peindre la structure mécano-soudée.

**Partie 1.4 : Modélisation de la vanne clapet avec vérin**

**Question 1.4.1. : Déterminer** l'équation littérale des débits reliant le débit  $Q_2(t)$ , la pression  $P_2(t)$  dans la chambre 2 et le déplacement du piston  $x(t)$ . **Déterminer** l'équation de l'effort de sortie du vérin  $F_v(t)$  en fonction des pressions  $P_1(t)$  et  $P_2(t)$

$$Q_2(t) = -S \frac{dx}{dt} + \frac{V_2}{B} \frac{dP_2}{dt}$$

$$F_v(t) = S(P_1(t) - P_2(t))$$

**Question 1.4.2 : Donner** sous forme littérale le contenu des blocs  $A(p)$ ,  $B(p)$  et  $C(p)$ .

On impose que les débits entrant et sortant sont égaux soit :

$$Q(t) = Q_1(t) = S \frac{dx}{dt} + \frac{V}{B} \frac{dP_1}{dt}, \text{ et, } Q(t) = -Q_2(t) = S \frac{dx}{dt} - \frac{V}{B} \frac{dP_2}{dt}$$

$$\text{Soit : } 2 Q(t) = 2S \frac{dx}{dt} + \frac{V}{B} \frac{d(P_1 - P_2)}{dt}; \text{ soit : } \frac{d(P_1 - P_2)}{dt} = \frac{2B}{V} \left( Q(t) - S \frac{dx}{dt} \right)$$

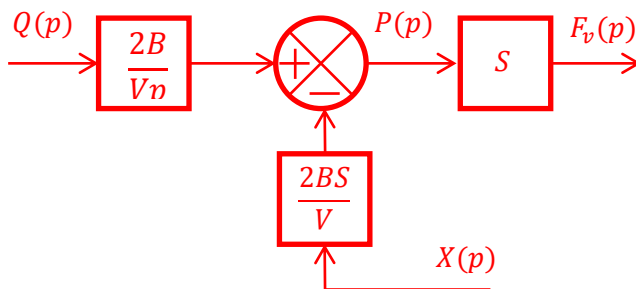
$$\text{Dans le domaine de Laplace on obtient : } p P(p) = \frac{2B}{V} (Q(p) - S p X(p))$$

D'où :

$$A(p) = \frac{2B}{Vp}$$

$$B(p) = \frac{2BS}{V}$$

$$C(p) = S$$



**Question 1.4.3 : À partir du théorème de l'énergie-puissance, démontrer** l'équation différentielle suivante)  $m\ddot{x}(t) = F_v(t) + \frac{d}{dt} F_e(t) - c\dot{x}(t)$  avec  $m = m_v + \frac{I_c}{R^2}$  la masse équivalente ramenée sur l'axe du vérin. **En déduire** l'équation aux variations dans le plan de Laplace donnant  $X(p)$  en fonction de  $F_v(p)$ ,  $F_e(p)$  et  $X(p)$  et des paramètres.

Dans un mouvement par rapport à un référentiel galiléen, la dérivée par rapport au temps de l'énergie cinétique d'un système de solides est égale à la somme des puissances extérieures au système et des puissances intérieures.

$$\text{Soit } \frac{dT_{S/R_0}}{dt} = \sum P_{int,S} + \sum P_{ext \rightarrow S/R_0}$$

Ici  $S = (\text{Tige vérin}) \cup (\text{vanne clapet})$

On néglige le mouvement de rotation du vérin autour de E.

$$T_{tige/R} = \frac{1}{2} m_v \dot{x}^2$$

$$T_{vanne/R} = \frac{1}{2} I_c \dot{\alpha}^2 \text{ avec : } \dot{\alpha} = \frac{\dot{x}}{R}$$

$$T_{S/R} = \frac{1}{2} \left( m_v + \frac{I_c}{R^2} \right) \dot{x}^2$$

Les liaisons sont supposées parfaites, donc leurs puissances sont nulles.

Le vérin délivre une puissance  $P_{v \rightarrow S/R} = \vec{F}_v \cdot \vec{V}_{t_{ige}/R} = F_v \dot{x} = PS\dot{x}$

La puissance de l'action de l'eau sur la vanne clapet est  $P_{eau \rightarrow S/R} = \vec{F}_e \cdot \vec{V}_{Q/R} = F_e d \dot{\alpha} = F_e \frac{d}{R} \dot{x}$

La puissance des forces d'amortissement est  $P_{f \rightarrow S/R} = \vec{F}_c \cdot \vec{V}_{t_{ige}/R} = -c\dot{x}\dot{x}$

D'après le théorème de l'énergie cinétique :

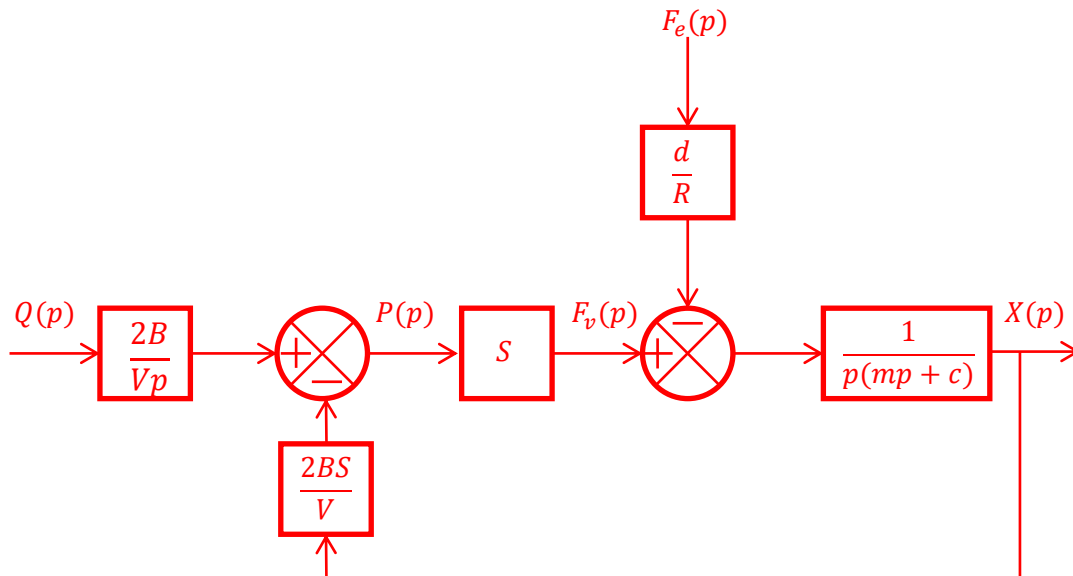
$$m\ddot{x}(t) = F_v(t) + \frac{d}{R}F_e(t) - c\dot{x}$$

Dans le plan de Laplace aux variations :

$$mp^2X(p) = F_v(p) + \frac{d}{R}F_e(p) - cpX(p)$$

$$X(p) = \frac{1}{p(mp+c)}F_v(p) + \frac{d}{Rp(mp+c)}F_e(p)$$

**Question 1.4.4 : Compléter** le schéma bloc de la question 1.4.2 afin d'avoir une représentation du système d'entrée de commande  $Q(p)$ , de perturbation  $F_e(p)$  et de sortie  $X(p)$ .



**Question 1.4.5 :** Déterminer la fonction de transfert  $\frac{X(p)}{Q(p)}$  sous forme canonique

$$\frac{X(p)}{Q(p)} = \frac{1}{Sp} \cdot \frac{\frac{R_h}{p(mp+c)}}{1 + \frac{R_h}{p(mp+c)}} = \frac{\frac{1}{S}}{p(1 + \frac{c}{R_h}p + \frac{m}{R_h}p^2)}$$

**Question 1.4.6 :** Dans le cas d'une commande en débit sous forme d'un échelon d'amplitude  $\Delta Q$ , **indiquer** si la réponse en position du vérin présentera un comportement convergent, divergent, avec oscillations, sans oscillation.

Oui, oscillation car facteur d'amortissement  $< 1$  (même  $\ll 1$  !!!)

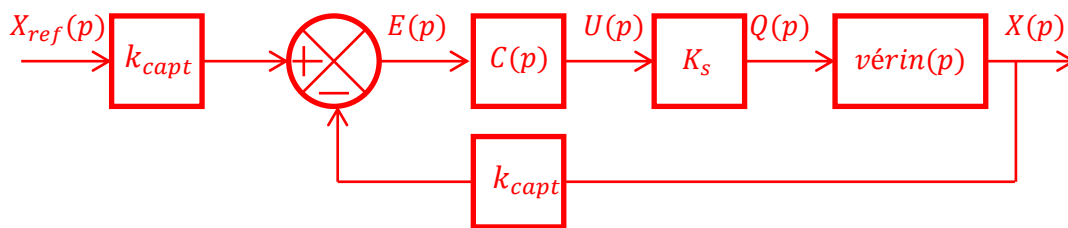
Intégration dans la chaîne directe donc la position diverge en réponse à l'échelon

**Question 1.4.7 : Proposer** une ou des solutions de correction permettant de proposer un déplacement de la tige du vérin répondant aux objectifs suivants :

- réguler la position de la vanne clapet en fonction du débit amont (exigence Id 1.1.1.2 « La régulation de niveau doit permettre de maintenir une hauteur d'eau constante et suffisante ») ;
- générer un déplacement du vérin sans vibration afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage (exigence Id. 1.3 « Assurer la sécurité des rives amont/aval »).

Des solutions simples par correction série comme de la synthèse par compensation des pôles ou filtrage de la commande de la servovalve permettent d'obtenir les résultats escomptés.

Le schéma bloc du pilotage en position du vérin pourrait être le suivant :



dans lequel :

$C(s)$  ; correcteur série ;

$K_s$  ; gain de la servovalve commandée en débit ;

$k_{capt}$  ; gain du capteur de position de la tige du vérin.

**Question 1.4.8. : Rédiger** une analyse critique des hypothèses et simplifications utilisées au cours de la modélisation.

Attention le modèle n'est établi que pour une section  $S$  identique dans les 2 chambres du vérin, le vérin est en position centrale  $V_1 = V_2 = V$  et il n'y a pas de modèle de comportement faisant le lien entre la position de la vanne et la hauteur d'eau.

## **PARTIE 2 : Élaboration d'une séquence d'enseignement « choix de structure et matériaux » en STI2D**

**Question 2.1 :** Sur feuille de copie et en complétant le document réponse DR4, **décrire** en détail la séquence pédagogique en précisant et en justifiant :

- la durée de la séquence, le nombre et la durée des séances consacrées en classe entière ou en groupe à effectif réduit ;
- le détail des activités proposées aux élèves pour chaque séance envisagée ;
- l'organisation du travail en classe, en effectif réduit ;
- la démarche pédagogique retenue pour chaque activité proposée ;
- l'utilisation des ressources et outils numériques au cours des activités ;
- les supports et/ou dossiers retenus pour chaque activité proposée.

L'objectif de cette question est d'évaluer le candidat sur différents aspects constitutifs à l'élaboration d'une séquence pédagogique. Dans un premier temps, les auteurs du sujet souhaitent pouvoir observer la capacité à décrire une organisation pédagogique cohérente et en phase avec les objectifs de formation ciblés. Au-delà d'une simple description, les justifications attendues sont des critères d'évaluation importants.

L'organisation pédagogique décrite, il est attendu une explicitation claire du travail des élèves au sein des activités et un lien identifié et justifié avec les compétences et les connaissances ciblées.

**Question 2.2 :** **Préciser** la nature et les modalités d'évaluation pour cette séquence.

Au-delà de noter les élèves, l'évaluation est un acte important pour le suivi des apprentissages et l'acquisition des compétences. Avec cette question, les auteurs du sujet souhaitent entre autres, évaluer si le candidat est capable de proposer et de décrire d'autres modalités que l'évaluation sommative, les évaluations diagnostiques et formatives étant trop peu utilisées. Afin de faire le lien avec la séquence proposée, il est également attendu des candidats qu'ils identifient des observables ou des critères de performances faisant le lien entre les activités et les compétences visées. Dans l'absolu, les critères proposés peuvent être différents d'un candidat à l'autre, le regard sera essentiellement porté sur la pertinence des justifications.



**PARTIE 3 : Validation de l'exigence 1.3 « Assurer la sécurité des habitants des rives amont/aval »**

**Question 3.1.1** : À partir des diagrammes de blocs internes du document DT1 des deux solutions de pilotage d'ouverture des vannes, **identifier** les éléments de chacune des deux solutions qui permettent de tenir compte de la sous exigence 1.3.2.

La sous exigence 1.3.2 stipule que la vanne doit supporter les efforts de poussée de l'eau en l'absence d'alimentation.

Pour la solution N°1 (moteur + chaîne) c'est l'électrofrein, fermé quand il n'est pas alimenté, qui doit empêcher la vanne de s'ouvrir sous l'effet de la poussée de l'eau. Une autre possibilité (redondance) est que le système roue vis ne soit pas réversible : la roue peut entraîner la vis mais pas l'inverse pour des questions de frottement.

Pour la solution N°2 (vérin) c'est le pré-actionneur hydraulique (en position neutre) qui va empêcher la vanne de s'ouvrir.

**Question 3.1.2** : **Conclure** sur la solution à retenir vis-à-vis de la sous exigence 1.3.2.

La solution N°1 est clairement plus adaptée ici, avec redondance possible.

**Partie 3.2 : Analyse d'une nouvelle solution respectant l'exigence 1.3.2 « En l'absence d'alimentation, supporter les efforts de poussée de l'eau »**

**Question 3.2.1** : À partir des données fournies dans le DT2, **déterminer** le nouveau temps de relevage sur la course maximale du clapet, les temps d'accélération et de décélération seront négligés. **Conclure** quant au respect de l'exigence 1.3.4.

$$k_{red} = \frac{\Omega_{pignon\ Galle}}{\Omega_{MAS}} = \left(\frac{89}{16}\right)^4 \times \frac{29}{2} = 13881,9$$

$$\text{Rayon primitif pignon Galle} = 0,3655 \text{ m}$$

$$L_{chaîne\_clapet\_relevé} = \sqrt{(1000^2 + 1200^2) - 365,5^2} = 1519 \text{ mm}$$

$$L_{chaîne\_clapet\_abaissé} = \sqrt{(6400^2 + 5933^2) - 365,5^2} = 8719 \text{ mm}$$

$$L_{chaîne\_déroulée} = 8719 - 1519 = 7,2 \text{ m}$$

$$\theta_{pignon\ Galle} = \frac{L_{chaîne\_déroulée}}{R} = \frac{7,2}{0,3655} = 19,7 \text{ rad}$$

$$\text{Vitesse MAS} = 1500 \times (1 - g) \times 2 \times \frac{\pi}{60} = 50 \times \pi \times (1 - 0,05) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = 149,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t_{relevage} = \frac{\theta_{pignon\ Galle}}{\Omega_{MAS}} \cdot k_{red} = \frac{L_{chaîne\_déroulée} \times \frac{1}{R_{pignon\ Galle}}}{1500 \times (1-g) \times \frac{2\pi}{60}} k_{red} = 1832 \text{ s avec l'ancien réducteur roue et vis sans fin}$$

En modifiant le rapport de réduction de 29/2 à 60.

$$t_{relevage} = 1832 \times \frac{60}{\frac{29}{2}} = 7581 \text{ s} = 2 \text{ h } 6 \text{ min } 21 \text{ s}$$

Temps supérieur à l'exigence 1.3.4 affinée par l'exigence 1.3.4.1 (<70 min)

**Question 3.2.2** : À partir des données fournies dans le DT2, **déterminer** le nouveau temps de relevage sur la course maximale du clapet, les temps de démarrage et d'arrêt seront négligés. **Conclure** quant au respect de l'exigence 1.3.4.

On modifie seulement la vitesse de la MAS ( $3000G(1-g)\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

$$t_{\text{relevage}} = 1832 \times \frac{60}{29} \times \frac{1500}{3000} = 3790 \text{ s} = 63 \text{ min } 10 \text{ s}$$

Temps inférieur à l'exigence 1.3.4 affinée par l'exigence 1.3.4.1 (<70 min)

**Question 3.2.3** : À partir des données fournies dans le DT2, **déterminer** la (les) classe(s) possible(s) définissant l'irréversibilité du nouvel étage roue et vis sans fin. **Conclure** quant au respect de l'exigence 1.3.2.

Angle d'hélice = 4,1 degré

Rendement en multiplicateur = 0% jusqu'à 250 tr·min<sup>-1</sup>

Ensuite le rendement en multiplicateur augmente jusqu'à 50% à 3000 tr·min<sup>-1</sup>

D'après la classification : classe 4 ou 5

Conclusion : il y a irréversibilité statique et réversibilité dynamique donc vérifier la nouvelle exigence (classe ≥ 4)

**Question 3.2.4** : À partir des données fournies dans le DT2, **déterminer** le couple maximal à fournir par la MAS. **Choisir** une référence de MAS dans le DT6. **Préciser** les efforts à rajouter afin de valider cette première sélection.

L'effort maximal sur la chaîne vaut 1 000 000 N

Rayon primitif pignon Galle = 0,3655 m

$$k_{\text{red}2} = \frac{\Omega_{\text{pignon Galle}}}{\Omega_{\text{MAS}}} = \left(\frac{89}{16}\right)^4 \times 60 = 57442,2$$

$$C_{\text{MAS}} = \frac{F_{\text{chaîne\_max}} \times R_{pG}}{k_{\text{red}2}} \times \frac{1}{\eta_{\text{eng}} \times \eta_{\text{rv}}} = \frac{1223000 \times 0,3655}{57442,2} \times \frac{1}{0,94 \times 0,77} = 8,79 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Puissance kW	Type moteur	Code produit	Vitesse tr/min	Rendement IEC 60034-2-1; 2007			Facteur puss. cos φ	Intensité			Couple			Moment d'inertie J = 1/4 GD <sup>2</sup> kgm <sup>2</sup>	Masse kg	Niveau de pression sonore L <sub>PA</sub> dB
				100 % charge	75 % charge	50 % charge		I <sub>N</sub> A	I <sub>s</sub> I <sub>N</sub>	C <sub>N</sub> Nm	C <sub>i</sub> C <sub>N</sub>	C <sub>b</sub> C <sub>N</sub>				
3000 tr/min = 2 pôles 400 V 50 Hz																
Série normalisée																
0.37	M3BP 71 MA	3GBP 071 321-••B	2660	69.2	73.5	73.7	0.80	0.96	3.9	1.41	2.2	2.3	0.00039	11	58	
0.55	M3BP 71 MB	3GBP 071 322-••B	2680	73.2	77.3	79.3	0.85	1.27	4.3	1.95	2.4	2.5	0.00051	11	56	
0.75	M3BP 80 MB	3GBP 081 322-••B	2895	80.6	79.9	76.2	0.74	1.81	7.7	2.4	4.2	4.2	0.001	16	57	
1.1	M3BP 80 MC	3GBP 081 323-••B	2870	81.8	82.4	80.2	0.80	2.4	7.5	3.6	2.7	3.5	0.0012	18	60	
1.5	M3BP 90 SLB	3GBP 091 322-••B	2900	82.2	84.1	82.7	0.86	3.0	7.5	4.9	2.5	2.6	0.00254	24	69	
2.2	M3BP 90 SLC	3GBP 091 323-••B	2885	84.7	86.7	85.7	0.87	4.3	6.8	7.2	1.9	2.5	0.0028	25	64	
3	M3BP 100 LB	3GBP 101 322-••B	2925	85.2	84.9	82.8	0.86	5.9	9.1	9.7	3.1	3.5	0.00528	36	68	
4	M3BP 112 MB	3GBP 111 322-••B	2895	86.1	87.0	86.6	0.86	7.7	8.1	13.1	2.9	3.2	0.00575	37	70	

On peut choisir une M3BP 100 LB en 3kW,  $C_{\text{MAS}\eta} = 9,7 \text{ N}\cdot\text{m}$

On n'a pas tenu compte des effets des inerties (réducteur, clapet) sur le couple nécessaire à la mise en vitesse de la MAS. Ceci étant les rapports de réduction sont très importants et les temps de démarrage ne sont pas nécessairement très rapides dans ce type d'application (quelques secondes ne sont pas déraisonnables). Leurs influences sont minimes.

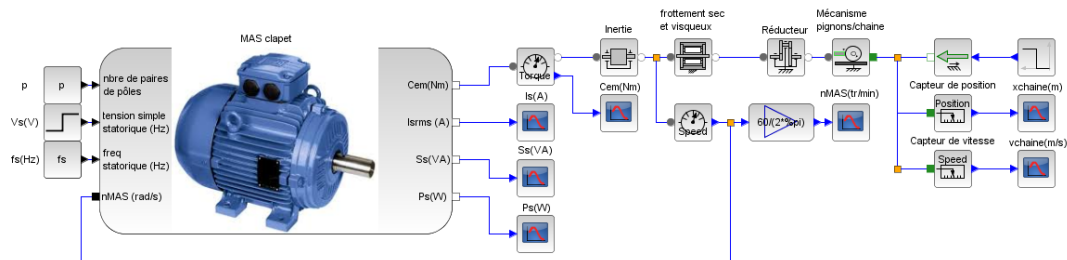
**Question 3.2.5** : **Préciser** toutes les modifications apportées à la chaîne d'énergie afin de respecter toutes les exigences.

- Modifier le réducteur réversible en un réducteur irréversible en modifiant l'angle d'hélice : 4,1°
- Remplacer les MAS tétrapolaires en MAS bipolaires (pour le respect du temps de démarrage) : M3BP 100 LB

**Partie 3.3 : Validation de l'exigence 1.3.3 « En l'absence d'alimentation générale, possibilité d'utiliser une alimentation de secours pour actionner le système de régulation de niveau ».**

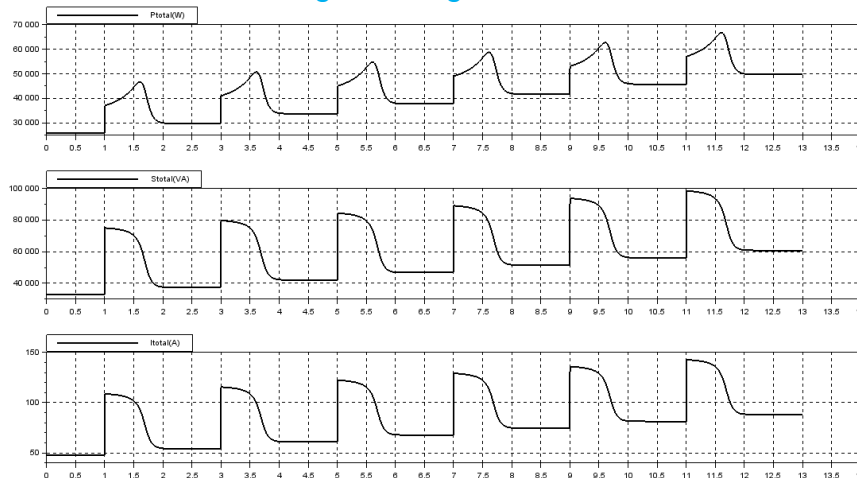
**Question 3.3.1 :** Sur le DR4 et en utilisant les paramètres connus du système et les grandeurs à afficher en simulation, **finaliser** le modèle de la chaîne de transmission d'une vanne clapet. **Préciser** la valeur à régler de  $p$  (nombre de paires de pôles de la MAS), la valeur à régler de  $V_s$  (tension simple statorique de la MAS), la valeur à régler de  $f_s$  (fréquence d'alimentation statorique de la MAS) et la valeur de l'effort pondéré de l'eau sur le clapet.

$p=2$   $V_s(V)=230$   $f_s(Hz)=50$  Effort(N)= - 1 000 000 N  
Modèle cf. DR4



**Question 3.3.2 :** À partir de l'analyse des courbes issues de cette simulation, **préciser** si le groupe électrogène est en capacité d'alimenter l'installation.

À partir des données « mas\_et\_charges\_corrige\_causal.zcos »



Le courant maximal vaut 142 A > 122 A du GE\_ERP

Le courant nominal vaut 88 A < 111 A du GE\_PRP

La puissance apparente maximale vaut :

$$S_{total\_max} = 98 \text{ kV}\cdot\text{A} < S_{GE\_ERP} = 84 \text{ kV}\cdot\text{A}$$

La puissance active maximale vaut :

$$P_{total\_max} = 67 \text{ kW} < P_{GE\_ERP} = 78 \text{ kW}$$

La puissance apparente suite aux démarrages vaut :

$$S_{total\_régime\_permanent} = 61 \text{ kV}\cdot\text{A} < S_{GE\_PRP} = 77 \text{ kV}\cdot\text{A}$$

La puissance active suite aux démarrages vaut :

$$P_{total\_régime\_permanent} = 50 \text{ kW} < P_{GE\_PRP} = 72 \text{ kW}$$

Donc problème pendant les phases de démarrage des MAS.

On peut envisager une compensation d'énergie réactive pour limiter la puissance apparente la valeur efficace du courant.

## PARTIE 4 : Utilisation pédagogique des modèles multi physiques en STI2D

**Question 4.1. : Préciser** en quoi l'exploitation des modèles numériques multi-physiques apporte une plus-value à la formation des élèves. **Comparer** la nature des apprentissages à dispenser pour des élèves relevant de la voie générale et scientifique et pour des élèves relevant de la voie technologique.

L'exploitation des modèles multiphysiques favorise la compréhension des systèmes et les liens entre les différents domaines : mécanique, hydraulique, électrique, etc.

Que cela soit pour les systèmes non présents dans le laboratoire SII, mais également pour les systèmes présents, difficilement observables dans l'ensemble des composantes. L'utilisation de ce type de modèle permet d'identifier les principales grandeurs flux et grandeur effort pour différentes technologies :

- mécanique (force ou couple / vitesse ou vitesse angulaire) ;
- électrique (tension / courant) ;
- hydraulique (Pression / débit volumique).

Le programme du baccalauréat S-SI privilégie les approches scientifiques et technologiques d'analyse, de modélisation et d'expérimentation de systèmes pluritechniques. Il met également l'accent sur les différents niveaux de modélisation, amenant les élèves à identifier et à mesurer des écarts entre système souhaité, système réel et système modélisé et simulé en s'appuyant essentiellement sur des modèles de connaissance.

En STI2D, l'élève peut apprendre par la technologie et comprendre les modèles par l'analyse des comportements des systèmes techniques et non l'inverse ce qui reste le fondement de la pédagogie en STI2D. Nous sommes là, dans l'utilisation non pas exclusivement, mais principalement des modèles de comportement.

Sur le modèle du clapet par éléments finis :

En S.SI : Après avoir expliqué la méthode des éléments finis, les élèves pourront modifier les paramètres de calculs (définition du maillage) et modifier les paramètres externes et internes afin d'identifier les écarts entre les différents résultats.

En STI2D : La méthode de calcul et le modèle sont donnés. Les élèves modifient seulement les paramètres externes et internes du modèle afin d'observer les différents comportements.

Sur le modèle multi-physique de la chaîne d'énergie :

En S.SI : À partir d'une partie du modèle, les élèves vont identifier les composants à rajouter et modifient le modèle.

En STI2D : Le modèle est donné. Les élèves modifient certaines caractéristiques.

**Question 4.2. : Préciser** les modalités pédagogiques à privilégier au cours de la scolarité des élèves en classe de première et de terminale STI2D utilisant des modèles multi-physiques, en enseignement transversal, en approfondissement (spécialités IC, EE, AC, SIN) et en projet.

En enseignement technologique transversal, les modèles seront multiphysiques pour mettre en évidence les différents flux. Par exemple le modèle multiphysique de la chaîne d'énergie du barrage peut associer les énergies électrique, hydraulique et mécanique.

En enseignement technologique de spécialité, le modèle numérique pourra être plus spécifique à la spécialité. Par exemple, le modèle du clapet par éléments finis pour déterminer sa déformée.

**Question 4.3. : Préciser** la progressivité des apprentissages à envisager au cours de la scolarité des élèves de STI2D (première et terminale) pour atteindre l'objectif de formation O5 : « utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance ».

L'objectif de formation O5 : Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance, est constitué de 3 compétences. La mise en place d'indicateurs de performance et de niveaux d'appréciation permet d'observer la progression des élèves dans l'acquisition de ces compétences. Dans le tableau suivant, les indicateurs de performance proposés sont définis en prenant en compte leur progressivité, mais il ne s'agit que d'exemples, d'autres solutions existent.

#### Exemple de progressivité

COMPÉTENCES	INDICATEURS DE PERFORMANCE
CO5.1 Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'ouverture et le lancement d'une simulation d'un modèle au préalable paramétré se font de manière autonome,</li> <li>- À partir d'un modèle multiphysique donné, les blocs sont correctement identifiés par rapport au réel :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• blocs liés aux composants d'un système,</li> <li>• blocs correspondant aux paramètres d'entrée,</li> <li>• blocs d'acquisition de grandeurs physiques,</li> <li>• blocs pour visualiser des résultats.</li> </ul> </li> <li>- Des blocs « systèmes » sont choisis et reliés aux autres éléments.</li> </ul>
CO5.2 Identifier des variables internes et externes utiles à une modélisation, simuler et valider le comportement du modèle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les variables du modèle donné sont identifiées,</li> <li>- À partir d'un modèle numérique donné, les variables sont modifiées au regard du réel,</li> <li>- La configuration du simulateur est prise en compte en fonction des objectifs de simulation,</li> <li>- Les hypothèses de simulation sont explicitées,</li> <li>- Les résultats sont analysés afin de valider le modèle.</li> </ul>
CO5.3 Evaluer un écart entre le comportement du réel et le comportement du modèle en fonction des paramètres proposés.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les grandeurs physiques à comparer sont identifiées,</li> <li>- Les écarts sont commentés,</li> <li>- Une analyse critique entre le comportement du réel et du modèle est réalisée.</li> </ul>

## **PARTIE 5 : Enseignement technologique en langue vivante (ETLV) en STI2D.**

L'enseignement technologique en langue vivante 1 (Cf. DP3.) est pris en charge conjointement par deux enseignants, un enseignant d'une discipline technologique et un enseignant de langues vivantes.

**Question 5.1 :** Sur feuille de copie, à partir du support étudié « le pont barrage de Vichy », proposer les éléments caractéristiques de cet enseignement technologique en langue vivante, en détaillant :

- les notions et pôles de compétences qui pourraient être proposés aux élèves ;
- le ou les dossiers technologiques qui seraient utilisés ;
- les aspects techniques, linguistiques et culturels qui seraient développés ;
- les objectifs de formation de ou des séances d'enseignement conjoint ;
- les démarches pédagogiques mises en œuvre ;

Il n'y a pas de réponse unique à cette question, les auteurs du sujet attendent des propositions cohérentes et argumentées.

**Question 5.2 :** Sur feuille de copie, préciser les modalités de construction de cet enseignement par les deux professeurs concernés (co-préparation, co-animation, co-intervention) pour permettre aux élèves de progresser dans la maîtrise d'une langue vivante étrangère.

Du côté enseignant, classiquement on distingue 6 modalités de co-enseignement ou de co-intervention (cf. ci-dessous). Les auteurs du sujet n'attendent pas une restitution de ces modalités mais plutôt une réflexion sur la posture relative des deux enseignants et l'identification de leur rôle respectif. L'explicitation et la justification de la co-préparation seront également des éléments importants

1. L'un enseigne, l'autre observe :

L'un des avantages de cette co-intervention est qu'une observation plus précise est possible. Cela permet entre autres de faciliter la mise en place d'une évaluation formative en précisant à l'avance ensemble quels observables identifier. Par la suite les enseignants ont à partager l'analyse des observations.

2. L'un enseigne, l'autre aide :

Dans ce fonctionnement du co-enseignement, un professeur garde la responsabilité de l'enseignement tandis que l'autre circule à travers la classe, fournissant une aide discrète aux élèves en fonction des besoins. Il est intéressant d'alterner les rôles.

3. Enseignement parallèle :

Les enseignants font en même temps la même chose : l'avantage est la réduction du nombre d'élèves. Dans un certain nombre de cas, l'apprentissage des élèves serait grandement facilité s'ils avaient juste eu plus d'attention de l'enseignant et davantage la possibilité de prendre la parole.

4. L'enseignement en ateliers :

Dans cette approche de co-enseignement, les enseignants se divisent le contenu. Chaque professeur enseigne le contenu à un groupe et reproduit son intervention ensuite auprès de l'autre groupe. Un troisième atelier peut donner aux élèves la possibilité de travailler en autonomie.

5. Enseignement avec groupe différencié :

Dans toute classe, il y a des moments pendant lesquels les élèves ont besoin d'une attention particulière. Dans cette formule, un enseignant prend la responsabilité de l'ensemble du groupe, tandis que l'autre œuvre avec un petit groupe. Cette organisation peut être choisie à des moments différents, au début ou à la fin de la séance et peut être brève. Elle peut concerner les élèves ayant des difficultés ou tout au contraire des élèves à l'aise qui vont être stimulés de manière approfondie.

6. En tandem :

Dans l'enseignement en tandem, les enseignants sont acteurs avec toute la classe en même temps. Cette organisation peut être très utile lorsque l'un parle, mène un dialogue avec le groupe classe, tandis que l'autre agit, manipule, écrit.

## **DOCUMENTS RÉPONSES**

Documents qui seront à compléter et à rendre par le candidat (tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés)

DR1 : Trame pour question 1.2.4, 1 page

DR2 : Conditions aux limites du calcul éléments finis, 1 page

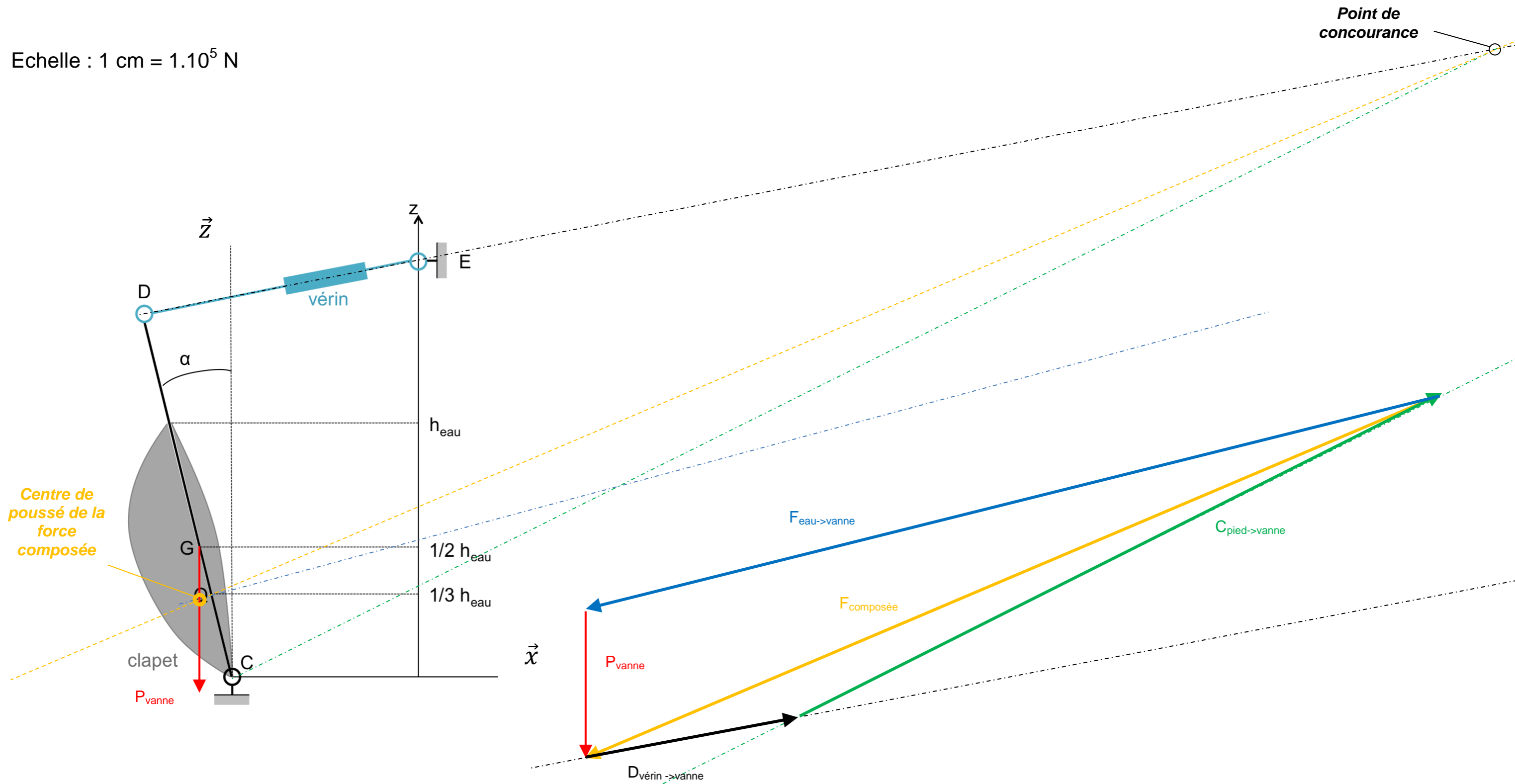
DR3 : Modélisation de la chaîne de transmission, 1 page

DR4 : Déroulé pédagogique de la séquence, 2 pages

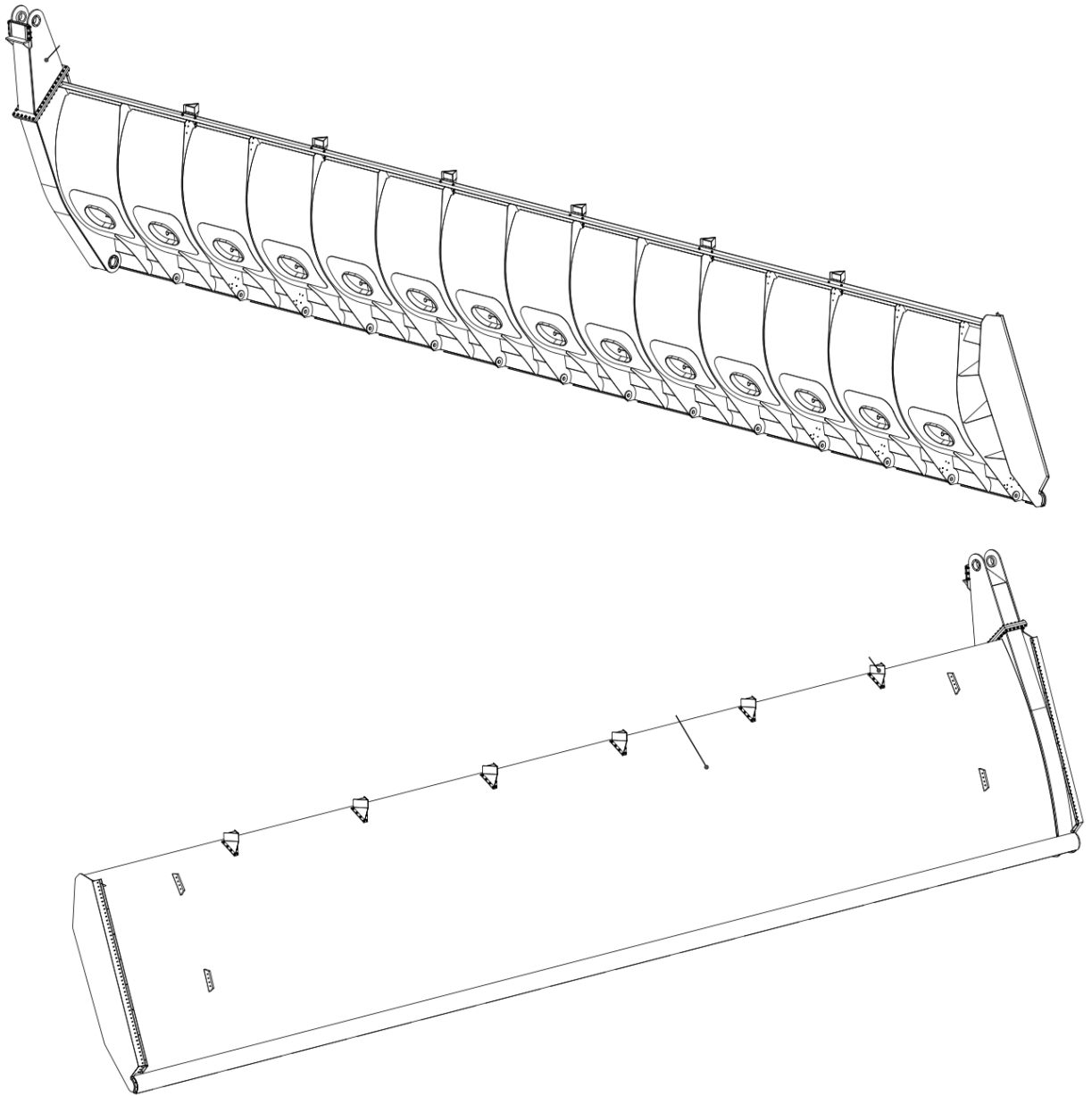


DR1 – Trame pour question 1.2.2 (format A3)

Echelle : 1 cm =  $1 \cdot 10^5$  N

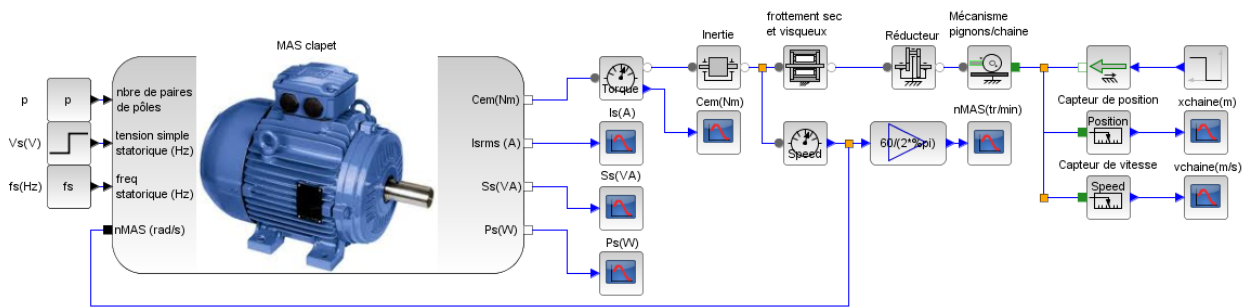


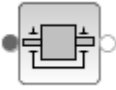














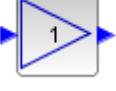
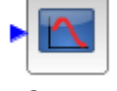

## DR2 – Conditions aux limites du calcul éléments finis



## DR3 – Modélisation de la chaîne de transmission

$p=2$	$V_s(V)=230$	$f_s(Hz)=50$	$Effort(N)=1\ 692\ 456$
-------	--------------	--------------	-------------------------



 Inertie	 Combiné ressort-amortisseur en rotation	 Frottement visqueux et sec en rotation
 Réducteur	 Conversion d'une variable en couple	 Conversion rotation↔translation
 Conversion d'une variable effort	 Frottement visqueux et sec en translation	 Masse
 Capteur de vitesse en translation	 Capteur de position en translation	 Mesure de puissance en translation
 Capteur de vitesse en rotation	 Capteur de position en rotation	 Mesure de puissance en rotation
 Gain	 Scope	 Échelon

## DR4 – Déroulé pédagogique de la séquence

STI2D – ETT (Enseignement Technologique Transversal) Déroulé pédagogique de la séquence									
Fiche pédagogique séquence N°6				TITRE : Choix structure et matériaux					
Centres d'intérêt abordés dans la séquence :				Volume horaire prévu :					
CI1 (Développement durable et compétitivité des produits). CI4 (Dimensionnement et choix des matériaux et structures).  Nombre élèves : 24 Effectif réduit : 12				Total horaire élève : 14h  Total horaire CE (classe entière) : 6h  Total horaire groupe à effectif réduit : 8h					
Description des activités pédagogiques et savoirs associés				Cocher la démarche retenue		Cocher le dossier et/ou support retenu			
Horaires	CE ou groupe à effectif réduit	Cours et savoirs associés	Organisation	Investigation	Résolution de problème technique	Projet	Dossier et/ou support N°1	Dossier et/ou support N°2	Dossier et/ou support N°3
4h	CE	1.2. Éco-conception, 1.2.1 Étapes de la démarche de conception (expression du besoin, spécifications fonctionnelles d'un système : cahier des charges fonctionnel).	<p><u>Question possible</u> : comment le développement durable est-il pris en compte dans la démarche d'éco-conception tout en assurant la compétitivité des produits ?</p> <p>Appui sur des études de dossiers technologiques permettant d'identifier les éléments principaux d'une démarche de conception de tous types de systèmes : brainstorming, proposition d'hypothèses, validation des hypothèses, phase de restitution, structuration des connaissances (synthèse) avec un travail collaboratif professeur et élèves.</p>	x			x		

STI2D – ETT (Enseignement Technologique Transversal) Déroulé pédagogique de la séquence									
Fiche pédagogique séquence N°6				TITRE : Choix structure et matériaux					
Description des activités pédagogiques et savoirs associés				Cocher la démarche retenue		Cocher le dossier et/ou support retenu			
Horaires	CE ou groupe à effectif réduit	Cours et savoirs associés	Organisation	Investigation	Résolution de problème technique	Projet	Dossier et/ou support N°1	Dossier et/ou support N°2	Dossier et/ou support N°3
8h	Groupe	2.3. Approche comportementale (modèles de comportement : proposer une approche simple permettant de justifier l'utilisation d'un modèle de comportement pouvant s'appuyer sur une simulation, permettant de justifier le paramétrage ; comportement des matériaux mécaniques : privilégier une approche qualitative par comparaison à partir d'expérimentations permettant de retenir des ordres de grandeur).	<p>Question possible : comment caractériser des matériaux et structures ?</p> <p>Travail par groupe sur un support différent : chaque groupe travaillera sur l'amélioration du « Barrage de Vichy » en se basant sur les dossiers techniques fournis et les outils de simulation. La relecture du diagramme d'exigence permettra d'identifier les exigences spécifiques pour le travail du groupe.</p> <p>Suivra une phase d'expérimentation et de simulation pour résoudre le problème technique.</p> <p>Démarche de résolution de problème technique : problème technique à résoudre, phase d'activités pratiques et de recherche interactive ; résultats, vérification et interprétation ; phase de restitution ; structuration des connaissances (synthèse) avec un travail collaboratif professeur et élèves.</p> <p>Synthèse du travail de groupe avec document de synthèse fourni sur les éléments essentiels à retenir.</p> <p>TP possible (support pédagogique) : GUNT TM110 et GUNT WP950</p>		X		X	X	X
2h	CE	<p>Vecteur force, moment d'une force, principe fondamental de la statique (PFS) ; analyse des liaisons, schéma cinématique ; relation contraintes/déformations.</p>					X		

## COMMENTAIRES DU JURY

### PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude d'un pont barrage sur l'Allier composé de vannes qui permettent à la fois de créer une retenue d'eau pour les loisirs lorsque le débit de la rivière est normal et d'effacer le barrage en cas de crues. Deux solutions coexistent pour le pilotage des vannes : une solution historique avec moteur électrique et chaîne Galle et une solution plus récente, utilisée lors de la réparation d'une vanne déficiente, par vérin hydraulique.

La première partie est consacrée à une approche « structure et matériaux ». Il s'agit de vérifier si les solutions d'ouverture ont une influence sur la liaison pivot en pied de vanne ainsi que la tenue mécanique de la vanne clapet vis-à-vis du matériau choisi. Cette première étude permettra d'envisager l'élaboration d'une séquence pédagogique « choix de structure et matériaux » en STI2D en deuxième partie. La troisième partie est centrée sur l'étude des conditions permettant de répondre aux exigences de sécurité des habitants des rives amont/aval. En quatrième et cinquième parties, il s'agit de proposer, en lien avec cette dernière étude, des exploitations pédagogiques pertinentes sur l'identification et l'exploitation des modèles numériques en STI2D d'une part, et sur l'approche de l'enseignement technologique en langue vivante (ETLV) en STI2D d'autre part.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet correspondent au prorata du temps conseillé pour composer sur chacune d'elles, à savoir :

- Partie scientifique (Parties 1 et 3) 60 %
- Partie pédagogique (Parties 2, 4 et 5) 40 %

Thématiquement, sur la partie scientifique, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

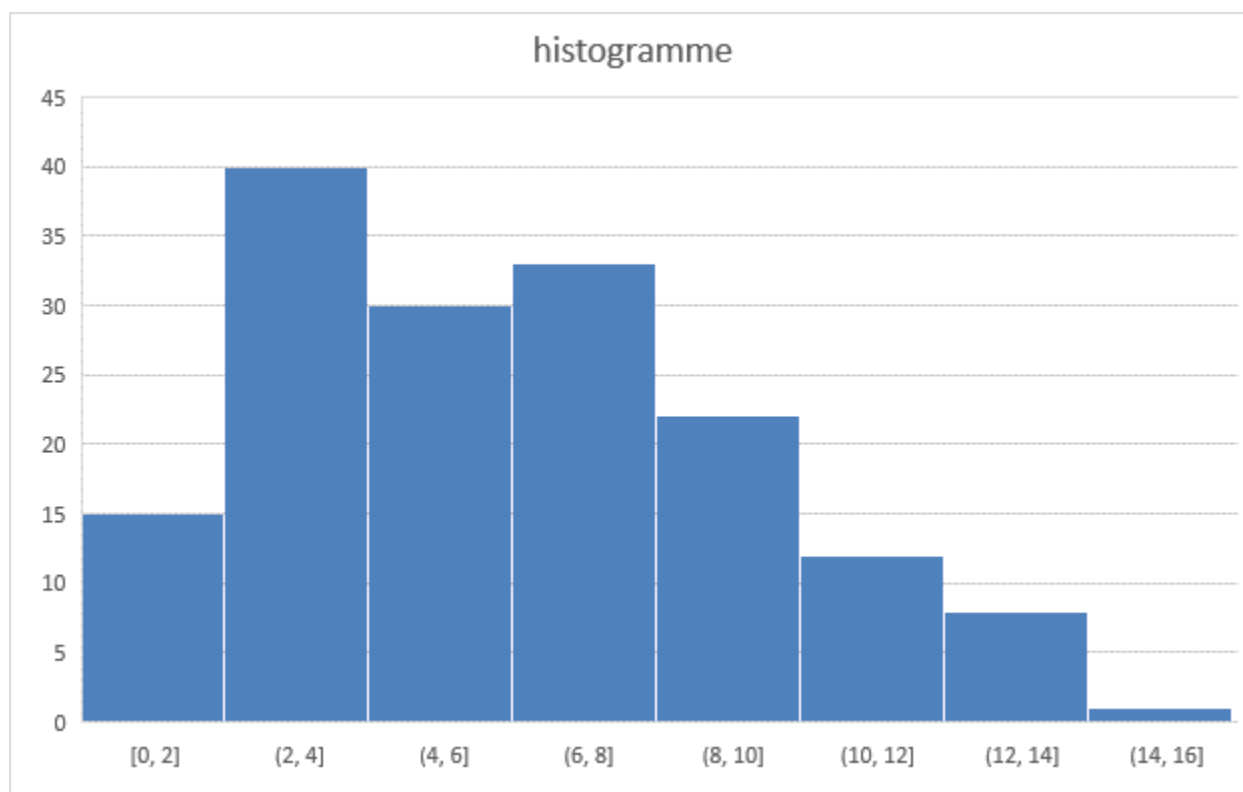
- Partie 1 70 %
- Partie 3 30 %

Sur la partie pédagogique :

- Partie 2 45 %
- Partie 4 35 %
- Partie 5 20 %

## **COMMENTAIRE GÉNÉRAL DES RÉSULTATS DE L'ÉPREUVE**

Abscisse : Points obtenus par les candidats, ordonnée : Nombre de candidats



Le sujet est structurellement long et même s'il était préférable de s'appuyer sur les parties scientifiques pour proposer les exploitations pédagogiques, les 5 parties proposées sont indépendantes les unes des autres. Les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet est conseillée afin de s'imprégner du sujet.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension.

Les questions posées sont globalement au niveau des candidats. Pour 29 questions parmi 33, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points.

Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Une grande majorité des candidats a traité ou entamé chaque partie, y compris les parties pédagogiques. Il est possible que le nouveau format d'épreuve avec les parties pédagogiques et les parties scientifiques plus imbriquées soit plus favorable. Les candidats sont nombreux à avoir abandonné les parties scientifiques pour traiter les parties pédagogiques, ce qui dénote une bonne gestion de leur temps vis-à-vis du barème, puisque qu'ils obtiennent en moyenne 70% de leurs points sur la partie scientifique et 30% sur la partie pédagogique.

## **ANALYSE PAR PARTIE**

### **Remarques générales :**

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont néanmoins intégralement non traitées par certains candidats.

### **Partie 1 : Analyse et choix de solutions en vue de respecter l'exigence 1.1.3 « Supporter les efforts de poussée de l'eau »**

#### Détermination des actions mécaniques agissant sur une vanne-clapet :

Cette partie permettait d'effectuer le bilan des actions mécaniques agissant sur une vanne clapet. Pour les actions exercées par l'eau, seule la composante statique (*i.e.* de pression) était considérée. Le modèle de la répartition de pression sur une paroi étant donné il s'agissait de retrouver le modèle d'actions mécaniques (torseur) exercées par l'eau sur la vanne. Seul un tiers des candidats remarque que le fait de négliger la vitesse de l'eau constitue une forte hypothèse du modèle.

Par la suite seulement 20% des candidats parviennent à calculer glisseur complet avec son point d'application, mais comme le résultat est donné pour la suite de l'épreuve cela n'est pas bloquant.

Il est ensuite demandé de schématiser les deux choix constructifs d'entraînement des vannes, ce qui est fait par près de la moitié des candidats.

Un bilan des actions mécaniques exercées sur la vanne est ensuite demandé, avec une démarche de résolution graphique dans la position « vannes hautes ». Si le bilan des actions mécaniques est correctement effectué par la moitié des candidats, beaucoup oublient de prendre en compte le poids de la vanne, puis éprouvent des difficultés dans la résolution graphique ; le système étant soumis à 4 glisseurs dont 2 complètement connus, très peu de candidats pensent à sommer ces deux glisseurs et encore moins savent en quel point l'appliquer. Au final moins de 10% des candidats terminent la résolution graphique avec succès.

Pour la suite, les valeurs des efforts, calculés pour l'ensemble des inclinaisons de vannes étaient données aux candidats en vue de leur analyse. Il était demandé d'expliquer la démarche qu'ils auraient dû faire pour les obtenir. Si beaucoup pensent qu'il faut appliquer le principe fondamental de la statique à la vanne, moins de 1% des candidats ont pensé à citer la fermeture géométrique.

L'analyse des courbes n'a quant à elle pas posé de problème aux candidats. Dans la suite il était proposé d'effectuer un pré-dimensionnement de la vanne avec un calcul par éléments finis. Les propositions de mise en données par les candidats sont souvent incomplètes : conditions aux limites en effort ou en déplacement, données matériaux, et trop souvent l'analyse de la contrainte maximale n'est effectuée que sur la première carte donnée.

Les candidats connaissent par ailleurs l'acier S335 et ses propriétés pour les trois quarts d'entre eux.



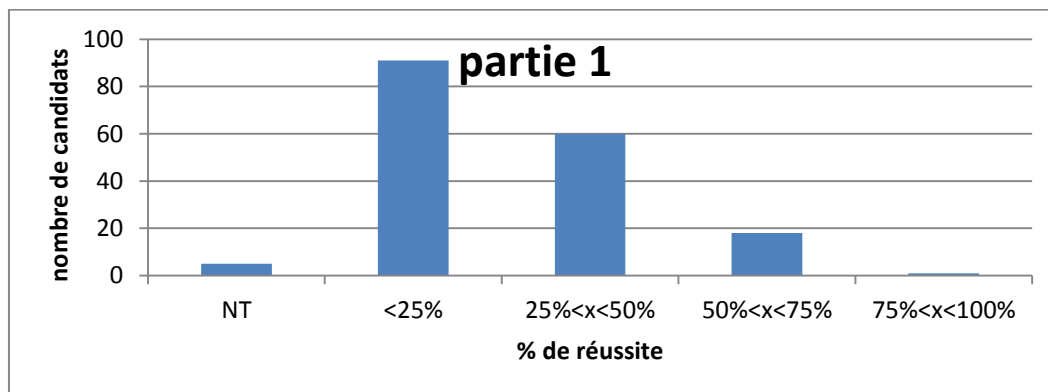
## Modélisation de la vanne

La partie 1.4 abordée par 110/175 candidats consistait à modéliser le comportement de la vanne sous forme de schéma-bloc, en vue de proposer une solution de correction permettant de réguler la position de la vanne, avec un déplacement suffisamment amorti. Seuls 21/175 ont proposé une solution de régulation.

Dans un premier temps il s'agissait de modéliser dans le domaine de Laplace les équations du débit associées au vérin hydraulique.

Dans un deuxième temps, il fallait établir, puis modéliser dans Laplace l'équation modélisant le comportement dynamique de l'ensemble mobile (vérin + vanne). Cette étude dynamique n'a abouti que pour 21/175 candidats. Trop peu ont pensé à appliquer le théorème d'énergie cinétique (d'énergie/puissance) et le jury regrette le manque de rigueur des candidats lors de cette étude.

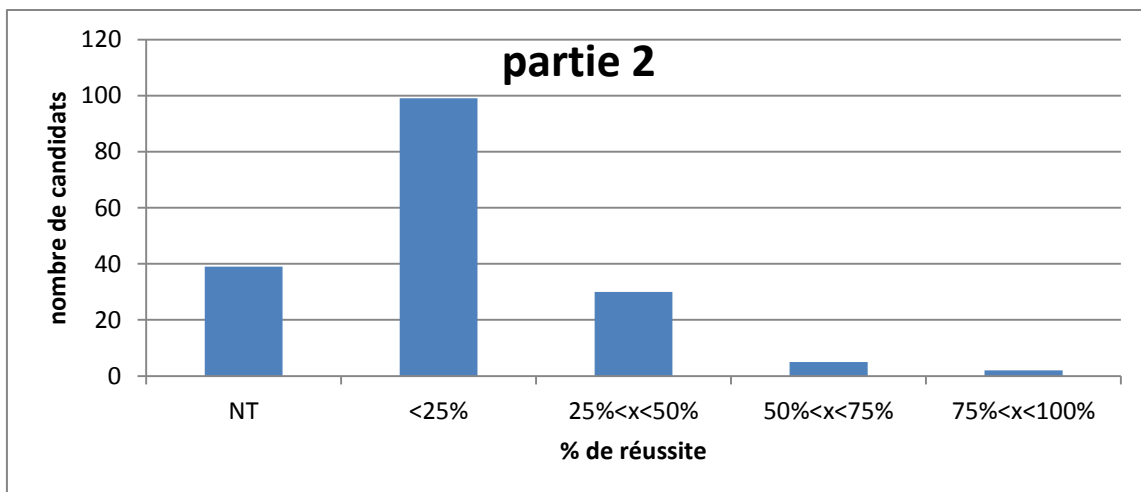
Enfin, après avoir établi la fonction de transfert du système vérin + clapet en boucle ouverte, il fallait en déduire l'allure de la réponse à un échelon de débit puis proposer une solution permettant de réduire les oscillations du système.



## Partie 2 : Élaboration d'une séquence d'enseignement « choix de structure et matériaux » en STI2D

La première question consistait à décrire une séquence pédagogique. Sur 175 candidats, 39 n'ont pas traité cette question et 15 n'ont pas eu de point, soit au total 30% des candidats. Pourtant les aspects pédagogiques étaient posés en début de sujet afin de faciliter le traitement de ce type de question, car tous les candidats ont une expérience dans l'enseignement qu'il pouvait valoriser.

La deuxième question portait sur les différentes modalités d'évaluation et leur mise en œuvre. Ce type de question devrait permettre aux candidats de récupérer des points, mais ce n'est pas le cas. 43% n'ont pas traité cette question, 70% n'obtiennent aucun point. Les correcteurs ont rarement pu observer une véritable description des modalités d'évaluation et encore plus rarement (3 copies) des propositions d'observables ou de critères de performance en lien avec les compétences ciblées.



## Partie 3 : Validation de l'exigence 1.3 « Assurer la sécurité des habitants des rives amont/aval »

Afin d'assurer la sécurité des habitants, la vanne doit supporter les efforts de poussée de l'eau en l'absence d'alimentation en énergie.

L'objectif de la partie 3.1 était de repérer les solutions techniques permettant d'assurer l'irréversibilité du mécanisme pour chacune des 2 solutions.

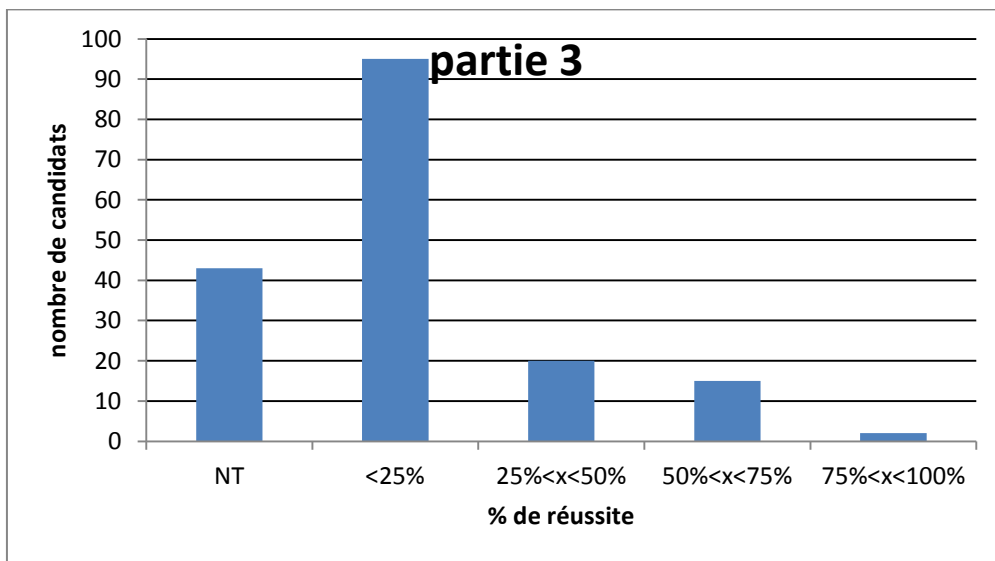
Cette partie a été abordée par 73% des candidats. Si la majorité des candidats a identifié le rôle de l'électrofrein et le comportement irréversible du mécanisme roue et vis sans fin (solution 1), très peu ont abordé le rôle du distributeur hydraulique (solution 2).

La partie 3.2 se proposait d'une part de valider l'exigence d'irréversibilité du réducteur, et d'autre part de dimensionner le moteur par une étude cinématique (exigence d'un temps de cycle) et par une étude statique (étude du couple moteur nécessaire).

L'étude cinématique (questions 3.2.1 et 3.2.2) a été plutôt bien menée par la majorité des candidats. De même la question 3.2.3 n'a pas posé de problème particulier. Seul 31 % des candidats a abordé la question 3.2.4 et 17 % ont procédé au choix d'un moteur.

La partie 3.3 visait à compléter et valider un modèle acausal du comportement de la motorisation puis à vérifier, après simulation, si le groupe électrogène existant peut assurer la continuité de service en cas de rupture d'alimentation électrique.

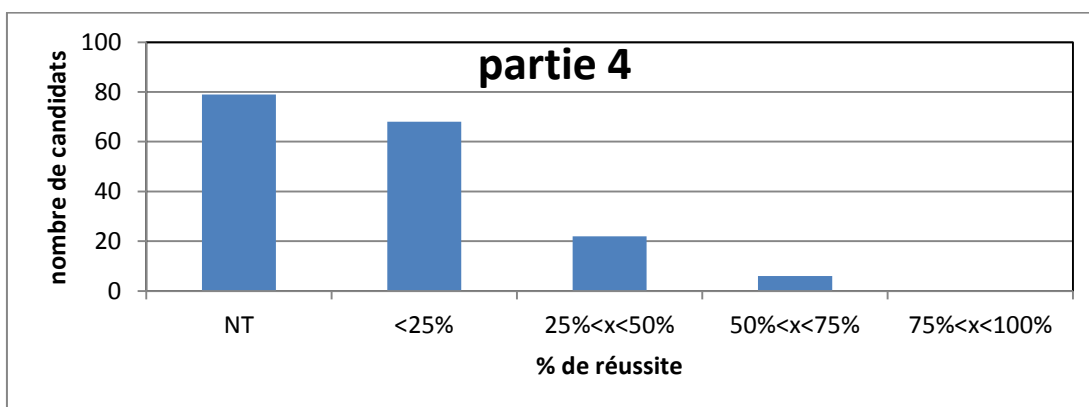
Peu de candidats (17 %) ont complété le modèle acausal (question 3.3.1) et le jury regrette que l'analyse des résultats issus de la simulation ait été souvent très superficielle.



#### Partie 4 : utilisation pédagogique des modèles multi physiques en STI2D

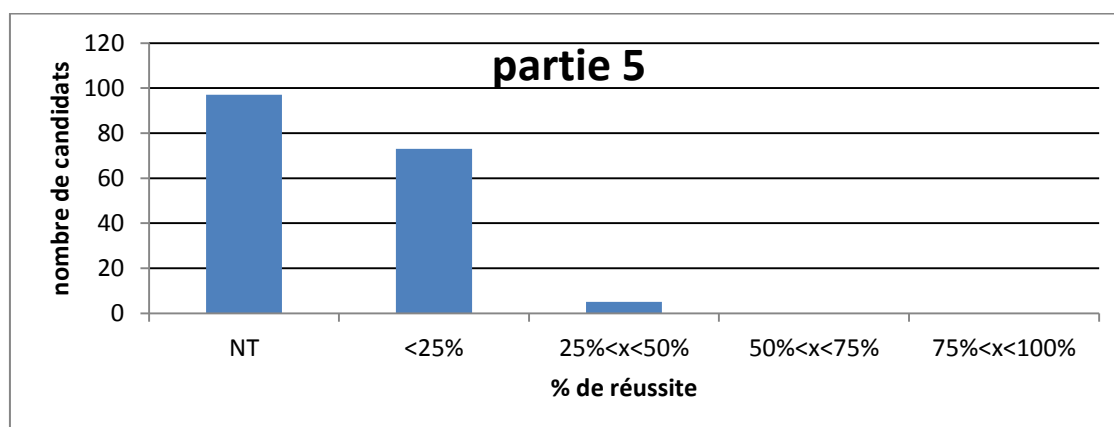
50 candidats ont tenté de traiter la première question de cette partie. La plupart n'ont pas répondu correctement. Ils ont énoncé les modèles numériques mais ont omis l'aspect multiphysique.

Dans la deuxième question, il y a eu de nombreuses confusions entre les modalités pédagogiques utilisant des modèles multiphysiques et les démarches pédagogiques inductive et déductive. Aucun candidat n'a évoqué la notion de modèle de comportement ou de connaissance. 4 copies ont pu obtenir tous les points et 85% des copies aucun dont 55% NT.



#### Partie 5 : Enseignement technologique en langue vivante (ETLV) en STI2D

Cette partie a été la moins traitée (43%), sans doute car elle se trouvait à la fin du sujet. Les candidats ayant répondu à la première question, ont souvent proposé des notions et des compétences sans justification. 4 candidats ont eu la totalité des points. Concernant la deuxième question, traitée par 70 candidats, 20 ont obtenu des points, car ils ont su préciser la posture et les rôles relatifs des deux enseignants lors d'une co-intervention.



## **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.

Il est conseillé de bien lire les questions et de bien cibler les réponses. De nombreux candidats proposent des réponses qui ne correspondent pas à ce qui est demandé ou bien des éléments de réponse se trouvent dans une autre question.

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.

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

# ÉPREUVE D'ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION

Coefficient 1 – Durée 4 heures

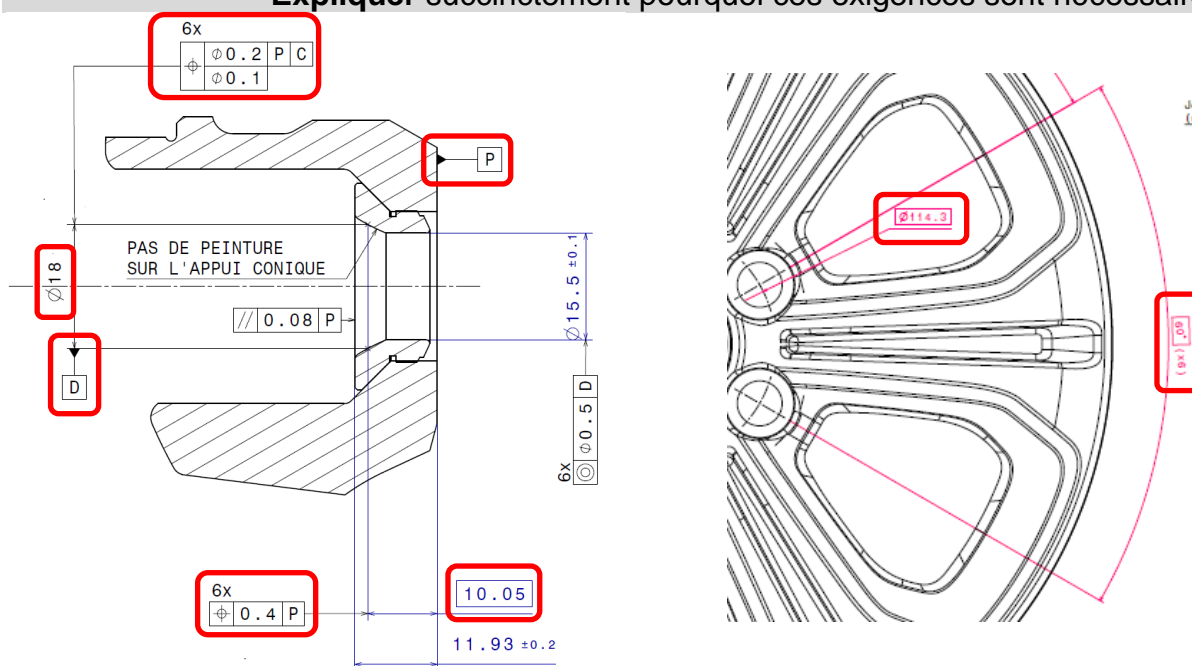
Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

## ÉLÉMENTS DE CORRECTION

### Éléments de correction

#### 1<sup>E</sup> PARTIE : CONCEPTION DE LA PIÈCE CLIENT

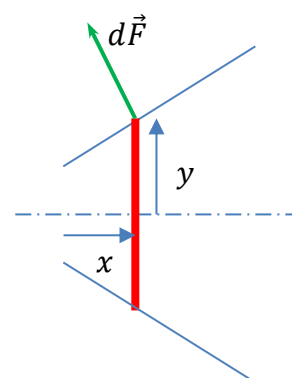
**Question 1.1 :** Relever les éléments de cotation de l'ensemble {jante + insert} relatifs au cône d'appui des écrous (voir DT1).  
Expliquer succinctement pourquoi ces exigences sont nécessaires.



Ces exigences sont nécessaires principalement pour la liaison avec le pivot de roue (centrage, appui et positionnement des vis).

**Question 1.2 :** Démontrer que le couple de frottement sur le cône peut s'écrire :

$$C = \frac{2}{3} (R^3 - r^3) \cdot \frac{\pi}{\sin(\alpha)} \cdot f \cdot P$$



$$C = \int y f dF = \int_{x=0}^{\frac{R-r}{\tan \alpha}} y f P \frac{2\pi y}{\cos \alpha} dx$$

$$C = \frac{2\pi f P}{\cos \alpha} \int_{x=0}^{\frac{R-r}{\tan \alpha}} y^2 dx = \frac{2\pi f P}{\cos \alpha} \int_{x=0}^{\frac{R-r}{\tan \alpha}} (r + x \tan \alpha)^2 dx$$

$$C = \frac{2\pi f P}{\cos \alpha} \frac{1}{3 \tan \alpha} [(r + x \tan \alpha)^3]_0^{\frac{R-r}{\tan \alpha}}$$

$$C = \frac{2\pi f P}{3 \sin \alpha} (R^3 - r^3)$$

**Question 1.3 :** **Déterminer** la relation liant l'effort axial dans l'écrou au couple de serrage.  
**Calculer** l'effort axial dans l'écrou pour un couple de serrage préconisé de 120 N·m.

D'après le DT3 :

- $P = \frac{F}{\pi(R^2 - r^2)} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{f + \tan(\alpha)}$
- 80% des frottements ont lieu dans la surface de contact conique et 20% dans le filetage

Couple de serrage (cône et filetage) :

$$C_s = F \frac{2(R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)} \times \frac{f \cos \alpha}{f + \tan \alpha} \times \frac{1}{0,8}$$

$$F = C_s \frac{0,8 \times 3(R^2 - r^2)}{2(R^3 - r^3)} \times \frac{f + \tan \alpha}{f \cos \alpha}$$

A.N.:

$$F = 120 \times \frac{0,8 \times 3(0,01^2 - 0,0075^2)}{2(0,01^3 - 0,0075^3)} \times \frac{0,4 + \tan 28}{0,4 \cos 28} = \mathbf{28747 \text{ N}}$$

**Question 1.4 :** **Calculer** la pression de matage.  
**Conclure** sur le choix de mettre en place des inserts en acier.

$$P = \frac{F}{\pi(R^2 - r^2)} \times \frac{\tan \alpha}{f + \tan \alpha} = \mathbf{119 \text{ MPa}}$$

Cette valeur est assez élevée, d'autant plus que les calculs sont effectués en statique. La présence d'un insert en acier est donc justifiée.

**Question 1.5 :** Expliquer pourquoi l'essai de fatigue préconisé est de  $2 \cdot 10^6$  cycles.

On souhaite s'assurer d'atteindre la limite en fatigue du matériau (Cf. courbe de Wohler)

**Question 1.6 :** Expliquer pourquoi le bureau d'étude travaille de cette manière.  
Critiquer l'étude et la validité de la corrélation.

C'est beaucoup plus rapide et moins coûteux que de faire des essais réels.

En soit, l'étude de corrélation repose sur très peu de pièces testées en réel et la variation d'une pièce à l'autre est relativement importante. Rien ne garantit que l'on ait les valeurs extrêmes de la population des roues produites. D'un autre côté, l'entreprise a une grande expérience du comportement du matériau et cette étude de corrélation n'est pas isolée dans le savoir métier de l'entreprise.

**Question 1.7 :** Calculer la taille d'un éventuel défaut générant la rupture brutale de la jante (voir DT5).

Application de la formule donnée :

$$a_{max} = \frac{K_{IC}^2}{\sigma_{max}^2 \pi} = \frac{11^2}{200^2 \times \pi} = 9,63 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,963 \text{ mm}$$

Le défaut éventuel générant la rupture brutale est donc de  $2a_{max} \approx 2 \text{ mm}$

**Question 1.8 :** Calculer le facteur de concentration de contrainte K.  
Comparer à  $\Delta K_S$ .  
Conclure sur la résistance de la jante.

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \quad \text{avec } a = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ mm} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad \text{et} \quad \sigma = 200 \text{ MPa}$$

$$K = 4,34 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} > \Delta K_S$$

K est donc supérieur au seuil de propagation de fissure, la jante va se rompre

**Question 1.9 :** Calculer la taille du défaut entraînant une propagation de la fissure sous cette sollicitation alternée.  
Calculer au bout de combien de cycles la rupture est atteinte si le défaut initial fait 0,4mm.

On note  $2a_{lim}$  la taille du défaut entraînant une propagation de la fissure sous sollicitation alternée.

$$\Delta K_S = \sigma \sqrt{\pi a_{lim}} = 4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$$

Il faut intégrer  $da/dN$  pour trouver l'expression de N puis calculer  $[N]_{0,2}^{0,96}$

$$\frac{da}{dN} = C(\sigma \sqrt{\pi a})^m \quad \text{soit } dN = \frac{1}{C(\sigma \sqrt{\pi})^3} \cdot a^{-\frac{3}{2}} \cdot da \quad \text{soit } [N]_{a_0}^{a_1} = \frac{-1}{3C(\sigma \sqrt{\pi})^3} \left( a_1^{-\frac{1}{2}} - a_0^{-\frac{1}{2}} \right)$$

AN : N=748 700 cycles

**Question 1.10 :** Montrer que les fréquences de résonance sont hors d'atteinte dans le cas d'une utilisation normale du véhicule.



**Citer** les deux paramètres sur lesquels les techniciens peuvent agir pour modifier ces fréquences de résonance.

La 1<sup>ère</sup> fréquence de résonance est située à 418 Hz, soit 418 tr/s pour la sollicitation sur la roue.

$$R_{roue} = \frac{16}{2} \times 25,4 + 0,7 \times 255 = 381,7 \text{ mm} \quad (\text{selon document lu})$$

Périmètre de la roue :  $p = 1,277 \text{ m}$ ,

d'où une vitesse  $V = 1,277 \times 418 = 534 \text{ m/s} = 1923 \text{ km/h}$ , ce qui est bien hors d'atteinte.

Ou bien

$$f_{roue} = \frac{V}{2\pi R_{roue}} = 16,6(15) \text{ Hz}$$

Au besoin les 2 éléments sur lesquels les techniciens peuvent agir pour une nouvelle conception sont la rigidité (ou raideur) de la jante ou sa masse.

**Question 1.11 :** Calculer l'effort généré sur la valve par ce système pour une vitesse de 130 km/h.

**Conclure** quant à la tenue de la valve.

PFD appliqué au capteur :

Hypothèses :

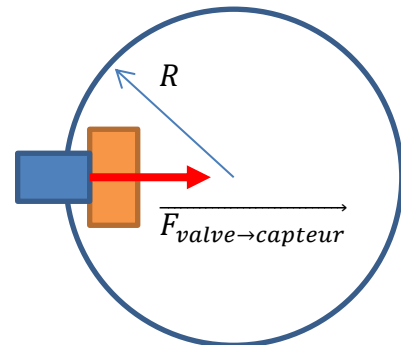
- l'effort est essentiellement centrifuge (on néglige l'effet de la pesanteur et les variations de vitesse angulaire)
- position du capteur :  $R \approx 200 \text{ mm}$

$$R_{roue} = 16/2 \times 25.4 + 0.7 \times 205 = 346,7 \text{ mm}$$

Périmètre :  $p = 2,178 \text{ m}$

$$F_{valve \rightarrow capteur} = m a_{capteur} = m R \omega^2$$

$$\text{Avec } \omega = \frac{V}{R_{roue}} = \frac{130}{3,6 \times 0,3467} = 104.15 \text{ rad/s}$$



Application numérique :

$$F_{valve \rightarrow capteur} = 0,0185 \times 0,1923 \times \left( \frac{130}{3,6 \times 0,3467} \right)^2 = 38,6 \text{ N}$$

Ce qui « équivaut » à une masse de 3.9 kg (< 9kg)

La valve ne génère pas à 130 km/h un effort d'arrachement > 9 kg, donc elle est compatible avec la jante. Le CdCF est donc respecté.

**Question 1.12 :** Expliquer pourquoi ce type d'équilibrage est appelé équilibrage statique.

Ce type d'équilibrage (« ramener le centre de gravité de la jante sur l'axe de rotation ») n'agit que sur la diagonale du moment d'inertie :

Si  $R$  est la distance du centre d'inertie à l'axe de rotation :  $mR^2 = 0$

$$I = \begin{bmatrix} \sum m_i(y_i^2 + z_i^2) & \sum m_i y_i x_i & \sum m_i z_i x_i \\ \sum m_i x_i y_i & \sum m_i(x_i^2 + z_i^2) & \sum m_i z_i y_i \\ \sum m_i x_i z_i & \sum m_i y_i z_i & \sum m_i(x_i^2 + y_i^2) \end{bmatrix}$$

Tous les éléments de la diagonale peuvent être annulés (les termes  $y_i^2 + z_i^2, \dots$  expriment une « composante » de la distance  $R$ ).

En revanche, les autres éléments ne peuvent pas être annulés en modifiant  $R$ .

Après essais sur un banc, on constate que persiste un déséquilibre dynamique (DT8)

**Question 1.13 :** Déterminer le balourd généré par une masse dans le repère tournant.

$$\vec{B}_i = m_i r \omega^2 \vec{u}_1$$

**Question 1.14 :** Démontrer que les efforts enregistrés par le banc sont de la forme :

PFD appliqué à l'ensemble tournant :

Hypothèses : ...

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{P} = J\dot{\omega} \vec{y}_0 = \vec{0} \quad (\text{régime établi})$$

En projection sur  $\vec{y}_0$  :

$$F_1 + F_2 - B_1 \sin(\theta + \alpha_1) - B_2 \sin(\theta + \alpha_2) - P = 0$$

$$\overrightarrow{M_A(\vec{F}_1)} + \overrightarrow{M_A(\vec{F}_2)} + \overrightarrow{M_A(\vec{B}_1)} + \overrightarrow{M_A(\vec{B}_2)} + \overrightarrow{M_A(\vec{P})} = \vec{0}$$

$$E F_1 \vec{x}_0 + \overrightarrow{AH_1} \wedge \vec{B}_1 + \overrightarrow{AH_2} \wedge \vec{B}_2 - (E + \lambda) P \vec{x}_0 = \vec{0}$$

$$(E F_1 - (E + \lambda) P) \vec{x}_0 + (E + D) B_1 \vec{y}_0 \wedge \vec{u}_1 + (E + D + L) B_2 \vec{y}_0 \wedge \vec{u}_2 = \vec{0}$$

En projection sur  $\vec{x}_0$  :

$$E F_1 - (E + \lambda) P - (E + D) B_1 \sin(\theta + \alpha_1) - (E + D + L) B_2 \sin(\theta + \alpha_2) = 0$$

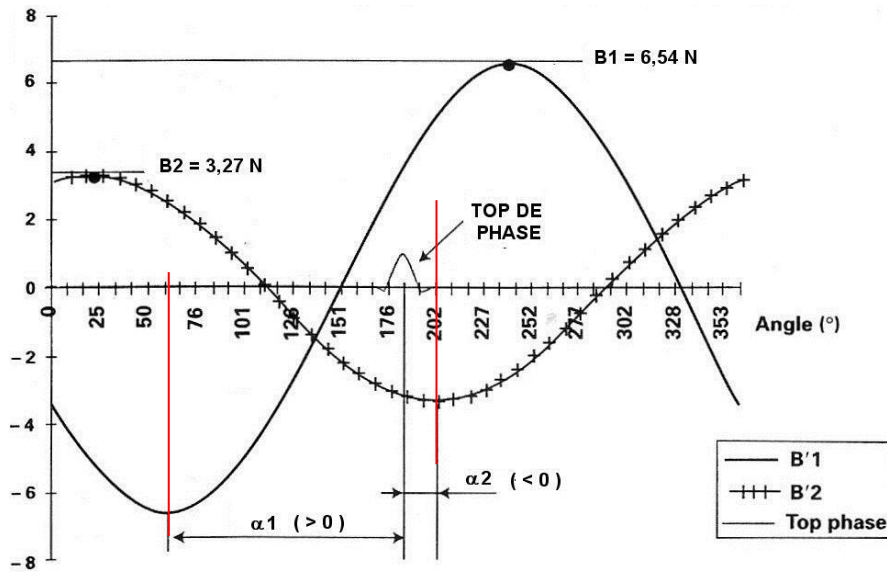
$$F_1 = \frac{E + \lambda}{E} P + \frac{E + D}{E} B_1 \sin(\theta + \alpha_1) + \frac{E + D + L}{E} B_2 \sin(\theta + \alpha_2)$$

$$F_2 = -F_1 + B_1 \sin(\theta + \alpha_1) + B_2 \sin(\theta + \alpha_2) + P$$

$$F_2 = -\frac{E + \lambda}{E} P - \frac{E + D}{E} B_1 \sin(\theta + \alpha_1) - \frac{E + D + L}{E} B_2 \sin(\theta + \alpha_2) + B_1 \sin(\theta + \alpha_1) + B_2 \sin(\theta + \alpha_2) + P$$

$$F_2 = -\frac{\lambda}{E} P - \frac{D}{E} B_1 \sin(\theta + \alpha_1) - \frac{D + L}{E} B_2 \sin(\theta + \alpha_2)$$

**Question 1.15 :** Déterminer les valeurs des deux masses d'équilibrage et leurs positions angulaires pour obtenir un équilibrage dynamique.



$$B_i = m_i r \omega^2 \Rightarrow m_i = \frac{B_i}{r \omega^2}$$

A.N. :

$$m_1 = \frac{30^2 B_1}{r(\pi N)^2} = \frac{30^2 \times 6,54}{0,203(\pi \times 140)^2} = 0,15 \text{ kg} = \mathbf{150 \text{ g}}$$

$$m_2 = \frac{30^2 B_2}{r(\pi N)^2} = \frac{30^2 \times 3,27}{0,203(\pi \times 140)^2} = 0,075 \text{ kg} = \mathbf{75 \text{ g}}$$

On relève :  $\alpha_1 = 184,5 - 58,5 = 126^\circ$  et  $\alpha_2 = 184,5 - 202 = -17,5^\circ$

Il faut placer  $m_1$  à l'angle  $\mathbf{54^\circ}$  et la masse  $m_2$  à l'angle  $\mathbf{162,5^\circ}$ .

## 2<sup>E</sup> PARTIE : Conception du brut de fonderie

**Question 2.1 :** Expliquer la nécessité d'ajouter un « voile » de 0,2 mm entre les bras de la jante.

Cet espace permet l'évacuation de l'air lors du remplissage du moule et de s'assurer du bon remplissage du moule. C'est pourquoi il y a une bavure sur la pièce brute.

Cela assure aussi la fermeture du moule en périphérie.

(En aucun cas une partie fine peut « alimenter » une partie massive)

**Question 2.2 :** Déterminer la cote de l'épaisseur du brut (dimension nominale + tolérances).

En se limitant à la dimension nominale de 4mm

Dimension mini=4+3+3=10

Tolérance=somme tolérances brut=+0+4.6mm

Tolérance en moins=0.8+1 donc brut visé=11.8 -1.8+2.8

Certains candidats ont ajouté le +/-0,25 de tolérance sur l'usiné

**Question 2.3 :** Expliquer la nécessité de simuler le « cyclage » (plusieurs cycles de coulée consécutifs).

La coulée se fait en moule métallique donc la cartographie thermique du moule évolue puis se stabilise au bout de quelques coulées.

**Question 2.4 :** Proposer deux solutions pour ne plus avoir de dernières zones de solidification dans les bras de la jante.

Il faut modifier la carte thermique du moule (chauffer ou refroidir différemment à divers endroits) ou modifier les formes de la pièce pour obtenir une solidification dirigée.  
Réponse incorrecte en pratique mais acceptable : rajouter des masselottes.

### 3<sup>E</sup> PARTIE : Conception de l'outillage et du process de fonderie (Durée conseillée : 50 min)

**Question 3.1 :** Citer les avantages du procédé basse pression par rapport au procédé gravitaire.

En basse pression, le remplissage est maîtrisé par la pression et est plus calme qu'en gravitaire (moins d'oxydes, d'emprisonnement d'air...).  
La surpression en fin de coulée limite le masselottage et donc la mise au mille.

**Question 3.2 :** Vérifier que la pression appliquée sur l'alliage dans le four de maintien permet de remplir le moule.

$P = \rho gh$ . Pour monter 1,2m, il faut environ 0,3 bars donc la pression de la courbe fournie en annexe est suffisante.

**Question 3.3 :** Calculer l'effort de soulèvement du noyau en estimant la surface de poussée de l'alliage dans l'empreinte (voir DT1).

Effort sur le noyau de section  $S_N$ , soumis à une pression  $p_N$  :

$$F_N = p_N \times S_N$$

Avec  $p_N = p_{max} - \rho gh = 1,3 \cdot 10^5 - 2800 \times 9,81 \times 1,2 = 97038 \text{ Pa}$

Pour un noyau de diamètre extérieur de 440 mm :

$$S_N = \pi R^2 = \pi 0,22^2 = 0,152 \text{ m}^2$$

$$F_N = p_N \times S_N = 14754 \text{ N}$$

**Question 3.4 :** Calculer le diamètre que doit avoir l'outillage à 20°C.

Øext alu à 550°C :  $D_{alu-550} = 446(1 + 23 \cdot 10^{-6} \times (550 - 20)) = 451,4 \text{ mm}$

Øext outillage à 300°C :  $D_{outil-300} = D_{alu550} = 451,4 \text{ mm}$

Dilatation outillage à 300°C :  $\Delta D_{outil} = 451,4 \times 11 \cdot 10^{-6} \times (300 - 20) = 1,4 \text{ mm}$

Øext outillage à 20°C :  $D_{outil-20} = 451,4 - 1,4 = 450 \text{ mm}$

**Question 3.5 :** Calculer la pression exercée par l'alliage sur le noyau.

$$P = \frac{s \cdot (D^2 - d^2)}{d \cdot ((a_j - a_n) \cdot d^2 + (b_j + a_n) \cdot D^2)}$$

$v_n = 0,35$  ,  $v_j = 0,25$  ,  $E_n = 210\,000 \text{ MPa}$  et  $E_j = 70\,000 \text{ MPa}$

$$a_j = \frac{1 - v_j}{E_j} = \frac{1 - 0,25}{70000} = 1,07 \cdot 10^{-5}$$

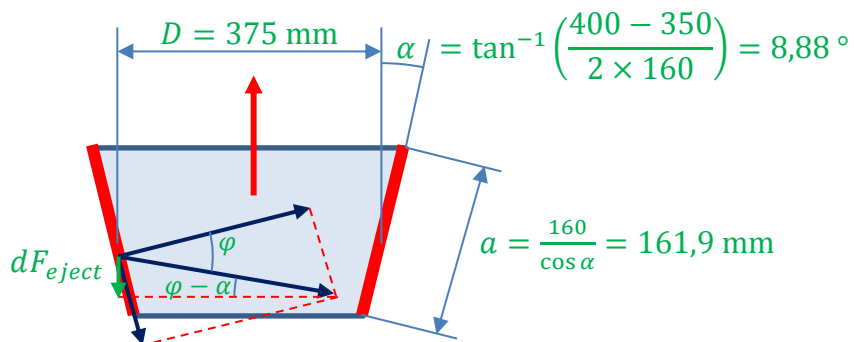
$$b_j = \frac{1+\nu_j}{E_j} = \frac{1+0,25}{70000} = 1,79 \cdot 10^{-5}$$

$$a_n = \frac{1-\nu_n}{E_n} = \frac{1-0,35}{210000} = 3,1 \cdot 10^{-6}$$

$$e_p = 9 \text{ mm} ; D = 393 \text{ mm} ; d = 375 \text{ mm} ; s = 1 \text{ mm}$$

$$P = 8,55 \text{ MPa}$$

**Question 3.6 :** Réaliser un croquis simple pour modéliser l'éjection de la jante. Calculer l'effort d'éjection nécessaire si la pression de serrage est de 8,5 MPa.



$$S = \pi D a = 0,191 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \tan^{-1} f = 14^\circ$$

$$F_{eject} = P S \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos \varphi} = 150\,207 \text{ N}$$

$$F = P \sin \alpha S$$

$$F = 38600 \text{ N pour les 16 éjecteurs}$$

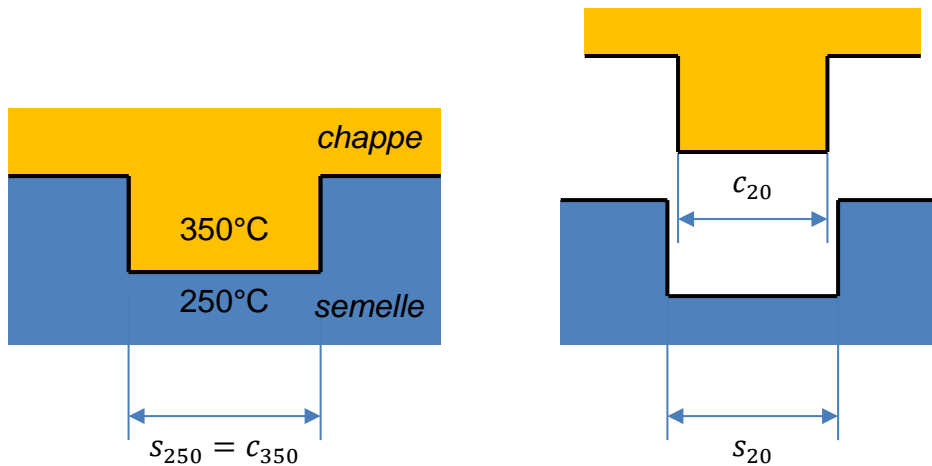
**Question 3.7 :** Vérifier qu'avec les 16 éjecteurs de diamètre 6 mm, on ne dépassera pas une pression de matage de 100 MPa pour ne pas marquer la pièce.

$$P_{ej} = F_{ej} / S \text{ avec } F_{ej} = F / 16$$

$$P_{ej} = 38600 / (16 \pi \times 0,003^2) = 85 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

Il n'y a pas de matage de la pièce

**Question 3.8 :** Calculer le jeu minimum pour qu'il n'y ait pas de serrage en fonctionnement.



$$s_{250} = s_{20} (1 + 11 \cdot 10^{-6} \times (250 - 20))$$

$$c_{350} = c_{20} (1 + 11 \cdot 10^{-6} \times (350 - 20))$$

On trouve un écart de 0,033mm

**Question 3.9 :** Calculer la contrainte induite par la dilatation s'il n'y a pas de jeu.

Elasticité : loi de Hooke

alors  $\sigma = E \cdot \Delta L / L_0$  en compression

(Attention,  $L_0$  est la largeur que devrait avoir la partie male si elle pouvait se dilater librement)

Le calcul donne :  $\sigma = 230$  MPa

#### 4<sup>E</sup> PARTIE : Élaboration de l'alliage (Durée conseillée : 40 min)

**Question 4.1 :** Expliquer comment en pesant l'échantillon dans l'air puis dans l'eau, il est possible de vérifier si l'alliage est « gazé » (présence de bulles d'hydrogène).

La première pesée donne le poids et donc la masse.

La seconde dans l'eau donne le poids moins la poussée d'Archimède (plus il y a de gaz, plus le volume et donc la poussée d'Archimède augmente).

Avec la poussée d'Archimède on détermine le volume puis la masse volumique et on compare à la masse volumique d'un alliage non gazé.

Beaucoup de candidats ne répondent pas à la question « comment »

**Question 4.2 :** L'alliage solidifié est polycristalin. Expliquer pourquoi.

La solidification se produit en de multiples endroits. Les cristaux croissent jusqu'à se « toucher » les uns les autres.

**Question 4.3 :** Expliquer pourquoi la valeur de Re varie dans les différentes parties de la jante.

La valeur de  $R_e$  varie car la vitesse de solidification et donc la taille des cristaux est différente.

**Question 4.4 :** Expliquer comment la taille du grain influence  $R_e$ .

Les joints de grains bloquent le déplacement des dislocations, source de la déformation plastique. Plus les grains sont petits, plus il y a de joints de grains, plus les dislocations sont bloquées, plus  $R_e$  augmente.

**Question 4.5 :** Décrire les transformations du matériau lors du refroidissement de 720°C à 20°C (DT14).

De 720°C à 620°C, refroidissement du liquide

A 620°C, apparition des premiers germes de solution solide  $\alpha$ .  $L \rightarrow L+\alpha$

De 620°C à 577°C, croissance des dendrites de solution solide  $\alpha$ . La concentration en atomes de silicium augmente dans le liquide.

A 577°C, la composition chimique du liquide restant correspond à la composition eutectique. Le liquide restant se transforme donc en eutectique ( $\alpha+\beta$ ). Il y a trois phases, donc la transformation se fait à température constante.

De 577°C à l'ambiante,  $\alpha$  rejette des atomes de silicium mais aucune transformation de structure.

**Question 4.6 :** Proposer un traitement de l'alliage liquide pour diminuer la taille des grains dans la pièce.

Pour diminuer la taille des grains, on multiplie le nombre de germes de solidification (affinage).

**Question 4.7 :** Calculer le DAS maximum pour obtenir le  $R_e$  demandé par le client. Proposer un contrôle pour relever la valeur du DAS.

$R_e$  demandé = 240MPa, ce qui donne un DAS de 14mm environ.

Une micrographie permet de mesurer le DAS.

**Question 4.8 :** Expliquer comment une modification de la structure cristalline peut augmenter la limite élastique.

En modifiant la structure cristalline (arrangement atomique dans le cristal) on bloque le déplacement des dislocations et donc on augmente  $R_e$  (Cf. durcissement structural et zones de Guinier Preston)

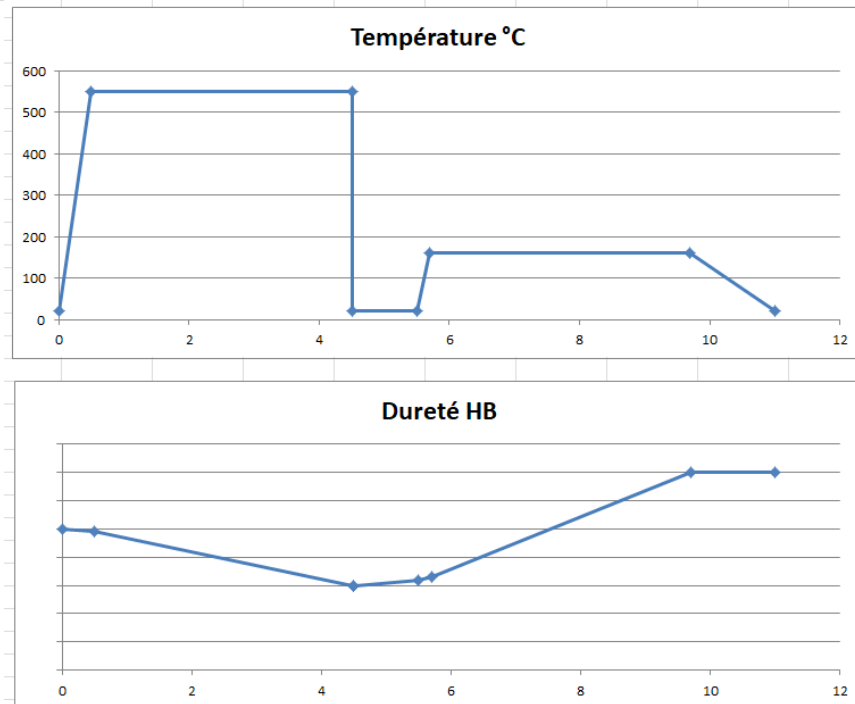
**Question 4.9 :** Proposer une température pour l'homogénéisation limitant le temps du traitement. Justifier.

On souhaite avoir la température la plus haute possible mais il ne faut pas atteindre la fusion. On propose donc 550°C.

**Question 4.10 :** Choisir la température et la durée du revenu (voir DT15). Justifier.

On souhaite 240 MPa et 3% d'allongement. Il y avait plusieurs réponses possibles, industriellement, on pratique un revenu de 3 à 4 h à 160°C. (Beaucoup de candidats ont oublié le critère de l'allongement)

**Question 4.11 :** Tracer la courbe du cycle thermique complet :  $\theta=f(t)$ .  
Tracer en parallèle l'allure de la courbe de l'évolution de la dureté de l'alliage ( $HB=f(t)$ ).



**Question 4.12 :** Proposer un contrôle non destructif permettant de détecter ces défauts d'inclusions.

On pratique une radioscopie.

**Question 4.13 :** Calculer la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2% d'allongement ( $Re_{02}$ ), la contrainte maximale ( $R_m$ ) et l'allongement rémanent à rupture ( $A\%$ ).

**Conclure.**

On trace la parallèle au domaine élastique à 0,2% d'allongement (soit 0,1mm) et on trouve  $Fe_{02}=1500$  daN soit  $Re_{02}=191$  MPa  
 $R_m=267$  MPa et  $A\%=3,6\%$ , donc c'est correct.

**Question 4.14 :** Déterminer  $s_0$  et  $n$  permettant de modéliser la courbe.

A  $Re_{02}$ , la déformation est tellement faible que  $Re_{02}$  est proche de  $s_{vrai}$  et  $e$  est proche de  $\epsilon$

Il faut calculer  $s_{vrai}$  et  $\epsilon$  à la rupture

$s_{vrai}=276,6$  MPa et  $\epsilon=0,0354$

or  $\sigma_{e02} = \sigma_0 \epsilon_{02}^n$  et  $\sigma_m = \sigma_0 \epsilon_m^n$

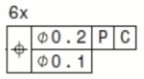
d'où  $n = \ln(\sigma_{e02}/\sigma_m) / \ln(\epsilon_{02}/\epsilon_m)$

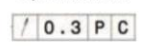
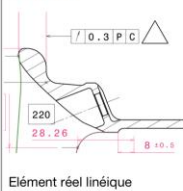
Application numérique :  $n=0,128$  et  $\sigma_0=428$  MPa



## 5E PARTIE : Définition du process d'usinage (Durée conseillée : 40 min)

**Question 5.1 :** Décoder sur le DR1 les 2 spécifications extraites du dessin de définition (voir DT1).

Type de spécification	Éléments) tolérancé(s)	Éléments) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance et condition de conformité	
Forme <b>Position</b>	Orientation Battement	Unique <b>Groupe</b>	Unique <b>Multiples</b>	Simple Commune <b>Système</b>	Simple <b>Composée</b>
<b>Spécification:</b> 	<p>Groupe de 6 centre de cercles Ø18 (observés dans le plan de jauge situé à 10.05 de P)</p>	<p>Primaire: Surface réputée plane P</p> <p>Secondaire: Surface réputée cylindrique C</p>	<p>Primaire: Plan P tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme à l'élément correspondant</p> <p>Secondaire: Droite C axe du plus grand cylindre tangent intérieur perpendiculaire au plan A, minimisant l'écart de forme à l'élément correspondant</p>	<p>6 cercles Ø0.2 dont les centres sont situés aux intersections d'un cercle Ø114.3 et tous les 60°</p>	

Type de spécification	Éléments) tolérancé(s)	Éléments) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance et condition de conformité
Forme Position	Orientation <b>Battement</b>	Unique <b>Multiples</b>	Simple Commune <b>Système</b>	<b>Simple</b> Composée
<b>Spécification:</b> 	<p>(Attention, plusieurs éléments du dessin de la jarnte doivent respecter des spécifs semblables)</p>  <p>Élément réel linéique</p>	<p>Primaire: Surface réputée plane P</p> <p>Secondaire: Surface réputée cylindrique C</p>	<p>Primaire: Plan P tangent extérieur matière et minimisant l'écart de forme à l'élément correspondant</p> <p>Secondaire: Droite C axe du plus grand cylindre tangent intérieur perpendiculaire au plan A, minimisant l'écart de forme à l'élément correspondant</p>	<p>La zone de tolérance est limitée par 2 plans distants de 0,3 mm, parallèles à P.</p> <p>Le défaut constaté doit rester à l'intérieur de ces 2 plans au cours de la rotation autour de l'axe de référence C</p>

**Question 5.2 :** Décliner les critères pris en compte pour choisir les surfaces de mise en position lors du départ d'usinage sur brut.

Le choix des surfaces de mise en position sur surfaces brutes doit prendre en compte :

- les spécifications attendues, et le positionnement des surfaces usinées / surfaces brutes, le type de série,
- la géométrie de la pièce brute, et sa morphologie, ou le balançage de la matière,
- la technologie retenue (machine, cinématique, outils etc.), et les groupements de surfaces envisageables.

Classiquement, on cherche à bénéficier des surfaces les plus « stables », pour minimiser les écarts de mise en position, et créer le cas échéant des surfaces de reprise pour les phases ultérieures (selon exigences du BE, ou contraintes d'antériorités technologiques).

Le procédé d'obtention de la pièce brute est à intégrer dans les contraintes (présence de bavures, ou de débris par exemple).

**Question 5.3 :** Représenter sur le DR2, pour chaque phase d'usinage, les surfaces usinées et une proposition de mise en position isostatique (mise en position et maintien en position). **Faire apparaître** le système d'axes normalisés de chaque machine.

**OP1 Mise en position Maintien en position - Proposition**

MIP

Appui plan (123)

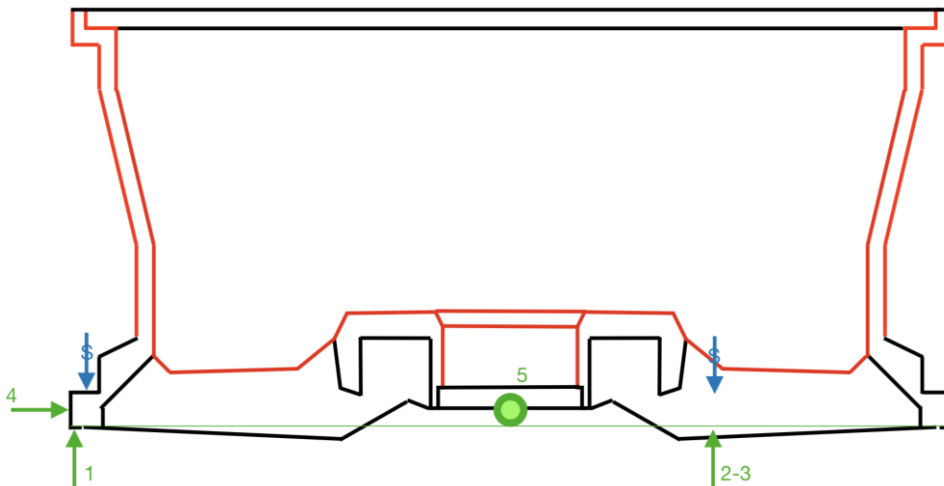
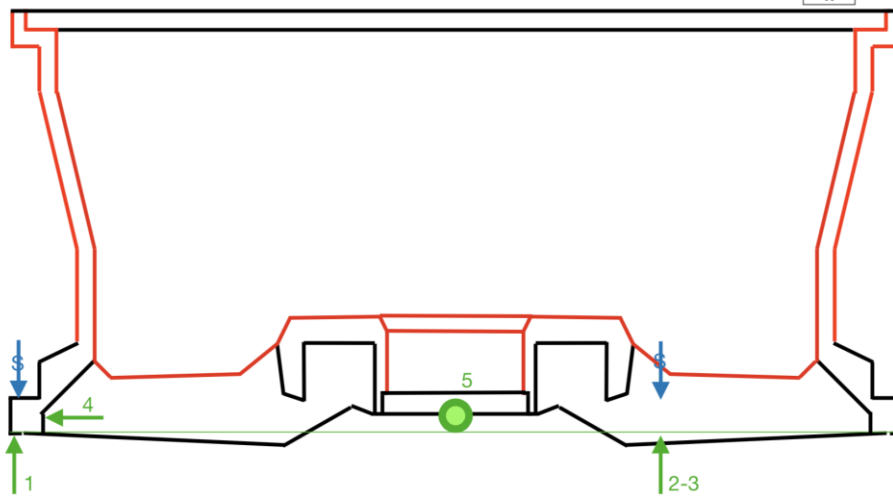
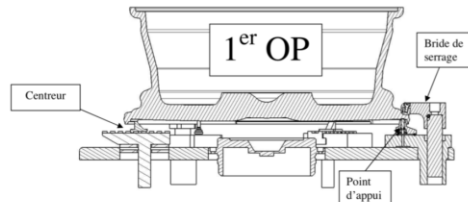
Centrage court (45)

Dernier ddl (6) supprimé par adhérence

MAP

Bridage en vis à vis de l'appui plan

Choix entreprise



**OP2 Mise en position Maintien en position - Proposition**

MIP

Appui plan (123)

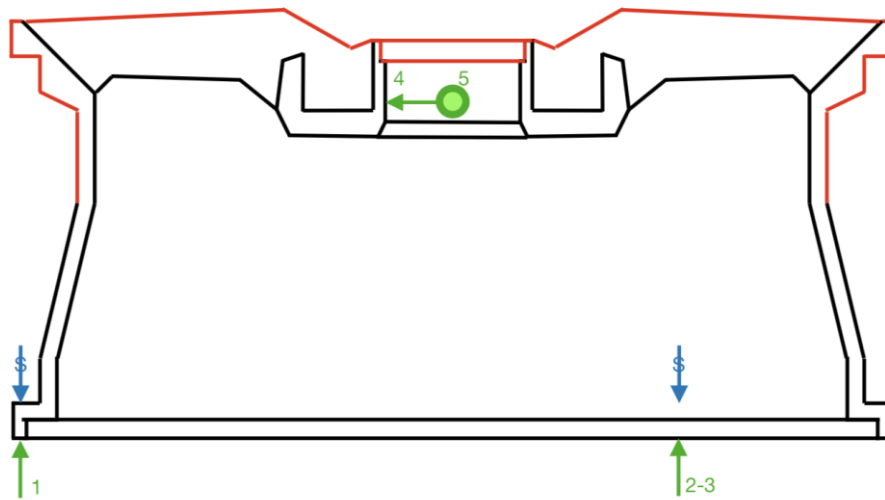
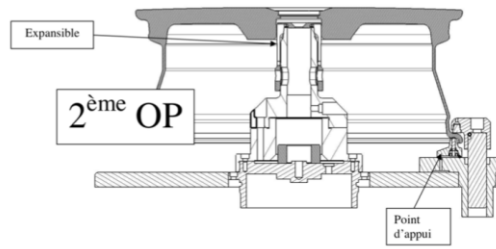
Centrage court (45) expansible sur C

Dernier ddl (6) supprimé par adhérence

MAP

Bridage en vis à vis de l'appui plan

Choix entreprise



**OP2 Mise en position Maintien en position - Proposition**

MIP

Appui plan (123) sur P

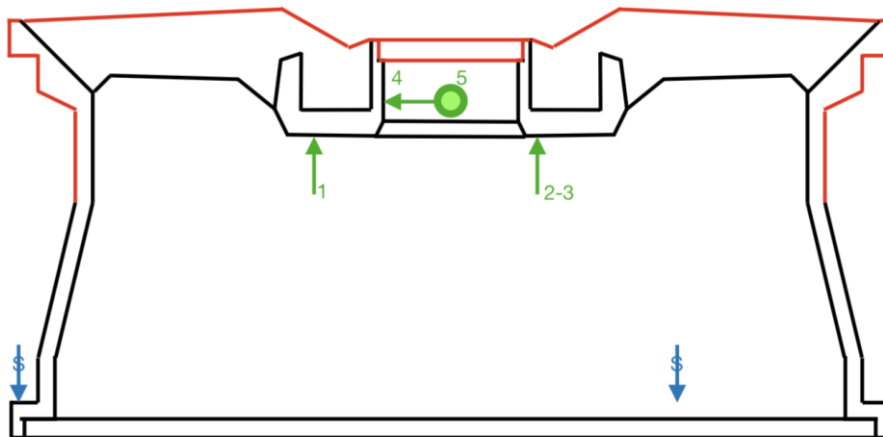
Centrage court (45) sur C

Dernier ddl (6) supprimé par adhérence

MAP

Bridage semblable à OP1 (! Rien en vis à vis), ou à travers les trous de fixation

Choix acceptable



**OP3 Mise en position Maintien en position - Proposition**

MIP

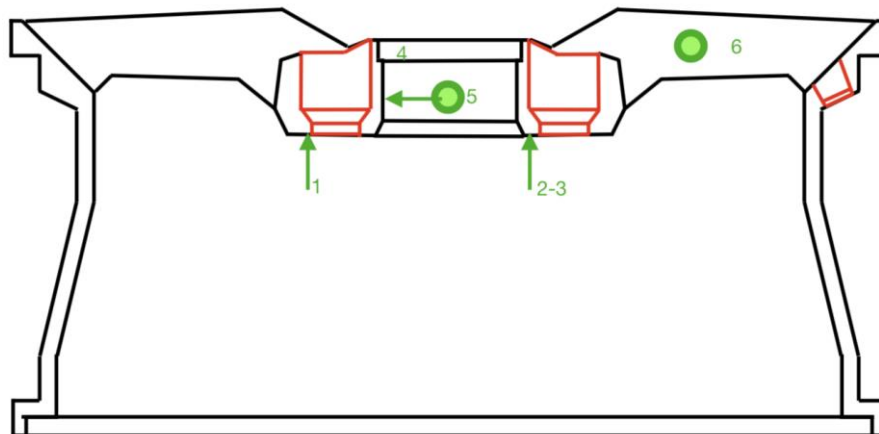
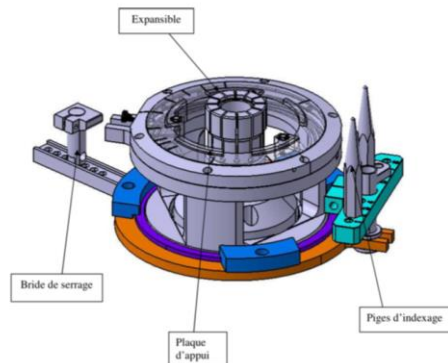
Appui plan (123) sur P

Centrage court (45) sur C

Appui ponctuel (6) sur branche de la roue  
(pour localiser TDV)

MAP

Bridage semblable à OP1



**Question 5.4 :** Décrire les fonctions technologiques qu'un porte-pièce doit assurer.

Un porte-pièce doit être conçu pour assurer les fonctions techniques suivantes :

- Mettre la pièce en position (mise en position isostatique),
- Maintenir la pièce pendant l'usinage (direction et intensité des efforts de coupe, poids et effets liés à l'inertie / appuis),
- Soutenir la pièce (éventuellement, déformations ou vibrations pendant la fabrication)

Par ailleurs, s'ajoutent les contraintes suivantes :

- Permettre l'accès des surfaces usinées (interférences avec outils ou attachements, porte-outils, etc.),
- Permettre un montage/démontage aisé de la pièce,
- Etre ergonomique et utilisation et montage/démontage,
- Assurer la sécurité de l'opérateur,
- Permettre l'évacuation des copeaux, et l'utilisation du fluide de coupe

D'autres contraintes (économiques, ergonomiques, de stockage etc.) existent.

**Question 5.5 :** Indiquer quel(s) avantage(s) tirer des associations d'outils retenues dans les OP1 et OP2.

L'association des outils sur les tours verticaux permet à l'entreprise de répartir les usinages sur les 2 tourelles, et ainsi, de lancer en parallèle les différentes opérations.

Le bénéfice est du côté des temps de cycle qui sont ainsi « équilibrés », donc globalement la durée des phases en OP1 et OP2 est optimisée.

L'autre bénéfice est à voir du côté des sollicitations mécaniques outils/pièce, qui eux aussi se trouvent répartis et presque "symétrisés" pour une grande partie des usinages.

**Question 5.6 :** Préciser, pour l'OP3, les trajectoires d'approche et d'usinage de l'outil EBTF.

L'outil EBTF est une fraise à plaquette carbure, inclinée à 45°. Il est conçu pour effectuer l'ébavurage en « tirant » : sa trajectoire d'approche consiste donc à traverser chaque trou de fixation de la roue en passant par le centre de ceux-ci, pour ensuite usiner la périphérie en interpolation circulaire, puis ressortir en passant à nouveau par le centre.

(Un outil à ailette ou plaquette mobile pourrait aussi convenir.)

**Question 5.7 :** Citer au moins 3 types de matériaux à outils de coupe, et indiquer leur composition chimique (grandes lignes), leur procédé d'obtention, et leurs caractéristiques techniques relatives.

Matériaux à outils, principalement :

- ARS (aciers rapides supérieurs) : aciers fortement alliés, éventuellement revêtus, matériaux constitutifs des forêts, fraises, alésoirs etc. classiques en fabrication mécanique. Ils permettent par ailleurs d'être affutés en vue d'applications spécifiques, nécessitant une grande acuité d'arête, ou une géométrie particulière,
- Carbures métalliques (titane, bore, tungstène), et cobalt, obtenus par frittage, le plus souvent revêtus, sont les éléments constitutifs des plaquettes amovibles, ou outils « monobloc »,
- Céramiques, par exemple à base d'oxydes d'aluminium et de chrome, sont résistants à l'usure et la chaleur, et permettent de travailler à grande vitesse de coupe, ou d'usiner des matériaux très tenaces

Autres matériaux : CBN nitrure de bore cubique, PCD diamant polycristallin, cermets etc.

**Question 5.8 :** Calculer dans un horizon de 10 ans, le coût horaire annuel moyen, en fonction de l'âge de la machine.

T	Pa	V(t)	MPS	MC	CMC	Mc0	P(t)	Cmf(t)	Cmh(t)
1	425000	382500	20500	10000	10000	25000	98000	98000	56
2	425000	340000	41000	10000	20000	25000	171000	85500	48,86
3	425000	297500	61500	10000	30000	25000	244000	81333	46,48
4	425000	255000	82000	10200	40200	25000	317200	79300	45,31
5	425000	212500	102500	10500	50700	25000	390700	78140	44,65
6	425000	170000	123000	11000	61700	25000	464700	77450	44,26
7	425000	127500	143500	11800	73500	25000	539500	77071	44,04
8	425000	85000	164000	13000	86500	25000	615500	76938	43,96
9	425000	42500	184500	15000	101500	25000	693500	77056	44,03
10	425000	0	205000	17000	118500	25000	773500	77350	44,20

**Question 5.9 :** Indiquer quelles autres données sont habituellement utilisées dans ce type de calcul, et **caractériser** comment les résultats trouvés à la question précédente doivent être interprétés.

L'hypothèse du Prix d'achat constant au fil des années est une hypothèse simplificatrice : cette somme devrait être remplacée par la Valeur Actuelle Nette (VAN), prenant ainsi en compte un taux d'actualisation du capital investi, les recettes prévues notamment. Les charges d'exploitation (énergies par exemple) n'apparaissent pas, encore moins les consommables de production.

On peut conclure que le coût moyen horaire défini à la question précédente est bien inférieur au coût horaire réel.

**Question 5.10 :** Indiquer les différences que l'on peut observer avec ces résultats lors d'un calcul de capacité à long terme (indicateurs de performance). **Préciser** les causes de ces écarts.

Les capacités à court terme mettent en évidence les performances intrinsèques de la machine ou du procédé. La variabilité constatée alors, est dite potentielle : cela renseigne l'entreprise sur la performance « directe » de ses moyens.

Les capacités à long terme intègrent naturellement plus de causes de variations de la performance : changements d'équipes, de lots, de réglages, aléas divers, évolution de l'environnement, etc.

Sauf procédé parfaitement maîtrisé, les capacités à long terme sont plus faibles que les capacités à court terme. Cependant, elles sont finalement l'image de la production globale de l'entreprise, donc de la performance perçue côté clients.

**Question 5.11 :** Calculer les indicateurs de capacité courts termes  $C_p$ ,  $C_{pk}$  et  $C_{pm}$ . **Interpréter** les résultats et **conclure**.

Avec le formulaire proposé on obtient :

$C_p = 2,19$ ,  $C_{pk} = 1,71$ ,  $C_{pm} = 1,25$

Ces 3 indicateurs indiquent que le procédé est capable ( $C_p > 2$ ), mais un peu décentré (la moyenne des pièces produites est légèrement trop basse). Une action technique est peut-être envisageable pour recentrer la production.

A noter que la normalité de l'échantillon n'est pas démontrée.

**Question 5.12 :** Citer des causes probables de cette difficulté d'usinage. **Proposer** des modifications du processus de fabrication pouvant la réduire.

La solution actuelle du décarottage en OP2, sur tour vertical W20/4, consiste à plonger directement dans la carotte d'injection, avec l'outil, en « pleine matière ».

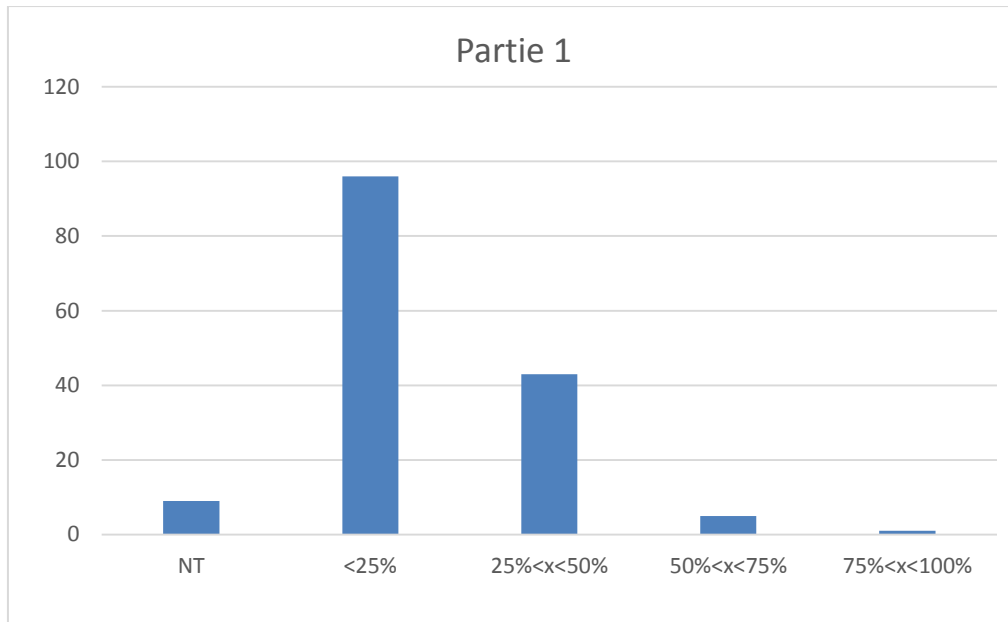
A ce stade de la fabrication des jantes, cette zone présente certainement des oxydes ou des inclusions, donc des variations de dureté, ainsi que le filtre placé lors de l'opération de moulage.

Les principales solutions envisageables sont :

- modification des conditions de coupe (sous contrainte de temps de cycle),
- ajout d'une opération de perçage pour ébaucher le trou avant le passage de l'outil Z, opération pouvant être aussi ajoutée à l'OP1 (sous contrainte de temps de cycle), ou éventuellement sur un poste supplémentaire (sous contrainte de disponibilité, et de manutention)
- rigidification de l'outil (réduction du porte à faux, augmentation de la section),
- modification de l'outil (matériau, géométrie de coupe, dispositif anti vibratile)

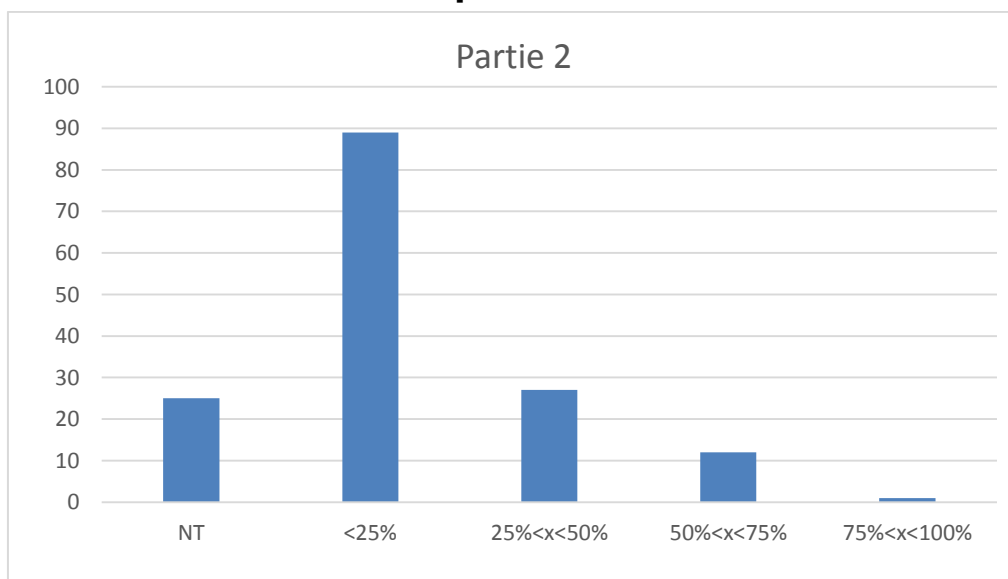
## COMMENTAIRES DU JURY

### 1RE PARTIE : Conception de la pièce client



De nombreux candidats n'ont pas relevé l'ensemble des informations demandées et/ou n'ont pas conclu par rapport aux questions posées. Pour certains candidats, le jury constate de très bons raisonnements, souvent bien étayés mais aussi de nombreuses erreurs de calcul. Beaucoup de candidats ne disposent pas des bases de connaissances suffisantes sur le comportement à la fatigue, la mécanique de la rupture, ainsi que sur les techniques et calculs d'équilibrage dynamique.

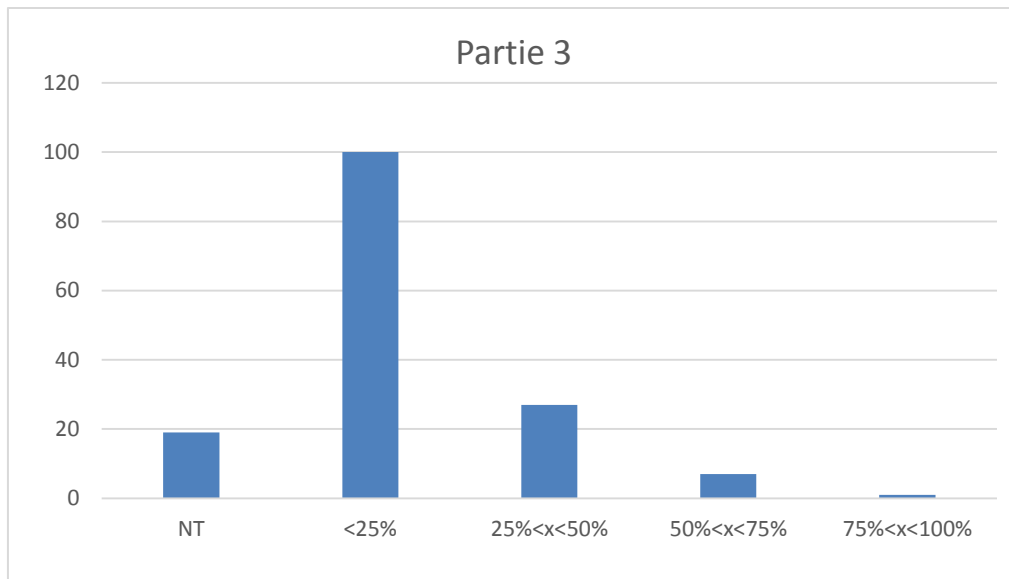
### 2E PARTIE : Conception du brut de fonderie



Cette partie du sujet était relativement courte. Elle a été assez bien traitée, notamment les premières questions, mais le jury constate beaucoup d'erreurs de lecture du sujet comme par exemple pour traiter la question 2.2, question relative à l'usinage de la pièce des deux côtés.



### 3E PARTIE : Conception de l'outillage et du process de fonderie

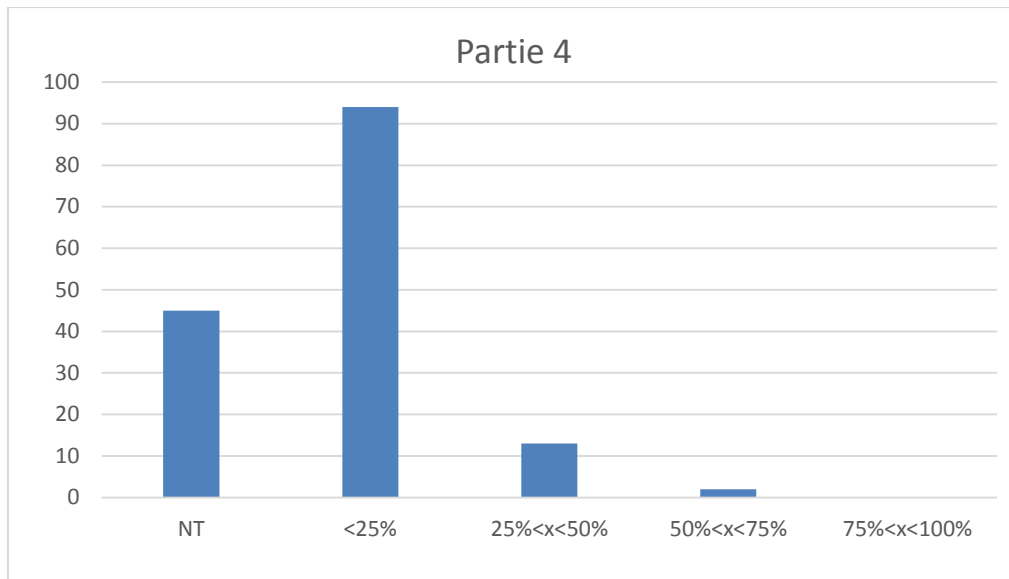


Le jury constate une méconnaissance des principaux procédés d'obtention de pièces, dans le cas du sujet de la session, ceux relevant de la fonderie. La coulée gravitaire se fait aussi en moule métallique et peut être entièrement automatisée. Trop de candidats font une comparaison avec une coulée manuelle ou dans un moule en sable.

Les formules de dilatation ont souvent été mal comprises.

Le jury recommande aux futurs candidats de faire attention à bien répondre aux questions comme par exemple lorsque l'exigence attendue concerne la capacité à conclure ou comparer.

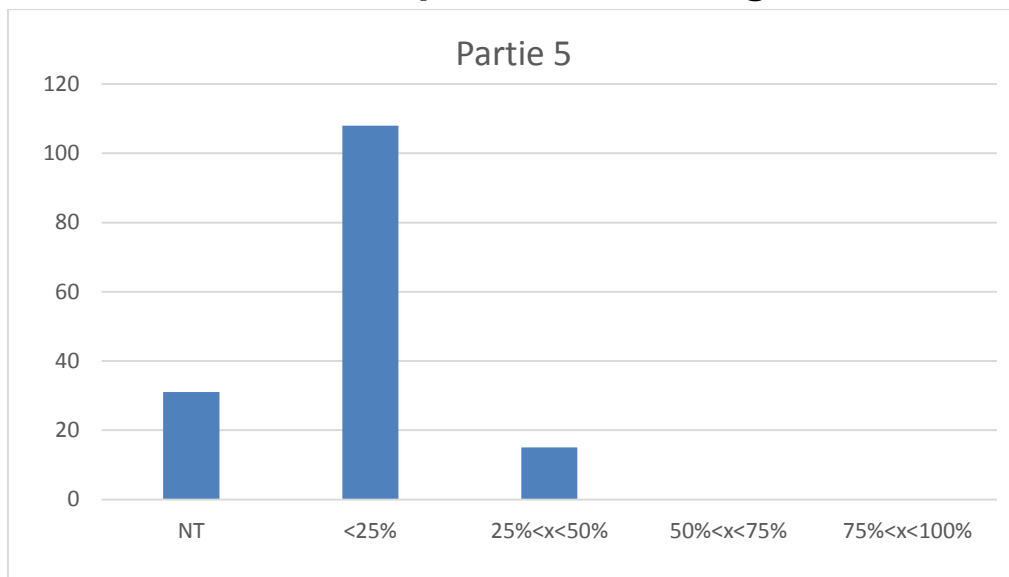
## 4E PARTIE : Élaboration de l'alliage



De nombreuses explications formulées en réponse aux questions restent imprécises. Beaucoup de candidats ne répondent pas à la question "comment" ou "pourquoi" ou ne répondent que trop partiellement aux questions posées. La notion de grains dans les métaux est connue mais la cristallographie et les traitements thermiques de durcissement structural ne sont pas maîtrisés. La lecture du diagramme binaire est généralement correcte.

Les réponses aux questions portant sur un simple essai de traction sont très surprenantes. Beaucoup trop peu de candidats ont traité cette partie. De nombreux candidats expriment les résistances  $R_e$  et  $R_m$  en daN, ce qui est très surprenant à ce niveau de concours.

## 5E PARTIE : Définition du process d'usinage



Cette partie, comportant pourtant quelques questions de technologie de base, n'a pas été traitée efficacement par beaucoup de candidats.

Beaucoup de candidat ont négligé cette partie, ne l'ont tout simplement pas traitée.

Parmi ceux qui ont abordé cette partie, le niveau de connaissance démontré est assez faible. On peut déplorer notamment la proposition de solutions d'isostatisme aberrantes, une méconnaissance des matériaux des outils de coupe alors que bon nombre de candidats s'inscrivent à cette agrégation sous l'option « industrialisation de produits ».

Le calcul des capacités était correct le plus souvent (formulaire donné), mais leur interprétation fonctionnelle assez approximative.

Ces notions, loin d'être spécifiques à la fonction usinage, mais finalement présentes dans nombre de secteurs de la production industrielle, devraient être mieux maîtrisées.

## **Remarques générales**

Beaucoup de candidats ne répondent pas correctement aux questions "pourquoi", "comment", "conclure", "comparer"... et présentent seulement leur calcul.

Le jury recommande aux futurs candidats de répondre avec le niveau d'exigence attendu.

Les réponses attendues ne demandent généralement pas de longs développements. Il convient de répondre de façon précise et synthétique, en allant à l'essentiel et en rédigeant des réponses organisées.

Les connaissances de base en industrialisation, domaine de plus en plus partagé dans le cadre de l'ingénierie collaborative en ingénierie mécanique, ne sont pas satisfaisantes, peu maîtrisées.

Un concours du niveau de l'agrégation demande des connaissances dans l'ensemble des domaines et champs de l'ingénierie mécanique, compte tenu que les lauréats à l'agrégation sont susceptibles de prendre en charge aussi la formation d'étudiants et d'apprentis relevant des DUT Génie Mécanique ou de la diversité des sections de techniciens supérieurs : conception de produits industriels, conception de processus de réalisation de produits, fonderie, forge, conception de processus de découpage et emboutissage ...

## ÉPREUVE D'ACTIVITÉ PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Coefficient 2 – Durée 6 heures

**Définition de l'épreuve (extrait du Bulletin officiel et arrêté modificatif du 19 avril 2016, publié au Journal officiel du 1<sup>er</sup> juin 2016)**

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

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

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

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

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

De fait, le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier et relatif à la spécialité

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

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

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

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

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, s'inscrit dans le cadre des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie. Pour un objectif pédagogique imposé, à un niveau de classe donné, la conception de la séquence de formation, 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.

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 circulaires en vigueur. Durant l'épreuve les candidats ont accès à un ensemble de ressources numériques et à internet (durant la phase 2 uniquement). 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, possibilité de prendre des photos ou vidéos pendant les activités pratiques). Durant l'épreuve, le candidat n'est pas autorisé à communiquer, par quelque moyen que ce soit, avec toute personne étrangère au concours et qui n'aurait pas la qualité de membre de jury.

## **Phase 1 :**

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

**Cette phase se déroule en 3 parties :**

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

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

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

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

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

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

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

Le candidat doit concevoir une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé (ensemble, tout ou partie de compétences visées extraites des référentiels et programmes en vigueur), à un niveau de classe donné. Les membres de jury qui seront amenés à s'entretenir et à interroger le candidat, attendent de celui-ci la démonstration de sa capacité à exploiter le contexte qui lui a été proposé durant les activités pratiques, à exploiter les données et ressources fournies, mais aussi à exploiter les résultats

obtenus au cours des activités pratiques pour alimenter la conception de sa séquence pédagogique. La proposition doit prendre appui sur ces données et ressources disponibles, sur les investigations, les problèmes qui étaient à résoudre et les analyses qu'il a pu conduire et sur les référentiels des diplômés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Thèmes et études proposées à la session 2019**

- étude structurelle et énergétique d'une chaîne de transmission de puissance ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification de processus ;
- étude de qualification et optimisation d'une phase de production ;
- étude de solutions constructives dans un contexte technico économique ;
- étude d'une commande en position, caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé ;
- comparaison de l'autonomie énergétique de deux systèmes, l'un en situation réelle et l'autre en situation de laboratoire ;
- pré-dimensionnement d'une chaîne de transmission mécanique réversible sur des critères énergétiques ;
- influence des paramètres de mise en œuvre sur la coulabilité d'un alliage ;
- étude et modélisation d'un dispositif de compensation mécanique sur un système motorisé.

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

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

Pour la partie « activité pratique » :

- s'approprier le système, produit ou processus ;
- s'approprier la problématique proposée, les ressources associées ;
- mettre en œuvre des systèmes, des matériels ou les procédés ;
- mettre en œuvre les outils informatiques, les logiciels métiers, les instruments de mesure, les protocoles expérimentaux proposés ;



- conduire une analyse fonctionnelle, structurelle ou comportementale de façon rigoureuse ;
- obtenir et exploiter des données et/ou des résultats exploitables ;
- formuler des hypothèses ;
- réaliser des développements scientifiques et technologiques ;
- décrire et caractériser des éléments du modèle de fonctionnement ou de comportement d'un système ;
- élaborer, justifier et analyser les modèles de manière critique ;
- comparer les données ou les résultats issus des expérimentations ou des simulations par rapport aux performances réelles constatées, évaluées à partir d'un modèle ou à partir de critères issus d'un cahier des charges ;
- proposer des solutions d'amélioration ou d'optimisation ;
- proposer des solutions pour réduire les écarts constatés (théorique, simulé, simulé) ;
- formuler des conclusions.

Pour la partie « exposé oral » :

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

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

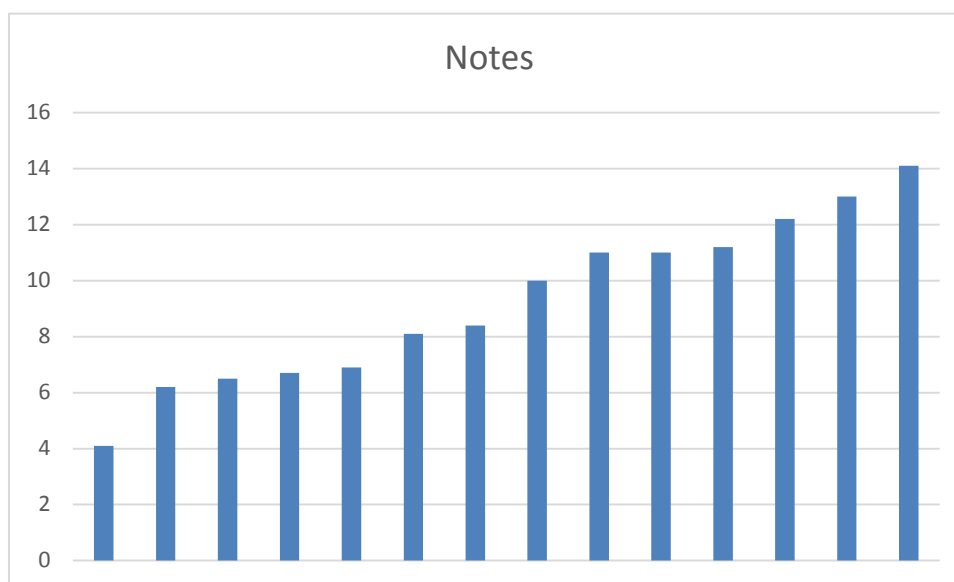
- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;
- replacer tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « activité pratique » dans la séquence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

### **Analyse des résultats :**

14 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- La moyenne des notes obtenues est de 09,2/20 ;
- la meilleure note est de 14,1/20 ;
- la note la plus basse est de 04,1/20 ;
- l'écart type est de 3,0.

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



La différence dans la performance des candidats est notable vis-à-vis de la réussite aux deux parties de cette épreuve. Peu de candidats démontrent des performances supérieures à 05/10 dans les deux parties. Pour la session 6 candidats obtiennent une note supérieure à 10/20.

Comme pour la session précédente, les performances démontrées en première partie « activité pratique » (moyenne de 04,8/10), sont proches de celles de la deuxième partie « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury (moyenne 04,4/10).

Les membres de jury ont constaté au travers des épreuves pratiques et lors des entretiens, des faiblesses en termes de connaissances scientifiques et d'approche méthodologique des problèmes à résoudre et à analyser, même si le niveau de culture technologique reste globalement satisfaisant.

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

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

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

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

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

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

**Les recommandations suivantes restent d'actualité pour les futurs candidats**

➤ Bien comprendre la commande pédagogique :

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

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

➤ Mettre en œuvre des matériels et des équipements :

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

- d'identifier les informations essentielles, étape indispensable pour une appropriation rapide du support et de la problématique ;
- d'utiliser les outils formalisés d'analyse 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 manipulations proposées afin de donner du sens à la proposition de la séquence pédagogique ;
- de respecter le temps conseillé pour chaque activité afin de pouvoir se l'approprier et de donner davantage de consistance à la séquence pédagogique proposée ;
- d'organiser et présenter les résultats obtenus ;
- de sélectionner, au fur et à mesure des activités, les données et ressources jugées pertinentes, qui 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 stratégie pédagogique adoptée (articulation entre cours, TD et TP) ;
- la durée de la séquence ;
- les évaluations prévues, avec la définition des indicateurs et critères d'évaluation.

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

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

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

- de concevoir un exposé qui soit à la fois structuré, organisé et dynamique en termes de présentation orale ;

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

## Conclusion

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

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

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

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

## ÉPREUVE SUR DOSSIER

### Coefficient 1 – Durée 1 heure

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

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

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

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

#### **1. Les attentes du jury**

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

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

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

Ce travail personnel d'analyse sérieuse débouche sur des propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés. Le dossier doit contenir les études conduites exploitant les connaissances attendues d'un professeur agrégé dans le domaine de la conception, de l'industrialisation et de la mécanique industrielle, et comporter des documents techniques conformes aux normes en vigueur.

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

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

## **2. Les compétences évaluées**

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

- 1 - Construire un dossier technique et scientifique.
  - Choisir un support adapté aux attentes de l'épreuve (Pluritechnologique, M.E.I, innovant).
  - Analyser un système et développer une étude en lien avec la problématique identifiée.
  - Présenter et justifier des solutions en réponse à la problématique.
- 2 – Exploiter le dossier technique et scientifique dans le cadre d'activités pédagogiques.
  - Proposer une séquence pédagogique s'insérant dans une progression clairement formalisée sur l'ensemble du cycle de formation choisi.
  - Développer cette séquence en relation avec les attendus d'un référentiel spécifié.
  - Décrire les démarches et stratégies pédagogiques mises en œuvre.
  - Expliciter le dispositif d'évaluation associé.
- 3 - Communiquer par écrit et oralement une idée, un principe, une solution technique ou un projet, des concepts pédagogiques.
  - Mobiliser des outils de communication efficaces.
  - Développer une argumentation de qualité.

## **3. Constats et recommandations du jury**

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

Pour des questions pratiques, la clef USB s'adapte à tous les ordinateurs, éviter les cartes mémoire, cartes micro ou autres supports particuliers susceptibles d'engendrer des problèmes pour trouver le lecteur adéquat.

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **L'aspect technologique et scientifique**

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

- de rechercher un support moderne pluri-technologique, attrayant et industrialisé dès la décision d'inscription au concours ;
- de choisir un support dont l'authenticité et l'actualité sont des éléments décisifs. Il se caractérise par une compétitivité reconnue, par la modernité de sa conception et par sa disponibilité réelle, qu'il soit de type "grand public" ou de type "équipement industriel" ;

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

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

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

### **L'aspect pédagogique**

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

Le jury regrette, malgré ses précédentes recommandations, que trop peu de dossiers aient présenté ces caractéristiques pour la session 2019.

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

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

### **L'expression et la communication dans le dossier**

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

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

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

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats de :

- préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée de trente minutes maximum ;
- 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. Résultats à la session 2019

- La moyenne des notes obtenues est de 10,2/20 ;
- La meilleure note est de 17,9/20 ;
- La note la plus basse est de 2,9/20

