



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

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport de jury**

**Concours : Agrégation interne et CAER-Agrégation**

**Section : Sciences industrielles de l'ingénieur**

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

**Session 2023**

**Rapport de jury présenté par : Madame Karine LAVERNHE  
Maitresse de conférences  
Présidente du jury**

## SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>3</b>
<b>STATISTIQUES DE LA SESSION 2023 .....</b>	<b>7</b>
<b>ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE .....</b>	<b>8</b>
ÉLÉMENTS DE CORRECTION .....	8
COMMENTAIRES DU JURY .....	26
<b>ÉPREUVE D'ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION .....</b>	<b>27</b>
ÉLÉMENTS DE CORRECTION .....	27
COMMENTAIRES DU JURY .....	38
<b>ÉPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE .....</b>	<b>40</b>
COMMENTAIRES DU JURY .....	40
<b>ÉPREUVE SUR DOSSIER .....</b>	<b>51</b>
COMMENTAIRES DU JURY .....	51

## Avant-propos

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

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

Les épreuves d'admissibilité comportent :

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

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

*Durée : cinq heures ; coefficient 2.*

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

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

*Durée : quatre heures ; coefficient 1.*

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

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

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

Encore à la session 2023, de nombreux candidats se sont présentés à ces deux épreuves sans s'y être préparés. Le jury a constaté, au travers de la correction des copies, la faiblesse des connaissances et compétences d'un grand nombre de candidats. Pour certains, de nombreux fondamentaux font défaut.

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

Les épreuves d'admission sont définies ainsi :

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

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

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

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

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

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

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

- Épreuve sur dossier.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Karine LAVERNHE  
Présidente du jury**

## Statistiques de la session 2023

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la première épreuve d'admissibilité	Présents à la seconde épreuve d'admissibilité	Admissibles	Admis
AG INT SII IM	268	7	146	141	18	6
CAER		1			3	1

141 candidats ont composé aux deux épreuves  
122 candidats inscrits ne sont pas présentés aux épreuves écrites  
3 candidats ne sont pas présentés aux épreuves d'admission

Agrégation interne (concours du public) :

- Barre d'admissibilité : 24,60 (soit une moyenne de 8,20/20)
- Barre d'admission : 60,09 (soit une moyenne de 10,02/20)

CAER-Agrégation (concours du privé) :

- Barre d'admissibilité : 24,60 (soit une moyenne de 8,20/20)
- Barre d'admission : 67,94 (soit une moyenne de 11,32/20)

**Répartition des admis par académies : Agrégation interne et CAER**

Académies	Nombre d'admis
Bordeaux	1
Grenoble	2
Nice	1
Orléans-Tours	1
Toulouse	2

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

# Épreuve d'analyse et exploitation d'un système pluritechnique

## Éléments de correction

Coefficient 2 – Durée 5 heures  
Le sujet comporte 3 parties

### PARTIE 1

**Question 1 :** Pour une puissance installée de 12 MW et une production annuelle de  $38,5 \cdot 10^9$  W·h, **calculer** le temps d'amortissement nécessaire pour chacune des installations sans considérer de variation de prix et à production constante. **Déterminer** le temps nécessaire pour que la chaufferie biomasse soit plus rentable qu'une chaufferie gaz. **Justifier** la durée du contrat qui a été négocié par rapport à la durabilité des équipements et la rentabilité. **Justifier** le choix de Clermont Auvergne Métropole des réseaux de chaleur urbains alimentés par de la chaleur issue de la biomasse.

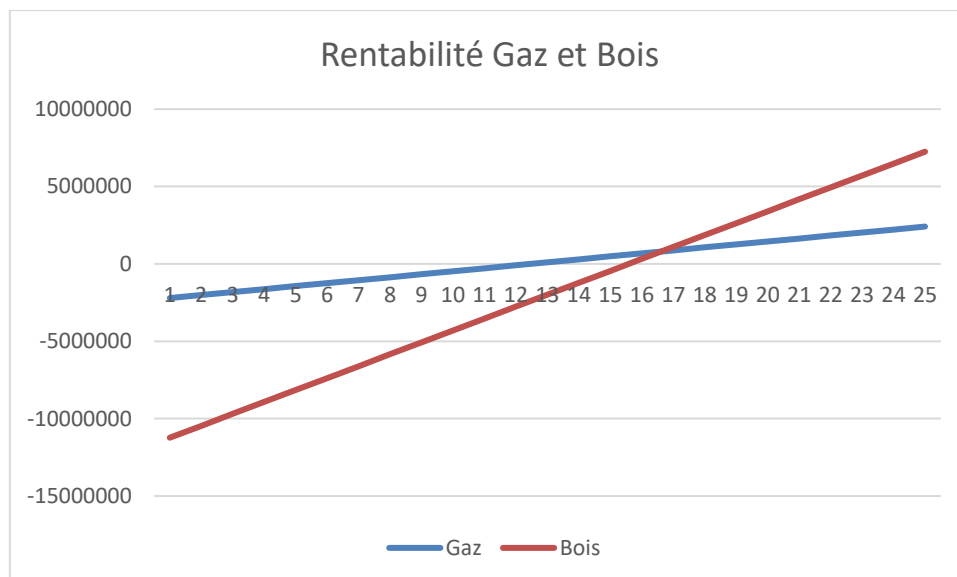
12 MW Gaz : 2 400 000 €

12 MW Bois : 12 000 000 €

38 500 000 GWh vendus : 1 925 000 €

38 500 000 GWh gaz : 1 732 500 € soit 192 500 € d'amortissement

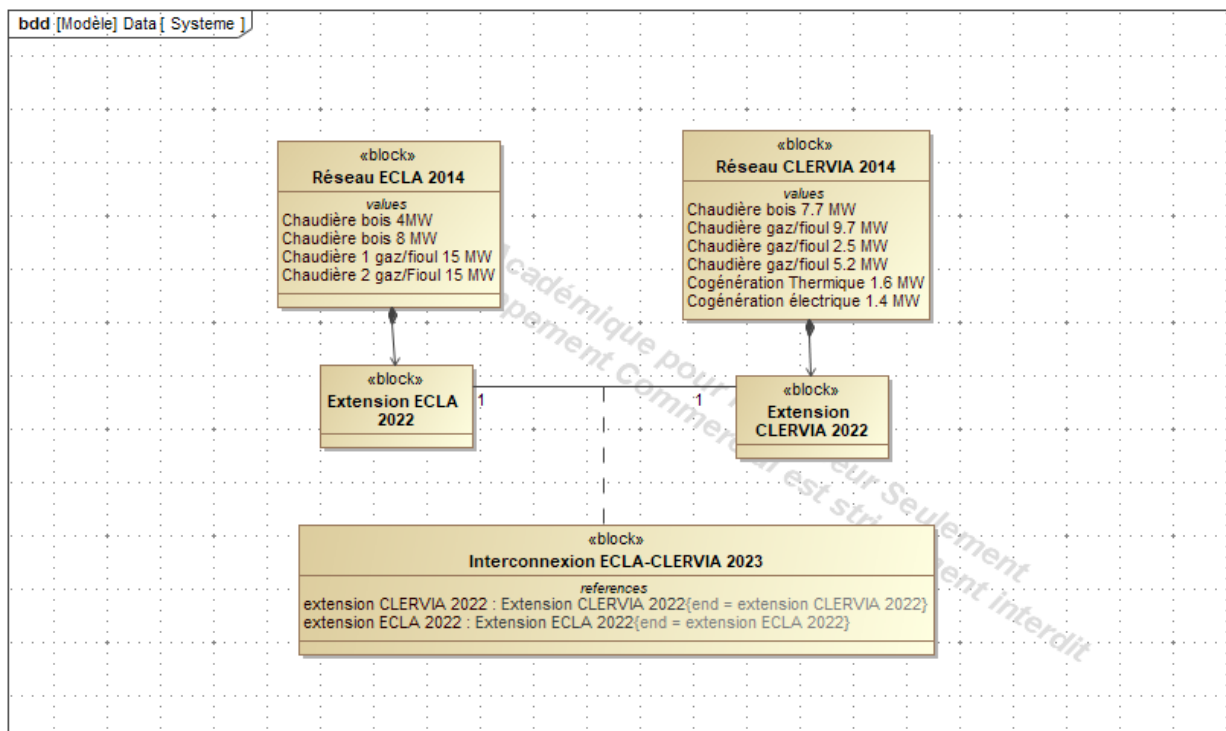
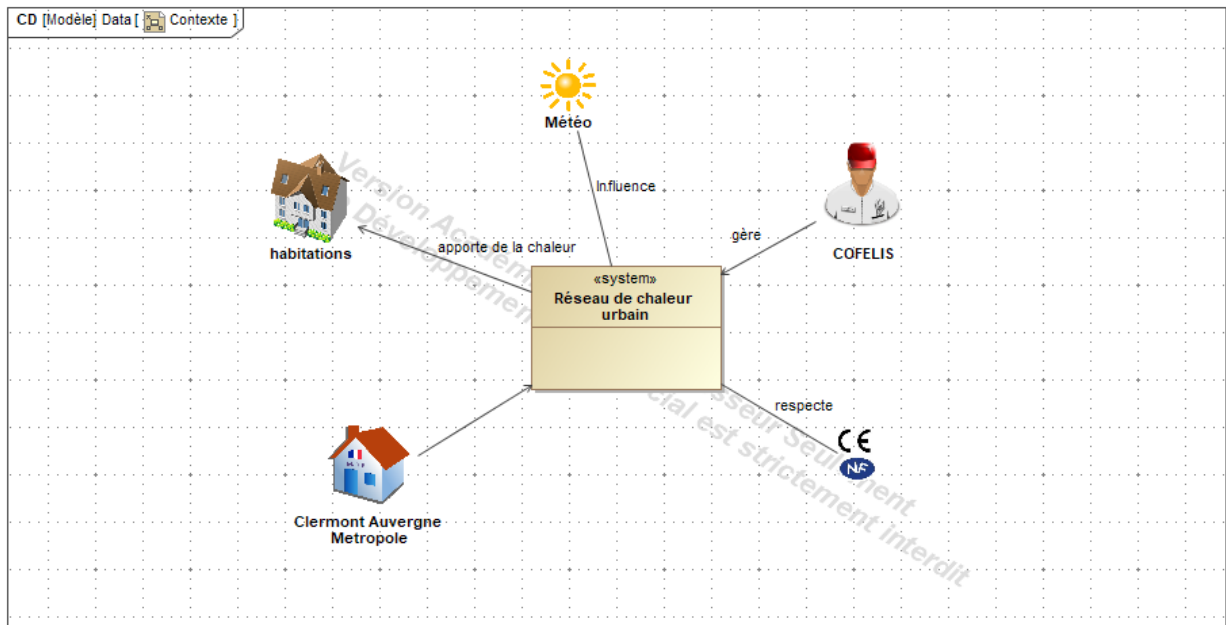
38 500 000 GWh bois : 1 155 000 € soit 770 000 € d'amortissement



La rentabilité bois est bien meilleure pour l'entreprise mais demande un investissement supérieur.



**Question 2 :** À partir de la présentation du support d'étude, **proposer** un diagramme de contexte et un diagramme structurel du système.



**Question 3 :** À partir des données précédentes et des documents DT2 et DT3, compléter le tableau de synthèse **DR1**. La puissance calorifique fournie aux abonnés du réseau ECLA a oscillé le 12 juillet 2019 entre 554 kW et 1815 kW, pour le réseau CLERVIA, elle a oscillé entre 469 kW et 1685 kW. Au regard du DR1, **conclure** sur la possibilité d'exploiter les chaudières biomasse en été pour chacun des réseaux puis les réseaux interconnectés.

	Puissance thermique en MW		
	ECLA	CLERVIA	ECLA et CLERVIA interconnectés
Cas 1 : toutes les chaudières fonctionnent à pleine puissance	42	26,7	68,7
Cas 2 : seules les chaudières biomasse fonctionnent à pleine puissance	12	7,7	19,7
Cas 3 : la plus petite chaudière biomasse fonctionne à puissance minimale	1	1,9	1

Réseaux non connectés : Gaz

Réseaux connectés : la petite chaudière biomasse d'ECLA est adapté.

**Question 4 :** En comparant les deux courbes du document **DR2**, **justifier** le décalage entre la courbe de puissance thermique demandée et la courbe de puissance thermique injectée. **Lister** au moins trois éléments qui expliquent les fortes fluctuations de la demande. **Compléter** le tableau du document **DR2** en indiquant les générateurs qui doivent être mis en marche en fonction de la période de la journée. **Préciser** si les puissances des générateurs sur le site d'ECLA sont suffisantes pour permettre la connexion de nouveaux clients et quelles en seront les conséquences en termes de production de chaleur bas-carbone.

- Le comportement des usagers, résultant de la combinaison de rythmes sociaux (périodes de présence au domicile, au lieu de travail, école-vacances, nuit ...)
- L'influence de variables climatiques, la température extérieure en premier lieu, déterminant important des besoins de chauffage ;
- Les écarts systématiques sont dus aux pertes dans le réseau de chaleur urbain
- Du fait de l'inertie thermique du réseau et de l'effet retard lié au temps de transit du débit fluide, l'équilibre entre l'offre et la demande ne s'évalue pas instantanément.

Tranche horaire	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24
Puissance moyenne injectée en MW le 16 janvier 2019	12	10.88	12.75	15.26	13.25	9.56	5.25	5.21	10.37	14.68	12.35	11.68
Puissance moyenne demandée en MW le 16 janvier 2019	11.35	10.15	11.41	13.87	12.75	8.81	4.68	5	10.06	14.06	11.94	10.93
Chaudière bois 8MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Chaudière bois 4MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Chaudière 15MW			X	X	X					X	X	
Chaudière 15MW												

NB : Mettre une croix lorsque la chaudière indiquée est en marche

Il y a une réserve de puissance importante car une seule chaudière au gaz est utilisée lors des pics de consommation. L'augmentation du nombre d'abonnés ne devrait pas poser de soucis mais cela devrait engendrer une consommation de gaz supplémentaire et donc une augmentation des consommations d'énergie fossile.

**Question 5 :** On considère que la perte de chaleur dans les tuyauteries peut être considérée comme constante et en première approximation estimé à  $18,84 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$ , **justifier** cette proposition en analysant les variations de chaque paramètre. **Déterminer** les pertes de chaleur pour une année. En considérant que la chaleur fournie au réseau de chaleur génère  $17\cdot 10^{-6} \text{ kg CO}_2\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , **estimer** la production de  $\text{CO}_2$  annuelle en kg générée par les pertes de chaleur dans la tuyauterie de

Les paramètres qui influent sont :

- La température du fluide (varie peu)
- La température du sol (varie peu sur l'année)
- Les rayons (ne varient pas)
- La conductivité thermique de l'isolant (ne varie pas)
- La convection dans le tube (varie en fonction du débit mais peu d'incidence sur les pertes)

$18,84 \times 824 \times 2 \times 365,25 \times 24 / 1000 = 272 \text{ 170 kWh}$  soit  $4 \text{ 624 kg CO}_2$  soit 4 tonnes de  $\text{CO}_2$  soit 0,1% de l'économie en  $\text{CO}_2$  générée.

**Question 6 :** À partir du document [DT7], **justifier** en quoi l'amortissement du matériel de chantier contribue au bilan des émissions de gaz à effet de serre et plus particulièrement du  $\text{CO}_2$ .

La fabrication, le transport et l'entretien demandent des ressources variées qui génèrent des gaz à effets de serre. On amortit donc ces gaz au prorata de la durée d'utilisation de l'équipement.

**Question 7 :** À partir du DT4 et DT5, **déterminer** le volume des terrassements puis la durée de fonctionnement nécessaire de la pelle pour réaliser ces travaux, **déterminer** la consommation de combustible fossile (GNR) et la production de dioxyde de carbone lié à cette phase (Scope 1).

Rendement horaire :  $2 \times 1,25 \times 1 \times 60 \times 0,640 = 96 \text{ m}^3/\text{h}$

Terres foisonnées à extraire :  $824 \times 1,08 \times 0,96 \times 1,25 = 1 \text{ 068 m}^3$

Durée du chantier :  $1\ 068 / 96 = 11,2$  h

Consommation de gasoil : 139 l

Production de CO<sub>2</sub> : 371 kg

Les hypothèses choisies considèrent que la machine n'a aucun temps mort, qu'il n'y a pas d'aléas, pas d'interaction avec les riverains. C'est un temps théorique qui sera sans doute en décalage avec la réalité.

**Question 8 :** À partir du **DT 6**, **déterminer** la quantité de dioxyde de carbone générée par la construction d'un mètre carré de route puis pour la totalité du projet (l'unité fonctionnelle retenue (UF) dans le bilan carbone est le mètre carré de route réalisée) (Scope 1 et 3). La fiche FDES propose d'autres indicateurs environnementaux, **indiquer** les autres impacts à surveiller. La durée de vie proposée pour une route est de 100 ans, **critiquer** cette proposition et les conséquences sur les indicateurs proposés.

72,1 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>

824 m<sup>2</sup>

59 410 tonnes de CO<sub>2</sub>

Impacts importants de la route en France, 2 critères ressortent :

- Utilisation d'énergie fossile
- Pollution de l'air

Cette durée paraît particulièrement longue pour ce type d'ouvrage, en effet les voies sont continuellement en mutation face aux changements d'usage (réseaux, voiries, ...)

**Question 9 :** **Déterminer** le temps nécessaire pour chacune des étapes du chantier, **réaliser** le diagramme des potentiels puis le diagramme de Gantt pour cette portion de 52 m. En **déduire** la durée approximative du chantier totale puis la production de CO<sub>2</sub> générée par les installations nécessaires au travail des ouvriers et les installations administratives (durée de travail quotidienne : 7h).

A : 7h

B :  $52 \times 2 / 5 = 20,8$  h

C :  $52 \times 0,96 / 120 = 0,416$  h

D :  $52 \times 0,96 \times 1 / 96 = 0,52$  h

E :  $52 / 5 = 10,4$  h

F : 52 h – non pris en compte

G :  $52 \times 0,96 \times 1 / 28 = 1,78$  h

H :  $52 \times 0,96 / 42 = 1,18$  h

Durée totale :  $7 + 20,8 + 0,52 + 10,4 + 1,78 + 1,18 = 41,68$  h

Soit  $41,68 / 7 = 5,95$  j

Production CO<sub>2</sub> amortissement matériel pour 52 ml :  $12\ 642 \times 5,95 = 206$  kg

Production CO<sub>2</sub> amortissement matériel pour 824 ml : 3 264 kg

**Question 10 :** Déterminer le temps de retour sur investissement de l'extension en termes de CO<sub>2</sub>. Conclure sur la rentabilité « carbone » d'une telle opération, lister au moins trois autres critères de préservation de l'environnement qui doivent être pris en compte lors de telle opération.

3830-4 = 3824 tonnes de CO<sub>2</sub> évitées par an

71,637 tonnes de CO<sub>2</sub> pour la réalisation du chantier

Le chantier est rentable en 7 journées

Ce type de chantier a une rentabilité carbone très rapide. Les chantiers liés à l'énergie ont, en général, une très mauvaise rentabilité financière mais une très bonne rentabilité écologique.

**Question 11 :** À partir de l'ensemble des questions de la partie 1, identifier les critères qui mettent en évidence le fait que ce projet suit une démarche de développement durable.

Critères environnementaux : Production de CO<sub>2</sub> compensé par la reforestation dans le cas de la chaleur biomasse

Critères économiques : Chaleur bois moins cher que la chaleur gaz

Critères sociaux : développement de filières locales pour le matériel et le combustible

**Question 12 :** Afin de définir un projet pour un groupe de 3 élèves en 212D, proposer sur feuille de copie : la thématique du projet, une formulation du besoin initial, la finalité du produit en lien avec la thématique et le problème technique à résoudre.

**Exemple de projet :**

Thématique : Confort et habitat

Formulation du besoin initial :

En France, le chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire représente un tiers des émissions de gaz à effet de serre !

Les réseaux de chaleur et de froid urbains alimentés en énergies renouvelables représentent des solutions durables pour les territoires. Ils permettent de mobiliser d'importants gisements d'énergies avec des niveaux d'émission de CO<sub>2</sub> très faibles.

De plus avec la hausse des prix de l'énergie, ces réseaux de chaleur contribuent à lutter contre la précarité énergétique, en proposant des tarifs compétitifs et stables sur le long terme.

La communauté d'agglomération, Clermont Auvergne Métropole souhaite faire profiter de cette solution à davantage d'habitants en s'appuyant sur des réseaux déjà existants.

## PARTIE 2

**Question 13 :** Justifier par calcul que les pompes de réseau sont capables d'assurer le débit nécessaire pour transférer une puissance thermique de 24 000 kW sous une différence de température  $\Delta T$  de 30°C.

Le débit nominal d'une pompe est de  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ , 4 pompes sont montées en parallèle ce qui autorise un débit nominal max de  $720 \text{ m}^3/\text{h}$ .

La puissance  $P$  se déduit par

$$P = Q_{v \text{ eau}} \cdot \rho_{v \text{ eau}} \cdot C_{p \text{ eau}} \cdot \Delta T$$

On peut également déduire la formule par analyse dimensionnelle

$$P = \frac{[kJ]}{[s]} = \frac{[kW \cdot s]}{s} = [kW]$$

De cette formule, nous pouvons déduire si le débit de l'installation est suffisant pour 24 000 kW

$$Q_{v \text{ eau}} = \frac{P}{\rho_{v \text{ eau}} \cdot C_{p \text{ eau}} \cdot \Delta T} = \frac{24000}{971,6 \cdot 4,195 \cdot 30} = 0,196 [\text{m}^3/\text{s}]$$

Il reste à convertir  $Q_{v \text{ eau}}$  en  $[\text{m}^3/\text{h}]$  et l'on en déduit  $706,6 [\text{m}^3/\text{h}]$ .

L'installation étant dimensionnée pour un débit nominal max de  $720 [\text{m}^3/\text{h}]$ , les 24 000 kW sont envisageables.

**Question 14 :** À partir de la courbe caractéristique d'une pompe ETALINE MULTITEC V100 [DT9] et du rendement de la pompe [DT10], calculer, pour le point de fonctionnement nominal de la pompe, la puissance utile du moteur électrique à associer à la pompe.

$$P = \frac{\text{HMT} \cdot Q_{v \text{ eau}} \cdot \rho_{v \text{ eau}} \cdot g}{\eta_{\text{pompe}}}$$

Attention à penser à convertir le débit en  $\text{m}^3/\text{s}$  !

Du graphique on déduit le rendement de la pompe proche de 81%

On en déduit une puissance utile minimale de moteur de 79,4 kW

**Question 15 :** À partir des caractéristiques du moteur Siemens associé à la pompe ETALINE-MULTITEC données en [DT10] et pour un réseau électrique en 400V triphasé, **calculer** la puissance électrique absorbée, le couple et le rendement du moteur pour le point de fonctionnement nominal à la puissance utile de 110 kW de ce moteur électrique

Puissance électrique absorbée

$$P_a = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos(\phi) = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 187 \cdot 0.9 = 116,6 \text{ kW}$$

Calcul du couple moteur et du rendement pour le point de fonctionnement nominal.

$$P_{un} = C_n \cdot \omega_n$$

On en déduit le couple nominal  $C_n = 352 \text{ Nm}$

Le rendement pour le point de fonctionnement nominal vaut :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

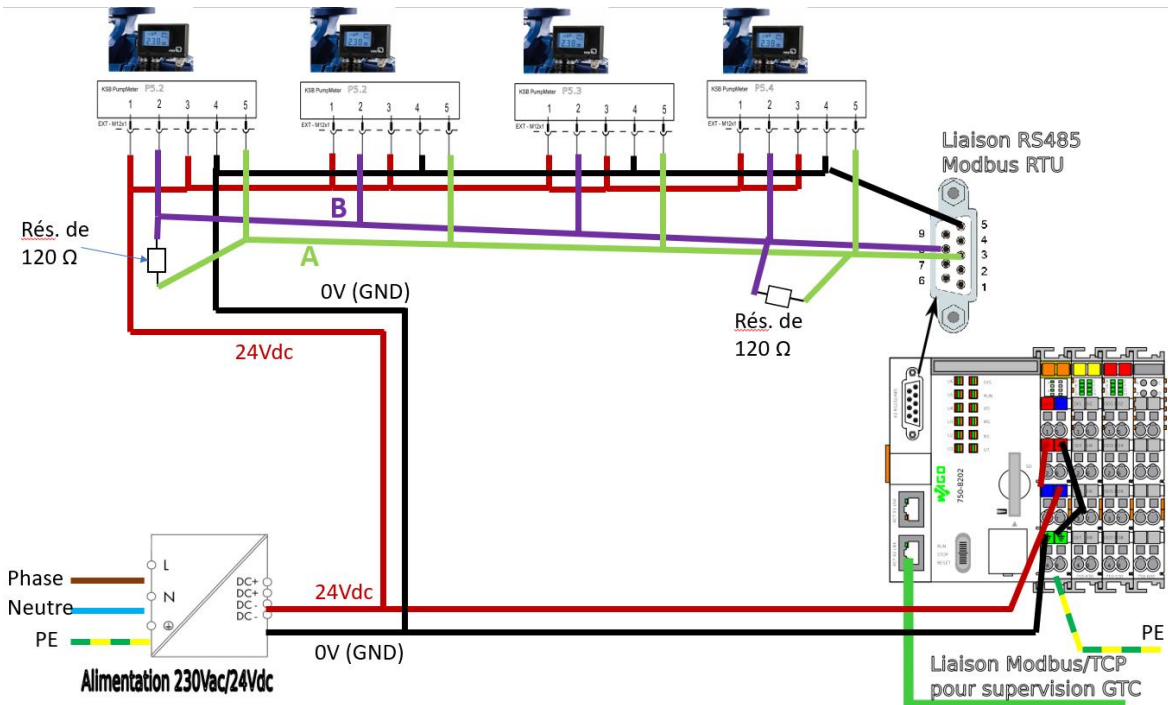
On en déduit le rendement :  $\eta = 94,3\%$

**Question 16 :** Dans le cadre de cette étude, on considèrera le rendement du moteur constant à 94% indépendamment du débit de la pompe et le rendement du variateur égal à 100%. En vous basant sur le réseau de caractéristiques de la pompe donnée en [DT9] ainsi que la courbe de rendement de la pompe donnée en [DT10], **calculer** la puissance électrique absorbée par le moteur pour les pilotages en mode 1 et mode 2 pour des débits de 80 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> et 180 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. **Présenter** les résultats sous la forme du tableau proposé ci-dessous. **Justifier** l'intérêt de la variation de vitesse dans le cadre de la stratégie de réduction de consommation électrique des pompes réseau ECLA.

	Débit 80 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Débit 180 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
<b>Mode 1 :</b> Pilotage du variateur en fréquence f fixe de 45 Hz	$\eta_{pompe} = 0,65$ HMT = 135 m Pu = ~44 kW Pelec = 46,8 kW	$\eta_{pompe} = 0,81$ HMT = 110 m Pu = 64,7 kW Pelec = 68,8 kW
<b>Mode 2 :</b> Pilotage du variateur en HMT constant et fréquence f variant de 40 Hz à 45 Hz	$\eta_{pompe} = 0,65$ HMT = 110 m Pu = 35,9 kW Pelec = 38,1 kW	$\eta_{pompe} = 0,81$ HMT = 110 m Pu = 64,7 kW Pelec = 68,8 kW

La régulation à HMT constant permet une réduction de la consommation énergétique sur les débits inférieurs au débit nominal de la pompe. Dans cet exemple, on passe de 46.8 kW à 38.1 kW pour un débit à 80 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

**Question 17 :** En vous basant sur les documents [DT11], [DT12], [DT15] et [DT16], tracer sur le document réponse [DR3] les connexions à réaliser pour assurer la liaison RS485 entre les différents PumpMeter et l'automate Wago ainsi que l'alimentation 24Vdc.



**Question 18 :** Sur le document réponse [DR4], indiquer les valeurs à affecter aux paramètres de configuration de la liaison série du logiciel qModMaster pour assurer la communication avec le PumpMeter afin de mesurer le débit (Flow-Rate) de la pompe. Les paramètres Modbus du module PumpMeter sont donnés dans les documents [DT12], [DT13] et [DT14].

Slave Address par défaut = 247 ou 0xF7  
 Baud=38400 c'est le Data Rate de la doc  
 Parity=Even  
 Data = 8 bits  
 Stop = 1  
 Start Address = 0x4525 (pour lire le Flow Rate)  
 Number of register = 0x02 car un type UINT32 est composé de deux registres de 16 bits

**Question 19 :** En analysant la trame de requête et de réponse (des exemples sont donnés sur le document [DT14]), indiquer le paramètre qui est évalué ainsi que la valeur mesurée.

Le décodage de la trame indique que c'est le paramètre 0x4506 dont on fait une requête d'évaluation, la documentation indique qu'il s'agit de la valeur de pression différentielle calculée.

La trame de retour rapporte la valeur 0x00 0B E6 E0 en hexadécimal, soit 780 000 en décimal. La documentation précise qu'il s'agit d'une mesure en Pascal, que nous pouvons convertir en bars, soit 7,8 bars.



**Question 20 :** On est confronté à une erreur particulière. Les modules PumpMaster communiquent individuellement avec le PC portable. En revanche, quand deux ou plus des modules sont connectés, la communication n'est plus opérationnelle. À l'aide du document [DT12], **déterminer** les causes de ce dysfonctionnement.

La documentation précise que sorti d'usine, le PumpMeter est configuré avec une adresse Modbus à 247, si les quatre PumpMeter conservent cette même adresse, la mise en réseau ne fonctionnera pas. Il est alors nécessaire de modifier l'adresse de chaque PumpMeter

Proposition, configurer les adresses de la manière suivante :

PumpMeter de la pompe P5.1 : @Modus=51

PumpMeter de la pompe P5.2 : @Modus=52

PumpMeter de la pompe P5.3 : @Modus=53

PumpMeter de la pompe P5.4 : @Modus=54

D'autres propositions sont possibles tant que les valeurs d'adresses sont différentes et comprises entre 1 et 247.

**Question 21 :** À l'aide des différents écrans de supervision du site de production listant les points de mesure disponibles et les données du variateur (documents [DT17] et [DT18]), **identifier** les grandeurs physiques mesurées nécessaires pour déterminer chacune des puissances (thermique, hydraulique, électrique) et des énergies.

Puissance hydraulique : DeltaP, débit

Énergies calorifiques distribuées : température, débit, et temps

Puissance électrique : Puissance hydraulique, rendement pompe, rendement moteur, rendement variateur.

**Question 22 :** Proposer un protocole d'essais afin que les élèves puissent déterminer le rendement instantané d'une pompe à la date du 9 février 2022 à 17h30, le rendement mensuel d'une pompe pour le mois de janvier 2022 ainsi que l'évaluation des énergies calorifiques distribuées face aux consommations électriques. Les élèves ont accès aux écrans de supervision de la chaufferie([DT17] et [DT18]) et le cadre de ce protocole d'essai, on considèrera le rendement du moteur constant à 94% indépendant du débit de la pompe et le rendement des variateurs égal à 100%.

Protocole rendement instantané pompe (Pthermique -> Débit -> Phydraulique -> Puissance électrique

Protocole rendement mensuel pompe (Pthermique mensuelle -> Débit mensuel moyen -> Phydraulique moyenne -> Puissance électrique moyenne)

La distinction puissance instantanée et moyenne est mise en avant, de même pour le ratio entre l'énergie électrique nécessaire pour transporter l'énergie thermique.

**Question 23 :** En complétant le tableau du DR5, **proposer**, en argumentant les réponses, les tâches du groupe d'élèves permettant de développer les compétences CO7.1 et CO7.2 et de valider l'exigence 1.3.1

Phase - Tests et validation	Élève 1 EE	Élève 2 SIN	Élève 3 AC	CO7.1. Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.		CO7.2. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit			
	Tps (h)	Tps (h)	Tps (h)	Les moyens mobilisés pour la réalisation du prototype sont adaptés.	Le prototype réalisé permet de valider les performances attendues.	Les conditions de l'essai sont identifiées et justifiées	Le protocole est adapté à l'objectif	Les incertitudes sont estimées.	L'expérimentation est correctement mise en œuvre
Effectuer et mettre en forme les mesures	6	6	6	x			X		X
Analyser et confronter les résultats notamment avec ceux du modèle	3	3	3			X		x	
Modifier si nécessaire le modèle et le valider	4	4	4						
Proposer des hypothèses d'amélioration du rendement énergétique	4	4	4						
Prédire les performances et valider l'exigence	3	3	3		x				

**Question 24 :** Dans le cadre du projet s'appuyant sur le contexte du dossier d'étude, **proposer** une question que l'élève pourrait présenter pour l'épreuve du grand oral. **Rédiger** un argumentaire robuste sur le plan scientifique et technologique permettant de développer une réponse à la question.

Exemple :

Comment étendre un réseau de chaleur à davantage d'habitants en optimisant les performances énergétiques d'une chaufferie ?

Argumentaires :

- vérifier si la chaufferie existante permet l'extension du réseau sans modification ;
- longueur des conduites, pertes de charges, paramètres débit, delta T, delta p, rendement des moteurs, pompes, etc...
- recherche du point de fonctionnement des composants ;
- choix du nombre de pompes
- cout (€ et CO<sub>2</sub>) d'une perte de charge ;

### PARTIE 3

**Question 25 :** À partir du schéma cinématique du premier barreau fixe (BF) avec le bâti (0) (fig. 3 [DT19]), **citer** le nom des trois liaisons élémentaires modélisées en précisant leurs éléments de réduction (centre, axe, normale, ou autre).

Pivot glissant (O,z)

Linéaire rectiligne (B,z) de normale z

Appui plan normale z

**Question 26 :** **Démontrer** par l'analyse des degrés de mobilité que la liaison équivalente aux trois liaisons élémentaires d'un barreau fixe (BF) par rapport au bâti (0) est une liaison encastrement. **En déduire** s'il existe un degré de mobilité entre le tube fixe (TF) et le barreau fixe (BF) lorsqu'il est positionné selon le schéma cinématique (fig. 3 [DT19]).

La liaison pivot glissant selon z permet une rotation et une translation selon z, mais la rotation est bloquée par la linéaire rectiligne et la translation par l'appui plan.

Les 6 degrés de mobilité sont bloqués donc on a bien une liaison encastrement.

**Question 27 :** **Préciser** si la mise en position du barreau fixe (BF) sur le bâti (0) est isostatique ou hyperstatique en justifiant la réponse.

Il n'y aura pas de mouvement possible du barreau par rapport au tube et cette modélisation est fortement hyperstatique car il suffirait de 2 appuis ponctuels de normale Z et Y pour une mise en position isostatique.

**Question 28 :** **Déterminer** l'expression littérale de la vitesse relative V entre les barreaux mobiles et les barreaux fixes en fonction des données Du et q. **En déduire** la valeur numérique de V en m·s<sup>-1</sup>. **Préciser** le nom de la liaison équivalente qui permet ce seul degré de mobilité.

À partir du diamètre du vérin et du débit, on détermine la vitesse de déplacement de la tige du vérin :

$$V = q / (\pi \cdot D_v^2 / 4)$$

$$V = 0,104 \text{ m/s}$$

La liaison qui permet un degré de mobilité en translation est une liaison glissière de direction x.

**Question 29 :** **Déterminer** l'expression littérale de la masse Mc de combustible sur un barreau en fonction des paramètres H, mv et S. **En déduire** la valeur numérique en Newtons du poids du combustible, noté Pc qui s'applique sur le barreau.

$$\text{masse} = \rho \cdot H \cdot S \text{ en kg}$$

$$\text{donc } P_c = m \cdot g = 9.81 \cdot 700 \cdot 0.5 \cdot 0.4 \cdot 0.1 = 150 \text{ Newtons.}$$

**Question 30 :** **Énoncer** le principe qui permet de déterminer les actions mécaniques appliquées au barreau mobile en O et en A en fonction du poids  $P_c$ . Déterminer l'expression littérale de l'action mécanique du barreau fixe sur le barreau mobile  $F_a$  en A. **En déduire** la valeur numérique de  $F_a$  en N.

Principe fondamental de la statique :

$$\text{Résultante : } F_a + F_o - F_c = 0$$

$$\text{Équation des moments en O : } P_c \cdot L_1 + F_a \cdot L = 0$$

$$F_a = -P_c \cdot L_1 / L$$

$$F_a = -150 \cdot 0,7 = 105 \text{ N}$$

**Question 31 :** **Calculer** la pression de contact surfacique  $p$  entre un barreau fixe et un barreau mobile au niveau du point A en  $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ .

$$p = F_a / S_{ab}$$

$$p = 105 / (5 \cdot 100) = 0,21 \text{ N/mm}^2$$

**Question 32 :** **Appliquer** la loi de Preston-Archard donnée par l'équation 1 afin de déterminer le temps  $T$  de fonctionnement en mois avant d'atteindre l'épaisseur d'usure  $z_{\max}$  de 5 mm d'un barreau mobile. **Comparer** le temps  $T$  aux périodes de maintenance actuelle sur la chaudière et **conclure**.

$$\text{On a } z = k \cdot p \cdot L \text{ On sait que : } L = V \cdot T \text{ donc } T = z / (k \cdot p \cdot V) = 5 / (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2 \cdot 0,1)$$

$$\text{AN : } T = 16\,000\,000 \text{ s} = 5,6 \text{ mois.}$$

On retrouve bien le même ordre de grandeur de 6 mois d'utilisation pour une usure  $z_{\max}$  de 5 mm.

**Question 33 :** À partir de la carte de sélection 1 du document [DT21], **proposer** une ou plusieurs familles de matériaux (ex : polymères, mousse, etc.) permettant de respecter les contraintes de dureté HV et de température d'utilisation.

La famille de matériaux qui respecte le mieux les exigences de dureté et de température est la famille des céramiques techniques.

**Question 34 :** **Exprimer** la relation  $I_p = HV \cdot T^2$  sous la forme  $\log(T) = a \cdot \log(HV) + b \cdot \log(I_p)$  en précisant les valeurs de  $a$  et  $b$ . À partir de cette relation, **expliquer** la méthode permettant de placer la droite d'équation  $\log(T) = a \cdot \log(HV) + b \cdot \log(I_p)$  maximisant  $I_p$  sur la carte de sélection 2 du document [DT21]. **En déduire** le matériau le plus performant selon ce critère.

$$I_p = HV \cdot T^2 \text{ donc } \log(T) = -1/2 \cdot \log(HV) + 1/2 \cdot \log(I_p) \quad a = -1/2, b = 1/2.$$

Pour maximiser  $I_p$ , il faut rechercher le matériau passant par une droite de pente  $-1/2$  et d'ordonnée à l'origine la plus grande possible.

On en déduit que le matériau le plus intéressant est l'acier faiblement allié pour ce critère.

**Question 35 :** À partir des deux cartes de sélection du document [DT21], **conclure** sur le choix d'un matériau alternatif au vu de l'objectif.

La céramique technique est performante sur la carte 1 mais pas sur la carte 2.

L'acier faiblement allié respecte bien les trois critères techniques représentés sur les deux cartes: dureté, ténacité et température et pourrait être envisagé en remplacement de la fonte.

**Question 36 :** Proposer une synthèse de l'étude de cette partie au vu de la problématique.

L'acier faiblement allié ne permet pas de réduire le temps de maintenance (HV) et reste moins performant que la fonte sur les contraintes de prix et d'empreinte CO2.

La fonte semble donc être le meilleur compromis.

Au vu de cette étude, on ne peut pas améliorer la durée de vie à coût raisonnable en changeant de matériau. Par contre, on pourrait décaler les moments de maintenance printemps /automne.

**Question 37 :** L'extrait du programme concernant ce point est rappelé ci-dessus. Proposer une fiche de synthèse d'une page structurant une démarche de choix de matériau pour les élèves.

Les méthodes de choix sont basés sur l'utilisation de bases de données qui associent les matériaux et les procédés. Pour réaliser le choix de ces milliers de références, on utilise les critères définis en conception ou identifiés dans le cahier des charges. Plusieurs méthodes sont alors possibles suivant les informations dont on dispose et le degré d'optimisation souhaitée :

- sélection basée sur les propriétés : possibilité de choix direct, de poser des limites ou d'effectuer des comparaisons.
- sélection par comparaison des indices de performance.
- sélection multi-contrainte et multi-objectif.

Ces méthodes peuvent être utilisées simultanément dans un même choix de matériau.

### Sélection à partir des diagrammes de propriétés

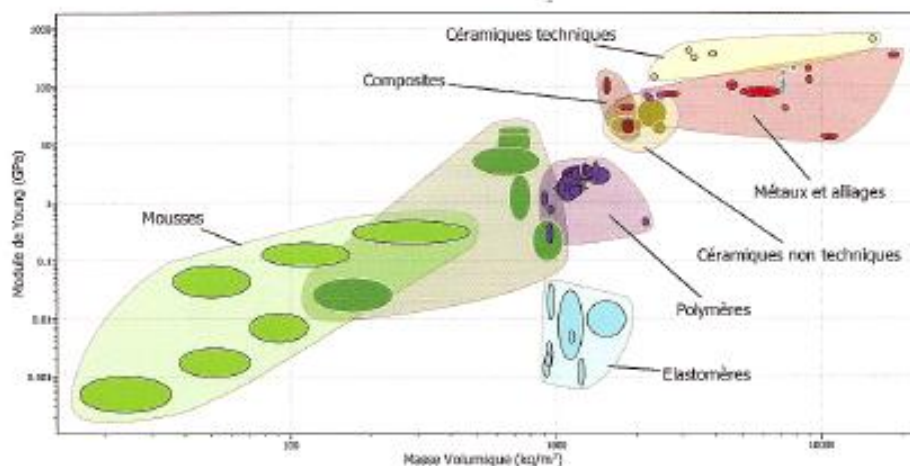
Cette méthode consiste à rechercher les matériaux répondant aux critères choisis suivant trois types de sélection :



- par choix direct : on sélectionne par exemple uniquement les matériaux usinables ou uniquement les matériaux ferreux.
- En posant des limites : on sélectionne les matériaux dont une propriété, par exemple le dureté, est supérieure à une valeur spécifiée.
- Par comparaison : on génère un diagramme d'une propriété en fonction d'une autre. On peut ensuite sélectionner graphiquement les meilleurs compromis.



Ce type de diagramme, basé uniquement sur les propriétés intrinsèques des matériaux, ne permet pas un choix pertinent car la fonction et les objectifs ne sont pas pris en compte.



### Sélection avec indice de performance

Pour optimiser le choix du matériau, il est nécessaire de déterminer les performances recherchées, qui se traduiront par une combinaison des propriétés du matériau.

Par exemple, il est possible d'exprimer la performance d'un matériau par le rapport entre sa limite de résistance élastique et sa masse ( $Re/M$ ).

Pour établir un indice de performance, il est nécessaire de définir la fonction du composant, l'objectif et les contraintes de conception. Ces dernières peuvent se traduire par les propriétés des matériaux selon les sollicitations du composant. L'indice de performance sera une relation fonction de ces paramètres.

Cet indice de performance apparaît sur les diagrammes de propriétés sous la forme d'une droite.

Les matériaux situés sur cette droite ont la même performance, les matériaux au dessus sont les meilleurs et ceux situés en dessous sont les moins bons.

### Sélection multi-contrainte et multi-objectif

L'exemple précédent permet d'optimiser le choix du matériau avec un objectif et une contrainte, mais la sélection peut être beaucoup moins complexe.

En effet, généralement pour un même objectif de conception (minimiser les coûts, la masse, les impacts environnementaux), il est nécessaire de considérer plusieurs contraintes. Ce type d'étude, multi-contrainte, peut être mené en effectuant autant d'études qu'il y a de contraintes et en conservant les matériaux communs.

Il est possible également d'avoir à traiter plusieurs objectifs de conception simultanément.



**Question 38 : Lister** au moins trois attendus pour la réalisation du poster. **Proposer** les critères et les modalités d'évaluation de la présentation orale.

Exemples d'attendus proposés pour le poster : titre en police 48, 4 mots clés en anglais, au moins 2 photos, le texte ne représente pas plus d'1/3 du poster, beaucoup d'illustrations, etc...

Exemples de critères d'évaluation orales : le contexte ou cahier des charges fonctionnel est décrit, la démarche est structurée, argumentée, la réponse aux questions est pertinente.

Exemples de modalités d'évaluation (diagnostique, formative, sommative) : évaluation par les pairs, par le professeur, auto-évaluation...

### **Constats sur la composition des candidats**

L'appropriation des informations fournies sur le support étudié **nécessite une lecture globale du sujet**. À partir de cette lecture, les candidats peuvent s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension et les questions posées sont globalement au niveau des candidats. Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Il est noté également que de nombreuses réponses données par les candidats restent partielles et lapidaires ou ne correspondent pas aux attentes. Le jury rappelle qu'il est nécessaire de justifier et d'argumenter avec précision ses réponses.

Il subsiste quelques rares candidats qui ne traitent pas (ou de manière très superficielle) les parties pédagogiques. Le jury rappelle que ces candidats se retrouvent fortement pénalisés sur la note finale étant donné le poids non négligeable de la partie pédagogique.

Sur les parties pédagogiques, de nombreux candidats n'ont pas pris connaissance des évolutions du programme de STI2D. Il y a de nombreuses confusions entre l'ancien et le nouveau programme, par exemple des erreurs entre spécialité et enseignement spécifique.

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.

### **Recommandations aux futurs candidats**

Il est fortement conseillé aux candidats de mieux préparer cette épreuve et de lui réserver un temps important en termes de préparation au concours.

Pour réussir une telle épreuve, une lecture complète du dossier est vivement conseillée afin de s'imprégner du sujet, afin de comprendre les problématiques des différentes parties et leurs liens. En effet une lecture attentive du sujet apporte de précieuses informations et permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat. De plus, s'agissant d'une épreuve transversale, de nombreuses informations fournies s'avèrent utiles pour répondre à la question posée.

Au-delà des résultats des parties scientifiques ou des propositions des parties pédagogiques, il est avant tout attendu la mise en évidence d'une méthode de résolution ou une démarche réflexive montrant une maîtrise des deux domaines, scientifique et pédagogique.

De même, les réponses d'ordre pédagogique doivent s'appuyer sur l'étude scientifique afin de donner du sens à la démarche pédagogique et à la didactique envisagées.

On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication. Encore cette année, de trop nombreuses copies sont quasiment illisibles ou remplies de fautes d'orthographe.

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

## Éléments de correction

Coefficient 1 – Durée 4 heures  
Le sujet comporte 4 parties

### Partie A: Génération des efforts de broyage

#### Q.A.1

Par définition :

$$\overrightarrow{OG_b} = \frac{M_{sup} \cdot \overrightarrow{OG_{sup}} + M_{inf} \cdot \overrightarrow{OG_{inf}}}{M_{sup} + M_{inf}}$$

$$\overrightarrow{OG_b} = \frac{M_{sup} \cdot d_{sup} - M_{inf} \cdot d_{inf}}{M_{sup} + M_{inf}} \cdot \vec{z}_1 + \frac{M_{sup} \cdot r_{sup} + M_{inf} \cdot r_{inf}}{M_{sup} + M_{inf}} \cdot \vec{x}_5$$

En tenant compte de l'égalité des valeurs  $r_{sup} = r_{inf}$ , on a :

$$\frac{M_{sup} \cdot d_{sup} - M_{inf} \cdot d_{inf}}{M_{sup} + M_{inf}} = \frac{148 \times 215 - 127 \times 251}{148 + 127} = 0,207 \text{ mm} \approx 0$$

On peut donc considérer :

$$\overrightarrow{OG_b} = r_{inf} \cdot \vec{x}_5$$

Commentaire : la liaison pivot étant réalisée par deux éléments roulants, le paramétrage choisi a astucieusement permis de placer le point  $O$  à la même altitude que le point  $G_b$ .

#### Q.A.2

Par dérivation du vecteur position :

$$\vec{V}_{G_b/1} = \left. \frac{d\overrightarrow{OG_b}}{dt} \right|_{R_1} = r \cdot \dot{\theta}_m \cdot \vec{y}_5$$

#### Q.A.3

Par dérivation de nouveau :

$$\vec{\Gamma}_{G_b/1} = \left. \frac{d\vec{V}_{G_b/1}}{dt} \right|_{R_1} = r \cdot \ddot{\theta}_m \cdot \vec{y}_5 - r_{inf} \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{x}_5$$

#### Q.A.4

Si l'arbre est équilibré statiquement (i.e.  $G_5 \in (O, \vec{z}_1)$ ), son influence est nulle sur la résultante dynamique car  $\vec{\Gamma}_{G_5/1} = \vec{0}$ .

De même, la position du centre de gravité  $G_5$ , uniquement verticale selon  $(O, \vec{z}_1)$ , ne modifiera pas l'expression de la norme de l'accélération globale  $\vec{\Gamma}_{G_\Sigma/1}$ .

#### Q.A.5

Par superposition, on a, en considérant  $\Sigma = \{\text{arbre 5} + \text{balourd supérieur} + \text{balourd inférieur}\}$  :

$$M_\Sigma \cdot \vec{\Gamma}_{G_\Sigma/1} = M_5 \cdot \vec{\Gamma}_{G_5/1} + (M_{sup} + M_{inf}) \cdot \vec{\Gamma}_{G_b/1}$$

Or en supposant que l'arbre est équilibré :

$$\overrightarrow{\Gamma_{G_5/1}} = \vec{0}$$

D'où :

$$M_\Sigma \cdot \overrightarrow{\Gamma_{G_\Sigma/1}} = (M_{sup} + M_{inf}) \cdot \overrightarrow{\Gamma_{G_b/1}}$$

$$M_\Sigma \cdot \overrightarrow{\Gamma_{G_\Sigma/1}} = -(M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \omega_m^2 \cdot \overrightarrow{x_5}$$

$$\begin{aligned} |M_\Sigma \cdot \overrightarrow{\Gamma_{G_\Sigma/1}}| &= (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \omega_m^2 = (148 + 127) \times 87 \times 10^{-3} \times \left(700 \times \frac{\pi}{30}\right)^2 \\ &= 129 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

### Q.A.6

En isolant l'ensemble  $\Sigma$  : Bilan des Actions Mécaniques Extérieures

- Action du moteur :

$$\{T_{mot \rightarrow 5}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_m \cdot \vec{z}_1 \end{array} \right\}_O$$

- Action de la pesanteur :

$$\{T_{pes \rightarrow \Sigma}\} = \left\{ \begin{array}{c} -M_\Sigma \cdot \mathbf{g} \cdot \vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{G_\Sigma}$$

- Action de la liaison pivot en :

$$\{T_{1 \rightarrow 5}\} = \left\{ \begin{array}{cc} X_O & L_O \\ Y_O & M_O \\ Z_O & 0 \end{array} \right\}_{O,R_1}$$

Par application du théorème de la résultante dynamique au système  $\Sigma$  :

$$\begin{aligned} M_\Sigma \cdot \overrightarrow{\Gamma_{G_\Sigma/1}} &= \sum \overrightarrow{F_{\Sigma \rightarrow \Sigma}} \\ -(M_{sup} + M_{inf}) \cdot r_{inf} \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \overrightarrow{x_5} &= \overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} - M_\Sigma \cdot \mathbf{g} \cdot \vec{z}_1 \end{aligned}$$

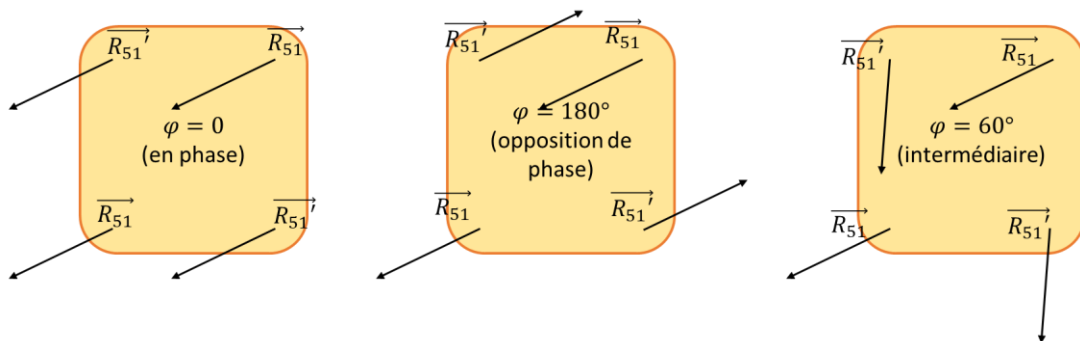
Résultante des actions de (1) sur (5) :

$$\overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} = M_\Sigma \cdot \mathbf{g} \cdot \vec{z}_1 - (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \overrightarrow{x_5}$$

Composantes contenues dans le plan  $(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1})$  :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} - (\overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} \cdot \vec{z}_1) \cdot \vec{z}_1 &= -(M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \overrightarrow{x_5} \\ |\overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} - (\overrightarrow{F_{1 \rightarrow 5}} \cdot \vec{z}_1) \cdot \vec{z}_1| &= (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \end{aligned}$$

### Q.A.7



On voit que la valeur du déphasage va permettre d'obtenir toutes les combinaisons possibles entre la somme et l'annulation de l'effet de chacun des balourds.

**Q.A.8**

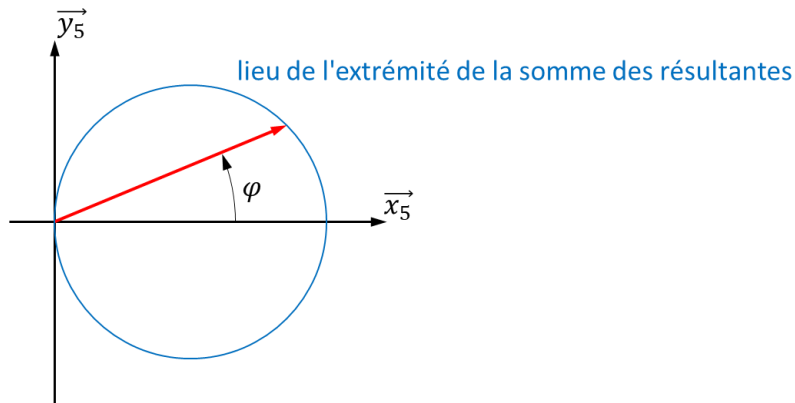
On a :

$$\sum \vec{R}_{51} = 2 \cdot (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot (\vec{x}_5 + \vec{x}_{5'})$$

$$\sum \vec{R}_{51} = 2 \cdot (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot ((1 + \cos \varphi) \cdot \vec{x}_5 + \sin \varphi \cdot \vec{y}_5)$$

La somme des résultantes est contenue entre les valeurs 0 et  $4 \cdot (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2$  (portée par  $\vec{x}_5$ ) soit une valeur maximale de  $514 \cdot 10^3 \text{ N}$  pour  $\varphi = 0$  et  $N = 700 \text{ tr/min}$ .

On peut représenter comme suit la somme des résultantes :



Autre proposition :

$$\left| \sum \vec{R}_{51} \right| = 2 \cdot (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \sqrt{(1 + \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi)^2}$$

$$\left| \sum \vec{R}_{51} \right| = 2 \cdot (M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \sqrt{2 + 2 \cdot \cos \varphi}$$

Conclusion :  $\varphi$  permet de fixer la norme de l'effort de broyage, et la rotation assure l'exigence « effort tournant »

**Q.A.9**

Exigence	Valeur	Résultat	Conclusion
1.1.1	Augmentation progressive	Via $\varphi$	Validé
1.1.2	Diminution progressive	Via $\varphi$	Validé
1.1.3	Effort tournant	Avec évolution $\theta_m$	Validé
	Valeur nominale 125 kN	Valeur max > 4 × 125 kN	Validé

**Q.A.10**

Le paramètre le plus simple sur lequel agir est la vitesse de rotation du moteur (sous réserve de son dimensionnement). Une augmentation de 30% de la norme de l'effort maximal se traduit par une augmentation de 14% de  $\omega_m$ .

## Partie B: Durée de vie des éléments roulants

### Q.B.1

Chaque roulement se comporte intrinsèquement comme une liaison rotule. Le montage est globalement arrêté en translation dans les deux directions, mais seules les bagues extérieures sont totalement bloquées.

Ici, le critère retenu pour la modélisation est celui du roulement recevant la charge axiale (ici la pesanteur). C'est donc le roulement supérieur qui se comporte comme une rotule. Les ajustements mis en place sur l'arbre (plus serré sur le roulement supérieur) confirment ce choix.

### Q.B.2

Ici, la charge radiale provient des balourds, elle est donc tournante par rapport au boîtier. Les bagues extérieures doivent être montées serrées (et complètement arrêtées axialement)

On retrouve donc (en supposant des ajustements h et H respectivement sur les bagues extérieures et intérieures) :

- Bagues extérieures : P6/h5 serré (++) ;
- Bague intérieure supérieure : H6/k5 serré ;
- Bague intérieure inférieure : H6/f5 glissant.

### Q.B.3

En considérant la symétrie de  $\Sigma$  par rapport au plan  $(\vec{x}_5, \vec{z}_1)$  :

$$I(G_{\Sigma}, \Sigma) = \begin{bmatrix} A & 0 & -E \\ 0 & B & 0 \\ -E & 0 & C \end{bmatrix}_{(G_{\Sigma}, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_1)}$$

On a, avec  $\overrightarrow{\Omega}_{\Sigma/R_1} = \dot{\theta}_m \cdot \vec{z}_1$  :

$$\overrightarrow{\sigma}_{G_{\Sigma}, \Sigma/R_1} = -E \cdot \dot{\theta}_m \cdot \vec{x}_5 + C \cdot \dot{\theta}_m \cdot \vec{z}_1$$

Par dérivation :

$$\overrightarrow{\delta}_{G_{\Sigma}, \Sigma/R_1} = \left. \frac{d\overrightarrow{\sigma}_{G_{\Sigma}, \Sigma/R_1}}{dt} \right|_{R_1} = -E \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{y}_5$$

### Q.B.4

Le TRD s'écrit :

$$\begin{aligned} -(M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 &= X_A + X_B \\ 0 &= Y_A + Y_B \\ 0 &= Z_A - P \end{aligned}$$

Expression des moments en A :

$$\overrightarrow{\delta}_{A, \Sigma/R_1} = -E \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{y}_5 + \underbrace{\overrightarrow{AG_{\Sigma}}}_{l \cdot \vec{x}_5 - d_A \cdot \vec{z}_1} \wedge \left( -(M_{sup} + M_{inf}) \cdot r \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{x}_5 \right)$$

$$\overrightarrow{\delta}_{A, \Sigma/R_1} = (r \cdot d_A \cdot (M_{sup} + M_{inf}) - E) \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{y}_5$$

$$\overrightarrow{M}_{A, 1B \rightarrow 5} = -(d_A + d_B) \cdot \vec{z}_1 \wedge (X_B \cdot \vec{x}_5 + Y_B \cdot \vec{y}_5) = (d_A + d_B) \cdot (-X_B \cdot \vec{y}_5 + Y_B \cdot \vec{x}_5)$$

$$\overrightarrow{M}_{A, pes \rightarrow 5} = (l \cdot \vec{x}_5 - d_A \cdot \vec{z}_1) \wedge (-P \cdot \vec{z}_1) = l \cdot P \cdot \vec{y}_5$$

Le TMD en A :

$$(d_A + d_B) \cdot Y_B = 0$$

$$-(d_A + d_B) \cdot X_B + l \cdot P = (r \cdot d_A \cdot (M_{sup} + M_{inf}) - E) \cdot \dot{\theta}_m^2 \cdot \vec{y}_5$$

$$C_m = 0$$

On a bien un système de 6 équations indépendantes, pour 6 inconnues ( $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B$  et  $C_m$ ),  $P$  étant une entrée du système. Il existe une unique solution.

### Q.B.5

The screenshot shows the SKF Bearing Select software interface. The top navigation bar includes 'Accueil', 'Recherche et sélection', 'Calculer', and 'Ajustements et tolérances'. The main section is titled 'Données d'entrée requises' and contains several input fields and a diagram.

**Exigences de Système**

- Roulement reprenant la charge axiale:**  Gauche,  Droite,  Aucune (charge axiale négligeable)
- Orientation de l'arbre:**  Horizontal,  Vertical
- Paramètres pour l'estimation des émissions de CO<sub>2</sub>:** Localisation géographique - Union Européenne, Durée d'exploitation [années] - 1, Taux de service [%] - 100%

**Entraxe des roulements:** 160 mm

**Bague tournante:**

**Cas de charge**

Type de coordonnées	Coordonnées			Efforts			Vitesse r/min	Température	
	x r mm	y θ mm/deg	z mm	Fx Fr kN	Fy Fθ	Fz		Gauche	Droite
F1 <input checked="" type="radio"/> (x,y) <input type="radio"/> (r,θ)	0	0	0	70	0	6	700	Bague intérieure	70
F2 <input checked="" type="radio"/> (x,y) <input type="radio"/> (r,θ)	0	0	160	60	0	0		Bague extérieure	65

Température du roulement de droite identique à celle du roulement de gauche

### Q.B.6

Pour chaque roulement, la charge dynamique équivalente  $P$  prend en compte une combinaison de l'effort radial et de l'effort axial, fonction de la géométrie du roulement, et du type de chargement :

$$P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa \text{ avec } X, Y \text{ dépendants de } \frac{Fr}{Fa}$$

On calcule la durée de vie en million de tours par la formule :

$$L_{10T} = \left( \frac{C_{dyn}}{P} \right)^n$$

$n = 1/3$  pour les roulements à billes,  $n = 3/10$  pour les roulements à rouleaux (comme ici).

On passe à la durée de vie en heures en divisant par la vitesse de rotation  $N$  :

$$L_{10H} = \frac{L_{10T} \times 10^6}{60 \cdot N}$$

### Q.B.7

On trouve pour les deux roulements une durée de vie supérieure à  $2 \times 10^5$  heures, soit bien plus que ce qu'impose l'exigence 1.4.2 (**60000** heures), que ce soit par la méthode classique ou par le calcul SKF.

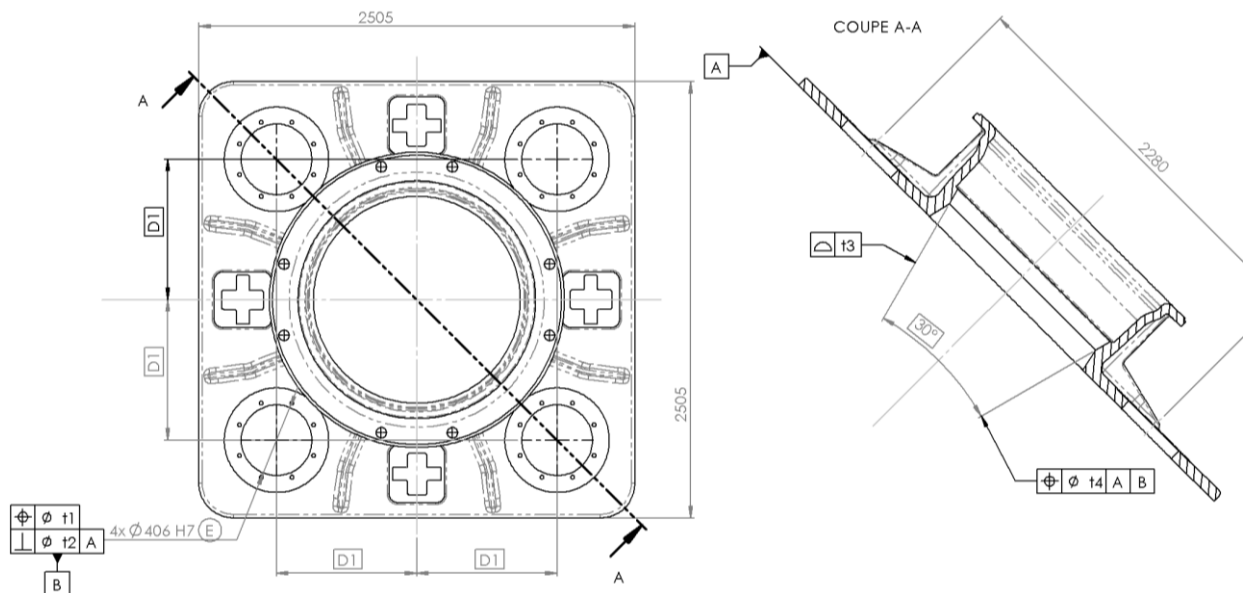
## Partie C: Relation Produit-Procédé-Matériau de l'anneau support de bol.

### Q.C.1

La montabilité du groupe des 4 ensembles vibrateurs dans les alésages  $\varnothing 406$  H7 impose une spécification de localisation relative des axes des alésages, ainsi qu'une limitation du défaut de forme des alésages.

Le respect de l'exigence 1.1.3 nécessite un positionnement relatif de l'axe de la surface conique intérieure de l'anneau support de bol et du groupe des 4 ensembles vibrateurs, ainsi qu'une limitation du défaut de forme de la surface conique. L'orientation de ces éléments par rapport à la surface d'appui inférieure de l'anneau support (ou relativement à la zone commune définie par les 4 portées planes usinées) intervient également dans une moindre mesure et peut être spécifiée de différentes manières.

Une solution d'écriture peut être :



### Q.C.2

EN : type de norme (ici européenne) ;  
GJS : graphite sphéroïdal ;  
400 : Résistance à la rupture de 400 MPa ;  
18 : 18% d'allongement à la rupture ;  
LT : résilience basse température ;  
Microstructure de type ferritique.

### Q.C.3

Ductilité : capacité à se déformer sous une contrainte (allongement à la rupture).

Cette nuance présente un des meilleurs allongements à rupture (18%), ce qui permet d'envisager un meilleur comportement sous l'effet du chargement cyclique recherché.



#### Q.C.4

On cherche ici à augmenter la ductilité, donc traitement d'adoucissement. La tenue aux chocs sera améliorée, ce qui sera bénéfique au comportement en fatigue de la pièce, tout en améliorant l'usinabilité.

- Réalisation du moule + noyaux
- Fonderie
- Décochage + élimination des masselottes
- Traitement d'adoucissement
- Usinage
- Traitement de surface : peinture

#### Q.C.5

La fonte retenue contient 3,50 – 3,70 % de Carbone, ce qui est préjudiciable à la soudabilité des matériaux ferreux. Le S355 en contient moins de 0,22 % et présente une résistance mécanique supérieure pour un allongement à la rupture équivalent.

#### Q.C.6

Un refroidissement trop rapide de la zone soudée (inférieur à 12 s) conduit à la formation de martensite (M) qui présente une dureté élevée et engendre un risque important de fissuration à froid dans le cordon de soudure. Le préchauffage des pièces permet de diminuer la vitesse de refroidissement et d'obtenir une microstructure adaptée.

#### Q.C.7

Pour  $2 \cdot 10^6$  cycles :

- Tôle pleine : 300 MPa ;
- Tôle entaillée : 180 MPa ;
- Tôle soudée en angle : 80 MPa.

Les assemblages soudés ne respectent pas la tenue en endurance du cahier des charges (Id 1.1.3.2.1 : limite d'endurance 180 MPa) .

Reconception : solutions permettant de réduire les contraintes au niveau des cordons de soudures. (Augmentation des sections au niveau du cône de l'anneau afin de diminuer les déformations, augmentation du nombre de goussets...)

#### Q.C.8

À  $2 \cdot 10^6$  cycles, la résistance en fatigue est quasiment doublée par refusion des pieds de cordons 85 MPa → 160 MPa.

Explication : limitation de la concentration de contrainte au niveau des pieds de cordons par modification de la forme et ZAT étendue équivalente à un recuit.

#### Q.C.9

Méthode de CND surfacique (ressuage, magnétoscopie) si prise en compte du risque d'amorce de fissuration au niveau des pieds de cordons.

Méthode volumique (radio, ultra-sons) si recherche de microfissures liées à la métallurgie du soudage.

#### Q.C.10

- Découpage des tôles (plasma ou jet d'eau) + parachèvement ;
- Roulage du cône central (ou usinage extérieur du cône si brut choisi en tube) ;
- Pliage des goussets ;
- MIP + pointage plaque de base + cône + collerette ;
- MIP + pointage goussets ;
- Soudage complet, de manière à limiter les déformations + refusion des pieds de cordon (MAG+TIG) ;
- Traitement thermique (libération des contraintes) ;
- CND ;
- Usinages + contrôles (Centre d'usinage vertical / tournage vertical) ;
- Traitement de surface : peintures.

## Partie D: Usinage de pièces de grandes dimensions.

### Q.D.1

- Processus n°1 : réalisation de la face d'appui, des alésages et du cône dans la même phase avec une bonne accessibilité et donc des outils courts, ce qui facilite le respect des dimensions et géométries recherchées. Usinage de la portée conique possible en configuration tournage et/ou fraisage par combinaison d'axes. En phase 20, la mise en position est réalisable dans le cône et/ou dans les alésages ce qui permet une MIP satisfaisante pour la réalisation de la collerette (face, épaulement et perçages). La réalisation des 8 portées planes impose des outils longs, comme pour le processus n°2.
- Processus n°2 : Les surfaces fonctionnelles sont réalisées en phase 20 mais avec l'obligation d'utiliser des outils longs pour des problèmes d'accessibilité dans le cas des alésages et de la portée conique. Le balançage du brut en phase 20 est également rendu plus complexe (pas de MIP dans les alésages possible). Limitation des possibilités d'usinage de la portée conique en raison des contraintes d'orientation de broche en fraisage.

### Q.D.2

Entraxe des alésages 1612 mm, alésages de diamètres 406 mm et fraise de rayon 20 mm :

Course utile pour cycle prévu :  $1612 + 406 - 40 = 1978$  mm

Un cycle mettant en œuvre les axes X et Y uniquement est donc impossible (course X = 1950 mm), il faut donc utiliser l'axe C pour positionner l'alésage à usiner dans le volume capable des axes X, Y et Z.

Direction d'avance : en avalant afin de réduire les vibrations liées à une section de copeau trop faible à l'attaque.

### Q.D.3

Il faut utiliser les 4 axes X, Y, Z et B pour positionner l'arrête de l'outil et piloter l'axe C en continu pour générer le cône.

Problème d'interférence avec la gamme 2 entre l'outil et le haut de la collerette.

### Q.D.4

Pour un travail d'enveloppe, une géométrie correspondant à une tête à aléser de finition, une fraise hémisphérique ou torique, inclinée de l'angle du cône désiré sur l'axe B, et associée à une translation le long de cette direction permet de générer la trajectoire en spirale conique désirée.

Cette solution nécessiterait un temps de cycle beaucoup plus important du fait du nombre de tours à réaliser pour respecter une hauteur de crête compatible avec l'état de surface recherché, ainsi que par la limitation de la vitesse de rotation de l'axe C.

#### Q.D.5

$$N = \frac{1000 \cdot Vc}{\pi \cdot D} = \frac{360000}{\pi \times 1188} = 92,6 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

La fréquence de rotation est supérieure à la valeur autorisée par le constructeur ( $80 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Cette valeur maxi de  $80 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  correspond à une vitesse de coupe de  $298 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  qui nécessitera un essai afin de vérifier que les limites du couple outil-matière correspondant ne sont pas atteintes.

#### Q.D.6

L'angle d'orientation d'arête  $K_r$  influe directement sur l'orientation de l'effort d'usinage. La maîtrise de ce paramètre permet donc d'agir sur les problèmes de déformation, de vibration ou d'évacuation des copeaux.

#### Q.D.7

Réglage de la position de l'axe de la pièce par rapport au centre du plateau rotatif.

#### Q.D.8

Référence : axe de révolution lié au plus grand cylindre tangent côté libre de matière à la surface réputée cylindrique  $\varnothing 110 \text{ H7}$ .

ZT : Battement radial : 2 cercles de différence de rayon de  $0,1 \text{ mm}$  – Battement axial : 2 cercles distants de  $0,1 \text{ mm}$  – Battement total : 2 plans distants de  $0,5 \text{ mm}$ .

Verticalement : présence d'un jeu de  $0,5 \text{ mm}$  entre les 2 flasques du boîtier de guidage. Nécessité de limiter le défaut de battement total des plans de balourds pour assurer le fonctionnement des joints à lèvres.

Au niveau des chicanes, jeu vertical de  $2 \text{ mm}$  nécessaire pour assurer une réserve de graisse. Le battement simple axial de  $0,1 \text{ mm}$ , combiné à la cote de  $10 \text{ mm}$  en tolérance générale permet de garantir ce jeu de  $2 \text{ mm}$ .

Horizontalement, le jeu radial imposé est de  $1 \text{ mm}$  pour éviter les contacts entre surfaces et assurer la réserve de graisse. Le battement radial de  $0,1 \text{ mm}$  sur chaque face cylindrique permet de tenir compte des jeux d'assemblages (arbre, roulements, boîtiers, balourds) ainsi que des déformations éventuelles en fonctionnement.

#### Q.D.9

Montage de contrôle des battements : résolution des comparateurs au  $1/100^{\text{ème}}$ , choix d'un comparateur à levier pour le battement radial, centrage long sur alésage de référence avec liaison précise (centrage expansible par exemple).

Nécessité de faire tourner le montage en raison des masses importantes de pièces. Mobilité radiale supplémentaire de précision à prévoir pour le contrôle du battement total.

#### **Q.D.10**

Le porte pièce doit compenser le déséquilibre intrinsèque des pièces.

Outil à gorge frontale : coupe orthogonale, géométrie compatible avec des diamètres de gorges de 175 à 225 mm.



#### **Q.D.11**

Traitement thermique de normalisation : Mise en solution puis refroidissement « lent » contrôlé, ce qui est difficile à réaliser lors du moulage en raison entre autres des épaisseurs des pièces.

On passe d'un acier brut de coulée pour lequel seule la résistance à la traction est élevée à un acier normalisé qui gagne sur toutes les caractéristiques, sous réserve que la normalisation soit correctement effectuée.

L'obtention d'une microstructure homogène permet également d'améliorer sensiblement l'usinabilité.

### **Constats sur la composition des candidats**

Le support étudié est un concasseur permettant de recycler des bétons de construction basé sur un système de 4 balourds tournants synchronisés entre eux. Ce support, très riche, a permis un découpage de l'épreuve en 4 parties relativement indépendantes qui balayent chacune une problématique relevant d'une compétence différente de l'ingénierie mécanique. Les parties A et B relevaient plutôt de la construction mécanique, avec une partie A consacrée à la validation des exigences liées aux efforts de broyage suivie d'une partie B qui s'intéressait au dimensionnement en termes de durée de vie des éléments roulants supportant les vibrateurs. Les parties C et D relevaient quant à elles plutôt du génie mécanique, avec une partie C dédiée au choix d'un triplet produit-procédé-matériau pour obtenir l'anneau support de bol vibrant et une partie D s'intéressant à l'usinage des pièces de grandes dimensions présentes dans le concasseur, notamment les surfaces fonctionnelles des balourds et de l'anneau support de bol.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension et les questions posées sont globalement au niveau des meilleurs candidats puisque, pour toutes les parties du sujet, quelques candidats obtiennent presque le maximum des points de l'une ou l'autre des parties. Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont parfois intégralement non traitées, ce qui représente une erreur de stratégie. En effet, le sujet n'étant pas très long, les candidats qui obtiennent les meilleurs résultats sont ceux qui ont à la fois très bien traité les parties de leur spécialité de prédilection (construction mécanique ou génie mécanique), mais qui ont également fait l'effort de répondre à tout ou partie des questions des parties de l'autre spécialité.

### **Recommandations aux futurs candidats**

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

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

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

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

# Épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique

## Commentaires du jury

Coefficient 2 – Durée 6 heures

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

### **Déroulement détaillé de l'épreuve :**

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

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

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

#### **Phase 1 : activités pratiques, 4 heures**

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

Cette phase se déroule en 3 parties :

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

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

- Deuxième partie (durée indicative et conseillée □ 2h00)

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

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

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

- Troisième partie (durée indicative et conseillée □ 1h30)

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

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

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

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

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

### **Phase 3 : exposé et entretien, durée 1h**

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

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

- une présentation du système ou du produit étudié et de la problématique associée (durée conseillée 5 minutes) ;
- une synthèse des résultats obtenus ainsi que la démarche permettant de répondre à la problématique proposée durant la deuxième phase de la première partie (durée conseillée 5 minutes) ;
- une présentation de la séquence pédagogique conçue et détaillée (durée conseillée 20 minutes).

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

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

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

### **Thèmes et études proposées à la session 2023 :**

- étude énergétique d'une chaîne de transmission de puissance d'un véhicule;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification d'un processus d'usinage;
- étude d'une commande en position ;
- influence des paramètres d'un procédé de moulage sur les caractéristiques des pièces obtenues;
- caractérisation mécanique du matériau d'un produit mécanique obtenu par forgeage ;
- métrologie et qualification d'un constituant mécanique ;
- étude d'un système robotique.

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

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

- étude de solutions constructives dans un contexte technico-économique : analyse de l'évolution de la cinématique, des choix des solutions techniques, du triptyque produit / procédé / matériaux et du dimensionnement dans un contexte d'évolution technico-économique.

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

Pour la partie « activité pratique » :

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

Pour la partie « exposé oral » :

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

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

- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;

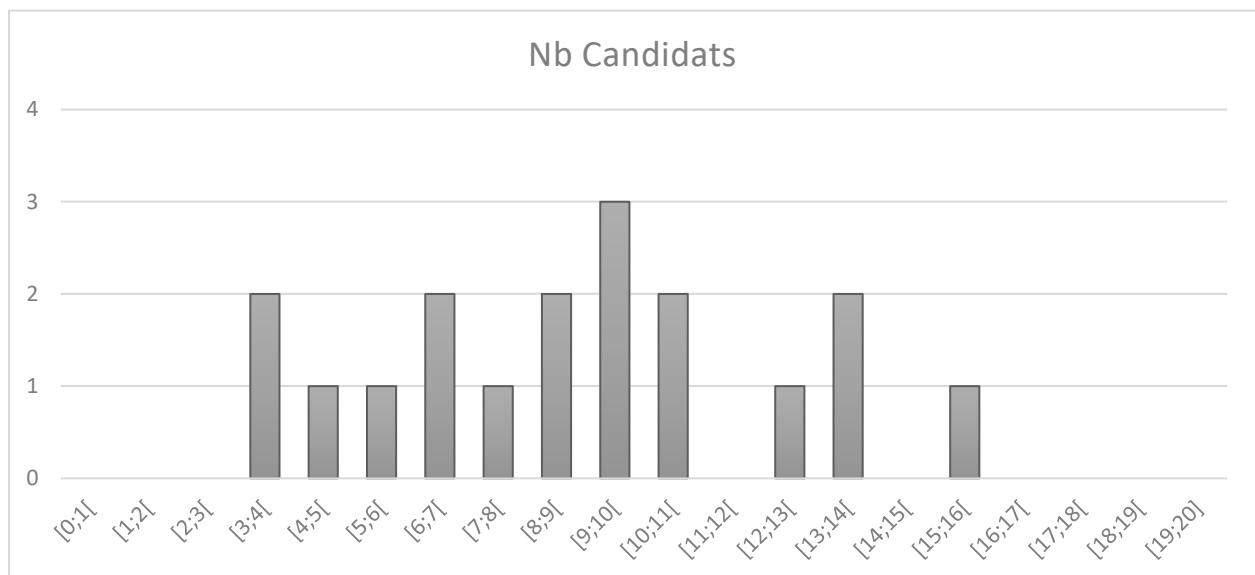
- adapter tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « activité pratique » à la séquence pédagogique proposée ;
- décrire les activités des étudiants ;
- identifier les moyens et ressources mobilisés ;
- préciser les critères, modalités et conditions d'évaluation ;
- exposer de façon claire, précise et synthétique ;
- mobiliser les moyens de présentation mis à disposition ;
- communiquer avec les membres de jury de façon dynamique, interactive, réactive ;
- répondre aux questions posées de façon synthétique, cohérente, pertinente et argumentée.

### Analyse des résultats :

18 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- la moyenne des notes obtenues est de **08,8/20** ;
- la meilleure note est de **15,5/20** ;
- la note la plus basse est de **03,2/20**
- l'écart type est de **3,5**.

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.

Les performances démontrées en première partie « activité pratique » (moyenne de **5/10**), sont supérieures à celles de la deuxième partie « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury » (moyenne **3,8/10**).

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. Le niveau de culture technologique n'est pas toujours au rendez-vous.

Quelques remarques récurrentes par rapport aux années précédentes :

- les candidats doivent connaître les programmes et référentiels du champ disciplinaire où ils pourront être amenés à enseigner, il n'est pas envisageable pour un candidat de découvrir les modalités spécifiques d'un référentiel ou d'un programme lors des épreuves orales ;
- de trop nombreux candidats affichent des lacunes dans la connaissance des matériaux (désignation, essai de traction, structure de la matière, ...) ; des plans d'expérience et de l'intégration numérique.
- la formulation d'hypothèses scientifiques supplémentaires et la proposition de modèles sont fortement valorisées. Malheureusement certains candidats se contentent de répondre linéairement aux différentes activités proposées sans prise d'initiative ;
- les candidats doivent adapter les activités effectuées lors de la phase 1 au niveau requis dans leur application pédagogique ;

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

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

Ces difficultés deviennent récurrentes session après session.

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

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

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

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

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

### **Bien comprendre la commande pédagogique :**

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

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

### **Mettre en œuvre des matériels et des équipements :**

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

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

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



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

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

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

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

### **Communiquer :**

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

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

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

- de dégager la plus-value de l'activité ou de la séquence proposée, d'en préciser les avantages, les conditions de réussite mais aussi les contraintes pressenties ;
- de conclure sur l'intérêt du système ou support étudié et sur sa finalité en termes d'apprentissages pour les étudiants.

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

## Conclusion

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

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

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

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

## Épreuve sur dossier

### Commentaires du jury

Coefficient 1 – Durée 1 heure

Cette épreuve impose un rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relatif à un système pluritechnologique contemporain. Pour cela, il est indispensable que les candidats prennent contact 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. Il doit être déposé au format pdf sur une plate-forme dédiée en amont de l'épreuve.

## **2. Les compétences évaluées**

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

### **1 - Construire un dossier technique et scientifique :**

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

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

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

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

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

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

De trop nombreux dossiers apparaissent comme traités dans l'urgence par les candidats. Pour des questions pratiques, une clef USB constitue le meilleur support pour stocker le dossier car elle s'adapte à tous les ordinateurs. Il convient d'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, ...) tels que cahier des charges fonctionnel du produit, dessin de définition, processus de réalisation, documents graphiques descriptifs du ou des outillages doivent être associés au dossier.

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

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

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 n'aient présenté ces caractéristiques pour la session 2023.

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

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

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

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

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

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

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats :

- de préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée de trente minutes maximum ;
- de préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement ;
- lors de la présentation, de limiter le nombre de diapositives ;

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