



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2025

Concours : Agrégation interne et CAER-Agrégation

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	3
STATISTIQUES DE LA SESSION 2025	7
ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE	8
ÉLÉMENTS DE CORRECTION.....	8
COMMENTAIRES DU JURY	27
ÉPREUVE D'ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION	31
ÉLÉMENTS DE CORRECTION.....	31
PARTIE 1 : ASSURER LA PRECISION DE POINTAGE D'ANTENNE	31
PARTIE 2 : ÉTUDE DES RELATIONS PRODUIT - MATERIAU	36
D'ÉLÉMENTS DE STRUCTURE.	36
PARTIE 3 : ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION DES END-FITTINGS	37
COMMENTAIRES DU JURY	41
ÉPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE	43
COMMENTAIRES DU JURY	43
ÉPREUVE SUR DOSSIER	54
COMMENTAIRES DU JURY	54

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 2025, 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 2025

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la première épreuve d'admissibilité	Présents à la seconde épreuve d'admissibilité	Admissibles	Admis
AG INT SII IM	203	7	140	138	20	7
CAER	20	1			3	1

133 candidats ont composé aux deux épreuves
79 candidats inscrits ne sont pas présentés aux épreuves écrites
3 candidats admissibles ne sont pas présentés aux épreuves d'admission

Agrégation interne (concours du public) :

- Barre d'admissibilité : 24,02/60 (soit une moyenne de 8,01/20)
- Barre d'admission : 70,2/120 (soit une moyenne de 11,7/20)

CAER-Agrégation (concours du privé) :

- Barre d'admissibilité : 23,66/60 (soit une moyenne de 7,89/20)
- Barre d'admission : 59,28/120 (soit une moyenne de 9,88/20)

Répartition des admis par académies : Agrégation interne et CAER

Académies	Nombre d'admis
Créteil-Paris-Versailles	2
Dijon	1
Grenoble	1
La Réunion	1
Lyon	1
Normandie	1
Orléans-Tours	1

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

Épreuve d'analyse et exploitation d'un système pluritechnique

Éléments de correction

Coefficient 2 – Durée 5 heures
Le sujet comporte 4 parties

Partie 1. Comment procéder à l'introduction des substrats solides dans le digesteur ?

1.1 Analyse des intrants

Question 1 : Compléter, sur le document DR 1, les cellules vides du tableau d'approvisionnement annuel des substrats puis analyser la production potentielle du biométhane par type de substrat et la teneur en matière sèche des substrats solides au regard du procédé de méthanisation par « voie liquide en infiniment mélangé ».

Approvisionnement annuel de l'unité de méthanisation de Val de Brie										
Substrats		Répartition des substrats	Quantité de matière brute	Teneur en matière Sèche	Taux de matière Volatile	Taux de biogaz	Production de biogaz	Potentiel méthanogène (PBM)	Production de biométhane (sans autoconsommation)	Répartition de la production de CH ₄ par substrat
		%	[tMB/an]	[%MS]	[%MV]	[Nm ³ Biogaz / tMB]	[Nm ³ Biogaz]	[Nm ³ CH ₄ / tMV]	[Nm ³ CH ₄]	%
Effluents d'élevage	Effluents d'élevage solides (fumier de bovin et équin)	57%	17 476	24%	81%	78,0	1 363 144	219	744 016	50%
	Effluents d'élevage liquides (lisier, purin, eau de lavage et jus de silos)	16%	4 906	4%	49%	12,5	61 320	293	28 174	2%
Matières végétales agricoles	Ensilage de céréales, maïs et paille	12%	3 679	36%	94%	193,5	711 925	302	375 982	25%
	Cultures intermédiaires à vocation énergétique (ensilage de seigle, intercultures)	15%	4 599	27%	87%	123,5	567 977	314	339 216	23%
Bilan	Substrats solides	84%	25 754	26,3%	83,9%	102,6	2 643 045	247,8	1 459 214	98%
	Substrats liquides	16%	4 906	4,0%	49,0%	12,5	61 320	293,0	28 174	2%
	Substrats	100%	30 660	22,7%	78,3%	88,2	2 704 365	255,1	1 487 388	100%

Les substrats d'origine végétale représentent 27% de la matière entrante et 48% du méthane produit car ils ont une forte teneur en matière sèche, sont riches en matière organique et disposent d'un potentiel méthanogène élevé.

La teneur en matière sèche des substrats solides (26,3%) est supérieure à la teneur en matière sèche (20%) acceptée dans le procédé de transformation par « voie liquide en infiniment mélangé » d'où la nécessité d'un prétraitement permettant de diluer la matière sèche avec une recirculation du digestat.

Question 2 : En supposant un taux d'autoconsommation initial du biogaz de 10 %, pour le maintien en température des digesteurs et du post-digesteur, déterminer la production horaire [Nm³·h⁻¹] escomptée de biométhane injectable sur le réseau de gaz.

D'après le tableau sur le DR1, 2 704 365 Nm³Biogaz sont produits annuellement pour une production potentielle de 1 487 415 Nm³CH₄ (biométhane) soit un rapport de 0,55 Nm³Biogaz/Nm³CH₄.

$$\text{Injection de biométhane sur le réseau de gaz} = \frac{2704365 \times 0,9 \times 0,55}{365 \times 24} = 152,8 \text{ Nm}^3\text{CH}_4 \cdot \text{h}^{-1}$$

1.2 Introduction des substrats solides

Question 3 : À partir du DR 1, **déterminer** la ration quotidienne de substrats solides et **sélectionner**, à l'aide du document DT 2, le modèle d'incorporateur BIG-Mix optimal permettant de stocker cette ration pour un seul chargement journalier.

D'après le DR1, l'approvisionnement annuel des substrats solides est de 25 754 tonnes soit une ration quotidienne de 70,56 tonnes de matières brutes correspondant à un volume de 100,8 m³.

Avec un volume de chargement de 103 m³, le modèle V100/400 permet un seul chargement quotidien.

1.3 Prétraitement des intrants solides

Question 4 : Vérifier par calcul que les temps de fonctionnement de la pompe de transfert et de la pompe du Prémix, dédiés à l'apport de la ration dans le digesteur n°1, sont égaux à 4h48min sur une journée.

Le temps de fonctionnement de la pompe de transfert pour la recirculation du digestat dans le digesteur n°1 est de 21 min sur un cycle de 58 mn soit 36,2% du temps de cycle.

La pompe de transfert fonctionnant 55,4% du temps par jour, le temps de fonctionnement dédié à la recirculation du digestat dans le digesteur n°1 est égal à 55,4% x 36,2% x 24h = 20% x 24h = 4h 48min par jour (ou 4,8 h/j)

La pompe de l'alimentateur Prémix fonctionne pour les apports successifs dans les deux digesteurs selon le cycle de transfert. Le temps de fonctionnement de la pompe du Prémix dédié à l'apport dans le digesteur n°1 correspond à la moitié du temps de fonctionnement de la pompe soit (40% / 2) x 24h = 20% x 24h = 4h 48min par jour.

Les deux pompes fonctionnant simultanément pour l'apport de la ration dans le digesteur n°1, il est donc normal qu'elles aient le même temps de fonctionnement.

Question 5 : Déterminer les débits volumiques en [m³ · h⁻¹] du substrat solide à l'entrée du Prémix q_{v1}, du digestat recirculé q_{v2} et de la matière introduite dans le digesteur q_{v3}.

Calcul du débit Q_{v1} :

$$\text{Ration quotidienne de substrats solides par digesteur : } M_1 = \frac{84\% \times 84\,000}{2} = 35\,280 \text{ kg}$$

$$\text{Volume quotidien de substrats solides dans un digesteur : } V_1 = \frac{35280}{750} = 47 \text{ m}^3$$

$$Q_{v1} = \frac{47}{4,8} = 9,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Calcul du débit Q_{v2} :

Volume quotidien de digestat recirculé dans un digesteur : $V_2 = 6,7\% \times 2090 = 140 \text{ m}^3$

$$Q_{v2} = \frac{140}{4,8} = 29,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Calcul du débit Q_{v3} :

$$Q_{v3} = Q_{v1} + Q_{v2} = 39 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Question 6 : Déterminer la teneur en matière sèche [% MS], la masse volumique et la température de la matière mélangée en sortie du Prémix. **Conclure** sur le choix du procédé « voie liquide en infiniment mélangé ».

$$\% MS = \frac{m_1 \times \% MS_1 + m_2 \times \% MS_2}{m_1 + m_2} = \frac{35280 \times 26,3\% + (960 \times 140) \times 8\%}{35280 + (960 \times 140)} = 11,8\%$$

$$\rho_{\text{mél}} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{35280 + (960 \times 140)}{47 + 140} = 907 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Calcul de la température en sortie du Prémix avec des capacités thermiques massiques équivalentes :

$$T_{\text{mél}} = \frac{m_1 \times T_1 + m_2 \times T_2}{m_1 + m_2} = \frac{35280 \times 34^\circ\text{C} + (960 \times 140) \times 40^\circ\text{C}}{35280 + (960 \times 140)} = 38,75^\circ\text{C}$$

Calcul de la température en sortie du Prémix avec des capacités thermiques volumiques équivalentes :

$$T_{\text{mél}} = \frac{V_1 \times T_1 + V_2 \times T_2}{V_1 + V_2} = \frac{47 \times 34^\circ\text{C} + 140 \times 40^\circ\text{C}}{187} = 38,5^\circ\text{C}$$

Le digestat recirculé mélangé avec le substrat solide permet d'introduire dans les digesteurs une matière avec une teneur en matière sèche (11,8%) comprise entre 5% et 20% donc compatible avec le procédé « voie liquide en infiniment mélangé ».

1.4 Dimensionnement de la motopompe de l'alimentateur Prémix

Question 7 : Déterminer la vitesse moyenne v_3 pour le système de pompage afin de respecter l'exigence d'introduction de matière dans chaque digesteur.

Diamètre intérieur du tube : $D_{\text{int}} = 219,1 - (2 \times 3,76) = 211,58 \text{ mm}$

Section intérieure du tube : $S = \pi \times \frac{D_{\text{int}}^2}{4} = \pi \times \frac{(211,58 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 35,16 \text{ m}^2$

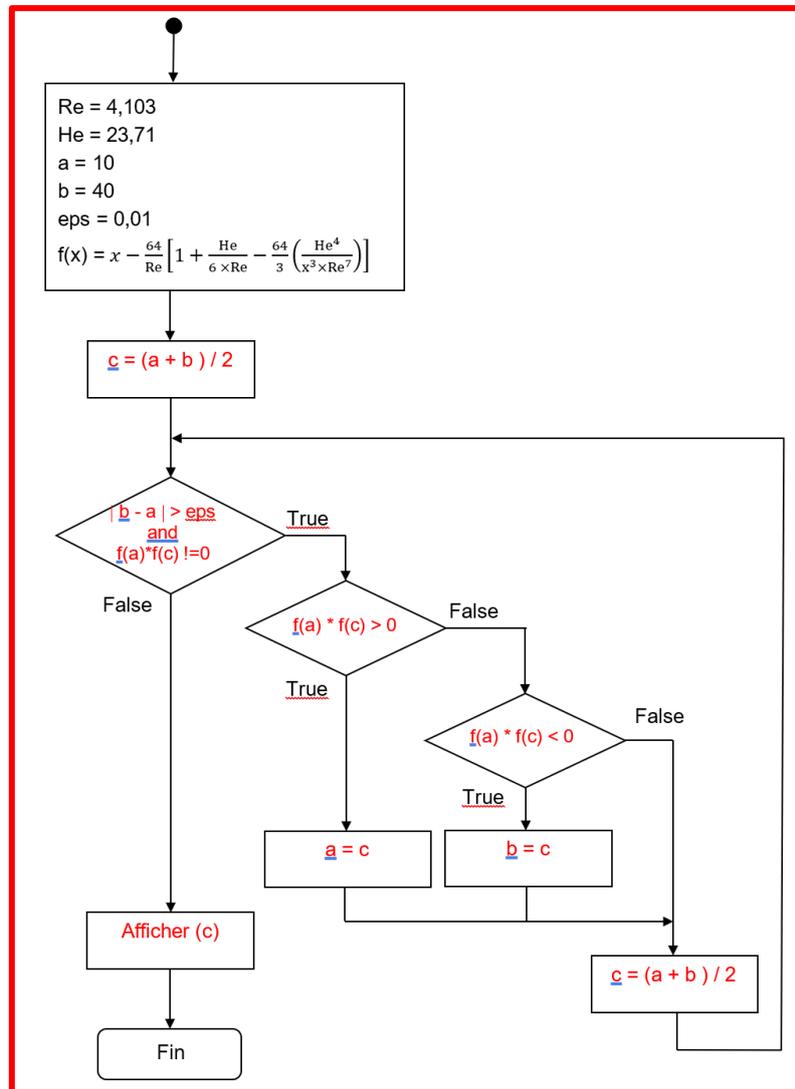
$$v_3 = \frac{Q_{v3}}{S} = \frac{39}{35,16} = 0,308 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 8 : À l'aide du DT 3, déterminer la viscosité dynamique μ et la contrainte de cisaillement τ de la matière à la sortie du système de pompage.

Viscosité apparente lue sur abaque : $\mu = 20$

Contrainte de cisaillement lue sur abaque : $\tau = 230$

Question 9 : Compléter sur le **DR 2A** la structure algorithmique puis définir en langage Python sur le **DR 2B** la fonction dichotomie (f, a, b, eps) qui prend comme argument la fonction f dont on recherche le zéro, a, b et eps et qui renvoie Λ , solution de l'équation de Buckingham-Reiner.



```

Dichotomie v1.py
1 Re = 2.955
2 He = 23.35
3 def f(x):
4     return x-64/Re*(1+He/(6*Re)-64/3*(He**4/(Re**7*x**3)))
5 def dichotomie(f, a, b, eps):
6     while abs(b - a) > eps:
7         c = (a + b) / 2
8         if f(a) * f(c) <= 0:
9             b = c
10        else:
11            a = c
12        return (a + b) / 2
13 print(dichotomie(f, 20, 100, 0.01))

En cours d'exécution: Dichotomie v1.py
49.6142578125
>>>
  
```

```

1 Re = 2.955
2 He = 23.35
3 a = 20
4 b = 100
5 eps = 0.01
6 def f(x):
7     return x-64/Re*(1+He/(6*Re)-64/3*(He**4/(Re**7*x**3)))
8 c = (a + b) / 2
9 while abs(b - a) > eps and f(a) * f(c) != 0:
10    if f(a) * f(c) > 0:
11        a = c
12    else:
13        if f(a) * f(c) < 0:
14            b = c
15        c = (a + b) / 2
16 print(c)

En cours d'exécution: Dichotomie v2.py
49.6142578125
>>>
  
```

Question 10 : À partir du DT 5, déterminer la perte de charge linéique j du réseau hydraulique alimentant les digesteurs et la perte de charge totale du réseau hydraulique $\Delta P_{\text{réseau}}$.

Nombre de Reynolds [SU] : $Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{907 \times 0,308 \times 0,21158}{20} = 2,955$

Nombre de Hedström [SU]: $He = \frac{D^2 \times \rho \times \tau}{\mu^2} = \frac{0,21158^2 \times 907 \times 230}{20^2} = 23,35$

Perte de charge linéique : $j = \Lambda \times \frac{\rho \times v^2}{2 \times D} = 49,6 \times \frac{907 \times 0,308^2}{2 \times 0,21158} = 10085 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$

Pertes de charge totale :

$$\Delta P_{\text{réseau}} = (j \cdot L) + \sum \left[\zeta \times \frac{\rho \times v^2}{2} \right]$$

Avec : $L = 568 + 1946 + 1019 + 7535 + 6448 + 1531 + 1875 + 575 + 250 = 21,747 \text{ m}$

$\sum[\zeta] = 4 \times 0,3 + 2 \times 0,5 + 1,5 + 3 \times 1 = 6,7$

$$\Delta P_{\text{réseau}} = \left(10085 \times 21,747 + 6,7 \times \frac{907 \times 0,308^2}{2} \right) = 219600 \text{ Pa}$$

Question 11 : Calculer la pression nécessaire à la pompe ΔP_{pompe} à l'aide du DT 6 et de l'équation de Bernoulli généralisée ci-dessus.

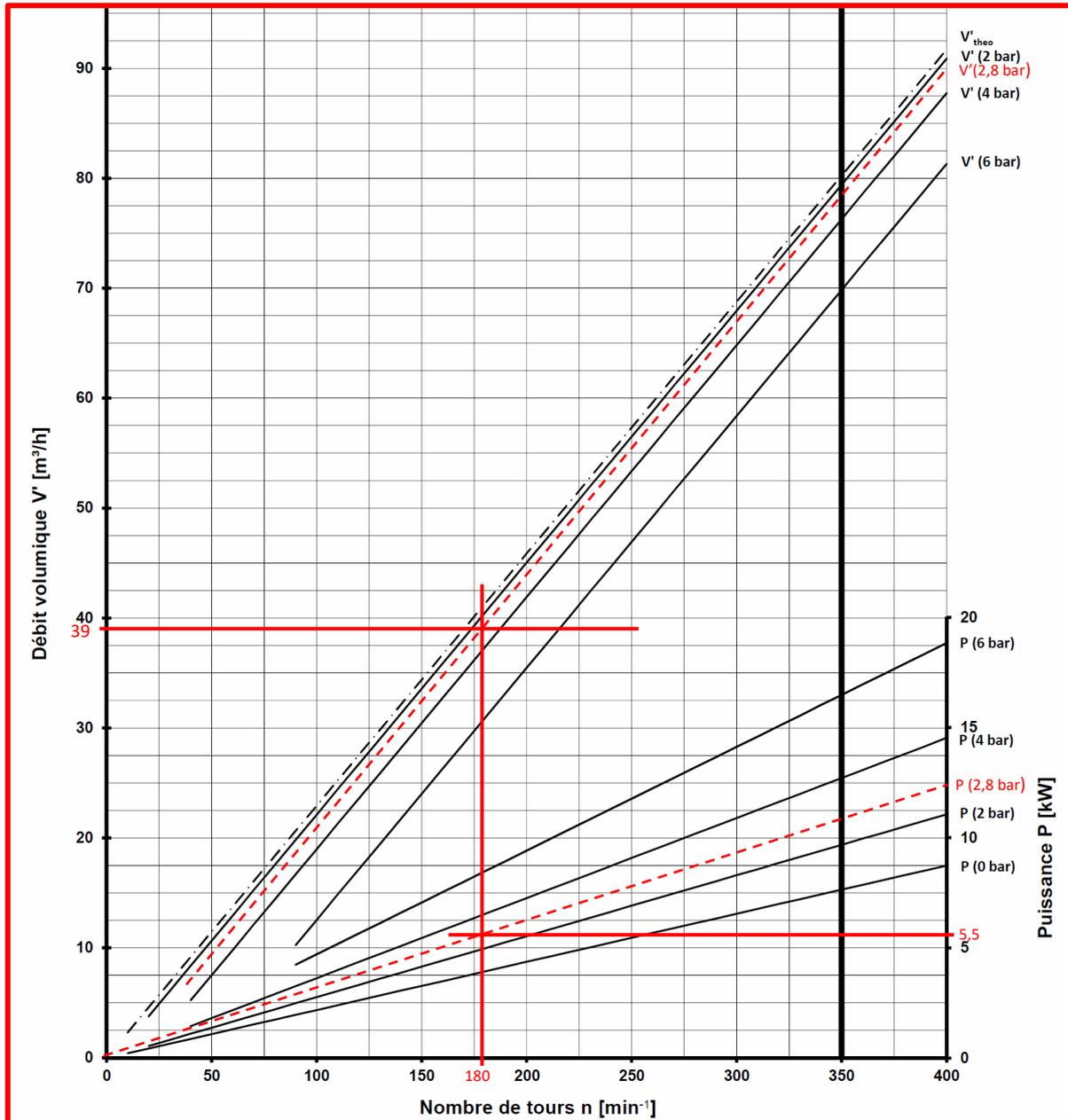
$1 \text{ bar} = 1.10^5 \text{ Pa}$

$$\Delta P_{\text{pompe}} = \Delta P_{\text{réseau}} + (P_2 - P_1) + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + \frac{\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{2}$$

$\Delta P_{\text{pompe}} = 219\,600 + (0 - 0) + 907 \times 9,81 \times (5,5 - (-1)) + 0$

$\Delta P_{\text{pompe}} = 277\,400 \text{ Pa} = 2,774 \text{ bars}$

Question 12 : À l'aide du document DT 7, indiquer les caractéristiques mécaniques nécessaires à l'arbre du système de pompage et déterminer le rendement de la pompe.



$$P_{\text{hydraulique}} = \Delta P_{\text{pompe}} [\text{Pa}] \times Q_{V3} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] = 2,8 \cdot 10^5 \times \frac{39}{3600} = 3\,033 \text{ W}$$

$$P_{\text{arbre_pompe}} = 5\,500 \text{ W} \quad N_{\text{arbre_pompe}} = 180 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{Rendement de la pompe : } \eta_{\text{pompe}} = \frac{3\,033}{5\,500} = 55\%$$

Question 13 : À l'aide du **DT 8**, **déterminer** le taux de charge du moto-réducteur d'entraînement de la pompe et le rendement global de l'ensemble {moto-réducteur + pompe}.

Puissance nominale du moteur : $P_N = 15 \text{ kW}$

Puissance utile du moteur = $P_{\text{arbre_pompe}} = 5,5 \text{ kW}$

Taux de charge du moteur = $\frac{5500}{15\ 000} = \mathbf{36,7\%}$

Rendement du moteur par lecture dans le tableau constructeur : $\eta_{1/2 \times P_N} = 0,923$

Rendement global de l'ensemble "moto-reducteur + pompe" :

$$\eta_{\text{Global}} = \eta_{1/2 \times P_N} \times \eta_{\text{Réducteur}} \times \eta_{\text{Pompe}} = 0,923 \times 0,98 \times 0,55 = \mathbf{0,497}$$

Question 14 : **Calculer** la consommation d'énergie électrique annuelle de la pompe de l'alimentateur Prémix et **compléter** cette valeur dans la ligne correspondante du tableau sur le **DR 3**. **Conclure** au regard de la consommation électrique globale de l'installation.

Puissance absorbée lors de l'alimentation d'un digesteur :

$$P_{\text{abs}} = \frac{P_{\text{hydraulique}}}{\eta_{\text{Global}}} = \frac{3033}{0,497} = 6103 \text{ W}$$

La pompe fonctionne 40% du temps.

Énergie consommée = $6103 \times 40\% \times 24 \times 365 = 21383 \text{ kW.h}$

La pompe de l'alimentateur Prémix est un petit consommateur car il représente seulement 1,55% de l'énergie globale de l'installation.

Cette énergie n'est pas complètement perdue car, en plus de l'introduction de la matière solide par mélange au digestat recirculé, elle contribue au réchauffement de la matière en décomposition par son brassage (6,7% du volume des digesteurs recirculé par jour).

Partie 2. Comment déterminer la consommation énergétique du système de brassage du digesteur ?

2.1 Dimensionnement de la motorisation

Question 15 : À partir du DT 9 et par dérivation du vecteur position \overrightarrow{AM} , déterminer l'expression du vecteur vitesse du point M appartenant à la plaque 3 dans son mouvement par rapport au bâti en fonction de $\dot{\theta}$, a et y .

$$\overrightarrow{V_{M \in 3/0}} = \left. \frac{d\overrightarrow{AM}}{dt} \right|_{R_0} = (a + y) \cdot \left. \frac{d\overrightarrow{y_1}}{dt} \right|_{R_0} = (a + y) \cdot \left(\left. \frac{d\overrightarrow{y_1}}{dt} \right|_{R_1} + \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{y_1} \right) = -\dot{\theta} \cdot (a + y) \cdot \overrightarrow{x_1}$$

Question 16 : Déterminer l'expression du moment élémentaire au point O en fonction de $p(y)$, y et dy et des vecteurs du paramétrage.

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = \overrightarrow{OM} \wedge d\overrightarrow{F_{digestat/plaque}}$$

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = y \cdot \overrightarrow{y_1} \wedge p(y) \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = -p(y) \cdot y \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

Question 17 : Déterminer l'expression de l'effort global $\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}}$ et le moment global $\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}}$ au point O de l'action mécanique exercée par le digestat sur la plaque.

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot (a + y)^2 \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (a^2 + y^2 + 2 \cdot a \cdot y) \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left[a^2 \cdot h + \frac{2 \cdot (h/2)^3}{3} \right] \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left[a^2 \cdot h + \frac{h^3}{12} \right] \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot y \cdot (a + y)^2 \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (a^2 \cdot y + y^3 + 2 \cdot a \cdot y^2) \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \frac{a \cdot h^3}{6} \cdot \overrightarrow{z_0}$$

Question 18 : Déterminer l'expression du torseur de l'action mécanique globale du digestat sur la plaque au point A appartenant à l'axe de rotation de l'arbre de brassage. Justifier que le couple résistant global dû aux quatre plaques sur l'arbre de brassage a pour expression :

$$C_r = 2 \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{4} \right)$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} + \overrightarrow{AO} \wedge \overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}}$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(\frac{-a \cdot h^3}{6} \cdot \vec{z}_0 + a \cdot \vec{y}_1 \wedge \left(a^2 \cdot h + \frac{h^3}{12} \right) \cdot \vec{x}_1 \right)$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(\frac{-a \cdot h^3}{6} \cdot \vec{z}_0 - \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{12} \right) \cdot \vec{z}_0 \right)$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{4} \right) \cdot \vec{z}_0$$

Soit, pour les 4 plaques de l'arbre de brassage :

$$C_r = \left| 4 \cdot \overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} \cdot \vec{z}_0 \right| = 2 \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{4} \right)$$

Question 19 : Expliciter la démarche (isolement, théorème, projection...) permettant de déterminer l'équation reliant le couple C_m aux différents paramètres connus de l'étude. Appliquer cette démarche et en déduire l'expression de C_m en fonction de J_{eq} , $\ddot{\theta}$, C_r , η_r et i_{eff} .

On applique le **théorème de l'énergie cinétique / théorème de l'énergie puissance à l'ensemble en mouvement noté Σ** .

On nous donne l'inertie équivalente de l'ensemble en mouvement ramenée sur l'arbre de brassage. D'où :

$$E_{c,\Sigma/R_g} = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \dot{\theta}^2$$

Calcul des puissances :

- Puissances intérieures

$$P_{liaisons} = 0 \quad \text{car on considère ici les liaisons parfaites}$$

- Puissances extérieures

$$P_{moteur} = C_e \cdot \dot{\theta} \quad (\text{prise en sortie du réducteur}) \quad \text{avec } C_e = C_m \cdot \eta_r \cdot i_{eff}$$

$$P_{digestat/plaque} = -C_r \cdot \dot{\theta}$$

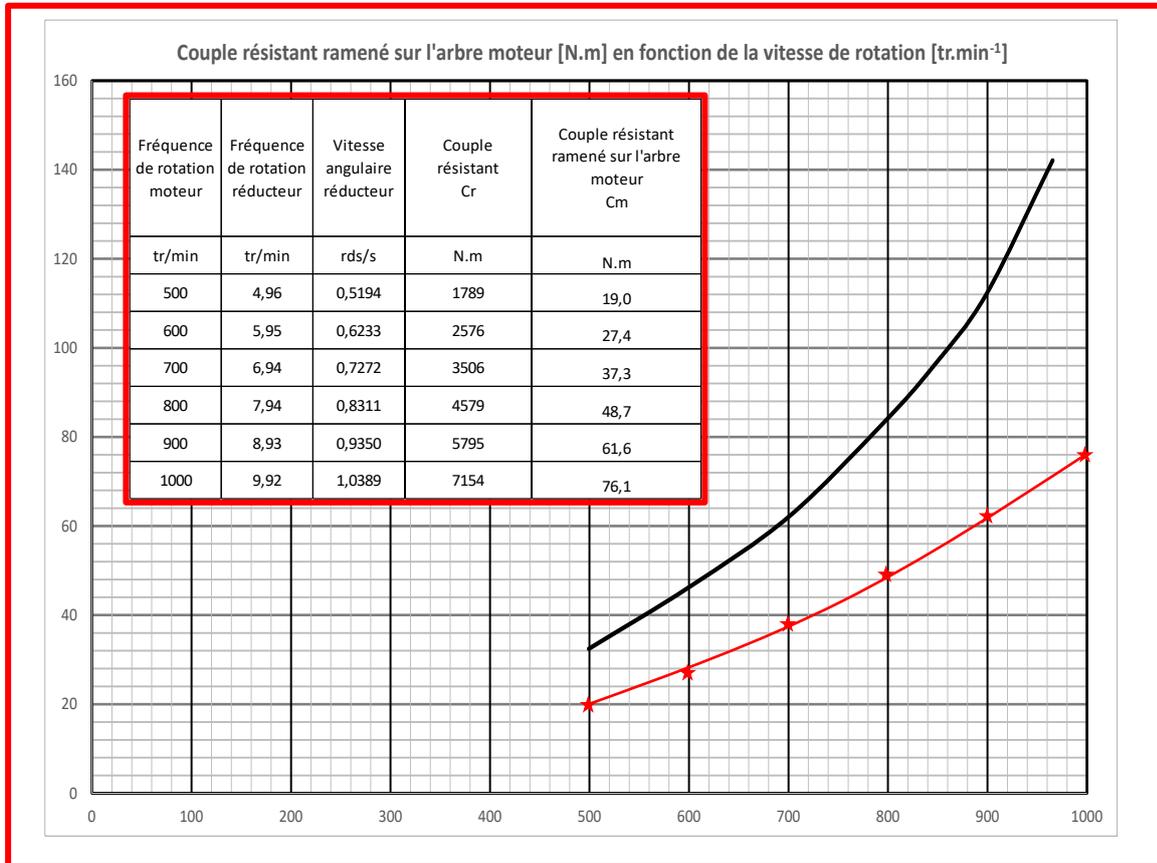
En appliquant le TEC, on obtient : $J_{eq} \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta} = C_e \cdot \dot{\theta} - C_r \cdot \dot{\theta}$

Donc, en simplifiant : $C_m = \frac{(J_{eq} \cdot \ddot{\theta} + C_r)}{\eta_r \times i_{eff}}$

Question 20 : Représenter l'allure du couple moteur établi à la question 19 sur le DR 4 puis conclure sur la validité du modèle analytique effectué.

En se plaçant en régime permanent, on obtient : $C_m = \frac{C_r}{\eta_r \times i_{eff}}$

On calcule C_m pour différentes valeurs de θ afin de comparer aux résultats in situ :



L'allure du couple moteur analytique est similaire à celui du couple résistant mesuré ramené sur l'arbre moteur.

Les valeurs obtenues sont plus faibles. Cela peut s'expliquer par les différentes hypothèses effectuées lors de cette étude (liaisons parfaites, pas de prise en compte de frottement visqueux, pas de prise en compte de la surface des tubes en acier pour la force de trainée). Cette dernière hypothèse étant la plus forte étant donnée la dimension des tubes en acier visibles sur le DT9.

Question 21 : Justifier, à partir du DT 11, pourquoi la fréquence de rotation du moteur en utilisation est limitée à 960 tr · min⁻¹.

À la vitesse du moteur de 960 tr/min, le couple résistant ramené sur l'arbre du moteur est de 140 N.m pour une puissance utile de 14074 W. Le moteur se trouve donc à la limite de sa puissance nominale (15 kW).

Le système de brassage ayant un profil de couple quadratique, la puissance évolue avec le cube de la vitesse, tout dépassement du point de fonctionnement nominal se traduit par une **surcharge** du variateur et du moteur.

On peut supposer que le constructeur de l'installation limite volontairement la vitesse sachant que le couple résistant peut augmenter avec la consistance de la matière brassée.

2.2 Bilan énergétique du système de brassage

Question 22 : À partir des DT 10 et DT 11, déterminer la puissance moyenne absorbée lors d'un cycle horaire d'agitation (Figure 13) et vérifier que la puissance d'agitation respecte la recommandation de l'US-EPA, précisée dans l'exigence « Agiter la matière organique ».

À 850 tr/min et 800 tr/min, le moteur ($P_N = 15\ 000\ \text{W}$) fonctionne autour de 50% de sa puissance nominale d'où un rendement proche 87%

Puissance absorbée à 850 tr/min :

$$P_{\text{ABS}_{850}} = \frac{P_{U_{850}}}{87\%} = \frac{8\ 500}{87\%} = 9\ 770\ \text{W} \text{ (taux de charge = 57\%)}$$

Puissance absorbée à 800 tr/min :

$$P_{\text{ABS}_{800}} = \frac{P_{U_{800}}}{87\%} = \frac{7\ 000}{87\%} = 8\ 046\ \text{W} \text{ (taux de charge = 47\%)}$$

Puissance électrique horaire moyenne d'un agitateur :

$$\frac{P_{U_{\text{ABS}_{850}}} \times 15 + P_{U_{\text{ABS}_{800}}} \times 15}{60} = 4\ 454\ \text{W}$$

Puissance d'agitation = $\frac{4\ 454 \times 2}{2\ 090} = 4,26\ \text{W} \cdot \text{m}^{-3} < 8\ \text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ → recommandation US-EPA respectée

Question 23 : Déterminer la consommation d'énergie électrique annuelle pour un agitateur. Compléter cette valeur dans le DR 3. Conclure au regard de la consommation électrique globale de l'installation.

Consommation électrique annuelle d'un agitateur = $4\ 454 \times 24 \times 365 = 39\ 017\ \text{kW.h}$

Les quatre agitateurs disposés dans les deux digesteurs consomment $156\ 000\ \text{kW.h}$ soit 11,3% de l'énergie globale de l'installation.

Remarques complémentaires :

Cette énergie n'est pas perdue car elle contribue au réchauffement de la matière en décomposition par son brassage.

La puissance électrique absorbée par le moteur d'un agitateur à sa puissance nominale est de $16\ 722\ \text{W}$ ($= 15\ 000 / 0,897$)

En réduisant la vitesse de brassage de 15 à 20%, la puissance électrique diminue de 42% pour 850 tr/min ($N_{\text{arbre}} = 8,43\ \text{tr/min}$) à 52% pour 800 tr/min ($N_{\text{arbre}} = 7,94\ \text{tr/min}$) et la puissance mécanique respectivement de 44% à 53%. Le variateur de vitesse permet d'une part de limiter la consommation d'énergie et d'autre réduire les contraintes mécaniques.

Partie 3. Comment réduire la part d'autoconsommation de biogaz dans les digesteurs ?

Question 24 : Calculer le flux de chaleur perdu vers le sol de fondation ϕ_{radier} [W].

$$R_{\text{THradier}} = \frac{e_{\text{béton}}}{S_{\text{radier}} \cdot \lambda_{\text{béton}}} + \frac{e_{\text{isolant}}}{S_{\text{radier}} \cdot \lambda_{\text{isolant}}}$$

$$R_{\text{THradier}} = \frac{0,15}{\left(\pi \times \frac{22^2}{4}\right) \times 1,4} + \frac{0,08}{\left(\pi \times \frac{22^2}{4}\right) \times 0,035} = 6,295 \cdot 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$$

$$\phi_{\text{radier}} = \frac{d\theta}{R_{\text{THradier}}} = \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{sol}})}{R_{\text{THradier}}}$$

$$\phi_{\text{radier}} = \frac{(40 - 8)}{6,295 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{5083 \text{ W}}$$

Question 25 : En appliquant la relation précédente, pour chaque matériau constituant les voiles, **déterminer** le flux de chaleur perdu par les parois du digesteur en contact avec l'extérieur ϕ_{parois} [W].

$$\phi_{\text{parois}} = \frac{d\theta}{\sum r} = \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{ext}})}{\frac{\ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right)}{2\pi \times \lambda_{\text{béton}} \times h} + \frac{\ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right)}{2\pi \times \lambda_{\text{isolant}} \times h}} = 2\pi \times h \times \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{ext}})}{\frac{\ln\left(\frac{x_2}{x_1}\right)}{\lambda_{\text{béton}}} + \frac{\ln\left(\frac{x_3}{x_2}\right)}{\lambda_{\text{isolant}}}}$$

Avec :

$$x_1 = \frac{D_{\text{int}}}{2} = 11 \text{ m} \quad x_2 = \frac{D_{\text{int}}}{2} + e_{\text{béton}} = 11,23 \text{ m} \quad x_3 = x_2 + e_{\text{isolant}} = 11,33 \text{ m}$$

$$\phi_{\text{parois}} = 2\pi \times 6 \times \frac{(40 - (-15))}{\frac{\ln\left(\frac{11,23}{11}\right)}{1,4} + \frac{\ln\left(\frac{11,33}{11,23}\right)}{0,035}}$$

$$\boxed{\phi_{\text{parois}} = \mathbf{7735 \text{ W}}}$$

L'introduction de la matière organique mélangée dans le digesteur s'effectue avec un débit massique moyen de $1,96 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ et à une température moyenne $\theta_{\text{matière}} = 38,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Question 26 : Déterminer le flux de chaleur nécessaire $\phi_{\text{matière}}$ en [W] pour tenir compte de l'introduction de la matière organique dans le digesteur

$$\phi_{\text{matière}} = C_{m0} \times \Delta\theta \times Q_m$$

$$\phi_{\text{matière}} = 3220 \times (40 - 38,5) \times 1,96 = 9\,467 \text{ W par digesteur}$$

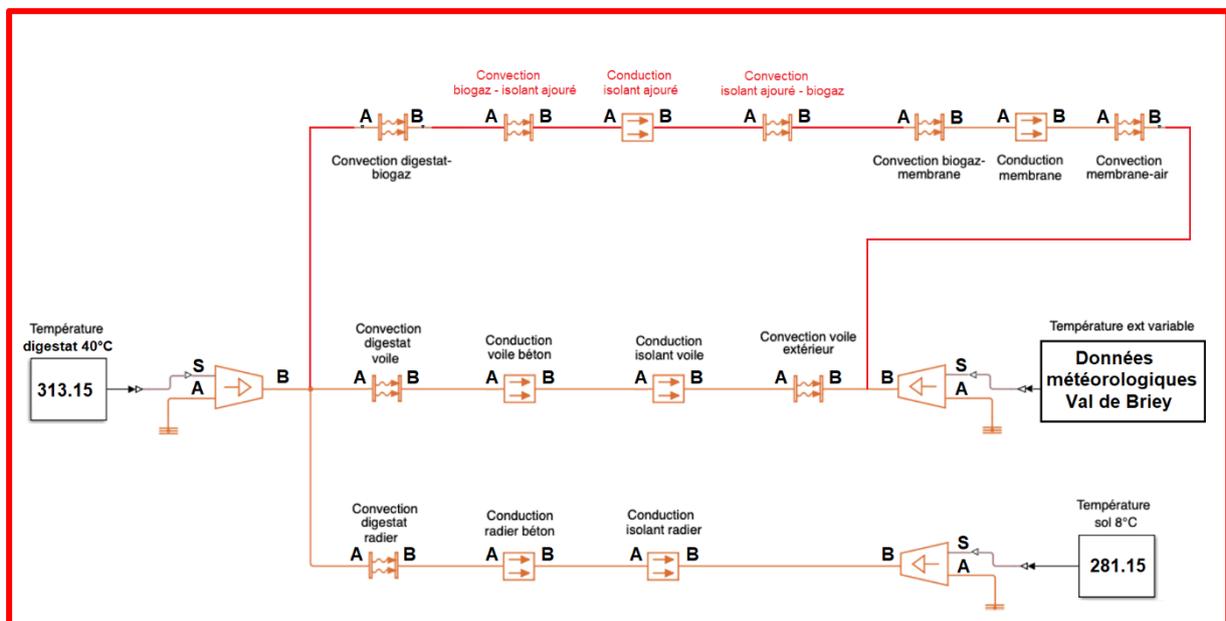
Question 27 : Commenter les courbes obtenues (Figure 15 et 16) et proposer une méthode permettant d'obtenir le volume de biogaz autoconsommé annuellement par le site de méthanisation à partir de ces courbes et des données du sujet.

Les courbes sont inversement symétriques car la puissance varie de manière inversement proportionnelle à la température extérieure.

Obtention du volume de biogaz autoconsommé :

1. Intégrer la puissance nécessaire par le temps pour obtenir la consommation d'énergie nécessaire au chauffage ($P \times t = \dots \text{ kWh}$),
2. Pondérer ce résultat par le rendement global de l'installation de chauffage des digesteurs ($R_g = 85 \%$) pour obtenir la consommation d'énergie du système de chauffage.
3. Convertir cette énergie du système de chauffage en Nm^3 à l'aide du PCI du Biogaz ($\text{PCI}_{\text{biogaz}} = 5,5 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^{-3}$) pour obtenir le volume de biogaz autoconsommé.

Question 28 : À partir du tableau fourni des différents blocs Simscape et de la description de la couche supérieure du digesteur (voir DT 12), compléter le DR 5 en y ajoutant les liens caractérisant les grandeurs échangées ainsi que les blocs conduction et convection représentant l'isolant ajouté en partie supérieure.



Question 29 : Déterminer la nouvelle proportion de biogaz autoconsommé annuellement par le site si l'on place une épaisseur de 3 cm d'isolant ajouré en partie haute des digesteurs. **Conclure** sur l'objectif annoncé dans le diagramme des exigences.

Résolution par graphique :

Volume de biogaz autoconsommé lu sur la courbe = 123 000 Nm³

Production annuelle de biogaz du site de méthanisation : 2 704 365 Nm³

Proportion de biogaz autoconsommé = $\frac{123\ 000}{2\ 704\ 365} = 4,5\%$

L'exigence 1.3.4.1.1 fixe un « Objectif visé : 5% d'autoconsommation du biogaz produit pour le chauffage du digesteur et du post-digesteur ».

Avec une autoconsommation de 4,5%, l'exigence est bien vérifiée.

Question 30 : À l'aide du **DR 3** et en tenant compte du rajout de 3 cm d'isolant sur la partie haute des digesteurs, **proposer** une méthode permettant de déterminer la valeur de l'efficacité énergétique du site de méthanisation. **Conclure**.

Calcul simplifié :

Efficacité énergétique du site = (Energie produite de biogaz – énergie perdue par autoconsommation – énergie électrique) / Energie produite de biogaz

Efficacité énergétique du site = $\frac{(2\ 704\ 365 - 123\ 000) \times 5,5 - 1\ 376\ 109}{2\ 704\ 365 \times 5,5} = 86,2\%$

Conclusion : On observe une efficacité élevée pour un site de production d'énergie (en comparaison avec d'autres sites de production comme le nucléaire par exemple).

Calcul rigoureux (non attendu car des données non fournies) :

Efficacité énergétique du site = (énergie valorisée du biométhane injecté – énergie électrique) / énergie produite de biogaz

Avec :

Énergie valorisée du biométhane injecté = production de biogaz épurable X teneur de CH₄ dans le biogaz X rendement épuratoire X PCI méthane / %CH₄ dans le biométhane

Production de biogaz épurable = production de biogaz – biogaz autoconsommé – 4% de biogaz détruit par torchère
= (2 704 365 – 123 000) × (1 – 4%)
= 2 478 110 N.m³

Énergie valorisée du biométhane injecté = $\frac{2\ 478\ 110 \times 0,55 \times 99,2\% \times 9,96}{97,3\%}$
= 13 840 170 kWh PCI

Efficacité énergétique du site = $\frac{13\ 840\ 170 - 1\ 376\ 109}{2\ 704\ 365 \times 5,5} = 83,8\%$

Partie 4. Concevoir une séquence pédagogique à partir d'une problématique industrielle de production biogaz

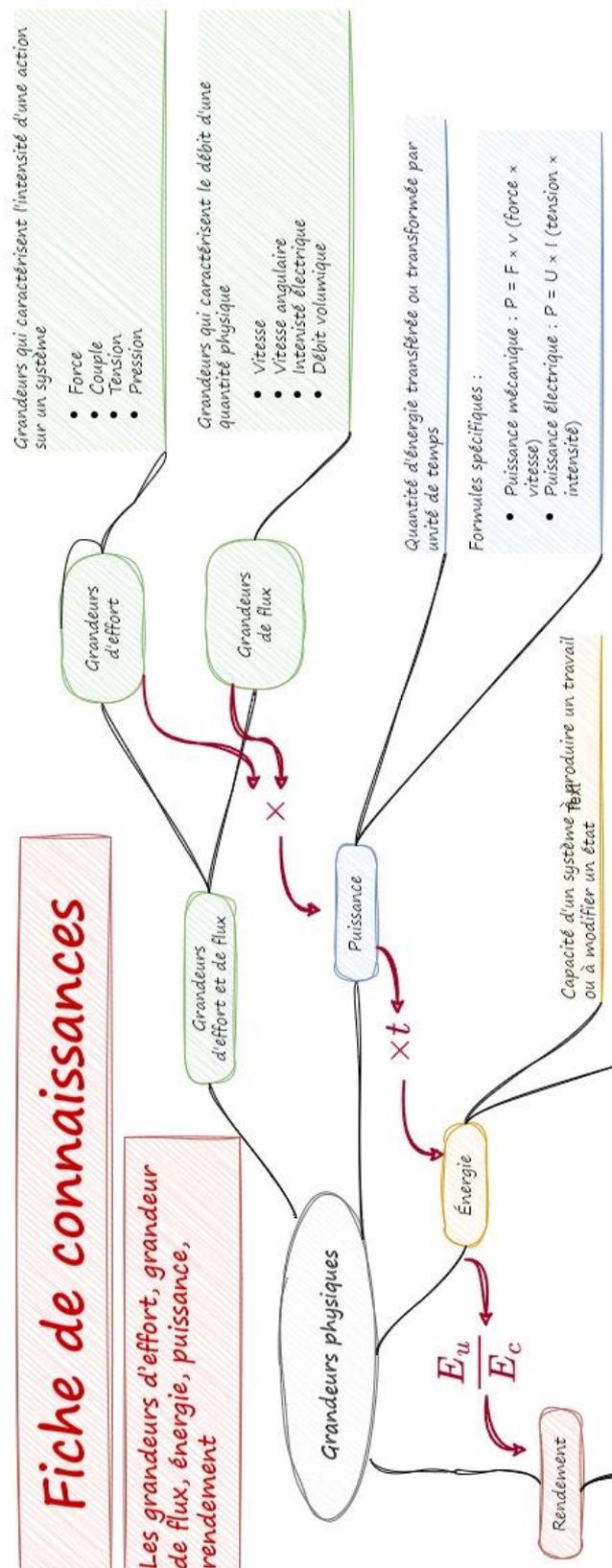
Dans l'objectif d'élaborer une fiche « connaissances » définie dans la fiche descriptive de séquence du **DP 1**, une intelligence artificielle a été utilisée avec le prompt suivant : *rédige une fiche « connaissances » d'une page format A4 de niveau première en enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur sur les grandeurs d'effort, grandeur de flux, énergie, puissance, rendement*. Le document **DP 2** présente la réponse proposée par l'intelligence artificielle.

Question 31 : Proposer un ou deux prompts permettant d'ajouter à la fiche, la notion d'analogie des grandeurs et de détailler les équations liées aux différents transferts thermiques.

Question 32 : Rédiger la fiche « connaissances », au format d'une page A4, à destination des élèves lors de la phase « 6 – structuration des connaissances ».

Fiche de connaissances

Les grandeurs d'effort, grandeur de flux, énergie, puissance, rendement



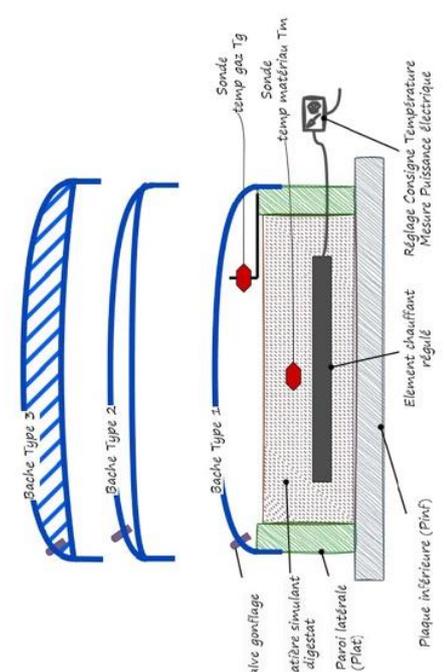
Analogie des grandeurs

Cette analogie permet d'appliquer des modèles pour l'analyse des systèmes multiphysiques en sciences de l'ingénieur

Domaine Physique	Grandeur d'effort	Grandeur de flux	Puissance (W)
Électrique	Tension U (V)	Intensité I (A)	$P = U \cdot I$
Mécanique de translation	Force F (N)	Vitesse v (m.s ⁻¹)	$P = F \cdot v$
Mécanique de rotation	Couple C (N.m)	Vitesse angulaire ω (rad.s ⁻¹)	$P = C \cdot \omega$
Fluidique	Pression p (Pa)	Débit volumique qv (m ³ .s ⁻¹)	$P = p \cdot qv$
Thermique	Température T (K)	Flux thermique φ (W)	$P = T \cdot \phi$

- Temps : seconde (s)
- Courant électrique : ampère (A)
- Tension électrique : volt (V)
- Longueur : mètre (m)
- Angle : radian (rad)
- Force : newton (N)
- Pression : pascal (Pa)
- Débit volumique : mètre cube par seconde (m³.s⁻¹)
- Température : kelvin (K)
- Flux thermique : watt (W)
- Énergie : joule (J)
- Puissance : watt (W)

Question 33 : Compléter le DR 6 pour définir un protocole expérimental permettant de valider l'hypothèse que l'ajout d'un isolant en partie supérieure des digesteurs permet d'améliorer l'efficacité énergétique.

DR 6 – Définition du protocole d'essais	
<p>Identification du protocole Influence des caractéristiques de la bache sur les performances thermiques du système</p> <p>Problématique, Question scientifique Comment la résistance thermique de la bache influe sur l'évolution des températures du gaz et du matériau ?</p> <p>Hypothèse Si la bache est davantage isolante alors l'énergie consommée sera plus faible</p> <p>Paramètres variables Conductivité thermique bache</p> <p>Paramètres contrôlés Température élément chauffant (Tc) Température extérieure</p> <p>Paramètres observés Temp gaz (Tg) Temp Matériau (Tm)</p> <p>Matériels Encinte thermique Sondes de température Élément chauffant Différents types de bache</p>	<p style="text-align: center;">Schéma du dispositif expérimental</p>  <p style="text-align: center;">Protocole expérimental</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Chauffer le matériau (équivalent digestat) à une température de 40°C 2. Stopper la chauffe 3. Mesurer les températures de gaz et matériau jusqu'à stabilisation 4. Effectuer le cycle pour chaque type de bache
	<p>Traitement des résultats Représenter les courbes de température (après conversion si nécessaire) des différentes baches. Conclure sur l'hypothèse proposée</p>

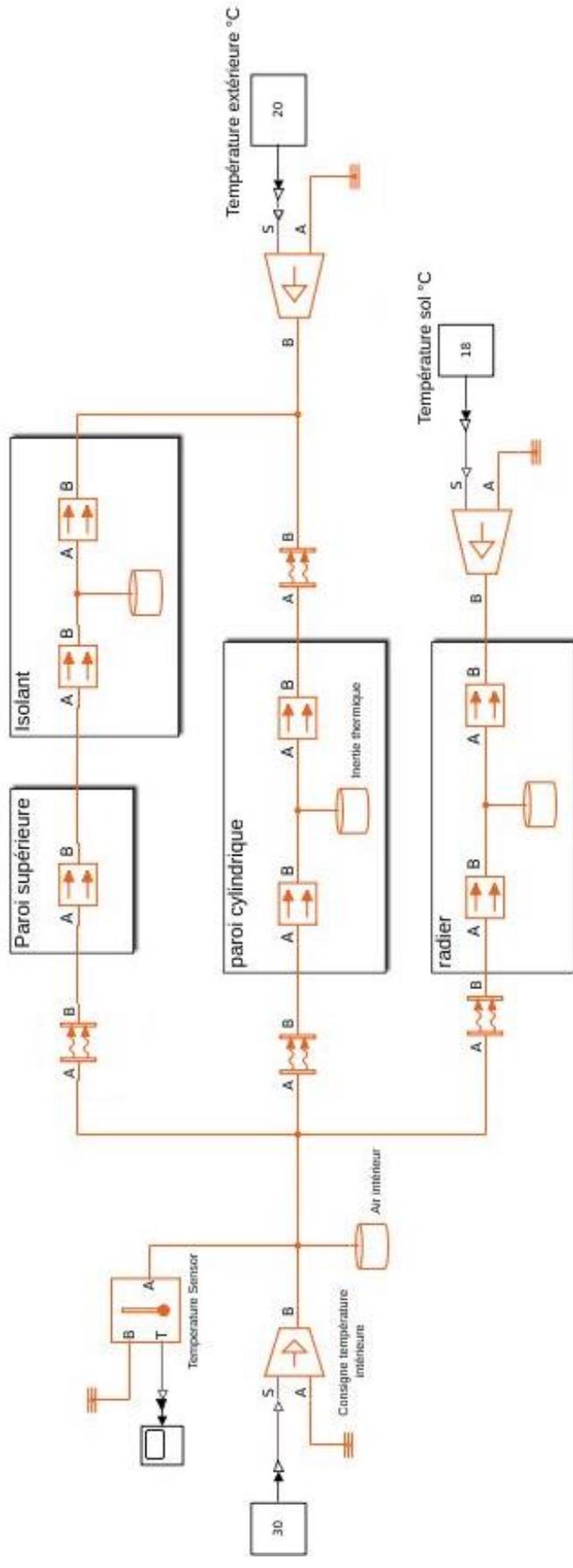
Cette activité à caractère expérimental permet aux élèves de développer les compétences ci-dessous :

Compétences	Compétences développées	Connaissances associées
EXPÉRIMENTER/SIMULER	Conduire des essais en toute sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni	Règle de raccordement des appareils de mesure et des capteurs
	Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	Gamme d'appareils de mesure et capteurs
	Identifier les erreurs de mesure	
COMMUNIQUER	Rendre compte de résultats	Tableau, graphique, diaporama, carte mentale

Question 34 : Lister des indicateurs d'évaluation permettant de mesurer le degré d'acquisition des compétences développées par ce protocole expérimental.

Compétences développées	Connaissances associées	Indicateurs (exemples)
Conduire des essais en toute sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni	Règle de raccordement des appareils de mesure et des capteurs	Les essais sont menés en toute sécurité en respectant le protocole.
Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	Gamme d'appareils de mesure et capteurs	Les appareils de mesure et capteurs sont choisis de manière pertinente au regard des grandeurs physiques à mesurer.
Identifier les erreurs de mesure		L'interprétation des résultats, prenant en compte les incertitudes, est cohérente et pertinente.
Rendre compte de résultats	Tableau, graphique, diaporama, carte mentale	Les outils de représentation sont correctement décodés. La description des essais est compréhensible. Les résultats sont présentés et commentés de manière simple et rigoureuse.

Question 35 : En listant les différents paramètres, proposer un modèle multiphysique correspondant à l'expérimentation, et une méthodologie permettant de valider et d'extrapoler le modèle à l'échelle du système réel.



PRESENTATION DU SUJET

Le support d'étude s'inspire d'une unité de méthanisation qui se situe à Val de Briey, en Meurthe-et-Moselle (54). Le sujet a pour objectif d'analyser l'optimisation de la production de biogaz et de valider le critère d'autoconsommation de biogaz établi par le client. Dans un premier temps, le sujet amène le candidat à analyser le processus d'introduction des substrats solides dans les digesteurs. Dans un second temps, le candidat détermine la consommation énergétique du système de brassage des digesteurs. Ce brassage est nécessaire afin de maintenir une température homogène fixée et d'optimiser la production de biogaz. Enfin, le candidat réalise une étude thermique permettant d'évaluer l'autoconsommation de biogaz nécessaire au site de production ce qui permet d'estimer, *in fine*, l'efficacité énergétique de l'installation. Le sujet se termine par un questionnement d'ordre pédagogique permettant d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié

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

- Questions scientifiques 80%
- Questions pédagogiques 20%

COMMENTAIRE GENERAL DES RESULTATS DE L'EPREUVE

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

- Notions de mécanique des fluides : débit, vitesse, pression
- Calcul d'un produit vectoriel
- Calcul de l'intégrale d'un polynôme
- Application du théorème de l'énergie cinétique
- Calcul d'un flux thermique de conduction
- Justification d'un résultat

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

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

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques générales :

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Même si la partie 3 est moins traitée que les deux premières, la plupart des candidats ont balayé l'ensemble du sujet. La partie 4 est traitée par la majorité des candidats.

PARTIE 1 : Comment procéder à l'introduction des substrats solides dans le digesteur ?

Cette première partie est largement traitée par les candidats. Les premières questions permettaient d'entrer dans le sujet progressivement, en analysant les différents types de substrats utilisés sur le site de méthanisation. Peu de connaissances théoriques étaient nécessaires à la résolution des différentes questions. C'est plutôt la capacité du candidat à appréhender le système et le process qui permettait de répondre correctement.

La partie comprend une question d'informatique avec la réalisation d'un algorithme et d'un code en Python. Ces outils, nécessaires dans tous les domaines scientifiques, ne sont connus que d'une partie des candidats.

PARTIE 2 : Comment déterminer la consommation énergétique du système de brassage du digesteur ?

Dans le début de cette seconde partie, le candidat est guidé afin de déterminer les efforts dus à la pression du fluide sur le système de brassage. Une première question demandait d'exprimer le vecteur vitesse d'un point appartenant à la plaque du système. Il est impensable de donner un résultat scalaire lorsque l'attendu est un vecteur. D'autre part, la dérivée d'un vecteur impose de définir un repère de dérivation. Une rigueur est attendue sur ces points.

La suite du questionnement établissait une modélisation locale/globale et un calcul d'intégrale afin d'évaluer le couple résistant exercé par le fluide sur l'arbre moteur. De trop nombreux candidats ont délaissé ces calculs, pourtant très guidés.

La question 21 a été plutôt mal traitée. Lorsqu'il est demandé de justifier à partir d'un DT, il est attendu des valeurs numériques ou à minima une analyse du DT afin de répondre à la limitation en fréquence de rotation.

PARTIE 3 : Comment réduire la part d'autoconsommation de biogaz dans les digesteurs ?

Cette partie aborde dans un premier temps des concepts de thermique afin d'évaluer les pertes énergétiques dans les digesteurs. Peu de candidats ont réalisé correctement les calculs de résistance thermique équivalente (2 parois en série) permettant de retrouver le flux perdu par conduction.

Dans un second temps, un modèle Simscape est proposé au candidat afin d'évaluer le volume de biogaz autoconsommé par le site de méthanisation pour le maintien en température des digesteurs. Trop peu de candidats ont compris l'utilité de ce modèle et ont su l'utiliser convenablement afin de retrouver l'autoconsommation du site.

PARTIE 4 : Concevoir une séquence pédagogique à partir d'une problématique industrielle de production biogaz

Question 31 :

L'utilisation de l'IA dans la réalisation d'outils pédagogiques peut permettre un gain de temps mais doit être bien maîtrisé. Les élèves du collège, lycée vont utiliser de plus en plus cet outil et il est nécessaire de leur expliquer les méthodes permettant d'optimiser les réponses données.

Le candidat devait ici réorienter l'IA de façon à avoir une fiche plus claire et plus complète sur les notions attendues. Il faut donc proposer un prompt précis et ne pas rester trop vague dans sa demande.

Question 32 :

Cette question a été plutôt bien traitée. Cependant, de trop nombreux candidats ne sont pas attentifs à la consigne donnée tant sur le fond - une fiche méthodologique n'est pas un questionnaire à trous - que sur la forme « A4 » demandée.

Question 33 :

Cette question demandait au candidat de proposer une expérimentation afin de valider l'hypothèse thermique sur l'ajout de l'isolant. Cette question a été traitée par une bonne partie des candidats. Il faut noter que pour proposer une expérimentation réaliste, il est nécessaire d'écrire un protocole clair avec la liste du matériel et les hypothèses émises.

Question 34 :

À partir de l'expérience précédente, les candidats devaient proposer des indicateurs d'évaluation. Il ne faut pas recopier les compétences ici mais proposer des indicateurs permettant de savoir si l'élève a bien assimilé la compétence proposée à la fin du TP.

Question 35 :

À partir de la manipulation proposée, le candidat devait proposer un modèle Simulink (en s'inspirant de celui donné en DR) de cette expérimentation. La modélisation des phénomènes est un point essentiel du programme des Sciences Industrielles. Si la connaissance du logiciel Simulink n'était pas attendue, les candidats se doivent de connaître des méthodes de validation de modèle.

Recommandations aux candidats qui se présenteront aux futures épreuves :

Pour réussir une telle épreuve, il est vivement conseillé aux candidats de lire le sujet dans sa totalité afin de comprendre les problématiques des différentes parties et leurs liens. En effet, une lecture attentive du sujet apporte de précieuses informations et permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat. Quelques candidats ont pu ainsi augmenter significativement leurs notes en traitant des questions relativement simples de fin de sujet. Les résultats intermédiaires donnés dans l'énoncé permettent aux candidats de poursuivre le questionnement et de valider leur résultat.

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

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

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

Éléments de correction

Coefficient 1 – Durée 4 heures
Le sujet comporte 3 parties

PARTIE 1 : ASSURER LA PRECISION DE POINTAGE D'ANTENNE

Analyse de la trajectoire du faisceau émis par la source

Q.1.1

La géométrie à réflecteur centré entraîne une zone d'ombre due à la source primaire présente sur l'axe du réflecteur, ce qui induit forcément une diminution du rendement de l'antenne à réflecteur. C'est donc principalement pour un souci de performances que les antennes à réflecteur en offset sont actuellement les plus utilisées sur les systèmes embarqués dans l'espace, elles permettent également d'avoir des paraboles plus petites et moins lourdes.

Q.1.2

Le passage de l'équation 1 à l'équation 3 revient à approximer le facteur de déviation BDF à l'unité, ce qui peut être admis en posant les trois hypothèses suivantes :

- Le rapport $\frac{D}{F_e}$ étant inférieur à 1, le terme $(\frac{D}{F_e})^2$ tend rapidement vers zéro.
Dans notre étude, $D = 1$ m et $F_e = 2,2$ m d'où $(\frac{D}{F_e})^2 = 0,0129$
- Les valeurs de k étant elles-mêmes inférieures à l'unité, le terme $k(\frac{D}{F_e})^2$ tend encore plus vite vers zéro. Pour k compris entre 0,36 et 0,59 :
$$0,0046 < k(\frac{D}{F_e})^2 < 0,0076$$
$$0,9918 < \frac{1 + k(\frac{D}{4F_e})^2}{1 + (\frac{D}{4F_e})^2} < 0,9947$$
- La distance de déplacement δ est très faible devant la distance focale oblique F_e , on a
$$\frac{\delta}{F_e} \ll 1$$

alors $\arcsin(\frac{\delta}{F_e}) \approx \arctan(\frac{\delta}{F_e})$

BDF ≈ 1

Ce qui revient à considérer : $\theta_s \approx \theta_d$

Q1.3

Données : $D = 1$ m ; $H = 0,2$ m ; $F_e = 2,2$ m ; $\theta_d \approx \theta_s$; Variation au sol : 10 km ; Altitude : 36 000 km

Méthode : Résolution trigonométrique

Détermination de l'angle de dépointage : $\theta_s = \arctan(\text{variation au sol} / \text{altitude})$

Application numérique : $\tan \theta_s = \frac{10}{36000} = \tan \theta_d = \frac{\delta}{F_e}$; soit $\theta_s = 0,000278$ rad

Détermination du déplacement δ correspondant : $\delta = \frac{10.F_e}{36000} = \frac{22}{36000} = 6,11.10^{-4}m = 0,61 \text{ mm}$

Dimensionnement du moteur de l'actionneur

Q1.4

Données : $L = 0,8 \text{ m}$; $d = 0,000611 \text{ m}$

La résolution de l'actionneur rotatif est : $\Delta\theta_1 = \arctan (d / L)$

Application numérique : $\Delta\theta_1 = \arctan (0,000611 / 0,8)$ soit $\Delta\theta_1 = 0,000764 \text{ rad}$ ou $\Delta\theta_1 = 0,0437^\circ$

Q1.5

Le moteur choisi est un moteur pas-à-pas de 24 pas. Pour chaque pas, l'arbre moteur réalise donc une rotation de $360^\circ/24 = 15^\circ$. Il s'agit de l'incrément minimal de la commande moteur. Le taux de réduction du motoréducteur est alors :

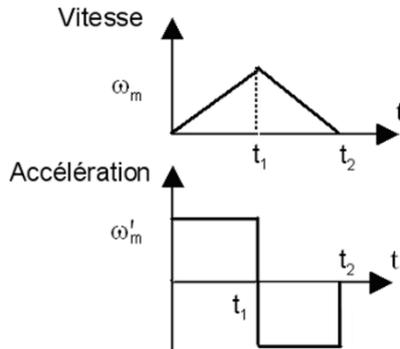
$r = \text{résolution du moteur} / \text{résolution du réducteur}$

Application numérique : $r = 15^\circ/0,044^\circ$

$r = 340,91$ soit : $r = 341$

Q1.6

Comme il est précisé que les mouvements sont uniformément variés, on peut supposer que le profil de vitesse est triangulaire et symétrique, ce qui implique une phase d'accélération suivie directement d'une phase de freinage (décélération) sans palier à vitesse constante. La loi de vitesse est obtenue par intégration de l'accélération.



Q1.7

Moteur pas-à-pas 24 pas => Le moteur réalise une rotation de $15^\circ/\text{pas}$.

Fréquence de pilotage du moteur de 20Hz => 20 pas/s soit 1 pas en 0,05 seconde.

La vitesse maximale du moteur est atteinte en moitié moins de temps soit en 0,025 seconde.

Vitesse du moteur $\omega_m = \Delta\theta_m / \Delta t$

A.N. : $\omega_m = 15^\circ/0,025 = 600^\circ/\text{s}$ $\omega_m = 10,472 \text{ rad/s}$

Accélération du moteur $\omega'_m = \Delta\omega_m / \Delta t$

A.N. : $\omega'_m = 600^\circ/0,025 = 24\,000^\circ/\text{s}^2$ $\omega'_m = 418,88 \text{ rad/s}^2$

Q1.8

Pour déterminer le couple nécessaire au déploiement du mécanisme de pointage, le principe fondamental de la dynamique est le théorème le plus approprié.

Dans le cas étudié, il convient d'isoler le système (bras + moto-réducteurs + source) en

rotation autour de l'axe \vec{Z} . Nous appliquons donc à ce système le principe fondamental de la

dynamique et plus particulièrement le théorème du moment dynamique au point O_1 en projection sur l'axe \vec{Z} .

On obtient : couple $C = J\omega_r'$

avec $J = 1\text{m}^2.\text{kg}$ et $\omega_r' = 1,228 \text{ rad/s}^2$

A. N. : $C = 1,228 \text{ Nm}$

Q1.9

Comme précisé dans le sujet, par empirisme, il est recommandé d'appliquer un facteur 3 à la valeur théorique calculée précédemment pour le couple nécessaire désignée désormais par le symbole T_D :

Avec $T_D = 3 \times C$ donc $T_D = 3,684 \text{ Nm}$

Q.10

Le couple minimal utile en sortie d'actionneur est calculé selon la loi suivante :

$$T_{\min} = 2 \times (1,1 I + 1,2 S + 1,5 H_M + 3 F_R + 3 H_Y + 3 H_A + 3 H_D) + 1,25 T_D + T_L$$

Avec :

$S = 0$ car pas de systèmes à ressorts dans le mécanisme

$T_L = 0$ car pas de couple de sortie supplémentaire demandé au moteur

H_M, H_Y et H_D négligés

$I = 0,1 \text{ Nm}$; $F_R = 0,3 \text{ Nm}$; $H_A = 2 \text{ Nm}$; $T_D = 3,684 \text{ Nm}$

A.N. : $T_{\min} = 2 \times (1,1 \times 0,1 + 3 \times 0,3 + 3 \times 2) + 1,25 \times 3,684$

$T_{\min} = 18,62 \text{ Nm}$

Le couple minimal à prendre en considération en sortie du moteur sera donc T_{\min} / r soit $18,62 / 341 = 0,05 \text{ Nm}$

$T_{\text{mot}} = 0,05 \text{ Nm}$

Etude du réducteur de l'actionneur rotatif

Q1.11

Par rapport aux trains d'engrenages classiques, la géométrie des trains épicycloïdaux plans donne un arbre de sortie coaxial à l'arbre d'entrée, ce qui en facilite la mise en œuvre. La mise en série de plusieurs trains épicycloïdaux permet d'obtenir de grands taux de réduction avec un encombrement relativement faible ce qui est un atout non négligeable dans notre étude. Par contre, ils sont souvent plus chers et plus difficiles à réaliser mais dans le domaine spatial, ces contraintes peuvent être plus facilement surmontées.

Q1.12

La démarche pour retrouver la formule de Willis consiste à écrire les conditions de roulement sans glissement aux points de contact A et B et d'appliquer les compositions des vitesses. Il est également possible de partir de la définition du paramètre λ : la raison de base d'un train épicycloïdal est une constante qui correspond au rapport de réduction du train d'engrenage simple obtenu en immobilisant le porte-satellites, dans notre cas :

$$\lambda = \frac{\omega_{3/4}}{\omega_{1/4}} = (-1)^1 \frac{Z_1}{Z_3} = -\frac{R_1}{R_3}$$

Q1.13

Le taux de réduction souhaité est de 343.

On peut envisager 3 étages de Type 1 avec un taux de réduction de $\sqrt[3]{343} = 7$.

On pose le rapport de réduction d'un étage : $red = \frac{1}{7}$

A partir de la formule de Willis, avec $\omega_{3/0} = 0$ et $red = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$ on trouve la raison de base d'un étage :

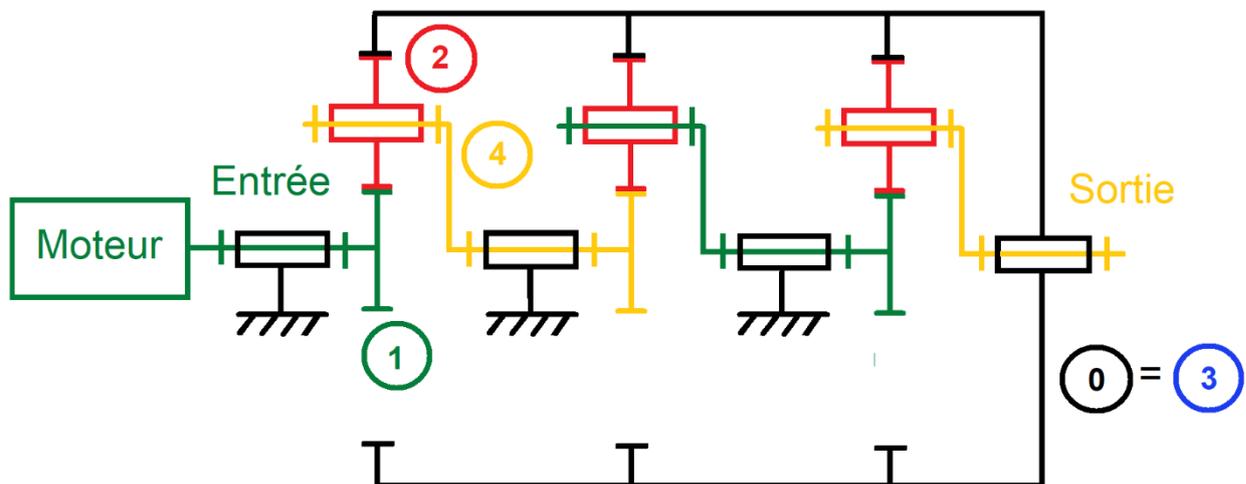
$$\lambda = \frac{\omega_{3/0} - \omega_{4/0}}{\omega_{1/0} - \omega_{4/0}} = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0} - \omega_{4/0}}$$

$$\lambda = \frac{-\frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}}{1 - \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}} = \frac{-red}{1 - red}$$

$$\lambda = \frac{-\frac{1}{7}}{1 - \frac{1}{7}} = -0,17$$

Q1.14

Schéma cinématique minimal en 2D du réducteur de 3 étages.



Q1.15

Sachant que, d'une part : $\lambda = -\frac{R_1}{R_3} = -\frac{D_1}{D_3} = -0,17$

Et que d'autre part, les conditions géométriques liées au montage imposent $D = m.Z$ et $R_1 + 2R_2 = R_3$

En supposant que le planétaire d'entrée a le plus petit diamètre avec 12 dents :

$D_1 = 12$ mm

alors : $D_3 = D_1 / \lambda = 72$ mm

et : $D_2 = (D_3 - D_1) / 2 = (72 - 12) / 2 = 30$ mm

En conclusion, une telle configuration permettrait largement de répondre à un cahier des charges dont le critère d'encombrement maximal de l'actionneur serait de l'ordre de 100 mm de diamètre (donnée non fournie mais qui correspondrait à la figure 8).

Q1.16

Les caractéristiques mécaniques à prendre en compte du produit préexistant sont :

- La résolution en sortie de $0,033^\circ$ pour celle de $0,044^\circ$ imposée permet de répondre à l'étude.
- Le couple minimal utile en sortie : 16Nm pour 18,62 Nm calculé ne permet théoriquement pas de répondre sur ce point à moins de changer de moteur.
- La masse totale de 1,17kg de l'actionneur devrait répondre au critère de masse si la masse maximale de l'ensemble du mécanisme comprenant entre autres les 2 actionneurs (1x1,17kg) et les 2 demi-bras (2x380g maxi) est inférieure aux 6kg maxi admissibles.
- Aucune valeur n'est donnée pour l'encombrement, ce point serait néanmoins utile à vérifier.

PARTIE 2 : ÉTUDE DES RELATIONS PRODUIT- MATERIAU

D'ÉLEMENTS DE STRUCTURE.

Q2.1

Le dimensionnement en raideur d'une structure a pour objectif d'optimiser la résistance à la déformation élastique, alors qu'un dimensionnement en fatigue consiste à prendre en compte la charge critique conduisant à la ruine du matériau sous l'effet de sollicitations cycliques.

Compte tenu du contexte présenté, le choix du dimensionnement en raideur paraît pertinent compte tenu du faible nombre de cycles de variation thermique en orbite au regard de l'importance des sollicitations mécaniques de la courte phase de lancement.

Q2.2

Caractéristique	E (GPa)	σ_e (MPa)	ε_{maxi} (m / m)	ε_{235MPa} (m / m)
7075-T7351	73	350	$479 \cdot 10^{-6}$	$322 \cdot 10^{-6}$
TA6V	114	850	$746 \cdot 10^{-6}$	$206 \cdot 10^{-6}$

Le TA6V présente un domaine élastique plus étendu (+56% en déformation, +143% en contrainte) et une raideur plus élevée (+56%).

Les droites d'iso-performance du type $(E/\rho)^n$ permettent de sélectionner des matériaux présentant des ratios raideur/densité comparables.

Q2.3

Le TA6V présente des caractéristiques sensiblement supérieures à l'alliage 7075-T7351 sur les critères suivants :

- Limite élastique plus élevée ;
- Raideur plus élevée ;
- Ténacité plus élevée ;
- Dilatation thermique moins importante.

Seul l'écart en masse volumique est en faveur de l'alliage d'aluminium mais avec un écart moins prononcé

Q2.4

La principale différence concerne le comportement non isotrope du composite, les caractéristiques transversales et longitudinales ne sont notamment pas identiques.

Q2.5

$$\alpha_L = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$$

$$\alpha_T = 16,8 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$$

$$\text{Pour le TA6V, on a } \alpha_{TA6V} = 9 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$$

Le coefficient α_L , qui influera sur la variation de longueur du « strut » lors des variations de température étant faible, il aura peu d'influence (et elle pourra être corrigée par le positionnement du satellite.

La différence entre α_T , qui influe sur le diamètre de l'extrémité du « strut » et α_{TA6V} étant significative, il faut s'assurer que cela ne génère ni apparition de jeu, ni serrage excessif entre les deux pièces sur la plage de températures.

Q2.6

L'alliage retenu est du type $\alpha + \beta$ (précisé sur DT09 rubrique « propriétés d'emploi » et confirmé par le diagramme de phase pour une teneur de 4% de vanadium).

Le caractère bêtagène du vanadium est confirmé par le fait que l'augmentation de sa teneur conduit à une augmentation de la teneur en microstructure β si celle-ci est présente, ou à l'abaissement de sa température d'apparition si elle est absente dans l'alliage à une température donnée.

Q2.7

Compte tenu du diagramme de phase, à température ambiante, l'alliage TA6V sera composé principalement de microstructure α et de quelques traces de microstructure β .

Q2.8

La mise en solution β est obtenue à partir de la température de 980°C.

Q2.9

La ténacité caractérisant la résistance à la propagation de fissures, une microstructure constituée de lamelles croisées permettra de ralentir la progression de ces fissures en imposant des changements de direction et en proposant une résistance accrue en raison de l'enchevêtrement présent.

Q2.10

$K_{IC} = 90 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ donc $K_C = 30 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ et $S_i = \sigma_e = 850 \text{ MPa}$;

On trouve :

$a_c = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ soit environ 1mm.

Une méthode de contrôle non destructive de type volumique (ultra-sons, rayons X...) s'impose afin de vérifier l'absence de fissure de ces dimensions dans les pièces réalisées.

PARTIE 3 : ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION DES END-FITTINGS .

Q3.1

Les revendications du brevet européen considéré portent sur l'assemblage de struts et de tubes composites par l'intermédiaire d'ondulations sinusoïdales de la surface de contact.

La fabrication additive peut permettre d'obtenir des géométries et micro-géométries de contact différentes de celles obtenues par enlèvement de matière, et ainsi proposer potentiellement une amélioration de la liaison recherchée. Lors d'une montée en cadence de la réalisation de struts, ce procédé peut également permettre de répondre rapidement aux demandes de nouvelles géométries de côtés opposés aux ondulations.

Q3.2

Fusion de poudre métallique : la phase de CIC permet d'améliorer la cohésion du matériau et ainsi obtenir les caractéristiques mécaniques recherchées.

Q3.3

L'intégration de la fabrication additive dans le processus de réalisation des end-fittings permet d'obtenir une géométrie intermédiaire plus proche de la géométrie finale, sans toutefois éliminer la phase d'usinage permettant d'obtenir les niveaux de qualité dimensionnels, géométriques et surfaciques recherchés. Cette modification de la géométrie impactera donc la prise de pièce lors des étapes ultérieures et nécessite une nouvelle étude des outils et outillages.

Le changement de procédé aura également pour conséquence une modification des caractéristiques mécaniques du matériau.

Le changement de procédé de brut doit donc être intégré à une étude d'optimisation globale du processus afin de conclure sur sa pertinence.

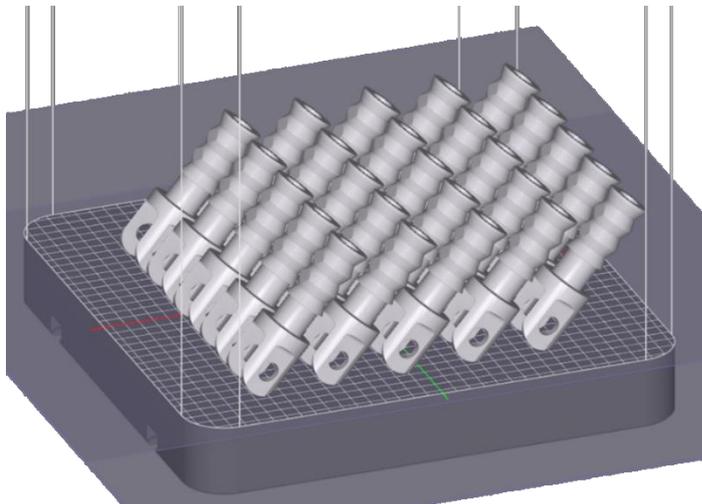
Q3.4

La durée du cycle de fabrication est principalement impacté par le nombre de couches de lasage nécessaires. Un aménagement de plateau réalisé par des pièces en position verticale conduit donc à un temps de cycle plus long qu'un agencement de pièces inclinées.

Un plateau constitué par l'imbrication de pièces en position horizontale permettra de minimiser le temps de réalisation en diminuant le nombre de couches, mais limitera le nombre de pièces par plateau.

Une étude d'optimisation (non demandée ici) prenant en compte la géométrie des pièces et l'insertion de supports entre ces deux positions de pièces sera donc nécessaire.

Exemple d'agencement envisageable permettant de minimiser les supports :



Q3.5

Les stratégies utilisées combinent trajectoires, vitesse et puissance du laser. Cela permet de maîtriser l'énergie nécessaire à la fusion de la poudre et impacte donc le gradient de température. La température entre couche en tout point du plateau peut ainsi être pilotée afin de garantir la cohésion entre couches et la microstructure recherchée, et de maîtriser le retrait volumique lors du refroidissement des zones lasées.

Q3.6

Dans ce contexte de production, et sous réserve des certifications nécessaires, la fabrication additive est une solution envisageable pour obtenir directement et rapidement des géométries complexes dans le cadre des assemblages de struts et de tubes, tout en respectant les protections liées aux brevets existants dans ce domaine.

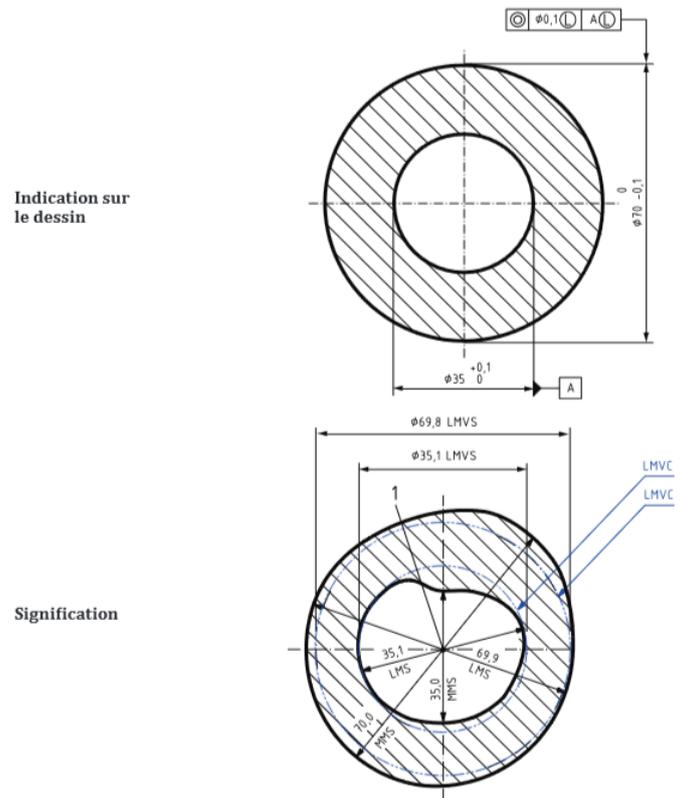
Ce changement de procédé devra s'accompagner d'une nouvelle étude globale du produit et du processus afin de garantir les caractéristiques du matériau et de qualifier l'ensemble des étapes de réalisation.

Q3.7

Ce tolérancement s'appuie sur une spécification de coaxialité entre l'axe du cylindre tolérancé ($\varnothing 24$) et l'axe du cylindre de référence repéré A, et permet de spécifier une exigence d'épaisseur minimale de paroi.

Ci-contre : Extrait de l'ISO 2692 :2021

Si besoin, la réalisation des 2 éléments cylindriques A et le $\varnothing 24$ dans leur état au maximum de matière aura pour conséquence d'augmenter significativement la dimension de la zone de tolérance ($\varnothing 0,1$) et ainsi de choisir des processus éventuellement plus optimisés du point de vue technico-économique.



Q3.8

L'intérêt de la cinématique du centre de tournage-fraisage bi-broche est de permettre la réalisation de l'ensemble des surfaces de la pièce en 2 étapes de positionnements différents indépendamment du procédé (perçage, fraisage ou tournage), ce qui permet d'envisager plusieurs combinaisons de regroupements d'opérations possibles, toute proposition cohérente et suffisamment justifiée étant admissible.

Points pertinents à relever :

- Réaliser la partie fraisée dans un premier temps sur la broche 1 ainsi que l'alésage A en ébauche (voire éventuellement en finition) peut être une option intéressante car cela permet une mise en position rigide (centrage long sur barre brute) et permet d'optimiser les opérations de fraisage en terme d'effort et donc également de qualité. Néanmoins, cette solution implique une mise en position délicate (centrage court uniquement sur $\varnothing 40$ extérieur) en reprise sur la broche 2, ce qui complique la réalisation des étapes de tournage extérieur de la partie ondulée.
- Réaliser en tournage la partie ondulée ainsi que l'alésage A, le perçage du $\varnothing 14H7$ et l'ébauche de la rainure en perçage (possibilité d'utiliser une contrepointe pour limiter

la flexion de la pièce) sur la broche 1, puis finir les opérations de fraisage sur la broche 2 (mise en position sur la partie ondulée et/ou le $\varnothing 24$) semble donc plus réaliste, tout en permettant éventuellement une finition de l'alésage A en même temps qu'une finition du 14H7 en raison de l'orientation de 0,06mm spécifiée entre ces 2 éléments, et dont le respect peut être délicat en raison des dispersions liées aux déformations ou aux reprises).

Q3.9

L'orientation de l'outil la plus pertinente est celle parallèle à l'axe de la pièce, afin de maximiser la profondeur de passe a_p (voir DT12) et de permettre la réalisation directe du fond de rainure. (Opération de finition indispensable pour éliminer le rayon de raccordement en cas d'outil à 90° par rapport à l'axe de la pièce).

Q3.10

Calcul a_e :

$D_c \leq 60\% bn$ soit 25,2mm maxi et a_p au maximum égale à $2 \cdot D_c$ soit $\varphi_s = 28^\circ$

$a_e = R_c - R_c \cdot \cos(\varphi_s) = 1,47 \text{ mm}$

Q3.11

Détermination des débits copeaux pour chaque stratégie :

$$Q = a_e \cdot a_p \cdot V_f = a_e \cdot a_p \cdot z \cdot f_z \cdot N = a_e \cdot a_p \cdot z \cdot f_z \cdot \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

D'où :

$$Q_1 = 3,82 \cdot 38 \cdot 8 \cdot 0,083 \cdot 1000 \cdot 60 / (\pi \cdot 25) = 73634 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_2 = 1,47 \cdot 38 \cdot 8 \cdot 0,18 \cdot 1000 \cdot 96 / (\pi \cdot 25) = 98321 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Une augmentation d'environ 30% du débit copeaux est constatée.

Q3.12

Le critère V_b correspond à l'usure de l'arrête de coupe. La chaleur qui se dégage lors de la coupe s'évacue dans le copeau, le lubrifiant, la pièce et l'outil.

La faible conductivité thermique de l'alliage fait que la chaleur s'évacue majoritairement dans le lubrifiant et l'outil, ce qui favorise un échauffement plus important de l'arrête de coupe et influe directement sur son usure V_b .

Constats sur la composition des candidats

Le support étudié est un mécanisme de pointage d'antenne embarquée sur satellite. L'épreuve s'articule autour de trois problématiques en lien avec trois compétences de l'ingénierie mécanique. Les candidats sont libres de composer dans l'ordre de leur choix, néanmoins le fil rouge qui relie l'ensemble du sujet peut permettre de mieux appréhender chacune des problématiques si elles sont étudiées les unes après les autres. Nous constatons que les candidats ayant les meilleurs résultats ont réussi à traiter les trois parties, en totalité ou en partie.

La première partie est consacrée à la construction mécanique. Elle s'intéresse au fonctionnement de l'antenne et aux caractéristiques mécaniques des actionneurs qui animent le bras articulé sur lequel est montée la source. Il s'agit dans un premier temps de caractériser le moteur puis, dans un deuxième temps de caractériser le réducteur. La majorité des candidats ont traité cette première partie, le spectre des notes obtenues est très large.

La cinématique du système est relativement simple, faisant appel à des notions géométriques basiques. La réalisation d'un schéma cinématique minimal est une compétence incontournable que peu de candidat ont su mettre en valeur.

Le jury déplore le manque de rigueur dans l'énoncé et l'application des théorèmes fondamentaux de la mécanique. De même, il est indispensable de préciser les unités utilisées et de justifier les réponses apportées lorsqu'elles font appel à des connaissances générales à adapter au contexte de l'étude comme cela était le cas sur la question relative aux trains épicycloïdaux. De même, les lois du mouvement sont généralement connues mais difficilement mises en pratique dans ce cas concret, parfois accentué par un manque de connaissance sur le fonctionnement d'un moteur pas-à-pas.

Le jury note que nombreux sont les candidats qui rencontrent des difficultés à modéliser un problème ou à énoncer clairement les hypothèses simplificatrices nécessaires aux calculs.

Le jury rappelle également aux candidats que lorsqu'il s'agit de développer une démarche, un minimum de rédaction est attendu.

La seconde partie proposait d'étudier les relations produit-matériau concernant les éléments des bras mobiles utilisés pour l'orientation des antennes et accessoires des satellites.

Cette partie a été abordée par une très large majorité de candidats et s'intéressait au comportement des matériaux, à l'échelle de la pièce jusqu'à sa microstructure. Les candidats ayant le mieux réussi cette partie sont ceux ayant su transférer leurs connaissances des caractéristiques des matériaux plus courants en conception mécanique vers ceux utilisés dans le contexte aérospatial comme le titane ou les matériaux composites. Le jury a apprécié les efforts des candidats qui se sont attachés à détailler leur raisonnement et ont su mobiliser leurs connaissances pour analyser leurs résultats.

La troisième partie était consacrée à l'industrialisation des end-fittings en alliage de titane dans un contexte de demande croissante, et proposait d'optimiser le processus de réalisation en étudiant les gains possibles lors des étapes d'usinage ainsi que la possibilité d'intégrer la fabrication additive comme procédé de brut.

Le jury note un manque de maîtrise générale des notions de dispersion, d'incertitude et de tolérancement, ce qui impacte fortement la justesse des analyses proposées. Un grand nombre de candidats ne disposent pas des connaissances de base sur les procédés et processus de réalisation et leurs conséquences sur la conformité des produits relativement aux exigences de conception.

Recommandations aux futurs candidats

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

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

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

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

Épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique

Commentaires du jury

Coefficient 2 – Durée 6 heures

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Déroulement détaillé de l'épreuve :

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

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

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

Phase 1 : activités pratiques, 4 heures

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

Cette phase se déroule en 3 parties :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cette phase se déroule dans une salle mise à disposition du candidat. Il dispose d'un poste informatique équipé de logiciels de bureautique 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 de logiciels de bureautique courants, 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 2025 :

- 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 du comportement d'un axe asservi en vitesse ;
- influence des paramètres d'un procédé d'injection plastique sur les caractéristiques des pièces obtenues ;
- validation du dimensionnement d'un système de mesure de couple ;
- métrologie et qualification d'un constituant mécanique ;
- étude d'un système robotique.

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

- étude du comportement d'un axe asservi en vitesse avec les outils de l'ingénierie système, modélisation du comportement cinématique, mise en œuvre d'un protocole expérimental et caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé, modélisation du comportement de l'asservissement en vitesse de l'axe, comparaison à

un modèle simulé, comparaison à un modèle identifié expérimentalement, étude des limites du modèle ;

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

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

Pour la partie « activité pratique » :

- s'approprier le système, produit ou processus ;
- s'approprier la problématique proposée, les ressources associées ;

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

Pour la partie « exposé oral » :

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

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

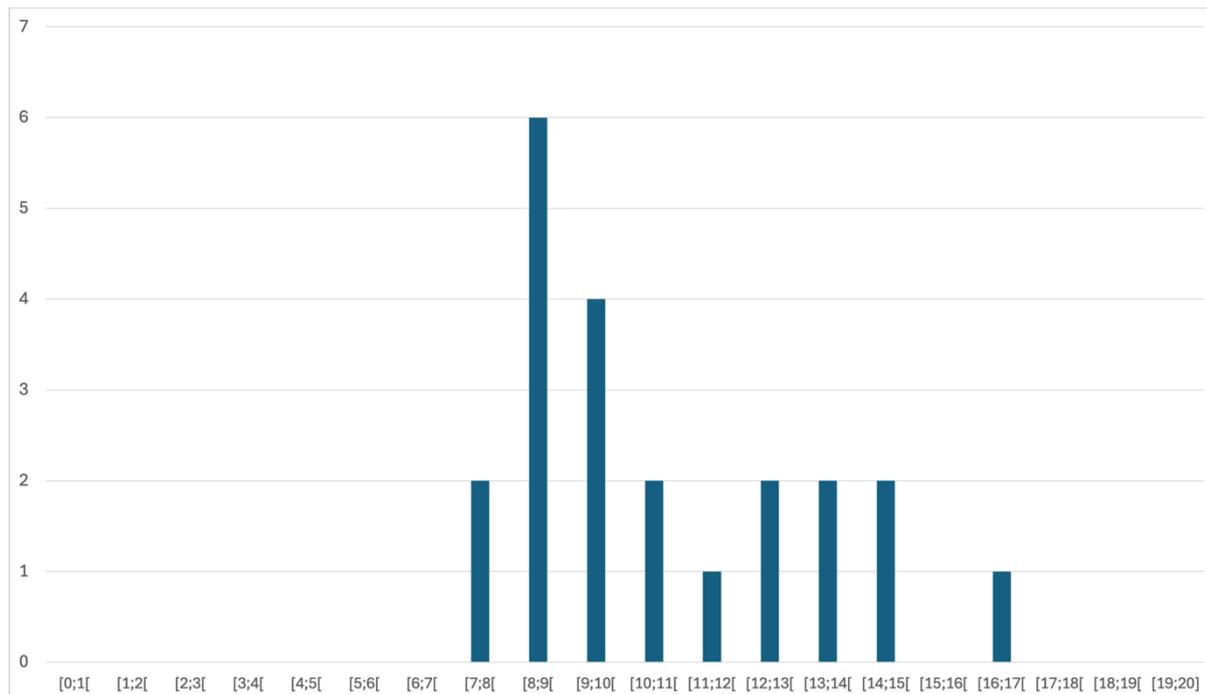
- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;
- adapter tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « activité pratique » à la séquence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

Analyse des résultats :

20 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- la moyenne des notes obtenues est de **10,3/20** ;
- la meilleure note est de **16,1/20** ;
- la note la plus basse est de **7,2/20** ;
- l'écart type est de **2,48**.

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, **10** candidats obtiennent une note supérieure à 10/20.

Les performances démontrées en première partie « activité pratique » (moyenne de **6,0/10**), sont supérieures à celles de la deuxième partie « exposé technique, scientifique, pédagogique et entretien avec les membres de jury » (moyenne **4,3/10**).

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

Quelques remarques récurrentes par rapport aux années précédentes :

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

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

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

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

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

Ces difficultés deviennent récurrentes session après session.

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

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

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

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

Les recommandations suivantes restent d'actualité pour les futurs candidats

Bien comprendre la commande pédagogique :

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

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

Mettre en œuvre des matériels et des équipements :

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

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

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

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

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

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

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

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

Communiquer :

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

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

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

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

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

Conclusion

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

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

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

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

Épreuve sur dossier

Commentaires du jury

Coefficient 1 – Durée 1 heure

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

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

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

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

1. Les attentes du jury

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

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

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

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

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

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

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

2. Les compétences évaluées

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

1 - Construire un dossier technique et scientifique :

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

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

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

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

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

3. Constats et recommandations du jury

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Concernant l'aspect technologique et scientifique :

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

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

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

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

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

Concernant 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 2025.

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.