



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport de jury

Concours : Agrégation interne et CAER

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Session 2021

Rapport de jury présenté par : Monsieur Jean-Marc DESPREZ, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR), Président du jury

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

STATISTIQUES DE LA SESSION.....7

**ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME
PLURITECHNIQUE.....8**

ÉLÉMENTS DE CORRECTION9

COMMENTAIRES DU JURY 29

**ÉPREUVE D'ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION.....36**

ÉLÉMENTS DE CORRECTION 36

COMMENTAIRES DU JURY 69

ÉPREUVE D'ACTIVITÉ PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE.....76

ÉPREUVE SUR DOSSIER.....88

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/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

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 aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" et/ ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général, 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 SII, est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences et de connaissances scientifiques, technologiques et professionnelles nécessaires à la maîtrise des activités de conception, de dimensionnement, d'analyse de comportement. Tous les champs 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 de l'agrégation externe 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.

Depuis plusieurs années, de nombreux candidats s'inscrivent à cette agrégation sans se présenter aux épreuves écrites.

À la session 2021, de nombreux candidats se sont manifestement présentés à ces deux épreuves sans s'y être préparé. Le jury a constaté, au travers de la correction des copies, la faiblesse des connaissances et compétences d'un grand nombre de candidats. Manifestement de nombreux fondamentaux font défaut à ces candidats.

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 DUT 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 technologique »

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 à l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur, des programmes de CPGE ou des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie.

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

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

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

Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures ; préparation de l'exposé : 1 heure ; exposé : 30 minutes maximum ; entretien : 30 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 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 cycle terminal du lycée, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie.

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

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

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

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

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

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

La première épreuve d'admission (épreuve de travaux pratiques et 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, voire non satisfaisante pour certains. 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 et la capacité à se présenter à cette épreuve dans de bonnes conditions. Ainsi, cette épreuve impose aux professeurs de s'engager de nouveau dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Cette épreuve oblige tout candidat à conduire personnellement une analyse scientifique, technique et économique d'un problème actuel, authentique puis de concevoir des séquences d'enseignement en adaptant les documents techniques, les ressources, les 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 la remise des dossiers au secrétariat du concours sont généralement très courts.

A la session 2021, un candidat qui était bien classé au regard de ses résultats aux épreuves d'admission, ayant bien réussi l'épreuve de travaux pratique et exploitation pédagogique mais ayant négligé cette épreuve (dossier et exposé) n'a pu être déclaré admis.

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.

Jean-Marc DESPREZ
Président du jury

RÉSULTATS STATISTIQUES

	Inscrits	Nombre de postes	Présents à la 1 ^{re} épreuve d'admissibilité	Présents à la 2 ^e épreuve d'admissibilité	Admissibles	Admis
AG INT SII IM	240	7	137	133	15	7
CAERPA	19	2	13	12	2	1

145 candidats ont composé aux deux épreuves
109 candidats inscrits ne sont pas présentés aux épreuves écrites

Agrégation interne SII IM	
Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	12.97
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible (public)	09.03
Moyenne obtenue par le premier candidat admis (toutes épreuves)	13.31
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis (public)	10.50
Concours accès échelle de rémunération des professeurs agrégés	
Moyenne obtenue par le candidat admis CAERPA	09.52
Moyenne des candidats non admissibles	04.8

Les statistiques par épreuve figurent dans les commentaires associés

Candidats admissibles

Note maxi épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	14.9
Note mini épreuve travaux pratiques et exploitation pédagogique	5.3
Note maxi épreuve sur dossier	14.2
Note mini épreuve sur dossier	3

Candidats admis à l'agrégation interne SII IM (hors CAERPA)

Moyenne des admis	11.37
-------------------	--------------

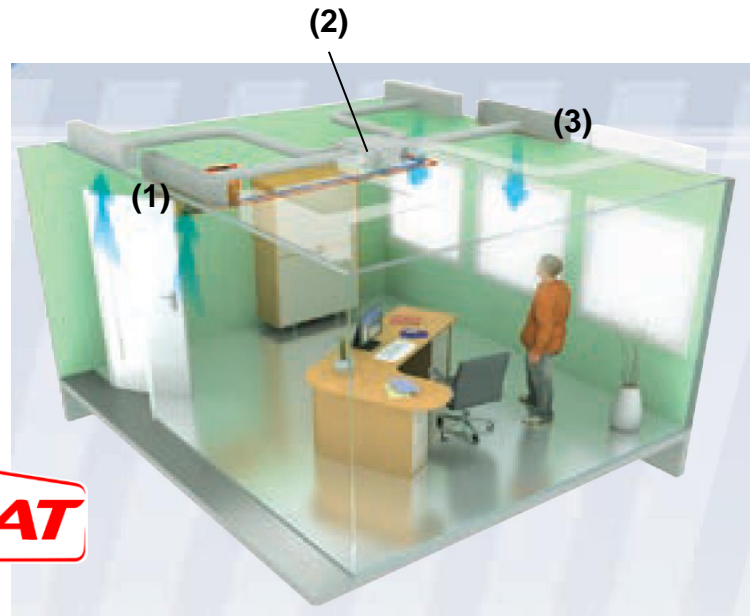
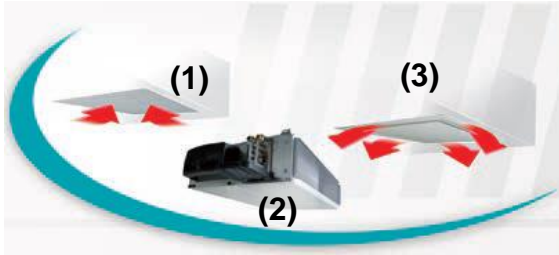
Répartition des admis par académies : Agrégation interne et CAERPA

Académies	Nombre d'admis
CAEN	1
GRENOBLE	1
NANCY-METZ	1
NANTES	1
LILLE	1
ROUEN	1
TOULOUSE	1
LYON	1 CAERPA

ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient 2 – Durée 5 heures

Amélioration de la qualité de l'air intérieur



Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Les questions des parties 1, 2 et 5 portant sur des aspects pédagogiques, les éléments de corrigé indiquent ce que les membres de jury ont cherché à évaluer. Ils ne constituent pas une réponse unique.

Partie 1. Identification des contraintes réglementaires et des enjeux de santé publique

Question 1 : À partir des informations ci-dessus et du document **DT1**, compléter le tableau du document réponse **DR1**. Pour cela, **dégager** des critères, et **indiquer**, pour chacun des dispositifs, si l'effet sera plutôt favorable ou défavorable au respect de l'exigence concernée.

Exigence	Critère	Effet prévu qualitativement			
		Dispositif 1 : Augmentation de l'étanchéité à l'air	Dispositif 2 : Renouvellement de l'air par apport d'air neuf	Dispositif 3 : Renouvellement de l'air par apport d'air neuf filtré	Dispositif 4 : Filtration de l'air intérieur :
Permettre une qualité de l'air intérieur non nocive pour la santé.	Taux de CO2	⊖ (CO2 vient de l'intérieur)	⊕	⊕	neutre
	Taux de particules fines	⊕ (particules fines viennent plutôt de l'extérieur)	⊖	⊕	⊕
	Taux de benzène	⊖⊕ (le benzène peut venir à la fois du tabac et des véhicules)	⊕	⊕	⊕
	Taux de formaldéhyde	⊖	⊕	⊕	⊕
Limiter la consommation d'énergie	Bbio	⊕	⊖	⊖	⊖ (dans une moindre mesure : pas besoin de chauffer ou rafraichir)
	Cep	⊕	⊖	⊖	⊖
Apporter un confort acoustique satisfaisant.	Niveau de pression acoustique	⊕ (protège des bruits extérieurs)	⊖	⊖	⊖

Question 2 : À l'aide du tableau du document réponse **DR1**, **analyser** les effets contradictoires de certains dispositifs et **conclure** quant à l'intérêt de combiner ces dispositifs.

Pour limiter la consommation d'énergie et notamment les besoins de chauffage ou de rafraîchissement, il faut isoler au maximum les bâtiments. Ceci peut avoir un effet négatif sur la qualité de l'air, notamment si les polluants proviennent de l'intérieur du bâtiment.

Une bonne qualité de l'air s'obtient à la fois par une filtration (pour les polluants venant de l'extérieur comme particules fines) et par une dilution (pour les polluants venant de l'intérieur d'autant plus si on ne sait pas les filtrer efficacement comme le CO₂).

Mais ces 2 dispositifs ont un coût énergétique provenant :

- D'une part de la mise en route d'un système de ventilation et de pertes de charges générées par un filtre
- D'autre part par le besoin de réchauffer ou refroidir l'air échangé avec l'extérieur.

Les différents dispositifs doivent donc être combinés, en régissant leur fonctionnement d'après certaines conditions (présence de trafic, nombre de personnes présentes dans le bâtiment, énergie disponible...).

Question 3 : **Proposer** une description d'une séance de 2h en première STI2D, permettant de cibler la compétence CO1.3 du document **DP1** : « Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale ». La séance s'appuyant sur une démarche d'investigation, **préciser** les connaissances abordées, les indicateurs du niveau d'acquisition, les activités élèves, les interventions de l'enseignant, etc.(cf. documents **DP1** et **DP2**).

On attend du candidat qu'il propose une séance intégrée dans une séquence s'appuyant sur un contexte sociétal, en reprenant par exemple le thème du sujet. La séance proposée doit respecter les étapes essentielles d'une démarche d'investigation (appropriation du problème – formulation des hypothèses – expérimentation pour tester les hypothèses – analyse des résultats – conclusion) avec une mise en œuvre effective au travers du rythme, de la place de l'enseignant et d'une réelle mise en activité des élèves, notamment par l'intermédiaire d'expérimentations.

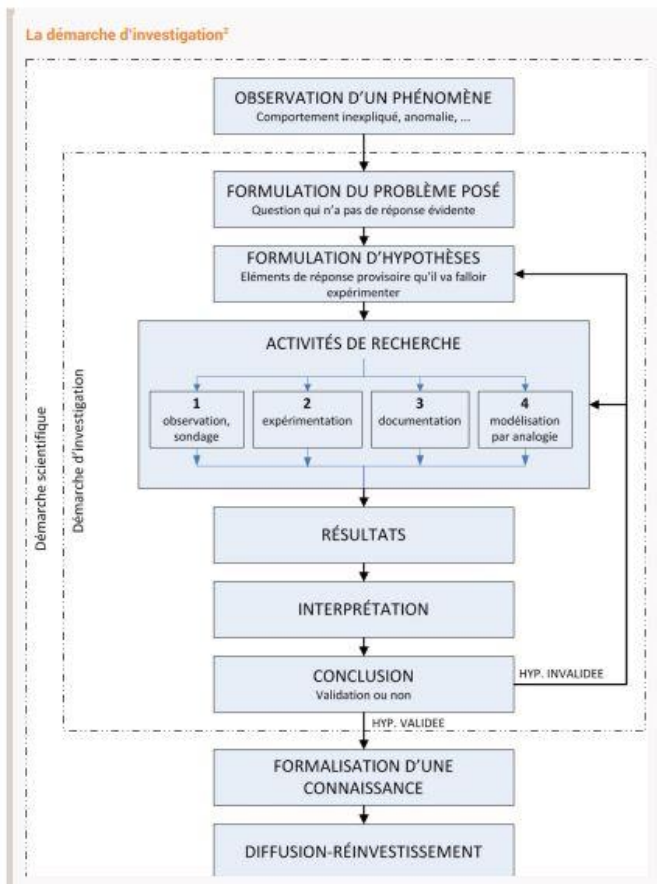


Figure 1- Source eduscol

Partie 2. Caractérisation de la qualité de l'air

2.1 Validation et choix de capteurs adaptés à la mesure de microparticules

Question 4 : À l'aide du document **DT3**, **calculer** la part de la puissance électrique totale absorbée par le capteur, dédiée à la mise en mouvement des particules dans la chambre de détection.

$R_{h1}=100\Omega$ sous 5V (cf. schéma DT)

La part de la puissance électrique totale absorbée par le capteur (1W), dédiée à la mise en mouvement des particules dans la chambre de détection :

$$\frac{\frac{U_{rh1}^2}{R_{h1}}}{P_{abs_capteur}} = 25\%$$

2.2 Traitement de l'information

Question 5 : À partir du relevé de trames ci-dessous et à l'aide du document **DT5**, **déterminer** le taux de concentration de $PM_{2.5}$. **Conclure** quant au respect de l'exigence id 1.4 du **DT2**.

L'information du taux de particules est renfermée dans la trame esclave

Esclave		Nombre de données	Données 16 bits		Registre CR16C	
ADRESSE	FONCTION		0x00	0x11	0xDD	0x3D
0x0E	0x04	0x01	0x00	0x11	0xDD	0x3D

0x11(base 16) correspond à 17 (base 10) soit $17\mu g/m^3 > 10\mu g/m^3$ l'exigence id1.4 n'est pas respectée.

2.3 Exploitation pédagogique

Question 6 : **Identifier** puis **justifier** quelles compétences et connaissances associées (cf. **DP1** et **DP2**) pourraient être visées dans des séquences pédagogiques destinées aux enseignements de spécialité I2D et IT, exploitant la chaîne d'acquisition étudiée dans cette partie. **Expliciter** comment le lien entre les deux enseignements de spécialité pourrait prendre forme.

La réponse à cette question n'est pas unique. Les éléments ci-dessous ne sont pas modélisant, mais montrent une méthode parmi d'autres pour répondre à la question.

Dans cette question, il est attendu du candidat qu'il soit **capable de s'approprier le programme**, d'établir **une démarche pour identifier les compétences et connaissances mobilisables** et de **proposer des liens entre IT et I2D** notamment en s'appuyant sur des publications nationales.

Voici un exemple de démarche pour identifier les compétences et connaissances mobilisables dans le cadre de l'exploitation de la partie 2 du sujet :

1 – Identifier le type d'activité possible

L'objectif de la partie 2 consiste à choisir et valider un capteur pour détecter les particules PM_{10} , $PM_{2.5}$ et PM_1 . Il devra être adapté aux :

- Grandeurs physiques (particules fines) ;
- Contraintes d'implantation ;
- Protocoles de communication.

2 – Identifier les compétences pouvant être mobilisées

Plusieurs compétences peuvent être mobilisées à partir de ce sujet. Voici une liste non exhaustive (les compétences liées à la communication ne sont pas évoquées, mais peuvent bien sûr être également mobilisées) :

O1	CO1.1. Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable.	Étude possible de la structure de la centrale de traitement d'air avec une approche développement durable.
	CO1.3. Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale.	Le capteur de détection de particules et une solution technologique de la centrale de traitement d'air.
O2	CO3.1. Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un produit ainsi que ses entrées/sorties.	Analyse de la fonction remplie par le capteur et des entrées/sorties.
	CO3.4. Identifier et caractériser des solutions techniques.	Identification et caractérisation du capteur.
O5	CO5.2. Identifier et justifier un problème technique à partir de l'analyse globale d'un produit (approche matière – énergie – information).	Analyse de la centrale de traitement d'air pour répondre à la problématique liée au traitement de l'air intérieur.
	CO5.3. Mettre en évidence les constituants d'un produit à partir des diagrammes pertinents.	Lecture des diagrammes SysML pour comprendre la constitution de la centrale de traitement d'air et identifier le capteur.
	CO5.5. Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue.	
O7	CO7.2. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.	Mise en œuvre du capteur à l'aide d'une carte de type ESP32.

3 – Cibler des compétences

Il conviendra d'avoir d'abord une approche systémique, par exemple autour de la centrale de traitement d'air pour ensuite axer l'étude vers le constituant, vers la solution technologique.

Une séquence pédagogique pourrait se centrer sur CO1.3, CO3.4, CO5.2 et CO7.2.

Ce regroupement de compétences permet d'aborder les trois dimensions : socio-culturelle, scientifique et technique, ingénierie design.

A part la compétence CO1.3, qui concerne l'enseignement de spécialité I2D, les trois autres concernent les deux enseignements de spécialité I2D et IT.

4 – Identifier les connaissances mobilisables

À partir de ces quatre compétences, nous pouvons cibler des connaissances associées.

CO1.3	1-5 / 3-1 / 3-3 / 4-1 / 4-3 / 5
CO3.4	1-2 / 2 / 4-3 / 5 / 6-2
CO5.2	1 / 2-1 / 4-3
CO7.2	1-2 / 2-1 / 6-2 / 6-3

En IT, le contexte global et les enjeux de société peuvent être une entrée possible pour un projet et ainsi aborder les connaissances du chapitre 1 : Principes de conception des produits et développement durable.

Les connaissances liées au chapitre 2 : Approche fonctionnelle et structurelle des produits est également envisageable.

Lien IT I2D

Les enseignements de spécialité IT et I2D sont intimement liés l'une à l'autre.

L'étude attendue des produits en I2D combinée à la mise en évidence des problèmes que les concepteurs ont dû résoudre doivent être approfondies par des activités d'expérimentation sur des supports didactiques, dédiés à la construction d'une culture des solutions constructives. Ces études initient les acquisitions et peuvent notamment prendre appui, pour faire sens, sur les projets proposés en IT. Cela permet d'approfondir et de réinvestir les acquisitions dans le cadre d'une pédagogie active et donne du sens aux apprentissages ; ce qui n'exclut pas de susciter le besoin d'apports de connaissances et une montée en compétences pour résoudre un problème rencontré au cours d'une activité de projet en IT.

Des stratégies pédagogiques, renvoyant aux activités menées en I2D, peuvent être mises en place en IT afin de « connecter » les enseignements et rendre davantage perceptibles les connaissances et compétences développées dans les deux enseignements de spécialité.



Figure 2- Source eduscol

Quelle que soit la réponse du candidat, il est attendu qu'elle soit étayée par un documentaire précis.

2.4 Contraintes et limites d'implantation des capteurs dans un bâtiment

Question 7 : **Montrer** que l'expression du courant I fonction de la position x et du temps t peut se mettre sous la forme :

$$\frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = -C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} - G \cdot V(x, t)$$

À l'aide de la loi des nœuds, on peut écrire,

$$I(x, t) = I(x + dx, t) + V(x + dx, t) \cdot G \cdot dx + C \cdot dx \cdot \frac{\partial V(x + dx, t)}{\partial t}$$

$$\begin{aligned} \lim_{dx \rightarrow 0} \left(\frac{I(x + dx, t) - I(x, t)}{dx} \right) &= \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} = \lim_{dx \rightarrow 0} \left(-C \cdot \frac{\partial V(x + dx, t)}{\partial t} - V(x + dx, t) \cdot G \right) \\ &= -C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} - G \cdot V(x, t) = \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} \end{aligned}$$

Question 8 : En combinant les 2 équations précédentes, **montrer** alors que l'on obtient l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + RG \cdot V(x, t)$$

En dérivant $\frac{\partial V(x, t)}{\partial x}$ on obtient :

$$\frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} = -L \cdot \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t \cdot \partial x} - R \cdot \frac{\partial I(x, t)}{\partial x}$$

Puis en remplaçant $\frac{\partial I(x, t)}{\partial x}$ obtenue à la question 7 on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} &= -L \cdot \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t \cdot \partial x} - R \cdot \frac{\partial I(x, t)}{\partial x} \\ &= L \left(C \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + G \cdot \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} \right) + R \left(C \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + G \cdot V(x, t) \right) \\ &= LC \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} + (RC + LG) \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} + RG \cdot V(x, t) \end{aligned}$$

Question 9 : **Déterminer** les longueurs des lignes référencées part1 et part2 (cf. document **DT4**) puis **vérifier** que l'exigence de longueur maximale de ligne pour la Norme MODBUS est respectée.

La vitesse dans les lignes vaut : $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ avec $C = 41,7 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$ et $L = 417 \cdot \text{nH} \cdot \text{m}^{-1}$

D'où : $v = 240 * 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\text{longueur part1} = v * td_1 = 240 * 10^6 * 90 \cdot 10^{-9} = 21.6 \text{ m}$$

$$\text{longueur part2} = v * td_2 = 240 * 10^6 * 450 \cdot 10^{-9} = 108 \text{ m}$$

En combinant les 2 longueurs, on obtient 129.6m, l'exigence d'une longueur maximale de 2500m est respectée.

Question 10 : **Calculer** l'impédance caractéristique de la ligne puis **indiquer** l'origine de ce problème de transmission.

L'impédance caractéristique vaut $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = 100 \Omega$ correspondant à l'impédance caractéristique du câble. Le problème de transmission vient de l'absence des résistances de terminaison. Cela provoque des ondes qui se réfléchissent (pour de grandes longueurs de câble) et se combinent avec le signal d'origine le long de la ligne de transmission.

Question 11 : **Indiquer** les précautions à respecter pour assurer une transmission correcte du signal (topologie, terminaison, longueur).

Pour assurer une transmission correcte, il faut des résistances de terminaison correspondantes à l'impédance caractéristique et une topologie série (pas étoile).

Question 12 : Pour s'assurer de la validité du signal reçu, **indiquer** la précaution logicielle à privilégier.

Pour s'assurer de la validité du signal, il faut vérifier grâce au CRC 16 que le signal n'a pas subi de perturbation en calculant le reste pour chaque trame reçue côté capteur comme coté maître.

Partie 3. Validation de la solution technique de traitement de l'air

Question 13 : À partir des équations ci-dessus, **écrire** l'équation différentielle liant le taux de particules fines $t_{PM25}(t)$ et le débit massique de particules entrant dans la pièce $q_{ext}(t)$

En remplaçant dans l'équation (2) : $\frac{dm_{PM25}}{dt} = q_{ext}(t) - q_{PM25}(t)$

$$V \frac{dt_{PM25}}{dt} = q_{ext}(t) - e \cdot q_{air}(t) \cdot t_{PM25}(t)$$

La vitesse ω est constante.

Soit : $V \cdot \frac{dt_{PM25}(t)}{dt} + e \cdot K \cdot \omega \cdot t_{PM25}(t) = q_{ext}(t)$

On obtient donc une équation différentielle liant le taux de particules fines et le débit massique de particules.

Question 14 : Après avoir déterminé l'équation différentielle dans le domaine de Laplace, **établir** la fonction de transfert $H(p) = \frac{T_{PM25}(p)}{Q_{ext}(p)}$. **Montrer** qu'il s'agit d'une fonction de transfert d'ordre 1, puis **donner** l'expression de son gain K_1 et de sa constante de temps τ_1 en fonction de e , V , K et ω .

Dans le domaine de Laplace, CI nulles :

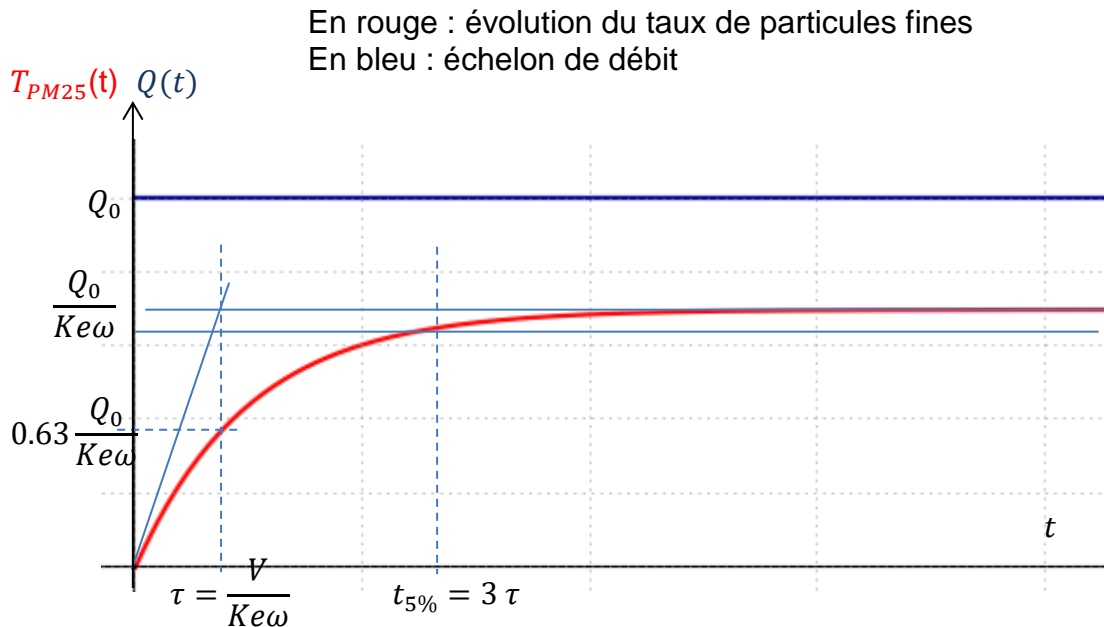
$$pVT_{PM25}(p) + eK\omega T_{PM25}(p) = Q_{ext}(p)$$

On obtient donc : $H(p) = \frac{T_{PM25}(p)}{Q_{ext}(p)} = \frac{\frac{1}{eK\omega}}{1 + \frac{Vp}{eK\omega}}$

Fonction de transfert du premier ordre de la forme : $H(p) = \frac{K_1}{1 + \tau_1 p}$

Par identification : $K_1 = \frac{1}{eK\omega}$; $\tau_1 = \frac{V}{eK\omega}$;

Question 15 : **Tracer** sur feuille de copie l'allure du taux de particules dans la pièce suite à une entrée de type débit constant (échelon de débit Q_0). **Placer** les paramètres caractéristiques et notamment $t_{5\%}$ (temps de réponse à 5%). Pour chacun des deux critères du cahier des charges, donné en début de partie, **indiquer** quels sont les paramètres influents et **proposer** des moyens d'actions possibles pour améliorer ces performances.



- Pour améliorer l'efficacité et augmenter le débit que le système est capable de supporter pour maintenir le taux de particules en dessous de $10 \mu\text{g/s}$, il faut diminuer la valeur finale $T_{PM25\infty}$. Or, $T_{PM25\infty} = K_1 Q_0 = \frac{1}{eK\omega} Q_0$. Il faut donc diminuer le gain K_1 . Pour cela il faut soit augmenter l'efficacité du filtre, soit augmenter la vitesse de rotation.
- Pour améliorer la rapidité et donc diminuer le temps de réponse à 5%, il faut diminuer $\tau = \frac{V}{Ke\omega}$. Pour cela il faut soit augmenter l'efficacité du filtre, soit augmenter la vitesse de rotation. On note que le volume de la pièce a aussi une incidence, donc il faut veiller à mettre suffisamment d'unités de confort dans le volume à traiter.

Question 16 : Par identification à partir du relevé expérimental, **déterminer** la constante de temps τ et l'efficacité e du filtre (dans le cas du filtre amélioré).

On relève le temps mis pour avoir une diminution de 63% ($\frac{63}{100} * 20 = 12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), soit le temps pour lequel la concentration est de $7,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $\tau = 5,5 \text{min}$.

On en déduit $e = \frac{V}{K\tau\omega} = \frac{40}{20 \cdot 10^{-3} * 5,5 * 620 * 2 * \pi} = 0,93$

Question 17 : **Conclure** quant au respect du cahier des charges (temps de réponse à 5% et débit maximal) pour une vitesse de rotation de $620 \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ (réglage « vitesse moyenne »), puis pour une vitesse de $770 \text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ (grande vitesse) dans ce local.

Volume à traiter par unité de confort : $V = \frac{84 \cdot 2,7}{2} = 113,4 \text{m}^3$

Critère de débit maximal : D'après question 15 : $T_{PM25\infty} = Q_0 / eK\omega$, soit $Q_0 = T_{PM25\infty} \cdot eK\omega$

Critère de rapidité (temps de réponse à 5%) : $t_{5\%} = 3\tau = 3 \frac{V}{Ke\omega}$

On obtient :

	Pour $\omega = 620$ tr/min	Pour $\omega = 770$ tr/min
Q_0	1.2 $\mu\text{g/s}$	1.5 $\mu\text{g/s}$
$t_{5\%}$	47 min	38 min

Conclusion

Le cahier des charges est respecté concernant le temps de réponse à 5% (<75 minutes). Pour le débit max, il faut absolument se placer à grande vitesse (car en petite vitesse le débit n'est pas suffisant : $1.2 \mu\text{g/m}^3 < 1.5 \mu\text{g/m}^3$)

Partie 4. **Caractérisation de l'impact de la mise en œuvre du dispositif sur le confort acoustique des usagers du bâtiment.**

4.1 Analyse des sources du bruit

Question 18 : **Déterminer** l'expression de Y_B et Z_B en fonction de la masse du balourd m , de l'angle θ , de la vitesse ω et des dimensions du système. **Montrer** que ces composantes sont périodiques de pulsation ω .

On isole la roue à aubes (1) + balourd

Torseurs dynamiques

Les torseurs sont exprimés en B (point fixe par rapport au référentiel galiléen 2)

$$\{D_{m/2}\} = \left\{ \begin{array}{c} m\overline{\Gamma(G/R0)} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{c} -me\omega^2\vec{y}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B$$

$$\{D_{1/2}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C\ddot{\theta}\vec{x} \end{array} \right\}_B$$

Bilan des actions mécaniques extérieures :

- Liaison pivot en B (pb plan) : $\{T_{2 \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c} Y_B\vec{y}_0 + Z_B\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_0$
- Action du moteur (couple)

Écriture du PFD (équations de résultantes en projection sur \vec{y}_0 et \vec{z}_0)

$$\begin{cases} -me\omega^2\cos\theta = Y_B \\ -me\omega^2\sin\theta = Z_B \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{aligned} Y_B &= -me\omega^2\cos(\theta) \\ Z_B &= -me\omega^2\sin(\theta) \end{aligned}$$

Les composantes sont bien périodiques de pulsation ω .

Question 19 : **Déterminer** le torseur de cohésion de la poutre en fonction de M_A , N_A et F . Puis, **établir** l'expression de la flèche maximale y_M (valeur maximale prise par $y(x)$). **Justifier** votre réponse.

Résolution du problème de statique :

Problème hyperstatique ($h=3$), M_A , N_A indéterminé ;

$$F + 2T_A = 0 \quad \boxed{T_A = -\frac{F}{2}}$$

Torseur de cohésion :

Pour $x \in [0, b[$:

$$\begin{cases} N = -N_A \\ T = -T_A = \frac{F}{2} \\ M_{fz} = -(M_A - xT_A) \end{cases}$$

$$\{T_{II \rightarrow I}\} = \left\{ \begin{array}{c} -N_A\vec{x}_0 + \frac{F}{2}\vec{y}_0 \\ \left[-M_A - x\frac{F}{2}\right]\vec{z}_0 \end{array} \right\}_A$$

Pour $x \in [b, 2b[$:

$$\begin{cases} N = -N_A \\ T = -T_A - F = -\frac{F}{2} \\ M_{fz} = -(M_A - xT_A - (x-b)F) \end{cases}$$

$$\{T_{II \rightarrow I}\} = \left\{ \begin{array}{c} -(N_A)\vec{x}_0 - \frac{F}{2}\vec{y}_0 \\ \left[-M_A + \frac{F}{2}(x-2b)\right]\vec{z}_0 \end{array} \right\}_A$$

Poutre soumise à flexion

Pour $x \in [0, b[$:

$$y''(x).EI_{GZ} = Mf = -M_A - x \frac{F}{2}$$

$$y'(x).EI_{GZ} = -M_A x - \frac{F}{4} x^2 + A$$

$$y(x).EI_{GZ} = -M_A \frac{x^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{x^3}{3} + B$$

condition aux limites : $y'(0) = 0$ d'où $A=0$

condition aux limites : $y(0) = 0$ d'où $B=0$

$$y(x).EI_{GZ} = -M_A \frac{x^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{x^3}{3}$$

De plus, la déformée admet une tangente horizontale en C : $y'(b) = 0$:

$$y'(b).EI_{GZ} = -M_A b - \frac{F}{4} b^2 = 0$$

Cette condition permet de lever l'hyperstatisme : $M_A = -\frac{F}{4} b$

$$\text{On obtient ainsi : } y(b) = \frac{1}{EI_{GZ}} \left(\frac{F}{4} b \frac{b^2}{2} - \frac{F}{4} \frac{b^3}{3} \right) = \frac{b^3 F}{EI_{GZ}} \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12} \right)$$

$$\text{La flèche maxi est obtenue pour } x = b : y_M = y(b) = \frac{b^3 F}{EI_{GZ}} \frac{1}{24}$$

Question 20 : **Montrer** que l'on peut établir une relation du type $F = k y_M$, où k dépend des caractéristiques géométriques et du module de Young E . **Donner** l'expression de k , puis **calculer** sa valeur numérique.

$$k = \frac{F}{y_M} = \frac{24EI_{GZ}}{b^3} = 7680 \text{ N.m}^{-1}$$

Question 21 : **Indiquer** s'il y a risque de résonance et pour quelle pulsation approximative (en rad.s^{-1}). À partir de la documentation technique **DT7**, **relever** la plage de vitesse d'utilisation du ventilateur sachant que seules les vitesses V_1 , V_2 et V_3 sont utilisées. **Conclure**.

Évaluation du risque de résonance

$$z = \frac{f}{2\sqrt{km}} = 0.012 \text{ donc } z < 0.7 \text{ il y a résonance pour } \omega \approx \omega_0 \text{ (car } z \text{ très faible)}$$

Vitesse de rotation menant au phénomène de résonance (vitesse à éviter)

$$\omega_0 = 83,7 \text{ rad.s}^{-1}$$

D'où la vitesse de rotation à éviter est de $83,7 \text{ rad.s}^{-1}$ soit environ 800 tr.min^{-1} .

Conclusion

La plage de vitesse de rotation utilisée est 570 tr.min^{-1} à 900 tr.min^{-1} (60 rad/s à 94 rad/s).
En vitesse 3 on atteint déjà 900 tr.min^{-1} : ceci est problématique.

Question 22 : **Justifier** le choix du modèle de chargement présenté sur le **DT8**. **Conclure** quant au risque d'entrer en résonance dans la plage d'utilisation du moteur. **Indiquer** le déplacement qu'il convient d'imposer lors de la phase de précharge au montage, et **proposer** un protocole de montage.

Le montage du moteur dans son berceau est réalisé par deux guidages aux deux extrémités du berceau. L'effort généré par les effets dynamiques dus au balourd de la roue à pale se situe en porte à faux par rapport à ces guidages. On modélise l'action

de contact entre le berceau et la plaque, par deux chargements surfaciques de directions opposées.

La pulsation de résonance la plus faible est autour de 473 rad/s soit 75 Hz, soit 4500 tr/min.

On sera donc très loin de la fréquence de résonance en fonctionnement (même en V3 : 900tr/min)

On peut donc utiliser le résultat de l'étude statique pour estimer les déplacements, et vérifier qu'il n'y aura pas de perte de contact avec le déflecteur. Dans la zone de contact, on obtient un déplacement max de 3 μm . Il suffira d'apporter une précontrainte conduisant à au moins ce déplacement.

4.2 Propagation acoustique au sein de l'installation

Question 23 : **Déterminer** le niveau de puissance acoustique global $L_{wglobal}$ [dB] à l'aspiration + rayonnement ainsi qu'au soufflage et **compléter** le document réponse **DR2**.

$$L_{wglobal Asp+Ray} [dB] = 10 \log(10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{49}{10}} + 10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{43}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 53.64 \text{ dB}$$

$$L_{wglobal Soufflage} [dB] = 10 \log(10^{\frac{44}{10}} + 10^{\frac{46}{10}} + 10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{25}{10}}) = 50.59 \text{ dB}$$

Question 24 : **Déterminer** le niveau de puissance L_w [dB(A)] à l'aspiration + rayonnement ainsi qu'au soufflage, par bande d'octaves et **renseigner** le tableau du document réponse **DR2**. **Vérifier** que $L_{wglobal}$ [dB(A)] dû au soufflage et l'aspiration est de 51 dB(A) (arrondi au dB supérieur).

$$L_{wglobal Asp+Ray} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{31.9}{10}} + 10^{\frac{40.4}{10}} + 10^{\frac{44.8}{10}} + 10^{\frac{42}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{28}{10}}) = 48.44 \text{ dB(A)}$$

$$L_{wglobal Soufflage} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{27.9}{10}} + 10^{\frac{37.4}{10}} + 10^{\frac{41.8}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{26}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 46.11 \text{ dB(A)}$$

$$L_{wglobal Soufflage+Asp} [dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{48.44}{10}} + 10^{\frac{46.11}{10}}) = 50.44 \text{ dB(A)} \approx 51 \text{ dB(A)}$$

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	$L_{wglobal}$
L_w (dB) Aspiration + rayonnement	48	49	48	43	37	27	53.64
L_w (dB) Soufflage	44	46	45	41	37	25	50.59
Pondération A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	
L_w (dB(A)) Aspiration + rayonnement	31.9	40.4	44.8	42	38.2	28	48.44
L_w (dB(A)) Soufflage	27.9	37.4	41.8	41	38.2	26	46.11

Question 25 : En utilisant le principe de conservation de la puissance acoustique, **déterminer** le niveau de puissance L_{WA} [dB(A)] à l'entrée des trois gaines en A, B et C en considérant qu'ils sont égaux.

$$P_{CTA} = P_A + P_B + P_C$$

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	$L_{wglobal}$
L_w (dB) Aspiration + rayonnement	48	49	48	43	37	27	53.64
L_w (dB) Soufflage	44	46	45	41	37	25	50.59
Pondération A	-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	
L_w (dB(A)) Aspiration + rayonnement	31.9	40.4	44.8	42	38.2	28	48.44
L_w (dB(A)) Soufflage	27.9	37.4	41.8	41	38.2	26	46.11

On considère que les trois niveaux de sortie en A, B et C sont égaux $L_{WA} = L_{WB} = L_{WC}$

$$L_{wglobal} = 51 = 10 * \log(3 * 10^{\frac{L_{WA}}{10}})$$

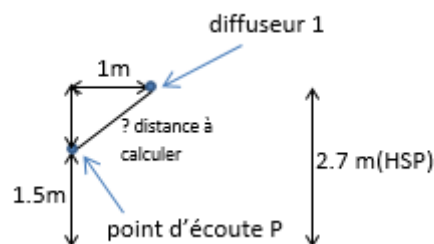
$$\text{D'où } L_{WA} = 10 * \log\left(\frac{51}{3}\right) = 46.23 \text{ dB(A)}$$

Question 26 : **Calculer** le niveau de puissance L_{w1} [dB(A)] à la sortie des bouches de soufflage numérotées 1, 2 et 3 en tenant compte de l'atténuation acoustique dans les gaines.

En tenant compte de l'atténuation des gaines (- 4 dB/mètre), on obtient $L_{w1} = L_{WA} - 4 * 2 = 38.23 \text{ dB(A)}$

Question 27 : À partir du document **DT11**, **justifier** de manière qualitative que l'étude acoustique pour l'auditeur situé au point P se limite au diffuseur 1 et **déterminer** le niveau de pression acoustique $L_{pdirect}$ au point P.

L'auditeur est très proche en distance du diffuseur 1 par rapport aux autres diffuseurs. On pourra considérer que la source prépondérante est donc le diffuseur 1. Calcul de la distance entre l'auditeur et le point 1 :



$$r = \sqrt{1.2^2 + 1^2} = 1.56 \text{ m}$$

Avec un facteur de directivité de 2 et une distance de 1,56 m, on obtient :

$$L_{pdirect} = L_{w1} + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) = 38.23 + 10 \log\left(\frac{2}{4 * \pi * 1.56^2}\right) = 26.38 \text{ dB(A)}$$

Question 28 : D'après la formule de Sabine, **déterminer** l'aire d'absorption A du local. En déduire la constante d'absorption R du local ainsi que le niveau de pression $L_{p_{réverbéré}}$ [dB(A)].

$$A = 0.16 \frac{V}{T} = 0.16 \frac{2.7 * 7 * 12}{0.5} = 72.6 \text{ m}^2$$

Avec V = volume de la pièce = $2.7 * 7 * 12 = 226.8 \text{ m}^3$

Calcul de la surface des parois de la pièce $S = 2 * 12 * 7 + 2 * 2.7 * 12 + 2 * 2.7 * 7 = 270.6 \text{ m}^2$

$$R = \frac{AS}{S - A} = \frac{72.6 * 270.6}{270.6 - 72.6} = 99.22 \text{ m}^2$$

D'où $L_{p_{réverbéré}} = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right) = 38.23 + 10 \log \left(\frac{4}{99.22} \right) = 24.28 \text{ dB(A)}$

Question 29 : **Conclure** quant au respect de la norme acoustique dans l'open-space du plateau 1 en considérant à la fois le champ direct et réverbéré.

$$L_p = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p_{direct}}}{10}} + 10^{\frac{L_{p_{réverbéré}}}{10}} \right) = 10 \log \left(10^{\frac{26.38}{10}} + 10^{\frac{24.38}{10}} \right) = 28.50 \text{ dB(A)}$$

$$< 30 \text{ dB(A)}$$

Le respect de la norme est assuré.

Partie 5. **Épreuve commune**

Question 30 : En complétant la fiche de description du projet (cf. document **DP3**) **proposer** un projet permettant la mise en place de l'épreuve commune de contrôle continu en fin de première en STI2D.

Épreuve commune.

Il est attendu ici que le candidat soit capable de réinvestir des documents et des ressources techniques et scientifiques dans le cadre d'une exploitation pédagogique, en particulier pour le projet de fin de première.

Plusieurs réponses sont possibles, mais l'observation portera sur l'appropriation du document de cadrage, l'adaptation des documents techniques pour le niveau demandé, la démarche de projet proposée incluant la définition et la répartition des tâches dans le temps imparti.

Exemple de réponse possible :

Intitulé du projet : Qualité de l'air intérieur.

Le besoin initial : Les enjeux sanitaires et économiques liés à la qualité de l'air intérieur sont importants. Les polluants atmosphériques causent chaque année 48 000 morts prématurées en France et la pollution de l'air est classée 10ème facteur de risque de décès dans le monde.

La finalité du produit : Améliorer la qualité de l'air intérieur.

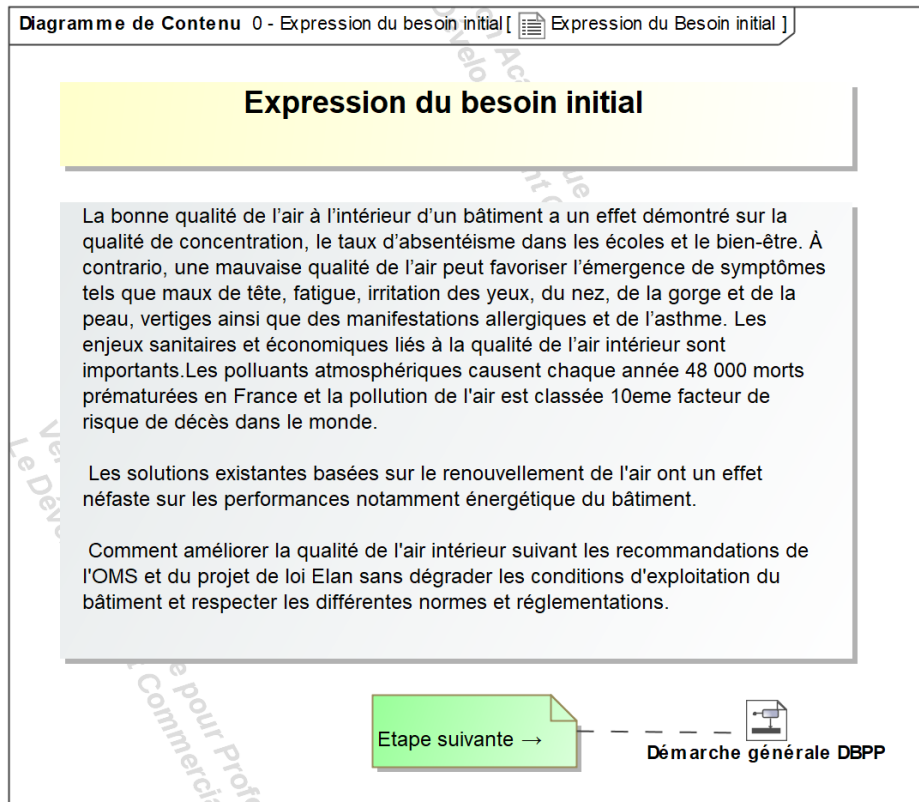
Le problème technique à résoudre : Comment améliorer la qualité de l'air intérieur sans détériorer la consommation énergétique du bâtiment ?

La production finale attendue : Prototype d'un système validant les fonctions définies dans le cahier des charges.

Les quatre éléments précédents s'appuient sur la mise en situation du sujet.

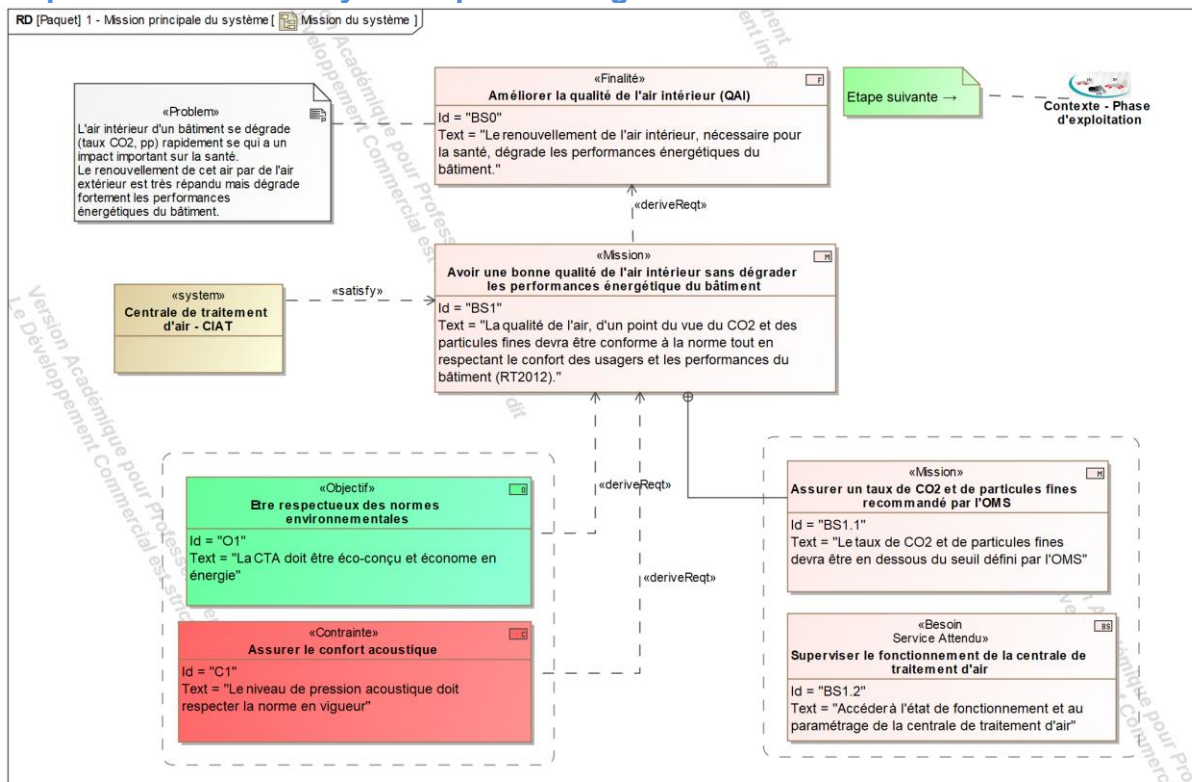
1- Le diagramme de contenu (l'expression du besoin) :

Reprend la mise en situation du sujet

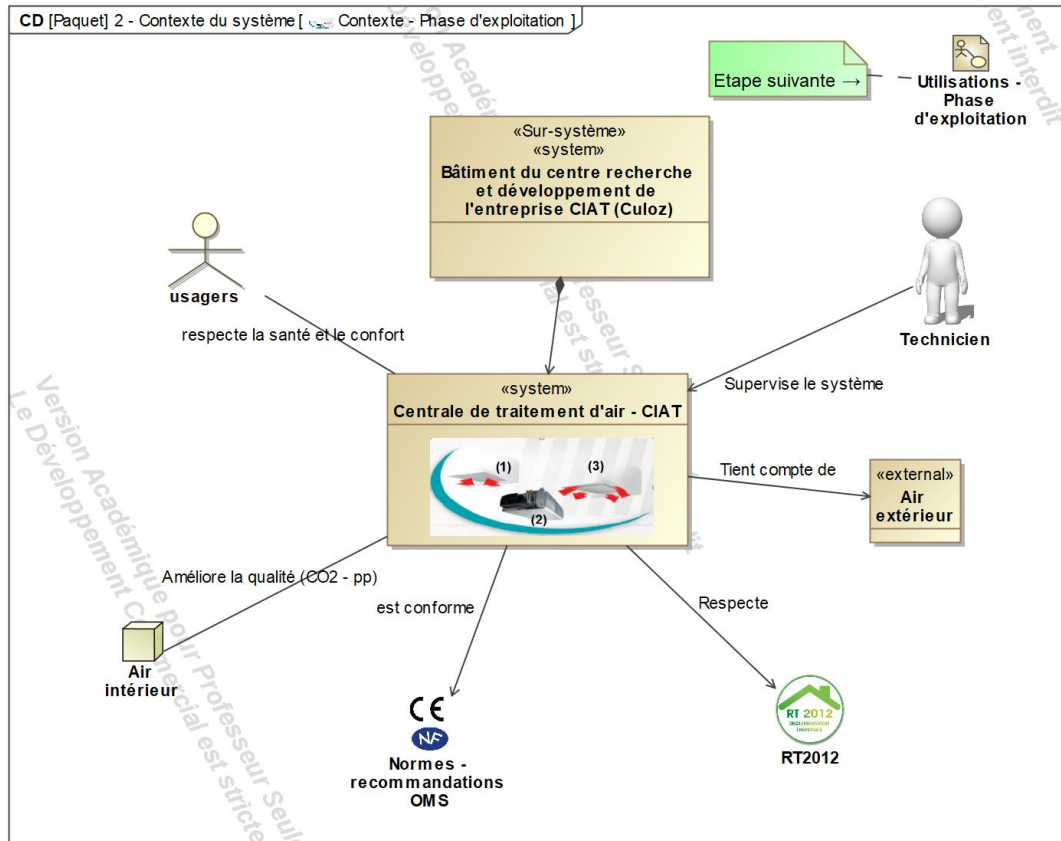


2- Le diagramme d'exigences (mission du système) :

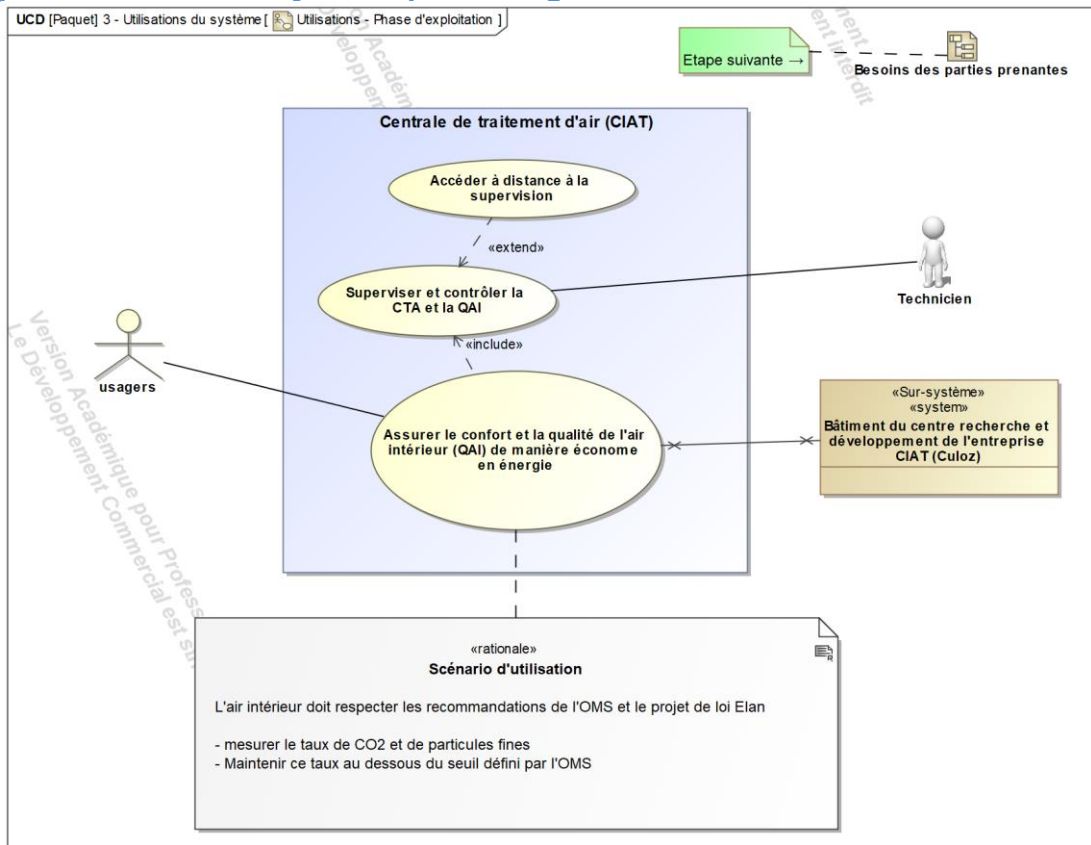
Reprend de manière synthétique les diagrammes du DT2



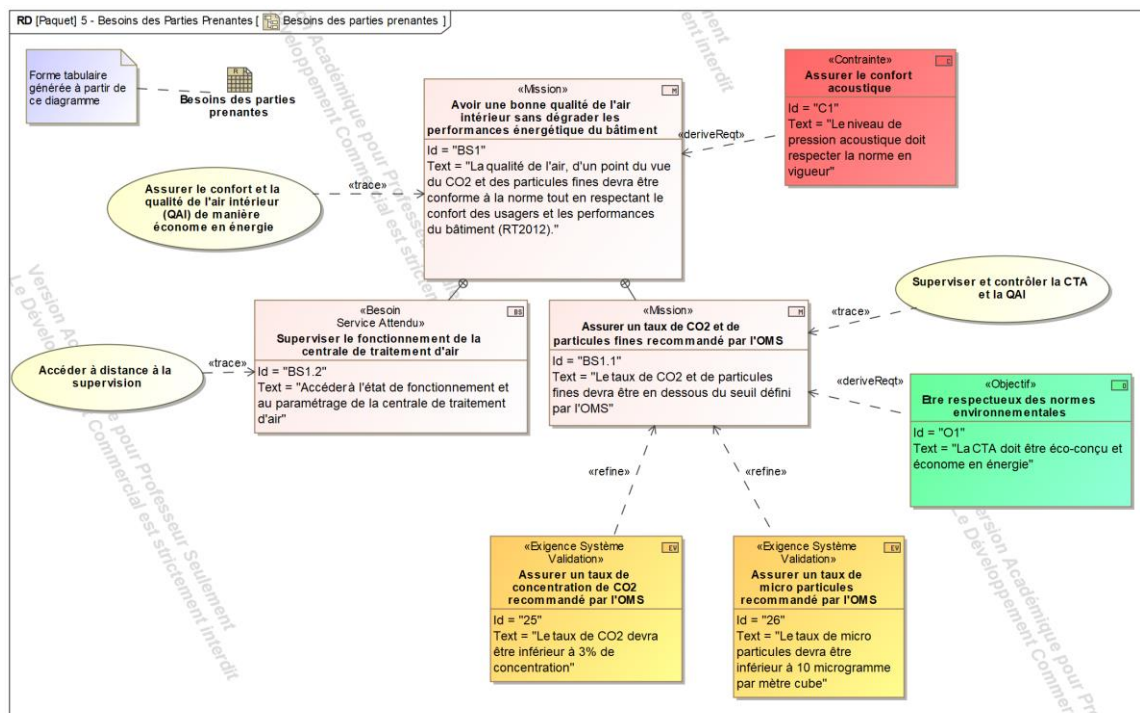
3- Le diagramme de contexte (contexte du système) : Reprend le contexte d'étude du sujet



4- Le diagramme de cas d'utilisation (utilisation du système) : Reprend de manière synthétique le diagramme de cas d'utilisation du DT2



5- Le diagramme d'exigences (besoins des parties prenantes) :

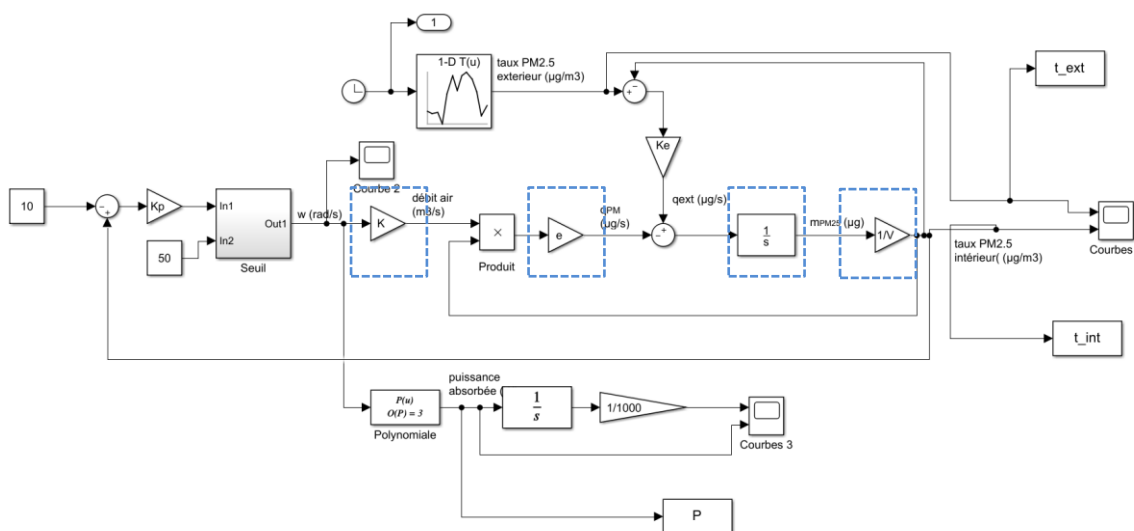


La définition des tâches « élèves » doit être en lien avec les indicateurs de performance de la grille d'évaluation. Certaines tâches seront communes au groupe tandis que d'autres seront individuelles.

Partie 6. Synthèse

6.1 Stratégie de pilotage proportionnelle

Question 31 : À partir des équations (1), (2), (3), et (4) de la **partie 3**, finaliser ce modèle en complétant les zones dans les cadres en pointillés du document réponse **DR3**. Indiquer aussi dans le cadre prévu le rôle du bloc entouré sur le document réponse.



Le bloc K2 sert à modéliser un débit de particule entrant dans le bâtiment proportionnel à l'écart entre le taux de particules intérieur et extérieur.

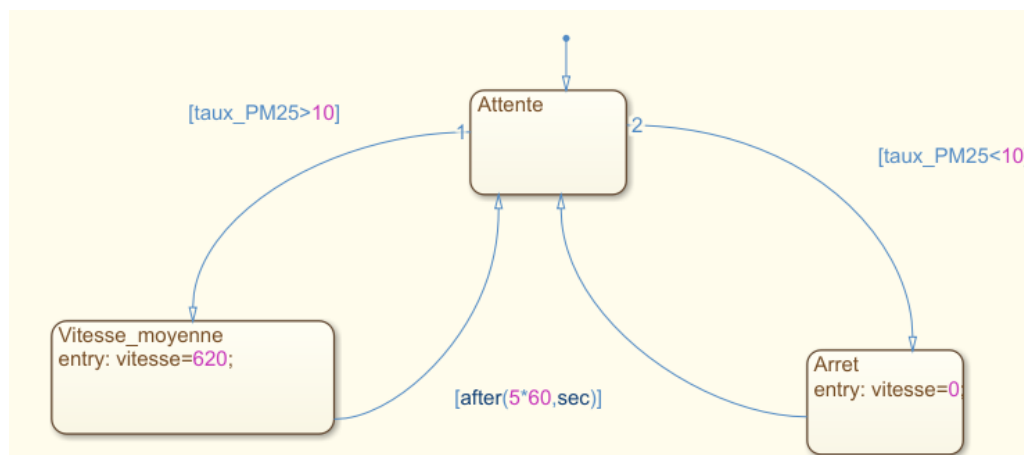
Question 32 : **Indiquer** pourquoi le taux de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est pas toujours atteint. **Prévoir** l'effet du gain Kp sur la consommation énergétique. Par analyse de la courbe de vitesse (courbe 2 – DT12), **indiquer** pourquoi cette stratégie a un effet négatif sur le confort de l'utilisateur.

Le fait d'avoir une vitesse seuil de 50 rad/s fait que tant que l'écart n'est pas supérieur à $50/Kp$ le système ne démarre pas, ce qui explique les dépassements du taux autorisé (notamment pour des faibles valeurs de Kp)

L'augmentation de Kp permet de limiter ces dépassements, mais risque d'augmenter la consommation en énergie, car le moteur fonctionnera toujours dans des plages de vitesses élevées, mais sera sujet à des arrêts et redémarrages très fréquents (parfois même si rapides que le moteur n'aura pas le temps d'atteindre sa vitesse de consigne).

Ce fonctionnement conduit à des arrêts et redémarrages fréquents du moteur ce qui va faire un bruit variable dans la pièce et sera pénible pour les usagers.

Question 33 : **Compléter** le graphe d'état de la seconde page du document réponse DR3. *Le respect de la syntaxe ne sera pas évalué.*



Question 34 : À partir de l'analyse des courbes obtenues par simulation (simulation 2 du document DT12 page 2), **déterminer** la consommation énergétique en kWh sur une journée de travail (7h-19h). **Valider** le respect des exigences 1.1.1 et 1.4 dans le cadre de l'étude.

D'après le document DR3, les courbes 3 du DT2/2 sont d'une part la puissance consommée (en W) et d'autre part l'énergie (en kJ) (intégration de la puissance).

On lit sur la courbe donnant l'énergie dépensée, qu'au bout de 12h l'énergie dépensée est de $28\text{kW}\cdot\text{s}$ (kJ), soit $7,8\text{W}\cdot\text{h}$.

La simulation a été faite dans un pièce de 42 m^2 (1 seule unité de confort).

On obtient donc : $0,18\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2/\text{jour}$; soit $68\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2/\text{an}$

On est donc bien en dessous des $1500\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2/\text{an}$ du cahier des charges.

La courbe 1 donne le taux de particules fines obtenu : on est en dessous du seuil imposé de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'exigence 1.4 est donc validée.

Question 35 : **Calculer** le gain énergétique pour l'ensemble du plateau 1 de la stratégie « Smart CIATControl » sur une journée (7h-19h) par rapport à une stratégie où le système serait mis en route en permanence à vitesse moyenne. **Indiquer** qualitativement le bénéfice acoustique.

Sur 12h en vitesse moyenne : puissance de 9W d'où 114W.h. Gain de 106W.h. Le système fonctionne bien moins longtemps d'où bénéfice acoustique.

Question 36 : **Analyser** l'ensemble des 6 parties du sujet et **conclure** sur l'intérêt du système au regard des contraintes de qualité de l'air.

Le sujet évoque les enjeux en lien avec la santé et la contradiction entre le fait de vouloir rendre « étanche » une habitation pour diminuer sa consommation énergétique et le renouvellement de l'air intérieur. La première partie consiste à comparer différents dispositifs pour mettre en évidence l'impact sur la qualité de l'air intérieur ou la consommation énergétique. L'élément le plus nocif étant le taux de particules fines, les parties 2, 3 et 4 permettent de caractériser la qualité de l'air à partir de ce taux puis de valider la solution proposée par l'entreprise au regard de la qualité de l'air, mais également de l'impact acoustique.

Pour conclure, au vu des contradictions évoquées, le système proposé apporte une partie de la réponse en permettant le traitement de l'air intérieur sans apport d'air extérieur et donc sans perte énergétique due à une entrée d'air extérieur, mais le système a besoin tout de même d'une énergie pour fonctionner.

Une gestion globale (étanchéité, flux d'air extérieur, flux d'air intérieur) est à envisager avec une priorité sur la qualité de l'air, car c'est un élément lié à la santé, accompagnée d'une optimisation pour dépenser le moins possible d'énergie.

COMMENTAIRES DU JURY

PRÉSENTATION DU SUJET

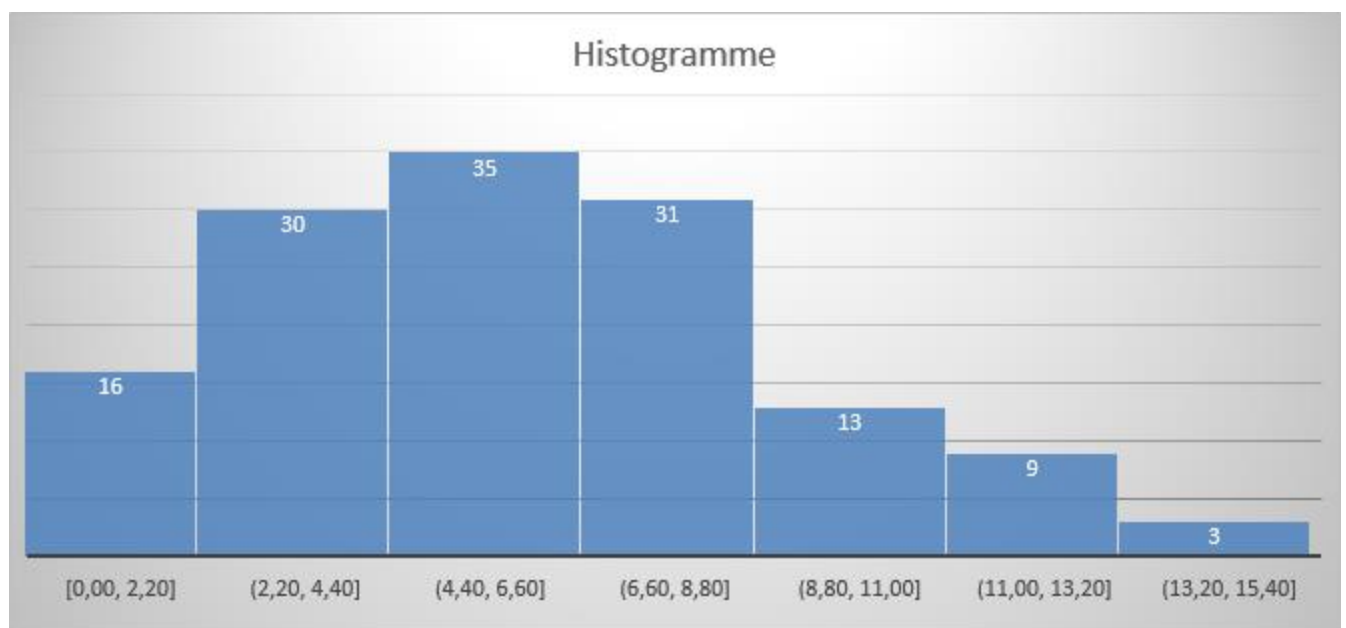
Le sujet porte sur l'étude de la qualité de l'air et des solutions technologiques pouvant garantir cette qualité au regard des consommations énergétiques du bâtiment. Dans un premier temps, le sujet met en évidence deux phénomènes importants pour une habitation : l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, important pour la santé des personnes, ainsi que la diminution de la consommation énergétique, important dans une démarche de développement durable. Une comparaison entre différents dispositifs montre la difficulté d'améliorer un phénomène sans détériorer le second. Afin de répondre à cette contradiction, la seconde partie a cherché à caractériser la qualité de l'air par son taux de particules fines, élément très nocif pour la santé. Ensuite les candidats ont étudié la solution technique proposée par l'entreprise afin de la valider au regard des exigences réglementaires. Cette solution technique utilisant un système de ventilation, une analyse de l'impact acoustique est proposée dans la quatrième partie. La dernière partie est l'occasion d'effectuer une synthèse de l'étude globale.

En plus de la partie 5 qui est purement d'ordre pédagogique, tout au long du questionnement scientifique, des questions pédagogiques (question 3 dans la partie 1 et question 6 dans la partie 2) sont posées afin d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié.

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

- Questions scientifiques 60 %
- Questions pédagogiques 40 %

COMMENTAIRE GÉNÉRAL DES RÉSULTATS DE L'ÉPREUVE



Le sujet est structurellement long, mais le fait que certaines questions pédagogiques soient intégrées dans les parties scientifiques semble permettre un meilleur traitement de celles-ci. Il en résulte une évaluation plus large des compétences des candidats. Ils peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité.

Il subsiste néanmoins quelques rares candidats qui ne traitent pas (ou de manière très superficielle) les parties pédagogiques. Il s'agit souvent de candidats ayant un potentiel important, révélé par des réponses pertinentes aux questions scientifiques. Le jury rappelle que ces candidats se retrouvent fortement pénalisés sur la note finale étant donné le poids non négligeable de la partie pédagogique. Il est fortement conseillé à ces candidats de mieux préparer cette épreuve et de lui réserver un temps plus important pendant l'épreuve.

Une lecture complète du dossier est conseillée afin de s'imprégner du sujet.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension et les questions posées sont globalement au niveau des candidats. Seulement 1 question sur 36 n'a pas permis aux candidats d'obtenir le maximum de points.

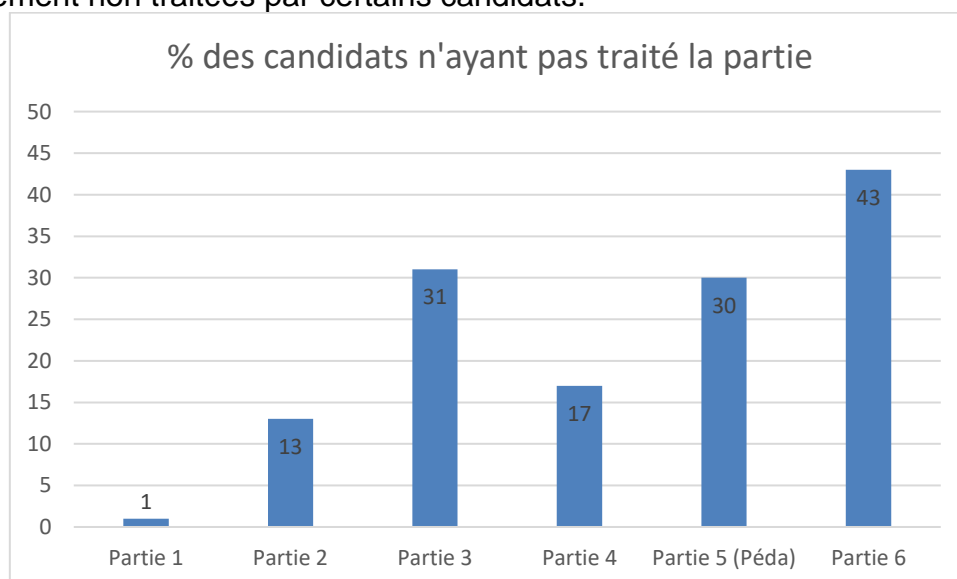
Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Sur les parties pédagogiques, de nombreux candidats n'ont pas pris connaissance des évolutions du programme de STI2D. Il y a de nombreuses confusions entre l'ancien et le nouveau programme, par exemple des erreurs entre spécialité et enseignement spécifique. Il est noté également que de nombreuses réponses ne correspondent pas aux attentes. Le jury conseille d'être attentif lors de la lecture du sujet d'autant que certains éléments de réponse sont parfois présents dans le dossier.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques générales :

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



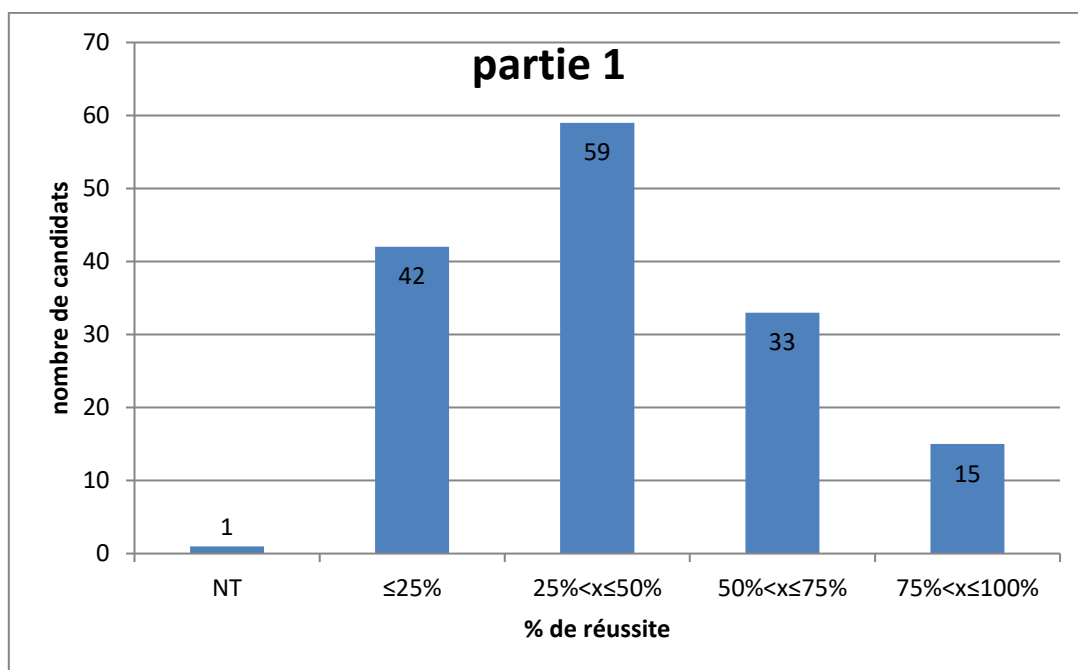
Partie 1 : Identification des contraintes réglementaires et des enjeux de santé publique.

Cette première partie est largement traitée par les candidats (99%). Les premières questions permettaient d'entrer dans le sujet progressivement, d'analyser le contexte et les contraintes liées à l'enjeu de la qualité de l'air intérieur.

Les candidats ont abordé cette partie correctement proposant des réponses pertinentes.

Le jury note cependant qu'une minorité de candidats ne maîtrisent pas correctement la notion de critère de choix, ou ont une lecture trop rapide du sujet, et s'engagent dès la première question dans une longue étude comparative des différentes solutions techniques en se détachant du contexte.

Dans cette partie, la question 3 est d'ordre pédagogique. Elle a été largement traitée par les candidats (93%), mais 16% n'ont pas répondu correctement.



Partie 2 : Caractérisation de la qualité de l'air.

Cette seconde partie portait sur la capacité de pouvoir mesurer un taux de particules fines dans un bâtiment, et donc s'intéressait au moyen de mesure (capteur de mesure de microparticules) et au transport de l'information.

La question 4 a été souvent traitée. Une majorité de candidats connaissent l'expression de la puissance dissipée dans une résistance, mais un grand nombre d'entre eux sont bloqués par la détermination de la tension à ses bornes à partir de la lecture du schéma électrique DT3.

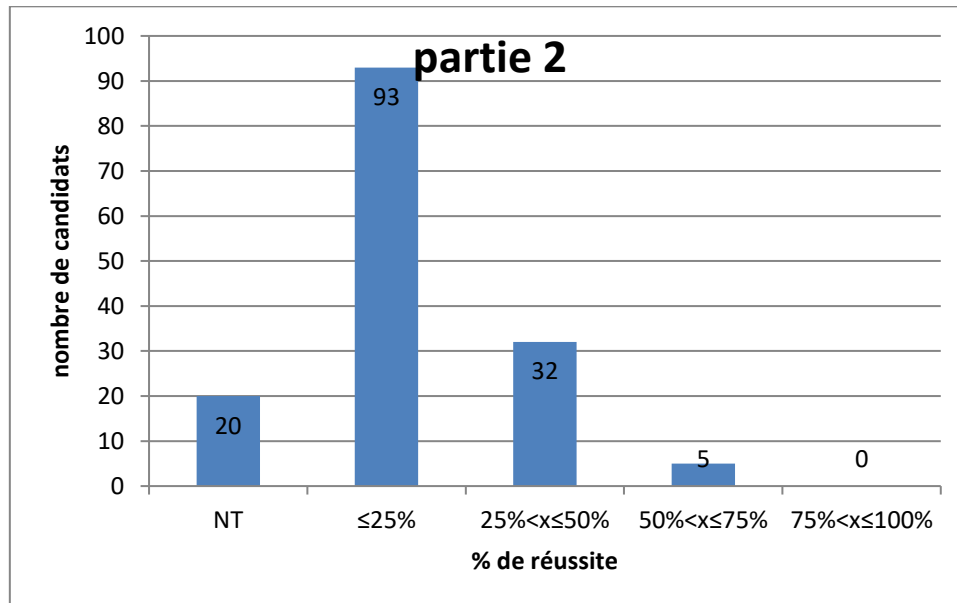
La question 5 a souvent peu été réussie.

La question 6, d'ordre pédagogique, amène le candidat à proposer des compétences et connaissances abordables par le sujet en question, puis une réflexion pour faire un lien pédagogique entre l'enseignement IT et I2D.

67% des candidats ont traité cette question. Parmi eux de nombreux candidats se sont contentés de lister quelques compétences sans justification.

Concernant le lien entre les enseignements de spécialité IT et I2D, le jury note d'importantes confusions entre IT/I2D/2I2D et parfois avec AC/ITEC/EE/SIN. Certains évoquent même des heures d'enseignement de « construction » pour expliquer l'articulation entre les deux enseignements.

Les questions 7 et 8, ont souvent été bien traitées par les candidats qui les ont abordées. Il a été accordé beaucoup d'importance à la justification précise des étapes du calcul dans la notation, puisque les expressions devaient être démontrées.



Partie 3 : Validation de la solution technique de traitement de l'air.

Cette partie avait pour but de modéliser le comportement de l'installation dans le cas d'un recyclage de l'air intérieur avec filtration.

La première question de cette partie consistait à combiner les lois du modèle donné dans le sujet pour obtenir l'équation différentielle régissant le taux de particules fines.

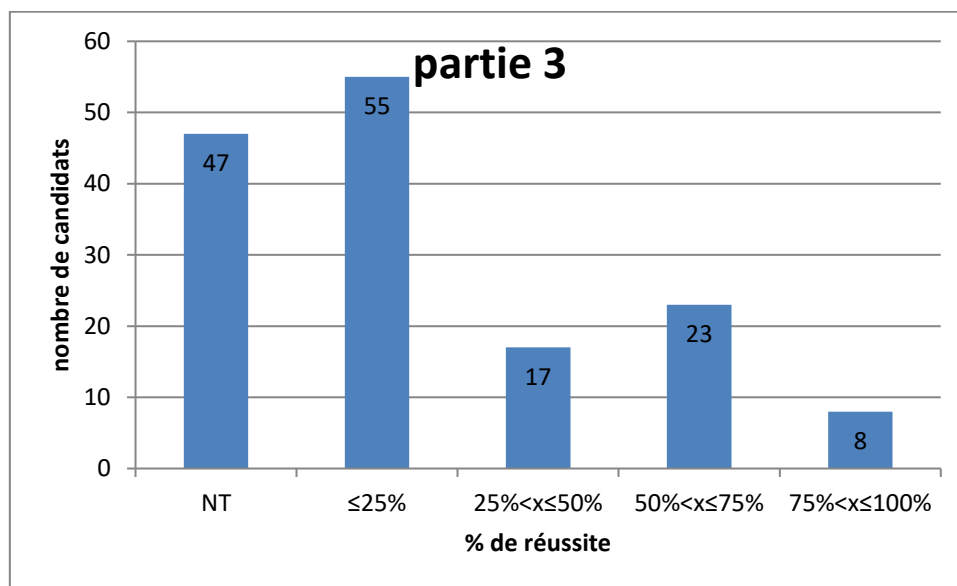
Puis, une étude des performances était demandée, dans deux configurations :

- Première configuration : on part d'un taux de particule nul initialement, puis le débit de particule entrant est constant. Cette partie permettait de montrer qu'après une phase transitoire, le taux de particules fines converge vers une valeur constante ;
- Deuxième configuration : le débit est nul, mais le taux de particules fines initial est non nul, on observe la décroissance du taux de particules, et on peut estimer le temps mis pour atteindre un seuil limite.

La question 14 est dans l'ensemble bien traitée par les candidats qui l'ont abordée. En revanche beaucoup de candidats, proposent une allure de courbe fautive, car ils proposent l'allure de la courbe obtenue dans la seconde configuration donnée dans le sujet.

En revanche, l'identification à partir du relevé expérimental conduit souvent à de bons résultats. Certains candidats s'appuient sur leur connaissance du comportement d'un modèle d'ordre 1, d'autres utilisent l'expression de la fonction donnée dans le sujet.

La synthèse demandée en question 17, est très rarement correcte, montrant une difficulté des candidats à prendre du recul par rapport aux performances attendues.



Partie 4 : Caractérisation de l'impact de la mise en œuvre du dispositif sur le confort acoustique des usagers du bâtiment.

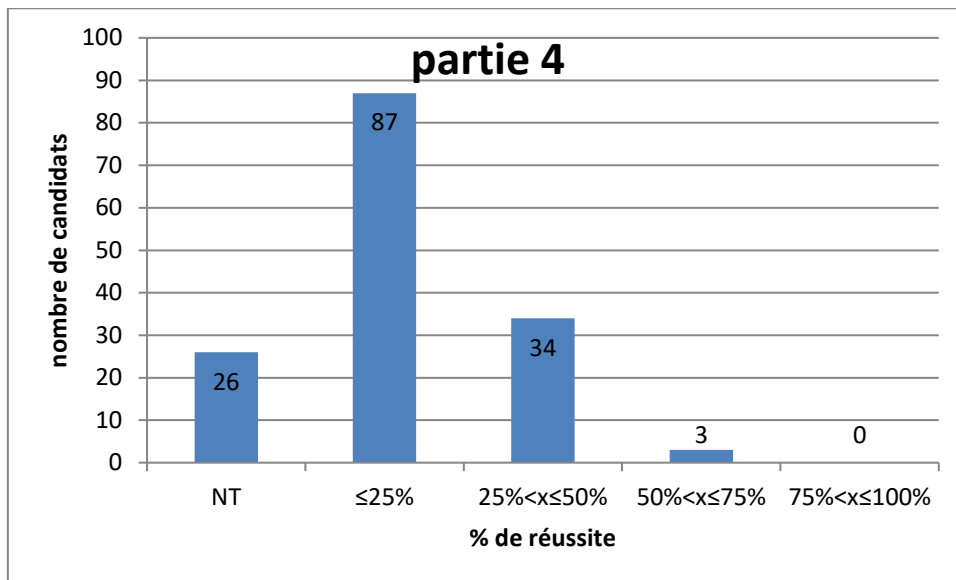
Cette partie visait à définir l'impact du système sur le confort acoustique des usagers, en étudiant d'une part le bruit mécanique dû à un mauvais équilibrage du rotor, et d'autre part, au travers d'une étude acoustique, en étudiant sa propagation dans l'installation.

La question 18 était une étude dynamique assez standard, qui a malgré tout posé problème à un certain nombre de candidats. Certains n'ont pas compris ou lu les hypothèses (utilisation du principe fondamental de la statique, prise en compte de la pesanteur), d'autres ont une approche très peu rigoureuse.

Les questions 19 et 20 portaient sur une résolution de type résistance des matériaux. Le problème était hyperstatique, mais la plupart des candidats n'ont pas été gênés par cet aspect, tout au moins jusqu'à la fin de la question 20. Les résultats sont très inégaux sur ces deux questions. La méthode est parfois très bien appliquée. Certains candidats en revanche, ont une méthodologie non maîtrisée, ne découpant par exemple pas la poutre en deux tronçons.

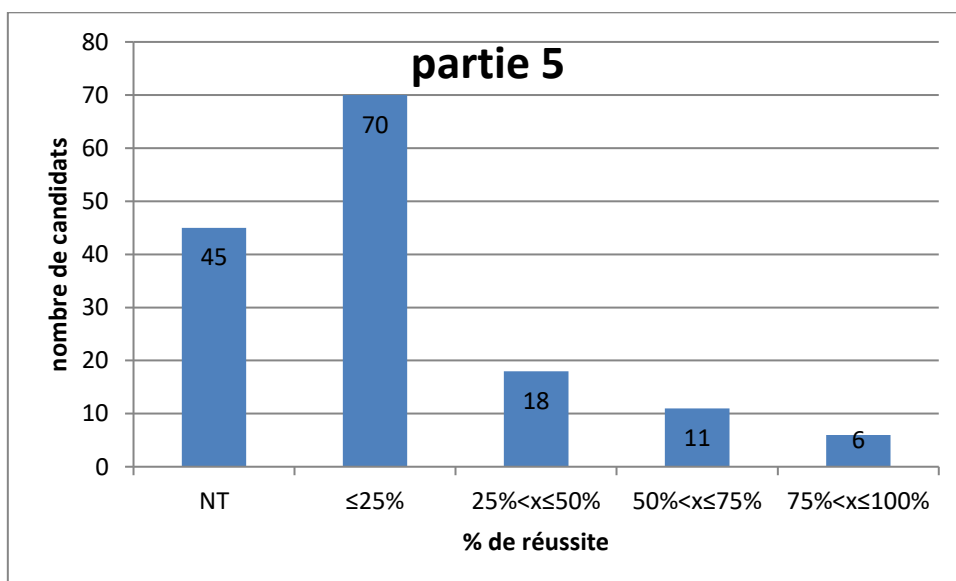
La démarche et la justification ont été largement prises en compte dans l'évaluation.

Les questions 23 à 29 portaient sur étude acoustique. Tous les éléments théoriques étaient donnés en annexe, ce qui permettait d'aborder cette partie même sans connaissances particulières dans le domaine. Certains candidats ont montré sur cette partie une bonne capacité d'adaptation.



Partie 5 : Épreuve commune

Il s'agissait dans cette partie de proposer un projet en s'appuyant sur le contexte et le système proposés dans les parties précédentes. 30% des candidats n'ont pas traité cette partie. Parmi les candidats ayant traité cette partie, quelques-uns ont proposé des supports n'ayant aucun lien avec le sujet. Le jury note une mauvaise connaissance de la démarche d'Ingénierie Système, mais au-delà de cet aspect, très peu de candidats ont proposé un projet cohérent avec une définition des tâches permettant l'évaluation des compétences ciblées. On retrouve également dans cette partie une forte méconnaissance de l'évolution des enseignements en STI2D. Certains ont évoqué les enseignements de spécialité ITEC, AC, EE, SIN pour le projet de fin de première.

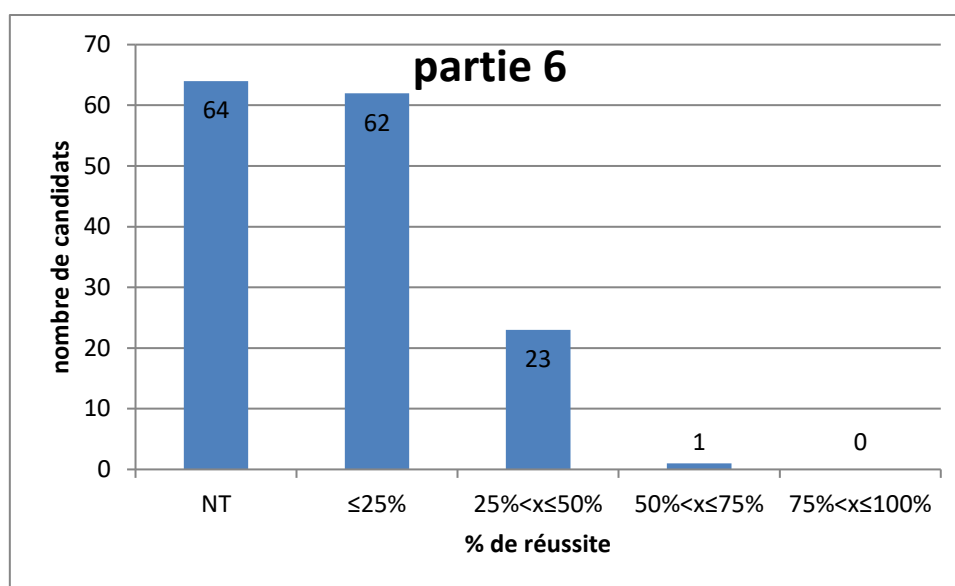


Partie 6 : Synthèse

Cette partie a été peu traitée.

Cependant, elle permettait de valoriser d'autres aspects, par la mise en place d'un modèle multi physique, et ne nécessitait pas de compétences très poussées en termes de calculs ou de l'utilisation de l'outil mathématique. Quelques candidats ont saisi cette opportunité.

La question 33 demandait de compléter un graphe d'état. La syntaxe n'a pas été évaluée, mais les réponses apportées montrent que les candidats ne maîtrisent pas toujours la distinction entre état et transition, et proposent un diagramme qui n'a même pas de sens général correct.



Recommandations

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. Ce fut notamment le cas pour la partie acoustique. De plus, s'agissant d'une épreuve transversale, de nombreuses informations fournies s'avèrent utiles pour répondre à la question posée.

Au-delà des résultats des parties scientifiques ou des propositions des parties pédagogiques, il est avant tout attendu la mise en évidence d'une méthode de résolution ou une démarche réflexive montrant une maîtrise des deux domaines. On évitera donc de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement. De même, les réponses d'ordre pédagogique doivent s'appuyer sur l'étude scientifique afin de donner du sens à la démarche pédagogique envisagée et à la didactique.

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

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

Coefficient 1 – Durée 4 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

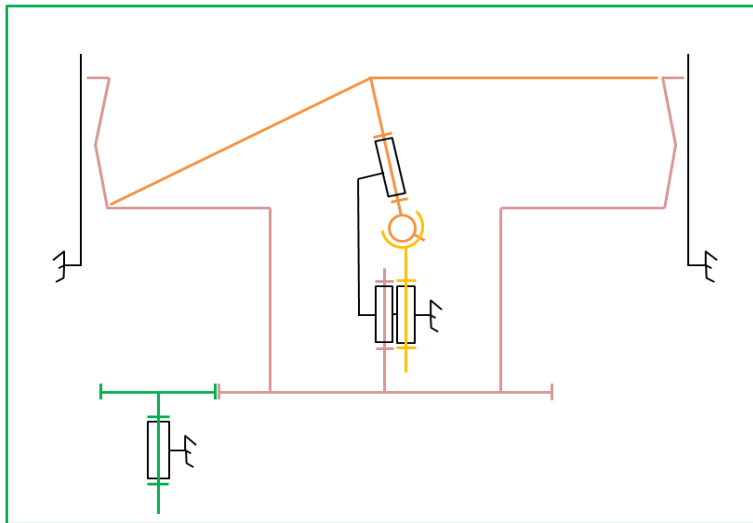
ÉLÉMENTS DE CORRECTION

1^{RE} PARTIE : ANALYSE DE LA MACHINE ET DE SON COMPORTEMENT (Durée conseillée : 40 min)

Objectifs : analyser le comportement cinématique de la machine, comparer ses performances réelles avec celles simulées et interpréter les écarts.

Question 1.1
DT1 à DT3, DT9
Feuille de copie

Proposer un schéma cinématique minimal plan de la machine. Ni le système de déburrage ni le système de convoyage ne seront représentés.

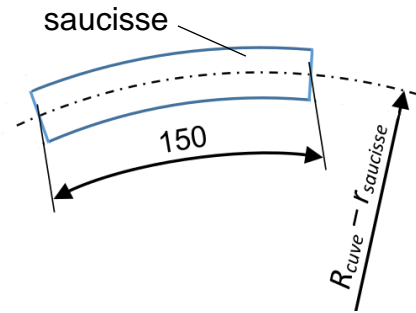


Les produits à conditionner sont des saucisses de forme régulière, de diamètre 30 mm et de longueur 150 mm. S'accumulant dès le bord de cuve, leur cadence de sortie dépend ainsi directement de la vitesse linéaire de cuve. Le diamètre extérieur de la cuve est de 1 200 mm.

Question 1.2
DT4
Feuille de copie

Déterminer la fréquence de rotation de la cuve permettant de respecter la cadence imposée par les exigences du système.

Les produits se trouvent alignés sur la périphérie de la cuve au niveau de la sortie de la machine. On trouve le nombre de saucisses sur un tour de cuve (en corrigeant du demi-diamètre de la saucisse, les saucisses étant déformées) :



$$nb_{saucisse}/tour = \frac{2 \cdot \pi \cdot (R_{cuve} - r_{saucisse})}{L_{saucisse}}$$

$$nb_{saucisse}/tour = \frac{2 \cdot \pi \cdot (600 - 15)}{150} = 24,5 \text{ saucisses} \cdot tr^{-1}$$

La cadence imposée étant de 600 produits par minute, la fréquence de rotation de la cuve est :

$$N_c = \frac{600 \cdot 150}{2 \cdot \pi \cdot (600 - 15)} = 24,49 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

On s'intéresse aux performances de la cuve, dont le modèle multi-physique proposé permet de simuler le comportement (voir DT5).

Question 1.3
DT5
DR1

Compléter le tableau en identifiant, pour chacun des blocs figurant sur le modèle, les types de grandeurs, les grandeurs entrées-sorties, les caractéristiques et les unités correspondantes.

Voir DR1.

Des mesures réalisées sur la cuve ont permis de tracer les courbes de vitesses et de couples en fonction du temps (voir DT6).

Question 1.4
DT4 et DT6
Feuille de copie

Vérifier si les valeurs réelles relevées permettent de respecter les exigences du système.

Les exigences du système imposent une cadence de 600 produits par minute plus ou moins 1,5 %.

600 produits par minute - 1,5 %	600 produits par minute	600 produits par minute + 1,5 %
$N_c \min = 24,49 \cdot 0,985$ $= 24,12 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$	$N_c = 24,49 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$	$N_c \max = 24,49 \cdot 1,015$ $= 24,86 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

Le DT6 nous donne $N_{cr} \max = 24,26 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

On a $N_c \min < N_{cr} \max < N_c \max$

Les valeurs réelles permettent donc de respecter les exigences du système.

Les courbes de fréquences de rotation et de couples issues du modèle ont également été tracées à l'aide d'un logiciel de simulation (voir DT6).

Question 1.5
DT4 et DT6
Feuille de copie

Vérifier si les valeurs simulées permettent de respecter les exigences du système.

Conclure sur la fidélité du modèle.

Sur le DT6, on trouve $N_{cs} \max = 25,02 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

On a $N_c \max < N_{cs} \max$

Les valeurs simulées ne permettent pas de respecter les exigences du système. Le modèle n'est donc pas fidèle.

Question 1.6
DT6
Feuille de copie

Interpréter les écarts entre les valeurs maximales réelles et celles simulées pour chacune des grandeurs suivantes :

- couple moteur ($C_{mr} \max / C_{ms} \max$) ;
- couple transmis à la cuve ($C_{cr} \max / C_{cs} \max$) ;
- vitesse de rotation de la cuve ($N_{cr} \max / N_{cs} \max$).

D'après le DT6, on a :

$\frac{C_{mr} \max}{C_{ms} \max} = 1,013$	$\frac{C_{cr} \max}{C_{cs} \max} = 0,941$	$\frac{N_{cr} \max}{N_{cs} \max} = 0,970$
---	---	---

Le couple moteur réel est légèrement supérieur à celui du modèle, alors que le couple réel transmis à la cuve est sensiblement inférieur à celui du modèle. La vitesse réelle est logiquement inférieure à celle déterminée par le modèle.

On peut imaginer que des pertes de puissance ont lieu dans la transmission de puissance du moteur vers la cuve.

Ces différentes pertes imposent au moteur de fournir plus de couple pour atteindre la vitesse finale imposée par sa tension d'alimentation.

Remarque (non demandé) :

Fournir plus de couple signifie pour le moteur d'appeler plus de courant. Plus de courant signifie plus de chute de tension dans le moteur à cause de sa résistance interne (chute ohmique). Plus de chute ohmique signifie moins de force contre-électromotrice, c'est-à-dire moins de vitesse instantanée.

Cela se traduit par un ralentissement de la montée en régime du moteur, mais la résistance interne du moteur étant très faible ($R = 0,5 \text{ Ohm}$), la chute ohmique est très faible et donc la chute de vitesse également.

Question 1.7
DT6
Feuille de copie

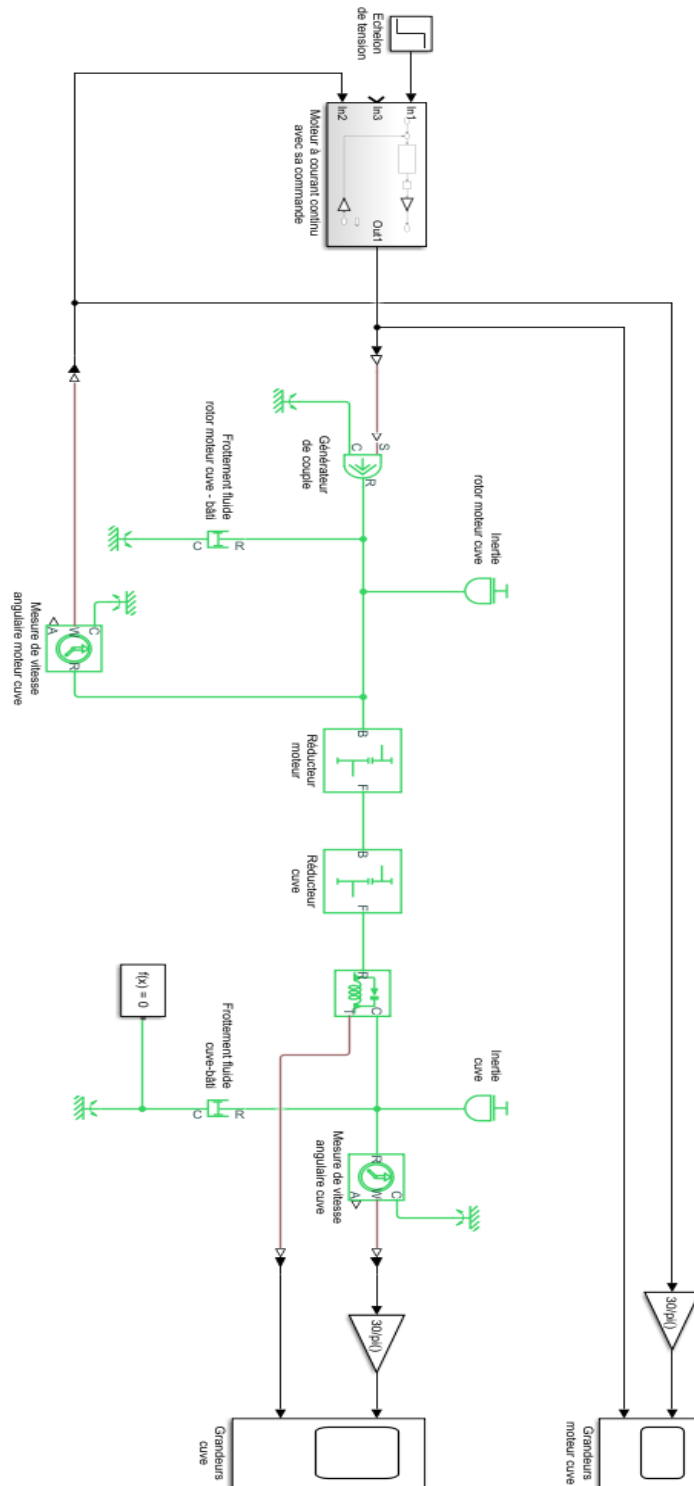
Proposer des améliorations du modèle permettant de le rendre plus fidèle afin réduire ces écarts.

Le modèle proposé ne tient pas compte :

- des frottements fluides au niveau du rotor moteur ;

- des frottements fluides au niveau cuve/bati ;
- du rendement du motoréducteur ;
- du rendement de l'engrenage (6)/(11) ;
- du rendement du joint de cardan (négligeable) ;
- du frottement dû au contact produit / châssis (négligeable).

Modèle (non demandé) tenant compte des frottements fluides (les rendements des 2 réducteurs étant paramétrés directement dans les blocs correspondants) :



2^E PARTIE : VALIDATION DE LA CINÉMATIQUE DE LA MACHINE (Durée conseillée : 25 min)

Objectifs : valider le choix du joint de cardan

Dans la première version de la machine, l'accouplement du moteur du plateau avec le plateau était réalisé par un joint de cardan « sphéroïde » (voir DT7), occasionnant certaines anomalies de fonctionnement. Il a donc été décidé de remplacer ce composant par un joint de cardan à aiguilles (voir DT7).

Question 2.1
DT1 à DT3, DT7
Feuille de copie

Exprimer les défauts corrigés par le joint de cardan et **préciser** les critères qui ont pu conduire au remplacement du composant initial.

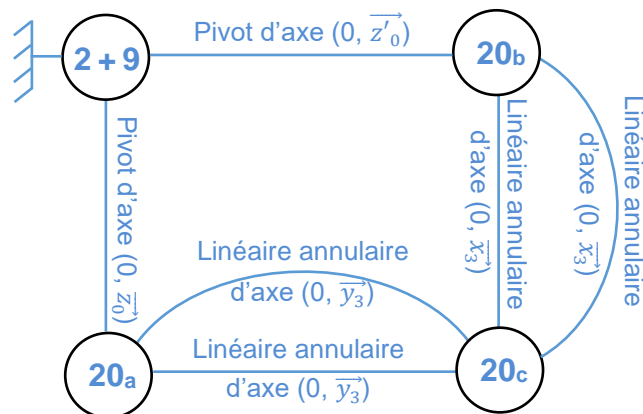
Le joint de cardan permet de transmettre une énergie mécanique de rotation entre l'axe de plateau (1) et l'arbre du motoréducteur (9), dont les axes respectifs sont concourants mais non alignés.

Les critères qui ont pu conduire au remplacement du composant initial sont :

- l'augmentation du rendement du joint de cardan par l'introduction d'éléments roulants ;
- l'usure prématurée en raison de :
 - friction importante,
 - difficultés de graissage.

Question 2.2
DT1 à DT3, DT7
Feuille de copie

Tracer le graphe des liaisons de l'ensemble « E » constitué des pièces {9, 20a, 20b, 20c, 2}.



Question 2.3
DT7
Feuille de copie

Évaluer le degré de mobilités de « E ».

En déduire son degré d'hyperstaticité.

Le cas échéant, **proposer** une modification des liaisons pour que l'ensemble « E » ne soit pas hyperstatique.

Le système « E » possède un degré de mobilité $m = 1$.

Avec trois cycles indépendants, la fermeture géométrique permet l'écriture de $E_c = 18$ équations.

Les deux liaisons pivots et les 4 liaisons linéaires annulaires comportent $I_c = 2 \times 1 + 4 \times 4 = 18$ inconnues.

On en déduit $h = 1$.

Le remplacement d'une liaison pivot par une liaison pivot glissant rendrait le mécanisme isostatique.

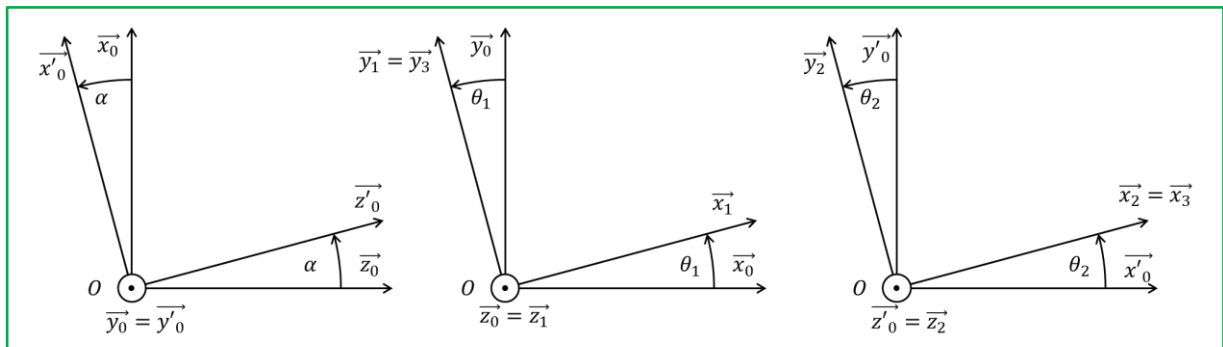
Question 2.4 | **Déterminer** la liaison équivalente réalisée par le joint de cardan.
DT7
Feuille de copie | **Justifier** votre réponse.

Liaison équivalente : liaison rotule à doigt entre (20a) et (20b) de rotation bloquée de direction (O, \vec{z}_3) .

Justification :

- liaison 20a / 20c : 2 liaisons linéaires annulaires de direction (O, \vec{y}_3) en parallèle
⇒ équivalent à une pivot glissant d'axe (O, \vec{y}_3) ;
- liaison 20b / 20c : 2 liaisons linéaires annulaires de direction (O, \vec{x}_3) en parallèle
⇒ équivalent à une pivot glissant d'axe (O, \vec{x}_3) ;
- liaison 20a / 20c / 20b : 2 liaisons pivots glissants de direction (O, \vec{x}_3) et (O, \vec{y}_3)
⇒ équivalent à une liaison rotule à doigt de rotation bloquée de direction (O, \vec{z}_3) .

Question 2.5 | **Représenter** les figures planes de changement de base relatives aux angles α , θ_1 et θ_2 et **déterminer** la loi entrée-sortie en position du joint de cardan (20).
DT7
Feuille de copie



La loi entrée sortie se détermine à partir de la perpendicularité du croisillon :

$$\vec{x}_3 \cdot \vec{y}_3 = 0 = \vec{x}_2 \cdot \vec{y}_1 = (\cos \theta_2 \cdot \vec{x}'_0 + \sin \theta_2 \cdot \vec{y}'_0) \cdot (-\sin \theta_1 \cdot \vec{x}_0 + \cos \theta_1 \cdot \vec{y}_0)$$

$$0 = (\cos \theta_2 \cdot (\cos \alpha \cdot \vec{x}_0 - \sin \alpha \cdot \vec{z}_0) + \sin \theta_2 \cdot \vec{y}_0) \cdot (-\sin \theta_1 \cdot \vec{x}_0 + \cos \theta_1 \cdot \vec{y}_0)$$

$$0 = -\cos \theta_2 \cdot \sin \theta_1 \cdot \cos \alpha + \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_1$$

$$\tan \theta_2 = \cos \alpha \cdot \tan \theta_1$$

Question 2.6 | **En déduire** la loi entrée-sortie en vitesse du joint de cardan
Feuille de copie | $\omega_2 = f(\omega_1, \theta_1)$. On notera $\omega_1 = \dot{\theta}_1 = \frac{d\theta_1}{dt}$ et $\omega_2 = \dot{\theta}_2 = \frac{d\theta_2}{dt}$.

$$\left| \text{Rappel : } (\tan u)' = u' \cdot (1 + \tan^2 u) \right.$$

On déduit, par dérivation, la loi entrée-sortie en vitesse :

$$\dot{\theta}_2 \cdot (1 + \tan^2 \theta_2) = \cos \alpha \cdot \dot{\theta}_1 \cdot (1 + \tan^2 \theta_1)$$

$$\dot{\theta}_2 = \cos \alpha \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \frac{1 + \tan^2 \theta_1}{1 + \cos^2 \alpha \cdot \tan^2 \theta_1} \quad \text{ou} \quad \omega_2 = \cos \alpha \cdot \omega_1 \cdot \frac{1 + \tan^2 \theta_1}{1 + \cos^2 \alpha \cdot \tan^2 \theta_1}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos \alpha \cdot \frac{1 + \tan^2 \theta_1}{1 + \cos^2 \alpha \cdot \tan^2 \theta_1}$$

Question 2.7

Feuille de copie

Conclure sur le caractère homocinétique de la transmission par le joint de cardan.

Montrer que la relation précédente peut s'écrire sous la forme du rapport $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \theta_1 \cdot \sin^2 \alpha}$.

Le rapport de la transmission par le joint de cardan n'est pas constant (sauf pour $\alpha = 0$).

La transmission n'est donc pas homocinétique.

En repartant du résultat précédent :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos \alpha \cdot \frac{1 + \tan^2 \theta_1}{1 + \cos^2 \alpha \cdot \tan^2 \theta_1}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos \alpha \cdot \frac{\cos^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_1}{\cos^2 \theta_1 + \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \theta_1}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \cos \alpha \cdot \frac{1}{1 - \sin^2 \theta_1 + \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \theta_1}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \theta_1 (1 - \cos^2 \alpha)}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \theta_1 \cdot \sin^2 \alpha}$$

Afin de maîtriser leur cadence de sortie, les produits doivent s'accumuler dès le bord de cuve. Il est donc nécessaire d'appliquer une vitesse de rotation du plateau supérieure à celle de la cuve, elle-même portée à $24,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 2.8

DT4 et DT7

Feuille de copie

Déterminer les valeurs maximale $\omega_{\text{plateau max}}$ et minimale $\omega_{\text{plateau min}}$ de la vitesse angulaire du plateau permettant de respecter les exigences du système.

Conclure sur la validité cinématique du joint de cardan.

La fréquence de rotation du plateau doit être supérieure de 20 % + ou - 5 % à celle de la cuve (voir DT4 - id47).

$$\omega_{\text{plateau max}} = 1,25 \cdot \omega_{\text{cuve}} = 1,25 \cdot 24,5 \cdot \frac{\pi}{30} = 3,21 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\omega_{\text{plateau min}} = 1,15 \cdot \omega_{\text{cuve}} = 1,15 \cdot 24,5 \cdot \frac{\pi}{30} = 2,95 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le moteur du plateau impose la vitesse $\omega_1 = 1,2 \cdot 24,5 \cdot \frac{\pi}{30} = 3,08 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

On doit avoir : $\omega_{plateau\ min} < \omega_2 < \omega_{plateau\ max}$

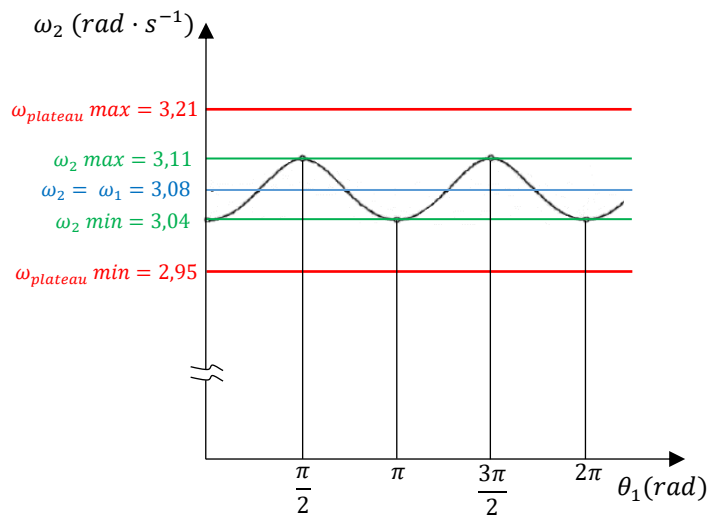
La relation $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \theta_1}$ est maximale pour $\sin \theta_1 = 1$ ($\theta_1 = 0$) et minimale pour $\sin \theta_1 = 0$ ($\theta_1 = \frac{\pi}{2}$).

$$\omega_2\ max = \omega_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha} = \omega_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{\omega_1}{\cos \alpha}$$

$$\omega_2\ max = 1,2 \cdot 24,5 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{1}{\cos 9^\circ} = 3,11\ rad \cdot s^{-1} < \omega_{plateau\ max}$$

$$\omega_2\ min = \omega_1 \cdot \cos \alpha$$

$$\omega_2\ min = 1,2 \cdot 24,5 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \cos 9^\circ = 3,04\ rad \cdot s^{-1} > \omega_{plateau\ min}$$



Le joint de cardan respecte les exigences du système car on a bien :

$$\omega_{plateau\ min} < \omega_2 < \omega_{plateau\ max}$$

3^E PARTIE : MODIFICATION DE LA TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CUVE (Durée conseillée : 35 min)

Objectifs : dimensionner l'engrenage constitué du pignon monté sur l'arbre du motoréducteur de la cuve et de la roue dentée en liaison complète avec la cuve et choisir le matériau.

La première version de la machine proposait une transmission du mouvement de rotation à la cuve par un système « poulies-courroie » (voir figure 8). Les opérations de montage-démontage étant très courantes, notamment lors du nettoyage ou de la maintenance, la courroie nécessitait d'être « ouverte », avec jonction par agrafe. Mais cette agrafe fragilisait la courroie et limitait la fiabilité de la machine. On envisage donc de remplacer le système poulies-courroies par une transmission par engrenage (voir figure 8).

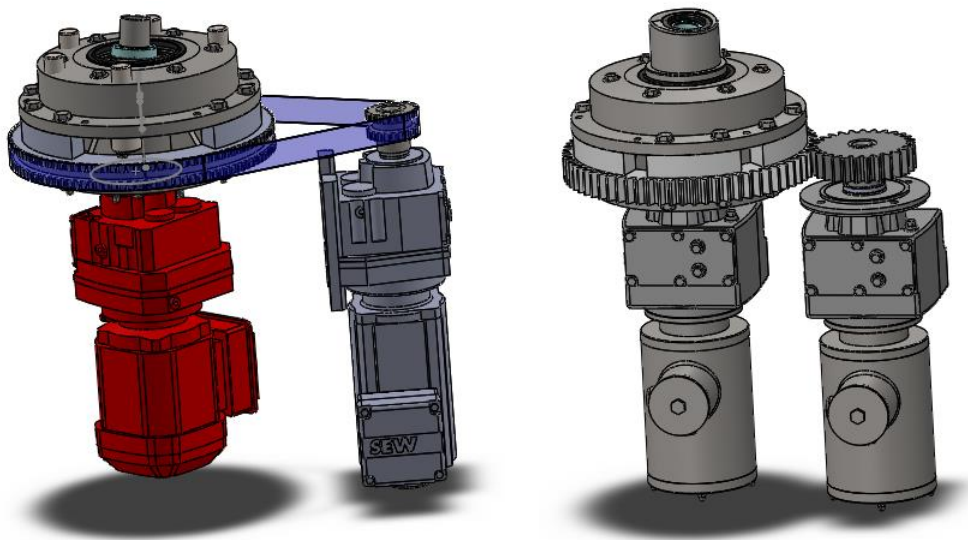


Figure 8 : ancienne et nouvelle versions de la transmission

Détermination de la contrainte normale de flexion dans une dent de la roue

L'engrenage est représenté sur la figure 9.

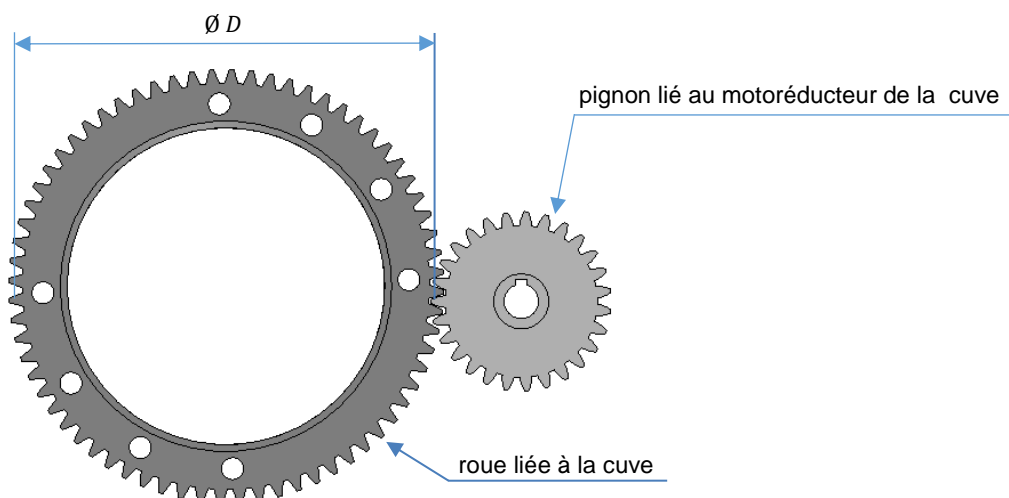
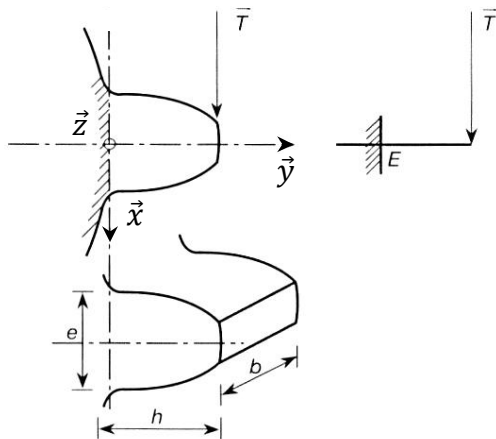


Figure 9 : engrenage assurant la transmission de mouvement à la cuve
Les dents de la roue sont réparties sur un diamètre primitif D .

Les dimensions de chaque dent (voir figure 10) dépendent d'un module m .

On choisit de modéliser chaque dent de la roue par une poutre encastree sur la roue, fléchiée par la composante tangentielle T de la force de contact induite par le couple transmis C , que l'on supposera située à son sommet afin de se placer dans le cas le plus défavorable. L'approximation néglige volontairement l'effet de la composante radiale, génératrice de compression, car elle renforce la résistance de la dent à la fatigue.



pas : longueur d'arc sur le diamètre primitif D entre deux dents consécutives

$$h = 2,25 m$$

$$e = \frac{pas}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}$$

Figure 10 : dimensions et modélisation de la denture

Pour simplifier le modèle, on suppose que :

- l'effort tangentiel de référence T est entièrement appliqué sur une seule dent ;
- l'effort T s'applique au sommet de la dent et perpendiculairement à l'axe de symétrie de la dent ;
- le seul état de contrainte considéré dans la dent, modélisée par une poutre, est la flexion ;
- l'effet de concentration de contrainte en pied de dent est négligé.

Données :

- diamètre primitif de la roue en première approche : $D = 312 \text{ mm}$;
- largeur de denture : $b = 32 \text{ mm}$;
- couple transmis à la cuve : $C = 95 \text{ N} \cdot \text{m}$;
- résistance pratique à l'extension du matériau : $\sigma_{pe} = 25 \text{ MPa}$.

Question 3.1 | En utilisant le modèle poutre de la figure 10, **calculer** la valeur de l'effort T .
Feuille de copie

Grâce aux hypothèses, on peut écrire :

$$T = \frac{2 \cdot C}{D} = 609 \text{ N}$$

Question 3.2 | **Déterminer** :

Feuille de copie

- l'expression du moment fléchissant maximum Mf subi par la dent ;
- l'expression de la contrainte normale de flexion maximum σf dans la dent.

Le moment fléchissant maximal subit par la poutre a lieu en E :

$$Mf_{max} = h \cdot T$$

La contrainte normale de flexion maximale s'exprime :

$$\sigma f_{max} = \frac{Mf_{max}}{I_{Gz}} \cdot x_{max} = \frac{h \cdot T}{\frac{b \cdot e^3}{12}} \cdot \frac{e}{2} = \frac{6 \cdot h \cdot T}{b \cdot e^2}$$

Question 3.3

Feuille de copie

Déterminer, parmi les valeurs normalisées ci-dessous (voir figure 11), le module de denture m à choisir pour permettre aux dents de résister aux efforts. Les valeurs secondaires entre parenthèses pourront être retenues.

0,06	(0,07)	0,08	(0,09)	0,1	(0,11)	0,12	(0,14)	0,15	(0,18)	0,2	(0,22)	0,25	(0,28)	0,3	(0,35)	0,4	(0,45)	0,5	(0,55)	0,6	(0,7)
(0,75)	0,8	(0,9)	1	(1,125)	1,25	(1,375)	1,5	(1,75)	2	(2,25)	2,5	(2,75)	3	(3,25)	(3,5)	(3,75)	4	(4,5)	5	(5,5)	6
(6,5)	(7)	8	(9)	10	(11)	12	(14)	16	(18)	20	(22)	25	(28)	32	(36)	40	(45)	50	(55)	60	(70)

Figure 11 : modules normalisés

À partir de l'expression précédente, on trouve :

$$\sigma f_{max} = \frac{6 \cdot h \cdot T}{b \cdot e^2} = \frac{6 \times 2,25 \cdot m \cdot T}{b \cdot \pi^2 \cdot m^2} = \frac{54 \cdot T}{b \cdot \pi^2 \cdot m} \leq \sigma_{pe}$$

$$m \geq \frac{54 \cdot T}{b \cdot \pi^2 \cdot \sigma_{pe}} = 4,17 \text{ mm}$$

On choisit alors un module $m = 4,5 \text{ mm}$.

Question 3.4

Feuille de copie

Calculer le nombre de dents et le diamètre primitif définitif de la roue. Le rapport de réduction de l'engrenage étant fixé à 2,5, **en déduire** le nombre de dents et le diamètre primitif du pignon moteur.

On cherche $D = m \cdot Z$ avec $D \approx 312 \text{ mm}$ soit $Z_{roue} = 70 \text{ dents}$ pour un diamètre primitif réel $D_{réel} = 315 \text{ mm}$.

Pour assurer le rapport de réduction souhaité, on prend un pignon tel que $Z_{pignon} = 28 \text{ dents}$ et donc $D_{pignon} = 126 \text{ mm}$.

Choix du matériau de l'engrenage

L'alimentarité des matériaux est un critère prépondérant dans l'industrie agroalimentaire. En effet, les matériaux et objets destinés à rentrer en contact avec des denrées alimentaires doivent respecter la réglementation relative à la sécurité sanitaire.

Le choix d'un matériau plastique injectable, éventuellement compatible avec les sollicitations mécaniques que subit l'engrenage et répondant à la réglementation agroalimentaire, est envisagé.

On souhaite notamment comparer le polyoxyméthylène (POM), à l'acier inoxydable (voir DT8), afin de procéder à un choix parmi ces deux matériaux éligibles.

Trois critères sont retenus :

- la durabilité à l'eau et aux solutions aqueuses ;
- la limite élastique R_e ;
- le prix.

Question 3.5

Feuille de copie

Proposer deux autres critères importants pour le choix du matériau.

Pour la conception d'une roue dentée, les critères suivants doivent être pris en compte :

- résistance au matage (contact linéique entre dentures) ;
- résistance à la fatigue (efforts cycliques) ;
- usinabilité (taillage ou découpe fil pour l'acier inoxydable) ;
- injectabilité (pour le POM) ;
- coefficient de frottement (rendement de la transmission).

Question 3.6

Feuille de copie

Proposer un coefficient de sécurité $s = \frac{R_e}{\sigma_{pe}}$.

Justifier votre choix.

En déduire la limite élastique du matériau.

Les conditions de fonctionnement de la cuve présentent à priori les caractéristiques suivantes :

- absence de chocs ;
- fonctionnement nominal en régime établi stabilisé.

Par ailleurs, le choix du module supérieur à la valeur limite trouvée et la prise en compte d'un cas défavorable (une seule dent en prise et effort exercé en tête de dent et non pas au primitif) constituent une certaine marge de sécurité.

Ainsi, on peut envisager un coefficient de sécurité relativement limité du type $s = 2$.

On aura alors $R_e = 50 \text{ MPa}$.

Question 3.7

DT8

Feuille de copie

Choisir le matériau.

Justifier votre choix.

La lecture des diagrammes d'Ashby (DT8) permet de confirmer la bonne tenue à l'eau pour les deux familles de matériaux.

L'ordre de grandeur des coefficients de sécurité est satisfaisant puisque l'on a :

$$\begin{aligned} s_{acier\ inox} &\approx 20 \\ s_{POM} &\approx 3 \end{aligned}$$

En tenant compte des densités ($\rho_{POM} \approx 1,4$ et $\rho_{acier} \approx 7,8$) on obtient un coût de pièce de l'ordre de 15 fois plus cher pour l'acier inoxydable.

Le choix du POM valide tous les critères de performance, en minimisant le coût matière de la roue.

Selon l'échelle de la série à produire, on pourra envisager le procédé (usinage ou injection).

4^E PARTIE : MODIFICATION DE LA LIAISON ENTRE LA CUVE ET LE CHÂSSIS (Durée conseillée : 40 min)

Objectif : valider le choix de la couronne d'orientation réalisant la liaison entre la cuve et le châssis

Auparavant, la liaison entre la cuve et le châssis était réalisée par un plateau tournant igus® (voir figure 12). Ce composant est constitué d'éléments de glissement réalisés en iglidur®, un polymère qui permet un fonctionnement à sec sans la moindre goutte de lubrifiant, avec un très faible coefficient de frottement. Il présentait cependant certaines anomalies de fonctionnement qui ont nécessité son remplacement par une couronne d'orientation (Franke LVA0150, voir DT9).

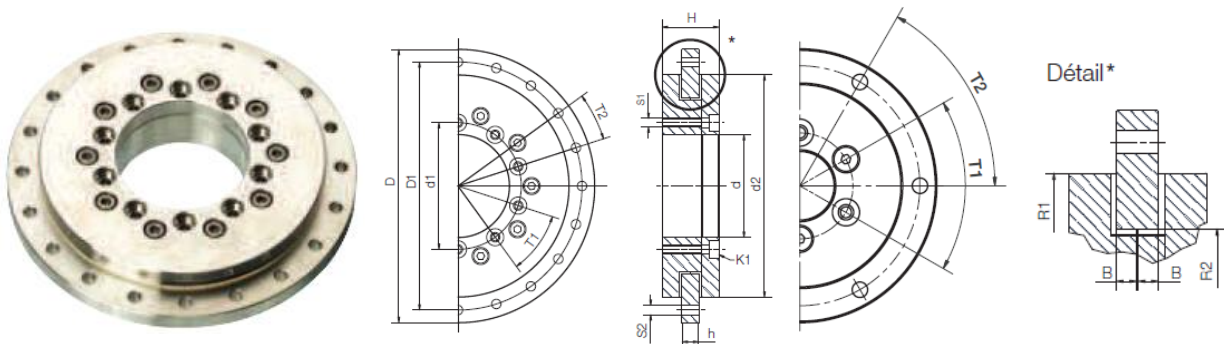


Figure 12 : plateau tournant igus®

On souhaite vérifier la durée de vie de la couronne d'orientation.

On considère que les produits répartis dans la cuve sont assimilés à une masse ponctuelle m_p appliquée au point A, solidaire du sous-ensemble mécanique lié à la cuve « entraînement de cuve » (voir DT2 et figure 13).

L'action de contact entre le pignon (11) et la roue (6) est appliquée au point B (voir figure 13).

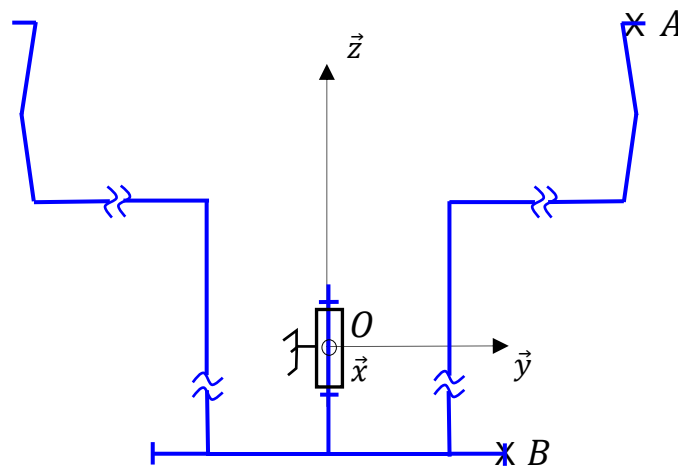


Figure 13 : modélisation du sous-ensemble « entraînement de cuve »

Données et hypothèses :

- $\overrightarrow{OA} = r_c \cdot \vec{y} + h_A \cdot \vec{z}$, avec $r_c = 600 \text{ mm}$ et $h_A = 150 \text{ mm}$;
- $\overrightarrow{OB} = r_r \cdot \vec{y} - h_B \cdot \vec{z}$, avec $r_r = 157,5 \text{ mm}$ et $h_B = 85 \text{ mm}$;
- masse des produits : $m_p = 9 \text{ kg}$;
- masse du sous ensemble « entrainement de cuve » : $m_c = 160 \text{ kg}$;
- accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- angle de pression de l'engrenage roue (6) / pignon (11) : $\alpha = 20^\circ$;
- fréquence de rotation du sous-ensemble « entrainement de cuve » en régime établi : $N = 24,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$;
- moment d'inertie du sous-ensemble « entrainement de cuve » suivant l'axe de rotation de la cuve : $J_c = 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- liaisons parfaites ;
- cuve parfaitement équilibrée ;
- action due au frottement des saucisses sur le châssis négligée.

Question 4.1

DT1 à DT3, DT9
Feuille de copie

Justifier la modélisation de la liaison entre le châssis de la machine et le sous-ensemble « entrainement de cuve » (point O , voir figure 13).

La couronne d'orientation Franke LVA0150 est un roulement à 4 points de contact. Son montage préchargé élimine tout jeu et le roulement supporte un couple de déversement statique de $3\,000 \text{ N.m}$. Le comportement cinématique d'un tel composant correspond donc bien à celui d'une liaison pivot.

Sur les plans des DT1 et DT2, on voit que la bague intérieure est encastrée au bâti (appui plan + centrage court + assemblage boulonné) au sein de l'ensemble {2, 5, 7}. La bague extérieure est, quant à elle, liée (même liaison et solutions constructives) à l'ensemble {4, 5, 25} contenant le moyeu de cuve.

Question 4.2

DT9
Feuille de copie

Par une étude statique, **déterminer** les charges appliquées sur la couronne d'orientation.

En isolant la cuve et les produits, on effectue le bilan des actions extérieures :

$$\text{Liaison pivot en } O : \{T_{0 \rightarrow \text{cuve}}\} = \begin{Bmatrix} X_O \cdot \vec{x} + Y_O \cdot \vec{y} + Z_O \cdot \vec{z} \\ L_O \cdot \vec{x} + M_O \cdot \vec{y} \end{Bmatrix}_O$$

$$\text{Pesanteur sur la cuve : } \{T_{\text{pes} \rightarrow \text{cuve}}\} = \begin{Bmatrix} -m_c \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{\forall M \in (O, \vec{z})}$$

$$\text{Pesanteur sur les produits : } \{T_{\text{pes} \rightarrow \text{prod}}\} = \begin{Bmatrix} -m_p \cdot g \cdot \vec{z} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{\forall M \in (A, \vec{z})}$$

$$\{T_{\text{pes} \rightarrow \text{prod}}\} = \begin{Bmatrix} -m_p \cdot g \cdot \vec{z} \\ -r_c \cdot m_p \cdot g \cdot \vec{x} \end{Bmatrix}_O$$

$$\text{Action d'engrènement : } \{T_{11 \rightarrow 6}\} = \begin{Bmatrix} F_{tB} \cdot \vec{x} - F_{rB} \cdot \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_B$$

$$\{T_{11 \rightarrow 6}\} = \begin{Bmatrix} F_{tB} \cdot \vec{x} - F_{rB} \cdot \vec{y} \\ -h_B \cdot F_{rB} \cdot \vec{x} - h_B \cdot F_{tB} \cdot \vec{y} - r_r \cdot F_{tB} \cdot \vec{z} \end{Bmatrix}_O \quad \text{avec } \frac{F_{rB}}{F_{tB}} = \tan \alpha$$

Le principe fondamental de la statique appliqué en O permet d'écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_O + F_{tB} = 0 \\ Y_O - F_{rB} = 0 \\ Z_O - (m_c + m_p) \cdot g = 0 \\ L_O - r_c \cdot m_p \cdot g - h_B \cdot F_{rB} = 0 \\ M_O - h_B \cdot F_{tB} = 0 \\ -r_r \cdot F_{tB} = 0 \end{array} \right. \longleftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_O = 0 \\ Y_O = 0 \\ Z_O = (m_c + m_p) \cdot g = 1\,656 \text{ N} \\ L_O = r_c \cdot m_p \cdot g = 53 \text{ N} \cdot \text{m} \\ M_O = 0 \\ F_{tB} = 0 \text{ et } F_{rB} = 0 \end{array} \right.$$

On trouve alors :

$$F_a = Z_O = 1\,656 \text{ N} \quad \left| \quad F_r = \sqrt{X_O^2 + Y_O^2} = 0 \text{ N} \quad \left| \quad M_k = \sqrt{L_O^2 + M_O^2} = 53 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Remarque : d'après les hypothèses (liaisons parfaites et action due au frottement des saucisses sur le châssis négligée), aucun couple résistant ne s'oppose à la rotation du plateau en régime établi. Il est donc tout à fait normal que l'action d'engrènement soit nulle.

Question 4.3

DT9

Feuille de copie

Déterminer la charge équivalente P appliquée sur la couronne d'orientation.

En déduire sa durée de vie.

Conclure.

On a, d'après le DT9 :

$$\frac{F_a}{F_r} \gg 1 \text{ donc } \boxed{X = 1,26} \text{ et } Y = 0,45$$

$$\frac{M_k}{F_a \cdot \emptyset_{KK}} = 0,213 < 0,5 \text{ donc } \boxed{Y = 0,86} \text{ et } Z = 1,72$$

$$\frac{M_k}{F_r \cdot \emptyset_{KK}} \gg 0,5 \text{ donc } X = 0,86 \text{ et } \boxed{Z = 1,96}$$

Comme dans toute démarche de dimensionnement, on prend les critères les plus défavorables, à savoir $X = 1,26$; $Y = 0,86$; $Z = 1,96$.

La référence de la couronne d'orientation nous donne $\emptyset_{KK} = 150 \text{ mm}$ (voir DT9).

$$\text{On trouve alors } P = 0,86 \cdot 1656 + 1,96 \cdot \frac{53}{0,150} = 2117 \text{ N}$$

Le DT9 nous donne $C_r = 19 \text{ kN}$. La durée de vie est donnée par la relation :

$$L_h = \left(\frac{19000}{2117} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \times 24,5} = 491\,791 \text{ heures, soit une durée de vie de plus de 56 ans !}$$

La couronne paraît donc surdimensionnée. Mais l'étude statique ne prend en compte, ni l'effet de balourd généré par les produits, ni l'inertie de la machine.

Le constructeur de la couronne d'orientation préconise, pour l'emploi de ce type de composant, le respect d'un coefficient de sécurité statique S_{st} (voir DT9).

Question 4.4

DT9

Feuille de copie

Calculer le coefficient de sécurité statique S_{st} et **vérifier** qu'un calcul dynamique est nécessaire.

Le DT9 nous donne $C_{oa} = 82 \text{ kN}$ et $C_{om} = 3 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$S_{st} = \frac{1}{\frac{F_a}{C_{oa}} + \frac{M_k}{C_{om}}} = 26,4$$

Le coefficient de sécurité statique est très élevé (plus de 3 fois supérieur au maxi recommandé).

On trouve une vitesse circonférentielle au niveau du diamètre $\emptyset KK$:

$$v_{KK} = \frac{N \cdot \pi}{30} \cdot \frac{\emptyset KK}{2} = 0,188 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} > 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (voir DT9)}$$

L'étude dynamique est donc nécessaire.

Le mouvement de rotation de la cuve est supposé uniformément accéléré et on impose un temps de démarrage de celle-ci de 2,5 secondes.

Question 4.5 | **Déterminer** la matrice d'inertie de la masse m_p au point O ,
Feuille de copie | relativement à la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, en fonction de m_p , r_c et h_A .

La matrice d'inertie de la masse m_p au point O s'écrit :

$$I(O, \text{masse}) = m_p \begin{bmatrix} r_c^2 + h_A^2 & 0 & 0 \\ 0 & h_A^2 & -r_c \cdot h_A \\ 0 & -r_c \cdot h_A & r_c^2 \end{bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Question 4.6 | Par une étude dynamique, **déterminer** les charges appliquées sur la
DT9 | couronne d'orientation.
Feuille de copie

La cuve étant parfaitement équilibrée, sa matrice d'inertie au point O s'écrit :

$$I(O, \text{cuve_seule}) = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & A & 0 \\ 0 & 0 & J_c \end{bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

On en déduit, pour l'ensemble $\Sigma = \{\text{cuve_seule} + m_p\}$:

$$\overrightarrow{\sigma_{O, \Sigma / (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}} = -m_p \cdot r_c \cdot h_A \cdot \omega_{cuve} \cdot \vec{y} + (m_p \cdot r_c^2 + J_c) \cdot \omega_{cuve} \cdot \vec{z}$$

$$\overrightarrow{\delta_{O, \Sigma / (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{\sigma_{O, \Sigma / (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}} \Big|_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\overrightarrow{\delta_{O, \Sigma / (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}} = -m_p \cdot r_c \cdot h_A \cdot \dot{\omega}_{cuve} \cdot \vec{y} + m_p \cdot r_c \cdot h_A \cdot \omega_{cuve}^2 \cdot \vec{x} + (m_p \cdot r_c^2 + J_c) \cdot \dot{\omega}_{cuve} \cdot \vec{z}$$

Le principe fondamental de la dynamique appliqué en O permet d'écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_O + F_{tB} = 0 \\ Y_O - F_{tB} \cdot \tan \alpha = 0 \\ Z_O - (m_c + m_p) \cdot g = 0 \\ L_O - r_c \cdot m_p \cdot g - h_B \cdot F_{tB} \cdot \tan \alpha = m_p \cdot r_c \cdot h_A \cdot \omega_{cuve}^2 \\ M_O - h_B \cdot F_{tB} = -m_p \cdot r_c \cdot h_A \cdot \dot{\omega}_{cuve} \\ -r_r \cdot F_{tB} = (m_p \cdot r_c^2 + J_c) \cdot \dot{\omega}_{cuve} \end{array} \right. \longleftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_O = 282 \text{ N} \\ Y_O = -103 \text{ N} \\ Z_O = 1\,656 \text{ N} \\ L_O = 50 \text{ N} \cdot \text{m} \\ M_O = 38 \text{ N} \cdot \text{m} \\ F_t = -282 \text{ N} \end{array} \right.$$

On trouve cette fois :

$$F_a = Z_O = 1\,656\text{ N} \quad \left| \quad F_r = \sqrt{X_O^2 + Y_O^2} = 300\text{ N} \quad \left| \quad M_k = \sqrt{L_O^2 + M_O^2} = 63\text{ N} \cdot m\right.\right.$$

Question 4.7

DT9

Feuille de copie

Calculer à nouveau le coefficient de sécurité statique S_{st} .

Conclure sur le dimensionnement de la couronne d'orientation.

Le DT9 nous donne $C_{oa} = 82\text{ kN}$, $C_{or} = 39\text{ kN}$ et $C_{om} = 3\text{ kN} \cdot m$

$$S_{st} = \frac{1}{\frac{F_a}{C_{oa}} + \frac{F_r}{C_{or}} + \frac{M_k}{C_{om}}} = 20,5$$

Le coefficient de sécurité statique reste très élevé.

La couronne d'orientation est bien largement surdimensionnée, même si son dimensionnement est en partie imposé par la conception et l'encombrement de la machine elle-même.

5^E PARTIE : RECONCEPTION ET FABRICATION DE L'AXE DE CUVE (Durée conseillée : 45 min)

Objectif : valider la nouvelle cotation de l'axe de cuve et organiser sa fabrication.

Les modifications réalisées sur la machine (remplacement du joint de cardan et du plateau tournant) nécessitent de reconcevoir l'axe de cuve, d'établir sa nouvelle cotation et de prévoir sa fabrication.

Le document DT10 représente le dessin de définition de l'axe de cuve.

Question 5.1

DT10

DR2

Feuille de copie

Identifier la surface de référence B et **nommer** cette surface par rapport à son identification sur les vues du modèle figurant dans le tableau d'analyse des antériorités.

La surface B (cylindre $\varnothing 100 h7$) est identifiée SC2 sur les vues du modèle du tableau d'analyse des antériorités (voir DR2).

Elle permet la constitution des systèmes de référence servant au positionnement des surfaces :

- GC1 : 8 trous taraudés ;
- GC3 : portées de roulements.

Question 5.2

DT10

Feuille de copie

Justifier le choix des surfaces de références A, B, C, D, E, F, et G ainsi que les zones de tolérances spécifiées.

Les références A, B, C, D, E et G réalisent la mise en position de l'axe de cuve avec le bâti, la couronne d'orientation et les roulements de l'axe de plateau. Plus précisément :

- les références A et B permettent la mise en position (appui-plan – centrage court) de l'axe de cuve par rapport à la lanterne 7, assurant elle-même la mise en position (appui-plan – centrage court) du moteur 9 ;
- les références C et D permettent la mise en position (portée – épaulement) de la couronne d'orientation 5 par rapport à l'axe de cuve ;
- les références E et G permettent la mise en position (portées – épaulement) des roulements 15 et 17 servant à guider en rotation l'arbre-plateau 1.

La référence F participe au maintien en position de l'axe de cuve par rapport au bâti.

Les zones de tolérances spécifiées sont relatives aux conditions de montage.

Question 5.3

DT10 et DT11

DR2

Traduire les spécifications de l'axe de cuve en complétant le tableau d'analyse des antériorités.

Voir DR2.

Question 5.4
DT10
Feuille de copie

Préciser la signification de la spécification $6 \times \varnothing 7 \text{ \AA TRAVERS TOUT } \begin{matrix} \square \\ \square \end{matrix} \varnothing 11,00 \nabla 6$.

La spécification porte sur les trous lamés assurant le maintien en position par 6 vis CHC M6 de la couronne d'orientation.

Elle stipule que :

- les trous de passage des vis doivent avoir un diamètre nominal de 7 mm ;
- le lamage doit avoir un diamètre nominal de 11 mm ;
- Le lamage doit avoir une profondeur nominale de 6 mm et se situe sur la face inférieure.

Question 5.5
DT10
Feuille de copie

Analyser et interpréter la spécification $\begin{matrix} \oplus \\ \oplus \end{matrix} \varnothing 0.05 \text{ CZ } \begin{matrix} \boxed{A} \\ \boxed{A} \end{matrix} \begin{matrix} \boxed{F} \\ \boxed{F} \end{matrix} \begin{matrix} \boxed{B} \\ \boxed{B} \end{matrix}$.
Justifier la mention de zone commune.

E

"L'élément tolérancé doit être contenu dans la zone de tolérance"				
Éléments réels		Éléments idéaux		
Élément tolérancé	Référence spécifiée	Élément de référence	Zone de tolérance	
			Forme	Position
Ligne réputée rectiligne, axe commun de deux surfaces réputées cylindriques GC3	Surface nominale plane SC1	L'élément de référence \boxed{A} est le plan parfait, tangent côté libre de matière à la surface SC1, minimisant le plus grand des écarts.	Cylindre de diamètre 0,05 mm	Dont l'axe est incliné à 99° de \boxed{A}
	Ensemble de 8 lignes réputées rectilignes, axes de 8 surfaces réputées cylindriques GC1	L'élément de référence \boxed{F} est l'ensemble de 8 axes, perpendiculaires à \boxed{A} , axes des cylindres de plus grand diamètre, tangents côté libre de matière à la surface GC1 et minimisant le plus grand des écarts		Dont l'axe est contenu dans le plan de symétrie de \boxed{F}
	Ligne réputée rectiligne, axe de la surface nominale cylindrique SC7	L'élément de référence \boxed{B} est l'axe perpendiculaire à \boxed{A} du plus petit cylindre tangent côté libre de matière à la surface SC7, minimisant le plus grand des écarts		Dont l'intersection avec le plan \boxed{A} se trouve à 12,67 mm de \boxed{B}

Ici, la tolérance concerne un groupe de deux éléments séparés.
La mention de zone commune indique que la tolérance est appliquée à l'ensemble de ces deux éléments (ici les alésages $\varnothing 55 \text{ H6}$ et $\varnothing 62 \text{ H6}$).
Sans cette mention, l'exigence aurait porté sur chaque élément.

Question 5.6
DT10
Feuille de copie

Proposer une gamme de contrôle pour la spécification précédente à l'aide d'une machine à mesurer tridimensionnelle.

La pièce est placée sur le marbre de telle sorte que les surfaces « A », « D », « E » et « F » soient accessibles aux palpeurs :

1. construction du plan « A » à partir du palpement de la surface réelle ;
2. construction de l'ensemble des 8 droites « F » à partir du palpement des 8 trous ;
3. construction de la droite « B » à partir du palpement de la surface réelle ;
4. palpement de la surface tolérancée et définition de la spécification pour validation.

Question 5.7

DT10

Feuille de copie

Analyser et interpréter la spécification de l'alésage $\varnothing 55 H6(E)$.

Justifier la mention d'exigence de l'enveloppe.

La spécification dimensionnelle $\varnothing 55 H6$ s'interprète de la façon suivante :

« tout bipoint diamétralement opposé selon l'axe du plus grand cylindre tangent côté libre de matière à la surface spécifiée et minimisant le plus grand des écarts doit être compris entre 55 mm et $55 \text{ mm} + IT_{H6}$ ».

L'exigence de l'enveloppe indique qu'un cylindre parfait du diamètre mini de la cote bilimite doit rentrer dans la surface spécifiée. Ici, un cylindre de $\varnothing 55 \text{ mm}$ doit entrer dans la pièce. Cette exigence permet le contrôle par calibre ENTRE / N'ENTRE PAS. Elle est toute indiquée ici pour le montage d'un roulement dont la géométrie cylindrique de la bague extérieure est rectifiée.

Lors de l'assemblage du sous-ensemble entraînement plateau / cuve, le montage de l'arbre du plateau (1) et des roulements (15) et (17) peut nécessiter une modification de forme des surfaces internes actuelles de l'axe de cuve (2).

Question 5.8

DT1 et DT10

DR3

Justifier cette nécessité de modification de l'axe de cuve.

Proposer alors une évolution de forme des surfaces internes de l'axe de cuve (2).

Voir DR3.

En vue de la réalisation de l'axe de cuve, une étude de fabrication est lancée, dans le but de réaliser une pré-série de 50 pièces sur la base du plan actuel (voir DT10).

Les éléments retenus pour la fabrication sont présentés sur le document DT12.

Définition du brut :

- barre ronde, laminée, $\varnothing 145$, tolérance sur le diamètre $\pm 2 \text{ mm}$, selon norme EN 10060 ;
- débit : sciage à longueur 135 mm .

Question 5.9

DT10 et DT12

DR4

Proposer une gamme de fabrication compatible avec les éléments techniques retenus.

Voir DR4.

Dans le cas de la réalisation de l'alésage $\varnothing 55$ H6 sur la fraiseuse proposée et avec les outils sélectionnés (voir DT12), il est nécessaire de vérifier la faisabilité de ces usinages.

Question 5.10 | **Déterminer** les conditions de coupe pour l'opération de perçage (ébauche).
DT12
Feuille de copie

Les données du DT12 permettent de choisir le foret utilisé pour le perçage en ébauche (foret CoroDrill® 880-D4500L40-03, perçage ébauche $\varnothing 45$ mm) :

- la longueur utile est supérieure à 90 mm mais inférieure à 135 mm, d'où $LU = 135$ mm (voir DT12 *feuille 2/3*) ;
- les tableaux de correspondance pour un acier austénitique tel que celui utilisé (voir DT12 *feuille 3/3*) recommandent le choix d'une géométrie de type :
 - MS pour la plaquette périphérique (nuance 2044),
 - LM pour la plaquette centrale (nuance 1144) ;
- selon la nuance usinée (voir DT12 *feuille 3/3*) :
 - la vitesse de coupe V_c doit être comprise entre $115 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ et $265 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, soit donc $V_c \text{ moyen} = 190 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
 - la fréquence de rotation moyenne est $N = \frac{1000 \cdot V_c \text{ moyen}}{\pi \cdot D_c} = 1344 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$,
 - l'avance f_n doit être comprise entre $0,10 \text{ mm} \cdot \text{tr}^{-1}$ et $0,20 \text{ mm} \cdot \text{tr}^{-1}$, soit $f_n \text{ moyen} = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{tr}^{-1}$.

La puissance de broche P_c est donnée par la relation suivante :

$$P_c = \frac{f_n \cdot V_c \cdot D_c \cdot K_c}{240 \cdot 10^3}$$

Avec :

- f_n : vitesse d'avance en $\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$;
- V_c : vitesse de coupe en $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$;
- D_c : diamètre du foret en mm ;
- $K_c = 2\,800 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$: pression spécifique de coupe.

Question 5.11 | **Déterminer** la puissance de broche P_c .
DT12
Feuille de copie | **Indiquer** si le choix de la machine retenue est judicieux, selon le critère de la puissance de broche.

En appliquant la formule fournie avec les paramètres de coupe et d'avance au maxi, on trouve :

$$P_c = \frac{f_n \cdot V_c \cdot D_c \cdot K_c}{240 \cdot 10^3} = \frac{0,15 \times 190 \times 45 \times 2\,800}{240 \cdot 10^3} = 14,96 \text{ kW}$$

Cela correspond à la puissance maximale de la broche en régime continu. Ce choix peut être considéré comme acceptable, sachant qu'il est éventuellement possible de moduler les paramètres de coupe V_c et / ou f_n pour diminuer la puissance consommée. Par ailleurs, la broche présente une courbe de puissance (régime « 30 min » ; 18,5 kW) supérieure au régime continu (voir DT12 *feuille 1/3*). Les opérations suivantes seront moins exigeantes en termes de puissance car la quantité de matière usinée est bien moindre.

6^E PARTIE : COUPLE MATÉRIAU-PROCÉDÉ D'OBTENTION DE LA CUVE (Durée conseillée : 35 min)

Objectif : valider le couple matériau-procédé pour l'obtention de la cuve.

Afin de garantir la qualité de la cuve et compte-tenu des contraintes liées à son utilisation dans le domaine de l'agro-alimentaire, un nouveau procédé d'obtention est envisagé. La pièce, actuellement obtenue en fonderie, est susceptible de comporter des microporosités risquant d'être polluées par les produits travaillés et pouvant provoquer une corrosion caverneuse. Des contrôles de conformité très coûteux sont donc nécessaires.

Le nouveau procédé proposé consiste à obtenir la pièce brute par cintrage puis soudage d'une tôle corroyée livrée par un fournisseur. Ici, les microporosités sont absentes et le grain, plus fin, augmente la résilience de l'alliage.



Figure 14 : vue isométrique de la cuve

Question 6.1

DT4 et DT13
Feuille de copie

Justifier la forme intérieure en « double pente » de la cuve usinée, compte tenu des exigences du système.

Pour obtenir un jeu constant entre la cuve et le plateau, celui-ci étant circulaire et incliné de 9°, il faudrait que la géométrie intérieure de la cuve soit sphérique.

Une géométrie « double pente » (ou encore biconique) permet une bonne approximation de la géométrie idéale en simplifiant la fabrication (forme développable, contrairement à la sphère).

Le matériau envisagé pour la réalisation de la cuve est un acier ayant pour désignation X2 Cr Ni 18 09.

Question 6.2

DT14 et DT15
Feuille de copie

À l'aide du diagramme de Pryce et Andrew, **préciser** la structure cristalline obtenue par la composition de cet acier.

Justifier l'intérêt de cette structure pour la fonction et l'élaboration de la cuve.

À l'aide du DT14 et de la nuance de l'acier utilisé, on trouve les pourcentages équivalents :

- chrome équivalent : $(\% \text{Cr})_{\text{eq}} = (\% \text{Cr}) = 18 \%$
- nickel équivalent : $(\% \text{Ni})_{\text{eq}} = (\% \text{Ni}) + 21 \times (\% \text{C}) = 9 + 21 \times 0,02 = 9,42 \%$

Le diagramme de Pryce et Andrew (voir DT14) permet d'identifier un acier inoxydable austénitique (juste à la limite des 4 domaines).

Ce type d'acier (304 L) dispose d'une :

- grande ductilité, jusqu'à 50 % d'allongement avant rupture (mise en forme par cintrage) ;
- résistance à la corrosion satisfaisante (milieu agroalimentaire) ;
- grande stabilité structurale (utilisation à basses températures dans le cas de produits réfrigérés ou congelés).

Question 6.3

DT16 et DT17
Feuille de copie

Justifier l'intérêt d'utiliser ce type d'acier à bas carbone.

Pour les aciers inoxydables dont le pourcentage de carbone est inférieur à 0,03 (ici 0,02), il n'y a aucun risque d'apparition de carbures de chrome $Cr_{23}C_6$ (voir DT16) et donc pas de corrosion inter granulaire (voir DT17).

Question 6.4

DT17 à DT19
Feuille de copie

Préciser le rôle du chrome et du nickel dans la composition de cet acier.

Justifier leurs teneurs respectives.

Le DT17 indique que le chrome garantit l'inoxidabilité à partir de 10,5 % (ici 18 %).

Mais le chrome a une action alphagène (ferritisante) (voir DT18).

Le nickel a quant à lui une action gammagène (austénisante) (voir DT19). Il permet ainsi d'augmenter l'étendue du domaine austénitique et donc de garantir la structure correspondante.

Le pourcentage de nickel doit être supérieur à 8 % (ici 9 %) (voir DT19).

Après avoir été corroyée, la tôle subit un traitement thermique d'hypertrempe avant d'être livrée par le fournisseur.

Question 6.5

DT16
Feuille de copie

Préciser le rôle de ce traitement thermique.

L'hypertrempe permet de garantir la structure austénitique (voir DT16) et d'éviter la présence de ferrite résiduelle, source de fragilité.

Ce traitement thermique permet également d'éviter l'apparition de carbures de chrome $Cr_{23}C_6$ (pas de risque dans notre cas).

Remarque : le terme « hypertrempe » est utilisé pour différencier ce traitement de la trempe martensitique qui permet de durcir l'alliage en transformant l'austénite en martensite.

Question 6.6

DT16
Feuille de copie

Proposer un ordre de grandeur de la température de chauffe et du temps de maintien de la tôle dans le four.

Justifier vos choix.

Le DT16 indique que la température de chauffe devra être aux alentours de 1 000 - 1 100 °C afin de garantir la mise en solution des cristaux inter granulaires. Le temps de maintien en température peut être relativement court (une heure). S'agissant d'une tôle (épaisseur du brut d'environ 35 mm), les surfaces d'échange garantissent une élévation rapide de la température à cœur.

Question 6.7

DT16
Feuille de copie

Préciser si le refroidissement doit être lent ou rapide.

Justifier votre réponse.

Proposer alors un milieu de refroidissement.

Le refroidissement doit être très rapide afin de « figer » la structure austénitique et ainsi d'éviter l'apparition de ferrite.

Une trempe à l'eau s'impose.

Après cintrage, la pièce est soudée. La figure 15 représente l'évolution de la température dans la pièce lors de l'opération de soudage.

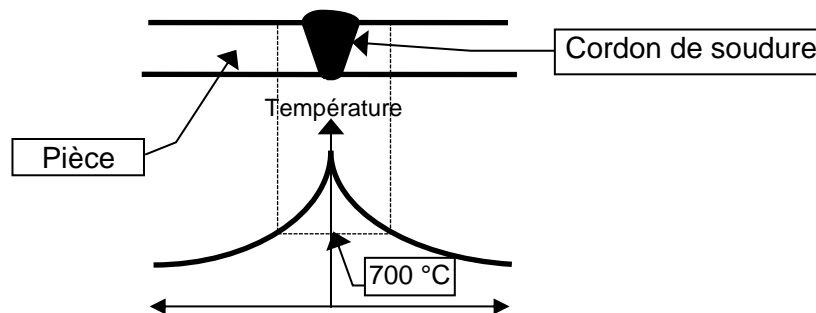


Figure 15 : évolution de la température dans la pièce lors de l'opération de soudage

Question 6.8

DT16
Feuille de copie

Justifier la nécessité de procéder à nouveau à une hypertrempe.

Le soudage, lors du refroidissement relativement lent qui le suit, va provoquer, non pas la formation de carbures puisque l'acier est pauvre en carbone, mais de la ferrite résiduelle fragilisante (en dessous de 600 °C, voir DT16) Une seconde hypertrempe permettra d'éliminer ce défaut.

Remarque : un soudage TIG, où le flux de gaz refroidit relativement rapidement la soudure, suivie d'une passivation formant une couche protectrice d'oxyde de chrome, semble indiquée (fréquemment utilisée dans le milieu agroalimentaire) et pourrait éviter cette deuxième hypertrempe.

La déformation par cintrage ainsi que le soudage engendrent des contraintes élastiques dans la pièce qui sont éliminées par l'hypertrempe. Mais celle-ci génère elle-même d'autres contraintes résiduelles. Un traitement de stabilisation permettant d'éliminer ces dernières est donc nécessaire.

Question 6.9

DT16
Feuille de copie

Préciser la raison principale de la nécessité d'un tel traitement thermique.

Le refroidissement rapide à l'eau de l'hypertrempe provoque l'introduction de contraintes résiduelles dans la pièce. Le traitement de stabilisation va permettre de les relaxer avant l'usinage et donc d'éviter la déformation de la pièce lors des opérations d'usinage postérieures. On parle aussi de recuit de détente (ou de stabilisation).

Question 6.10

DT16

Feuille de copie

Proposer un ordre de grandeur de la température de chauffe et du temps de maintien de la pièce dans le four.

Justifier vos choix.

Pour l'acier inoxydable austénitique, le traitement de stabilisation s'effectue à des températures assez basses (400 °C à 450 °C) pendant trois à quatre heures.

Ce couple température – durée garantit de n'avoir aucune mise en solution, donc aucune modification des propriétés cristallines du matériau.

Question 6.11

Feuille de copie

Préciser si le refroidissement doit être lent ou rapide.

Justifier votre réponse.

Proposer alors un milieu de refroidissement.

La pièce doit être refroidie lentement (environ 100 °C par heure), idéalement dans un four thermostaté pour en maîtriser la baisse de température jusqu'à une température de l'ordre de 150 °C.

Ensuite, la pièce peut refroidir à l'air libre.

Le refroidissement lent permet de libérer les contraintes internes sans modifier la structure du matériau.

Question 6.12

Feuille de copie



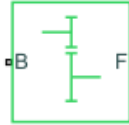

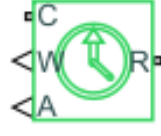
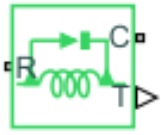
Préciser le placement de ce traitement thermique par rapport aux opérations d'usinage (avant-après).

Justifier votre réponse.

Le traitement de stabilisation (ou recuit) doit impérativement intervenir avant l'usinage pour limiter la présence de contraintes internes pouvant être libérées par l'usinage.

DR1 – Éléments du modèle et grandeurs associées

Question 1.3

Bloc	Nom	Type de grandeur mesurée (flux ou effort)	Grandeur d'entrée	Grandeur de sortie	Caractéristique	Unité
	Référence mécanique en rotation					
	Source idéale de couple			Couple		
	Réducteur		Énergie mécanique de rotation	Énergie mécanique de rotation	Rapport de réduction	Aucune
	Inertie idéale (rotation)				Moment d'inertie équivalent	kg·m ²
	Capteur idéal de vitesse et de position	Flux (vitesse de rotation)		Image de la vitesse de rotation		
	Capteur idéal de couple	Effort (couple)	Couple	Image du couple transmis		

DR2 – Tableau d'analyse des antériorités

Questions 5.1 et 5.3

Analyse des antériorités fonctionnelles et/ou de position			Antériorités				Caractéristiques			
IDENTIFICATION DES SURFACES DU MODÈLE	Fonction technique assurée	Surfaces ou groupes de surfaces fonctionnels	Primaire	Secondaire	Tertiaire	Intrinsèques	De contact			
<p>Vues du modèle</p>	MIP par le parent									
	Appui plan	SC1	Surface appui plan					Planéité		
	Centrage court	SC2	Surface cylindrique	SC1	Perpendiculaire			Diamètre et longueur		
	Hauteur de centrage	SL5	Surface plane	SC1	Parallèle et distant			Planéité		
	MAP par le parent									
	Orientation et maintien	GC1	Trou taraudé	SC1	Perpendiculaire	SC2	Parallèle et distant		Diamètre, taraudage et distance entre trous	
	MIP couronne d'orientation									
	Appui plan	SC3	Plan de montage couronne	SC1	Parallèle et distant				Planéité	
	Centrage	SC4	Surface cylindrique	SC3	Perpendiculaire	SC2	Parallèle et d=0		Diamètre et cylindricité	
	Garantir la hauteur de guidage	SL2	Surface plane	SC3	Parallèle et distant				Planéité	
	MAP couronne d'orientation									
	Trous lamés	GC2	Trou lamé pour passage de vis	SC3	Perpendiculaire	SC4	Parallèle et distant	GC1	Angle	Diamètre, lamage et distance entre trous
	MIP plateau									
	Centrage long	GC3	Portées de roulements	SC1	Angle	GC1	Angle	SC2	Distance	Diamètre de chaque porte et co-axialité relative
	Butée	SC5	Surface d'arrêt roulement	GC3	Perpendiculaire	SC1	Distance			Planéité
	Assurer le passage du plateau									
	Surface plane	SL1		SC5	Parallèle et distant					Planéité
	Garantir l'étanchéité									
	Au niveau inférieur couronne	SC7	Surface de frottement lèvres de joint							Diamètre et cylindricité
	Au niveau supérieur couronne	SC4	Surface de frottement lèvres de joint							Diamètre et cylindricité
	Au niveau arbre plateau	SC6	Surface de frottement lèvres de joint							Diamètre et cylindricité
	Garantir une résistance									
	Hauteur	SL4	Plan garantissant les guidages	SL5	Parallèle et distant					
	Épaisseur	SL3	Surface cylindrique							Diamètre et cylindricité

Feuille d'analyse préparatoire à la spécification de composants

Fonction technique assurée : mise en position (MIP), maintien en position (MAP), passage d'autres pièces, rigidité de la pièce, ...

S = surface libre
SC = surface de contact
SB = surface brute

G = groupe des surfaces libres
GC = groupe des surfaces de contact
GB = groupe des surfaces brutes

Caractéristiques intrinsèques : spécifications de forme, Diamètre, distance interne dans le groupe

Caractéristiques de contact : Voir tableau rugosité, traitements de surface

DR3 – Évolution de la cotation du Ø 55 H6 de l'axe de cuve

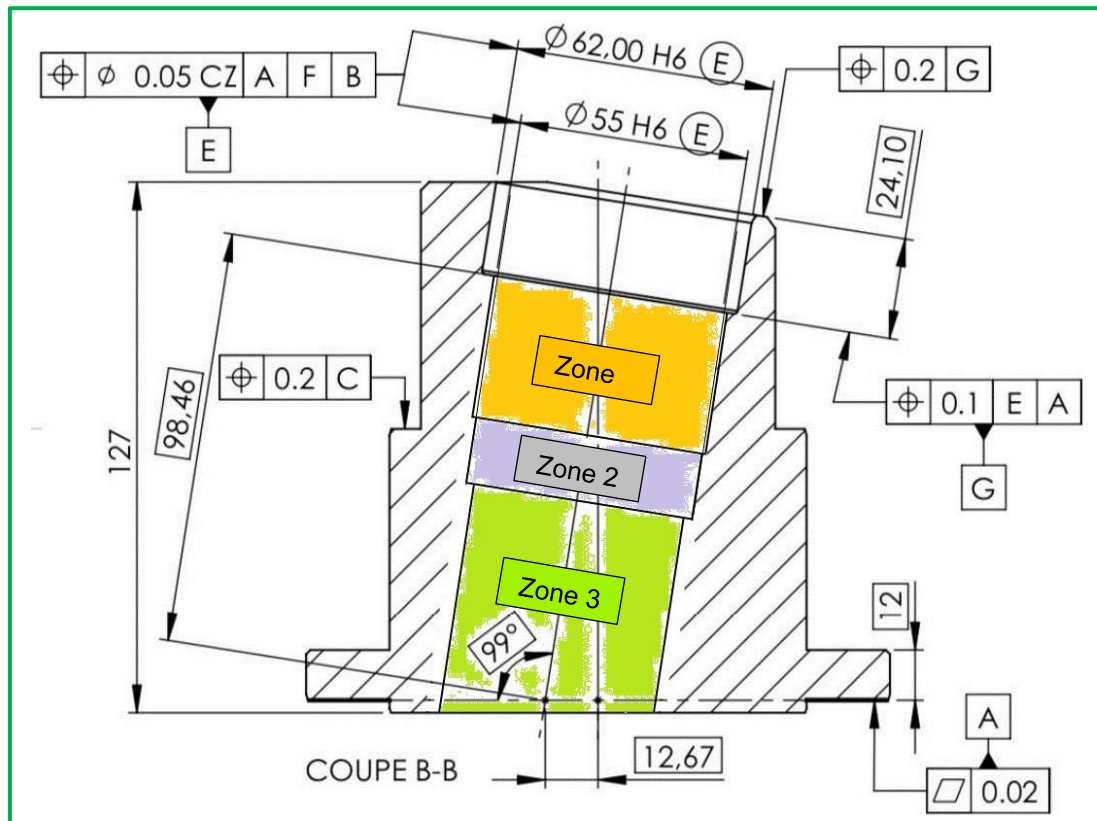
Question 5.8

Éléments de critique de la solution actuelle de la cotation de l'alésage Ø 55 H6 :

L'alésage au diamètre Ø 55 H6 sur toute la longueur de l'alésage :

- rend plus compliqué le montage/démontage du roulement inférieur ;
- engendre des coûts d'usinage plus importants.

Proposition de modification de l'alésage Ø 55 H6 :



Modifications envisageables :

- zone 1 : passer au Ø 56 H9 (ou plus) ;
- zone 2 : conserver la portée Ø 55 H6 sur une longueur limitée ;
- zone 3 : laisser à la cote de perçage Ø 45 ou d'ébauche de l'alésage Ø 54,4.

Éléments de justification de la modification de l'alésage Ø 55 H6 :

Avantages :

- montage du roulement facilité ;
- usinage de qualité 6 limité en longueur (gain de temps, simplification de l'outillage, coûts réduits).

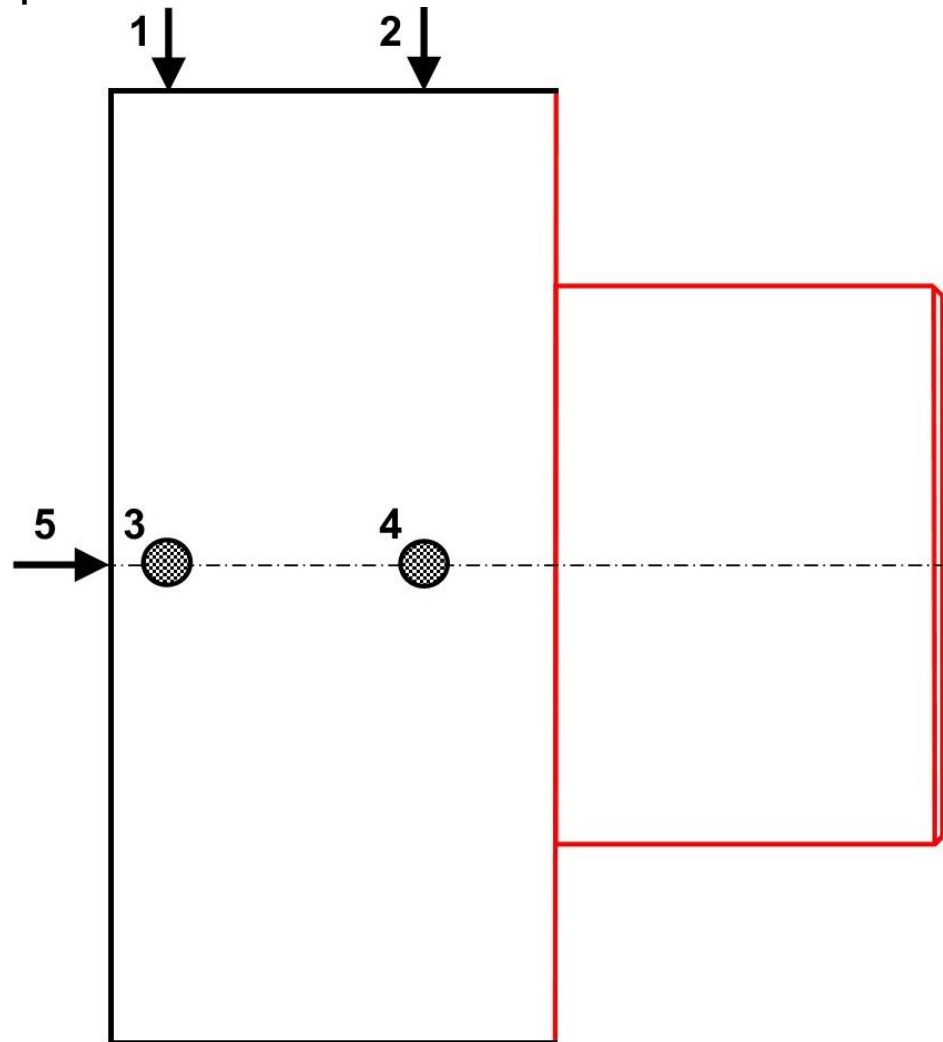
Inconvénients :

- ajout d'une opération d'usinage supplémentaire (et potentiellement un outil) ;
- nécessité de maîtriser la bavure au raccordement zone 1 / zone 2.

DR4 – Gamme de fabrication de l'axe de cuve (feuille 1/2) Question 5.9

Phase : 10

Croquis :



Machine : tour CN 3 axes

Mise en position :

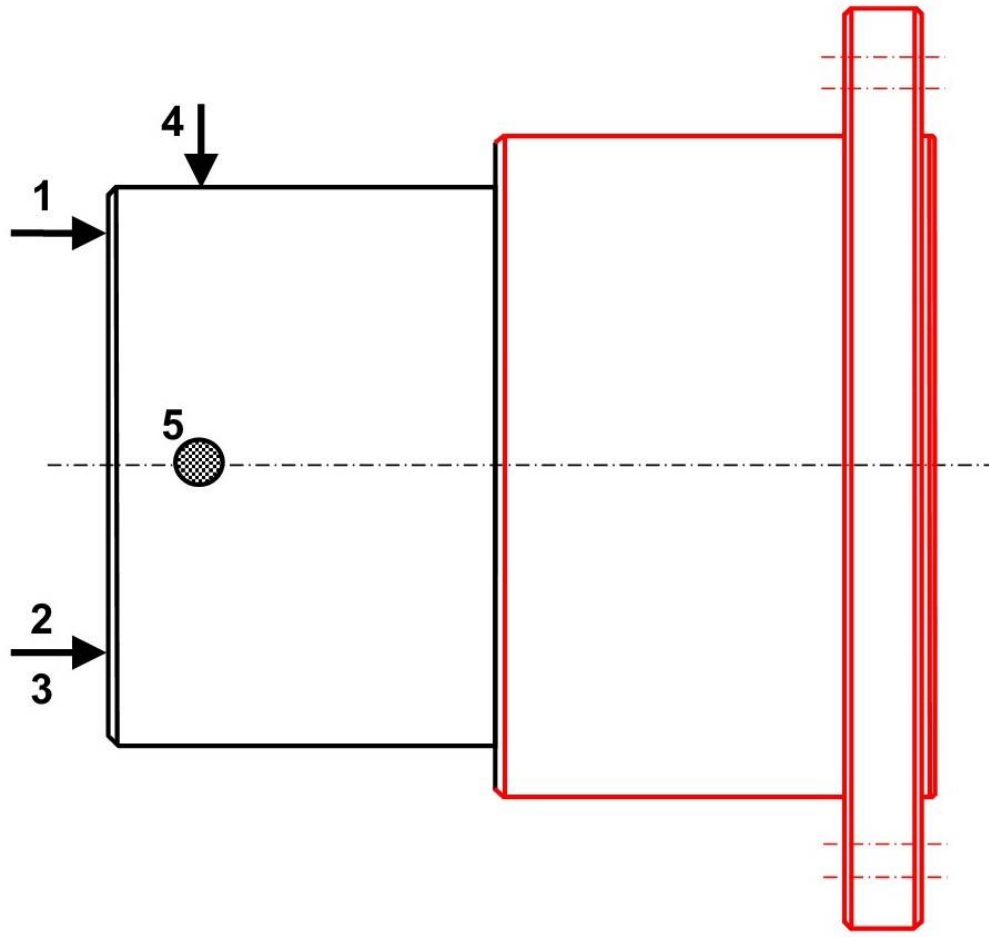
Centrage long sur le brut $\varnothing 145$ et butée sur la surface sciée en bout de pièce.

Maintien en position :

Serrage concentrique en mors durs.

Justifications :

Réalisation des surfaces de reprises pour la phase 20 : usinage du $\varnothing 85$, dressage de l'épaulement et de la surface en bout de pièce, chanfreinage.

Phase : 20	Machine : tour CN 3 axes
<p>Croquis :</p> 	<p>Mise en position :</p> <p>Appui plan sur la surface dressée en bout de pièce et centrage court sur la surface usinée $\varnothing 85$.</p> <p>Maintien en position :</p> <p>Serrage concentrique en mors doux.</p> <p>Justifications :</p> <p>Réalisation des surfaces A, B, C, D et des chanfreins correspondants.</p> <p>Usinage des 6 trous $\varnothing 7$ mm lamés $\varnothing 11$ mm et des 8 trous taraudés M8 (surfaces F) grâce au 3^{ème} axe.</p>

Respect des
spécifications
géométriques
suivantes :

\perp 0.01 C

\perp 0.1 A

\oplus 0.02 A

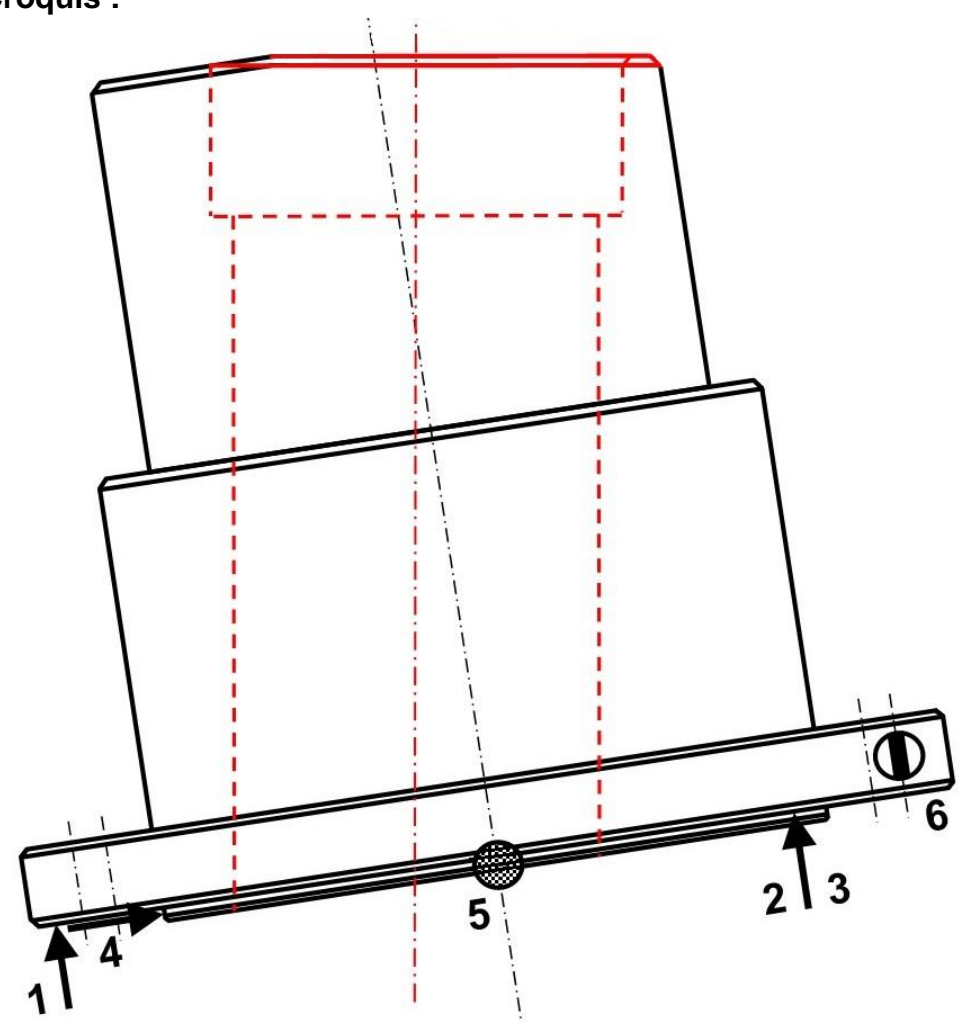
\oplus 0.2 A

\square 0.02

\oplus \varnothing 0.1 A B

\oplus \varnothing 0.1 C D F

DR4 – Gamme de fabrication de l’axe de cuve (feuille 2/2) Question 5.9 (suite)

<p>Phase : 30</p>	<p>Machine : fraiseuse 3 axes</p>												
<p>Croquis :</p> 	<p>Mise en position :</p> <p>Montage d'usinage spécifique incliné à 9° par rapport à l'axe vertical.</p> <p>Appui plan sur A, centrage court sur B et indexage (centreur dégagé) sur un des trous M8.</p> <p>Maintien en position :</p> <p>Maintien en position par bridage sur la surface C.</p> <p>Justifications :</p> <p>Usinage des surfaces E de portées des roulements de l'axe du plateau et de l'épaulement G, du plan supérieur de dégagement et des chanfreins correspondants.</p> <p>Respect des spécifications géométriques suivantes :</p> <table border="1" data-bbox="1366 1133 1814 1204"> <tr> <td>\oplus</td> <td>ϕ 0.05 CZ</td> <td>A</td> <td>F</td> <td>B</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1366 1228 1579 1292"> <tr> <td>\oplus</td> <td>0.2</td> <td>G</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1366 1316 1635 1380"> <tr> <td>\oplus</td> <td>0.1</td> <td>E</td> <td>A</td> </tr> </table>	\oplus	ϕ 0.05 CZ	A	F	B	\oplus	0.2	G	\oplus	0.1	E	A
\oplus	ϕ 0.05 CZ	A	F	B									
\oplus	0.2	G											
\oplus	0.1	E	A										

COMMENTAIRES

1^{ère} PARTIE : ANALYSE DE LA MACHINE ET DE SON COMPORTEMENT

Remarques générales

La première partie d'un sujet, et plus particulièrement les premières questions, doivent permettre au candidat de montrer qu'il a bien assimilé le fonctionnement et les exigences qui vont conduire par la suite à des problématiques de validation ou de modification du système. On trouve malheureusement trop de réponses hâtives qui ne répondent que partiellement à la question posée, ou qui ne tiennent pas compte des contraintes liées au milieu environnant.

Question 1.1

De trop rares candidats ont proposé un schéma cinématique dont les mobilités étaient cohérentes avec celles du système. Toutes les propositions ne présentant pas un plateau incliné par rapport à l'axe de la cuve n'ont pas pu rapporter de points.

Question 1.2 à 1.7 (sauf 1.3)

Cette série de questions abordait les enjeux de validation des performances du système, puis la comparaison entre les performances mesurées et celles obtenues à l'aide d'un modèle multiphysique.

S'agissant d'une centrifugeuse intégrée à une chaîne de production, il semble naturel que l'exigence proposée ($600 \text{ produits/heure} \pm 1,5\%$) devait être validée par rapport aux deux valeurs de la tolérance.

Très peu de candidats ont su interpréter et exploiter cet intervalle de tolérance très serré. C'est cet élément clé qui devait permettre :

- de calculer la fréquence de rotation de la cuve sans faire d'arrondis (risque de sortir de l'IT), ni négliger des valeurs telles que le demi-diamètre des produits à traiter ;
- de conclure sur la pertinence du modèle multiphysique dont on demandait de quantifier les écarts par rapport au comportement du système réel.

La plupart des candidats ont proposé des améliorations du modèle faisant intervenir les différentes pertes et rendements des composants, mais avec des justifications souvent hasardeuses.

Quelques candidats ont proposé des modifications du système afin de le faire correspondre au modèle multiphysique. Cette démarche est surprenante car elle conduit à des propositions fantaisistes.

Question 1.3

Si la quasi-totalité des candidats a su proposer le type (flux ou effort) pour les grandeurs de vitesse angulaire et de couple, le reste du tableau à compléter a montré qu'une grande majorité d'entre eux n'avait pas une pratique maîtrisée des outils de modélisation multiphysique.

2^{ème} PARTIE : VALIDATION DE LA CINEMATIQUE DE LA MACHINE

Remarques générales

Cette partie de cinématique se voulait être un grand classique de la mécanique du solide, permettant aux candidats de traiter rapidement et efficacement une partie complète. Il apparaît que si le joint de cardan soit connu de la plupart des candidats en tant que composant, la démonstration de ses propriétés n'a été réussie que dans une infime minorité des cas.

Question 2.1

Beaucoup de candidats ne proposent pas une réponse qui corresponde parfaitement à la question posée. Cette remarque est assez récurrente tout au long du sujet, mais particulièrement flagrante sur cette question. Une lecture plus attentive des questions, et une interprétation plus fine de ce que le jury attend devraient permettre aux candidats de mieux cibler leur réponse.

On demandait dans un premier temps d'exprimer les défauts de géométrie que permet de corriger le joint de cardan en général, et non pas les défauts corrigés par le nouveau modèle remplaçant le joint de cardan initial.

Enfin, en demandant les critères qui ont conduit à son remplacement, le jury n'a pas pu accorder de valeur ajoutée à une comparaison des différentes valeurs présentes sur le document technique, sans se soucier de leur pertinence. Ici, par exemple, ni la vitesse de rotation, ni l'angle de désalignement ne sont amenés à évoluer lors du changement de modèle de cardan, ce ne sont donc pas des éléments décisifs.

Questions 2.2 à 2.5

L'étude du joint de cardan (dont le schéma cinématique est fourni) est un des basiques de la mécanique du solide, que tout candidat au concours de l'agrégation se doit de maîtriser.

Il va de soi que le graphe des liaisons d'un tel mécanisme doit nécessairement faire apparaître un cycle fermé, même si le "bâti" est composé de deux entités distinctes. Il n'est par ailleurs pas pertinent de remplacer deux liaisons linéaires annulaires par leur liaison pivot glissant équivalente, surtout sans justification, à ce stade de la démarche.

Cet excès de simplification a conduit la plupart du temps à des erreurs par la suite. La démarche visant à déterminer le nombre de mobilités et le degré d'hyperstaticité du mécanisme a trop souvent été traitée sans soucis de pédagogie vis-à-vis du jury. Dans l'ensemble, les valeurs trouvées, ainsi que les modifications du modèle proposées sont cohérentes, mais les candidats qui proposent des réponses farfelues (valeurs élevées ou négatives pour le degré d'hyperstaticité) sans réflexion sur leur réponse plongent le jury dans une grande perplexité.

Si dans l'ensemble, la liaison équivalente formée par le joint de cardan est connue, sa démonstration n'est maîtrisée que par un petit nombre de candidats. Le jury précise également que les intentions de solutions non exploitées n'apportent pas de points. Au

niveau d'expertise que l'on attend d'un candidat à l'agrégation, il est surprenant de voir dans des copies la mention de la méthode à mettre en œuvre sans même une tentative de sa mise en pratique.

La mise en place des figures planes de changement de base est un outil de base que se doit de maîtriser tout enseignant abordant le calcul en mécanique. Les règles de base sont de représenter les angles avec une "petite" valeur positive, dans un trièdre direct dont la normale est sortante du plan de la feuille. Ces dispositions doivent permettre de faciliter les calculs en projection.

La détermination de la loi entrée/sortie du joint de cardan n'a pratiquement pas été abordée, même par les rares candidats citant le fait que la résolution repose sur l'orthogonalité du croisillon.

Questions 2.6 et 2.7

Ces questions ont été très peu traitées, alors qu'elles consistaient simplement en l'exploitation et l'analyse d'une relation fournie.

Question 2.8

Ici encore, beaucoup de candidats ont mal interprété la question. On demandait simplement de vérifier que les variations de vitesses dues au comportement non homocinétique du joint de cardan étaient compatibles avec les exigences du cahier des charges.

3^{ème} PARTIE : MODIFICATION DE LA TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CUVE

Remarques générales

Il s'agit de la partie qui a été abordée par le plus grand nombre de candidats. Aux premières questions de résistance des matériaux relativement classiques, succédaient quelques questions plus ouvertes visant à choisir le matériau devant constituer la roue dentée.

Il semble que pour de nombreux candidats, la géométrie des dentures d'engrenages ne soit pas maîtrisée, notamment l'existence des différents diamètres (pied, primitif et tête).

Question 3.1

Si cette question triviale permettant de déterminer l'effort tangentiel subit par la dent lorsqu'elle transmet le couple a globalement été bien traitée, le jury s'étonne de trouver des réponses dont la valeur est incohérente en termes d'ordre de grandeur, ou pire, des résultats qui ne sont pas homogènes à une force.

Questions 3.2 et 3.3

On demandait ici un dimensionnement en résistance de la dent, modélisée par une poutre droite, encastree à une extrémité. S'il s'agit d'un problème très classique de la résistance des matériaux. La restitution de résultats de formulaires, sans même prendre le soin de conformer les notations à celles du sujet, ne traduit pas une grande maîtrise du sujet.

De nombreux candidats proposent une démarche complète et cohérente pour ces questions, leur permettant de déterminer une valeur de module d'engrenage compatible avec la suite du sujet.

Question 3.4

Pour cette question, il était demandé de déterminer le nombre de dents de la roue et du pignon. La seule subtilité consistait à bien comprendre que le diamètre proposé était indicatif mais que le rapport de réduction devait absolument être de 2,5.

Question 3.5

Il était possible de proposer un grand nombre de critères, ce qu'on fait de nombreux candidats. Toutefois, lorsque le jury demande citer deux critères, il est conseillé de les choisir dans deux "familles" distinctes. Ainsi "coefficient de frottement & usinabilité" forme une meilleure réponse que "empreinte carbone & recyclabilité". Attention également à ne pas reprendre les critères déjà proposés dans le sujet.

Question 3.6

La proposition d'un coefficient de sécurité repose sur une analyse personnelle de la démarche de dimensionnement et des risques encourus. Il est donc toujours compliqué d'être confronté à des réponses sèches et sans justification.

Un certain nombre de candidats propose un coefficient de sécurité dont la seule justification semble être l'élimination d'un des deux matériaux proposés.

Question 3.7

Cette question, relativement ouverte, permettait d'évaluer les candidats sur les arguments mis en avant, donc sur la cohérence de la démarche qu'ils proposaient. Si la plupart des réponses ont été satisfaisantes, il fallait absolument proposer un seul choix de matériaux. Le fait d'affirmer que les deux matériaux pouvaient convenir ne savait être une réponse satisfaisante.

4^{ème} PARTIE : MODIFICATION DE LA LAISON ENTRE LA CUVE ET LE CHÂSSIS

Remarques générales

Cette partie, relativement classique, reposait sur l'étude statique, puis dynamique, d'un sous-ensemble de la machine centrifuge, afin de valider le dimensionnement d'un roulement à billes particulier à quatre points de contact, appelé « couronne d'orientation », dont le montage est préchargé.

Manifestement, trop de candidats n'ont pas perçu la particularité du composant étudié. L'étude statique, dont le modèle était pourtant fourni, n'a été que très rarement abordé correctement.

Aucun candidat n'a su mener l'étude dynamique de façon juste.
Plusieurs candidats n'ont pas abordé cette partie.

Question 4.1

Cette question nécessitait uniquement de s'approprier le document technique relatif à la couronne d'orientation. À peine 10 candidats ont su justifier la liaison pivot au regard de la nature même du composant et de ses conditions de montage.

Question 4.2

Pour cette question, le jury s'étonne du manque de rigueur d'un trop grand nombre de candidat, s'agissant d'une étude statique pourtant très classique, notamment dans la démarche : isolement, bilan de actions, application du principe fondamental de la statique.

Très peu de candidats ont perçu, par analyse ou par calcul, que l'action d'engrènement était nulle en statique, aucun couple résistant n'étant appliqué à l'ensemble isolé.

Question 4.3 et 4.4

Ces questions nécessitaient de s'approprier le document technique correspondant. Trop souvent, au regard des réponses proposées, les candidats ont lu celui-ci trop hâtivement. Pourtant, il ne s'agissait que d'appliquer des formules données en sélectionnant certaines caractéristiques, fournies également.

Question 4.5

Cette question, pourtant très simple, s'agissant de déterminer la matrice d'inertie d'une masse ponctuelle, n'a été traitée correctement que de façon exceptionnelle, à la grande surprise du jury qui s'étonne que des candidats à l'agrégation ne maîtrisent pas ce type de fondamentaux.

Question 4.6

Aucun candidat n'a su écrire le moment dynamique appliqué à l'ensemble isolé de façon correcte. Ici, un manque de rigueur flagrant est encore à mettre en avant.

Question 4.7

Cette question, permettant de conclure sur la validité du composant, n'a malheureusement été traitée par aucun candidat.

5^{ème} PARTIE : RECONCEPTION ET FABRICATION DE L'AXE DE CUVE

Remarques générales

Il s'agissait ici d'analyser la cotation d'une pièce et de proposer une gamme de fabrication.

Cette partie, souvent non traité par les candidats, montre que les notions de cotation et de tolérancement normalisé ne sont pas suffisamment maîtrisées, et encore moins celles liées à la fabrication par enlèvement de matière.

Question 5.1

Cette question nécessitait de s'approprier la cotation proposée de l'axe de cuve. En règle générale, celle-ci a été plutôt bien traitée.

Question 5.2 et 5.3

Cette question obligeait les candidats à analyser le dessin d'ensemble de la machine afin d'identifier les pièces servant à la mise en position de l'axe de cuve par rapport aux autres pièces. Les réponses manquaient souvent de justifications.

Le tableau d'analyse des antériorités n'a été correctement renseigné que par de très rares candidats, mais jamais de façon complète.

Question 5.4 à 5.7 (sauf 5.6)

L'analyse de ces spécifications manquait souvent de rigueur et a été abordée de façon très superficielle par de nombreux candidats. Manifestement, le tolérancement normalisé n'est pas suffisamment maîtrisé.

Question 5.6

Les rares réponses à cette question montrent que beaucoup de candidats n'ont jamais mis en œuvre une machine à mesurer tridimensionnelle.

Question 5.8

Il s'agissait de la seule question de conception du sujet. Seuls 4 candidats l'ont traitée correctement.

Souvent, les modifications proposées ne tenaient pas compte des conditions d'usinage de la pièce, ni de montage des roulements.

Questions 5.9 à 5.11

Ces questions ont été très peu traitées, ce qui montre une certaine appréhension des candidats à aborder les notions de fabrication par enlèvement de matière, qu'il s'agisse d'établir une gamme d'usinage ou de déterminer des conditions de coupe.

6^{ème} PARTIE : COUPLE MATÉRIAU-PROCÉDÉ D'OBENTION DE LA CUVE

Remarques générales

Cette partie, la moins traitée par les candidats, visait à aborder certaines notions métallurgiques liées à l'élaboration des aciers inoxydables et à leurs traitements thermiques. Celles-ci ne sont manifestement pas suffisamment maîtrisées.

Les réponses ont trop souvent été très superficielles, sans une véritable appropriation de la documentation technique fournie.

Question 6.1

À la grande surprise du jury, 2 candidats seulement ont su répondre correctement à cette question, nécessitant une bonne compréhension de la cinématique de la machine centrifuge et de la solution choisie pour maintenir un jeu constant entre la cuve et le plateau, celui-ci étant incliné.

Question 6.2

Peu de candidats ont déterminé correctement les pourcentages équivalents en chrome et surtout en nickel, en oubliant notamment l'influence du carbone. De ce fait, la présence d'un acier inoxydable austénitique n'a pas toujours été identifiée. Les réponses ont été souvent trop hâtives et approximatives. Les candidats annonçant être en présence d'un acier à la fois austénitique et martensitique n'ont logiquement pas obtenu de point.

Question 6.3

L'analyse des documents techniques fournis auraient dû permettre de traiter cette question correctement, ce qui n'a malheureusement pas été le cas au regard de la majorité des réponses.

Question 6.4

Les candidats ayant traité cette question ont su, en règle générale, déterminer le rôle du chrome, mais jamais celui du nickel.

Les pourcentages n'ont quasiment jamais été justifiés. Des éléments de réponse étaient pourtant mentionnés dans la documentation technique fournie.

Question 6.5 à 6.7

Là encore, il s'agissait de se saisir de la documentation technique fournie, trop souvent négligée. De ce fait, les rares réponses sont restées très approximatives.

Question 6.8

L'apparition de ferrite résiduelle due au soudage n'a été perçue que par un seul candidat.

Questions 6.9 à 6.12

Les réponses ont été également trop souvent approximatives, ou fausses, s'agissant notamment de la température de chauffe et du placement du traitement par rapport aux opérations d'usinage.

ÉPREUVE D'ACTIVITÉ PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Coefficient 2 – Durée 6 heures

Définition de l'épreuve (extrait du bulletin officiel et arrêté modificatif du 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 comme suit :

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

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

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

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

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

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

De fait, le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier et relatif à la spécialité de l'agrégation. Pour mettre en œuvre les matériels ou les équipements, des systèmes

informatiques de pilotage, de traitement de données, de simulation, de représentation sont associés. L'opérationnalité sur un matériel ou un logiciel spécialisé n'est pas exigée.

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

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

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

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, s'inscrit dans le cadre des programmes de BTS et DUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie. Pour un objectif pédagogique imposé, à un niveau de classe donné, la conception de la séquence de formation, suppose de présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

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

Déroulement détaillé de l'épreuve :

Cette épreuve de 6 heures comporte donc 3 phases distinctes :

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

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

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée conformément aux textes et circulaires en vigueur. Durant l'épreuve les candidats ont accès à un ensemble de ressources numériques et à internet (durant la phase 2 uniquement). Les candidats disposent d'une tablette (système d'exploitation ANDROID) utilisable durant toute la durée de l'épreuve (accès à des ressources photo, vidéos, des animations préparées par les membres de jury, possibilités de prendre des photos ou vidéos pendant les activités pratiques). Durant l'épreuve, le candidat n'est pas autorisé à communiquer, par quelque moyen que ce soit, avec toute personne étrangère au concours et qui n'aurait pas la qualité de membre de jury.

Phase 1 :

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

Cette phase se déroule en 3 parties :

Première partie (durée indicative ≈ 0h30)

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

Deuxième partie (durée indicative et conseillée ≈ 2h00)

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

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

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

Troisième partie (durée indicative et conseillée ≈ 1h30)

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

pédagogique. La proposition doit prendre appui sur ces données et ressources disponibles, sur les investigations, les problèmes qui étaient à résoudre et les analyses qu'il a pu conduire et sur les référentiels des diplômes.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il appartient ensuite au candidat de présenter sa séquence pédagogique, l'articulation des différentes modalités d'enseignement retenues, les moyens utilisés, la description

des activités des élèves ou étudiants, les ressources mobilisées, la stratégie pédagogique envisagée ainsi que les conditions d'évaluation. À l'approche du temps imparti, le candidat sera invité à conclure.

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

Thèmes et études proposées à la session 2021 :

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

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

- étude et modélisation d'un dispositif de compensation mécanique sur un système motorisé : évaluation de performances à partir de mesures sur le système instrumenté, mise en place d'une loi de comportement à partir de mesures sur le système réel, simulation à partir d'un modèle multiphysique, modélisation cinématique, mise en place d'une loi à partir d'un logiciel de simulation mécanique, synthèse, analyse des écarts ;
- étude du comportement cinématique et dynamique d'un système asservi en position : description d'un système pluri-technique de type "maitre-esclave" avec les outils de l'ingénierie système, modélisation du comportement cinématique et analyse du tracé d'une résolution informatique, mise en œuvre d'un protocole expérimental et caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé, modélisation du comportement dynamique à l'aide d'un logiciel multiphysique, caractérisation des écarts entre le réel et le modèle simulé, synthèse et conclusion sur la capacité à répondre aux exigences imposées par le cahier des charges ;
- étude de pré-industrialisation d'un produit mécanique, qualification de processus : caractéristiques du matériau, étude et justification de la relation produit matériau procédé, mise en œuvre d'un protocole expérimental à partir d'une table d'expérimentation, détermination de données, modélisation puis simulation logicielle du comportement, vérification de spécifications géométriques et

dimensionnelles, optimisation, synthèse et conclusion sur la capacité à qualifier un processus en pré industrialisation ;

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

Quelques remarques récurrentes par rapport aux années précédentes :

- les candidats doivent connaître les programmes de CPGE, BTS et DUT du champs de la mécanique, où ils pourront être amenés à enseigner ;
- on note de nombreuses lacunes dans la connaissance des matériaux (désignation, essai de traction, structure de la matière, ...) ;
- les candidats ne connaissent pas les plans d'expérience ;
- la formulation d'hypothèses scientifiques supplémentaires et la proposition de modèles sont fortement valorisés. Malheureusement certains candidats se contentent de répondre linéairement aux différentes activités proposées sans prise d'initiative ;

- beaucoup de candidats semblent découvrir l'intégration numérique.
- les candidats ne doivent pas reprendre à l'identique les activités effectuées lors des TP dans leur application pédagogique ;

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

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

Pour la partie « activité pratique » :

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

Pour la partie « exposé oral » :

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

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

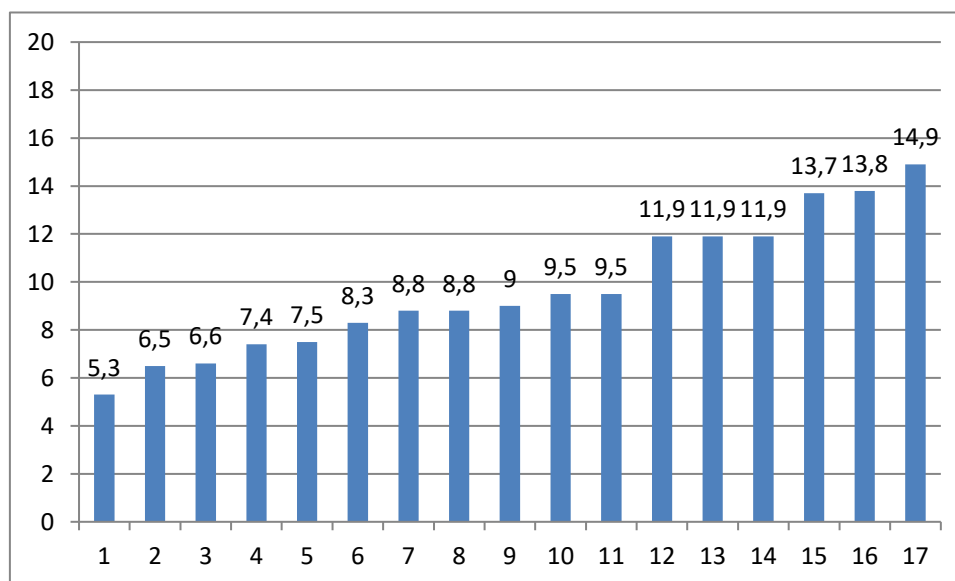
- proposer l'organisation (didactique et pédagogique) d'une séquence de formation ;
- préciser le rôle et la place du système, du support ou du produit étudié dans l'application pédagogique attendue ;
- replacer tout ou partie des activités vécues au cours de la partie « activité pratique » dans la séquence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

Analyse des résultats :

17 candidats ont composé aux deux parties de cette épreuve.

- La moyenne des notes obtenues est de 09,72/20 ;
- la meilleure note est de 14,9/20 ;
- la note la plus basse est de 05,3/20
- l'écart type est de 2,7 ;

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



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

Comme pour la session précédente, les performances démontrées en première partie « activité pratique » (moyenne de 5,4/10), sont proches de 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. Le niveau de culture technologique n'est pas toujours au rendez-vous.

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 ;
- 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 récurrente 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 de cette partie réside bien dans la possibilité, pour le candidat, à pouvoir disposer de données, d'une approche méthodologique, technologique, scientifique, de résultats d'expérimentation, issus de simulation pour décrire la séquence pédagogique imaginée et les activités des étudiants au cours de différentes séances d'enseignement.

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

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

Les recommandations suivantes restent d'actualité pour les futurs candidats

- Bien comprendre la commande pédagogique :

Il est important que les candidats puissent disposer, avant de se présenter à cette épreuve, d'une meilleure connaissance des référentiels de CPGE, BTS et de DUT

relevant des champs de l'ingénierie mécanique et ce, pour pouvoir concevoir et exposer une séquence pédagogique répondant aux attendus. Trop de candidats semblent découvrir le jour de l'épreuve sa structure et son organisation, ainsi que les contenus et les spécificités des référentiels de diplômes en vigueur.

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

➤ Mettre en œuvre des matériels et des équipements :

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

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

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

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

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

- pour l'étudiant, la définition de l'objectif de la séance, ce qui est visé ;
- les compétences que l'étudiant devra démontrer à la fin de la séquence ;
- les objectifs opérationnels qui permettent d'atteindre l'objectif de la séquence ;
- les savoir-faire et savoirs associés mobilisés durant la séquence ;
- les supports pouvant être mobilisés ;

- les activités (cours, TD, TP, projets, synthèses, structurations, ...) qui seront initiées ;
- la stratégie pédagogique adoptée (articulation entre cours, TD et TP) ;
- la durée de la séquence ;
- les évaluations prévues, avec la définition des indicateurs et critères d'évaluation.

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

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

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

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

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

Conclusion

Il reste nécessaire que les futurs candidats identifient la finalité de cette épreuve et s'y préparent par une meilleure maîtrise des outils d'analyse courants, par une plus grande

capacité à construire et à mener des protocoles expérimentaux, à synthétiser, à organiser et à exploiter des données. Pour réussir cette épreuve, les futurs candidats doivent être en capacité de mobiliser leurs connaissances scientifiques et technologiques pour conduire ou construire des démarches qui permettront de mettre en évidence les écarts constatés entre les données disponibles, les résultats issus de la mise en œuvre de systèmes ou produits et les modèles simulés, d'études expérimentales de comportement. **Les connaissances scientifiques et technologiques relevant des sciences industrielles de l'ingénieur doivent être mobilisées et affirmées.**

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

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

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

ÉPREUVE SUR DOSSIER

Coefficient 1 – Durée 1 heure

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

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

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

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

1. Les attentes du jury

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

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

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

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

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

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

2. Les compétences évaluées

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

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

3. Constats et recommandations du jury

De trop nombreux dossiers apparaissent comme traités dans l'urgence par les candidats. Pour des questions pratiques, la clef USB s'adapte à tous les ordinateurs, éviter les cartes mémoire, cartes micro ou autres supports particuliers susceptibles d'engendrer des problèmes pour trouver le lecteur adéquat.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

L'aspect technologique et scientifique

Le jury conseille de nouveau aux candidats :

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

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

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

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

L'aspect pédagogique

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

Le jury regrette, malgré ses précédentes recommandations, que trop peu de dossiers n'aient présenté ces caractéristiques pour la session 2021.

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 ;
- préciser les acquis et besoins des élèves pour réaliser l'activité ;
- de privilégier les activités pédagogiques s'adossant à un problème technique réel issu du support choisi ;
- d'envisager des travaux pratiques sur le réel lorsque le support et la problématique le permettent.

L'expression et la communication dans le dossier

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

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

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

Le jury conseille donc de nouveau aux candidats de :

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

4. Résultats à la session 2021

- La moyenne des notes obtenues est de 09,8/20 ;
- La meilleure note est de 14,2/20 ;
- La note la plus basse est de 03/20.

