



**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**

**Options : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique**

**Session 2021**

Rapport de jury présenté par : Monsieur Samuel VIOLLIN, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR), Président du jury

## Sommaire

Avant- Propos	p.3
Modalités du concours	p.5
Statistiques du concours	p.8
<b>Epreuves d’admissibilité</b>	<b>p.9</b>
Epreuve 1 - Analyse et exploitation pédagogique d’un système pluritechnique	p.9
Epreuve 2 – Etude d’un système, d’un procédé ou d’une organisation	p.30
<b>Epreuves d’admission</b>	<b>p.53</b>
Epreuve 1 : activité pratique et exploitation pédagogique d’un système pluritechnique	p.53
Epreuve 2 : épreuve sur dossier	p.57

## Avant-propos

Il est conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 28 décembre 2009, modifié successivement jusqu'au texte consolidé au 1er septembre 2016.

Ce rapport a été rédigé pour être utile aux futurs candidats de l'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie électrique et à leurs formateurs. Tous sont invités à se l'approprier par une lecture attentive.

Cette année 6 postes étaient offerts à l'agrégation interne SII option IE pour le public, 2 postes étaient offerts pour le privé. Le nombre d'inscrits fut de 348 (314 publics et 34 privés), 196 candidats du public ont composé les deux épreuves et 20 candidats du privé.

18 candidats ont été déclarés admissibles pour les 6 postes offerts au concours public et 6 candidats ont été déclarés admissibles pour les 2 postes offerts au concours privé.

Ces chiffres confirment l'attractivité du concours sur un vivier de candidats important. Il s'agit là d'un élément positif. Il est essentiel de recruter les enseignants de haut niveau capables de porter l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur avec une grande exigence.

Ce concours est sélectif. Le président de jury félicite les lauréats admis, il encourage l'ensemble des candidats inscrits non admis à poursuivre leur préparation avec le plus grand sérieux, gage d'une prochaine réussite.

L'État recrute des professeurs agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, associées à de grandes compétences pédagogiques. Les épreuves sont organisées de façon complémentaire afin de bien évaluer l'ensemble des compétences attendues d'un professeur agrégé.

Les coefficients cumulés, qui sont identiques pour les épreuves d'admissibilité et les épreuves d'admission, mettent en évidence la nécessité d'une bonne préparation de toutes les épreuves du concours. La complémentarité des épreuves et leurs différentes natures nécessitent une préparation spécifique, bien en amont des phases d'admissibilité et d'admission.

L'agrégation, comme tous les concours de recrutement de fonctionnaire, impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables. Le jury y est attentif et invite les candidats à respecter et à porter les valeurs de l'École de la République dans les circonstances de leur exercice professionnel de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Le président du jury adresse ses chaleureux remerciements à la vice-présidente, madame Christel Izac, IA-IPR de l'académie de Nantes et au secrétaire général, monsieur Philippe Raymond, directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques, académie de Rennes ainsi qu'à tous les membres du jury qui se sont fortement mobilisés.

Le concours s'est déroulé dans un contexte contraint par la pandémie de la COVID19.  
Toutes les précautions sanitaires ont été prises et les gestes barrières strictement respectés.

Le président de jury remercie vivement le proviseur de l'établissement et l'ensemble des personnels du lycée Joliot Curie de Rennes, fortement mobilisés pour garantir aux candidats et aux membres du jury le meilleur accueil.

**Samuel VIOLLIN**

**Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche**

**Président du jury**

## MODALITÉS DU CONCOURS DE L'AGRÉGATION INTERNE

**Les modalités sont fixées par l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation**

### **Section sciences industrielles de l'ingénieur**

L'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur comprend quatre options :

- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie informatique.

Le choix est formulé au moment de l'inscription. Les candidats font l'objet d'un classement distinct selon l'option choisie. Un jury est institué pour chacune des options.

### **A – Épreuves écrites d'admissibilité**

1°- Épreuve « analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique ».

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnique.

Elle permet également de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative à l'enseignement de technologie du collège ou aux enseignements technologiques du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) » ou aux sciences de l'ingénieur de la voie scientifique du lycée, ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation).

Durée de l'épreuve : cinq heures ; coefficient 2.

2°- Épreuve « étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation ».

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

L'épreuve 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 de l'épreuve : quatre heures ; coefficient 1.

## **B – Épreuves d'admission**

### **Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique**

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.

Le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi deux qui lui sont proposés : "systèmes d'information" ou "gestion de l'énergie"

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

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements spécifiques liés à la spécialité du cycle terminal ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal " sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) " du lycée 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 technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques relatives à un système technique.

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

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

### **Épreuve sur dossier**

Durée de la préparation : 1 heure

Durée totale de l'épreuve :

1 heure (présentation n'excédant pas 30 minutes, entretien avec le jury : 30 minutes au maximum)

Coefficient 1

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.

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.

Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation nationale. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

## Statistiques obtenues à l'admissibilité et à l'admission à la session 2021

### Concours Public

Nombre de postes	6
Nombre de candidats inscrits	314
Nombre de candidats n'ayant pas eu de note éliminatoire	192
Nombre de candidats admissibles	18
Nombre de candidats admis	6

Admissibilité	<b>Moyenne obtenue par le premier candidat admissible</b>	12,47
	<b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible</b>	9,5
	Moyenne des candidats non éliminés	3,73
	Moyenne des candidats admissibles	10,48
Admission	<b>Moyenne obtenue par le premier candidat admis</b>	12,89
	<b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admis</b>	11,70
	Moyenne des candidats présents	10,82
	Moyenne des candidats admis	12,32

### STATISTIQUES – Concours Privé

Nombre de postes	2
Nombre de candidats inscrits	34
Nombre de candidats n'ayant pas eu de note éliminatoire	20
Nombre de candidats admissibles	6
Nombre de candidats admis	2

Admissibilité	<b>Moyenne obtenue par le premier candidat admissible</b>	11,33
	<b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible</b>	8,26
	Moyenne des candidats non éliminés	6,7
	Moyenne des candidats admissibles	9,47
Admission	<b>Moyenne obtenue par le premier candidat admis</b>	10,77
	<b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admis</b>	10,21
	Moyenne des candidats présents	9,62
	Moyenne des candidats admis	10,49

## Épreuves d'admissibilité

### Remarques d'ordre général concernant les deux épreuves d'admissibilité :

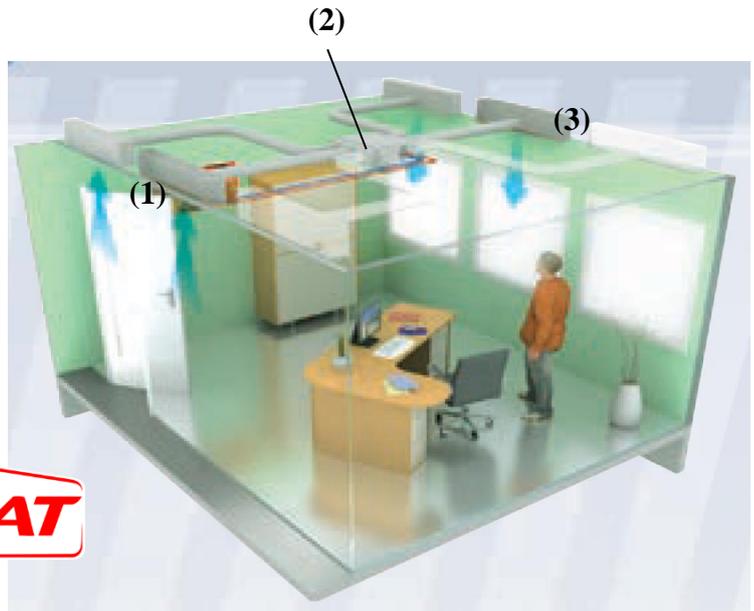
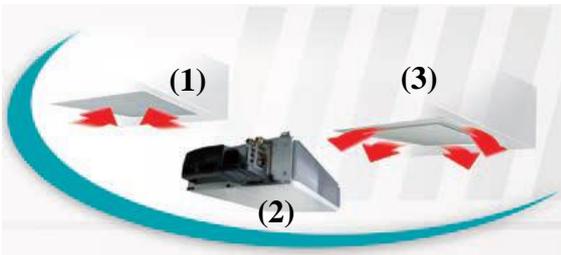
- les questions doivent être lues attentivement afin de n'oublier aucune des réponses attendues ;
- les copies doivent être soignées (écriture lisible, orthographe, présentation claire des résultats) ;
- les notations de l'énoncé doivent être impérativement respectées ;
- les réponses doivent être données sous formes littérales, puis chaque grandeur doit être remplacée par sa valeur numérique en respect de sa position dans la relation de départ avant de donner le résultat numérique avec unité.

### Éléments de correction

#### ÉPREUVE 1 : ANALYSE ET EXPLOITATION PEDAGOGIQUE 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

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 règlementaires et des enjeux de santé publique

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 1 :

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 2 :

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.

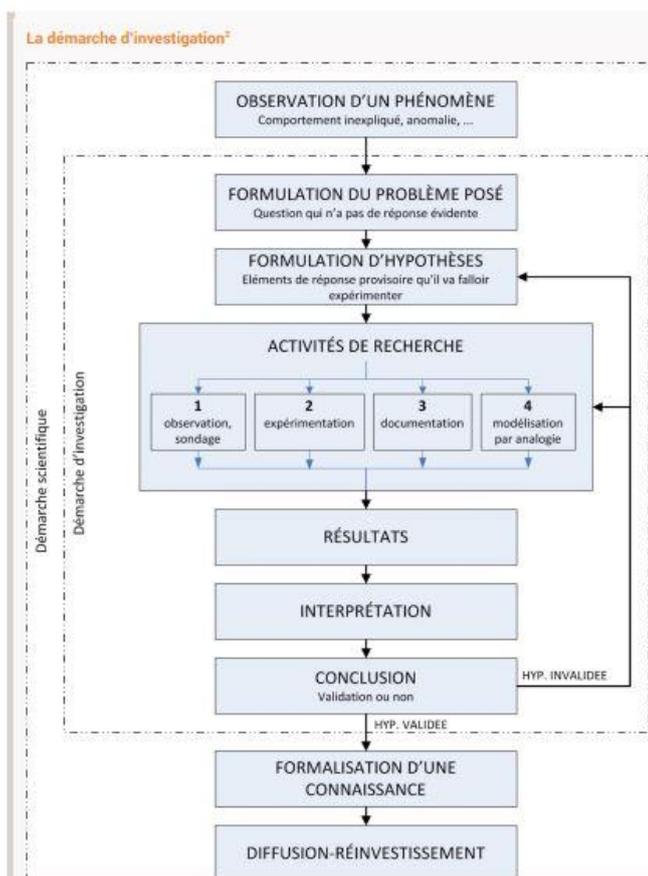


Figure 1- Source eduscol

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

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

Question 3 :

$R_{h1}=100 \Omega$  sous 5 V (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 4 :

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

Esclave

ADRESSE	FONCTION	Nombre de données	Données 16 bits		Registre CR16C	
0x 0E	0x 04	0x01	0x00	0x11	0xDD	0x3D

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

### 2.3 Exploitation pédagogique

Question 5 :

La réponse à cette question n'est pas unique. Les éléments ci-dessous ne sont pas modélisants, 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'appropriier 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 PM10, PM2.5 et PM1. 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.
----	--	--

	<b>CO1.3.</b> 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	<b>CO3.1.</b> 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.
	<b>CO3.4.</b> Identifier et caractériser des solutions techniques.	Identification et caractérisation du capteur.
O5	<b>CO5.2.</b> 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.
	<b>CO5.3.</b> 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.
	<b>CO5.5.</b> Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue.	
O7	<b>CO7.2.</b> 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.

À 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'un à l'autre.

L'étude des produits attendue 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 précisément.

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

Question 6 :

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

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 7 :

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

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 :

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

#### Question 8 :

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

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 129,6 m, l'exigence d'une longueur maximale de 2500 m est respectée.

#### Question 9 :

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 10 :

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

#### Question 11 :

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 12 :

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  $\omega$  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 13 :

Dans le domaine de Laplace, CI nulles :

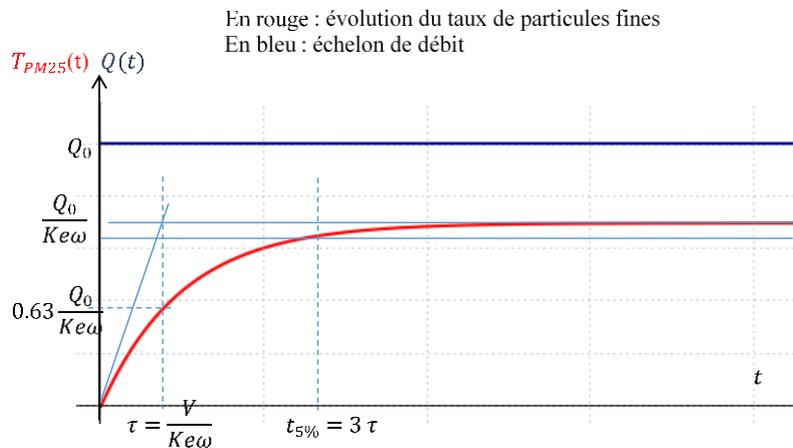
$$pVT_{PM25}(p) + eK\omega T_{PM25}(p) = Q_{ext}(p)$$

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 14 :



- 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 15 :

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  $e = \frac{V}{K\tau\omega} = \frac{40}{2.10^{-3} * 5.5 * 620 * 2 * \pi} = 0,93$

Question 16 :

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

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 :

	<b>Pour <math>\omega = 620 \text{ tr/min}</math></b>	<b>Pour <math>\omega = 770 \text{ tr/min}</math></b>
<b><math>Q_0</math></b>	<b><math>1,2 \mu\text{g}/\text{s}</math></b>	<b><math>1,5 \mu\text{g}/\text{s}</math></b>
<b><math>t_{5\%}</math></b>	<b><math>48,5 \text{ min}</math></b>	<b><math>39 \text{ min}</math></b>

**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 :  $1,2 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} < 1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

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 17 :

On isole la roue à aubes (1) + balourd

Torseurs dynamiques

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

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

$$\{D_{1/2}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C\ddot{\theta}\vec{x} \end{Bmatrix}_B$$

Bilan des actions mécaniques extérieures

- Liaison pivot en B (pb plan) :  $\{T_{2 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} Y_B\vec{y}_0 + Z_B\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_0$
- 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 :

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

Les composantes sont bien périodiques de pulsation  $\omega$ .

Question 18 :

### Résolution du problème de statique

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

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

### Torseur de cohésion :

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

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

$$\{T_{II \rightarrow I}\} = \begin{pmatrix} -N_A \vec{x}_0 + \frac{F}{2} \vec{y}_0 \\ (-M_A - x \frac{F}{2}) \vec{z}_0 \end{pmatrix}_A$$

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

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

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

### 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 19 :

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

Question 20 :

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 rad.s<sup>-1</sup> soit environ 800 tr.min<sup>-1</sup>.

Conclusion

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

Question 21 :

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 4 500 tr/min. On sera donc très loin de la fréquence de résonance en fonctionnement (même en  $\sqrt{3}$  : 900 tr/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  $\mu\text{m}$ . Il suffira d'apporter une précontrainte conduisant à au moins ce déplacement.

## 4.2 Propagation acoustique au sein de l'installation

Question 22 :

$$L_{w\text{global Asp+Ray}}[dB] = 10 \log(10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{49}{10}} + 10^{\frac{48}{10}} + 10^{\frac{43}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 53,64 \text{ dB}$$

$$L_{w\text{global Soufflage}}[dB] = 10 \log(10^{\frac{44}{10}} + 10^{\frac{46}{10}} + 10^{\frac{45}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{25}{10}}) = 50,59 \text{ dB}$$

Question 23 :

$$L_{w\text{global Asp+Ray}}[dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{31.9}{10}} + 10^{\frac{40.4}{10}} + 10^{\frac{44.8}{10}} + 10^{\frac{42}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{28}{10}}) = 48,44 \text{ dB(A)}$$

$$L_{w\text{global Soufflage}}[dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{27.9}{10}} + 10^{\frac{37.4}{10}} + 10^{\frac{41.8}{10}} + 10^{\frac{38.2}{10}} + 10^{\frac{26}{10}} + 10^{\frac{27}{10}}) = 46,11 \text{ dB(A)}$$

$$L_{w\text{global Soufflage+Asp}}[dB(A)] = 10 \log(10^{\frac{48.44}{10}} + 10^{\frac{46.11}{10}}) = 50,44 \text{ dB(A)} \approx 51 \text{ dB(A)}$$

Question 24 :

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

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	L <sub>wglobal</sub>
L <sub>w</sub> (dB) Aspiration + rayonnement	48	49	48	43	37	27	53,64
L <sub>w</sub> (dB) Soufflage	44	46	45	41	37	25	50,59
Pondération A	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1	
L <sub>w</sub> (dB(A)) Aspiration + rayonnement	31,9	40,4	44,8	42	38,2	28	48,44
L <sub>w</sub> (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  $L_{wA} = L_{wB} = L_{wC}$

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

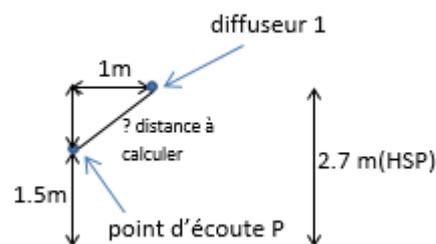
$$D'où L_{wA} = 10 * \log\left(\frac{10^{51}}{3}\right) = 46,23 \text{ dB(A)}$$

Question 25 :

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 26 :

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 27 : 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  $L_{p\text{réverbéré}}$  [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  $L_{p\text{réverbéré}} = L_w + 10 \log\left(\frac{4}{R}\right) = 38,23 + 10 \log\left(\frac{4}{99,22}\right) = 2,28 \text{ dB(A)}$

Question 28 :

$$L_p = 10 \log\left(10^{\frac{L_{p\text{direct}}}{10}} + 10^{\frac{L_{p\text{réverbéré}}}{10}}\right) = 10 \log\left(10^{\frac{26.38}{10}} + 10^{\frac{24.38}{10}}\right) = 28,50 \text{ dB(A)} < 30 \text{ dB(A)}$$

Le respect de la norme est assuré.

## Partie 5. Épreuve commune

Question 29 :

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.

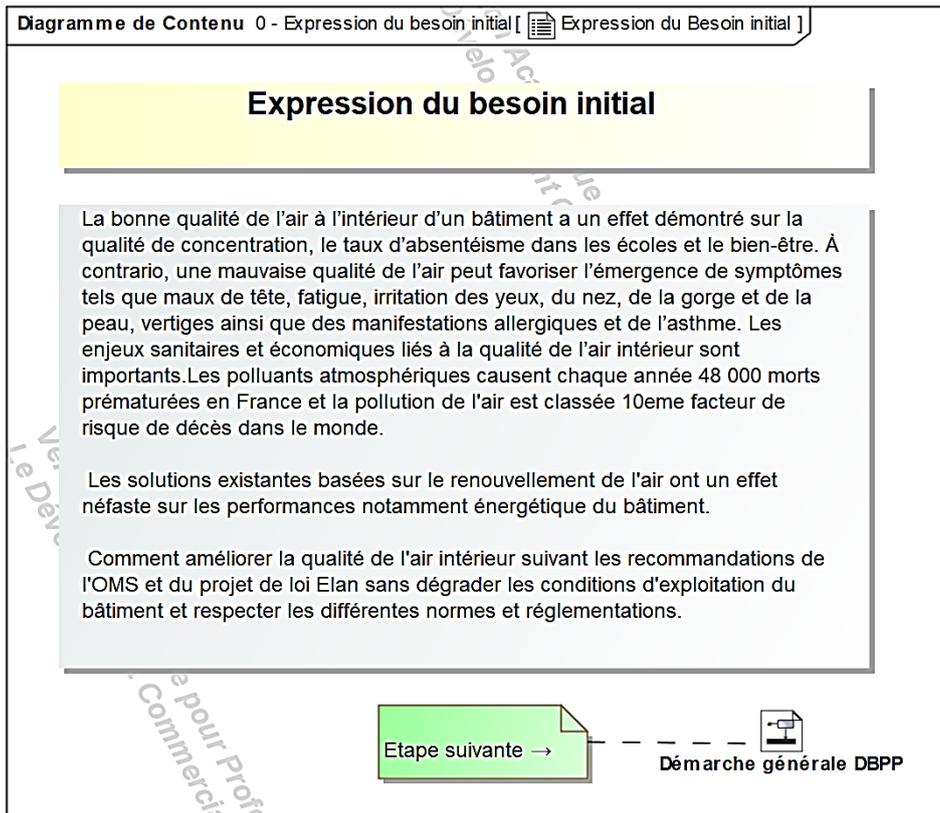
La finalité du produit : Améliorer la qualité de l'air intérieur.

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

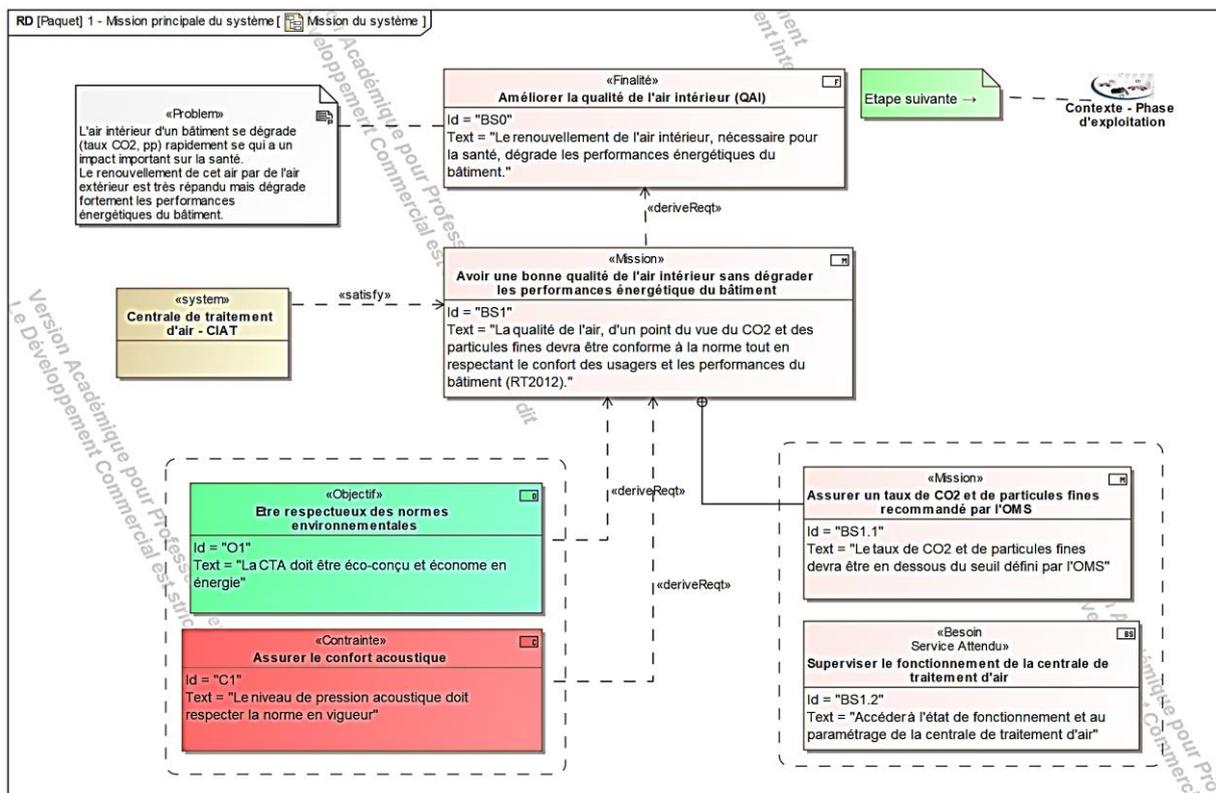
La production finale attendue : Prototype d'un système validant les fonctions définies dans le cahier des charges.

Les quatre éléments précédents s'appuient sur la mise en **situation du sujet**. Le diagramme de contenu (l'expression du besoin) :

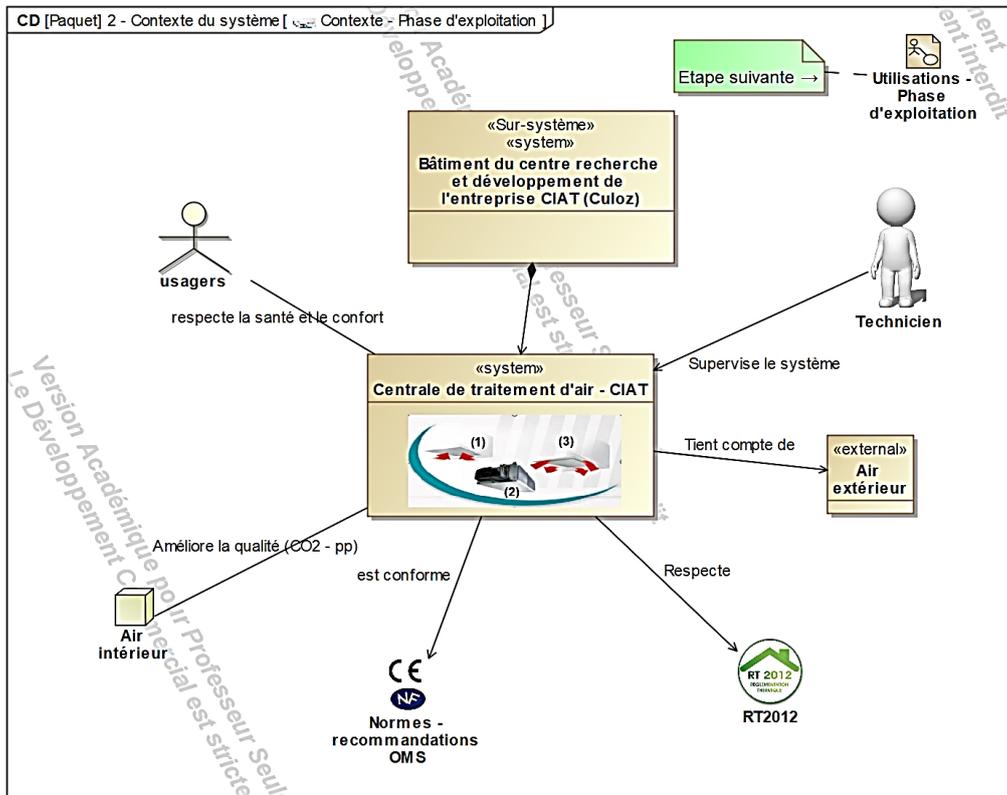
**Reprend la mise en situation du sujet**



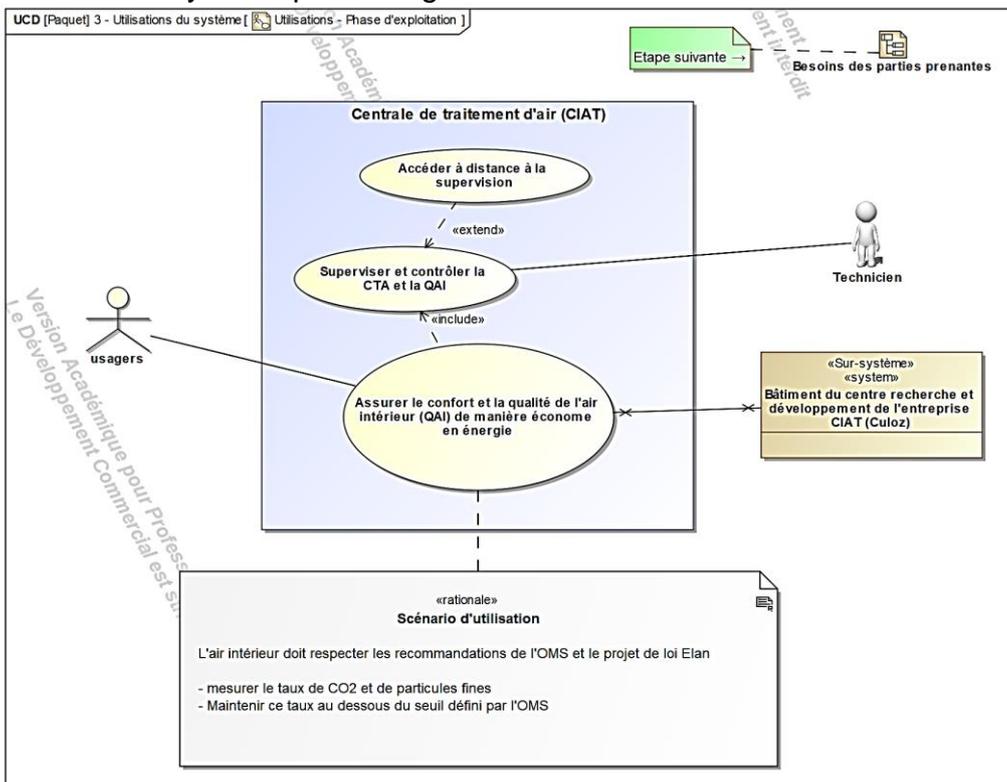
1- Le diagramme d'exigences (mission du système)  
Il reprend de manière synthétique les diagrammes du DT2



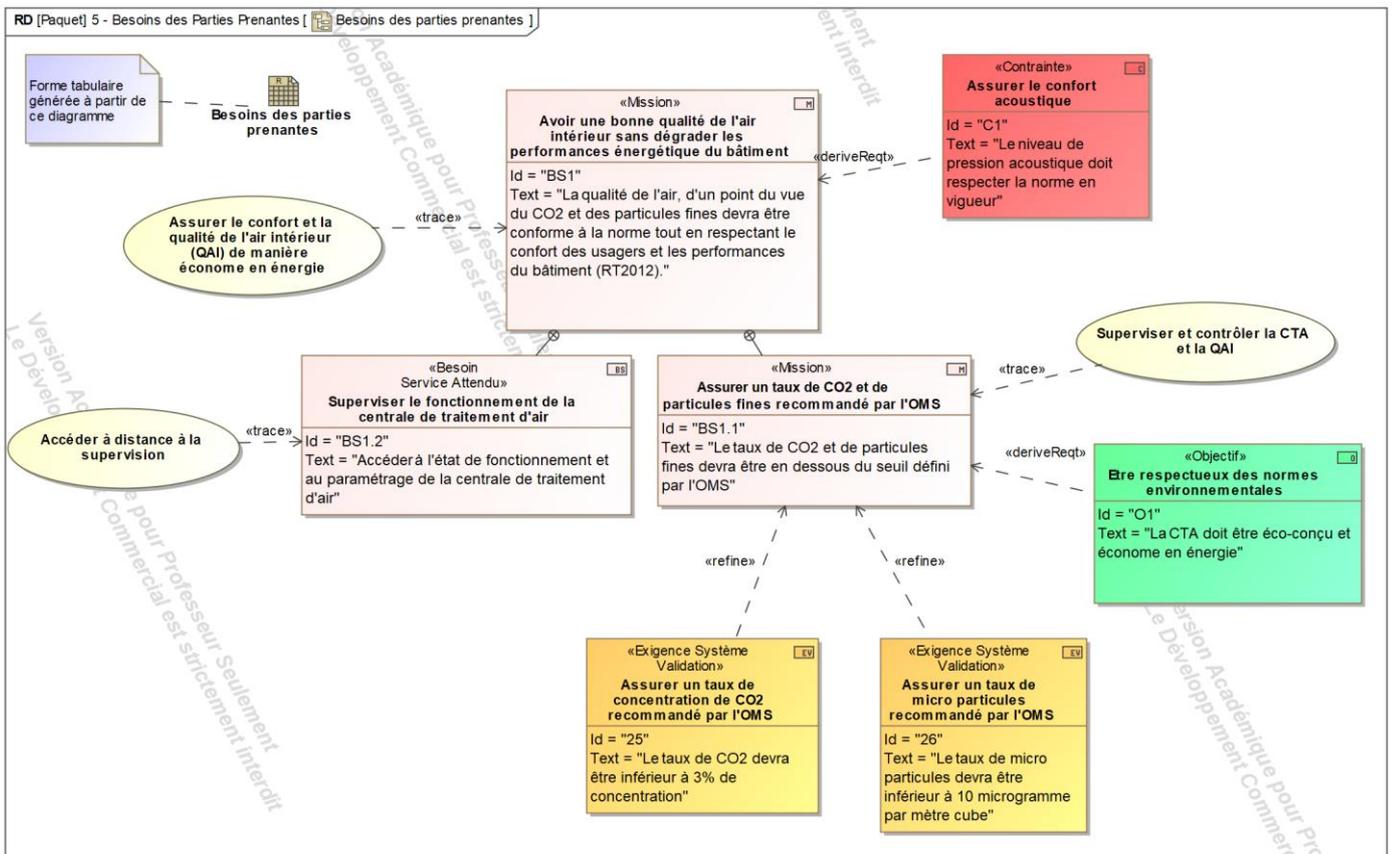
2- Le diagramme de contexte (contexte du système) .  
 Il reprend le contexte d'étude du sujet



3- Le diagramme de cas d'utilisation (utilisation du système) .  
 Il reprend de manière synthétique le diagramme de cas d'utilisation du DT2



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

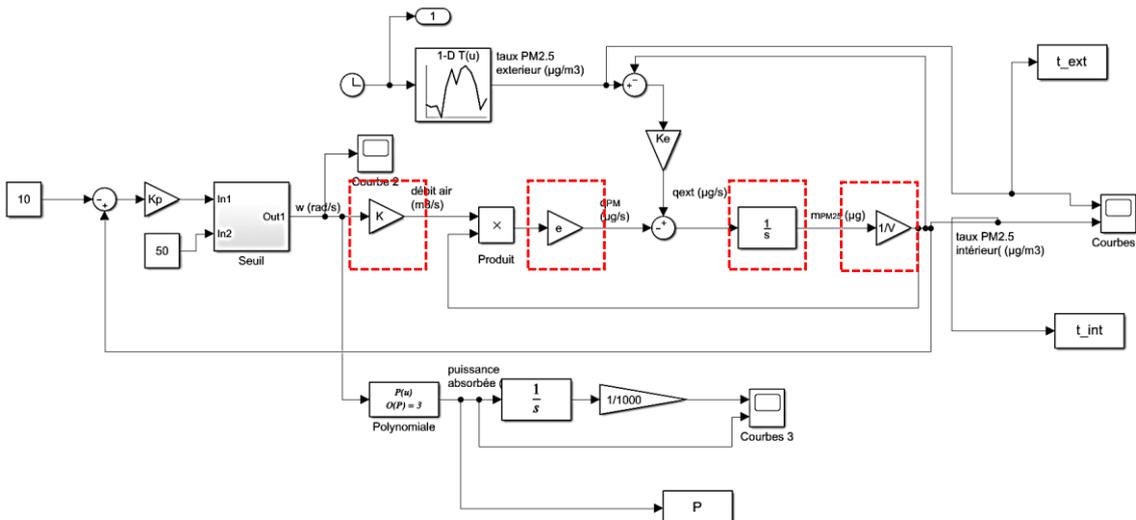


La définition des tâches « élèves » doit être en lien avec les indicateurs de performance de la grille d'évaluation. Certaines tâches seront communes au groupe tandis que d'autres seront individuelles.

### Partie 6. Synthèse

#### 6.1 Stratégie de pilotage proportionnelle

#### Question 30 :



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.

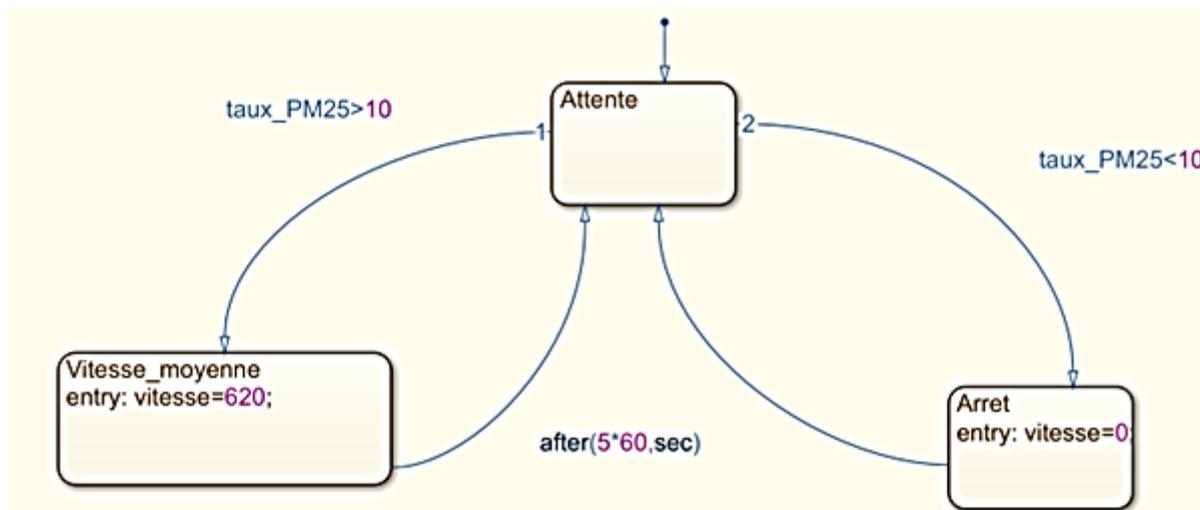
Question 31 :

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 redémarrage fréquents du moteur ce qui va faire un bruit variable dans la pièce et sera pénible pour les usagers.

Question 32 :



Question 33 :

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

La simulation a été faite dans un pièce de 42 m<sup>2</sup> (1 seule unité de confort).

On obtient donc : 0,18 W.h/m<sup>2</sup>/jour; soit 68 W.h/m<sup>2</sup>/an

On est donc bien en dessous des 1 500 W.h/m<sup>2</sup>/an du cahier des charges.

La courbe 1 donne le taux de particules fines obtenu : on est en dessous du seuil imposé de 10 µg/m<sup>3</sup>. L'exigence 1,4 est donc validée.

Question 34 :

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

Question 35 :

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.

## Commentaire du jury

### EPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

#### Remarques générales

À la lecture des copies il apparaît que des candidats encore trop nombreux n'exploitent pas toutes les parties du sujet, alors que chacune comprend des questions pouvant être traitées par la majorité.

Le jury rappelle qu'un travail de lecture initiale nécessaire à l'appréhension globale du sujet constitue une démarche méthodologique indispensable permettant de mieux traiter le sujet et mieux gérer le temps de composition. Ce travail permet de mieux appréhender une question traitée et de mieux anticiper la suivante.

La rigueur scientifique associée à une exigence de rédaction a parfois fait défaut. Encore quelques candidats utilisent une langue écrite approximative et incorrecte qui nuit à leur réussite. Trop de copies présentaient des fautes d'orthographe et/ou d'accord.

Il n'était pas rare que la réponse à une question se résumait à une valeur numérique fautive sans calculs préliminaires et moins fréquemment sans unité, ne permettant pas au correcteur d'évaluer la démarche du candidat.

Quelques copies étaient encore très mal présentées, parfois même à la limite de la lisibilité.

Les réponses n'étaient pas suffisamment mises en évidence. Le soulignage, l'encadrement, le surlignage ou tout autre mode de repérage est apprécié par le jury.

Ce travail présentation prend tout son sens dans l'exercice de la mission de professeur qui doit produire des documents de qualité pour ses élèves.

Le concours de l'agrégation interne de Sciences Industrielles de l'Ingénieur est très sélectif. Certains candidats bien préparés ont proposé de bonne copie, tant sur le fond des exigences scientifiques et technologiques que sur la qualité de l'expression et de la présentation.

#### Analyse du contexte et des solutions techniques

Les candidats ont peu de prise de recul vis-à-vis des impacts des solutions techniques, ce qui ne leur permet pas de dégager les consensus à réaliser pour respecter au mieux les exigences retenues dans le sujet.

Les domaines fondamentaux des sciences industrielles de l'ingénieur sont souvent abordés par une approche énergétique au travers des variables duales (effort et flux).

Le lien entre énergie et puissance ne semble pas évident pour certains candidats. Un simple calcul d'aire sous la courbe à partir de relevés de puissances issus d'expérimentation ou de modélisation permettait de déterminer les énergies mises en jeu.

Il n'était pas rare de trouver dans les copies une énergie exprimée en W, kW ou encore en W/h, ce qui, à ce niveau de concours est inacceptable.

Les questions nécessitant de démontrer des expressions basées sur des lois fondamentales des sciences industrielles de l'ingénieur n'ont été que très rarement bien traitées par des candidats. Ceci s'explique par le manque de connaissances ou de préparation des candidats sur un spectre large de connaissances et de compétences pour cette épreuve.

Il est demandé aux candidats de :

- compléter leurs domaines de compétences initiaux en vue de l'épreuve transversale ;
- de travailler à une meilleure maîtrise des concepts et notions fondamentales liés à la

spécialités, indispensables à la réussite d'un concours exigeant.

Une justification des solutions techniques retenues reposait sur une modélisation comportementale et une résolution de la solution de traitement de l'air dans le domaine de Laplace.

Le jury rappelle qu'une modélisation de comportement (réponse d'un système à un échelon) repose sur une identification des paramètres d'une forme canonique présentée et justifiée. Les connaissances et compétences dans ce domaine ne sont pas suffisamment acquises et amènent les candidats à balayer superficiellement cette partie fondamentale des sciences industrielles de l'ingénieur.

Le sujet permettait de vérifier les connaissances et compétences reposant sur les principes fondamentaux de la statique et de la dynamique.

Ces questions sont abordées de manière incomplète amenant parfois à une démarche erronée.

### **Exploitation pédagogique**

Les exploitations pédagogiques s'appuient sur un élément de la trame du sujet. Il était demandé aux candidats de proposer la description d'une séance dans une démarche d'investigation, l'identification de compétences et connaissances visées et une fiche descriptive de projet inspirée du document ressource DP3.

Lors de la description de la séance, le jury a évalué la capacité du candidat à :

- utiliser le vocabulaire associé ;
- présenter les compétences visées et savoir associés ;
- d'expliciter l'approche pédagogique (ici imposée) ;
- d'envisager des modes d'évaluation et de remédiation ;
- d'estimer le temps dédié à chaque phase ;

**Pour la fiche cadrage de projet, il était attendu que le candidat soit capable de :**

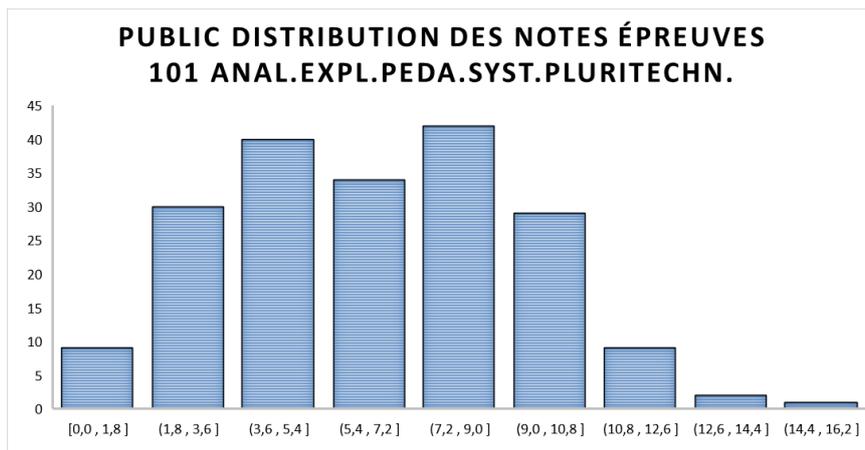
- réinvestir des documents et des ressources techniques et scientifiques dans le cadre d'une exploitation pédagogique, en particulier pour le projet de fin de première ;
- s'approprier le document de cadrage, adapter des documents techniques pour le niveau demandé ;
- d'initier la démarche de projet proposée incluant la définition et la répartition des tâches dans le temps imparti ;
- définir des tâches « élève » en lien avec les indicateurs de performance de la grille d'évaluation ;
- identifier les tâches communes au groupe et les tâches individuelles ;

## Statistiques de l'épreuve 101

### ANALYSE EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

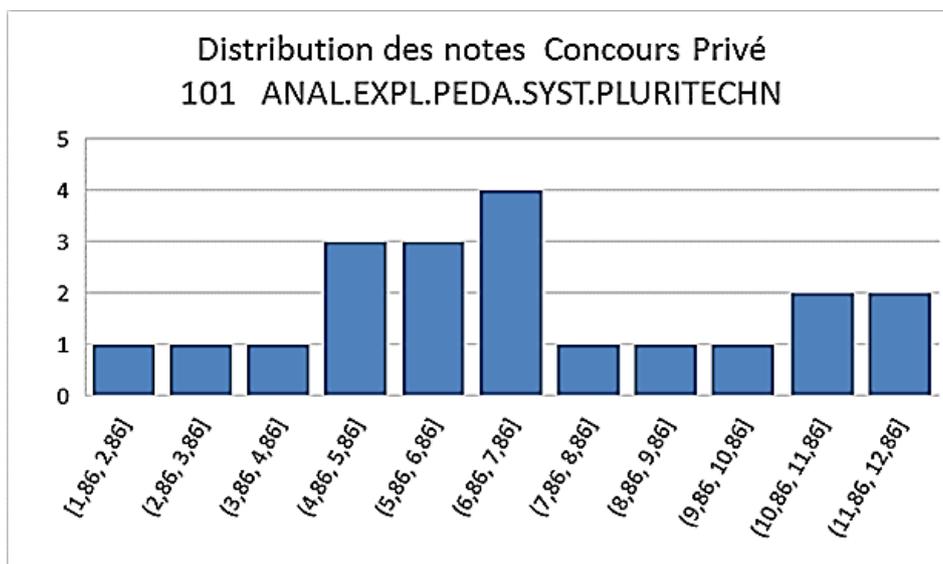
#### Concours public

Note maximale	16,01
Note minimale	0
Moyenne des candidats présents	6,44
Moyenne des candidats admissibles	11,24



#### Concours privé

Note maximale	12,58
Note minimale	1,86
Moyenne des candidats présents	7,441
Moyenne des candidats admissibles	10,47



## Eléments de correction

### EPREUVE 2 : ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION

Coefficient 1 – Durée 4 heures

## Partie A. Compensation d'énergie de l'entreprise

### Question 1

Le  $\cos \varphi$  limite est de 0,93.

Comme  $P = S \cdot \cos(\varphi)$ , et  $Q = S \cdot \sin(\varphi)$

Donc la puissance réactive C limite à réinjecter au réseau vaut :  $Q_{\text{Max}} = P \cdot \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)}$

Avec  $\sin(\varphi) = \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} = 0,367$

Soit  $Q_{\text{Max}} = 38,33 \text{ kVAR}$

Il faut donc compenser :  $Q_{\text{Comp}} = 60 - 38,33 = 21,66 \text{ kVAR}$

On dispose de 3 condensateurs en triangle.

La compensation vaut donc :  $Q = 3C\omega U^2$ , soit  $C = \frac{Q}{3\omega U^2}$

Et **C = 144  $\mu\text{F}$**

### Question 2

La batterie fait 30 kW.h. Si la charge mini est de 10%, au moment de la charge, il reste 3 kW.h.

La charge totale  $W_T$  est donc de 27 kW.h.

La charge se faisant en 9 h, la puissance vaut  $P_{\text{Cam}} = \frac{W_T}{9}$ , soit **3 kW**

### Question 3

Le calcul est similaire à la question 1.

La nouvelle puissance  $P_{\text{absorbée}}$  au réseau vaut 100 kW.

Le nouveau  $Q_{\text{Max}}$  vaut 40,1 kVAR, la nouvelle compensation vaut donc :  $Q_{\text{inj}} = 19,9 \text{ kVAR}$ .

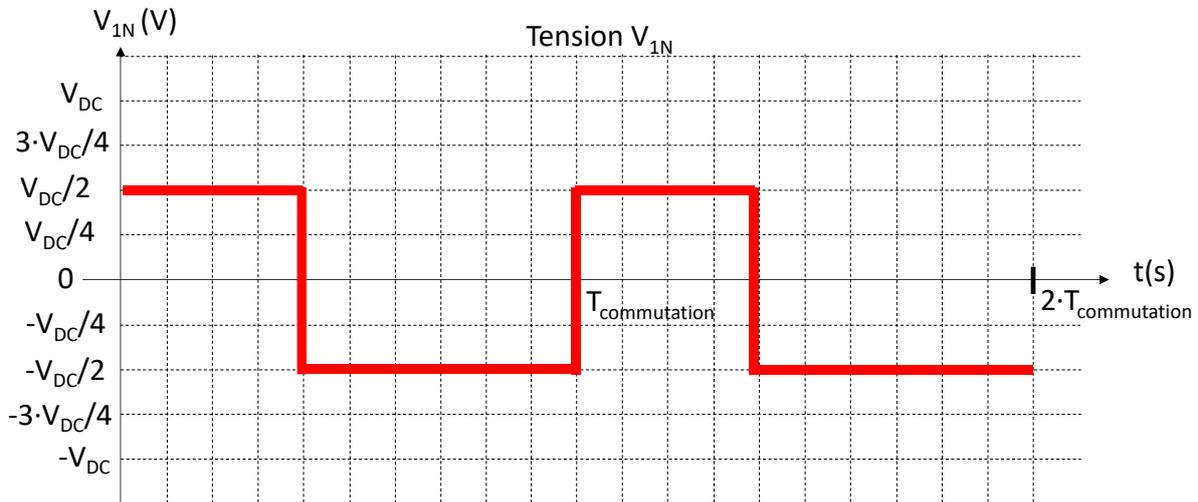
La puissance apparente du convertisseur vaut donc  $S_{\text{conv}} = \sqrt{P_{\text{Cam}}^2 + Q_{\text{inj}}^2} = 20,1 \text{ kVA}$

**La puissance est donc compatible avec les capacités du chargeur (22 kV-A).**

## Partie B. Convertisseur de puissance

### Question 4

Du fait de la structure de l'onduleur, lorsque l'interrupteur K1 est fermé (K'1 ouvert), la tension vaut  $V_{DC}/2$ . Lorsque K'1 est fermé (K1 ouvert), la tension vaut  $-V_{DC}/2$ .



### Question 5

Du fait des valeurs de tension, on a :  $\langle V_{1N} \rangle_{HF} = \frac{1}{N_{max}} (N_1 * \frac{V_{DC}}{2} - (N_{max} - N) \frac{V_{DC}}{2})$

D'où  $\langle V_{1N} \rangle_{HF} = \frac{1}{N_{max}} (2N_1 - N_{max}) * \frac{V_{DC}}{2}$

$$\langle V_{1N} \rangle_{HF} = (2\alpha_1 - 1) * \frac{V_{DC}}{2}$$

### Question 6

Comme il faut générer une tension supérieure à celle du réseau, on a

$$\langle V_{1N} \rangle_{HF} = (2\alpha_1 - 1) * \frac{V_{DC}}{2} > 325 \text{ V } (230 * \sqrt{2})$$

La valeur de tension maximale est pour  $N_1 = N_{max}$ , soit  $\alpha_1 = 1$

D'où  $V_{DC} > 650 \text{ V}$

### Question 7

Si on considère que la tension  $V_R = \langle V_{1N} \rangle_{HF}$

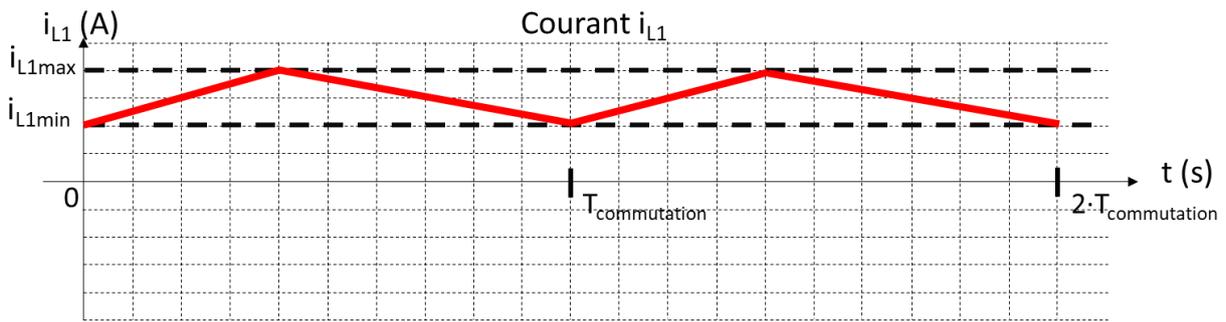
On a  $L * \frac{dI_{L1}}{dt} = V_{1N} - V_R$

Quand **K1 est fermé**, on a  $\frac{dI_{L1}}{dt} = \frac{1}{L} * (\frac{V_{DC}}{2} - (2\alpha_1 - 1) * \frac{V_{DC}}{2})$

Soit après simplification :  $\frac{dI_{L1}}{dt} = \frac{1}{L} * V_{DC}(1 - \alpha_1) > 0$

Quand **K1 est ouvert**, on a  $\frac{dI_{L1}}{dt} = \frac{1}{L} * (-\frac{V_{DC}}{2} - (2\alpha_1 - 1) * \frac{V_{DC}}{2})$

Soit après simplification :  $\frac{di_{L1}}{dt} = -\frac{1}{L} * V_{DC} \alpha_1 < 0$



### Question 8

L'interrupteur  $K_1$  reste fermé pendant un temps  $T_{on} = \alpha_1 T_{commutation}$  d'après la formule du sujet

L'ondulation peut alors s'exprimer :  $\Delta I_{L1} = T_{on} * \left. \frac{di_{L1}}{dt} \right|_{K_1 \text{ fermé}}$

Soit  $\Delta I_{L1} = \alpha_1 T_{commutation} * \frac{1}{L} * V_{DC} (1 - \alpha_1)$

Ce qui peut être simplifié en :

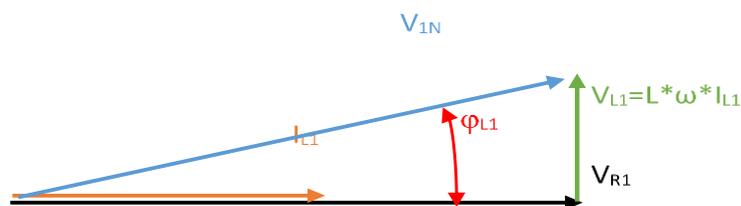
$$\Delta I_{L1} = \frac{V_{DC} * T_{commutation}}{L} * \alpha_1 * (1 - \alpha_1)$$

Pour obtenir la valeur maximale, il faut calculer quand  $\frac{d\Delta I_{L1}}{d\alpha_1} = 0$

On obtient :  $1 - 2 * \alpha_1 = 0$ , soit  $\alpha_1 = \frac{1}{2}$

La valeur de l'ondulation est donc :  $\Delta I_{L1max} = \frac{1}{4} T_{commutation} * \frac{1}{L} * V_{DC} = 1 A$

### Question 9



On en tire que  $V_{1Nmax} = \sqrt{(V_{R1max}^2 + (L\omega R I_{L1max})^2)}$

La valeur est donc de :  $V_{1Nmax} = 329 V (328,7 V)$

$\phi_{L1} = \text{Arccos}(V_{R1max}/V_{1Nmax}) = 8,63^\circ$  ( $\tan \phi_{L1} = 0,15$  ou  $\cos \phi_{L1} = 0,988$ )

### Question 10

L'équation différentielle à résoudre est donc :

$$V_{1N}(t) = V_{R1}(t) + L \frac{di_{L1}(t)}{dt}$$

Avec  $V_{1N}(t) = (2\alpha_1(t) - 1) * \frac{V_{DC}}{2}$

On obtient en remplaçant :  $\alpha_1(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{V_{DC}} (V_{R1}(t) + L \frac{di_{L1}(t)}{dt})$

D'où :  $V_{1N}(t) = V_{R1max} \cos(\omega t) + L \frac{dI_{L1max} \cos(\omega t)}{dt}$  et

$$V_{1N}(t) = V_{R1max} \cos(\omega t) - L * \omega * I_{L1max} * \sin(\omega t)$$

On obtient en remplaçant :

$$\alpha_1(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{V_{DC}} (V_{R1max} \cos(\omega t) - L * \omega * I_{L1max} * \sin(\omega t))$$

### Question 11

La résolution la plus simple est graphique. La tension  $V_{1N}$  sera maximale quand les vecteurs tensions  $V_{L1}$  et  $V_{R1}$  seront alignés. Donc lorsque le courant sera en retard de  $90^\circ$  sur la tension réseau, donc  $\varphi_{max} = 90^\circ$  ou  $\pi/2$  arrière. On est en échange de réactif pur.

Donc  $P = 0$  et  $Q = 3 * V_R * I_{L1} = 3 * 230 * 32 = 22 \text{ kVAR}$ .

On aura alors :

$$V_{1N} = L * \omega * I_{L1} + V_{R1} = 0,005 * 100 * \pi * 32 + 230 = 280 \text{ Veff soit } 395 \text{ Vmax}$$

La valeur de  $\alpha_1$  correspondante est donc de :  $\alpha_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{V_{DC}} * 395$

Soit  $\alpha_1 = 0,992$ , donc la tension est suffisante, mais limite.

## Partie C. Contrôle de la structure

### Question 12

Le ratio de conversion du capteur est de 1 000. La résistance de mesure vaut  $50 \Omega$ .

Un courant de 32 Aeff a des valeurs crêtes de  $\pm 45,1 \text{ A}$ .

Soit un courant secondaire de  $\pm 45,1 \text{ mA}$  et une tension de la résistance de mesure de  $\pm 2,26 \text{ V}$ .

Le gain est donc de :  $G_I = V_{iL1mes}/i_{L1} = 1/20 = 0,05$ .

### Question 13

L'objectif de ce filtre est de supprimer les ondulations de courants mesurées par le capteur et générées par le découpage du convertisseur et l'inductance.

La fréquence de découpage étant 2 fois supérieure à la fréquence d'échantillonnage, on aura un repliement de spectre qui sera vu comme une composante continue par le calculateur.

### Question 14

Le pas de quantification du CAN vaut :

$$q = \frac{8}{2^{14}} = 488 \mu V$$

Une ondulation de 1 A correspond à une ondulation de tension de 50 mV du fait du gain du capteur de courant.

Il faut donc atténuer d'un ratio de  $A = \frac{50}{0.488} = 102$  soit 40,2 dB.

### Question 15

On sait que l'atténuation d'un filtre du deuxième ordre vaut 40 dB/dec, :  $A(dB) = 40 \log\left(\frac{f}{f_c}\right)$ .

La fréquence de coupure vaudra alors :

$$f_c = \frac{f}{10^{\frac{40.2}{40}}} = 3960 \text{ Hz}$$

### Question 16

Les pôles d'un filtre de Butterworth sont donnés par la formule suivante :

$$p_k = \omega_c \cdot e^{\frac{j(2 \cdot k + n - 1) \cdot \pi}{2 \cdot n}}$$

On a donc 4 pôles :

$$p_0 = \omega_c \cdot e^{\frac{j \cdot \pi}{4}}$$

$$p_1 = \omega_c \cdot e^{\frac{j3 \cdot \pi}{4}}$$

$$p_2 = \omega_c \cdot e^{\frac{j5 \cdot \pi}{4}}$$

$$p_3 = \omega_c \cdot e^{\frac{j7 \cdot \pi}{4}}$$

Attention, seuls les pôles à partie réelle négative peuvent être retenus, soit  $p_1$  et  $p_2$ .

La formule du filtre est donc :

$$H(p) = \frac{G_0 \cdot \omega_c}{\left(p - \omega_c \cdot e^{\frac{j3 \cdot \pi}{4}}\right) \cdot \left(p - \omega_c \cdot e^{\frac{j5 \cdot \pi}{4}}\right)}$$

### Question 17

La donnée est un entier signé.

En VHDL, les entiers sont sur 32 bits, ce qui est très surdimensionné mais suffisant.

On peut par contre réduire le nombre de bits d'encodage utilisés (14 bits suffisent), en indiquant la commande : « integer range -8 191 to 8 191 » par exemple.

### Question 18

Le gain du CAN vaut :  $G_{CAN} = \frac{8192}{4} = 2048$

La valeur maximale de tension en sortie du capteur de courant est de 2,26 V.

On peut donc écrire :  $N_{CANmax} = \frac{2,26}{4} * 8192 = 4628$

L'incrément minimum du courant est le pas de quantification, soit 488  $\mu$ V, ce qui correspond à un courant de 9,76 mA max en ligne, donc un courant efficace de 6,92 mA.

Cette précision est très largement suffisante pour le contrôle de puissance. L'erreur en puissance due à la quantification est de moins de 5 W !!!

### Question 19

On a  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{3}{2} V_{Rmax} * I_{L1max}$  soit  $I_{L1max} = \frac{2}{3} * \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{V_{Rmax}}$

Le déphasage est tel que  $\tan \varphi = \frac{Q}{P}$  avec la définition des courants donnée.

### Question 20

Si on applique la transformée « dq » au système de tension  $V_R$ , on obtient :

$$V_{Rd} = \sqrt{\frac{2}{3}} * (V_{R1max} * \cos^2(\omega_R t) + V_{R2max} * \cos^2\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3}\right) + V_{R3max} * \cos^2\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right))$$

Si on considère le réseau équilibré, les  $V_{Rimax}$  sont égaux.

D'où

$$V_{Rd} = \sqrt{\frac{2}{3}} * V_{Rmax} (\cos^2(\omega_R t) + \cos^2\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3}\right) + \cos^2\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right))$$

Et donc :

$$V_{Rd} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \frac{V_{Rmax}}{2} \underbrace{(3 + \cos(2 * \omega_R t) + \cos\left(2 * \omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(2 * \omega_R t - \frac{8\pi}{3}\right))}_{= 0}$$

D'où  $V_{Rd} = \sqrt{\frac{3}{2}} * V_{Rmax}$

Si on applique la matrice pour obtenir  $V_{Rq}$  on obtient :

$$V_{Rq} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \frac{V_{Rmax}}{2} (\cos(\omega_R t) * \sin(\omega_R t) + \cos\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3}\right) * \sin\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right) * \cos\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right))$$

Soit

$$\underbrace{\hspace{15em}}_{= 0}$$

$$V_{Rq} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \frac{V_{Rmax}}{2} (0 + \sin(2 * \omega_R t) + \sin\left(2 * \omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right) + \sin\left(2 * \omega_R t - \frac{8\pi}{3}\right))$$

D'où  $V_{Rq} = 0$

Cela n'a rien de surprenant, puisque la référence de la transformée « dq » est la tension réseau.

De même, on applique la matrice sur les équations de courant :

$$I_{Ld} = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_{Lmax} (\cos(\omega_R t) * \cos(\omega_R t - \varphi) + \cos\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3}\right) * \cos\left(\omega_R t - \frac{2\pi}{3} - \varphi\right) + \cos\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3}\right) * \cos\left(\omega_R t - \frac{4\pi}{3} - \varphi\right))$$

On trouve :

$$I_{Ld} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \frac{I_{Lmax}}{2} (3 * \cos(\varphi) + \underbrace{\cos(2 * \omega_R t - \varphi) + \cos\left(2 * \omega_R t - \frac{4\pi}{3} - \varphi\right) + \cos\left(2 * \omega_R t - \frac{8\pi}{3} - \varphi\right)}_{= 0})$$

D'où  $I_{Ld} = \sqrt{\frac{3}{2}} * I_{Lmax} * \cos(\varphi)$

On trouve de même que  $I_{Lq} = \sqrt{\frac{3}{2}} * I_{Lmax} * \sin(\varphi)$

D'où  $P = \frac{3}{2} * V_{Rmax} * I_{Lmax} * \cos(\varphi) = V_{Rd} * I_{Ld}$

De même, on en tire que  $Q = \frac{3}{2} * V_{Rmax} * I_{Lmax} * \sin(\varphi) = V_{Rd} * I_{Lq}$

Donc  $I_d$  permet de piloter la puissance active et  $I_q$  la puissance réactive

## Question 21

Si on fait la loi des mailles, on obtient :

$$V_{1N}(t) = R_L * i_{L1}(t) + L * \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_{R1}(t)$$

On peut donc exprimer :

$$\frac{di_{L1}(t)}{dt} = \frac{1}{L} (V_{1N}(t) - V_{R1}(t) - R_L * i_{L1}(t))$$

## Question 22

À partir de la transformée inverse, on a :

$$I_{L1}(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} * (I_{Ld}(t) * \cos(\omega_R t) - I_{Lq}(t) * \sin(\omega_R t))$$

Attention, les composantes directes et quadratiques sont aussi en fonction du temps.

$$V_{R1}(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} * V_{Rd}(t) * \cos(\omega_R t)$$

Rappel : la composante  $V_{Rq}$  est nulle car  $V_{R1}$  est la référence de transformation.

$$V_{1N}(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} * (V_{iNd}(t) * \cos(\omega_R t) - V_{iNq}(t) * \sin(\omega_R t))$$

On a aussi :

$$\frac{dI_{L1}(t)}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \left( \frac{dI_{Ld}(t)}{dt} * \cos(\omega_R t) - I_{Ld}(t) * \omega_R * \sin(\omega_R t) - \frac{dI_{Lq}(t)}{dt} * \sin(\omega_R t) - I_{Lq}(t) * \omega_R * \cos(\omega_R t) \right)$$

### Question 23

Si on remplace les expressions dans l'équation différentielle, on obtient

$$\begin{aligned} \frac{dI_{Ld}(t)}{dt} * \cos(\omega_R t) - I_{Ld}(t) * \omega_R * \sin(\omega_R t) - \frac{dI_{Lq}(t)}{dt} * \sin(\omega_R t) - I_{Lq}(t) * \omega_R * \cos(\omega_R t) \\ = \frac{1}{L} (V_{iNd}(t) * \cos(\omega_R t) - V_{iNq}(t) * \sin(\omega_R t) - V_{Rd}(t) * \cos(\omega_R t) - R_L * I_{Ld}(t) * \cos(\omega_R t) + R_L * I_{Lq}(t) * \sin(\omega_R t)) \end{aligned}$$

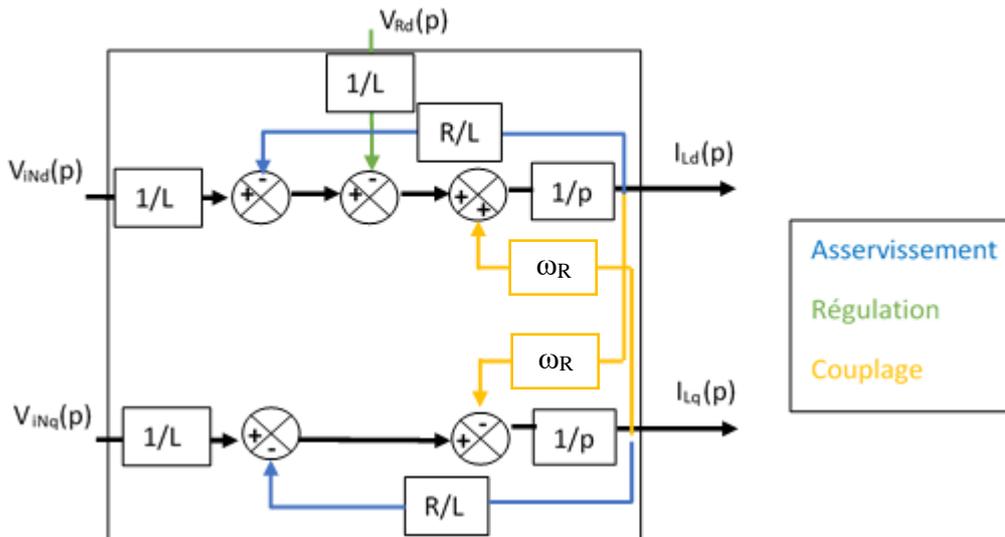
On peut séparer les termes en « cos » :

$$\frac{dI_{Ld}(t)}{dt} = \frac{1}{L} (V_{iNd}(t) - V_{Rd}(t) * -R_L * I_{Ld}(t)) + I_{Lq}(t) * \omega_R$$

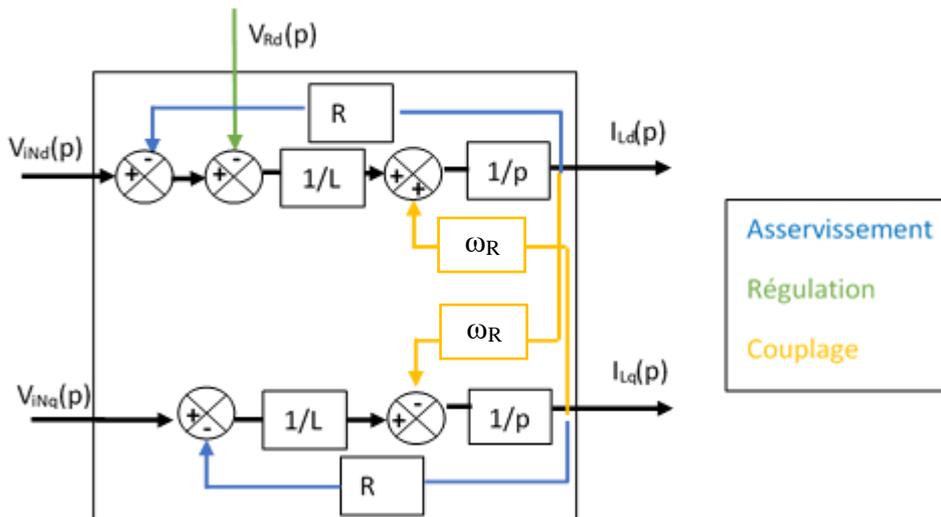
Et les termes en « sin »

$$\frac{dI_{Lq}(t)}{dt} = \frac{1}{L} (V_{iNq}(t) - R_L * I_{Lq}(t)) - I_{Ld}(t) * \omega_R$$

### Question 24



Ou

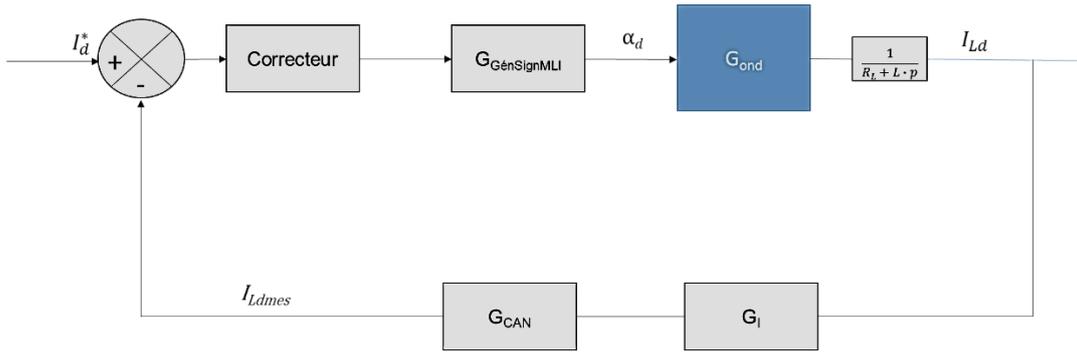


### Question 25

À la question 18, on a vu que pour un courant de 32 Aeff, soit 45,12 Amax, la valeur de  $N_{CANmax}$  vaut 4 628.

Il faut donc multiplier le courant en ampères par le ratio :  $R = \frac{4628}{45,12} = 102,4$

### Question 26



Les valeurs des différents gains sont obtenues par les questions précédentes :

- $G_{GénSignMLI} = 1/2\ 000$  (défini à la partie B)
- $G_{ond} = V_{DC}$  (question 5 aux petits signaux)
- $G_i = 0,05$  (question 12)
- $G_{CAN} = 2\ 048$  (question 18)

$$H_{BOd}(p) = G_{GénSignMLI} * G_{CAN} * G_i * G_{ond} * K_I \frac{1 + \frac{K_p}{K_I} p}{p} * \frac{1}{R_L} * \frac{1}{1 + \frac{L}{R_L} p}$$

### Question 27

Le pôle dominant, et unique pôle de l'équation, est  $L/R_L$ .

Du coup, on a la relation  $\frac{K_p}{K_I} = \frac{L}{R_L}$

La fonction de transfert en boucle ouverte simplifiée vaut donc :

$$H_{BOcor-d}(p) = G_{GénSignMLI} * G_{CAN} * G_i * G_{ond} * K_I \frac{1}{p} * \frac{1}{R_L}$$

On peut donc en déduire la fonction de transfert en boucle fermée :

$$H_{BOcor-d}(p) = \frac{1}{1 + p * \frac{R_L}{G_{GénSignMLI} * G_{CAN} * G_i * G_{ond} * K_I}}$$

On a donc un système du premier ordre.

### Question 28

La fonction est du premier ordre. Le temps de réponse vaut donc 3 fois la constante de temps soit :

$$tr_{5\%} = 3 * \frac{R_L}{G_{GénSignMLI} * G_{CAN} * G_i * G_{ond} * K_I} = 0,3s$$

La valeur de  $K_I$  vaut :

$$K_I = \frac{R_L}{G_{GénSignMLI} * G_{CAN} * G_i * G_{ond} * 0,1}, \text{ soit } K_I = \frac{0,005}{\frac{1}{2000} * 2048 * 0,05 * 800 * 0,1} = 1,22 * 10^{-3}$$

Du coup, on trouve  $K_p = \frac{L}{R_L} * K_I = \frac{0,005}{0,005} * 1,22 * 10^{-3} = 1,22 * 10^{-3}$

### Question 29

La transformée bilinéaire donne la relation  $p$  et  $z$  suivante :

$$p = \frac{2}{T_e} \cdot \left( \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)$$

Le correcteur est de la forme  $Corr(p) = K(1 + \frac{1}{p})$  car  $K_p = K_i = K$

En remplaçant  $p$ , on obtient :

$$Corr(z) = K \left( 1 + \frac{T_e}{2} * \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} \right) = \frac{S_{corr}(z)}{\varepsilon_d(z)}$$

$$\text{D'où } \frac{S_{corr}(z)}{\varepsilon_d(z)} = K * \frac{2 + T_e + (T_e - 2) * z^{-1}}{2 - 2 * z^{-1}}$$

Si  $K_p$  et  $K_i$  conservés :

$$\frac{S_{corr}(z)}{\varepsilon_d(z)} = \frac{(2 * K_p + T_e * K_i) + (T_e * K_i - 2 * K_p) * z^{-1}}{2 - 2 * z^{-1}}$$

Ou

$$\frac{S_{corr}(z)}{\varepsilon_d(z)} = \frac{(2 * K_p * (1 - z^{-1}) + T_e * K_i * (1 + z^{-1}))}{2 - 2 * z^{-1}}$$

### Question 30

On peut écrire l'équation sous la forme :

$$S_{corr}(z) * (2 - 2 * z^{-1}) = K * (2 + T_e + (T_e - 2) * z^{-1}) * \varepsilon_d(z)$$

En se rappelant que  $S_{corr}(z) \rightarrow S_{corr}(n)$  et  $S_{corr}(z) * z^{-1} \rightarrow S_{corr}(n-1)$

$$\text{On obtient : } S_{corr}(n) = S_{corr}(n-1) + K * \left( 1 + \frac{T_e}{2} \right) \varepsilon_d(n) + K * \left( \frac{T_e}{2} - 1 \right) \varepsilon_d(n-1)$$

### Question 31

On voit que les réponses sont totalement fausses.

On a ignoré deux aspects fondamentaux. Le premier est que l'onduleur est connecté réseau et que la tension du réseau crée une perturbation à 50 Hz d'amplitude sensiblement égale à celle de l'onduleur. Du fait de la bande passante limitée du système bouclé (1,6 Hz – la constante de temps vaut 100 ms), le contrôle de l'asservissement est incapable de la compenser. Dans une moindre mesure, les couplages entre  $d$  et  $q$  ayant été ignorés, l'influence d'une boucle sur l'autre ne peut pas être éliminée.

### Question 32

On voit qu'il est nécessaire de prendre en compte le modèle complet du système avec perturbations et couplages pour que la réponse soit correcte. En effet, comme déjà indiqué, la bande passante du système corrigé est faible. Cela est dû au fait qu'avec la transformée « dq », on pilote l'amplitude du signal et pas sa valeur instantanée. Celle-ci est reconstituée du fait de la synchronisation au réseau.

## Partie D. Raccordement et protection

### Question 33

Les disjoncteurs différentiels ont comme particularité par rapport aux disjoncteurs classiques de mesurer la somme des courants qui les traversent et de s'ouvrir si elle n'est pas nulle. Ils mesurent donc les courants de fuite à la terre et protègent donc en plus contre les contacts indirects.

### Question 34

Les équations de base sont :  $H(t) * L = n * I(t)$ ,  $B(t) = \mu_0 * \mu_r * H(t)$  si on suppose qu'on ne sature pas.

Le nombre de spires sont les mêmes, le courant vu est donc le courant de fuite.

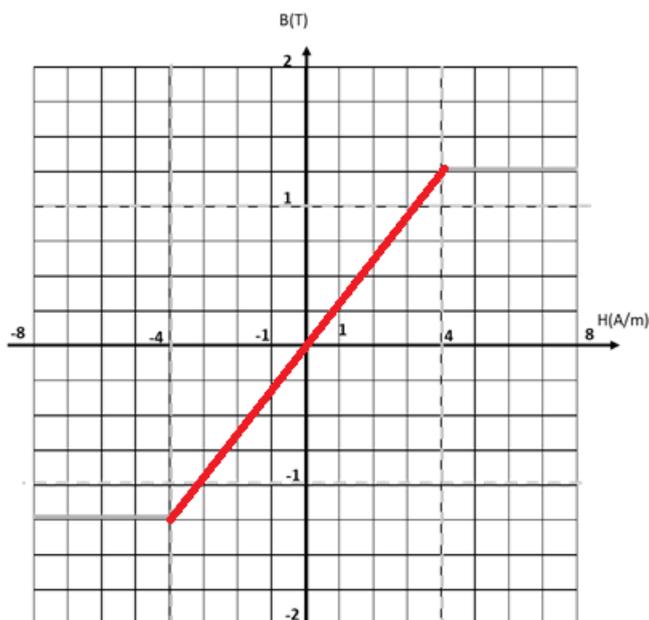
L est la longueur du circuit magnétique, pour notre tore c'est le périmètre moyen, il vaut :

$$L = \frac{D_{ext} + D_{int}}{2} * \pi \text{ soit } L = 4,08 \text{ cm}$$

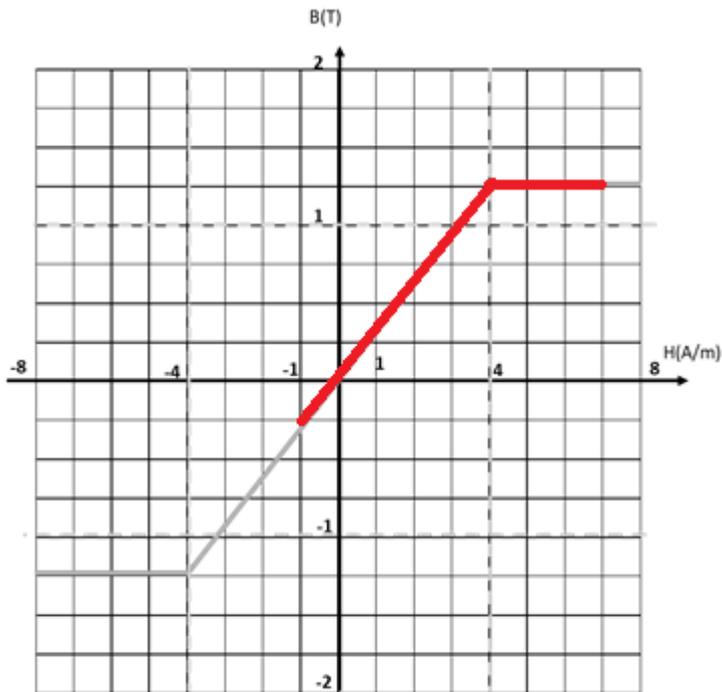
$$\text{D'où } H(t) = \frac{n}{L} * 0,04 * \sin(2 * \pi * 50 * t) \text{ et } B(t) = \mu_0 * \mu_r * \frac{n}{L} * 0,04 * \sin(2 * \pi * 50 * t)$$

### Question 35

L'amplitude de H vaut : 3,92 A/m. L'amplitude de B est de : 1,23 T. D'où la courbe :



### Question 36



Le circuit magnétique va saturer. Du coup, la plage d'excursion de B sera réduite et la mesure sera faussée, plus faible que ce qu'elle devrait être. La détection risque de ne pas se faire. Cela confirme la caractéristique qui montre que plus la composante DC est importante, plus il faut un courant de défaut important pour provoquer le déclenchement du disjoncteur. La protection des personnes n'est alors plus assurée. Ce type de protection ne peut donc pas être utilisée sur ce type de départ, sauf si l'on peut garantir un courant DC très faible, ce qui n'est pas possible, notamment en cas de vieillissement du chargeur.

### Question 37

C'est le circuit de test du disjoncteur. Lorsque l'on appuie sur le bouton de test, un courant de 115 mA ( $230\text{ V}/2\ 000\ \Omega$ ) circule dans le fil. Vu qu'il n'y a qu'une spire, contre 4 pour la puissance, ce courant est équivalent à un défaut de 28,8 mA. Si le disjoncteur s'ouvre, alors il s'ouvrira pour 30 mA.

### Question 38

Comme vu précédemment, si une composante continue de défaut vient s'ajouter, le disjoncteur risque de saturer et donc de perdre de son efficacité et de ne plus s'ouvrir en cas de défaut AC de 30 mA. En outre, le défaut continu ne sera pas vu car le disjoncteur est basé sur le principe d'un transformateur qui ne passe pas les composantes continues.

Les disjoncteurs de type B ont des propriétés similaires aux capteurs à effet Hall. L'objectif est grâce à un circuit en boucle fermée d'annuler par un courant injecté par le capteur, le flux magnétique généré par le courant mesuré et de détecter son passage par 0. De fait, que la composante du flux soit continue et/ou alternative, le système sera capable de le détecter. La seule limite est la bande passante du circuit de mesure, puisque c'est un système bouclé.

## Partie E. Transmission des informations au camion

### Question 39

Cette norme est unidirectionnelle en puissance active, donc ne permet pas de soutien réseau et en plus n'a pas de gestion de la puissance réactive.

Conclusion : inadaptée

### Question 40

- SSID
- Clé

### Question 41

Fonction des VLAN	Numéro du VLAN	Adresse réseau	Nombre d'hôtes
VLAN admin	VLAN1	172.16.10.0/26	62
VLAN commercial	VLAN2	172.16.20.0/27	30
VLAN logistique	VLAN3	172.16.30.0/26	62
VLAN ingénierie	VLAN4	172.16.40.0/27	30

Fonction des VLAN	Besoin	Nombre d'hôtes
VLAN admin	30	62
VLAN commercial	20	30
VLAN logistique	50	62
VLAN ingénierie	10	30

Le nombre d'adresses IP est bien compatible pour l'ensemble des services.  
10 adresses IP sont bien disponibles pour le VLAN4.

### Question 42

Plage d'adresse IP : 172.16.40.21 à 172.16.40.30

Masque : 255.255.255.224

### Question 43

Il faudrait privilégier une connexion filaire Ethernet, pour éviter un problème potentiel de sécurité du réseau WiFi, de la surveillance du réseau.

### Question 44

- Bus de terrain
- Diminution de la longueur de câbles
- Liaison différentielle
- Gestion des arbitrages

### Question 45

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Octet 1	X	X	X	X	X	X	X	X
Octet 2	0	0	1	1	1	0	1	1
Octet 3	1	1	0	0	0	1	0	0
Octet 4	1	1	1	1	0	1	1	1
Octet 5	1	1	0	0	1	1	0	0
Octet 6	X	X	X	X	X	X	X	X
Octet 7	X	X	X	X	X	X	X	X
Octet 8	X	X	X	X	X	X	X	X

Encodage sur 16 bits signés :  $-2^{15}$  à  $+2^{15}$

Précision : 1 W et 1 VAR

15,3 kW est codé :  $+15300 = 0b0011101111000100 = 0x3BC4$

-2,1 kVAR est codé :  $-2100 = 0b1111011111001100 = 0xF7CC$

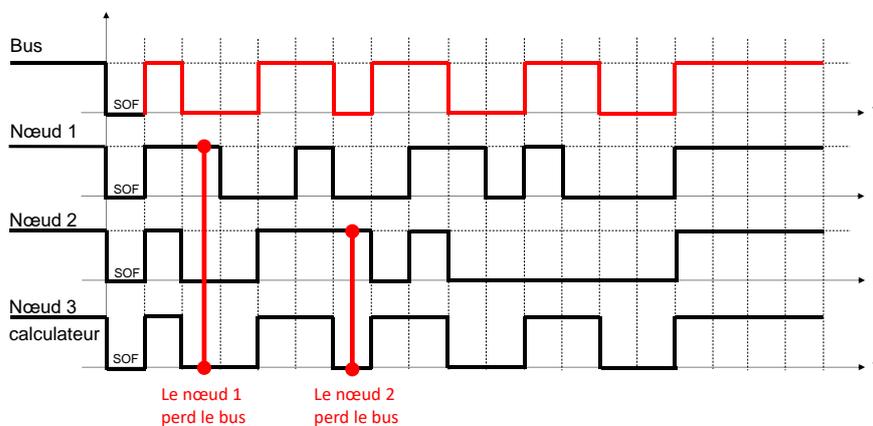
### Question 46

CAN 2.0A Standard frame maxi =  $1 + 11 + 1 + 6 + 64 + 16 + 2 + 7 = 108$  bits si 64 bits de données

Durée :  $108/20\ 000 = 5,4$  ms

Cohérent par rapport à la fréquence d'envoi (100 ms)

### Question 47



## Partie F. Synthèse

### Question 48

Sans compensation, on constate que le  $\cos \Phi$  de l'installation n'est pas respecté pendant une grande partie de la période nocturne et plus du tout à partir de 5h45 du matin nécessitant une compensation réactive.

#### **Banc de condensateurs**

Avec l'utilisation de banc de condensateurs, on constate que le  $\cos \Phi$  est globalement bon, même si parfois il est inférieur à 0,9. Pendant certaines périodes, on a une surcompensation réactive (comme vers 4h30 du matin). Ceci peut entraîner une augmentation de la tension réseau, ce qui n'est pas souhaitable. En outre, on constate 5 cycles de déconnexion-connexion par nuit, ce qui entraîne une usure des contacteurs du banc de condensateur.

Le principal souci vient du fait que le banc de condensateur est unique. Une solution basée sur plusieurs condensateurs connectables permettrait d'avoir une plus grande finesse de réglage.

#### **Chargeur camion**

Le  $\cos \varphi > 0,9$  est assuré pendant toute la période nocturne. On peut même constater que le  $\cos \varphi$  est unitaire une grande partie de la nuit. Cela permet de limiter les courants en ligne et donc de diminuer les pertes et améliorer le rendement global. A cela s'ajoute que le gradin de condensateur n'effectuera plus qu'une déconnexion/connexion par nuit, limitant son usure.

## Commentaires du jury

### ÉPREUVE D'ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION

Coefficient 1 – Durée 4 heures

Le jury rappelle qu'il attend des candidats des compétences transversales permettant de traiter les problèmes dans les domaines assez larges allant de l'énergie aux systèmes d'information. De nombreux candidats ne traitent que partiellement le sujet, se concentrant uniquement sur la ou les parties correspondant à un champ étroit de spécialité.

En outre, l'étude et la compréhension de tels systèmes nécessitent d'aborder des aspects d'analyse théorique et de modélisation faisant appel à des transformations mathématiques pour simplifier l'étude du problème et des notions de physique pour expliciter le fonctionnement et les limites des systèmes étudiés. Le jury constate que ce type de questions a été très peu abordé par les candidats.

Par ailleurs, des aspects technologiques du domaine courant des sciences industrielles de l'ingénieur semblent peu maîtrisés par un nombre important de candidats.

D'une manière générale, le jury conseille aux candidats :

- de veiller à la qualité de présentation des résultats. Les points essentiels sont :
  - la lisibilité de l'écriture ;
  - l'identification des parties et des questions ;
  - lorsque le document réponse est utilisé, d'indiquer clairement la question, les justifications et le renvoi au document réponse ;
  - dans le cas où le sujet n'aurait pas été traité de manière linéaire, le candidat devra s'assurer de respecter l'enchaînement des questions et le découpage par parties proposé, quitte à laisser des pages vierges
  - de porter une attention aux ordres de grandeur, aux unités et d'une manière générale à la cohérence des réponses.
- de veiller à répondre à l'intégralité d'une question et pas uniquement à la première partie ;
- de réaliser des analyses critiques pour les questions de synthèse. Les candidats ne peuvent se contenter de décrire les courbes présentées ou de reformuler la question sous forme de réponse. Le jury attend que les candidats s'appuient sur les questionnements du sujet, les documents techniques et sur leurs connaissances/expériences personnelles pour les synthétiser et les mettre en perspective.

Le jury conseille aux candidats d'analyser la globalité du sujet et ses différentes parties qui sont généralement indépendantes.

## Partie A

Cette partie traitait des problèmes de gestion de l'énergie réactive dans un réseau électrique. Ces questions ont été traitées par une grande majorité des candidats.

### Question 1

Si beaucoup de candidats ont trouvé la puissance réactive à compenser, le calcul de la valeur des condensateurs en étoile a engendré de nombreuses erreurs.

### Question 2

Si l'énergie a été globalement correctement déterminée, une mauvaise compréhension du sujet a amené beaucoup de candidats à calculer la puissance réseau et pas celle au niveau du chargeur.

### Question 3

De nombreuses erreurs sont dues au fait que les candidats n'ont pas recalculé correctement la puissance absorbée au réseau en tenant compte des hypothèses des questions Q1 et Q2.

## Partie B

Cette partie abordait la structure d'électronique de puissance du chargeur qui permettait d'échanger de l'énergie avec le réseau électrique.

Elle a été traitée de manière inégale. Si les questions Q4 à Q7 qui exploitaient le schéma électrique ont été traitées par une majorité de candidats, les questions Q8 à Q11 qui analysaient de manière plus fine le fonctionnement de la structure en termes d'ondulation et gestion du transfert de puissance par l'angle  $\varphi$  ont été peu traitées.

### Question 4 et Question 5

Ces deux questions exploitaient directement le schéma et la description du fonctionnement de l'onduleur. De nombreux candidats ont confondu cette structure de type onduleur à demi-pont capacitif avec le hacheur série, aussi bien au niveau des formes d'onde qu'au niveau du calcul de la valeur moyenne. En outre, le jury attendait un minimum d'explication pour le tracé de la tension.

### Question 6

Cette question demandait la valeur minimale de tension nécessaire à partir des questions précédentes. De nombreux candidats ont simplement repris la valeur de tension indiquée dans le sujet.

### Question 7

Beaucoup de candidats se sont contentés d'effectuer un tracé du courant sans autre justification, ce qui n'est pas suffisant. En outre, certains candidats n'ont pas effectué une lecture attentive du sujet et du sens des courants, entraînant une évaluation erronée du sens de variation du courant.

### Question 8

De nombreuses erreurs sont liées à des erreurs d'analyse dans les questions précédentes et les calculs ont rarement abouti.

### Question 9

Des erreurs de lecture du sujet (sens du courant, hypothèse entre le courant échangé et la tension réseau) ont entraîné de nombreuses erreurs.

### Question 10 et Question 11

Seul un très petit nombre de candidats ont abordé ces deux questions. Si l'équation différentielle de base a été souvent trouvée, les développements ont été soit incomplets, soit ont présenté des erreurs.

## Partie C

Cette grande partie était composée de plusieurs sous-parties traitant de la chaîne d'acquisition numérique, de la modélisation du système dans le repère « dq », de l'asservissement sur un modèle simplifié et finalement de l'analyse des performances.

### Question 12

Le ratio de conversion et le gain du capteur ont été souvent trouvés. En revanche, beaucoup d'erreurs ont été faites au niveau de la tension extrême de sortie. En effet, le capteur donne en sortie une image de la valeur instantanée du courant. De nombreux candidats ont pris la valeur efficace du courant et non sa valeur maximale pour déterminer cette tension extrême.

### Question 13

Les candidats se sont souvent contentés d'évoquer les notions de « théorème de Shannon » ou de « repliement de spectre » sans expliquer dans ce cas précis ce qui allait se passer.

### Question 14

Les candidats n'ont souvent répondu que partiellement à la question, donnant le pas de quantification du Convertisseur Analogique Numérique sans expliciter l'atténuation que le filtre devait fournir.

### Question 15

Cette question a été très peu traitée et de manière imparfaite du fait d'erreurs aux questions précédentes.

### Question 16

Cette question nécessitait d'exploiter les informations du sujet. Souvent les candidats n'ont répondu que partiellement à la question, donnant les pôles mais ne fournissant pas la fonction de transfert finale.

### Question 17

Les réponses données étaient souvent imprécises, omettant soit la taille, soit la nécessité d'un bit de signe.

### Question 18

La plupart du temps, seul le gain du CAN a été indiqué mais le lien avec les questions précédentes pour obtenir les valeurs demandées n'a pas été fait. En outre, le gain du CAN a parfois été confondu avec le pas de quantification.

#### Question 19

De nombreuses erreurs ont été commises dans l'expression des puissances actives et réactives liée à une confusion entre les valeurs efficaces et maximales dans les expressions.

#### Question 20

Cette question a engendré de nombreuses erreurs liées soit à des erreurs initiales dans l'expression des courants de ligne, avec l'oubli du déphasage, soit à des erreurs méthodologiques où le calcul a été pris à l'envers, soit encore à des erreurs liées aux formules de trigonométrie de base ( $\cos(2.\omega)$ ,  $\sin(2.\omega)$ ) non maîtrisées. Enfin, beaucoup de candidats n'ont exprimé que les courants et pas les tensions comme demandé.

#### Question 21

Cette question ne posait pas de difficulté (loi des mailles) mais peu de candidats l'ont traitée.

#### Question 22 à Question 24

Ces questions, dans la continuité des précédentes nécessitaient d'appliquer la modélisation de Park au circuit électrique réel et n'ont été traitées que par un nombre très faible de candidats.

#### Question 25

Cette question a été globalement mal comprise car il ne s'agissait que de calculer le gain au niveau des courants en repartant des informations du capteur et du gain et pas des fonctions de transfert présentées précédemment. Elle n'a été traitée que par un nombre très faible de candidats.

#### Question 26

Même si peu de candidats ont clairement et correctement identifié les paramètres A, B, C et D, un certain nombre a correctement calculé la fonction de transfert en boucle ouverte.

#### Question 27 et Question 28

La méthode utilisée (compensation du pôle dominant) pour trouver la relation entre KP et KI ne posait pas de problème particulier. Le temps de réponse à 5% a été exploité par très peu de candidats.

#### Question 29 et Question 30

La synthèse du correcteur numérique n'a été que peu exploitée car nécessitant la réponse aux questions précédentes.

#### Question 31 et Question 32

L'analyse des courbes proposées n'a été exploitée que par un nombre très faible de candidats. Les réponses se sont limitées à une description des courbes et n'ont pas donné lieu à une analyse des résultats en se basant sur le questionnement du sujet et sur le modèle utilisé.

## Partie D

Cette partie traitait des contraintes de raccordement des véhicules plug-in équipés de chargeurs triphasés et de la protection des personnes en cas de défaut au niveau du véhicule.

### Question 33

Cette question a été plutôt bien traitée même si certains candidats n'ont répondu qu'en partie à la question. Il est toutefois à noter chez un certain nombre de candidats des confusions entre les notions de contact direct et contact indirect.

### Question 34

Cette question a été traitée par très peu de candidats. Des erreurs et des confusions sont apparues quelquefois dans les équations de base de l'électromagnétisme. De nombreuses erreurs calculatoires ont eu lieu dans leur mise en œuvre et certains candidats ont oublié que le courant de défaut était de forme sinusoïdale.

### Question 35 et Question 36

Les représentations  $B(H)$  ont été très souvent erronées, à la suite des erreurs dans la question Q34. Des cycles d'hystérésis ont été trouvés dans certaines copies, preuve de confusion dans les bases de l'électromagnétisme.

### Question 37

Seul un petit nombre de candidats a identifié le rôle de la résistance RAUX et son lien avec la présence du bouton de test de ce modèle d'interrupteur. Parmi ceux qui l'ont identifié, seuls peu de candidats ont correctement utilisé le rapport de transformation engendré par le nombre de spires pour justifier la valeur de la résistance.

### Question 38

Cette question de synthèse n'a été que peu traitée. Peu de candidats ont mené à la fois le travail d'analyse et la justification du fonctionnement des disjoncteurs de type B en exploitant correctement le document réponse.

## Partie E

Cette partie abordait la communication entre la borne de recharge et le camion plug-in rechargeable afin de valider certains choix de protocoles. Elle a été abordée par la grande majorité des candidats.

### Question 39

De nombreux candidats se sont contentés de signaler que la norme SAE J1772 était monophasée alors qu'il fallait identifier l'unidirectionnalité en puissance et l'incapacité de cette norme à gérer la puissance réactive.

### Question 40

Cette question a été traitée correctement par une partie importante des candidats.

#### Question 41 et Question 42

Cette question a été traitée correctement par une bonne partie des candidats, même si des conclusions étaient manquantes. Cependant, certains candidats ne maîtrisent toujours pas la notion d'adresse IP et de masque de sous-réseau.

#### Question 43

Cette question ouverte a donné lieu à des réponses très diverses, mais pour souvent peu précises.

#### Question 44

Le bus CAN est largement connu dans les applications automobiles. Les candidats ont pour la plupart répondu à cette question, mais de façon incomplète. Il était attendu une synthèse des caractéristiques de ce bus plutôt qu'une somme trop importante d'informations issue du document technique correspondant.

#### Question 45

La conversion en complément à 2 a posé des difficultés à de nombreux candidats.

#### Question 46

Le calcul a été correctement mené par les candidats qui ont traité cette question.

#### Question 47

Peu de candidats ont traité cette question. L'énoncé donnait pourtant l'ensemble des éléments pour traiter correctement cette question (ET logique).

### **Partie F**

Cette partie avait pour objectif de présenter le fonctionnement d'une installation et l'effet comparé d'un système de compensation d'énergie réactive classique, basé sur le questionnement de la partie A et d'une solution utilisant les capacités du chargeur de batterie du camion.

#### Question 48

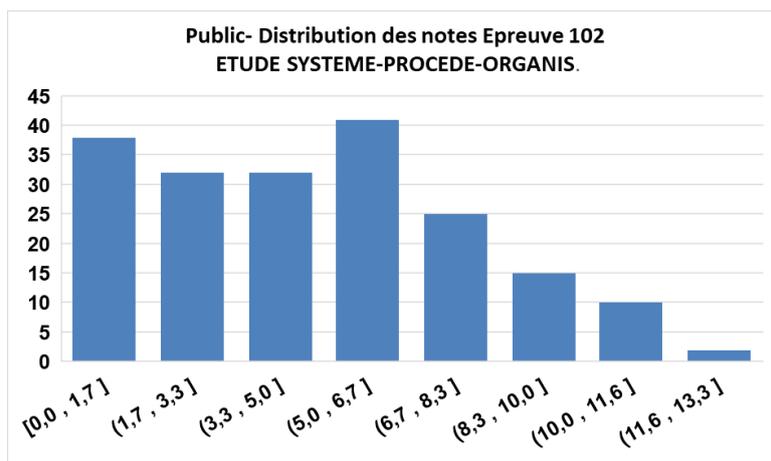
Le traitement de cette question a été globalement superficielle. Les candidats se sont souvent contentés de décrire les courbes, sans développer une analyse permettant de conclure quant au respect des contraintes sur le  $\cos \Phi$  sur toutes les périodes de fonctionnement et les évolutions nécessaires de la technique de compensation.

## Statistiques de l'épreuve 102

### ETUDE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION

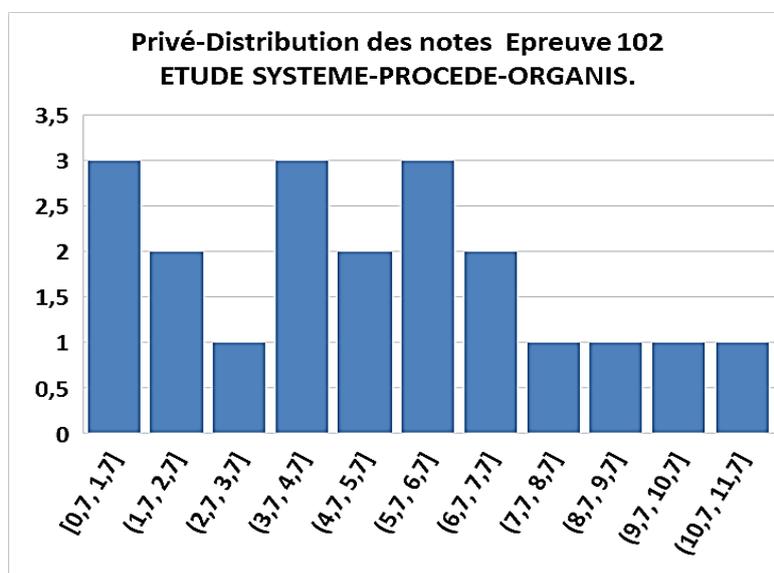
#### Concours public

Note maximale	13,31
Note minimale	0
Moyenne des candidats présents	4,85
Moyenne des candidats admissibles	8,97



#### Concours privé

Note maximale	11,63
Note minimale	0,68
Moyenne des candidats présents	5,2
Moyenne des candidats admissibles	7,5



## ÉPREUVES D'ADMISSION

Pour tenir compte de l'évolution des outils et des ressources numériques, les candidats ont à leur disposition des ordinateurs reliés à l'Internet. L'accès à des sites personnels est interdit. Seuls les sites ne nécessitant pas d'identification peuvent être consultés.

Cet accès permet aux candidats de travailler à partir de ressources numériques partagées sur les sites institutionnels, comme ils le font dans leurs pratiques quotidiennes. Le jury est attentif aux choix de ces ressources et à la manière dont les candidats les enrichissent de leur propre contribution afin d'en faire une exploitation personnelle et contextualisée dans l'environnement didactique et pédagogique imposé par les sujets d'épreuves.

### **Epreuve 1 : Activité pratique et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique**

Durée totale :

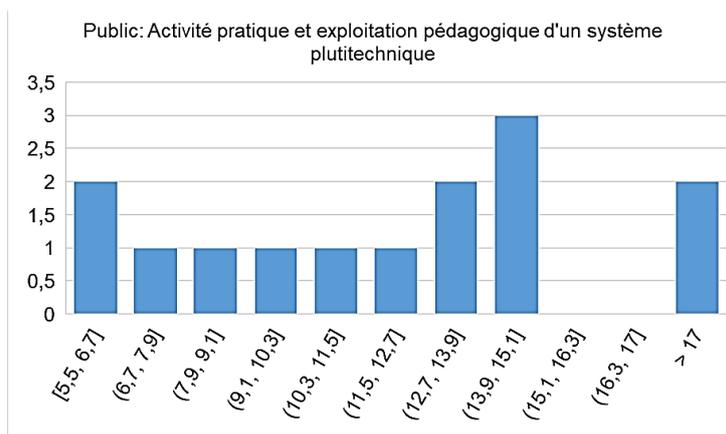
- 6 heures (activités pratiques ;
- 4 heures, préparation de l'exposé ;
- 1 heure, exposé : 30 minutes maximum, entretien : 30 minutes maximum

Coefficient 2

### Statistiques de l'épreuve

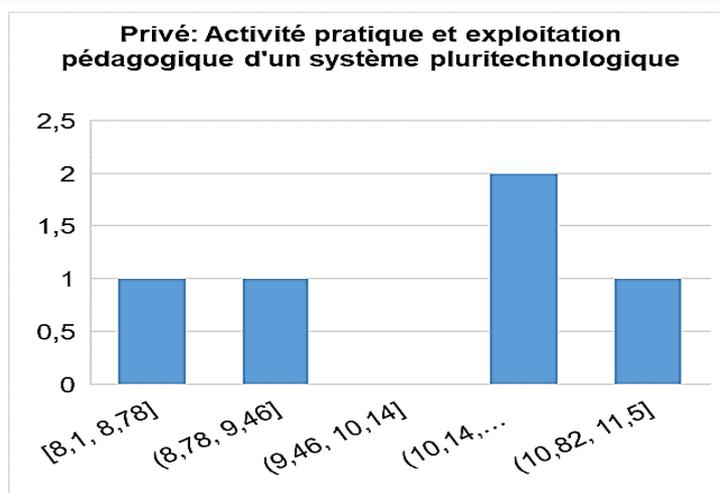
#### Concours public

Note maximale	17,1
Note minimale	5,5
Moyenne des candidats présents	11,68
Moyenne des candidats admis	14,83



## Concours privé

Note maximale	11,5
Note minimale	8,1
Moyenne des candidats présents	10,2
Moyenne des candidats admissibles	10



### Commentaire du jury de l'épreuve

Cette épreuve d'admission a pour objectif de vérifier la capacité du candidat à prendre en charge un système technique imposé et à développer des expérimentations ayant pour objectif la construction d'activités pédagogiques en STI2D, en STS ou en DUT. Elle se décompose en trois phases distinctes et complémentaires.

#### Expérimentation (4h)

Après avoir tiré au sort un sujet traitant d'une problématique liée à la spécialité choisie (GE ou SI), le candidat doit mener des investigations sur un système technique imposé.

Le candidat est d'abord guidé, avec un sujet, pendant deux heures, afin de s'approprier le fonctionnement et la structure du système.

Il est ensuite invité pendant les deux heures suivantes à poursuivre sa démarche d'investigation en explorant, s'il le souhaite, d'autres pistes d'exploitation. Afin d'anticiper l'élaboration d'une application pédagogique, il doit sauvegarder les résultats expérimentaux qui illustreront ses propositions.

Durant les deux premières heures, le candidat est suivi par les membres du jury qui le questionnent sur les protocoles expérimentaux qu'il met en œuvre, sur l'analyse des résultats obtenus et qui vérifient ses connaissances sur le thème abordé. Durant les deux heures suivantes, alors que le candidat doit commencer à construire ses activités pédagogiques au niveau imposé dans le sujet, les membres du jury lui apportent le soutien technique nécessaire à la mise en place des investigations qu'il souhaite réaliser.

#### Préparation de la production pédagogique (1h)

Le candidat dispose d'une heure en loge afin de préparer sa soutenance. Il peut emporter les documents qui lui étaient fournis lors des quatre heures d'activités pratiques et une clé USB où il a sauvegardé ses relevés expérimentaux. Il dispose d'un ordinateur équipé d'une suite bureautique classique.

## **Soutenance (1h)**

Le candidat doit présenter durant trente minutes devant une commission de jury la production pédagogique qu'il a élaborée. Trente minutes sont ensuite dédiées à l'entretien avec les membres du jury. Le candidat dispose d'un PC, d'un vidéoprojecteur et des supports numériques préparés lors des précédentes phases de cette épreuve.

## **Domaine d'activité « gestion de l'énergie »**

Les supports proposés ont pour fil conducteur la performance énergétique. La modélisation ainsi que la simulation numérique tiennent une place importante dans tous les sujets présentés aux candidats et candidates.

Les thématiques abordées portent sur les connaissances suivantes :

- le domaine tertiaire qui est traité par la gestion des flux de ventilation ;
- la production d'énergie photovoltaïque ;
- la réversibilité de la chaîne d'énergie ;
- les systèmes asservis et les modèles associés ;
- la qualité de l'énergie électrique.

L'ensemble de ces thèmes et supports permettent d'évaluer un spectre étendu de compétences de l'ingénierie électrique.

## **Le jury a apprécié :**

- la connaissance préalable des solutions d'optimisation énergétique, des problématiques liées aux harmoniques et au réglage des correcteurs ;
- la mise en œuvre de protocoles expérimentaux pertinents et adaptés au problème posé ;
- l'autonomie dans l'utilisation des outils de simulation numérique et de modélisation multi-physique ;
- la maîtrise d'appareils de mesurage tels qu'un analyseur de réseau d'énergie ;
- l'exploitation pertinente des mesures obtenues.

Il faut remarquer toutefois que la maîtrise des outils mathématiques n'est pas toujours bien acquise : décomposition en série de Fourier, fonction de transfert, équations différentielles.

Les meilleurs candidats ont été ceux qui ont su proposer un scénario pédagogique cohérent, réfléchi dès le début de la phase d'expérimentation et qui ont respecté un cahier des charges réaliste.

## **Domaine d'activité « systèmes d'information »**

Les supports choisis dans le champ des systèmes de l'information mettaient en œuvre des platines de prototypage rapide, des matériels et des logiciels permettant :

- l'acquisition et le traitement de l'information par cible FPGA ou CPLD ;
- les réseaux de terrain ;
- la transmission de données ;
- la programmation en langage évolué des microcontrôleurs ;
- la programmation par flux de données.

### **Le jury a apprécié :**

- la faculté d'adaptation de la plupart des candidats quant à la mise en œuvre des différents systèmes de prototypage rapide et matériels proposés dans les activités de travaux pratiques et à l'utilisation des logiciels proposés ;
- la connaissance des langages procéduraux et matériels employés lors des investigations ;
- les capacités d'analyse satisfaisantes permettant l'appropriation des concepts.

Une préparation préalable est indispensable dans les domaines suivants :

- connaissance des réseaux informatiques et des réseaux de terrain;
- compétences techniques générales dans le domaine du numérique (composants programmables, développement logiciel, ...) ;
- mise en œuvre et maîtrise des instruments de mesure et des logiciels de programmation de test et mesures.

### **Présentation de la production pédagogique (pour les deux domaines d'activités)**

En majorité, les candidats n'utilisent pas les trente minutes mises à disposition pour la présentation de l'exploitation pédagogique. Certains se limitent à une description sommaire des activités expérimentales conduites en amont alors qu'il est attendu qu'ils transfèrent ces différentes activités vers une application pédagogique au niveau imposé dans le sujet.

Le jury a apprécié les prestations des candidats qui ont réellement exploité la phase expérimentale pour développer un projet pédagogique structuré comportant :

- une description des intentions pédagogiques qui fasse apparaître les objectifs de formation en termes de compétences et de connaissances visées en lien avec les textes officiels ;
- la structure de la séquence pédagogique avec une estimation des volumes horaires des différentes séances ;
- un positionnement de la séance pédagogique dans la séquence et les prérequis attendus chez les élèves ;
- un choix justifié des stratégies pédagogiques mises en œuvre ;
- une description détaillée de la séance ;
- une description des moyens mis en œuvre dans la classe pour conduire l'activité pratique proposée (organisation du groupe classe, mise en activité des élèves, matériel mis en œuvre, consignes données et résultats attendus, ...) ;
- des précisions sur les évaluations et les remédiations envisagées ;
- une réflexion sur la prise en compte des différents besoins des élèves au sein de la classe ;
- une conclusion.

Certains candidats ont judicieusement intégré à leur présentation pédagogique des relevés de mesures effectuées pendant les quatre heures d'activités pratiques.

Dans la phase de questionnement, le jury a particulièrement apprécié que les candidats justifient :

- les fondements scientifiques et technologiques en relation avec l'exploitation pédagogique proposée ;
- leurs choix et stratégies pédagogiques de manière claire et synthétique.

## **Epreuve 2 : Épreuve sur dossier**

Durée de la préparation : 1 heure

Durée totale de l'épreuve - 1 heure

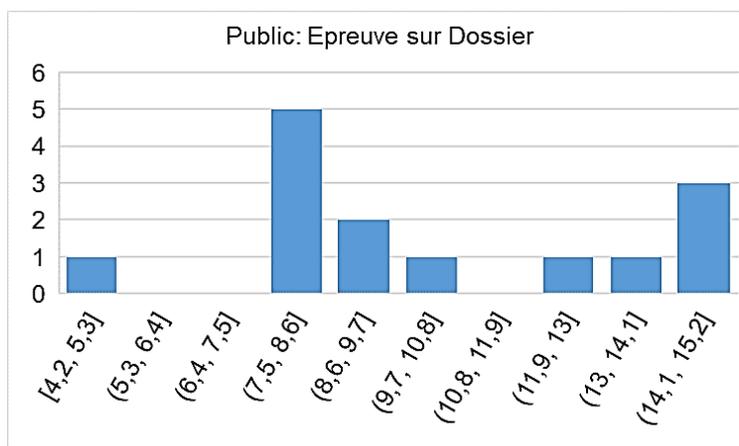
- exposé : 30 minutes maximum, entretien : 30 minutes maximum

Coefficient 1

### **Statistiques de l'épreuve**

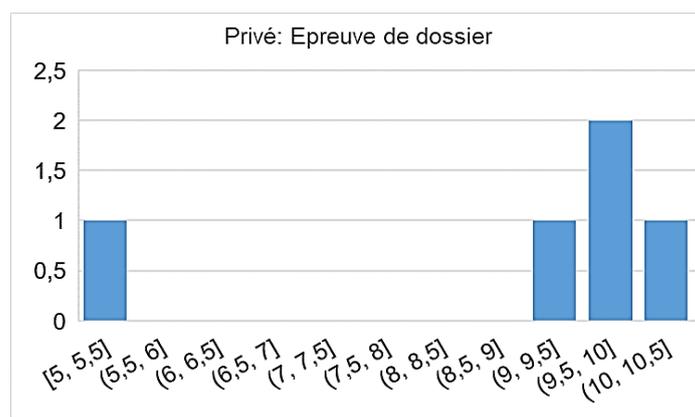
#### **Concours public**

Note maximale	15,2
Note minimale	4,2
Moyenne des candidats présents	10,28
Moyenne des candidats admis	12,37



#### **Concours privé**

Note maximale	10,1
Note minimale	5
Moyenne des candidats présents	8,76
Moyenne des candidats admis	9,5



## Commentaire du jury de l'épreuve

L'épreuve consiste en la soutenance du dossier devant le jury suivie d'un entretien (*présentation n'excédant pas trente minutes ; entretien avec le jury : trente minutes au maximum*).

L'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et industriel et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes pour son enseignement en collège ou au lycée. Le dossier doit mettre en évidence les compétences du candidat à transférer des données scientifiques et technologiques du milieu économique et industriel vers l'éducation nationale.

Le candidat déclaré admissible envoie par courrier postal avec accusé de réception, deux exemplaires imprimés sur papier et une version numérique sur clé USB du dossier. Les dossiers doivent être parvenus au secrétariat du jury cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

Le jury expertise ce dossier avant la soutenance du candidat.

La salle de l'épreuve est mise à disposition du candidat une heure avant le début de l'épreuve afin de préparer l'environnement de présentation. Les équipements mis à disposition sont : un poste informatique, un vidéoprojecteur, un tableau. Le candidat peut aussi utiliser son ordinateur portable personnel.

### Constitution du dossier

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique de la spécialité choisie. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs. Le dossier préparé par le candidat ne doit pas dépasser quarante pages. Il est constitué des éléments définis ci-dessous.

*Une partie dossier technique comprenant :*

1. Les représentations (graphiques, synoptiques) et documents techniques nécessaires à la compréhension du système technique, du contexte, des enjeux et des problématiques du client. Le cahier des charges comportant les performances attendues doit être présent.

Si ces documents sont trop volumineux et nombreux, le candidat doit faire des choix pour son dossier et sa présentation, mais il peut transmettre la totalité des documents en annexe sous format numérique.

2. Une réflexion sur le choix du support et les études conduites, mobilisant les connaissances disciplinaires attendues d'un professeur dans la spécialité choisie pour le concours, qui peut être articulée autour :
  - du traitement d'un problème pertinent au regard du support utilisé ;
  - de simulations (de fonctionnement et de comportement), lorsqu'elles sont utiles. Les fichiers de simulation sont également à transmettre sur le support numérique inclus dans le dossier ;
  - de mesures effectuées sur le support industriel ;
  - de toutes les informations permettant de justifier les solutions et/ou les évolutions projetées du système.

Une étude technique menée au plus haut niveau d'expertise du candidat devra permettre de valider les choix et/ou les performances des principaux constituants du système. Dans le cas d'utilisation de modèles liés à des simulations, les hypothèses devront être précisées. Les écarts observés entre le réel et le modèle devront être commentés. Pour cela, le candidat pourra exploiter des résultats expérimentaux effectués sur le système étudié.

Le candidat doit mettre en évidence sa capacité à s'approprier dans la structure, le fonctionnement et les problématiques du support d'étude.

*Une partie dossier pédagogique comprenant :*

3. Les investigations menées qui pourraient donner lieu à des exploitations pédagogiques pertinentes au cycle terminal du lycée, en STS, en IUT ou en CPGE. Le cadre des exploitations pédagogiques doit être proposé de manière détaillée. Toute production pédagogique doit être structurée à partir des compétences à faire acquérir aux élèves.

Le candidat doit donc :

- présenter les objectifs, le principe de déroulement et les moyens didactiques à mobiliser pour une séquence de formation correspondant à un objectif pédagogique d'un programme et d'un niveau de classe précisé ;
- indiquer, selon son point de vue, les points clefs, les difficultés prévisibles et les scénarios alternatifs pouvant permettre de les contourner.

### **Exposé et entretien**

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, la capacité de ce dernier 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 de l'option choisie. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur l'analyse scientifique et technologique développée ainsi que l'exploitation pédagogique envisagée. En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, etc.), 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'approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles.

La gestion du temps doit être respectée et judicieusement gérée pour présenter de façon équilibrée les aspects technique et pédagogique du support choisi.

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

### **Critères d'évaluation**

Le jury évalue :

- l'authenticité et actualité du support choisi ;
- la justesse et niveau des développements scientifiques et technologiques ;
- la mise en évidence de problématiques pertinentes ;
- la capacité du candidat à en faire une présentation construite, claire et objective ;
- l'identification, dans le sujet traité, des points remarquables et transférables dans un enseignement ;
- la qualité des investigations conduites et la pertinence des exploitations pédagogiques retenues par rapport aux niveaux de formation choisis ;
- la description détaillée de certaines exploitations pédagogiques ;
- la qualité du dossier élaboré par le candidat.

## Remarques concernant la session 2021

Les points décrits ci-dessous ont été valorisés par le jury.

### Partie dossier technique :

- le dossier fait référence à un support industriel ou du domaine du grand public parfaitement maîtrisé et analysé. La complexité est suffisante pour envisager l'analyse scientifique et technologique au niveau du concours de l'agrégation ;
- le candidat a rencontré les concepteurs ou les responsables techniques et a su identifier les problématiques technologiques réelles du support industriel ;
- l'analyse du support a été conduite avec précision sans élément inutile. Elle est étayée de développements scientifiques et de modélisations et simulations numériques. Les choix technologiques sont analysés et discutés.

### Partie dossier pédagogique :

- les problématiques étudiées et exploitées au niveau pédagogique sont en relation avec les éléments essentiels de l'analyse du support retenu ;
- les objectifs pédagogiques sont explicités, organisés et font clairement apparaître les compétences visées ;
- le dossier comporte une ou des séquences pédagogiques complètement développées et une organisation des séquences réaliste et contextualisée (avec les documents à transmettre aux élèves, la préparation professeur, les dossiers annexes,) ;
- la ou les séquences développées sont contextualisées au sein d'une progression annuelle ;
- les objectifs, les contenus et les modalités des évaluations sont précisés ;
- les stratégies pédagogiques sont clairement explicitées ;
- le travail attendu des élèves est clairement présenté ;
- le candidat qui a expérimenté les propositions pédagogiques présentées, ou qui a rencontré des professeurs qui enseignent dans les classes retenues pour ces propositions ;
- la présentation est bien organisée et bien minutée, le candidat expose clairement son propos en s'adressant au jury de façon détachée vis-à-vis du texte ou support de présentation ;
- le niveau de langage et la présentation du candidat sont irréprochables.

Pour les candidats n'ayant pas correctement réussi cette épreuve, le jury a constaté les insuffisances détaillées ci-dessous.

### Partie dossier technique :

- l'absence du cahier des charges industriel original ;
- le choix d'un système déjà didactisé par une entreprise spécialisée alors qu'il est attendu du candidat qu'il effectue lui-même ce transfert du produit industrialisé vers une application pédagogique ;
- la reprise d'une tâche développée par des lycéens en projet ou par des étudiants dans le cadre des épreuves professionnelles de synthèse ;
- une étude technique réduite à une compilation de documents, ne proposant que peu d'analyses scientifiques et technologiques des solutions retenues par le concepteur ;
- l'obsolescence des systèmes choisis, ou des supports insuffisamment riches sur les plans scientifiques et technologiques ;

- une présentation du système se limitant à une représentation SysML ;
- l'absence de description fonctionnelle et/ou structurelle du support;
- une lisibilité insuffisante des documents fournis ;
- un manque d'initiative et de curiosité scientifique ;
- un manque de maîtrise des différents champs scientifiques et technologiques abordés.
- des études qui ne concernent que le champ technologique lié à l'option du concours alors que d'autres problématiques davantage transversales seraient intéressantes à développer ;
- un manque d'analyse critique des performances du support au regard des problématiques étudiées, notamment en s'appuyant sur les valeurs de grandeurs mesurées ou obtenues à l'aide de simulations numériques.

### **Partie dossier pédagogique :**

- une partie pédagogique réduite à quelques intentions « génériques » ne permettant pas d'explicitier de réels choix pédagogiques ;
- une réflexion pédagogique succincte sur différentes applications pédagogiques possibles plutôt qu'une réflexion aboutie sur une seule séquence ;
- les démarches d'élaboration des modèles de simulation largement décrits dans le dossier mais exploitées lors des développements pédagogiques.
- l'éloignement de l'exploitation pédagogique par rapport aux problématiques abordées avec le support industriel choisi.

Les candidats doivent apporter une attention particulière à la préparation de cette épreuve. L'élaboration d'un dossier répondant aux attentes du jury demande plusieurs mois. Elle doit donc être largement anticipée et ne peut pas être raisonnablement prévue entre les épreuves d'admissibilité et les épreuves d'admission.