



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

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport de jury**

**Concours : AGREGATION EXTERNE**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR**

**Option : Ingénierie Electrique (IE)**

**Session 2021**

Rapport de jury présenté par : Delphine RIU, présidente du jury  
Professeure des universités

## Avant-propos

Cette année **24** postes étaient ouverts à l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de l'option « ingénierie électrique ». Le nombre d'inscrits était de 361 : 211 étaient présents à la première épreuve (épreuve transverse), 207 à la seconde, 204 à la troisième épreuve. Au final, 202 candidat.e.s ont été présent.e.s aux trois épreuves d'admissibilité.

**52** candidat.e.s ont été déclaré.e.s admissibles.

Ces chiffres confirment l'attractivité du concours sur un vivier de candidatures important. Il est essentiel de pouvoir compter sur ce vivier afin de recruter des enseignant.e.s de très haut niveau pour l'enseignement de ces sciences industrielles de l'ingénieur.

Les trois épreuves écrites d'admissibilité et les trois épreuves orales pour l'admission sont complémentaires et permettent d'évaluer l'ensemble des compétences attendues d'un.e professeur.e agrégé.e. Il est néanmoins indispensable aux candidats de se préparer à l'ensemble de manière spécifique et bien en amont des épreuves d'admissibilité.

Les attentes du concours de l'agrégation SII sont définies par l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation. Les concours de recrutement d'enseignants n'ont pas pour seul objectif de valider les compétences scientifiques et technologiques des candidat.e.s; ils doivent aussi valider les compétences professionnelles qui sont souhaitées par l'État employeur qui recrute des professeurs.

L'excellence scientifique et la maîtrise disciplinaire sont indispensables pour présenter le concours, mais pour le réussir, les candidats doivent aussi faire preuve de qualités didactiques et pédagogiques et de bonnes aptitudes à communiquer.

Les trois épreuves d'admissibilité sont construites de manière à évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques; la première épreuve est commune aux quatre options de l'agrégation SII, les deux autres spécifiques à l'option. Les trois épreuves d'admission sont complémentaires des épreuves d'admissibilité; la première épreuve d'admission est commune aux quatre options, les deux autres spécifiques à l'option. Elles permettent l'évaluation des compétences pédagogiques des futurs professeurs et s'appuient sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (publié au BOEN du 25 juillet 2013). Elles comportent un entretien avec le jury qui permet d'évaluer la capacité du candidat à s'exprimer avec clarté et précision, à réfléchir aux enjeux scientifiques, technologiques, didactiques, épistémologiques, culturels et sociétaux que revêt l'enseignement du champ disciplinaire du concours. Ces épreuves d'admission, dont le coefficient total est le double de celui des épreuves d'admissibilité, ont eu une influence significative sur le classement final. Les candidats et leurs formateurs sont invités à lire avec application les commentaires et conseils donnés dans ce rapport et dans ceux des sessions antérieures afin de bien appréhender les compétences ciblées. La préparation à ces épreuves commence dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique à partir d'activités

expérimentales ne s'improvisent pas et nécessitent une préparation rigoureuse. De même, la qualité du dossier dépend de la pertinence du choix du support. Elle impose aux futurs professeurs de s'engager, dès le début de leur carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise et de la recherche. Ces épreuves permettent « également d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République ». Les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place lors des entretiens avec le jury ; en effet, la mission première que fixe la Nation à ses enseignants est de transmettre et faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République ainsi que l'ensemble des dispositions de la charte de la laïcité.

L'agrégation, comme tous les concours de recrutement de fonctionnaires, impose de la part des candidat.e.s un comportement et une présentation exemplaires. Le jury y est attentif et invite les candidat.e.s à adopter une présentation et une attitude adaptées aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Ce rapport a été rédigé pour être utile aux futur.e.s candidat.e.s de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur et à leurs formateurs.

## Données quantitatives

Nombre de postes : 24

Nombre de candidats inscrits : 361

Nombre de candidats admissibles : 52

Moyenne des candidats admissibles aux épreuves d'admissibilité : 10,20/20

Moyenne des candidats admis aux épreuves d'admissibilité : 11,62/20

Moyenne des candidats admissibles aux épreuves d'admission : 9,64/20

Moyenne des candidats admis aux épreuves d'admission : 11,59/20

Moyenne des candidats admis à l'ensemble des épreuves : 11,60/20

Moyenne minimale et maximale sur l'ensemble des épreuves des admis : 8,03 - 17,07/20

Nombre de candidats admis : 24

## Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2021 des quatre options de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur.

Les membres du jury tiennent à remercier le proviseur du lycée, son directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques, ses collaborateurs et l'ensemble des personnels pour la qualité de leur accueil et l'aide efficace apportée tout au long de l'organisation et du déroulement de ce concours qui a eu lieu dans d'excellentes conditions malgré le contexte difficile lié à la crise sanitaire.

Les membres de jury ayant contribué à la rédaction de ce rapport ainsi que les concepteurs des sujets, tant pour les épreuves d'admissibilité que pour les épreuves d'admission, sont également tout particulièrement remerciés.

## Table des matières

Avant-propos.....	2
Données quantitatives .....	3
Remerciements .....	4
Rapport de jury de l'épreuve sciences industrielles de l'ingénieur .....	8
Résultats pour l'option Ingénierie Electrique.....	8
Rapport de jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....	9
Présentation de l'épreuve .....	9
Analyse globale des résultats .....	10
Commentaires sur les réponses apportées.....	10
Conseils aux candidats .....	14
Conclusion et résultats .....	14
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....	16
A. Acquisition de la température et des vibrations.....	16
A1. Les fonctionnalités du composant LSM6DS3 .....	16
A2. Mesure de la température .....	16
B. Détermination de l'empreinte vibratoire.....	17
B1. De la DFT à la FFT .....	17
B2. Le calcul de l'empreinte vibratoire.....	18
C. Modélisation du procédé de modulation LoRa.....	19
C1. Les caractéristiques du signal modulé $s(t)$ .....	19
Rapport de jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....	26
Présentation de l'épreuve .....	26
Analyse globale des résultats .....	26
Conseils aux candidats .....	27
Conclusion et résultats .....	27
Rapport de jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel.....	31
Présentation de l'épreuve.....	31
Analyse globale des résultats .....	31
Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats .....	31

L'exposé et les échanges avec le jury .....	33
Conclusions.....	33
Résultats.....	33
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique .....	34
Présentation de l'épreuve .....	34
Le déroulement de l'épreuve .....	34
Les attentes du jury .....	36
Conseils pour la préparation de l'épreuve .....	37
Résultats.....	38
Modélisation de la machine à courant continu .....	42
Fonction de transfert : .....	42
Description du matériel.....	43
Le système à réguler : .....	43
3. Manipulation .....	43
3.1. Étude en boucle ouverte (BO) .....	43
3.2. Étude en boucle fermée.....	45
3.2.2 Système corrigé par un correcteur PI.....	46
Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique .....	47
A. Présentation de l'épreuve .....	47
B. Commentaires du jury.....	52
C. Résultats .....	57

## EPREUVES D'ADMISSIBILITE

Les questions doivent être lues attentivement afin de n'oublier aucune des réponses attendues.

Les candidat.e.s doivent lire l'intégralité du sujet, des éléments de correction intermédiaires permettant souvent aux candidat.e.s de poursuivre le sujet même en cas de défaillances sur certaines questions.

Les copies doivent être soignées : écriture lisible, orthographe correcte, présentation claire des résultats.

Les notations de l'énoncé doivent être respectées.

Les réponses doivent être données sous forme littérale puis chaque grandeur doit être remplacée par une valeur numérique avec unité.

# Rapport de jury de l'épreuve sciences industrielles de l'ingénieur

Durée totale de l'épreuve : 6 heures

Coefficient : 1

Cette épreuve est commune aux quatre options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié, « cette 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 pluritechnologique automatique ».

Le sujet de l'épreuve commune est disponible sur le lien suivant :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid156537/sujets-rapports-des-jurys-agregation-2021.html>

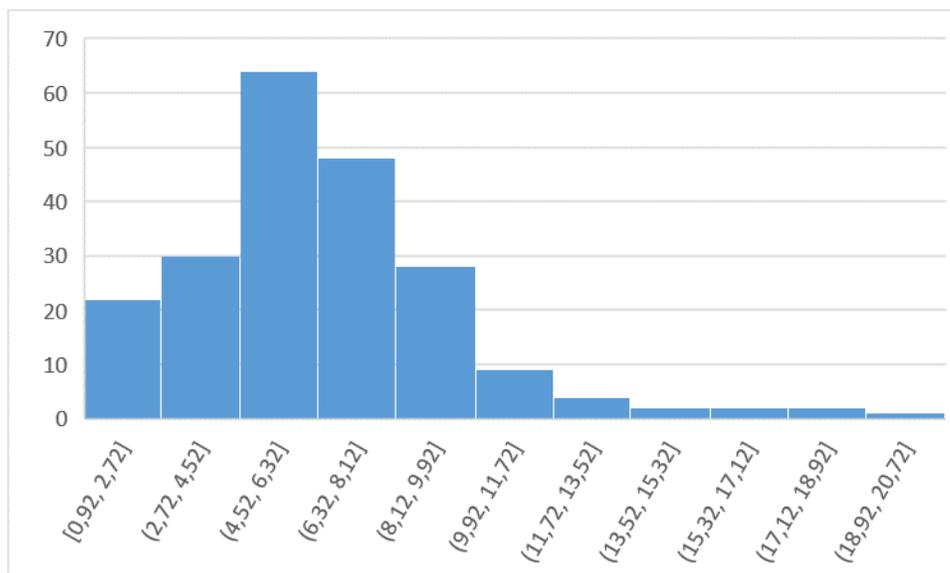
La correction est disponible sur-:

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/36/3/rj-2021-agregation-externe-sii-ingenierie-informatique\\_1418363.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externer/36/3/rj-2021-agregation-externe-sii-ingenierie-informatique_1418363.pdf)

## Résultats pour l'option Ingénierie Electrique

La moyenne de l'épreuve pour les 211 candidat.e.s présent.e.s est 6,41/20 avec un écart-type de 3,16.

La note maximale est de 19,33/20, la plus faible de 0,92/20. Le graphique ci-dessous présente la distribution des résultats pour cette épreuve.



# Rapport de jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## Présentation de l'épreuve

*Arrêté du 28 décembre 2009 modifié*

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

Cette épreuve est spécifique à l'option choisie. À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie, en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

Le sujet proposé pour cette épreuve de modélisation est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation\\_externer/99/0/s2021\\_agreg\\_externer\\_sii\\_electrique\\_2\\_1389990.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externer/99/0/s2021_agreg_externer_sii_electrique_2_1389990.pdf).

Le sujet proposé pour cette session prend appui sur un dispositif de maintenance prédictive pour machines tournantes, développé conjointement par les sociétés Éolane et Cartesiam AI.

Ce dispositif est composé, sur le plan matériel, d'un boîtier nommé « Bob Assistant » dont la fonction consiste à surveiller en permanence les caractéristiques vibratoires de la machine sur laquelle il est fixé, et à transmettre périodiquement aux équipes de maintenance, un rapport de fonctionnement indiquant, le cas échéant, un niveau de vibrations anormal significatif de l'usure mécanique d'un constituant qu'il convient alors de remplacer avant qu'il n'entraîne une panne causant l'arrêt non planifié des chaînes de production.

Pour ce faire, le « Bob Assistant » est constitué d'un capteur d'accélération délivrant une information numérique qu'une carte équipée d'un microcontrôleur est chargée de traiter. Le traitement numérique consiste alors à effectuer une analyse spectrale du signal, à partir de laquelle le microcontrôleur élabore l'information d'empreinte vibratoire de la machine tournante. Cette information est transmise périodiquement et par voie radio à une passerelle, puis mise à disposition des équipes de maintenance via le réseau Internet. Ces dernières, à partir de l'historique des empreintes vibratoires reçues et notamment de leur évolution au cours du temps, sont alors en capacité de détecter une dérive vibratoire anormale et de planifier une opération de maintenance préventive sur la machine tournante.

Le système de maintenance prédictive support de l'étude constitue ainsi une illustration du concept d'**IIoT** (*Industrial Internet of Things*).

## Analyse globale des résultats

Le sujet permettait d'aborder un ensemble significatif de techniques représentatives du domaine de l'ingénierie électrique des courants faibles (acquisition de grandeurs physiques, traitement numérique de signal, informatique industrielle embarquée, traitement de signaux radiofréquences). Il comportait une dimension technologique consistant, à l'aide de la documentation des composants électroniques associés au schéma structurel du « Bob assistant », à analyser et prévoir le fonctionnement de ce dernier, ainsi qu'une dimension scientifique au cours de laquelle le candidat était invité, à partir de résultats de simulation, à modéliser les procédés de modulation et de démodulation radio mis en œuvre dans ce dispositif de maintenance prédictive.

Pour évaluer les connaissances des candidats dans ces différents domaines, le sujet proposait 5 parties totalement indépendantes les unes des autres, de poids quasi identiques (20% de la note globale pour chacune d'entre elles), et pour lesquelles le questionnement présentait un niveau de difficulté progressif.

Le jury constate qu'un nombre important de candidats se sont limités à répondre aux premières questions de chacune des 5 parties. Cela est d'autant plus regrettable que le sujet avait été conçu de façon que des candidats plus à l'aise dans le domaine de l'électrotechnique et de l'électronique de puissance que dans celui de l'électronique, puissent néanmoins répondre aux questions posées (de nombreux rappels portant sur des notions peut-être mal connues mais jugées nécessaires étaient fournis).

Par ailleurs, les réponses apportées par les candidats étaient parfois aberrantes, tant sur le fond (réponse sans rapport avec la question posée) que sur la forme (absence d'unité ou bien unité erronée, ordre de grandeur improbable).

Certains candidats se sont également montrés incapables de mener à leur terme des calculs et des développements qui pourtant, n'étaient pas complexes.

En revanche, une vingtaine de candidats se sont révélés particulièrement pertinents dans leurs réponses, et ont montré d'excellentes capacités en matière d'analyse et de modélisation du système proposé.

## Commentaires sur les réponses apportées

*PARTIE A : acquisition de la température et de l'accélération linéaire selon les 3 axes x, y et z (Q1 à Q11)*

L'objectif de cette partie consistait à analyser la documentation du composant LSM6DS3 (accéléromètre, gyroscope 3 axes et capteur de température) et à en proposer sa configuration logicielle, de façon qu'il délivre les informations de température et d'accélération linéaire selon les 3 axes x, y et z souhaitées. Il s'agissait là d'une activité extrêmement classique du domaine de l'électronique.

Cette partie du sujet, comptant pour 20% du total des points de l'épreuve, a été correctement traitée par une majorité de candidats.

### **Partie A1 – Les fonctionnalités du composant LSM6DS3**

Cette partie du sujet a été correctement traitée, même s'il faut noter que certains candidats se sont révélés incapables de citer la nature exacte des paramètres physiques auxquels le composant est sensible (confusion, notamment, entre les grandeurs d'angle et de vitesse angulaire), omettant parfois d'en préciser les unités.

L'interface de communication I2C est connue de la majorité des candidats.

### **Partie A2 – Mesure de la température**

Même si cette partie a été dans l'ensemble correctement traitée, le jury observe qu'un certain nombre de candidats ignorent la notion de sensibilité d'un capteur, alors que d'autres n'ont pas réussi à extraire de la documentation les informations permettant d'exprimer la relation  $N_T = f(T)$  associée au capteur de température.

### **Partie A3 – Mesure de l'accélération**

Les 2 premières questions (Q7 et Q8) ont été correctement traitées par une majorité de candidats, contrairement aux questions relatives à la configuration logicielle du composant en mode FIFO (Q9 à Q11), pour lesquelles une majorité de candidats n'a pas répondu ou de façon erronée.

Il apparaît, pour ce qui concerne cette partie du sujet, que certains candidats ont éprouvé des difficultés majeures à extraire les informations demandées de la documentation constructeur. Le jury rappelle que la lecture de documentations de composants électroniques en langue anglaise est une activité majeure et récurrente à laquelle les candidats doivent s'entraîner.

*PARTIE B : détermination de l'empreinte vibratoire (Q12 à Q22)*

Cette partie du sujet avait pour objet, disposant des informations d'accélération linéaire selon les axes x, y et z, de déterminer l'empreinte vibratoire de la machine tournante. Elle permettait de tester les connaissances des candidats dans deux domaines de l'électronique moderne de première importance : le traitement numérique de signal d'une part, et le traitement de données en informatique embarquée d'autre part.

La première partie associée au traitement numérique de signal a été dans l'ensemble très peu traitée, alors que la seconde partie a été abordée par davantage de candidats, et souvent avec pertinence.

Cette partie du sujet comptait pour 20% du total des points de l'épreuve.

### **Partie B1 – De la DFT à la FFT**

Il s'agissait ici d'explicitier la technique de traitement de signal à la base du calcul de l'empreinte vibratoire. Après un rappel sur la transformée de Fourier discrète DFT, le candidat était invité à calculer le nombre d'opérations d'addition et de multiplication nécessaires à la détermination, par opération de transformée de Fourier rapide FFT, du spectre d'amplitude des vibrations.

Très peu de candidats ont traité cette partie, et le plus souvent de façon très incomplète.

Le jury rappelle que les notions d'analyse spectrale sont fondamentales dans le domaine de l'ingénierie électrique, et regrette qu'elles aient été aussi peu abordées et maîtrisées par les candidats.

### **Partie B2 – Calcul de l'empreinte vibratoire**

Cette partie, relevant du domaine de l'informatique industrielle embarquée, consistait à traiter les informations d'accélération linéaire afin de déterminer les 3 paramètres suivants : l'empreinte vibratoire de la machine, la valeur maximale de cette empreinte ainsi que la valeur de la fréquence à laquelle cette empreinte est maximale. L'algorithme ainsi qu'une version incomplète du programme en langage C étaient fournis, et les candidats étaient invités soit à analyser une partie du programme existant, soit à le compléter conformément à l'algorithme fourni.

Le jury note qu'un nombre important de candidats n'ont pas du tout abordé cette partie, alors que les autres ont été particulièrement pertinents dans leurs réponses. Il apparaît donc que certains candidats méconnaissent le langage C ou bien le maîtrisent de façon insuffisante au point d'avoir escamoté cette partie.

Le jury rappelle que la connaissance et la maîtrise des langages de programmation C/C++ est fondamentale dans le domaine de l'ingénierie électrique, dès lors qu'il s'agit de mettre en œuvre un microcontrôleur.

## *PARTIES C et D : modélisation des procédés de modulation et de démodulation LoRa (Q23 à Q38)*

Après une étude technologique portant sur la méthode permettant, à partir des informations délivrées par le composant LSM6DS3, de calculer les paramètres du rapport de fonctionnement à transmettre aux équipes de maintenance, le sujet proposait aux candidats, de modéliser successivement :

- le procédé de modulation LoRa (Q23 à Q32 - Partie C) ;
- le procédé de démodulation LoRa (Q33 à Q38 – Partie D).

Ces deux parties indépendantes et comptant pour 38% du total des points, permettaient d'évaluer la capacité des candidats à modéliser la transmission radio LoRa à partir de résultats de simulation.

Les connaissances à mobiliser appartenaient certes au domaine du traitement de signal, tant analogique que numérique, mais ne nécessitaient aucun développement mathématique complexe ; malgré cela, une majorité de candidats n'a que très peu abordé ces deux parties.

Le jury note que de nombreux candidats ont été bloqués par des opérations mathématiques basiques et usuelles, telles que l'expression littérale d'une fonction retardée ou d'un produit de deux fonctions cosinus, et rappelle à cette occasion que l'ingénierie électrique ne saurait se limiter à sa seule dimension technologique, mais qu'elle requiert également une maîtrise des concepts théoriques sur lesquelles elle s'appuie, notamment lorsqu'il s'agit de modéliser le comportement d'un système.

### **Partie C1 – Les caractéristiques du signal modulé $s(t)$**

Il s'agissait pour cette partie, à partir de la caractéristique représentant l'évolution temporelle de la fréquence du signal modulé  $s(t)$ , de donner l'expression littérale des grandeurs caractéristiques  $a$ ,  $t_n$  et  $f_n$ , afin d'en déduire l'expression littérale du signal modulé  $s(t)$ .

Les candidats ayant traité cette partie l'ont fait pour la plupart de façon satisfaisante.

### **Partie C2 – Synthèse directe du signal modulé $s(t)$**

L'objectif de cette partie consistait à mettre en évidence l'incapacité d'effectuer une synthèse directe du signal modulé  $s(t)$ , la durée mise à disposition pour traiter les échantillons  $s(k)$  étant trop faible.

Cette partie a été correctement traitée lorsqu'elle l'a été.

### **Partie C3 – Élaboration du signal modulé $s(t)$ à l'aide d'un modulateur IQ**

Puisqu'il était impossible d'effectuer une synthèse directe du signal modulé, le sujet proposait au candidat de mettre en œuvre un modulateur IQ.

Ce dernier était considéré comme une « boîte noire » ne faisant l'objet d'aucun questionnement et ne nécessitant aucune connaissance préalable. Par ailleurs, la définition des notions de Chirp ou de fréquence instantanée était donnée, afin de permettre à tous les candidats de répondre aux questions posées.

L'étude du modulateur IQ était proposée au travers d'une activité de modélisation, établie à partir de la connaissance des grandeurs d'entrée (signaux  $i(t)$  et  $q(t)$  obtenus par simulation) et de sortie  $s(t)$ .

Malgré ces précautions, peu de candidats ont traité convenablement cette partie.

### **Partie C4 – Synthèse numérique des signaux de bande de base $i(t)$ et $q(t)$**

Cette partie avait pour objet de proposer une numérisation des signaux analogiques  $i(t)$  et  $q(t)$ , afin de déterminer les grandeurs numériques  $i(k)$  et  $q(k)$  permettant d'élaborer le signal modulé  $s(t)$  associé au message numérique  $m(t)$  à transmettre.

Cette partie n'a été abordée que par quelques candidats.

#### **Partie D – Modélisation du procédé de démodulation LoRa**

La modélisation proposée consistait en une multiplication de deux fonctions trigonométriques de type cosinus, à partir de laquelle on obtenait, par une opération de filtrage passe-bas, une tension sinusoïdale dont la fréquence était significative de la valeur du symbole reçu par voie radio.

Là encore, le traitement de signal opéré faisait appel à des opérations mathématiques simples, ayant pourtant posé problème à un certain nombre de candidats.

#### **PARTIE E : Transmission du rapport de fonctionnement par voie radio (Q39 à Q50)**

Le sujet proposait, pour cette dernière partie, après avoir modélisé les procédés de modulation et de démodulation LoRa, de revenir à des considérations d'ordre technologique, en étudiant le fonctionnement du composant SX1272 (transceiver LoRa) dont la fonction consiste précisément à transmettre par voie radio et à destination de la passerelle, les informations d'analyse vibratoire (modulation) ainsi qu'à réceptionner les informations de commande transmises par le serveur via la passerelle (démodulation).

Le sujet proposait un certain nombre de définitions propres au domaine des radiofréquences que certains candidats pouvaient mal connaître (bilan de liaison d'une transmission par voie radio, niveau de puissance radio en dBm) de façon que tous les candidats puissent traiter cette dernière partie comptant pour 22% du total des points de l'épreuve.

#### **Partie E1 – Présentation de la solution technologique mise en œuvre**

Aucune question pour la présentation du module RF-LORA-868-SO.

#### **Partie E2 – Étude de l'étage radiofréquences**

Le jury note qu'aucun candidat n'a été en mesure de citer les dénominations anglo-saxonnes des modulations associées aux abréviations FSK, GFSK, MSK, GMSK et OOK citées par le constructeur du composant SX1272. Or, ces modulations ainsi que leurs abréviations devraient être connues, car elles sont à la base des procédés de modulation rencontrés dans le domaine de la téléphonie mobile ainsi que dans les transmissions par voie radio telles que WiFi, Bluetooth ou Zigbee, technologies omniprésentes dans notre environnement.

Par ailleurs, de nombreux candidats ont rencontré des difficultés à extraire de la documentation du composant SX1272, les informations leur permettant de répondre aux questions posées (difficultés déjà rencontrées à l'occasion de la partie A).

#### **Partie E3 – La capacité du transceiver SX1272 à émettre/recevoir des signaux RF modulés LoRa**

Certains candidats, parmi ceux ayant répondu à la question Q47, se sont trompés dans la référence des registres à compléter, ou bien les ont complétés de façon incorrecte.

#### **Partie E4 – La capacité du transceiver SX1272 à intégrer un réseau de communications LoRaWAN**

Très peu de candidats ont traité ces dernières questions, et parmi eux, rares sont ceux ayant été en mesure de synthétiser les données mises en évidence dans ce sujet en les mettant en perspective avec la représentation graphique de la figure 25. De la même façon, l'ultime question consistant à évaluer l'avenir des technologies IoT telles que LoRa ou Sigfox lorsque la technologie mobile 5G sera déployée sur le territoire, n'a été que très peu traitée, et souvent avec des arguments peu convaincants.

## Conseils aux candidats

Le jury rappelle que cette épreuve écrite a pour objet d'évaluer les connaissances des candidats dans les différents domaines de l'ingénierie électrique, au travers d'une démarche de modélisation, ce qui suppose de leur part une double compétence, à la fois du domaine technologique afin d'analyser, de comprendre et de prévoir le fonctionnement du système proposé, mais également d'ordre plus théorique visant à acquérir la maîtrise des outils mathématiques et physiques conduisant à sa modélisation.

Afin d'augmenter leurs chances de réussite à cette épreuve, les candidats doivent par conséquent travailler en amont cette double compétence, notamment en s'exerçant en temps limité à la lecture de documentations de composants en langue anglaise ainsi qu'à la résolution d'exercices canoniques nécessitant le développement de calculs mathématiques.

Les sujets comportent généralement plusieurs parties indépendantes les unes des autres qu'il est possible de traiter dans l'ordre convenant le mieux au candidat. Ils sont calibrés de telle façon que seuls les meilleurs candidats soient en mesure de traiter la totalité des questions, c'est pourquoi il est conseillé de ne pas perdre de temps en restant bloqué trop longtemps sur une question.

Le jury attend des candidats qu'ils soient en mesure de rédiger les réponses aux questions posées selon les règles élémentaires de syntaxe de la langue française, sans faute de grammaire ni d'orthographe. Les résultats doivent être présentés de façon claire et synthétique (expressions littérale puis numérique sans omettre les unités).

Le jury apprécie et valorise la réponse d'un candidat signalant un résultat numérique de toute évidence aberrant, mettant ainsi en évidence sa culture scientifique et technologique.

## Conclusion et résultats

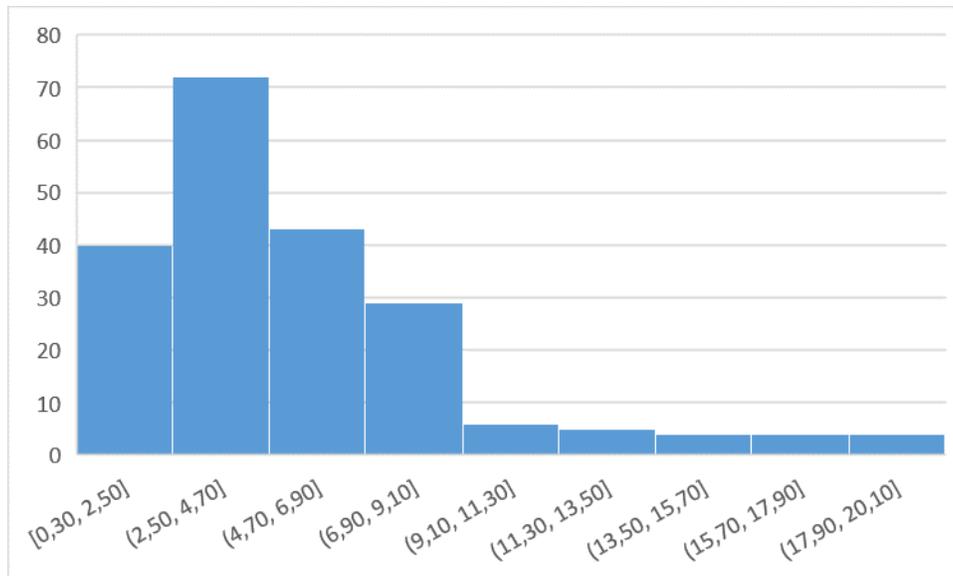
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système pluritechnologique dans le domaine de l'ingénierie électrique en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

Le jury recommande fortement aux futurs candidats de préparer cette épreuve en abordant l'ensemble des champs applicatifs du domaine de l'ingénierie électrique conformément aux attendus de l'annexe I de l'arrêté du 28 décembre 2009, fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, modifiée par l'article 1 de l'arrêté du 24 juin 2019.

La moyenne de l'épreuve était de 5,42/20 avec un écart-type de 3,80.

La note maximale était de 20/20, la note la plus faible de 0,30/20.

Le graphique ci-dessous donne la distribution statistique des résultats pour les 207 personnes présentes à l'épreuve.



# Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## A. Acquisition de la température et des vibrations

### A1. Les fonctionnalités du composant LSM6DS3

#### Q1.

- **Accélération linéaire** selon les 3 axes x, y et z exprimée en **g**, donc en **m.s<sup>-2</sup>**.
- **Vitesse angulaire** selon les 3 axes x, y et z exprimée en **dps** (degrés par seconde) ou **°.s<sup>-1</sup>**.
- **Température** en **°C**.

#### Q2.

- Accélération : 4 plages possibles (**±2g/±4g/±8g/±16 g**).
- Vitesse angulaire : 5 plages possibles (**±125/±250/±500/±1000/±2000 dps**).

#### Q3.

- On constate sur le schéma structurel (DA1), que les broches SCL et SDA du LSM6DS3 ont été respectivement câblées aux broches SCL et SDA du µC, indiquant sans ambiguïté que le composant LSM6DS3 est piloté par l'interface **I2C** du µC.
- La broche SDA/SA0 du composant est câblée à la masse (DA1) donc son adresse, d'après DA5, est égale à **1101010<sub>(2)</sub>**, soit **6A<sub>(16)</sub>**.
- Les résistances R1 et R2 sont des résistances de Pull-Up permettant de **forcer les lignes SCL et SDA au niveau haut (niveau d'inactivité) en l'absence de communication**.

### A2. Mesure de la température

#### Q4.

- $N_T$  est codée sur **12 bits**.
- $T_{Sen}$  correspond à la **sensibilité** du capteur de température, égale à **16 LSB/°C**.
- Si l'on tient compte de la résolution du convertisseur analogique numérique intégré au composant (12 bits), la plage de mesure de température est égale à  $2^{12}/16$  soit **256 °C**. Cette valeur n'est évidemment pas plausible, puisque la température de fonctionnement est donnée entre - 40 °C et + 85 °C. Donc, plage de mesure de température comprise entre **- 40 °C et + 85 °C**.

#### Q5.

On note en DA3 (note 2) que  $N_T = 0$  lorsque  $T = 25$  °C. D'où :

- $N_T = - 16 \times 5 = - 80$  pour  $T = 20$  °C,
  - $N_T = 0$  pour  $T = 25$  °C,
  - $N_T = + 16 \times 5 = + 80$  pour  $T = 30$  °C.
- Voir document **DR1**.

#### Q6.

→ Voir document **DR1**.

On comptabilise **47,5 impulsions d'horloge**, d'où une durée de communication égale à  $47,5/(400.10^3)$ , soit **118,75 µs** (en faisant abstraction de la durée des conditions de Start et Stop).

### A3. Mesure de l'accélération

**Q7.**

- En remarquant que  $\frac{4}{61.10^{-6}} = \frac{8}{122.10^{-6}} = \frac{16}{244.10^{-6}} = \frac{32}{488.10^{-6}} \cong 65574$  on peut en déduire que les nombres  $N_{ax}$ ,  $N_{ay}$  et  $N_{az}$  sont codés sur **16 bits**, et que par ailleurs, les plages de mesure réelles de  $a_x$ ,  $a_y$  et  $a_z$  seront légèrement supérieures à celles annoncées ( $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$ ).
- On obtient, pour la gamme de mesure  $\pm 4g$  et lorsque  $a_x = 1,7g$ ,  $N_{ax} = 1,7/(122.10^{-6}) = \mathbf{13\ 934}$ .

**Q8.**

- La donnée  $N_{ax}$  étant codée sur 16 bits, on retrouve exactement le même cas de figure que pour la mesure de température, d'où une durée de **118,75  $\mu$ s**.
- La durée nécessaire à l'acquisition et à la mémorisation d'une salve de mesure de 3 accélérations  $a_x$ ,  $a_y$  et  $a_z$  successives est donc égale à  $3x(118,75+100)$ , soit **656,25  $\mu$ s**.

**Q9.** Voir document **DR2**

**Q10.** Voir document **DR2**.

**Q11.** Voir document **DR2**.

## B. Détermination de l'empreinte vibratoire

### B1. De la DFT à la FFT

**Q12.**

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot W_N^{nk} \quad \text{pour } 0 \leq k \leq (N-1) \text{ et avec } W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \text{ (Twiddle Factor)}$$

On peut scinder cette somme en deux DFT distinctes de  $N/2$  échantillons chacune : l'une pour les valeurs de  $n$  paires et l'autre pour les valeurs de  $n$  impaires.

Soit :

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot W_N^{nk} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n} \cdot W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot W_N^{(2n+1)k}$$

$$\sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot W_N^{(2n+1)k} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot (2n+1)k} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot 2nk} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot k} = W_N^k \cdot \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot W_N^{2nk}$$

D'où

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot W_N^{nk} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n} \cdot W_N^{2nk} + W_N^k \cdot \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x_{2n+1} \cdot W_N^{2nk}$$

**Q13.**

Pour  $N=2$  :

$$X_k = \sum_{n=0}^0 x_{2n} \cdot W_2^{2nk} + W_2^k \cdot \sum_{n=0}^0 x_{2n+1} \cdot W_2^{2nk} = x_0 \cdot W_2^0 + W_2^k \cdot x_1 \cdot W_2^0 = x_0 + W_2^k \cdot x_1$$

D'où  $X_0 = x_0 + W_2^0 \cdot x_1$  et  $X_1 = x_0 + W_2^1 \cdot x_1$   
 Or  $W_2^1 = e^{-j\frac{2\pi}{2}} = e^{-j\pi} = -1 = -e^{-j0} = -W_2^0$

Soit  $X_0 = x_0 + W_2^0 \cdot x_1$  et  $X_1 = x_0 - W_2^0 \cdot x_1$

**Q14.**

- On peut écrire :

- $X_0 = a + (c \cdot \cos\alpha + d \cdot \sin\alpha) + j(b + d \cdot \cos\alpha - c \cdot \sin\alpha)$ , soit 4 additions et 4 multiplications ;
- $X_1 = a - (c \cdot \cos\alpha + d \cdot \sin\alpha) + j[b - (d \cdot \cos\alpha - c \cdot \sin\alpha)]$ , soit 2 additions supplémentaires.

Au total, le calcul des parties réelles (A et C) et des parties imaginaires (B et D) de  $X_0$  et  $X_1$  nécessite par conséquent **4 multiplications** et **6 additions**.

- On comptabilise, pour une FFT à 4 échantillons (figure 9), 2 structures élémentaires en papillon à échantillons d'entrée réels (4 multiplications + 4 additions) ainsi que 2 structures élémentaires en papillon à échantillons d'entrée complexes (8 multiplications + 12 additions), ce qui nécessite par conséquent **12 multiplications** et **16 additions**.

- Pour une FFT à 8 échantillons (figure 10), on comptabilise 4 structures élémentaires en papillon à échantillons d'entrée réels (8 multiplications + 8 additions) ainsi que 8 structures élémentaires en papillon à échantillons d'entrée complexes (32 multiplications + 48 additions), ce qui nécessite par conséquent **40 multiplications** et **56 additions**.

**Q15.**

- Voir tableau **DR2**

- On peut en déduire qu'une FFT de  $N = 2^m$  échantillons d'entrée réels est constituée de  $2^{m-1}$  papillons à échantillons d'entrée réels ainsi que  $(m-1) \cdot 2^{m-1}$  papillons à échantillons d'entrée complexes.

Pour cette application, nous aurons donc :

- 128 papillons à échantillons d'entrée réels, ce qui nécessitera 256 multiplications et 256 additions distinctes ;
- 896 papillons à échantillons d'entrée complexes, ce qui nécessitera 3 584 multiplications et 5 376 additions.

Soit un total de **3 840 multiplications** plus **5 632 additions** distinctes.

**Q16.**

L'opération d'échantillonnage d'un signal s'accompagne d'une périodisation de son spectre d'amplitude, de période  $F_e$ . Le spectre d'amplitude d'un signal échantillonné présente donc une symétrie de part et d'autre de la fréquence  $F_e/2$ , et donc la FFT présente également une **symétrie de part et d'autre de la valeur  $N/2$** , soit  $\{X_0, X_1, \dots, X_{N/2-1}\} = \{X_{N-1}, X_{N-2}, \dots, X_{N/2}\}$ .

**On ne calcule donc que les  $N/2$  premières valeurs de  $X_k$ .**

**B2. Le calcul de l'empreinte vibratoire**

**Q17.**

Le programme exécute cette instruction à chaque fois qu'il traite l'accélération selon l'axe z, c'est-à-dire après avoir traité l'accélération selon l'axe x puis celle selon l'axe y.

Avant exécution de cette instruction, la variable tmp\_a contient  $a_x^2 + a_y^2$ , il suffit désormais de lui ajouter  $a_z^2$ .

D'où le codage suivant : **tmp\_a += a\_z\*a\_z**. (ou bien **tmp\_a = tmp\_a + a\_z\*a\_z**).

**Q18.**

Cette instruction a pour effet de **calculer** puis de **mémoriser** l'échantillon d'accélération globale  $a_n =$

$\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$  dans la première colonne du tableau buf\_a[rang\_buffer], où rang\_buffer correspond au numéro de la ligne du tableau (allant de rang\_buffer = 0 pour l'échantillon  $a_0$  à rang\_buffer = 255 pour l'échantillon  $a_{255}$ ).

**Q19.**

La description de la fonction `fft256(buf_a,0)` nous indique qu'à l'issue de son exécution, les 128 premières cases mémoire du tableau `buf_a[Ak][0]` contiennent les parties réelles de  $A_k$  et les 128 premières cases du tableau `buf_a[Ak][1]`, les parties imaginaires de  $A_k$ .

Par conséquent, pour mémoriser dans la variable `tmp_mod` la valeur  $(\text{Re}[A_k]^2 + \text{Im}[A_k]^2)$ , il faut coder les 2 instructions suivantes :

```
tmp_mod=buf_a[k][0]*buf_a[k][0];
tmp_mod+=buf_a[k][1]*buf_a[k][1];
```

**Q20.**

- L'instruction `switch(Fe)` du programme nous indique que `g_v` est une grandeur qui dépend de la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  choisie, telle que  $g_v = \frac{1000.256}{2.\pi.F_e}$ .

On peut donc en déduire que l'instruction `buf_v[k]=(sqrt(tmp_mod)*g_v)/k` mémorise dans la ligne  $k$  du tableau `buf_v[k]`, la valeur  $\frac{g_v}{k} \sqrt{\text{Re}[A_k]^2 + \text{Im}[A_k]^2} = \frac{256}{2.\pi.F_e.k} |A_k|. 1000$ .

D'où la relation :  $|V_k| = \frac{256}{2.\pi.F_e.k} |A_k|. 1000$ .

- Le coefficient **1000** s'explique par le fait que les grandeurs accélération s'expriment en  $\mathbf{m.s^{-2}}$  alors qu'on souhaite exprimer les grandeurs vitesse en  $\mathbf{mm.s^{-1}}$  (d'après les commentaires associés à la déclaration des grandeurs `g_a` et `g_v`).

**Q21.**

Ces lignes de programme permettent, à partir des 128 modules  $|V_k|$  de calculer les 128 modules  $|\text{EMP\_VIB}_k|$  (c'est-à-dire de l'empreinte vibratoire), selon la relation :

$$|\text{EMP\_VIB}_k| = \sqrt{|V_{k-1}|^2 + |V_k|^2 + |V_{k+1}|^2}$$

Ce calcul correspond à ce que les anglo-saxons appellent la valeur **RSS (Root Sum Square)**.

Ce sont ces valeurs de  $|\text{EMP\_VIB}_k|$  qui sont affichées sous la rubrique « Signature vibratoire » du tableau de bord de la figure 4 du sujet.

**Q22.**

La boucle dans laquelle se trouve l'instruction `pic_f=(k*1000)/(6.28*g_v)` permet d'extraire la valeur de  $k$  pour laquelle  $|\text{EMP\_VIB}_k|$  est maximal.

En remplaçant `g_v` par sa valeur, on obtient  $\text{pic}_f = \frac{k.1000}{6.28 \cdot \frac{256.1000}{2.\pi.1000.256}} = k \cdot \frac{Fe}{256}$ .

$\frac{Fe}{256}$  correspond à la résolution fréquentielle de la FFT, donc  $k \cdot \frac{Fe}{256}$  correspond bien à la valeur de la fréquence pour laquelle l'empreinte vibratoire est maximale.

C'est cette valeur de `pic_f` qui est affichée sous la rubrique « Peak Frequency » du tableau de bord de la figure 4 du sujet.

## C. Modélisation du procédé de modulation LoRa

### C1. Les caractéristiques du signal modulé $s(t)$

**Q23.**

- $T_s = 256/125.10^3$ , soit  **$T_s = 2,048 \text{ ms}$**
- $f_{\min} = 868,1.10^6 - 62,5.10^3$ , soit  **$f_{\min} = 868,0375 \text{ MHz}$**
- $f_{\max} = 868,1.10^6 + 62,5.10^3$ , soit  **$f_{\max} = 868,1625 \text{ MHz}$**
- $64 = 128 - 64$ , donc  $f_0 = f_c - \text{BW}/4$ , soit  **$f_0 = 868,06875 \text{ MHz}$**
- $192 = 128 + 64$ , donc  $f_1 = f_c + \text{BW}/4$ , soit  **$f_1 = 868,13125 \text{ MHz}$**

**Q24.**

- Expression de  $a$  :  $a = \frac{\text{BW}}{T_s}$ , soit  $a = \frac{\text{BW}^2}{2^{SF}}$

- Expression de  $f_n$  :  $f_n = f_c - \frac{2^{SF-1-n}}{2^{SF}} BW$
- Expression de  $t_n$  :  $t_n = \frac{2^{SF-n}}{2^{SF}} T_s$ , soit  $t_n = \frac{2^{SF-n}}{BW}$

**Q25.**

- Lorsque  $0 \leq t < t_n$ ,  $s(t) = \cos \left[ 2\pi \left( \frac{BW^2}{2^{SF+1}} t + f_c - \frac{2^{SF-1-n}}{2^{SF}} BW \right) t \right]$
- Lorsque  $t_n \leq t < T_s$ ,  $s(t) = \cos \left[ 2\pi \left( \frac{BW^2}{2^{SF+1}} (t - t_n) + f_c - \frac{BW}{2} \right) (t - t_n) \right]$

### C2. Synthèse directe du signal modulé $s(t)$

**Q26.**

On obtient :

$$s(k) = \cos \left[ 2\pi \left( \frac{BW^2 \cdot \Delta T^2}{2^{SF+1}} k^2 + \left( f_c \cdot \Delta T - \frac{(2^{SF-1} - n) \cdot BW \cdot \Delta T}{2^{SF}} \right) k \right) \right]$$

**Q27.**

On obtient une durée entre 2 échantillons successifs de  $s(k)$  de 0,1.Tc soit **115 ps**. Il est évidemment inenvisageable de calculer les échantillons  $s(k)$  sur une durée aussi faible.

### C3. Élaboration du signal modulé $s(t)$ à l'aide d'un modulateur IQ

**Q28.**

- $0 \leq t < t_x$  :  $f(t) = -\frac{f_0}{t_x} t + f_0$       soit  $f(t) = -\frac{BW^2}{2^{SF}} t + \frac{2^{SF-1-n}}{2^{SF}} BW$
- $t_x \leq t < t_n$  :  $f(t) = \frac{\frac{BW}{2}}{t_n - t_x} (t - t_x)$       soit  $f(t) = \frac{BW^2}{2^{SF}} (t - t_x)$
- $t_n \leq t < T_s$  :  $f(t) = -\frac{\frac{BW}{2} - f_0}{T_s - t_n} (t - t_n) + \frac{BW}{2}$       soit  $f(t) = -\frac{BW^2}{2^{SF}} (t - t_n) + \frac{BW}{2}$

**Q29.**

- $0 \leq t < t_n$  :  $f(t) = \frac{\frac{BW}{2} - f_0}{t_n} t + f_0$       soit  $f(t) = \frac{BW^2}{2^{SF}} t + \frac{n - 2^{SF-1}}{2^{SF}} BW$
- $t_n \leq t < t_y$  :  $f(t) = -\frac{\frac{BW}{2}}{t_y - t_n} (t - t_n) + \frac{BW}{2}$       soit  $f(t) = -\frac{BW^2}{2^{SF}} (t - t_n) + \frac{BW}{2}$
- $t_y \leq t < T_s$  :  $f(t) = \frac{f_0}{T_s - t_y} (t - t_y)$       soit  $f(t) = \frac{BW^2}{2^{SF}} (t - t_y)$

### C4. Synthèse numérique des signaux de bande de base $i(t)$ et $q(t)$

**Q30.**

On obtient :

$$k_x = 5(2^{SF-1} - n) \quad k_y = 5(3 \times 2^{SF-1} - n) \quad k_n = 5(2^{SF} - n) \quad k_{T_s} = 5 \times 2^{SF}$$

**Q31.**

On obtient, après avoir multiplié les cosinus par  $2^{r-1}$  et considéré les parties entières (PE) :

$$0 \leq n < 2^{SF-1}$$

Pour  $0 \leq k < 5(2^{SF-1} - n)$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left[ 2\pi \left( -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k \right) - \frac{\pi}{2} \right] \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left[ 2\pi \left( -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k \right) \right] \right\}$$

Pour  $5(2^{SF-1} - n) \leq k < 5(2^{SF} - n)$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} - \frac{2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k + \frac{(2^{SF-1} - n)^2}{2^{SF+1}} \right] + \frac{\pi}{2} \right\} \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} - \frac{2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k + \frac{(2^{SF-1} - n)^2}{2^{SF+1}} \right] \right\} \right\}$$

Pour  $5(2^{SF} - n) \leq k < 5 \times 2^{SF}$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k - \frac{(2^{SF} - n)^2}{2^{SF+1}} - \frac{2^{SF} - n}{2} \right] - \frac{\pi}{2} \right\} \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k - \frac{(2^{SF} - n)^2}{2^{SF+1}} - \frac{2^{SF} - n}{2} \right] \right\} \right\}$$

**Q32.**

$$2^{SF-1} \leq n < 2^{SF}$$

Pour  $0 \leq k < 5(2^{SF} - n)$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left[ 2\pi \left( \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{n - 2^{SF-1}}{5 \times 2^{SF}} k \right) + \frac{\pi}{2} \right] \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left[ 2\pi \left( \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{n - 2^{SF-1}}{5 \times 2^{SF}} k \right) \right] \right\}$$

Pour  $5(2^{SF} - n) \leq k < 5(3 \times 2^{SF-1} - n)$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k - \frac{(2^{SF} - n)^2}{2^{SF+1}} - \frac{2^{SF} - n}{2} \right] - \frac{\pi}{2} \right\} \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ -\frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} + \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k - \frac{(2^{SF} - n)^2}{2^{SF+1}} - \frac{2^{SF} - n}{2} \right] \right\} \right\}$$

Pour  $5(3 \times 2^{SF-1} - n) \leq k < 5 \times 2^{SF}$  :

$$i(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} - \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k + \frac{(3 \times 2^{SF-1} - n)^2}{2^{SF+1}} \right] + \frac{\pi}{2} \right\} \right\}$$

$$q(k) = \text{PE} \left\{ 2^{r-1} \cdot \cos \left\{ 2\pi \left[ \frac{k^2}{25 \times 2^{SF+1}} - \frac{3 \times 2^{SF-1} - n}{5 \times 2^{SF}} k + \frac{(3 \times 2^{SF-1} - n)^2}{2^{SF+1}} \right] \right\} \right\}$$

#### D. Modélisation du procédé de démodulation LoRa

**Q33.**

$$fs1(t) = \frac{BW}{Ts} t + fc - \frac{128-n}{256} BW, \text{ soit } fs1(t) = \frac{BW^2}{256} t + \left( fc - \frac{128-n}{256} BW \right)$$

$$fs2(t) = \frac{BW}{Ts} \left( t - \frac{256-n}{BW} \right) + fc - \frac{BW}{2}, \text{ soit } fs2(t) = \frac{BW^2}{256} t + \left( fc - \frac{384-n}{256} BW \right)$$

$$\text{fref}(t) = \frac{BW}{T_s}t + fc - \frac{BW}{2}, \text{ soit } \mathbf{fref}(t) = \frac{BW^2}{256}t + \left( fc - \frac{BW}{2} \right)$$

**Q34.**

$$x(t) = s(t) \cdot \text{ref}(t), \text{ soit } \mathbf{s}(t) = \frac{E^2}{2} \{ \cos 2\pi[\mathbf{fs}(t) - \mathbf{fref}(t)]t + \cos 2\pi[\mathbf{fs}(t) + \mathbf{fref}(t)]t \}$$

**Q35.**

On calcule, lorsque  $0 \leq t < \frac{256-n}{BW}$  :

$$\mathbf{fs1}(t) - \mathbf{fref}(t) = \frac{n}{256}BW \text{ et } \mathbf{fs1}(t) + \mathbf{fref}(t) = \frac{BW^2}{128}t + 2fc - \frac{256-n}{256}BW, \text{ d'où :}$$

$$\mathbf{x}(t) = \frac{E^2}{2} \cos 2\pi \left( \frac{n}{256}BW \right) t + \frac{E^2}{2} \cos 2\pi \left( \frac{BW^2}{128}t + 2fc - \frac{256-n}{256}BW \right) t$$

- Le premier terme de la somme est un signal sinusoïdal de fréquence  $\mathbf{fx} = \frac{n}{256}BW$ .
- Le second terme est un chirp centré autour de la fréquence  $2fc$ .

**Q36.**

On calcule, lorsque  $\frac{256-n}{BW} \leq t < T_s$  :

$$\mathbf{fs2}(t) - \mathbf{fref}(t) = -\frac{256-n}{256}BW \text{ et } \mathbf{fs1}(t) + \mathbf{fref}(t) = \frac{BW^2}{128}t + 2fc - \frac{512-n}{256}BW, \text{ d'où :}$$

$$\mathbf{x}(t) = \frac{E^2}{2} \cos 2\pi \left( \frac{256-n}{256}BW \right) t + \frac{E^2}{2} \cos 2\pi \left( \frac{BW^2}{128}t + 2fc - \frac{512-n}{256}BW \right) t$$

- Le premier terme de la somme est un signal sinusoïdal de fréquence  $\mathbf{fy} = \frac{256-n}{256}BW$ .
- Le second terme est un chirp centré autour de la fréquence  $2fc$ .

**Q37.**

Si on s'intéresse aux composantes fréquentielles de  $x(t)$  comprises entre 0 Hz et  $BW$ , on obtient :

- lorsque  $0 \leq t < \frac{256-n}{BW}$ , une raie à la fréquence  $\mathbf{fx} = \frac{n}{256}BW$  ;
- lorsque  $\frac{256-n}{BW} \leq t < T_s$ , une raie à la fréquence  $\mathbf{fy} = \frac{256-n}{256}BW$ .

La connaissance de ces composantes fréquentielles de basses fréquences permet donc de déterminer la valeur de  $n$  correspondant au symbole démodulé.

En revanche, les composantes fréquentielles situées au-delà de  $BW$  (les chirps situés de part et d'autre de  $2fc$ ) ne sont d'aucune utilité.

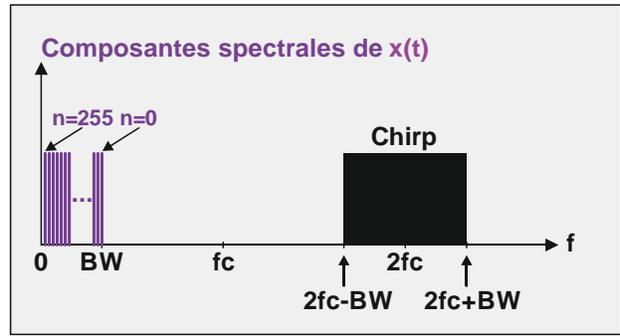
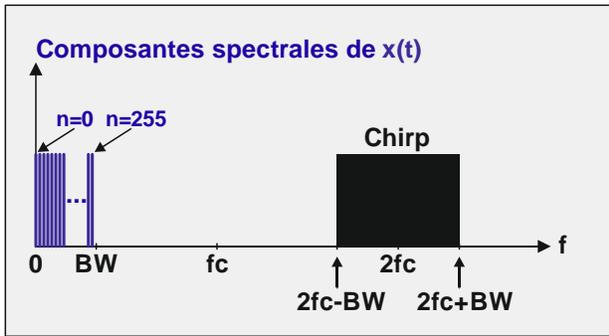
Il convient donc, pour récupérer les symboles  $n$ , d'effectuer les opérations de traitement de signal successives suivantes :

- a) filtrer le signal  $x(t)$  à l'aide d'un filtre passe-bas de fréquence de coupure supérieure à  $BW$ ,
- b) effectuer une FFT sur le signal filtré afin d'en extraire les valeurs de  $\mathbf{fx}$  et de  $\mathbf{fy}$ ,
- c) calculer la valeur de  $n$  à partir des valeurs de  $\mathbf{fx}$  et de  $\mathbf{fy}$ .

On donne ci-dessous, à titre de synthèse, les spectres d'amplitude du signal  $x(t)$  :

$$0 \leq t < \frac{256-n}{BW}$$

$$\frac{256-n}{BW} \leq t < T_s$$



**Q38.**

On obtient  $n = 256 \frac{f_x}{BW} = 256 \left(1 - \frac{f_y}{BW}\right)$

Pour  $n = 100$ , on calcule  $f_x = 48,828$  kHz et  $f_y = 76,172$  kHz.

## E. Transmission du rapport de fonctionnement par voie radio

### E1. Présentation de la solution technologique mise en œuvre

### E2. Étude de l'étage radiofréquences

**Q39.**

Les procédés de modulation/démodulation sont :

- **FSK** (Frequency Shift Keying) : modulation à déplacement de fréquence élémentaire ;
- **GFSK** (Gaussian Frequency Shift Keying) : variante de la FSK avec filtrage gaussien ;
- **MSK** (Minimum Shift Keying) : modulation de fréquence à phase continue ;
- **GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying) : modulation de fréquence à phase continue et avec filtrage gaussien ;
- **OOK** (On-Off Keying) : modulation à déplacement d'amplitude.

**Q40.**

La puissance de sortie est programmable entre **-1 et 14 dBm** (DA30).

Le réglage des paramètres s'effectue à l'aide du registre **RegPaConfig** (DA32) :

- le bit 7 (**PaSelect**) permet d'aiguiller le signal RF sur les broches RFO ou PA\_BOOST ;
- les bits 0 à 3 (**OutputPower**) permettent de fixer le niveau de puissance de sortie.

Puisque  $P_{out} = -1 + OutputPower[3:0]$ , on peut donc faire varier  $P_{out}$  par pas de 1 dBm, entre **-1 et +14 dBm** comme annoncé sur le DA30, et non +13 dBm, indiqué par erreur sur le DA32.

Pour obtenir une puissance de sortie de +10 dBm, il faut donc **RegPaConfig = 0xxx1011**.

**Q41.**

Le document DA33 précise, dans la rubrique **Absolute Maximum Ratings**, que le niveau de puissance maximal admissible sur la broche d'entrée RFI est de **+10 dBm**.

**Q42.**

Il apparait, sur le document DA34, **que plus la valeur de SF est élevée, et plus la sensibilité est faible** (valeurs typiques mesurées pour 3 valeurs de BW distinctes : 125 kHz, 250 kHz et 500 kHz).

**Q43.**

**RSSI** signifie "**Received Signal Strength Indication**" et caractérise ici la puissance du signal de réception au niveau du transceiver SX1272.

Dans notre cas, il se calcule directement en dBm par la formule **RSSI[dBm] = -139 + rssi**, où rssi correspond à l'octet mémorisé dans le registre **RegRssiValue** (d'après le document DA35).

Il peut donc varier **par pas de 1 dBm**, et en théorie prendre les 256 valeurs distinctes comprises entre **-139 et +116 dBm**, mais en réalité il ne devrait pas dépasser +10 dBm (Max Rx input power).

Le RSSI, pour ce qui concerne le rapport de fonctionnement de la figure 4 est annoncé à -48 dBm, par conséquent, le contenu du registre **RegRssiValue** était dans ce cas égal à **91**, soit **01011011**.

**Q44.**

La fréquence  $f_c$  de la porteuse, notée  $f_{RF}$ , est programmable via le mot de 24 bits **FrF** mémorisé dans les 3 registres concaténés [**RegFrMsb:RegFrMib:RegFrLsb**] (DA31 et DA32).

Pour obtenir  **$f_c = 868,1$  MHz**, il faut donc mémoriser  $FrF = \frac{868,1 \times 2^{19}}{32}$ , soit **FrF = 14 222 950**, soit **0xD90666**.

**Q45.**

Cette valeur correspond à la soustraction suivante :

Niveau de puissance d'émission maximal sur la broche PA_BOOST	<b>(+ 20 dBm)</b>
<u>Niveau de puissance de réception minimal sur la broche RFI</u>	<b><u>- (- 137 dBm)</u></b>

= Bilan de liaison du transceiver SX1272

**+ 157 dB**

On remarquera que ce bilan de liaison est exprimé en dB et non en dBm, ce qui est logique, puisqu'il ne caractérise donc pas un niveau de puissance, mais un gain.

Nous utilisons la sortie RFO, dont le niveau de puissance maximal est de +14 dBm, ce qui conduit, dans notre cas à un bilan de liaison de **+151 dB**.

#### Q46.

Les antennes sont intégrées, donc on considère  $G_{EA} = G_{AR} = 0$  dB.

Le gain des antennes est donné par le document DA37 :  $G_E = G_R = -4$  dBi.

D'où  $G_{EL} = P_R - G_R - G_E - P_E$ , soit  $G_{EL} = -106 + 4 + 4 - 14 = -112$  dB.

On calcule donc  $d = \frac{c}{4\pi f_c \cdot 10^{\frac{G_{EL}}{20}}} = \frac{c}{4\pi f_c \cdot 10^{\frac{G_{EL}}{20}}} = \frac{300 \cdot 10^6}{4\pi \cdot 868,1 \cdot 10^6 \cdot 10^{\frac{-112}{20}}}$  soit **d = 11 km**.

On ne peut évidemment pas obtenir de telles portées avec les technologies radio Zigbee, WiFi et Bluetooth.

### E3. La capacité du transceiver SX1272 à émettre/recevoir des signaux RF modulés selon le standard radio LoRa

#### Q47.

Fréquence  $f_c = 868,1$  MHz : **Fr<sub>f</sub> = 14 222 950**, soit **0xD90666** (voir Q46).

BW = 125 kHz : **RegModemConfig1 = 00xxxxxx** (DA35).

SF = 10 : **RegModemConfig2 = 1010xxxx** (DA36).

### E4. La capacité du transceiver SX1272 à intégrer un réseau de communications LoRaWAN

#### Q48.

$R_s = \frac{BW}{2^{SF}}$  et  $R_b = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}}$ , donc  $R_{su} = CR \cdot \frac{BW}{2^{SF}}$  et  $R_{bu} = CR \cdot SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}}$ .

→ Voir tableau sur le document DR2.

#### Q49.

On peut déduire de ce graphe :

- on a vu à la question Q42 que plus la valeur de SF est élevée et plus la sensibilité du récepteur est faible, donc plus ce dernier a la capacité de démoduler des signaux de faible puissance, ce qui autorise des portées plus importantes ;
- on a vu à la question Q48 que plus la valeur de SF est élevée, plus le débit binaire est faible ;
- plus le débit binaire est faible et plus la durée de transmission, pour un message de longueur donnée, est longue, et donc plus la consommation énergétique est élevée.

#### Q50.

Il n'existe pas de réponse type attendue, mais une multitude de réponses argumentées possibles.

# Rapport de jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## Présentation de l'épreuve

*Arrêté du 28 décembre 2009 modifié*

- Durée totale de l'épreuve : 6 heures
- Coefficient 1

Cette épreuve est spécifique à l'option choisie. A partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technologique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

Le sujet proposé pour cette épreuve de modélisation est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation\\_externes/99/2/s2021\\_agreg\\_externes\\_sii\\_electrique\\_3\\_1389992.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externes/99/2/s2021_agreg_externes_sii_electrique_3_1389992.pdf)

Le sujet portait sur l'alimentation électrique autonome d'un site isolé en Arménie par l'utilisation d'une pico-centrale hydroélectrique de moyenne chute.

## Analyse globale des résultats

Le sujet comportait 21 pages et trois parties. Chaque partie comportait environ 15 questions.

La partie A consistait à étudier la source d'énergie primaire hydraulique à travers la production électrique via une turbine de technologie Pelton à deux injecteurs. A partir des données des débits mensuels de la source sur une année, de la longueur des tronçons et de formules et diagrammes classiques de la mécanique des fluides, les candidat.e.s devaient déterminer la vitesse de la turbine, la puissance disponible et le modèle économique global de l'installation. 202 candidat.e.s sur les 204 présents ont abordé cette première partie. Le jury s'est étonné de la faible proportion de candidat.e.s ayant réussi à déterminer l'énergie produite sur l'année à partir des puissances mensuelles disponibles.

La partie B consistait à étudier le système de stockage de l'énergie constitué d'une chaîne à hydrogène (électrolyseur pour le stockage et pile à combustible pour la restitution d'énergie) et son convertisseur

d'électronique de puissance associé, permettant l'interface avec le réseau électrique alimentant le village.

Le convertisseur était d'une technologie bien éprouvée et classique de type forward. A partir du modèle purement résistif de l'électrolyseur utilisé, d'un modèle élémentaire du noyau magnétique du transformateur du convertisseur et des valeurs maximales de l'ondulation en courant, l'objectif était de déterminer les chronogrammes des principales grandeurs caractéristiques, dimensionner le transformateur du convertisseur forward et de déterminer les éléments passifs de ce même convertisseur pour limiter les ondulations en courant et tension continues. 189 (sur 204) candidat.e.s ont abordé cette partie B.

La dernière partie de l'épreuve consistait à étudier le réseau de distribution électrique du village. Ainsi, à partir des données caractéristiques des câbles d'alimentation (résistances et inductances linéiques, évolution de ces paramètres en fonction de la température extérieur et données économiques), l'objectif était de déterminer le schéma de liaison à la terre et autres éléments du plan de protection du réseau ; calculer la chute de tension aux bornes du câble de distribution et dimensionner in fine les câbles. 179 candidat.e.s ont abordé cette partie, ce qui souligne l'accessibilité de l'épreuve pour une grande majorité des candidats.

## Conseils aux candidats

Le jury conseille aux futurs candidats de développer leur esprit critique afin de détecter des résultats contenant des erreurs grossières.

Il est également attendu d'un.e candidat.e à l'agrégation qu'il.elle ait la capacité à mettre en relation les résultats produits avec le contexte d'étude, au-delà de la simple comparaison entre deux valeurs. Il est nécessaire que les futurs candidats à l'agrégation développent une culture technologique en lien avec les enjeux actuels liés à l'ingénierie électrique et qu'ils sachent la mettre en perspective avec les problématiques qui leur sont proposées.

Le jury conseille aux futur.e.s candidat.e.s de parfaire leur maîtrise des connaissances des lois physiques et des modèles des composants du génie électriques (machines, convertisseurs d'électronique de puissance). La mise en relation de ces connaissances avec les structures permettant de réaliser des asservissements est également nécessaire pour permettre une appréhension des dispositifs de pilotage.

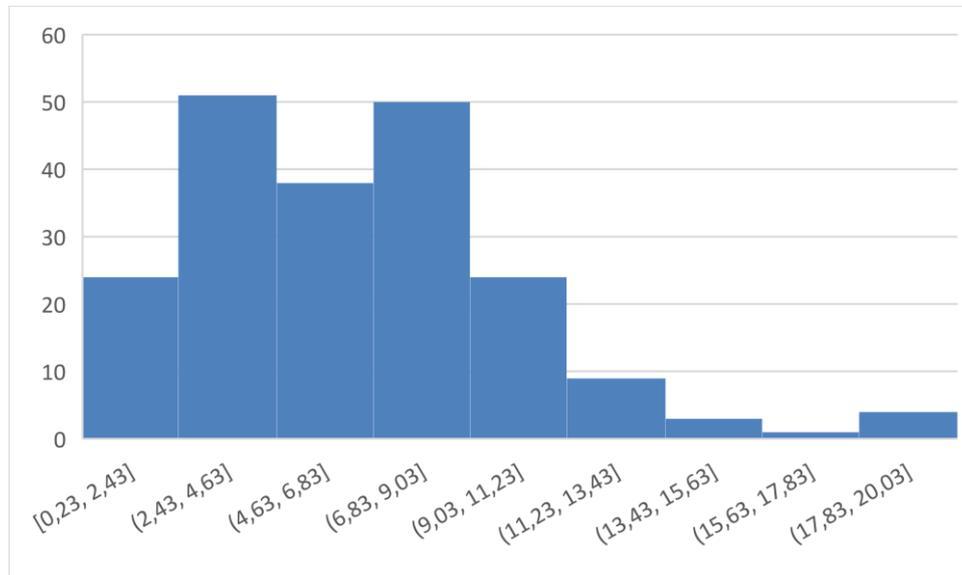
## Conclusion et résultats

L'objectif de cette épreuve vise à mettre les candidats en situation d'appliquer de manière synthétique leurs connaissances et compétences à système technique dans le cadre de sa conception ou de son industrialisation. Le jury enjoint aux futurs candidats de se préparer sur la base des attendus décrits dans l'annexe I de l'arrêté du 28 décembre 2009, fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, modifiée par l'article 1 de l'arrêté du 24 juin 2019.

La moyenne de cette épreuve est de 6,40 avec un écart-type de 3,65.

La note la plus basse est de 0,23/20, la plus haute de 19,35.

Le graphique ci-dessous représente la distribution statistique des notes des 204 personnes présentes à l'épreuve.



## EPREUVES D'ADMISSION

Les épreuves d'admission sont destinées à évaluer plus complètement les compétences techniques et transverses des candidat.e.s admissibles.

Constituées de deux épreuves pratiques et d'une épreuve de dossier, les candidat.e.s doivent mobiliser toutes leurs compétences techniques, scientifiques et pédagogiques au cours des trois épreuves.

Les candidat.e.s doivent soigner leur présentation et leur capacité de communication à l'oral.

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité du ou de la candidat.e à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son enseignement:

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative, etc.);
- les valeurs portées par l'éducation nationale, dont celles de la République.

Le candidat doit prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques,

déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois, etc. ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multi physiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre les filles et les garçons, etc.

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR –DGESCO); –le parcours individuel d'information et de découverte du monde économique et professionnel (PIIODMEP)(parcours Avenir) ;
- la banque de ressources «Pour une pédagogie de la laïcité à l'école» -Abdenour Bidar -la documentation française 2012;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ –éducation et société;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation –Eduscol –établissements et vie scolaire.

# Rapport de jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel

## Présentation de l'épreuve

Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes).

L'épreuve a un coefficient 2.

Le descriptif de cette épreuve précise :

*« L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines 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 socio-économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie. »*

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

## Analyse globale des résultats

Trop de candidats ont présenté des dossiers manquant de consistance et/ou dont la thématique est trop éloignée du domaine de l'ingénierie électrique, ce qui conduit à de mauvais résultats. À contrario, la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats a engendré de très bons résultats.

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

### Le dossier industriel

Le jury encourage vivement les candidats à choisir des systèmes industriels ou « grand public » de conception récente présentant une ou plusieurs fonctions attractives pour leurs futurs élèves ou étudiants **relevant du domaine de l'Ingénierie Electrique**. Au-delà du choix du support en lui-même, l'identification d'une problématique claire et réelle nécessitant la mise en place d'une démarche d'ingénieur permet de présenter des développements cohérents. La problématique choisie ne doit pas se limiter à une simple vérification des performances indiquées dans le cahier des charges du support. Le choix du système doit aussi être guidé par les développements pédagogiques envisagés dans la deuxième partie du dossier.

La frontière du système, de l'ouvrage ou de l'installation doit être clairement identifiée. Sa modélisation doit être abordée à un niveau correspondant à celui du concours de l'agrégation. **Celle-ci doit être pertinente et doit servir la résolution de la problématique**. Les recherches de solutions et/ou l'analyse des performances peuvent alors servir de support à l'élaboration du dossier en s'appuyant sur des expérimentations sur le système matériel ou son modèle numérique. Le contenu du dossier ne peut se résumer à une présentation générale des solutions. Il est primordial que l'ensemble des informations contenues dans le dossier ou projetées lors de l'épreuve soient parfaitement maîtrisées par le candidat. Enfin, un regard critique doit être porté sur la réponse à la problématique technique de départ.

Les candidats ayant échoué au concours les années précédentes peuvent reprendre leur dossier, mais il convient de l'améliorer pour répondre aux attentes de l'épreuve.

D'un point de vue pédagogique, les candidats doivent démontrer au travers de cette épreuve qu'ils sont capables de transposer dans leur enseignement tout ou partie d'un système technique ayant une réalité et appartenant à un milieu économique. La pluridisciplinarité doit être valorisée. L'exploitation de données issues de documents techniques ainsi que des mesures qui correspondent à des points de fonctionnement réels sont des gages d'authenticité.

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat, les références scientifiques et pédagogiques doivent être citées explicitement dans le texte en lien avec une bibliographie.

Concernant la forme du dossier, une présentation correcte est un gage de sérieux et montre que le candidat a réfléchi à la teneur du message qu'il souhaite communiquer aux membres du jury :

- le dossier doit comporter un sommaire et être paginé ;
- les tableaux et graphiques présentés doivent être correctement référencés en lien avec la bibliographie et lisibles ;
- il ne s'agit en aucun cas d'un rapport de stage, ni d'un rapport de projet de BTS, non plus d'un rapport de fin d'études de master ou d'une thèse ;
- le dossier doit être rédigé dans une langue française soignée, en tenant compte des règles orthographiques et grammaticales ;
- les outils numériques doivent être utilisés avec discernement ;
- l'exploitation pédagogique doit être développée en précisant les référentiels ou programmes (obligatoirement en vigueur) choisis, les compétences et connaissances associées et l'organisation matérielle des activités d'enseignement ;
- les séquences proposées doivent s'inscrire dans une progression générale formalisée ;
- les développements pédagogiques proposés doivent s'ancrer sur les problématiques décrites et modélisées dans la première partie du dossier.

Concernant le dossier et l'exposé, le jury apprécie particulièrement :

- un exposé oral clair prenant appui sur une présentation structurée et équilibrée ;
- une expression et un débit maîtrisés, un vocabulaire technique adapté, une fluidité des propos ;
- des supports visuels numérotés, notamment les schémas, lisibles et judicieusement utilisés et en nombre cohérent avec la durée de la présentation ;
- des dossiers élaborés autour de véritables problématiques en lien avec le système industriel retenu ;
- le développement scientifique et technique construit à partir de ces problématiques appartenant aux champs disciplinaires de l'ingénierie électrique ;
- l'utilisation de modèles maîtrisés et étayés par des essais, expérimentations ou mesures devant permettre la résolution du problème ;
- une analyse critique des résultats ;
- la présentation de séquences à vocation pédagogique de différents niveaux de formation (second degré et enseignement supérieur) dont une détaillée ;
- la présentation argumentée d'un document à destination des élèves, relatif à une ou plusieurs des séances de la séquence pédagogique présentée ;
- les réponses démontrant la connaissance du contexte d'exercice et du fonctionnement d'un établissement dans son ensemble ;

- les échanges démontrant un vif intérêt pour les évolutions du système éducatif dans son ensemble et de la discipline en particulier.

### L'exposé et les échanges avec le jury

Durant les 30 minutes de l'exposé le candidat doit mettre en valeur ses qualités de communication pour expliquer ses choix, ses démarches et ses analyses.

L'échange avec le jury permet d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé.

Cet échange porte tant sur les développements scientifiques et technologiques engagés que sur les propositions d'exploitation pédagogique qui en découlent.

Le jury élargit son questionnement pour vérifier que le candidat a entrepris une réelle réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement technologique et ses interactions avec d'autres disciplines ;
- les démarches d'apprentissage utilisées pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- l'ensemble des compétences qu'un enseignant doit développer ainsi que sur les missions qui lui sont confiées ;
- le contexte d'exercice dans lequel il évoluera ;
- les situations au cours desquelles il est en position de faire partager les valeurs et les principes de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

### Conclusions

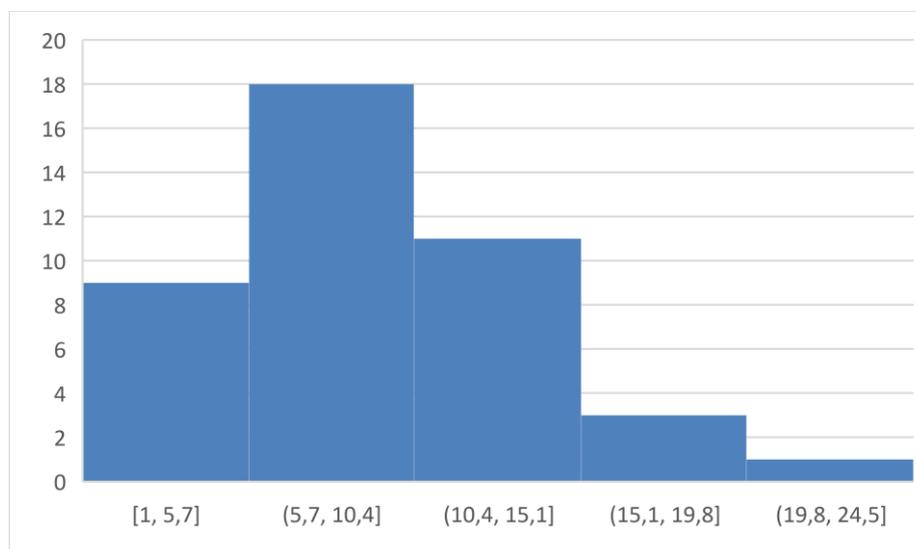
Les candidates et les candidats qui se sont distingués montrent en même temps une solide expertise scientifique et technique, un esprit d'analyse et de synthèse couplé à une maîtrise pédagogique et didactique de leur discipline.

Le présent texte réactualise les recommandations émises dans des rapports de jurys antérieurs, il pourra servir utilement d'appui à la préparation des futurs candidats.

### Résultats

La moyenne de l'épreuve de dossier est de 8,74 avec un écart-type de 4,37.

La note obtenue la plus haute est de 20/20, la plus faible de 01/20. La distribution des résultats est représentée sur le graphique ci-dessous.



# Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

## Présentation de l'épreuve

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer l'aptitude du candidat à :

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

## Le déroulement de l'épreuve

Cette épreuve, de coefficient deux, dure six heures et comporte trois phases.

En début d'épreuve le candidat tire au sort un sujet parmi les thèmes retenus pour la session 2021.

### *Phase 1 : Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4h)*

Cette phase d'une durée totale de 4h, se déroule dans le laboratoire où sont mis à disposition des candidats les différents supports qui leur permettent de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière est liée aux activités pratiques réalisées.

Durant les quatre heures passées dans le laboratoire, le candidat est accompagné par deux membres du jury, chargé de le guider dans la mise en œuvre du système et dans ses choix matériels et/ou logiciels. Par les échanges avec le candidat, le jury évalue sa capacité à analyser et exploiter les résultats obtenus en expérimentation et/ou en simulation. Il est important dans cette partie que le candidat commence à réfléchir à la séquence pédagogique qu'il souhaite présenter en vue de réaliser les éventuelles expérimentations complémentaires qui lui seront nécessaires.

### *Phase 2 : Préparation de la présentation (durée 1h)*

Après les quatre heures d'activités pratiques, le candidat dispose d'une heure pour préparer son exposé. Durant cette phase, il dispose d'un ordinateur équipé de logiciels courants de bureautique et de toutes les données produites durant la première partie de l'épreuve, mais il n'a plus accès ni au système ni aux logiciels de simulation.

### *Phase 3 : Présentation des travaux devant le jury (durée 1h)*

L'exposé oral est d'une durée maximale de 30 minutes. Le jury n'intervient pas pendant l'exposé.

Les candidats sont amenés au cours de la présentation orale à :

- présenter le système (durée indicative de 5 minutes) ;
- présenter une synthèse des activités menées dans la phase 1 de l'épreuve (durée indicative de 5 minutes) ;
- présenter leur exploitation pédagogique (durée indicative de 20 minutes).

Le candidat explicite sa démarche méthodologique. Il utilise les informations, les données et les résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques afin de construire sa proposition pédagogique. Il décrit la séquence d'enseignement qu'il a construite ainsi que les activités qui la composent. L'accent doit être mis sur l'objectif visé, les stratégies mises en œuvre pour l'atteindre et l'évaluation qui sera faite.

Au cours de l'entretien d'une durée maximale de 30 minutes, le candidat est conduit 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.

Les thèmes d'étude retenus pour l'activité pratique de la session 2021 sont :

- les perturbations harmoniques sur un réseau ;
- la génération d'énergie photovoltaïque ;
- le filtrage numérique ;
- la variation de vitesse d'une machine asynchrone ;
- la transmission de données sans fil ;
- l'asservissement de vitesse d'une machine à courant continu ;
- la régulation du niveau d'une cuve d'eau par correction PI ;
- l'échantillonnage des signaux et le traitement numérique ;
- l'internet des objets.

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- modélisation comportementale des systèmes ;
- détermination des paramètres significatifs dans une modélisation ;
- analyse critique de modèles ;
- validation de modèles ;

- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- identification du comportement ou choix de composants ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles.

## Les attentes du jury

### Activités pratiques

Le jury attend d'un candidat à l'agrégation qu'il sache clairement identifier les objectifs de l'activité pratique proposée. Même si le candidat n'est pas expert dans le domaine sur lequel porte le sujet tiré au sort, les activités sont construites de façon progressive et abordable à un niveau BTS ou DUT.

L'utilisation de logiciels de simulation multiphysique et de création d'instruments virtuels doit être connue d'un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur. Il est également attendu des candidats qu'ils soient capables de présenter avec rigueur et synthèse les résultats expérimentaux obtenus et de les mettre en correspondance avec les simulations effectuées.

L'utilisation des appareils de mesure classiques (multimètre, oscilloscope, générateur basse fréquence, ...) doit être maîtrisée. Le jury n'attend pas une connaissance approfondie de toutes les références des différents constructeurs mais une très bonne connaissance des fonctionnalités communes de ces appareils couramment utilisés dans les formations du génie électrique.

Cette première partie de l'épreuve permet au jury d'évaluer les compétences du candidat dans la mise en œuvre d'un système technique, mais aussi dans sa maîtrise des concepts fondamentaux du domaine de l'ingénierie électrique qu'il permet d'aborder. Le jury constate avec satisfaction qu'une majorité de candidats fait preuve d'autonomie dans la conduite des expérimentations et la prise en main des outils de simulation fournis. Toutefois, le jury regrette que certains candidats n'analysent que trop sommairement les résultats produits au regard des outils théoriques sous-jacents.

### Présentation orale et entretien

Le candidat dispose de 30 minutes maximum pour présenter le support sur lequel il a travaillé ainsi que les résultats de ses investigations, les analyses et les conclusions qu'il a pu formuler en cohérence avec la séquence pédagogique qu'il a construite. Le candidat doit également détailler le contenu d'une des séances d'enseignement. Cette année le jury a constaté chez beaucoup trop de candidats une mauvaise utilisation de ce temps de présentation. Certains candidats n'utilisent que trop peu le temps imparti ce qui les amène à proposer des séquences pédagogiques très sommaires. D'autres candidats utilisent pleinement le temps de 30 minutes alloué mais en abordant des points peu pertinents au détriment d'éléments correspondants aux attentes de l'épreuve. Le jury rappelle aux candidats que la durée de la présentation n'est pas un critère d'évaluation, il est attendu d'un candidat à l'agrégation la capacité à présenter des résultats et une proposition pédagogique de manière synthétique en dégagant l'essentiel.

La présentation d'une séquence pédagogique impose une prise en compte effective des compétences visées, au regard du programme ou du référentiel de formation imposé par le sujet de l'épreuve. La définition des prérequis ne doit pas s'arrêter à une liste plus ou moins exhaustive d'unités d'enseignement ou de savoirs. La présentation de la structure de la séquence pédagogique envisagée ne doit pas être limitée à un volume global d'heures. Le candidat doit être capable d'effectuer des choix pédagogiques réfléchis et ne doit pas se limiter à la retranscription des référentiels fournis. Les modalités d'évaluation mises en œuvre en cours et en fin de séquence doivent être définies avec suffisamment de précision.

Concernant la séance détaillée, le jury attend du candidat qu'il dégage la chronologie des activités qui seront menées par les apprenants. L'articulation de la séance et de ses objectifs avec les compétences visées par la séquence doit être précisée par le candidat.

Il est impératif qu'un lien argumenté existe entre les activités pratiques mises en œuvre dans la première partie de l'épreuve et la séquence pédagogique proposée. Il n'est pas envisageable que la séquence pédagogique proposée soit une recopie, plus ou moins fidèle, de la première partie de l'épreuve.

### Conseils pour la préparation de l'épreuve

Pour aborder cette épreuve dans des conditions optimales, il est conseillé aux futurs candidats à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur – option ingénierie électrique de :

- maîtriser l'utilisation des outils courants de mesure ;
- maîtriser les outils de simulation des circuits électriques et électroniques ;
- maîtriser les architectures des réseaux industriels.

Par ailleurs le jury recommande aux candidats de connaître dans leurs grandes lignes les objectifs des programmes :

- d'enseignement de spécialité du baccalauréat STI2D et plus particulièrement les programmes des enseignements spécifiques d'application « Systèmes d'Information et Numérique » et « Énergie et Environnement » ;
- de spécialité « Sciences de l'Ingénieur » du baccalauréat général ;
- des BTS « Systèmes Numériques » option « Électronique et Communication » et « Électrotechnique » ;
- du DUT « Génie Électrique et Informatique Industrielle » (GEII).

Il est important de préciser que chaque séquence pédagogique présentée doit être contextualisée et construite à partir d'objectifs précis, avec des prérequis correctement identifiés dans le programme ou le référentiel de formation ciblée par le sujet.

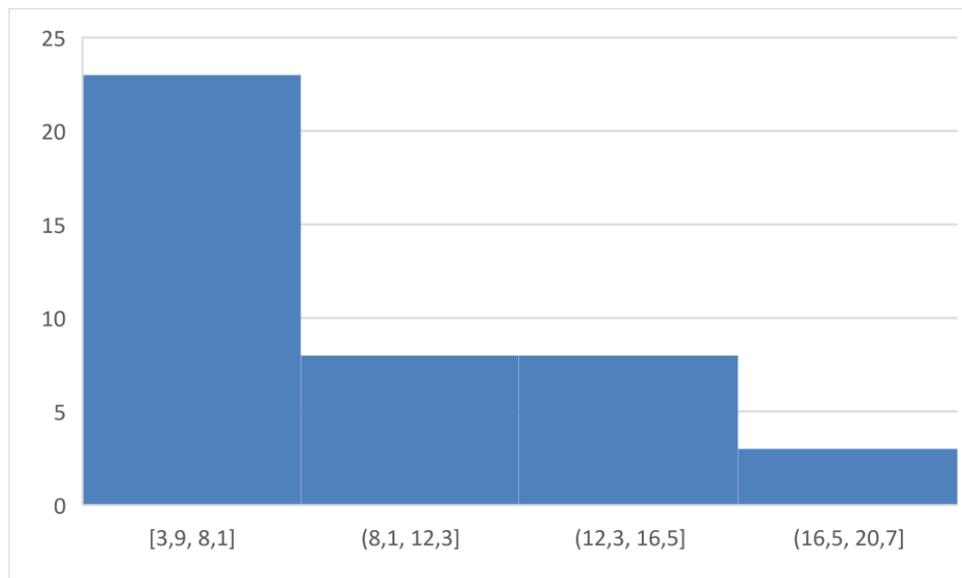
Par ailleurs, il est rappelé que les supports utilisés pour cette épreuve balayent l'ensemble du spectre de l'ingénierie électrique et qu'à ce titre, il est indispensable que les candidats ne négligent aucun domaine. On pourra noter par exemple que de nombreux candidats semblent ignorer les notions les plus élémentaires sur le fonctionnement d'un réseau électrique alternatif (qu'il soit monophasé ou triphasé) ou encore sur les modulations numériques de signaux.

Enfin, rappelons qu'un exposé ne s'improvise pas et qu'il est nécessaire de se préparer à construire un plan structuré d'intervention bien en amont des épreuves orales.

## Résultats

La moyenne des résultats à cette épreuve est de 9,10/20 avec un écart-type de 4,15.

La plage de variation est de 3,9 à 19/20. La courbe ci-dessous donne la distribution des résultats pour les candidats présents à l'épreuve.



# Exemple de sujet pour l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

*Thème : L'asservissement de vitesse d'une machine à courant continu*

Il était demandé au candidat de proposer l'organisation complète d'une séquence de formation pour des étudiants de DUT Génie Electrique et Informatique Industrielle, l'objectif de cette séquence étant de présenter les principes de correction d'un asservissement.

A partir du référentiel du diplôme, il est possible de préciser les fonctions et les tâches associées au développement de cette séquence, ainsi que les contenus de formation et les moyens pédagogiques et didactiques mobilisées pour construire les compétences associées aux tâches précitées.

On peut trouver les horaires, la relation entre les différentes UE dans le programme, qui permettront de positionner et de réfléchir à un enchaînement dans la séquence :

<b>Thème 1 (UE11, UE21, UE31) : Composants, systèmes et applications</b>						
	<i>Coeff</i>	S1	S2	S3	S4	Total
Energie	8	60	60	45		165
Système d'information numérique	3	60				60
Informatique	6	60	60			120
Systèmes électroniques	8	60	60	45		165
Automatisme	3		60			60
Réseau	2			45		45
Automatique	2			45		45
Modules complémentaires	3			60		60
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>240</b>	<b>240</b>	<b>240</b>		<b>720</b>

Référence module	Nom module	Coef.	CM	TD	TP	Volume horaire Etudiant en formation encadrée   dirigée	
<b>Semestre 3</b>							
<b>UE31 Composants, systèmes et applications - Approfondissement</b>							
M 3101	Energie	2	10	14	21	45	
M 3102	Automatique	2	15	15	15	45	
M 3103	Réseaux	2	14	10	21	45	
M 3104	Systèmes électroniques	2	10	14	21	45	
M 3105 C	Programmation orientée Objet	1,5	6	14	10	30	
M 3106 C	Energies renouvelables : production et stockage	1,5	6	14	10	30	
<b>Total UE31</b>		<b>11</b>	<b>61</b>	<b>81</b>	<b>98</b>	<b>240</b>	

Une fiche descriptive plus détaillée permet de connaître les prérequis ainsi que les compétences visées :

Référence de l'UE <b>UE31</b>	Nom de l'UE Composants, systèmes et applications	Volume Horaire <b>45h (15CM, 15TD, 15TP)</b>
	Matière : <b>Automatique</b>	
Référence du module <b>M 3102 (Au3)</b>	Module <b>Systèmes à temps continu 1</b>	Semestre <b>S3</b>
<b>Objectifs du module :</b> Analyser les systèmes asservis. Comprendre les principes de la correction.		
<b>Compétences visées :</b> Elaborer un schéma de transfert Identifier un système dans son environnement Analyser les performances statiques et dynamiques d'un système et d'un système asservi Comprendre les principes de correction des systèmes asservis		
<b>Pré-requis :</b> Mathématiques : nombres complexes, transformation de Laplace, décomposition des fractions rationnelles en éléments simples. Physique : lois générales, capteurs. Génie électrique : circuits électriques et représentation fréquentielle du comportement.		
<b>Contenus :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Notions de système et de schéma fonctionnel</li> <li>- Introduction à la modélisation, fonction de transfert</li> <li>- Systèmes élémentaires, analyses temporelle et fréquentielle, notion de stabilité</li> <li>- Décomposition d'un système technologique en systèmes élémentaires, analyses temporelle et fréquentielle, notion de stabilité</li> <li>- Identification des systèmes par les méthodes déduites de l'analyse</li> <li>- Systèmes asservis (régulation et asservissement), performances (stabilité, précision, rapidité)</li> <li>- Etude qualitative des actions P, I et D</li> </ul>		
<b>Modalités de mise en œuvre :</b> Couplage étroit avec la présentation des oscillateurs (stabilité) et de la PLL (stabilité, dynamique) dans le module M 3104 (SE3)		
<b>Prolongements possibles :</b> Conception et réglage des correcteurs à temps continu		
<b>Mots clés :</b> fonction de transfert, stabilité, identification, précision, rapidité		

### Introduction :

Cette activité pratique avait pour but d'illustrer la partie automatique au travers d'un exemple d'asservissement de vitesse.

Le matériel et les outils qui ont été utilisés dans ce TP étaient les suivants :

- le logiciel **SCILAB** avec une boîte à outils **X2C** (ou le programme de commande équivalent **Asservissement\_MCC**) ;
- une carte équipée d'un microcontrôleur de la famille **Microchip**, disposant d'entrées et de sorties analogiques ;

- un banc composé d'un MCC, et d'une génératrice ;
- un hacheur 4 quadrants ;
- un générateur de signaux basse fréquence ;
- un oscilloscope.

Un tutoriel de la boîte à outils X2C nécessaire, les documentations des appareils et des machines étaient aussi fournis (mais ces éléments ne sont pas présent dans ce rapport).

L'objectif est ici de commander la vitesse d'une machine à courant continu de faible puissance à l'aide d'une tension continue réglable (par l'intermédiaire d'un hacheur) en minimisant les temps de réponse lors d'un transitoire de commande.

### Modélisation de la machine à courant continu

Les équations différentielles de départ sont l'équation électrique et l'équation mécanique. On suppose que le moteur à courant continu est à excitation indépendante et constante car l'inducteur est à aimants permanents. On peut symboliser le moteur à courant continu (référence PARVEX RS430F, caractéristiques sur la plaque signalétique) de la façon suivante (figure 1 et 2) :

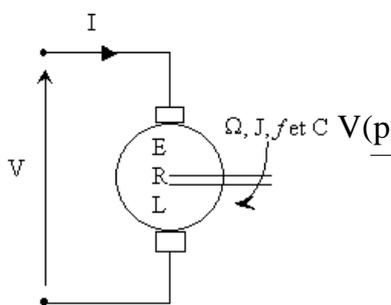


Figure 1 : schéma de la MCC.

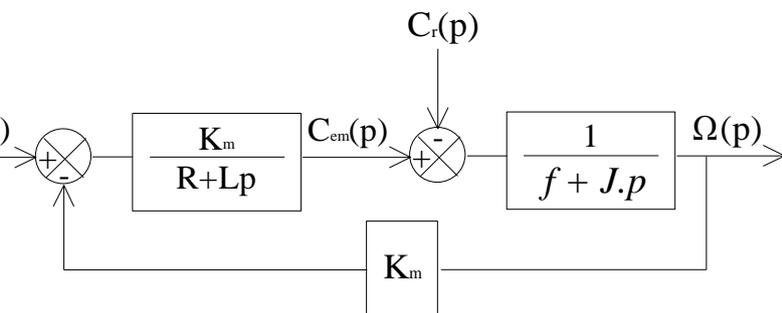


Figure 2 : schéma bloc de la MCC.

#### Fonction de transfert :

Le moteur peut alors être symbolisé, en première approximation, par le schéma suivant :

$$\begin{array}{c}
 \xrightarrow{V(p)} \boxed{\frac{K}{1+\tau \cdot p}} \xrightarrow{\Omega(p)} \\
 \text{avec } K : \boxed{K = \frac{K_m / R \cdot f}{1 + \frac{K_m^2}{R \cdot f} + 1}} \text{ et } \tau : \boxed{\tau = \frac{J}{f} \cdot \frac{1 + R \cdot f}{K_m^2}}
 \end{array}$$

## Description du matériel

Le système à réguler :

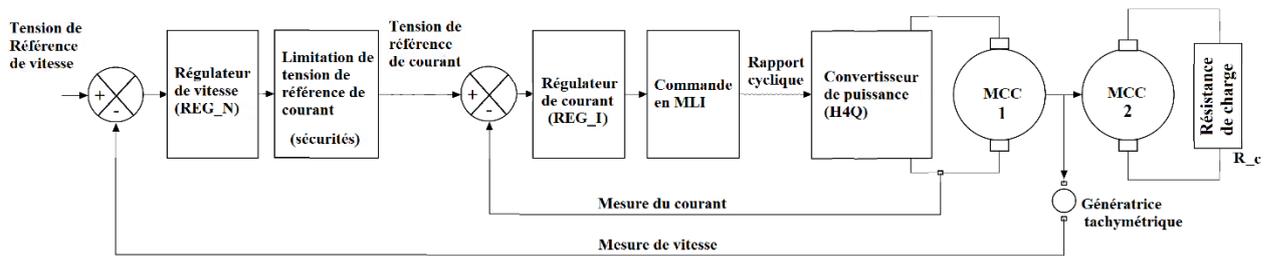


Figure 3 : schéma synoptique du système.

On retrouvera, si nécessaire, toutes les références citées dans les figures 3 et 4. Le système est composé d'une machine à courant continu utilisée en moteur (MCC 1 référencée MCC\_1\_2), et d'une machine à courant continu utilisée en génératrice (MCC 2 référencée MCC\_1\_2). Sur la génératrice une charge résistive ( $R_c$ ) est connectée. Le moteur MCC 1 est commandé par un régulateur de courant (REG\_I) (commande) via un hacheur 4 quadrants (H4Q) (puissance). La régulation de courant est déjà implantée. L'étude porte sur la réalisation d'un asservissement en vitesse de ce processus.

La machine à courant continu est alimentée par un pont en H (commande de type MLI). Pour éviter d'endommager le moteur lors du démarrage (courant d'induit important), on insère un régulateur qui limitera le courant dans la machine. Tant que la limitation n'intervient pas, le modèle précédemment établi pour le moteur à courant continu est valable et l'amplification  $K$  est multipliée par une constante propre au convertisseur de puissance.

Malgré la double régulation de courant et de vitesse disponible sur la carte régulation, on étudiera uniquement la régulation de la vitesse du moteur : la grandeur d'entrée est donc une tension correspondant à une référence de vitesse et la sortie est la tension issue de la génératrice tachymétrique filtrée. Celle-ci délivre une tension de 6 V pour une vitesse de 1000 tr/min.

### 3. Manipulation

#### 3.1. Étude en boucle ouverte (BO)

On souhaite identifier la fonction de transfert de l'ensemble du système. Pour cela, on réalise un essai en boucle ouverte en donnant une consigne de vitesse par l'intermédiaire d'un générateur de fonction.

Le schéma de l'installation utile à la mesure (figure 4) est le suivant (attention : l'alimentation stabilisée peut être légèrement différente) :

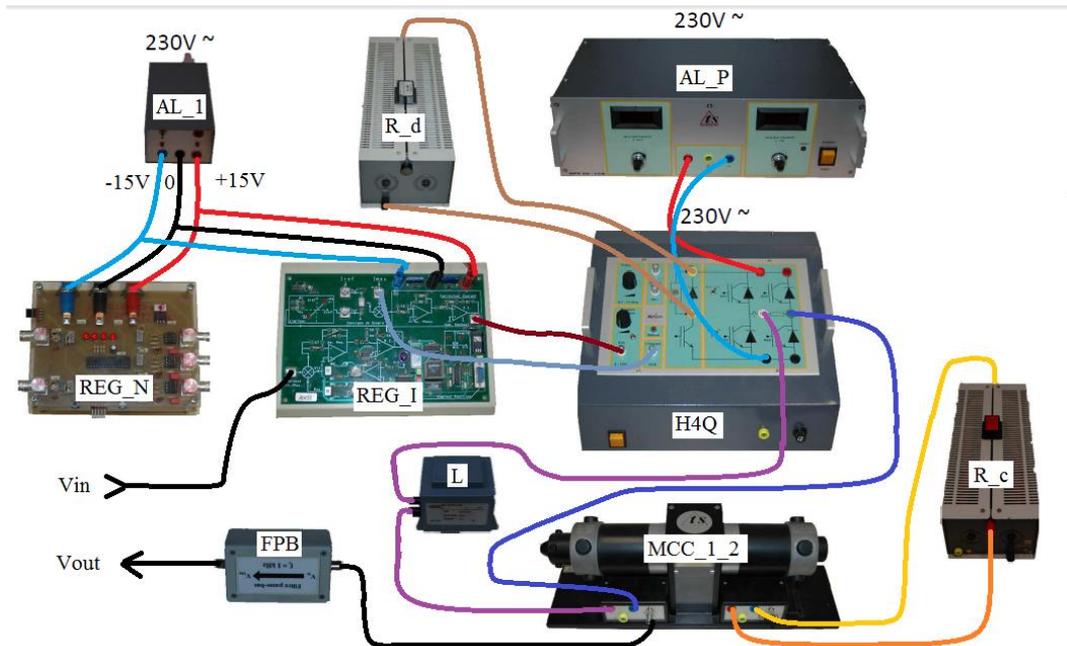


Figure 4 : schéma de l'installation en boucle ouverte.

Dans un premier temps, le régulateur REG\_N n'est pas utilisé.

1. Identifier les différents éléments constituant le système et donner leur utilité.  
Finaliser le câblage en rajoutant l'oscilloscope et le GBF.

Avant de mettre AL\_P sous tension (partie puissance), alimenter le hacheur (H4Q) ainsi que toutes les parties électroniques (AL\_1). On effectuera l'arrêt final de la manipulation dans l'ordre inverse. On travaillera au final pour AL\_P sous la tension nominale du moteur et on aura, au préalable, réglé le courant de court-circuit de l'alimentation AL\_P à 3.5A. Démarrer sous tension réduite. Sur H4Q, en position interne (commutateur 2 ou 3 position vers le haut), vérifier que l'action sur le potentiomètre noté rapport cyclique permet bien de faire varier la rotation du moteur dans les deux sens. Passer sous tension nominale. Sur H4Q, repasser en position externe (commutateur 2 ou 3 en position vers le bas).

2. Détermination de la plage de fonctionnement du système. Pour trouver la plage de fonctionnement de notre système, il convient d'utiliser un signal de consigne continu (attention à la saturation des étages de commande, et au comportement non linéaire du système au démarrage dû au couple de frottement sec (hystérésis)) et de relever le signal filtré délivré par la génératrice tachymétrique (à la sortie d'un filtre passe-bas). Il convient de déterminer les plages positive et négative de fonctionnement du système.
3. Réponse du système en BO à un échelon de vitesse sur une charge de 12 ohms (valeur non repérée sur la résistance de 16.5 ohms).

Pour identifier le système, il convient d'utiliser un signal de consigne de forme carrée de façon à faire tourner le moteur dans le même sens à deux vitesses différentes non nulles pour rester à l'intérieur de la plage de fonctionnement.

On travaillera, par exemple, dans la plage positive. Le point de fonctionnement se situera au milieu de cette plage. L'amplitude du signal carré d'entrée ne doit pas faire saturer le système. Cette amplitude des variations doit rester faible (on se fixera 10% de la plage de fonctionnement positive). La fréquence choisie devra permettre à la vitesse d'atteindre, à la montée et à la descente, le régime permanent.

Relever, en concordance des temps, les chronogrammes du signal filtré, délivré par la génératrice tachymétrique, et du signal de commande.

4. Détermination des paramètres du modèle. En déduire alors la constante de temps  $\tau$  et l'amplification statique  $K_t$  (on mesurera ces paramètres à l'accélération et à la décélération) de façon à ce que la fonction de transfert du système puisse être écrite sous la forme d'une fonction du 1er ordre. Déterminer la fréquence de coupure de cette fonction du 1er ordre.

### 3.2. Étude en boucle fermée

Dans toute la suite de l'exploitation, on considèrera que les correcteurs réalisés sont analogiques (bien que leur réalisation réelle soit numérique).

#### 3.2.1 Système bouclé corrigé par un correcteur P à retour unitaire

Dans cette deuxième partie, le régulateur REG\_N est utilisé.

La nouvelle version du schéma de l'installation (partie utile pour le câblage) est la suivante :

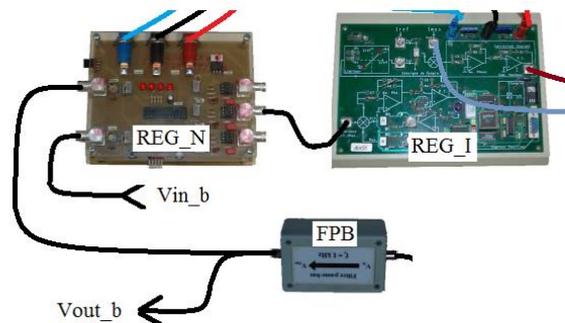


Figure 5 : schéma de l'installation en boucle fermée.

La modification concerne principalement REG\_N, REG\_I, FPB et Vin\_b.

Pour la suite de la manipulation, il faudra démarrer le logiciel SCILAB ainsi que son interface graphique XCOS et voir comment faire pour modifier les paramètres du régulateur. Pour cela, on s'appuiera sur le tutoriel fourni de la carte.

On ferme la boucle de vitesse en gardant le réglage de base pour le régulateur de vitesse (correcteur proportionnel de valeur 1).

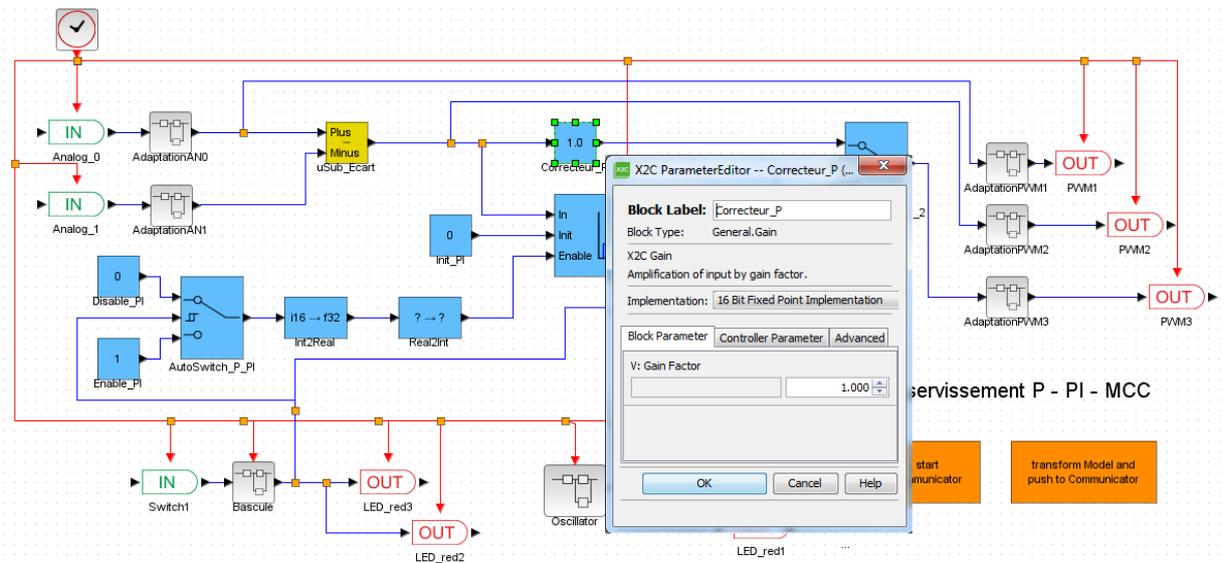


Figure 6 : schéma bloc SCILAB XCOS du système de correction (correcteur P).

1. On garde le signal d'entrée du système bouclé avec la même forme et la même fréquence que précédemment (carré) avec une composante de décalage (« offset ») de 3V et une amplitude crête à crête de 1.5V. Calculer théoriquement la constante de temps  $\tau'$  et le gain statique  $K'$  du système bouclé. Que vaut l'erreur statique ? Vérifier toutes les grandeurs expérimentalement.
2. Quelle doit-être l'amplification proportionnelle pour que cette erreur soit divisée par 5 ? Vérifier expérimentalement l'amélioration.
3. Introduire une perturbation en modifiant, soit la résistance de charge de la génératrice, soit la tension d'alimentation. Commentaires.

### 3.2.2 Système corrigé par un correcteur PI

1. On conservera pour cette partie, l'amplification proportionnelle trouvée à la question 3.2.1.1. Déterminer le coefficient intégral manquant d'un correcteur PI de façon à compenser la constante de temps lente (du système en boucle ouverte).
2. Régler les éléments du correcteur. Le principe est le même que pour le correcteur P. Par contre, il faut faire attention à la forme du correcteur PI. La forme à implanter dans SCILAB XCOS est  $C_{pi}(s) = K_p + K_i/s$  avec  $s$  le paramètre de Laplace,  $K_p$  le facteur proportionnel et  $K_i$  le facteur intégral. On suppose au départ que la consigne est égale à une tension continue de 1 V, puis qu'elle est constituée d'un signal carré de fréquence 0.5 Hz, d'amplitude 500 mV et d'offset 1V. Relever à chaque fois l'erreur de position. Commentaires.
3. En gardant le réglage trouvé, introduire à nouveau une perturbation de la résistance de charge de la génératrice ou de la tension d'alimentation. Quelle est l'amélioration apportée ? Commentaires.
4. Modéliser le système avec son asservissement PI sous Matlab, et justifier par simulation les résultats relevés lors de l'essai réel.

# Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

## A. Présentation de l'épreuve

### Texte de référence

<http://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale 6 heures (activités pratiques 4 heures, préparation de l'exposé 1 heure, exposé 30 minutes maximum, entretien 30 minutes).
- Coefficient 2.
- 10 points sont attribués à la partie liée aux activités pratiques et 10 points à la partie liée à l'exposé et à l'entretien avec le jury.

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options.

Le candidat est amené au cours de cette épreuve à élaborer **une séquence pédagogique dont le contexte est imposé**. Il doit notamment y intégrer le développement d'une séance à caractère expérimental. Elle sera construite autour d'activités pratiques proposées par le candidat, sur un support didactique imposé.

Pour la session 2021, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), de l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur du cycle terminal sciences de l'ingénieur de la voie générale du lycée ainsi que celui des classes préparatoires aux grandes écoles.

Le support didactique fourni est un système pluritechnologique qui permet une analyse systémique globale.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation. Il est amené à expliquer et justifier les choix didactique et pédagogique qu'il a opérés notamment dans l'élaboration de la séquence de formation présentée ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental conçue.

### Déroulement de l'épreuve

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs compétences pour s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable d'élaborer une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.

Le titre d'une séquence pédagogique étant imposé, le candidat doit d'abord préparer la trame détaillée de celle-ci en respectant le niveau de formation visé et les effectifs de la classe. Il doit ensuite répondre à une problématique technique et scientifique comprenant des activités pratiques. Le candidat prépare enfin une séance à caractère expérimental s'inscrivant dans la séquence imposée, **les activités expérimentales proposées doivent être différentes de celles déjà effectuées pour répondre à la problématique technique et scientifique et être adaptées au niveau du sujet.**

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques.

Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- concevoir, organiser et décrire une séquence dans un contexte pédagogique imposé ;
- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- savoir mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases :

### **Première phase – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée 4h00)**

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 compte quatre parties.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

#### **➤ Première partie (durée 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Pour cette première partie, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation parmi deux qui lui sont proposées. Pour chacune d'entre elles, le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre d'une des deux séquences imposées ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Puis

il doit proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les pré-requis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression didactique proposée et présentée. Le candidat doit justifier ses choix pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique, qui sera présenté et évalué lors de la troisième phase.

➤ **Deuxième partie (durée 0h30) – Prise en main du support**

Pour cette deuxième partie, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

➤ **Troisième partie (durée 2h00) – Expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités à caractère expérimental proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation. L'exploitation des résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), la mise en évidence des écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et la proposition de solutions pour les réduire doivent permettre d'apporter une réponse aux problèmes posés.

➤ **Quatrième partie (durée 0h45) – Élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Pour cette quatrième partie, le candidat doit décrire une séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique en :

- situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;
- précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
- décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux qu'il a effectués dans la troisième partie ;
- explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

Pendant toute la durée de cette phase, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat doit donc entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séance. Les examinateurs n'évaluent pas durant cette partie et sont disponibles en tant qu'assistant technique.

## **Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée 1h00)**

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire, ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors de la phase précédente qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

## **Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h00)**

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury.

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury. L'exposé doit comporter :

- la description du contexte pédagogique imposé ;
- la présentation de ses réflexions pédagogiques et la justification de ses choix de modalités pédagogiques ;
- la présentation de la trame de la séquence pédagogique en y intégrant l'évaluation ;
- la présentation des savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans un contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

Il est à noter que durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est absolument pas attendu des candidats qu'ils présentent à nouveau les résultats aux activités menées dans le cadre des deuxième et troisième temps de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà conduit à une évaluation par le jury en salle de TP. Seule est attendue la présentation des activités envisagées de faire réaliser aux élèves lors de la séance à caractère expérimentale incluse dans la séquence pédagogique exposée.

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes.

Le jury est amené à interroger les candidats, afin d'apprécier leur connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, sur la manière dont ils envisagent d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, ou bien sur leur positionnement vis-à-vis d'une équipe pédagogique.

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leurs présentations ;
- expliciter et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'ils ont opérés.

#### **Utilisation des logiciels pendant l'interrogation :**

Aucun pré-requis ne peut être exigé du candidat concernant l'utilisation d'un logiciel. Les consignes d'utilisation sont indiquées dans le sujet ou fournies oralement. Les modeleurs volumiques ne sont pas utilisés comme outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2021 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- monture de télescope ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental ;
- identification des comportements de constituants ou d'un système ;
- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'information ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithmes simples ou de quelques lignes de programmes simples (en langage python, arduino, etc) ;
- recalage d'un modèle multiphysique ou non ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

## B. Commentaires du jury

### • Analyse des résultats

**Les candidats préparés** mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils ont réalisés durant la 4<sup>ème</sup> partie de la première phase. Les pré-requis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité. La conduite des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique est traitée par la majorité des candidats.

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la 3<sup>ème</sup> partie de la première phase sont souvent reprises dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

### • Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

#### **Phase 1 : première partie - réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec la thématique proposée pour les niveaux pré-bac. Elle doit faire apparaître les pré-requis, les compétences et connaissances visées, le positionnement temporel, le déroulement des différentes séances la constituant et l'évaluation adéquate.

Depuis cette session, il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Cette possibilité laissée au candidat a été bien appréhendée. Pour la majorité des sujets, l'une et l'autre des propositions ont été traitées.

Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Le jury ne peut se satisfaire d'un exposé de pédagogie formel ou d'une récitation d'un extrait de programme. Il souhaite qu'il soit fait preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation des élèves.

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post-bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

### **Phase 1 : deuxième partie - prise en main du support**

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'appropriier le support du travail pratique et de la problématique technique et scientifique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

### **Phase 1 : troisième partie - expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée**

Pour cette phase, le jury tient à porter à l'attention des candidats les points suivants :

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralité permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes d'énergie et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnologique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;

- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modeleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

Lors des activités pratiques, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corréliser les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

### **Phase 1 : quatrième partie - élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

### **Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle**

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation de 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- décrire le déroulement de la séquence ;
- situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- justifier les choix pédagogiques retenus ;
- présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

Le jury conseille, aux candidats qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

### **Comportement des candidats**

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Les contenus scientifiques des séquences doivent être maîtrisés par les candidats, l'accès à Internet est toujours possible sur des sites publics.

Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés, elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

- **Conclusion**

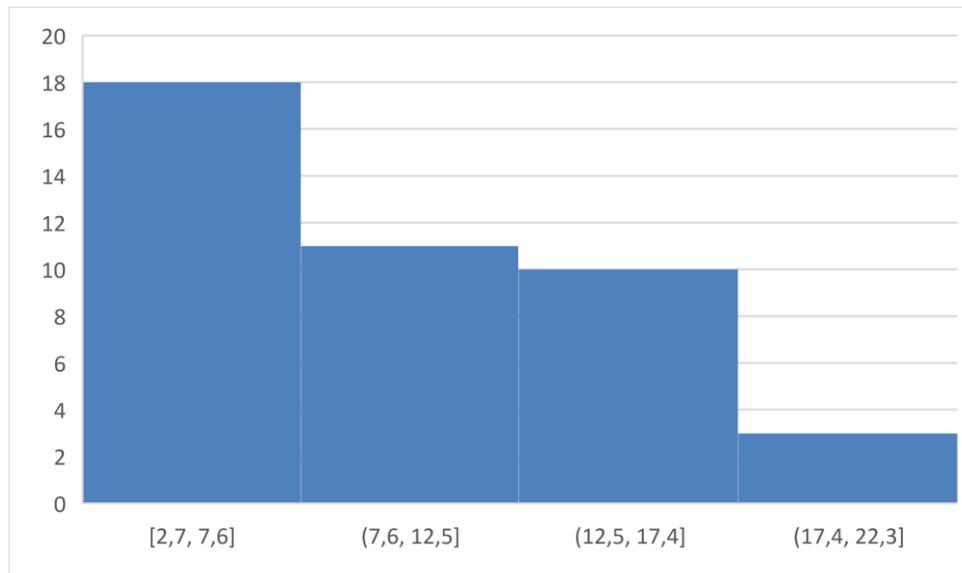
La session 2021 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

## C. Résultats

La moyenne de cette épreuve est de 9,61/20 avec un écart-type de 4,84.

La note maximale est de 19/20, la plus basse de 2,7/20.

L'histogramme ci-dessous donne la répartition des résultats pour l'ensemble des candidats présents.



# Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique

## Étude d'une monture de télescope

**Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)**

### Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0h45)

Objectifs : s'approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l'architecture de la séquence de formation.

#### Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

La séquence pédagogique à construire est associée à un des deux contextes pédagogiques suivants, à choisir par le candidat :

	Choix 1	Choix 2
<b>Titre de la séquence</b>	Analyser, modéliser et expérimenter le comportement des systèmes linéaires continus invariants	Modéliser et résoudre pour vérifier les performances statiques des mécanismes
<b>Niveau de formation visé</b>	CPGE – filière scientifique – voie PCSI	
<b>Supports pédagogiques</b>	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de Sciences de l'Ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : - télescope asservi Astrolab ; - robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; - cordeuse de raquettes ; - drone didactique D2C ; - pilote hydraulique de bateau ; - projecteur de scène motorisé ; - robot holonome ; - gyropode ; - robot humanoïde Darwin.	
<b>Effectif</b>	classe de 48 élèves, groupe à effectif réduit de 24 élèves	
<b>Volume horaire</b>	4 heures hebdomadaires (1 h cours + 1 h TD + 2h TP)	

Les documents suivants sont fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

- le programme du niveau de formation visé (fichier *Programme PCSI.pdf*) ;
- une proposition de séquences adaptées au niveau de formation visé (fichier *Progression didactique PCSI-PSI.xlsx*).

#### Production attendue

Une architecture de séquence pédagogique doit être proposée en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, ...), leurs coordinations et leurs organisations.

### Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- un télescope MEADE ETX-90 instrumenté ;
- une carte de commande externe programmable par le logiciel Matlab R2021a permettant de substituer la carte de commande équipant le télescope MEADE ETX-90 ;
- un chronomètre.

Le système présent dans le laboratoire est un télescope instrumenté, pilotable et configurable.

Un dossier technique est fourni sous forme papier. Il comprend notamment :

- la définition du contexte d'utilisation du télescope ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs, ...).
- Un logiciel de commande et d'acquisition en mode Autostar (Matlab-Simulink R2021a) installé sur le poste informatique permet, entre autres :
  - de piloter le télescope sur les axes d'azimut et d'élévation ;
  - de réaliser des simulations numériques de modèles ;
  - de réaliser des mesures à l'aide de la carte d'acquisition installée dans le télescope.

Prendre connaissance de l'annexe « Les télescopes optiques terrestres géants » du dossier ressource doit être consultée.

**Activité 1** Identifier et caractériser quelques contraintes liées à la phase de construction des infrastructures du télescope E-ELT et à sa phase d'utilisation.

Prendre connaissance de l'annexe « Analyse structurelle partielle du télescope du laboratoire » du dossier technique et du protocole expérimental n°1 fourni dans le dossier ressource.

On se place, pour l'activité suivante, dans le cadre de la phase préliminaire de prépositionnement du tube optique dans l'axe de l'astre à observer.

**Activité 2** Mettre en œuvre le protocole expérimental n°1 pour évaluer la vitesse de rotation (en °/s) de l'axe d'azimut du télescope, pour une commande en vitesse maximale. L'écart de vitesse observé est-il compatible vis-à-vis des performances attendues dans cette phase préliminaire de prépositionnement ?

Prendre connaissance de l'annexe « Chaînes d'énergie partielles du télescope » du dossier technique.

**Activité 3** À partir de la documentation technique pages 5 et 8, compléter et présenter la chaîne fonctionnelle de l'axe d'azimut du télescope sous forme de chaîne d'énergie et de chaîne d'informations sur le document réponse DR1.

### Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

#### Problématique technique et scientifique :

Optimisation de la consommation énergétique d'un télescope et analyse du suivi d'un astre

#### Étude de la consommation énergétique d'un télescope

#### Mesure de l'énergie consommée par le télescope du laboratoire

**Activité 4** Proposer un schéma cinématique du télescope, incluant uniquement les classes d'équivalence cinématique : l'embase (bâti), la fourche et le tube optique.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°2 fourni dans le dossier ressource.

**Activité 5** Analyser les fonctions des blocs multiplieurs et intégrateurs numériques présents dans le fichier *Astrolab\_Acquisition\_Energie.slx*.

**Activité 6** Piloter le télescope avec la raquette et relever les énergies électriques consommées par les 2 actionneurs ainsi que l'énergie totale consommée par le télescope du laboratoire. Présenter les résultats sous la forme du tableau ci-dessous et conclure quant à la partie la plus énergivore du télescope du laboratoire.

	Consommation globale	Consommation de l'axe d'élévation	Consommation axe de l'azimut
Télescope au repos			
Mouvement axe élévation à vitesse maximale			
Mouvement axe azimut à vitesse maximale			

#### Mise en place d'un modèle énergétique de l'axe d'élévation d'un télescope

La suite de l'étude énergétique se concentre sur l'axe d'élévation (l'axe d'azimut est donc considéré comme fixe). Une modélisation partielle de la chaîne d'énergie de l'axe d'élévation d'un télescope est proposée ci-dessous sous la forme du schéma cinématique fourni figure 1.



$J_r$ , moment d'inertie de l'ensemble des engrenages rapporté sur l'arbre moteur ;

$J_p$ , moment d'inertie de l'ensemble des pièces en mouvement en sortie du système roue et vis sans fin, rapporté sur l'arbre de sortie du système roue et vis sans fin ;

$r$ , distance entre le centre de gravité du tube optique dans la direction du tube optique et l'axe de rotation de l'axe d'élévation ;

$K_r$ , rapport de transmission du train d'engrenages simple ( $K_r > 1$ ) ;

$K_v$ , rapport de transmission du réducteur à roue et vis sans fin ( $K_v > 1$ ) ;

$M$ , masse du tube optique ;

$g$ , accélération de la pesanteur ;

$\theta_{el}$ , position angulaire du tube optique par rapport à l'horizontale ;

$f$ , coefficient de frottement visqueux équivalent de l'ensemble des pièces en mouvement de l'axe d'élévation ramené sur l'arbre du moteur ;

$C_s$ , couple de frottement sec équivalent de l'ensemble des pièces en mouvement de l'axe d'élévation ramené sur l'arbre du moteur.

**Activité 7** Présenter la démarche ayant permis d'obtenir l'équation (1).

Les équations du modèle de connaissance de l'actionneur de l'axe d'élévation (machine à courant continu à aimants permanents) sont rappelées ci-dessous :

$$u_m(t) = e(t) + R_m \times i(t) + L \times \frac{di(t)}{dt} ; e(t) = K_m \times \omega_m(t) ; C_m(t) = K_m \times i(t)$$

**Activité 8** Analyser les différentes puissances mises en jeu en régime permanent et préciser les différents paramètres du modèle de la chaîne d'énergie de l'axe d'élévation à minimiser vis-à-vis de la consommation d'énergie globale.

### 1.3.2 Analyse et mise en œuvre du suivi automatique d'un astre par asservissement de position

On se place désormais dans le cadre d'une phase de suivi automatique d'un astre par asservissement de position. L'astre à suivre est modélisé à l'aide de la boule en matière plastique fournie. Le télescope est muni d'une webcam permettant de photographier et filmer l'astre à suivre et doit permettre son suivi automatique.

## **Mise en œuvre du suivi automatique d'un astre**

Pour les activités suivantes, il est nécessaire de débrancher la raquette Autostar. Pour cela, suivre strictement la procédure ci-dessous :

- placer le commutateur ON/OFF sur le télescope sur la position OFF (LED rouge éteinte) ;
- débrancher la raquette Autostar ;
- placer les 2 commutateurs sur la position Manuel (carte et télescope).

Appeler l'examineur avant le début de l'expérimentation pour vérifier le branchement.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°3 fourni dans le dossier ressource.

Observer les mouvements des 2 axes du télescope lorsque la boule est déplacée dans l'espace et discuter du type d'asservissement (poursuite ou régulation) mis en œuvre.

Compléter le schéma-blocs fonctionnel des 2 chaînes d'asservissement du Document Réponse DR2 en faisant apparaître les noms des constituants intervenant dans ces 2 chaînes.

## **Analyse et mise en œuvre du modèle de commande des actionneurs d'un télescope**

Prendre connaissance des annexes « Qu'est-ce qu'une image couleur ? » et « Syntaxe Matlab » du dossier ressource.

Ouvrir le fichier Matlab-Simulink commande\_suivi\_astre.slx (situé dans le dossier FichiersMatlab), et en double-cliquant sur le bloc Analyse Images du fichier commande\_suivi\_astre.slx.

Analyser les zones correspondantes aux lignes 29 à 42.

Compléter la zone % Détermination des coordonnées de l'astre (à partir de la ligne 44) pour déterminer les coordonnées centreAstreAzimut et centreAstreElevation correspondant au barycentre de l'astre observé dans l'image fournie par la webcam.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°4 du dossier ressource.

Tester le comportement du télescope en mode suivi automatique d'un astre en changeant les valeurs des gains des 2 correcteurs des boucles d'asservissement, en prenant des valeurs de 0.01, puis 0.02 et enfin 0.05.

Conclure quant à la possibilité de suivre un astre avec un télescope motorisé et une webcam tout en minimisant la consommation d'énergie électrique.

## **Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)**

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

## Production attendue

Une séance à caractère expérimental pertinente doit être proposée après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Les éléments suivants sont fournis pour mener cette partie :

- un fichier de simulation ModeleMultiphysique.slx est disponible dans le dossier 1.4 Fichiers Matlab. Les paramètres  $R_m$ ,  $K_m$  et  $f$  de ce modèle sont erronés volontairement ;
- l'ensemble des fichiers Matlab-Simulink de commandes et de mesures utilisés précédemment ;
- les diagrammes des chaînes fonctionnelles d'énergie et d'information pour les deux commandes mises en œuvre dans le sujet ;
- un jeu de masses ;
- un dynamomètre.

Nota : les éléments ci-dessus ne constituent que des propositions pour le candidat qui ne doit pas se sentir dans l'obligation de les utiliser s'il les juge non pertinent pédagogiquement.

## Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

## Production attendue

Un document numérique doit être réalisé afin de :

présenter la séquence pédagogique ;

présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;

présenter la séance à caractère expérimental.