



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport du jury**

**Concours : Agrégation externe**

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

**Option : ingénierie électrique**

**Session 2024**

Rapport de jury présenté par :  
Éric LABOURÉ, Président du jury  
Professeur des universités

# Sommaire

|   |    |
|---|----|
| Avant-propos .....  | 3  |
| Remerciements .....   | 4  |
| Résultats statistiques.....   | 5  |
| Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur .....  | 7  |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 7  |
| B. Sujet.....   | 7  |
| C. Éléments de correction.....  | 8  |
| D. Commentaires du jury .....   | 21 |
| E. Résultats.....   | 22 |
| Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....  | 23 |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 23 |
| B. Sujet.....   | 23 |
| C. Éléments de correction.....  | 24 |
| D. Commentaires du jury .....   | 42 |
| E. Résultats.....   | 44 |
| Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....                                     | 45 |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 45 |
| B. Sujet.....   | 45 |
| C. Éléments de correction.....  | 45 |
| D. Commentaires du jury .....   | 50 |
| E. Résultats.....   | 51 |
| Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique .....    | 52 |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 52 |
| B. Commentaires du jury .....   | 55 |
| C. Résultats.....   | 59 |
| D. Exemple de sujet.....  | 60 |
| Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ..... | 64 |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 64 |
| B. Commentaires du jury .....   | 66 |
| C. Résultats.....   | 68 |
| D. Exemple de sujet.....  | 69 |
| Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel .....   | 75 |
| A. Présentation de l'épreuve.....   | 75 |
| B. Analyse globale des résultats.....   | 75 |
| C. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats .....   | 75 |
| D. Conclusions .....  | 77 |
| E. Résultats.....   | 77 |

## Avant-propos

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

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 sont 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 sont 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 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'improvise pas et nécessite 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.

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.

L'agrégation, comme tous les concours de recrutement de fonctionnaires, impose de la part des candidats un comportement et une présentation exemplaires. Le jury y est attentif et invite les candidats

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.

La session 2024 du concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) option ingénierie électrique a permis de recruter 18 candidats alors que 25 postes étaient proposés. Le jury note une augmentation du nombre de candidats non correctement préparés aux épreuves exigeantes de l'agrégation, cela est regrettable dans la mesure où les besoins dans les établissements d'enseignement sont importants.

Le jury invite les candidats à lire attentivement ce rapport et à mieux se préparer aux épreuves.

Ce rapport a été rédigé pour être utile aux futurs candidats de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur et à leurs formateurs.

## **Remerciements**

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 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 coordonnateur technique de ces oraux, 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.

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.

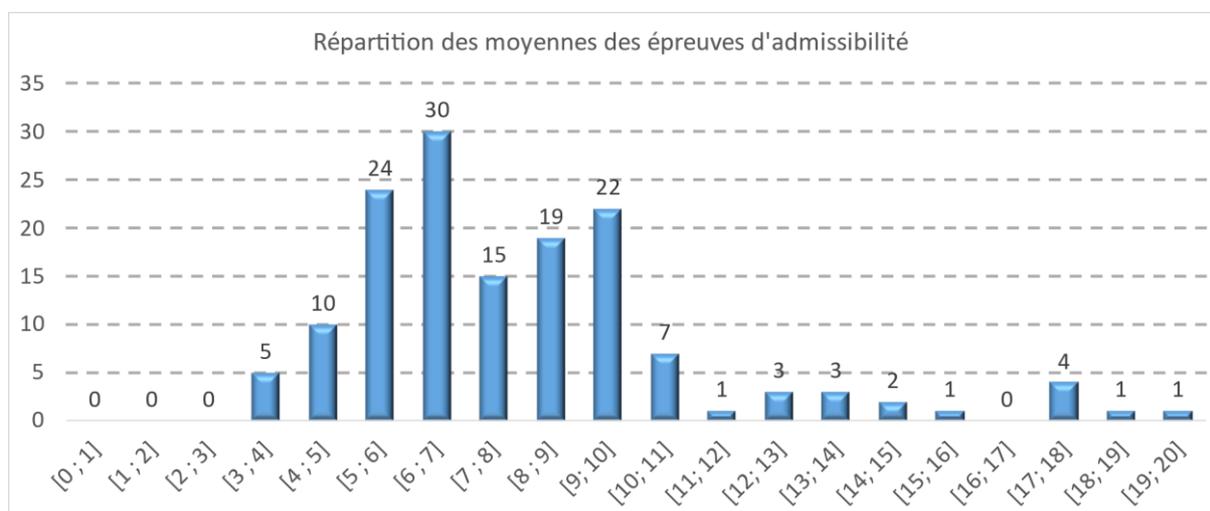
## Résultats statistiques

| Session     | Inscrits   | Nombre de postes | Présents aux trois épreuves d'admissibilité | Admissibles | Présents à toutes les épreuves d'admission | Admis     |
|-------------|------------|------------------|---|-------------|--|-----------|
| 2019        | 520        | 24               | 221   | 59          | 52   | 24 +1*    |
| 2020        | 451        | 24               | 164   | 59          | 52   | 24        |
| 2021        | 361        | 24               | 202   | 50          | 42   | 24        |
| 2022        | 408        | 24               | 150   | 60          | 51   | 24        |
| 2023        | 390        | 29               | 179   | 70          | 55   | 25        |
| <b>2024</b> | <b>387</b> | <b>25</b>        | <b>142</b>                                  | <b>64</b>   | <b>51</b>                                  | <b>18</b> |

\* un candidat a été inscrit sur liste complémentaire

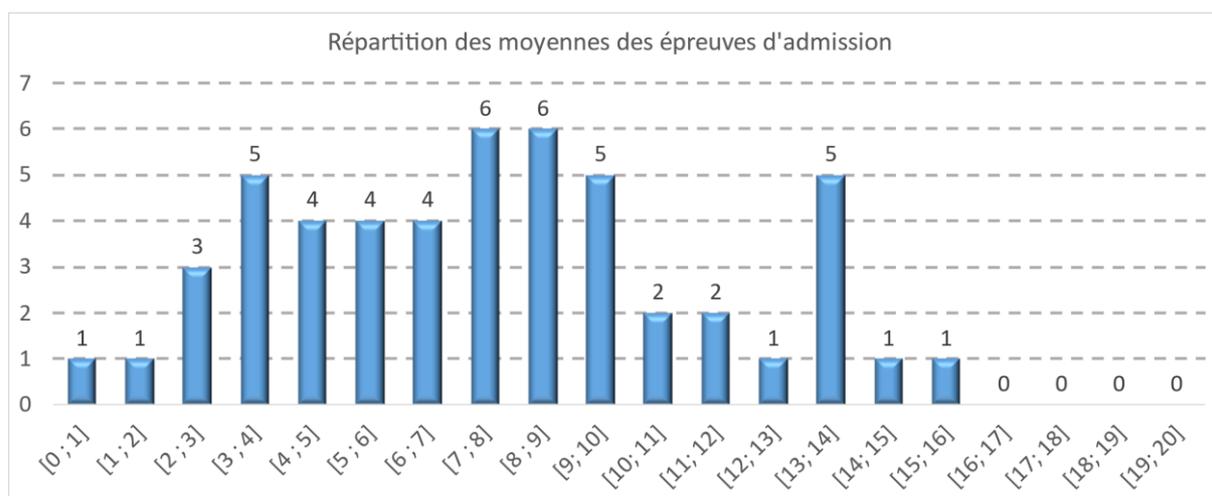
Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admissibilité à la session 2024

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Moyenne obtenue par le premier candidat admissible</b> | <b>19,20</b> |
| <b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible</b> | <b>10,10</b> |
| Moyenne des candidats présents                            | 8,01         |
| Moyenne des candidats admissibles                         | 10,69        |
| Écart-type des candidats présents                         | 3,15         |
| Écart-type des candidats admissibles                      | 2,90         |



Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admission à la session 2024

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Moyenne obtenue par le premier candidat admis</b> | <b>16,70</b> |
| <b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admis</b> | <b>9,40</b>  |
| Moyenne des candidats présents                       | 7,84         |
| Moyenne des candidats admis                          | 12,17        |
| Écart-type des candidats présents                    | 3,91         |
| Écart-type des candidats admis                       | 2,22         |



# Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

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

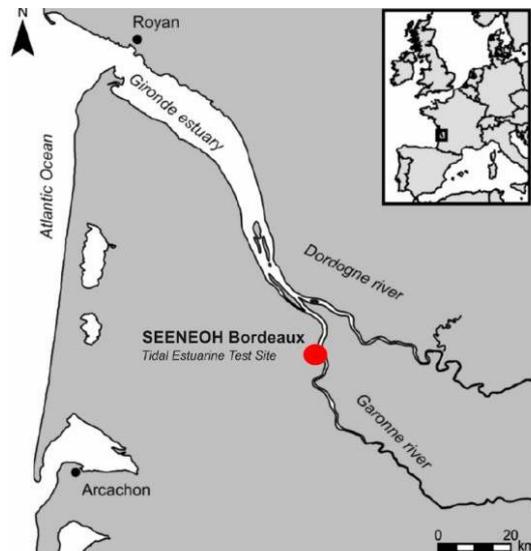
Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière,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

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12315/download>

Il porte sur l'étude de la plateforme BILBAO conçue pour tester des prototypes d'hydroliennes fluviales et océaniques. Elle est implantée depuis 2016 sur la Garonne au cœur de la ville de Bordeaux, ville jumelée avec la ville portuaire espagnole de Bilbao.



## C. Éléments de correction

### II. Stratégies de pilotage et de communication

**Question 1 :** La plateforme est orientée grâce à quatre treuils pilotés par quatre variateurs. L'automate V570 gère la commande des moteurs en fonction des efforts mesurés sur les quatre capteurs.

Cet automate communique avec le serveur SCADA par Modbus TCP/IP. Les données du fleuve sont mesurées grâce au capteur ADCP. Le convertisseur RS485/Ethernet permet de transporter ses données via Ethernet par protocole Modbus TCP/IP.

L'automate HT permet quant à lui de gérer la turbine installée sur la plateforme. Les échanges de données avec le serveur SCADA se font par Modbus TCP/IP. L'automate PL/LM permet de gérer la production électrique renvoyée sur le réseau ERDF.

Le poste administrateur permet de superviser l'ensemble des automates et des données renvoyées par les capteurs grâce au serveur SCADA.

**Question 2 :** Un réseau de classe C permet d'avoir jusqu'à 254 terminaux, ce qui est largement suffisant pour ce site de test. Les adresses IP sont de la forme **192.168.1.##** par exemple.

**Question 3 :** Le port 80 est le numéro de port attribué au protocole de communication Internet couramment utilisé, Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Il s'agit du port à partir duquel un ordinateur envoie et reçoit des communications et des messages basés sur un client Web d'un serveur Web et est utilisé pour envoyer et recevoir des pages ou des données HTML.

Pour accéder au serveur web du convertisseur : **192.168.xx.xx:80**

**Question 4 :** Le programme proposé est détaillé ci-dessous.

**def lire(nf):**

```
f=open(nf,"r")    # Ouvre le fichier en mode lecture
L=f.readlines() # Stocke toutes les lignes dans la liste L
f.close()      # Ferme l'accès au fichier texte
Vest=[]        # Initialisation des listes
Vnord=[]

for li in L[2:12]: # On ne s'intéresse qu'aux données
    li=li.replace(",",".")
    li=li.rstrip("\n") # On supprime le retour chariot (optionnel)
    li_data=li.split("\t") # On crée une liste en découpant la ligne li sur les tabulations
    Vest.append(float(li_data[6])) # On remplit les listes
    Vnord.append(float(li_data[7]))

return Vest,Vnord
```

**Question 5 :** Le programme proposé est détaillé ci-dessous.

**def vitesse\_direction (Vnord,Vest,i):**

```
V=(Vnord[i]**2+Vest[i]**2)**0.5
direction = np.arctan(np.abs(Vest[i]/Vnord[i]))*180/np.pi

return V,direction
```

**Question 6 :**

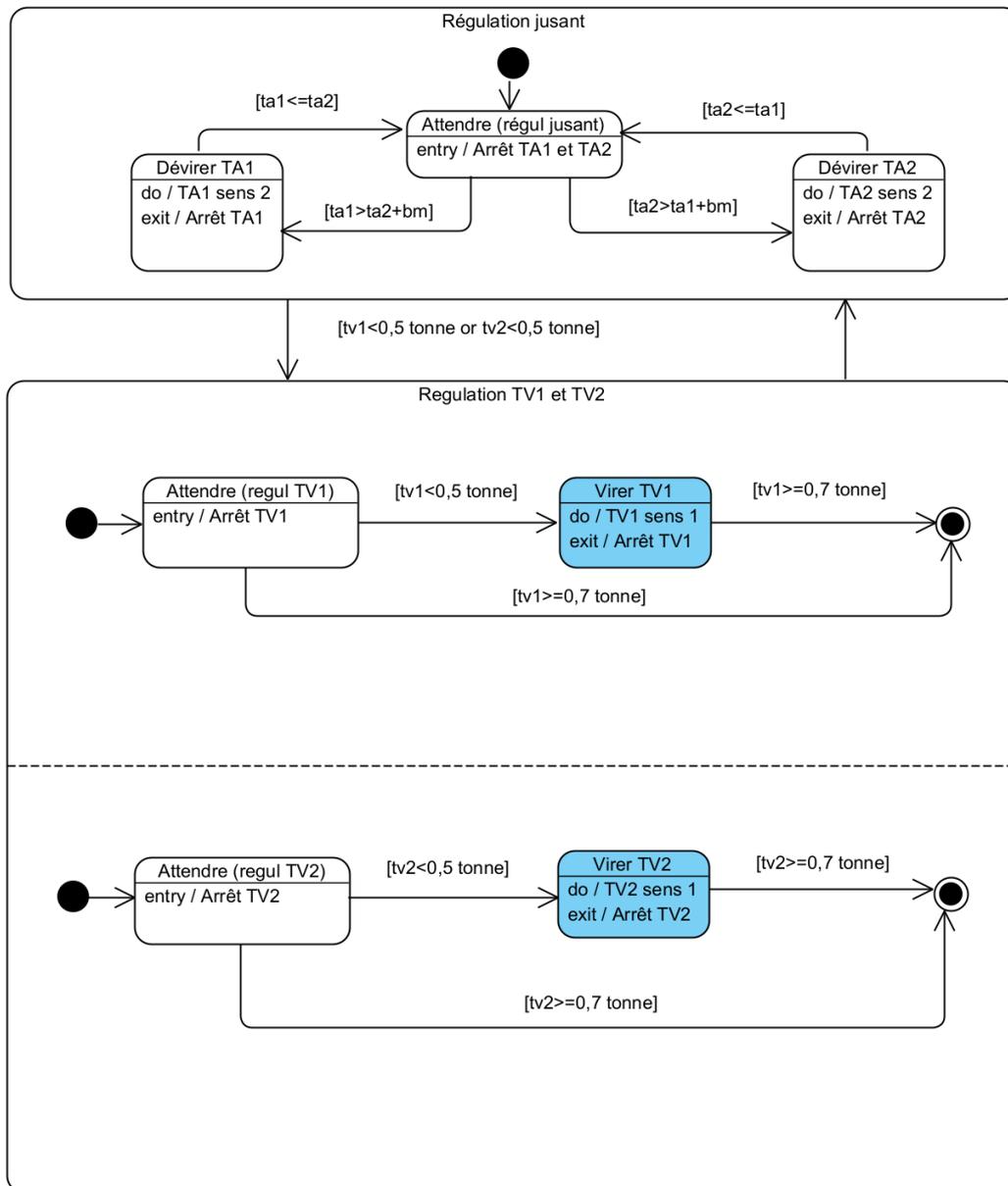
```
def filtrage(Te,e_1,s_0,tau): #filtre récursif
    # Te : période d'échantillonnage
    # e_1 : valeur mesurée (n)
    # s_0 : signal filtré (n-1)
    # s_1 : signal filtré (n)
    # tau : constante de temps.
```

$s_1 = ((\tau * s_0 + T_e * e_1) / (T_e + \tau))$   
 OU  
 $s_1 = (\tau / (T_e + \tau)) * s_0 + (T_e / (T_e + \tau)) * e_1$   
 return s\_1

La constante de temps peut être déterminée à partir d'une analyse spectrale du signal.  
 Le théorème de Shannon stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure au double de la fréquence maximale du signal analogique.  
 Ce type de filtre nécessite en amont un filtre antirepliment.

**Question 7 :** Le changement de marée est observé en comparant la somme des efforts des treuils en amont avec la somme des efforts des treuils en aval.

**Question 8 :**



**Question 9 :** La fonction 3 correspond à une demande de lecture de l'adresse **0x312B**, ce qui correspond en décimal à **12587**. On cherche donc la position du vérin, la réponse est **0x5A** soit **90°**.

**Question 10 :**

```

> Frame 289: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface \Device\NPF_{8913601A-6A1F-4CF...
> Ethernet II, Src: Microsof_19:71:a2 (c4:9d:ed:19:71:a2), Dst: Arduino_ae:87:d0 (a8:61:0a:ae:87:d0)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.42, Dst: 192.168.0.88
> Transmission Control Protocol, Src Port: 59150, Dst Port: 502, Seq: 1, Ack: 1, Len: 12
> Modbus/TCP
> Modbus
    0000 a8 61 0a ae 87 d0 c4 9d ed 19 71 a2 08 00 45 00
    0010 00 34 68 12 40 00 00 06 10 df c0 a8 00 2a c0 a8
    0020 00 58 e7 0e 01 f6 80 6a 6b da 93 dc 34 6f 50 18
    0030 fa f0 b1 c5 00 00 b1 d6 00 00 00 06 01 05 31 bf
    0040 ff 00
  
```

Trame Modbus : 05 31 BF FF 00

**Question 11 :**  $\lambda = \frac{c}{f}$  ce qui fait une longueur d'onde de  $\lambda = 0,125$  m.

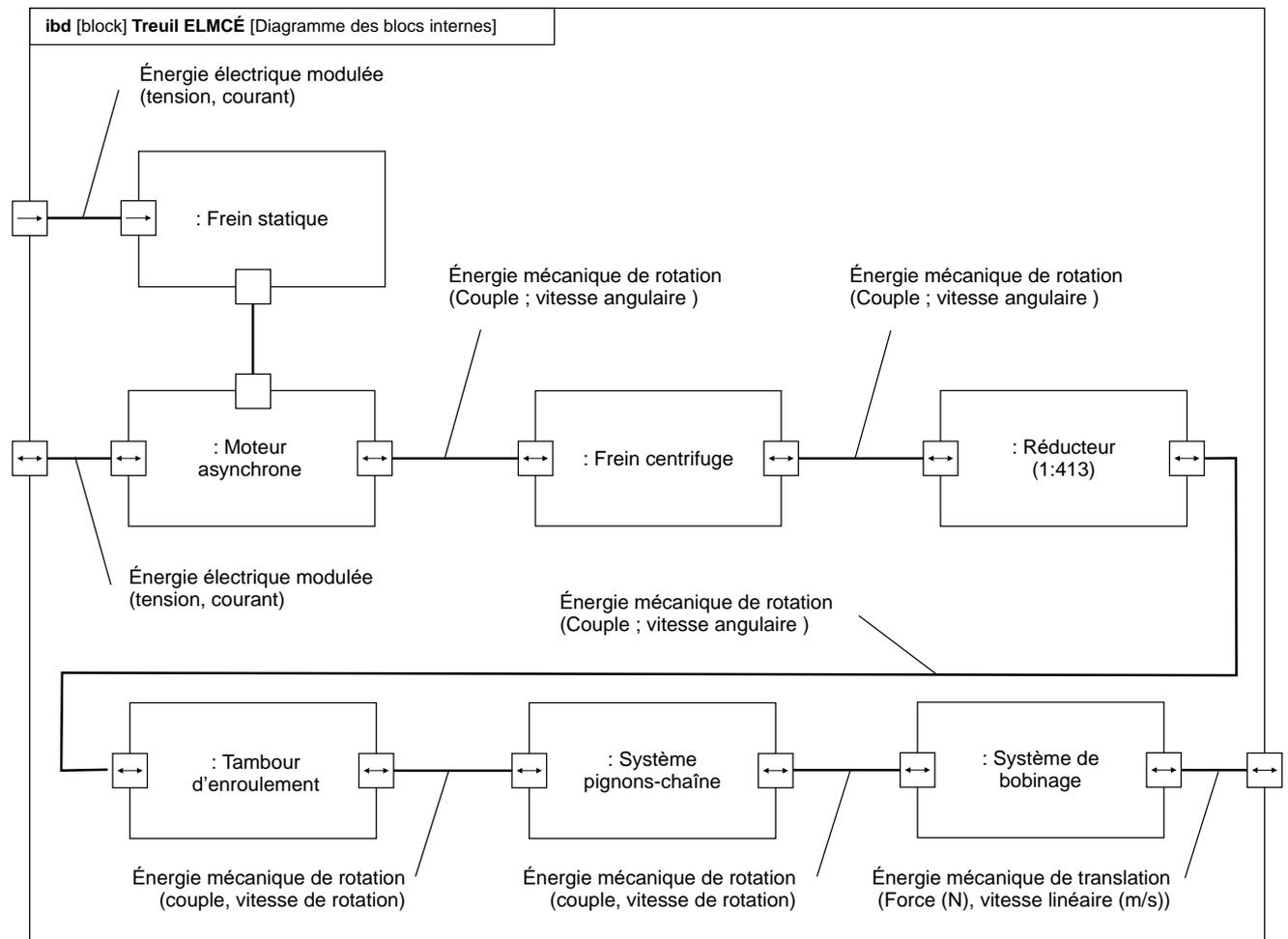
$$d = \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-\alpha/20}}$$

, soit une distance de  $d = 444$  m.

L'exigence 1.4.1.1 impose une longueur de câble de 400 mètres, on peut donc en conclure qu'un réseau WIFI est envisageable.

**III. Validation du dimensionnement de la chaîne de puissance assurant le positionnement de la plateforme BILBAO**

**Question 12 :** le diagramme des blocs internes proposé est présenté ci-dessous.



**Question 13 :** Système isolé :  $\{E\} = \{\text{plateforme} + \text{hydrolienne} + \text{équipements}\}$

Inventaire des actions mécaniques extérieures (I.A.M.E.) :

- action hydrodynamique en H :  $\{F_{h \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{h \rightarrow E} = F_x \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_H$  ;
- action de chaque amarre sur la coque en  $O_i$  :  $\vec{T}_{i \rightarrow E} = -T_i \vec{x}_i \quad \forall i \in \llbracket 1, 4 \rrbracket$  ;

- action de la pesanteur en G :  $\{F_{pes \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{pes \rightarrow E} = M_T \vec{g} \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_G$
- action de l'eau en C :  $\{F_{e \rightarrow p}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{R}_{e \rightarrow E} = P_e \vec{z}_0 + R_e \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_C$

Le théorème de la résultante statique (TRS) projeté sur la direction  $\vec{x}_0$  implique :

$$F_x + R_e - \sum_{i=1}^4 T_i \vec{x}_i \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Soit en tenant compte de la symétrie du problème :

$$F_x + R_e - 2T_1 \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 - 2T_3 \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Les projections dans la base  $B_0$  s'écrivent :

$$\vec{x}_i = \cos \theta_i \cos \alpha_i \vec{x}_0 + \cos \theta_i \sin \alpha_i \vec{y}_0 - \sin \theta_i \vec{z}_0$$

$$\vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

$$\vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_3 \cos \alpha_3 = -\cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

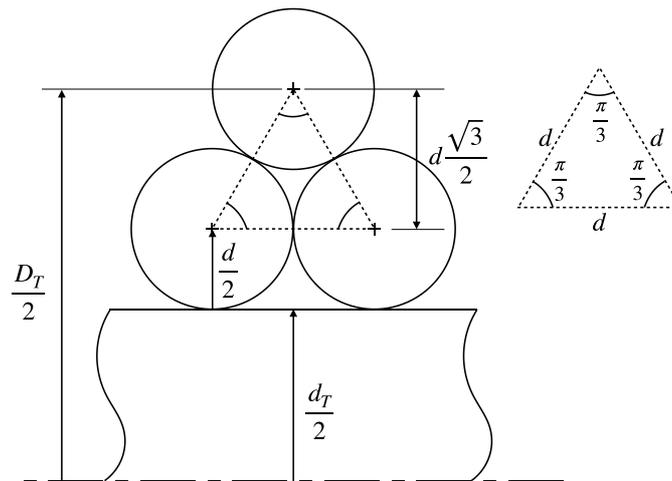
Finalement, il vient :

$$F_x + R_e - 2(T_1 - T_3) \cos \theta_1 \cos \alpha_1 = 0$$

**Question 14 :** Le centre de la première couche d'amarre est situé à une distance  $\frac{d_T}{2} + \frac{d}{2}$  de l'axe de rotation du tambour. Chaque couche se décale ensuite d'une distance de  $d \frac{\sqrt{3}}{2}$  si les amarres s'enroulent « parfaitement », alors :

$$D_T = d + d(n_c - 1) \sqrt{3} + d_T$$

A.N. :  $D_T \approx 694$  mm.



**Question 15 :** Système isolé :  $\{\Sigma\} = \{\text{tambour} + \text{réducteur} + \text{moteur}\}$

Hypothèses :

- l'effet de la pesanteur est négligé ;
- le régime permanent est considéré.

Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice :  $P_{m_i \rightarrow (\Sigma/R_0)} = C_{mi} \omega_{mi}$
- pertes mécaniques :  $P_{pertes}(\Sigma/R_0) = C_{mi} \omega_{mi} (1 - \eta)$
- puissance mécanique de l'amarre  $i$  :  $P_{A_i \rightarrow \Sigma/R_0} = -T_i V_i$  avec  $V_i$  la vitesse d'enroulement de l'amarre par rapport à la plateforme.

En régime permanent, le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble  $(\Sigma)$  en mouvement par rapport au référentiel Galiléen  $R_0$  s'écrit :

$$C_{mi} \omega_{mi} - C_{mi} \omega_{mi} (1 - \eta) - T_i V_i = 0 \Rightarrow C_{mi} = \frac{T_i}{\eta} \times \frac{V_i}{\omega_{mi}}$$

avec  $\left| \frac{V_i}{\omega_{mi}} \right| = r \frac{D_T}{2}$ . L'expression du couple moteur s'écrit alors en valeur absolue :

$$|C_{mi}| = \left| \frac{r T_i D_T}{2 \eta} \right|$$

**Question 16 :** L'équation obtenue question 15 permet ensuite de calculer le couple moteur  $C_{mi}$  pour le « mode moteur ». Pour le « mode frein », la puissance motrice est imposée par le câble et le moteur agit comme un frein. Le calcul du couple de maintien s'obtient alors par une démarche identique à celle de la question 15 mais avec un inventaire des puissances modifié.

Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice :  $P_{m_i \rightarrow \Sigma/R_0} = +T_i V_i$
- pertes mécaniques :  $P_{pertes}(\Sigma/R_0) = T_i V_i (1-\eta)$
- puissance de freinage :  $P_{m \rightarrow \Sigma/R_0} = -C_m \dot{\theta}_m$

L'application du théorème de l'énergie cinétique en régime permanent à l'ensemble ( $\Sigma$ ) en mouvement par rapport au référentiel Galiléen  $R_0$  implique alors :

$$|C_{mi}| = \left| \eta \frac{D_T}{2} r T_i \right|$$

Bilan :

|                         | Expression littérale  | A.N.                             |
|-------------------------|---|----------------------------------|
| <b>Mode génératrice</b> | $ C_{m1}  =  C_{m2}  = \left  \eta \frac{r T_1 D_T}{2} \right $ | $ C_{m1}  \approx 40 \text{ Nm}$ |
| <b>Mode moteur</b>      | $ C_{m3}  =  C_{m4}  = \left  \frac{r T_3 D_T}{2 \eta} \right $ | $ C_{m3}  \approx 6 \text{ Nm}$  |

Pour le mode moteur, la valeur est six fois inférieure au couple nominal ( $C_{nom} = 36,1 \text{ Nm}$ ). Le moteur est largement surdimensionné pour cette configuration.

Pour le mode frein, le couple calculé est légèrement supérieur au couple nominal, d'environ 10%. Or pour une machine asynchrone standard, le couple maximum (également appelé couple de décrochage) est en général 2 à 3 fois supérieur au couple nominal. Le choix de la motorisation est validé sachant que la configuration étudiée correspond à la plus défavorable (tension de 5 t).

**Question 17 :** l'utilisation d'un frein centrifuge permet d'éviter l'emballement du moteur lors des phases de dévirage, c'est-à-dire l'entraînement du moteur par l'intermédiaire de l'amarre à une fréquence de rotation trop élevée par rapport à sa fréquence nominale.

Il est accouplé directement sur l'arbre moteur, en amont du réducteur, pour limiter le couple de régulation à fournir. La taille du frein à utiliser et donc l'encombrement du système (et le coût) sont ainsi réduits.

**Question 18 :** La stratégie de résolution proposée est la suivante :

Système isolé : masselotte (2)

Hypothèses :

- l'étude est réalisée en phase de freinage, donc  $\dot{\theta}_m(t) \geq \omega_{lim} > 0$
- la masselotte (2) est en contact avec le corps (0) à la limite du glissement

I.A.M.E. :

- action du ressort :  $\{F_{r \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{c} -k(l(t) - l_0) \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{M \in (O, \vec{x}_2)}$  ;

- action du corps (0) en C :  $\{F_{0 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} -N_{02}\vec{x}_2 - T_{02}\vec{y}_2 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_C$ , avec :  $N_{02} > 0$  (action unilatérale) et  $T_{02} > 0$  car  $\dot{\theta}_m(t) > 0$ .
- action de l'arbre (1) :  $\{F_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_{M, B_2}$

Le théorème de la résultante dynamique appliqué à (2) par rapport  $R_0$  et projeté sur la direction  $\vec{x}_2$  s'écrit :

$$-k(l(t)-l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le couple de freinage étant défini par la relation suivante,

$$C_f = \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \left( \vec{OC} \wedge (N_{02}\vec{x}_2 + T_{02}\vec{y}_2) \right) \cdot \vec{z}_{0,2}$$

il suffit alors d'utiliser les lois de coulomb et de combiner les relations précédentes pour déterminer  $C_f$ .

**Question 19 :** Mise en œuvre de la stratégie proposée question 18.

Le théorème de la résultante dynamique (TRD) appliqué à (2) par rapport  $R_0$  et projeté sur la direction  $\vec{x}_2$  implique :

$$-k(l(t)-l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le calcul de l'accélération donne par dérivation du vecteur vitesse :

$$\begin{aligned} \vec{V}_G(2/0) &= \vec{V}_G(2/1) + \vec{V}_G(1/0) \\ \vec{V}_G(2/0) &= \dot{l}(t) \vec{x}_2 + \vec{GO} \wedge \vec{\Omega}(1/0) \rightarrow \vec{V}_G(2/0) = r_2 \dot{\theta}_m \vec{y}_2 \\ \vec{\Gamma}_G(2/0) &= \left[ \frac{d\vec{V}_G(2/0)}{dt} \right]_{R_0} = -r_2 \dot{\theta}_m^2 \vec{x}_2 + r_2 \ddot{\theta}_m \vec{y}_2 \end{aligned}$$

L'équation du TRD s'écrit donc :

$$-k(l-l_0) - N_{02} = -r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2$$

Le couple de freinage est défini par la relation suivante :

$$C_f = \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \left( \vec{OC} \wedge (N_{02}\vec{x}_2 + T_{02}\vec{y}_2) \right) \cdot \vec{z}_{0,2} \rightarrow C_f = RT_{02}$$

Or à la limite du glissement :  $|T_{02}| = f|N_{02}| \leftrightarrow T_{02} = f N_{02}$  car  $N_{02}, T_{02} > 0$ . Donc :

$$C_f = Rf N_{02} = Rf (-k(l-l_0) + r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2)$$

Le couple de freinage se réécrit pour  $n$  masselottes sous la forme suivante

$$C_f = n (-k(l-l_0)Rf + Rf r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2) = n(-A + B\dot{\theta}_m^2)$$

avec  $A = k(l-l_0)Rf$  et  $B = Rf r_2 m_2$ .

**Question 20 :** D'après les relations données dans l'énoncé pour  $n$  masselottes :

$$C_f = n(-A + B\omega_m^2) = \eta \frac{D_T}{2} r T_{max}$$

La fréquence de rotation de l'arbre moteur en phase de régulation est alors définie par :

$$\omega_{m \text{ reg}} = \left[ \frac{1}{B} \left( \frac{\eta r T_{max} D_T}{2n} + A \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

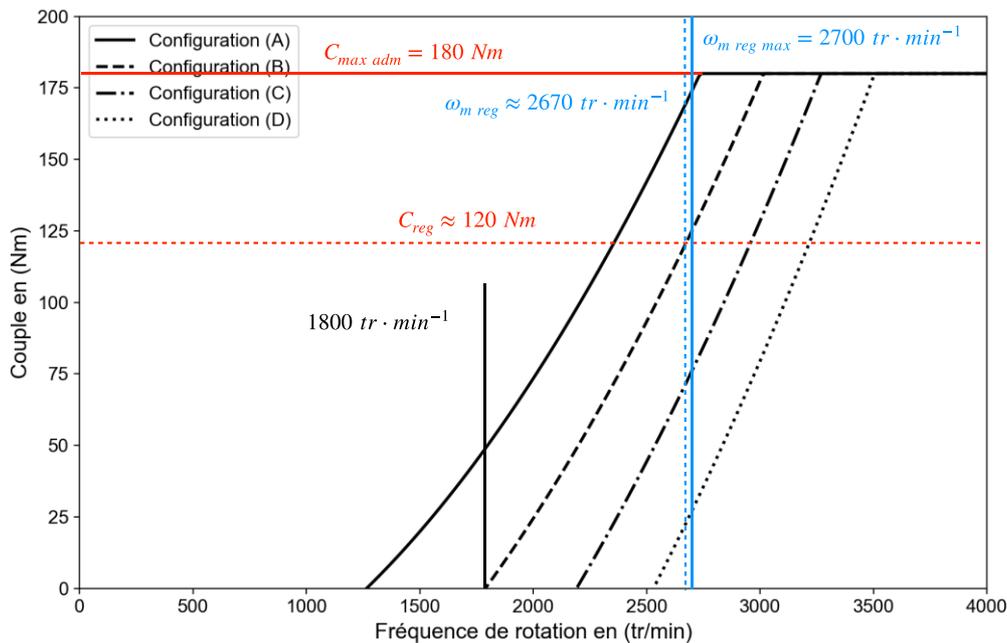
A.N. :  $\omega_{m \text{ reg}} \approx 2670 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

**Question 21 :** Le cahier des charges impose un déclenchement du frein centrifuge à  $1800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  et une vitesse maximale de régulation de  $2700 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ . D'après la documentation constructeur (voir figure ci-après) seul le frein avec la configuration B permet de satisfaire ces deux exigences.

Le couple maximal en phase de régulation est de  $120 \text{ Nm}$  ce qui est inférieur à la limite admissible par le frein quelle que soit la configuration utilisée ( $180 \text{ Nm}$ ). Le frein en configuration B est donc correctement dimensionné pour répondre au cahier des charges.

Les différentes courbes présentent une évolution quadratique identique, seule la valeur de la vitesse à partir de laquelle la régulation est effective diffère.

Pour régler cette vitesse de déclenchement le constructeur peut modifier la raideur du ressort (3). En effet, l'action du ressort s'oppose à l'effet centrifuge qui évolue avec le carré de la vitesse de rotation du moteur. Modifier la raideur du ressort permet ainsi de régler la vitesse de rotation à partir de laquelle les masselottes seront en contact avec le corps, donc la vitesse de rotation correspondant au début du freinage.



**Question 22 :** Dans cette partie le motoréducteur et le frein centrifuge ont été dimensionnés. Le frein statique peut être dimensionné en utilisant la relation de la question 18 pour le mode frein et la valeur de tension égale à la tension de rupture d'une amarre (exigence id. 1.6.1.1), afin de vérifier la tenue du frein statique en toutes situations.

#### IV. Commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage

**Question 23 :**

$$\frac{V_s}{V_e} = \left( \frac{R_3}{R_3 + R_1} - \frac{R_j}{R_j + R_2} \right) = 2,633 \cdot 10^{-1} \text{ mV/V}$$

Si pour 28 tonnes on a 1,280 mV/V alors pour une mesure de 0,2633 mV/V on a un effort de 5,76 tonnes.

Utiliser une boucle de courant présente une meilleure immunité CEM, l'offset de 4 mA permet d'identifier une rupture de liaison si absence de courant.

**Question 24 :** L'effort TA2 étant de 5,76 tonnes, l'exigence impose un écart d'effort entre les amarres de moins de 10kN, alors il faut dévier l'amarre TA2 pour réduire l'effort.

**Question 25 :**  $P_{méca} = 5\,000 \times 9,81 \times \frac{5}{60} = 4087,5 \text{ W}$

S'il n'y a pas de perte, alors la totalité de cette puissance est dissipée par les deux résistances de freinage. Ces résistances de freinages ont pour valeur :

$$R = \frac{230^2}{P_R} = 35,27 \Omega$$

La puissance que peut dissiper ces deux résistances en série est donc :

$$P_{dissipée} = \frac{U_0^2}{2 \cdot R} = 4605 \text{ W}$$

Donc les deux résistances peuvent dissiper une puissance supérieure à la puissance à dissiper pour freiner la plateforme. L'interrupteur  $K_f$  permettra de moduler la puissance dissipée pour garder une tension constante.

Sous réserve que les résistances soient capables de dissiper une puissance supérieure, la valeur ohmique des résistances est correctement dimensionnée.

**Question 26 :**

$$I_R = \frac{V}{\sqrt{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2}}$$

**Question 27 :** On calcule la puissance consommée :

$$P_{em} = 3 \cdot R_R \cdot \frac{1-g}{g} \cdot I_R^2 = 3 \cdot R_R \cdot \frac{1-g}{g} \cdot \frac{V^2}{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = C_{em} \cdot \omega$$

Par définition, le glissement est égal à :

$$g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Donc :

$$1-g = \frac{\omega}{\omega_s}$$

$$C_{em} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot \rho \cdot \omega_s)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot \rho \cdot \omega_s)^2 \cdot g + \frac{R_R^2}{g}} = \frac{2}{2} \cdot \frac{3}{L_R \cdot \rho} \cdot \frac{V^2}{\omega_s^2} \cdot \frac{1}{\frac{g}{L_R \cdot \rho \cdot \omega_s} + \frac{R_R}{g}}$$

$$\text{Donc : } K_B = \frac{R_R}{L_R \cdot \rho \cdot \omega_s} \text{ et } K_A = \frac{3}{2 \cdot L_R \cdot \rho}$$

**Question 28 :** Afin d'obtenir la valeur du maximum du couple, il faut vérifier :

$$\frac{dC_{em}}{dg} = 0$$

Ce qui amène à :

$$g_{max} = K_B$$

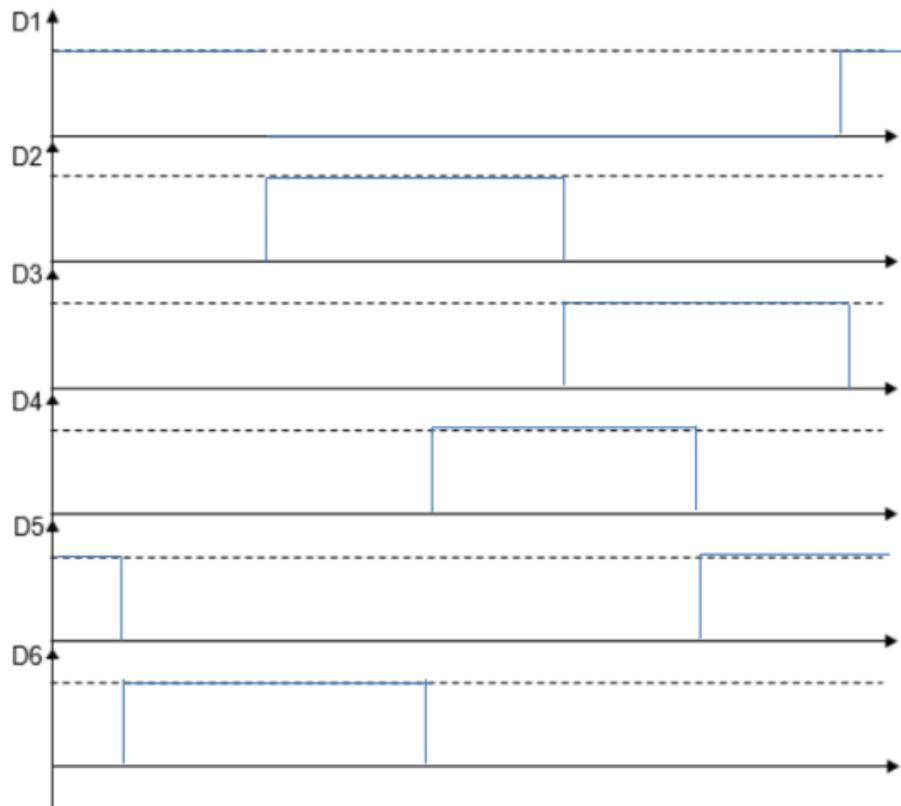
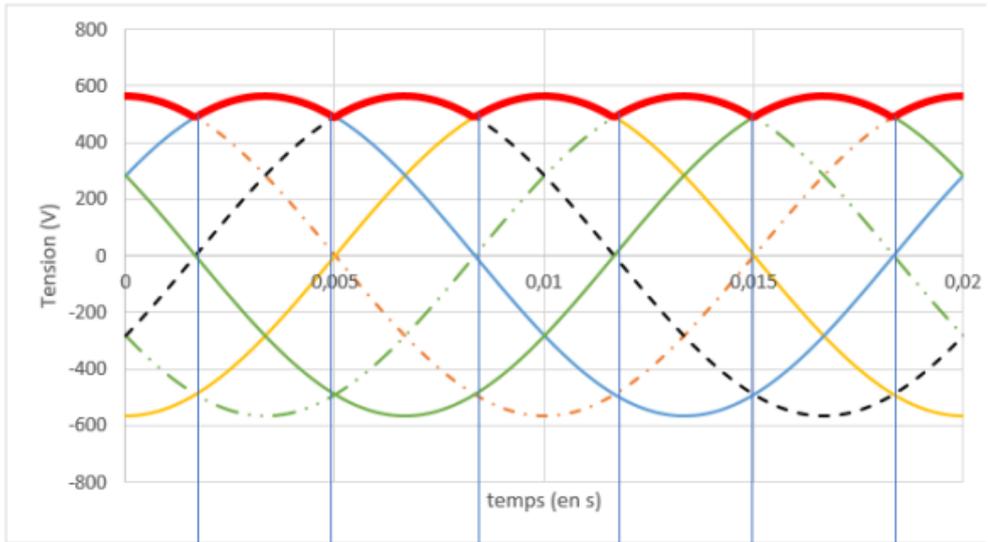
**Question 29 :** Un rapport V/f constant permet de limiter le courant de démarrage et d'obtenir un couple maximal quelle que soit la vitesse du moteur.

**Question 30 :** On a par définition de la valeur moyenne :

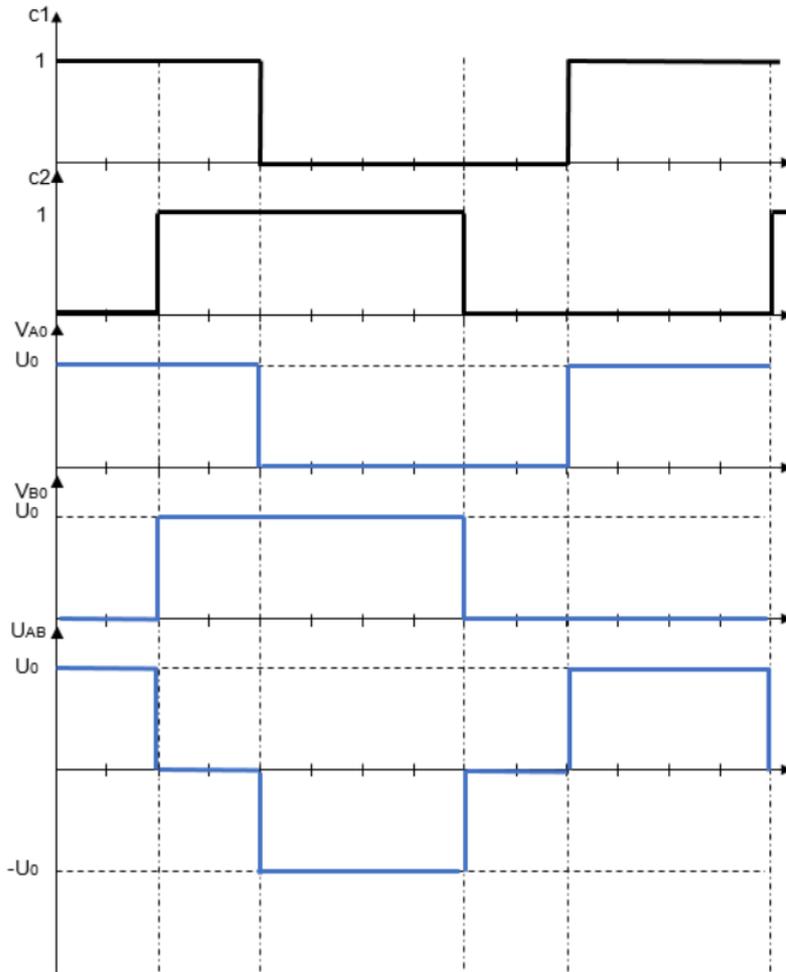
$$U_{moy} = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_1(t) \cdot dt = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt$$

$$U_{moy} = \frac{6}{T} \cdot \left[ \frac{U_{max}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \right]_{-T/12}^{T/12}$$

$$U_{moy} = \frac{6 \cdot U_{max}}{T \cdot \frac{2\pi}{T}} \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \text{ et donc } U_{moy} = \frac{3 \cdot U_{max}}{\pi} = 540.4 \text{ V}$$

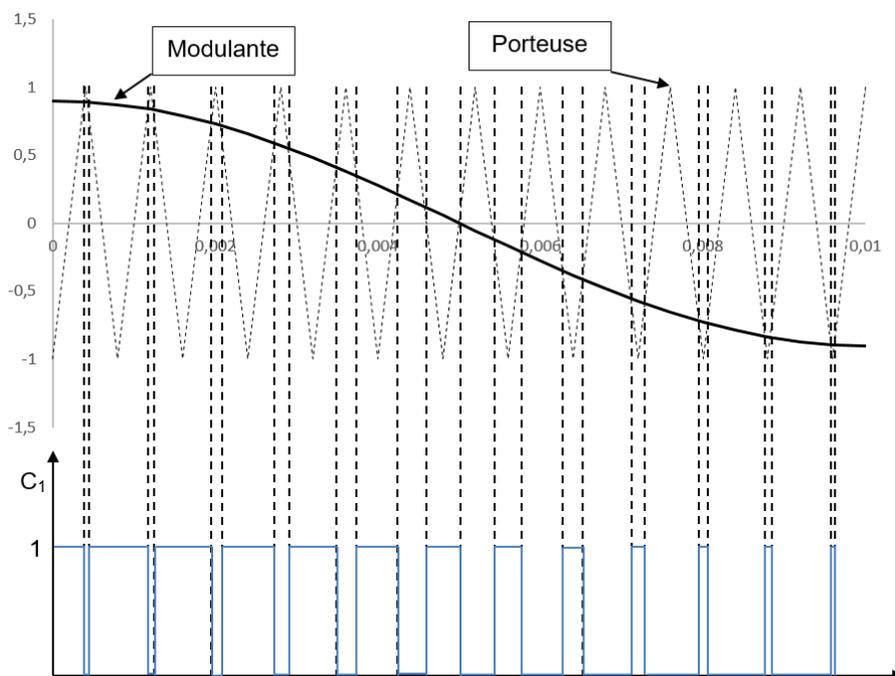


**Question 31 :**



**Question 32 :** La fonction étant paire, les harmoniques de rang pair sont nulles. Le déphasage entre  $C1$  et  $C2$  étant de  $120^\circ$ , les harmoniques de rang multiple de 3 sont nulles également.

**Question 33 :**



**Question 34 :** La MLI permet d'obtenir un signal plus proche d'un sinus ce qui permet de renvoyer les harmoniques du spectre autour de la fréquence de la porteuse et ainsi faciliter le filtrage.

**Question 35 :** Le capteur d'effort ainsi que l'utilisation de la machine asynchrone en hypersynchronisme permettent d'équilibrer les efforts dans les amarres ce qui permet de respecter l'exigence 1.6.2.1. L'utilisation d'un onduleur permet de faire tourner la machine asynchrone à vitesse variable et donc de faire varier la vitesse d'enroulement de l'amarre et donc de respecter l'exigence 1.6.2.2.

## V. Analyse thermique et évolution de local technique

**Question 36 :** Les trois modes de transfert thermique sont :

- La conduction : la différence de température entre deux régions d'un même milieu (ou de deux milieux en contact) provoque une agitation moléculaire entre ces deux régions amenant à un transfert thermique sans déplacement de matière ;
- La convection : le mouvement d'un fluide sur une paroi solide amène à un transfert thermique ;
- Le rayonnement : un transfert thermique est réalisé du fait de la réception (ou l'émission) d'un flux d'onde électromagnétique de faible longueur d'onde.

**Question 37 :** Une climatisation est présente par box de conversion afin de pouvoir réaliser la régulation en température seulement des boxes fonctionnant (les trois sites de test ne fonctionnent pas en continu, ni en simultané).

**Question 38 :** On néglige ici l'inertie thermique du local et des parois. Ainsi, les transferts étant totaux, aucune chaleur n'est emmagasinée par les murs, et le temps de réponse de l'air du local sera nul. Cela permet d'aboutir à une modélisation non seulement plus simple à résoudre, mais qui va aussi surdimensionner le système de régulation. Ainsi le système choisi sera forcément capable de réguler la température.

**Question 39 :** Le mode de transfert thermique mis en jeu ici est la conduction.

On a  $R_j = \frac{e_j}{\lambda_j S_j}$  avec :

$$S_{\text{vitre}} = 3 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \approx 0,48 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{mur}} = 2 \cdot (9 - 2 \cdot 0,062 + 2,666) \cdot (2,6955 - 0,16 - 0,062) - S_{\text{vitre}} \approx 56,9 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{toit}} = (9 - 2 \cdot 0,062) \cdot 2,666 \approx 23,7 \text{ m}^2$$

Et donc :

$$R_{\text{mur}} \approx 0,027 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{\text{vitre}} \approx 0,18 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{\text{toit}} \approx 0,058 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

**Question 40 :**

$$\Phi_p = \frac{1}{R_{T,p}} (T_e - T_i)$$

Les modes de transfert thermique mis en jeu dans l'équation précédente sont la conduction et la convection de la couche d'air considérée.

On a une association de trois résistances thermiques en série avec :

$$R_{T,j} = R_j + \frac{1}{h_{i,j} S_j} + \frac{1}{h_{e,j} S_j}$$

Et donc, on obtient :

$$R_{T,\text{mur}} \approx 0,03 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{T,\text{vitre}} \approx 0,54 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_{T,\text{toit}} \approx 0,06 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

**Question 41 :** On a alors pour modéliser la résistance thermique totale, l'association de trois résistances en parallèle :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{T,\text{mur}}} + \frac{1}{R_{T,\text{toit}}} + \frac{1}{R_{T,\text{vitre}}}$$

$$R_T \approx \frac{R_{T,mur} \cdot R_{T,toit} \cdot R_{T,vitre}}{R_{T,mur} \cdot R_{T,vitre} + R_{T,vitre} \cdot R_{T,toit} + R_{T,toit} \cdot R_{T,mur}}$$

D'où :  $R_T = 0,019 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$

**Question 42 :** Sur la courbe, on relève  $T_{e,max} = 41^\circ\text{C}$  et  $T_{e,min} = -3^\circ\text{C}$ . On a donc :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{41 - 23}{0,019} \approx 950 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-3 - 23}{0,019} \approx -1370 \text{ W}$

**Question 43 :** Avec un coefficient de sécurité de 5, le système de régulation doit pouvoir fournir au minimum  $5 \cdot 1370 = 6850 \text{ W}$ . Avec 3 climatisations de 2,43 kW chacune, il fournit 7290 W. Le système de climatisation est bien dimensionné.

Les hypothèses prises sont très réductrices, notamment au niveau de la prise en compte du rayonnement et des différents ponts thermiques. En effet qu'ils soient localisés dans le temps (passage de technicien ou d'exploitant) ou plus globaux (ponts thermiques dus aux jours dans l'assemblage du local technique qui est un préfabriqué, avec passage de câbles et 4 portes d'accès), les pertes seront bien plus grandes. Ceci explique le très grand coefficient de sécurité utilisé.

**Question 44 :** Dans la conception d'un bâtiment, le BIM permet de mettre en relation de manière instantanée, les différents corps de métiers prenant part au projet. Ainsi une modification, réalisée par exemple par l'équipe en charge du câblage électrique, sera transmise aux autres équipes qui pourront la prendre en compte dans leur travail de conception et de réalisation.

Dans notre étude, le BIM permet d'élaborer et de modifier en temps réels des simulations qui permettront une étude plus fine que celle réalisée précédemment. On pourra prendre notamment en compte les différentes inerties thermiques et les différents ponts thermiques globaux qui sont paramétrables dans ce type d'étude, ainsi que les transferts réalisés par rayonnement (surtout l'été). Les ponts thermiques locaux sont quant à eux plus difficiles à modéliser dans ce type d'étude. C'est pourquoi un coefficient de sécurité est encore nécessaire.

**Question 45 :** La valeur de température moyenne extérieure varie au cours de l'année et son signe est amené à changer (négatif l'hiver et inférieur à  $23^\circ\text{C}$  – flux donc négatif). Ceci explique le changement de signe de la tendance du flux thermique.

De plus, au cours d'une journée, de fortes variations de température peuvent intervenir. Ceci explique les pics d'oscillation.

**Question 46 :** A la vue des signes de la figure 31, elle représente le flux thermique de l'intérieur vers l'extérieur, c'est-à-dire l'opposé des flux calculés précédemment. Le flux thermique à fournir par le système de régulation pour maintenir le système à la bonne température sera donc celui relevé sur la figure 31 (négatif l'été pour rafraîchir et positif l'hiver pour réchauffer) :

- $\Phi_{reg,max} \approx 2,4 \text{ kW}$
- $\Phi_{reg,min} \approx -1,7 \text{ kW}$

On trouve de grandes différences avec les résultats de la question 42 (en prenant en compte le changement de signe), qui viennent principalement de la non prise en compte des ponts thermiques locaux.

Néanmoins, avec un coefficient de sécurité de 3, la climatisation réversible devra fournir au maximum 7,2 kW, ce qui reste inférieur à sa capacité de 7,29 kW.

On voit alors que si on pré-dimensionne le système de régulation avec un coefficient de sécurité de 5 (6,9 kW), cela équivaut approximativement à un dimensionnement plus fin avec un coefficient de sécurité de 3 (7,2 kW).

**Question 47 :** Le résultat de la question 41 donne alors avec les nouvelles valeurs extrêmes de température :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{51 - 23}{0,019} \approx 1470 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-6 - 23}{0,019} \approx -1520 \text{ W}$

Avec un coefficient de sécurité de 5, on obtient alors une puissance nécessaire pour le système de régulation de  $1520.5 = 7,6 \text{ kW}$ .

Cette valeur est plus grande que la puissance disponible. Le système de régulation n'est pas capable d'encaisser ces pics de température et donc de permettre un fonctionnement optimal du site d'essais.

**Question 48** : Afin de respecter l'exigence 1.4.2.1, deux solutions sont envisageables :

- Augmenter la puissance fournie par le dispositif de régulation en ajoutant une climatisation réversible dans le local ;
- Augmenter la résistance thermique globale du local  $R_T$  en agissant sur le type de matériaux utilisés ou leur épaisseur.

## VI. Bilan énergétique du site d'exploitation

**Question 49** : Dans cette question les modèles de l'évolution de la vitesse du courant du fleuve et de la puissance en sortie de génératrice sont donnés.

$$E_6 = \int_0^T K \left( V \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right)^3 dt \text{ avec } (\sin(t))^3 = \frac{3}{4} \sin t - \frac{1}{4} \sin 3t \text{ que l'on retrouve en linéarisant.}$$

Le calcul de l'intégrale donne :  $E_6 = \frac{2KV^3T}{3\pi}$  (en Wh)

Ce qui fait une énergie de  $E_6 = 73 \text{ kWh}$

**Question 50** : Dans le pire des cas, le système de régulation a besoin de 2400 W (figure de simulation). Ce qui donne sur 6 heures, une énergie de  $E_{12,nec} = 14 \text{ kWh}$ , ce qui représente 20% de l'énergie produite. Il reste alors 80% de l'énergie produite par la seule plateforme Bilbao, dans le pire des cas, pour le reste des systèmes du site de test (commande des treuils, ...). Cela semble largement suffisant pour permettre au site d'être autonome. L'exigence 1.4.2.1 est ainsi validée.

## D. Commentaires du jury

Le sujet comporte six parties indépendantes, dans lesquelles on retrouve des sous parties, elles aussi indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre le temps de parcourir l'ensemble du sujet afin de s'imprégner de l'objectif de celui-ci. En effet, l'étude d'un système pluritechnologique a pour objectif d'utiliser des notions théoriques et scientifiques dans le but de répondre aux exigences de cet objet. Un objectif bien souvent oublié par les candidats au moment de faire des hypothèses simplificatrices, de vérifier de la cohérence d'une application numérique ou encore de formuler une conclusion.

De manière générale, la clarté de la rédaction est insuffisante pour ce type de concours, et les résultats ne sont pas toujours mis en valeur. Les raisonnements sont bien souvent pas ou mal expliqués ce qui démontre un manque de connaissance des notions abordées par le candidat. Cette première épreuve se voulant être transversale, une compétence indispensable aux futurs enseignants de sciences industrielles de l'ingénieur, il est conseillé aux candidats d'aborder le sujet dans l'ordre des questions et de s'attacher à traiter l'ensemble des parties. Les parties étant indépendantes et de difficultés croissantes, il est possible pour chaque candidat d'exprimer ses connaissances et ses compétences à la fois transverses, mais également disciplinaires. La correction de cette épreuve montre que les candidats traitant l'ensemble des parties en s'appuyant sur les quatre domaines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur, sont les candidats qui réussissent le mieux cette épreuve. Par conséquent, le jury conseille aux candidats d'approfondir leurs connaissances dans l'ensemble des champs disciplinaires.

Le jury constate également un manque de vigilance des candidats sur l'écriture des expressions littérales. Le jury conseille aux candidats de vérifier la cohérence des expressions littérales, ainsi que leur homogénéité.

La première partie est une mise en situation du sujet et ne comporte pas de question.

La deuxième partie porte sur les stratégies de pilotage et de communication. Cette partie introductive propose aux candidats d'avoir une vision globale du système étudié. Les candidats ont globalement bien abordé cette partie. Le jury constate malheureusement que beaucoup de candidats ne maîtrisent pas les bases de la programmation python à la fois sur la syntaxe du langage, mais également sur les fondamentaux du raisonnement nécessaire à la programmation. Un diagramme d'état était également proposé à l'étude, la moitié seulement des candidats a réussi la lecture du diagramme proposé, et seulement une minorité des candidats ont réussi à compléter le diagramme partiel proposé. Enfin une lecture de trames internet est proposée dans cette fin de partie. Une majorité des candidats sont capables de lire, d'extraire et de convertir les informations issues d'une trame, mais le lien entre les résultats obtenus et la documentation technique ne sont pas toujours corrects.

La troisième partie propose aux candidats de valider le dimensionnement de la chaîne de puissance assurant le positionnement de la plateforme. Cette partie est la moins réussie par les candidats. De manière générale, les théorèmes fondamentaux de la mécanique ne sont pas maîtrisés par une grande majorité. Pour les candidats qui se sont essayés à l'exercice, le jury regrette le manque d'explications claires et précises des théorèmes utilisés, des hypothèses retenues, ainsi qu'une démarche rigoureuse du début jusqu'à la fin. Le jury constate également que l'application de notions trigonométriques n'est pas maîtrisée par l'ensemble des candidats.

La quatrième partie porte sur l'étude de la commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage. Le jury regrette le manque de vigilance des candidats à utiliser les notations clairement définies dans le sujet. Beaucoup de candidats ont alors mélangé des grandeurs physiques comme la pulsation électrique, la pulsation de synchronisme et la vitesse de rotation du moteur. Le jury regrette également le manque de maîtrise des outils mathématiques pour résoudre les problématiques proposées, comme le calcul intégral pour la valeur moyenne de la tension ou le calcul de la dérivée pour trouver le couple maximum. Le jury conseille également aux candidats d'être plus rigoureux sur les conclusions et ainsi de vérifier d'avoir traité l'ensemble des exigences à valider.

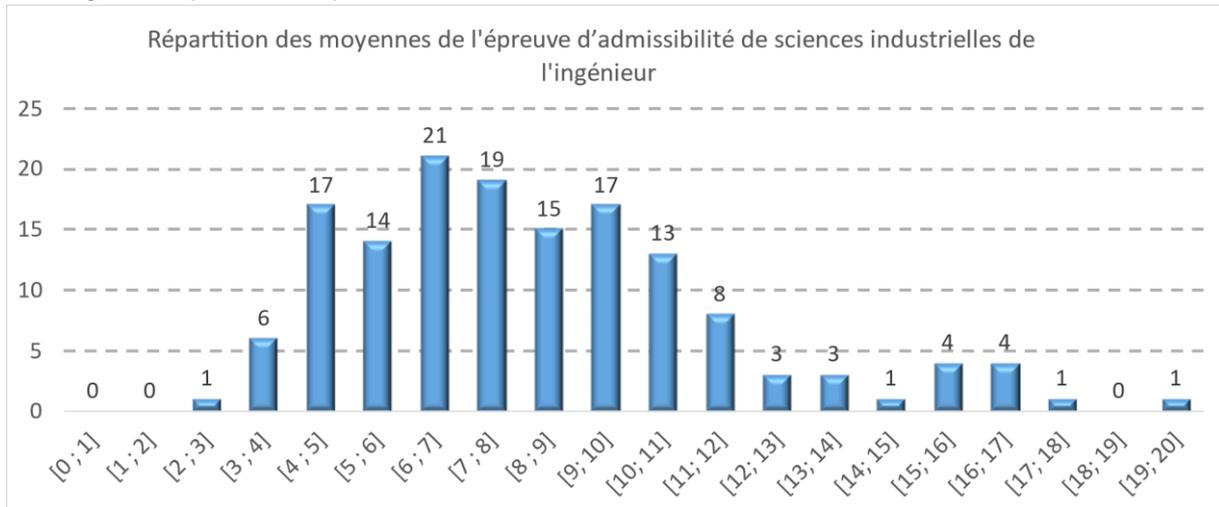
La cinquième partie porte sur l'analyse thermique et l'évolution du local technique. L'étude propose aux candidats d'étudier les transferts thermiques. Trop de candidats ne maîtrisent pas les principes physiques mis en jeu. Trop de candidats n'ont pas lu correctement certaines questions ce qui a conduit à des réponses approximatives, incomplètes et souvent hors sujet par rapport à certaines questions. La lecture des plans et de la documentation technique a posé des difficultés aux candidats ce qui n'a pas

permis de conduire l'étude des résistances thermiques jusqu'à la fin. Pour l'expression de la résistance équivalente, beaucoup de candidats n'ont pas compris que les résistances thermiques sont ici en parallèle et non en série. Enfin les avantages de l'utilisation d'une modélisation BIM ne sont pas maîtrisés par beaucoup de candidats.

La sixième partie porte sur le bilan énergétique du site d'exploitation. Peu de candidat ont abordé cette partie. Les candidats ayant essayé cette partie n'ont majoritairement pas réussi à faire aboutir leurs calculs.

## E. Résultats

L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.



# Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

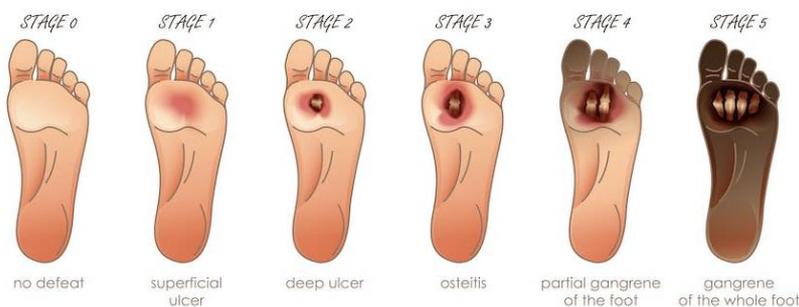
L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12324/download>

Le support de l'étude repose sur un projet d'une équipe de recherche d'un laboratoire de l'Université Paris Saclay sur la conception et la mise en œuvre d'une semelle instrumentée pour le suivi médical de patients diabétiques. Les principales pathologies liées au pied diabétique incluent les ulcères comme le montrent les illustrations suivantes, les infections, les déformations et les blessures non détectées. Ces pathologies peuvent aboutir dans les cas les plus graves à une amputation.



Évolution d'un ulcère pour un pied diabétique



Ulcère

Comme les ulcères du pied sont une complication fréquente et peuvent évoluer rapidement en raison de la réduction de la sensation et de la capacité du corps à guérir, l'équipe de recherche a donc développé une semelle instrumentée pour le suivi médical personnalisé de patient diabétique. L'idée proposée dans le projet de recherche consiste à développer des techniques de mesures non invasives associant l'exploitation des données sur le suivi de l'appui plantaire et la mesure des variations de la bio-impédance.

Le système étudié dans ce sujet concerne l'électronique de traitement des signaux issus des capteurs et de la transmission radio sur les semelles des pieds gauche et droit. La version étudiée dans ce sujet est basée sur le premier prototype fonctionnel développé par l'équipe de recherche et utilisé sur des patients tests.

## C. Éléments de correction

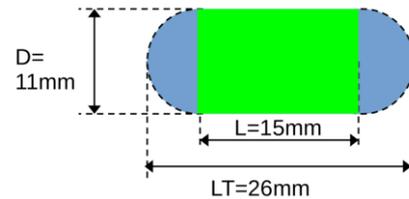
### 2. Analyse de l'appui plantaire

#### 2.1. Une semelle avec capteur de force

##### Question 1

La surface se décompose entre un disque bleu et un rectangle vert représentés ci-contre :

$$S = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 + D.L = 260\text{mm}^2 = 2,6 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$



##### Question 2

La documentation commerciale précise : Sensitivity range : 500g-10kg.

$$|F| = M.g = 10\text{kg} \cdot 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2} = 98,1\text{N}$$

Rappel : 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

Donc la pression max = Fmax/surface => 377,3 kPa

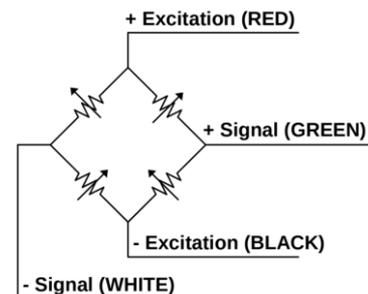
##### Question 3

Lors du déroulement du pied ou de l'attaque talon, le poids se trouve réparti sur 2 ou 3 capteurs et sur une surface de semelle équivalente à ~4,4 ou 6,9 largeurs de capteurs (48 mm au talon, 76 mm sous la plante de pied). 70 / 4,4 ou 6,9 > 10 kg. Les capteurs a priori sortent de la zone de mesure. C'est limite pour ceux de la plante.

#### 2.2. Mise en œuvre de la caractérisation des éléments la semelle

##### Question 4

Le capteur de pression est basé sur une jauge de contrainte dont la résistance électrique varie par déformation mécanique. Le schéma de ce type de capteur est un pont de Wheatstone comme le montre la figure ci-contre. Les 4 résistances varient autour de la valeur 350 Ω comme indiqué dans le tableau de la documentation constructeur (BRIDGE RESISTANCE)

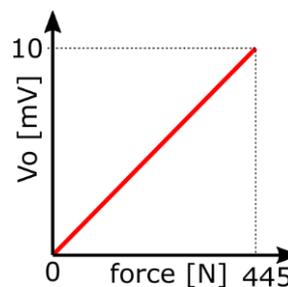


##### Question 5

Comme le capteur possède une étendue de mesure jusqu'à 445 N, il permet de caractériser totalement la plage de fonctionnement des capteurs de la semelle qui est limitée à 98,1 N. Par ailleurs la dimension du capteur de 6,7mmx8mm permet avec une cale d'appui d'appuyer sur la zone sensible d'un capteur de force de la semelle.

##### Question 6

Dans le tableau il est noté 2mV/V @ 445 N. Comme l'alimentation est de 5V, une tension de 10mV est obtenue pour une force de 445 N.



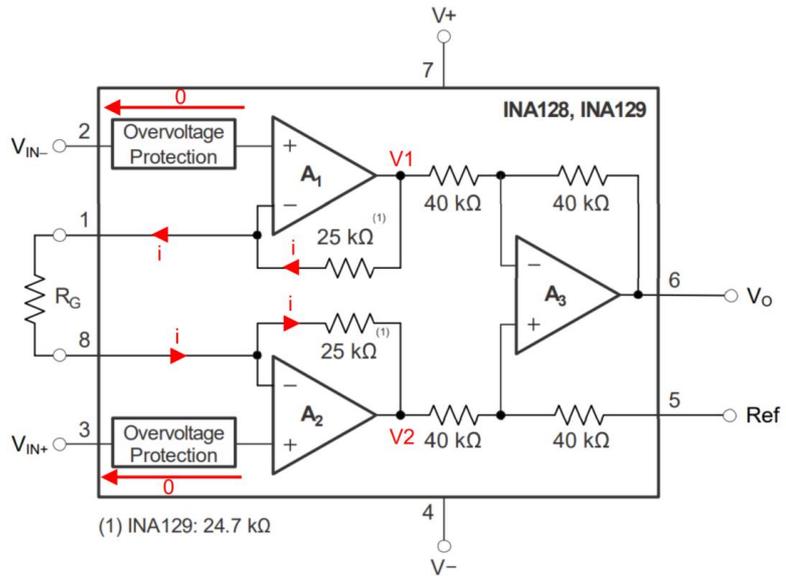
##### Question 7

Pour retrouver l'expression littérale, les 3 amplificateurs opérationnels sont considérés comme parfaits et fonctionnant en régime linéaire.

En établissant les potentiels sur les entrées - & + de l'amplificateur opérationnel A3 il est possible d'écrire :

$$\frac{V1 + V_o}{2} = \frac{V2 + Ref}{2}$$

Soit  $V_o = V2 - V1 + Ref$



En établissant une loi des mailles en entrée :  $V_{IN-} = R_G i + V_{IN+}$  donc  $V_{IN-} - V_{IN+} = R_G i$   
Par ailleurs  $V1 = 25k\Omega \cdot i + R_G i + 25k\Omega \cdot i + V2$  donc  $V1 - V2 = (50k\Omega + R_G) i$

Ce qui permet d'écrire  $V1 - V2 = \left(1 + \frac{50k\Omega}{R_G}\right) \cdot (V_{IN-} - V_{IN+})$

La tension de sortie est donc déterminée par  $V_o = \left(1 + \frac{50k\Omega}{R_G}\right) \cdot (V_{IN+} - V_{IN-}) + Ref$

Ce qui permet de mettre en évidence le gain  $\left(1 + \frac{50k\Omega}{R_G}\right)$  de l'amplificateur d'instrumentation.

La sensibilité du capteur FUTEK est de 10mV pour 445N

Ce qui correspond à une tension en sortie de 10mV.100N/445N pour une pression de 100N

Pour obtenir une tension en sortie de 1V pour 100N il faut fixer un gain pour l'amplificateur d'instrumentation  $G = \frac{1V \cdot 445N}{10mV \cdot 100N} = 445$  donc  $R_G = \frac{50k\Omega}{G-1} = 112,6\Omega$

### Question 8

Common Mode Rejection : réjection du mode commun entre les entrées  $V_{IN-}$  et  $V_{IN+}$ .

Si pont de résistance équilibré alimenté à 5V, le mode commun est 2,5V.  $2,5V \cdot G$  trop grand pour alimentation d'un montage à base d'AOp.

## 2.3. Mesures & interface de conditionnement associé

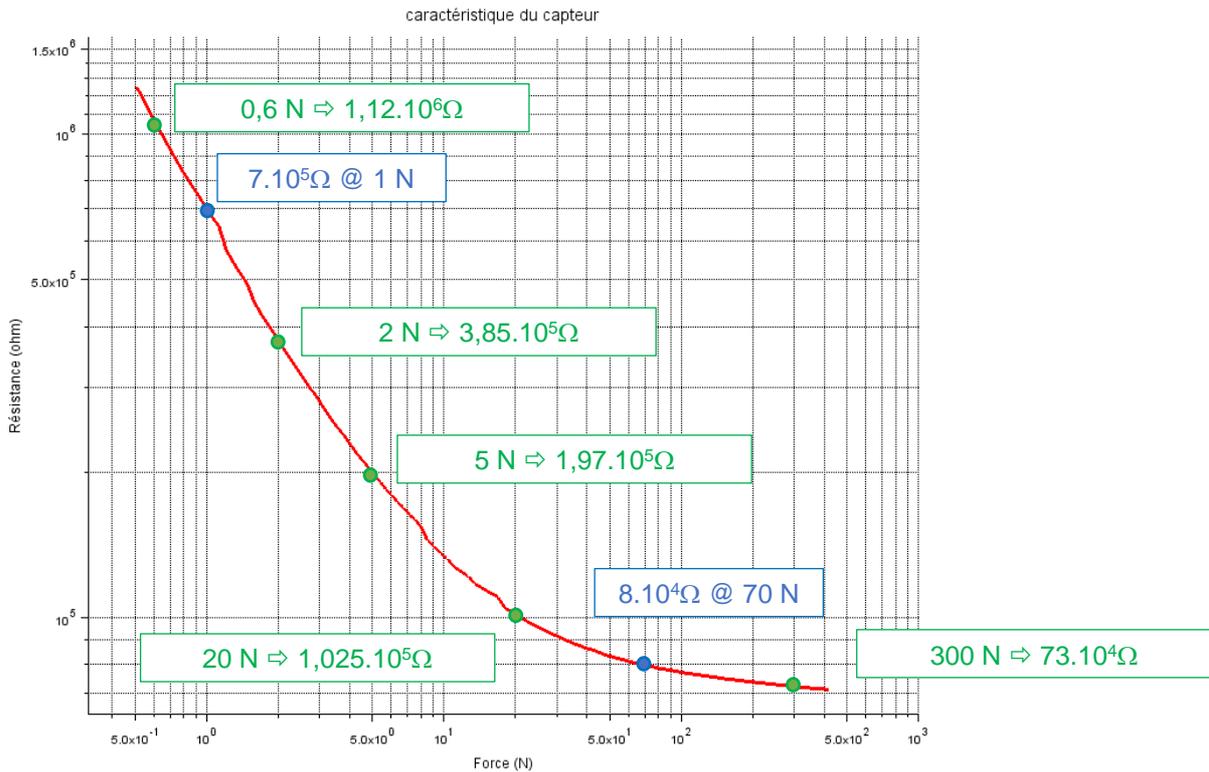
### Question 9

Les 2 points de références en bleu sont pris de telle sorte à avoir une lecture correcte sur l'échelle logarithmique et suffisamment distants pour prendre en considération la non-linéarité de la caractéristique.

$$\begin{cases} 7 \cdot 10^5 = R_0 + \frac{\beta}{1} \\ 8 \cdot 10^4 = R_0 + \frac{\beta}{70} \end{cases} \text{ donc } 7 \cdot 10^5 - 8 \cdot 10^4 = \frac{\beta}{1} - \frac{\beta}{70} \text{ soit } 6,2 \cdot 10^5 = \frac{69 \cdot \beta}{70}$$

donc  $\beta = 629 \cdot kW \cdot N$  ce qui permet d'en déduire  $R_0 = 71 \cdot kW$

En utilisant les valeurs, il est possible de vérifier la validité de cette modélisation en effectuant le calcul pour les points verts positionnés sur le graphique et qui coïncident avec la caractéristique.



### Question 10

Un multiplexeur analogique est considéré parfait lorsque les hypothèses suivantes sont respectées :

- Pas de perte de signal : résistance à l'état passant nulle
- Pas d'interférence entre les signaux : isolation totale entre les entrées

### Question 11

L'entrée /E est une entrée Enable qui doit être au niveau bas pour obtenir le fonctionnement du multiplexeur. Il faut donc relier l'entrée /E à la masse.

### Question 12

Dans le cas où le microcontrôleur place les 3 entrées  $S_0$ ,  $S_1$  et  $S_2$  à l'état haut, la broche Z est reliée à la voie Y7.

En se plaçant en régime continu, le condensateur  $C_F$  est considéré comme un circuit ouvert. Le montage proposé est donc un simple pont diviseur de tension suivi d'un amplificateur non inverseur :

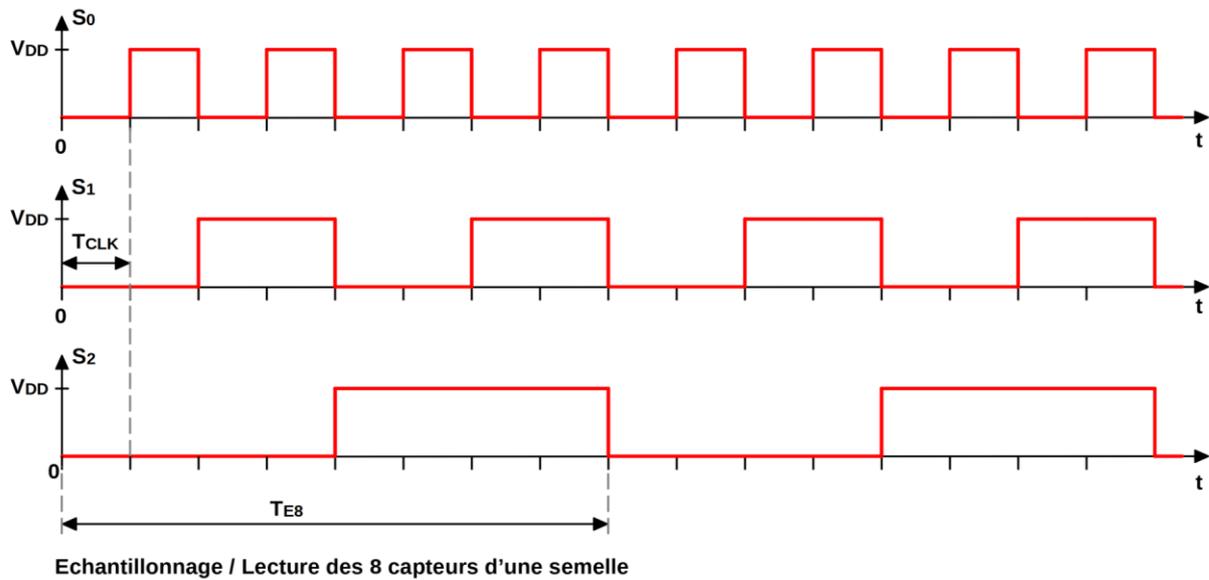
$$V_A = \left(1 + \frac{R_G}{R_{FSR8}}\right) \cdot \left(\frac{R_B}{R_B + R_A}\right) \cdot V_{DD}$$

Pour  $F = 0,5 \text{ N}$  alors  $R_{FSR8} = 1,329 \text{ M}\Omega$  soit  $V_A = 0,43 \text{ V}$

Pour  $F = 100 \text{ N}$  alors  $R_{FSR8} = 77,29 \text{ k}\Omega$  soit  $V_A = 2,944 \text{ V}$

La tension  $V_A$  reste bien dans les limites 0 – 3,3V compatible avec l'alimentation des composants (Ampli-op & Entrée analogique du microcontrôleur)

### Question 13



120 pas par minute correspond à 2 pas par seconde. Comme il faut 20 points de mesures pour décrire 1 pas, il faut donc 40 points de mesure par seconde. Une mesure complète est effectuée sur une durée  $T_{E8}$  soit 25ms. Dans le graphique précédent  $T_{CLK}=3,125ms$  ce qui représente une fréquence  $F_{CLK}=320Hz$ . Comme à chaque acquisition la conversion est effectuée sur 8 bits cela donne un débit binaire brut  $D=8 \times 320=2560$  bit/s

### Question 14

Le condensateur  $C_F$  permet de réaliser un filtre passe bas avec la résistance  $R_F$  et permet d'éviter des sauts de tension brusque entre chaque commutation du multiplexeur.

En fixant comme limite  $T_{CLK} > 5 \cdot \tau$  alors  $C_F < 833$  pF pour laisser du temps au système de répondre. Le filtre peut également être vu comme un filtre anti-repliement.

### 3. Mesure de la bio-impédance

#### 3.1. Généralités autour de la bio-impédance

##### Question 15

L'impédance est constituée d'une résistance  $R_E$  en série avec une association en parallèle du condensateur  $C_M$  et d'une résistance  $R_M$

$$Z_{BIO} = R_E + \frac{R_M \cdot \frac{1}{jC_M\omega}}{R_M + \frac{1}{jC_M\omega}} = R_E + \frac{R_M}{1 + jC_M\omega R_M}$$

Soit

$$Z_{BIO} = R_E + \frac{R_M \cdot (1 - jC_M\omega R_M)}{1 + (C_M\omega R_M)^2}$$

Il est alors possible de séparer les parties réelles et imaginaires :

$$\text{Partie Réelle : } Re(Z_{BIO}) = R_E + \frac{R_M}{1 + (C_M\omega R_M)^2}$$

$$\text{Partie Imaginaire : } Im(Z_{BIO}) = -\frac{C_M\omega \cdot (R_M)^2}{1 + (C_M\omega R_M)^2}$$

##### Question 16/17

En posant  $x = C_M\omega R_M$

$$Re(Z_{BIO}) = R_E + \frac{R_M}{1+x^2} \text{ et } Im(Z_{BIO}) = -\frac{R_M x}{1+x^2}$$

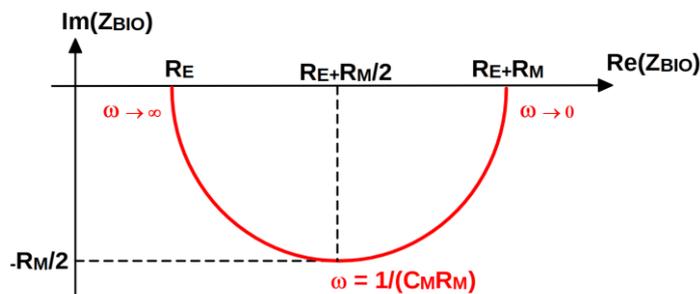
Lorsque  $\omega \rightarrow 0$  soit  $x \rightarrow 0$  alors  $Re(Z_{BIO}) = R_E + R_M$  et  $Im(Z_{BIO}) = 0$

Lorsque  $\omega \rightarrow \infty$  soit  $x \rightarrow \infty$  alors  $Re(Z_{BIO}) = R_E$  et  $Im(Z_{BIO}) = 0$

$$\frac{dIm(Z_{BIO})}{dx} = -\frac{-R_M(1+x^2) + R_M x \cdot 2x}{(1+x^2)^2}$$

donc  $\frac{dIm(Z_{BIO})}{dx} = \frac{R_M(x^2-1)}{(1+x^2)^2}$  soit  $\frac{dIm(Z_{BIO})}{dx} = 0$  pour  $x = 1$  (ou  $x = -1$  cas non étudié ici)

$x = 1$  correspond à la pulsation  $\omega = \frac{1}{R_M C_M}$  ce qui donne  $Im(Z_{BIO}) = -\frac{R_M}{2}$



#### 3.2. Les bases concernant la mesure d'impédance

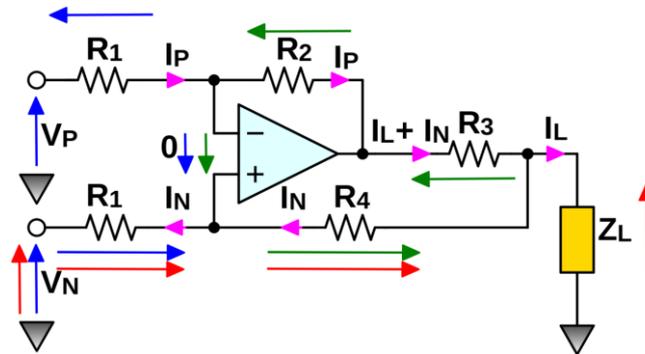
##### Question 18

Dans le cas d'une mesure avec 4 points, il n'y a pas de chute de tension dans les impédances de contact  $Z_{el}$  de la mesure de tension, car aucun courant ne circule (très haute impédance d'entrée de la partie voltmètre). Donc  $V_{ac}$  correspond directement à  $I_{ac} \cdot Z_{bio}$

Alors qu'en 2 points :  $V_{ac} = I_{ac} \cdot (Z_{bio} + 2Z_{el})$ .

### Question 19

L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire donc  $V_- = V_+$



En adoptant les conventions courant & tension représentées sur le schéma proposé il est possible d'écrire 3 lois des mailles correspondant aux 3 couleurs Bleu/Rouge & Vert

$$V_P = R_1 \cdot I_P + R_5 \cdot I_N + V_N \quad \text{donc} \quad I_P = \frac{V_P - V_N}{R_1} - \frac{R_5}{R_1} \cdot I_N$$

$$R_4 \cdot I_N + R_3 \cdot (I_N + I_L) + R_2 \cdot I_P = 0 \quad \text{donc} \quad I_L = -I_N \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - \frac{R_2}{R_3} \cdot I_P$$

$$V_N + R_5 \cdot I_N + R_4 \cdot I_N = Z_L \cdot I_L \quad \text{donc} \quad I_N = I_L \cdot \frac{Z_L}{R_5 + R_4} - \frac{V_N}{R_5 + R_4}$$

En utilisant les 3 équations précédentes il vient :

$$I_L = -\left(\frac{I_L Z_L}{R_5 + R_4} - \frac{V_N}{R_5 + R_4}\right) \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - \frac{R_2}{R_3} \cdot \left(\frac{V_P - V_N}{R_1} - \frac{R_5}{R_1} \cdot \frac{I_L Z_L}{R_5 + R_4} + \frac{R_5}{R_1} \cdot \frac{V_N}{R_5 + R_4}\right)$$

de la forme  $I_L = I_L Z_L \cdot A + I_X$  ce qui donne  $I_L = \frac{I_X}{1 - Z_L \cdot A}$

Avec

$$A = \frac{R_2 R_5 - R_1 (R_3 + R_4)}{R_3 R_1 (R_5 + R_4)} \quad I_X = \frac{V_N}{R_5 + R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) - \frac{R_2}{R_3} \cdot \left(\frac{V_P - V_N}{R_1} + \frac{R_5}{R_1} \cdot \frac{V_N}{R_5 + R_4}\right)$$

### Question 20

Pour obtenir une véritable source de courant (courant indépendant de la valeur de la charge), il faut que le paramètre A introduit dans l'équation précédente soit nul ce qui permet d'aboutir à la condition suivante :

$$R_2 R_5 = R_1 (R_3 + R_4)$$

Dans ces conditions l'expression du courant  $I_L$

$$I_L = \frac{V_N}{R_5 + R_4} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3} - \frac{R_2}{R_3} \cdot \left(\frac{V_P - V_N}{R_1}\right) - \frac{R_2 R_5}{R_3 R_1} \cdot \left(\frac{V_N}{R_5 + R_4}\right)$$

Peut se simplifier

$$I_L = -\frac{R_2}{R_3} \cdot \left(\frac{V_P - V_N}{R_1}\right)$$

### Question 21

Pour la source de courant symétrique, on constate que :

$$R_1 = R_2 = R_4 = R$$

$$R_3 = R_5$$

$$R_5 = R_P$$

La condition devient donc  $RR_p = R(R_s + R)$  soit  $R_p = R_s + R$   
 Donc pour la source de courant du haut :

$$I_L = -\frac{R}{R_s} \cdot \left(\frac{V_{IN} - 0}{R}\right) = -\frac{V_{IN}}{R_s}$$

Et pour la source de courant du bas

$$-I_L = -\frac{R}{R_s} \cdot \left(\frac{0 - V_{IN}}{R}\right) = +\frac{V_{IN}}{R_s}$$

Ce qui est cohérent !

### 3.3. Source de courant avec le circuit MAX30009

#### Question 22

$$I_{OUT} = \frac{V_{IN}}{R_1}$$

Cela n'est possible que si l'amplificateur opérationnel travaille en régime linéaire.

Il faut donc ne pas obtenir de saturation en sortie de l'ampli soit  $|Z| \cdot I_{out} < V_{lim\ ampli}$ .

Il faut par ailleurs s'assurer que l'impédance ne provoque pas d'instabilité dans le fonctionnement de l'amplificateur opérationnel.

Il faut également avoir un courant  $I_{out}$  bien plus grand que le courant sur l'entrée I- ce qui est généralement le cas pour les amplificateurs opérationnels.

#### Question 23

Courant 16nArms à 1.28mArms, 16Hz à 806kHz.

Mode four-electrode ou two-electrode.

Amplitude du courant de façon à ne pas dépasser 1Vpp au niveau des ports BIN et BIP.

Limitations pour la sécurité du patient Table 10.

#### Question 24

BIOZ acronyme composant, DRV : driver, RESET : désactivation

BIOZ\_DRV\_RESET ramène la sortie de l'ampli à VMID\_TX. Suiveur entre DRVP et DRVN même potentiel, plus de courant.

BIOZ\_DC\_RESTORE : DC réactive la source de courant.

#### Question 25

Blocking capacitor Cext : élimine la composante continue du courant dans le corps du patient (47nF recommandé).

### 3.4. Principe de la détection synchrone et conversion analogique/numérique

#### Question 26

$$I_{DDS} = I_M \sin(2\pi f_{BIO} t)$$

En régime permanent :

$$V_{MES} = KI_M |Z_{BIO}| \cdot \sin(2\pi f_{BIO} t + \text{Arg}(Z_{BIO}))$$

La décomposition en série de Fourier d'un signal carré symétrique est triviale :

$$P_{0^\circ} = \frac{4}{\pi} \sin(2\pi f_{BIO} t) + \frac{4}{3\pi} \sin(2\pi 3 f_{BIO} t) + \frac{4}{5\pi} \sin(2\pi 5 f_{BIO} t) + \dots$$

$$P_{90^\circ} = \frac{4}{\pi} \cos(2\pi f_{BIO} t) - \frac{4}{3\pi} \cos(2\pi 3 f_{BIO} t) + \frac{4}{5\pi} \cos(2\pi 5 f_{BIO} t) + \dots$$

#### Question 27

$$V_{M1} = V_{MES} P_{0^\circ} \quad \text{En sachant que } \sin(a) \cdot \sin(b) = \frac{1}{2} \cdot \cos(a - b) - \frac{1}{2} \cdot \cos(a + b)$$

$$\text{donc } V_{M1} = \frac{2KI_M}{\pi} |Z_{BIO}| \cdot \cos(\text{Arg}(Z_{BIO})) + \dots$$

La suite de l'expression contient des termes en

$$\cos(2\pi 2 f_{BIO} t + /- \text{Arg}(Z_{BIO})) \quad \cos(2\pi 4 f_{BIO} t + /- \text{Arg}(Z_{BIO}))$$

qu'il n'est pas utile de détailler car ils seront éliminés par le filtre passe bas qui suit.

**Question 28**

Comme la fréquence de coupure du filtre est très inférieure à  $2f_{BIO}$ , les composantes fréquentielles sont supprimées et on ne conserve que le terme

$$V_{S1} = \frac{2KI_M}{\pi} |Z_{BIO}| \cdot \cos(\text{Arg}(Z_{BIO}))$$

**Question 29**

Par analogie sur l'autre voie on retrouve

$$V_{S2} = \frac{2KI_M}{\pi} |Z_{BIO}| \cdot \sin(\text{Arg}(Z_{BIO}))$$

Comme les valeurs de  $K$  et  $I_M$  sont connues, en effectuant une conversion analogique/numérique des tensions  $V_{S1}$  et  $V_{S2}$  on en déduit facilement les parties réelles et imaginaires de la bio impédance.

**Question 30**

AntiAliasing Filter, 600 Hz. Correspond à la moitié du sampling rate du sigma-delta.

**Question 31**

Un bruit blanc possède une densité spectrale de puissance constante sur une grande plage de fréquence. Comme la détection synchrone réalise une opération de changement de fréquence en ramenant l'information contenue autour de  $f_{bio}$  vers une composante continue, seul le bruit présent dans la bande passante du filtre AAF n'est pas filtré.

En diminuant la bande équivalente de bruit, on diminue considérablement la puissance de bruit et on augmente ainsi le rapport signal sur bruit.

**3.5. Conversion analogique/numérique et filtre décimateur**

**Question 32**

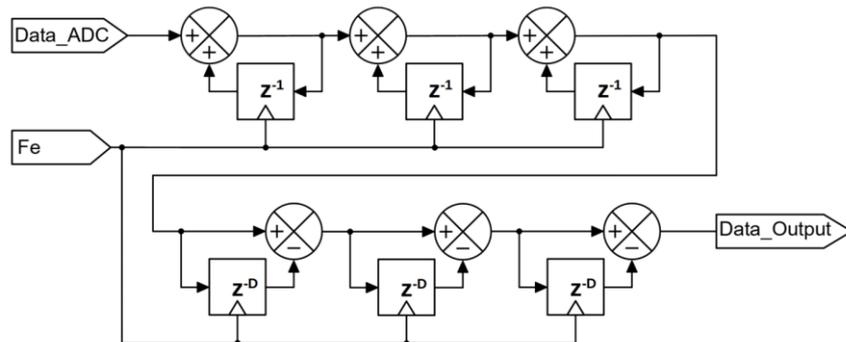
Les convertisseurs analogique-numérique  $\Sigma\Delta$  peuvent atteindre des résolutions très importantes du fait du sur-échantillonnage et de la mise en forme du bruit de quantification qui permet de le rejeter en dehors de la bande utile.

**Question 33**

fréquence  $SR_{BIOZ} = F_e/D$

L'opérateur  $z^{-1}$  modélise un retard d'une période  $T_e$  et donc l'opérateur  $z^{-D}$  représente donc un retard d'une période  $D \cdot T_e$

Comme la fréquence  $SR_{BIOZ}$  est celle de  $F_e$  divisée par un coefficient  $D$ , alors sa période est bien multipliée par un coefficient  $D$ . L'opérateur  $z^{-1}$  travaillant à la fréquence  $SR_{BIOZ}$  correspond donc à un opérateur  $z^{-D}$  travaillant à la même fréquence  $F_e$ . Le schéma du filtre est donc le suivant :

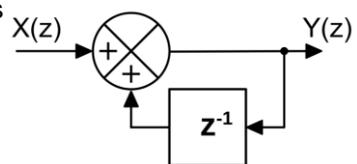


**Question 34**

Le schéma bloc est décomposé en une série de 3 premiers blocs suivants :  $Y(z) = X(z) + Y(z) \cdot z^{-1}$

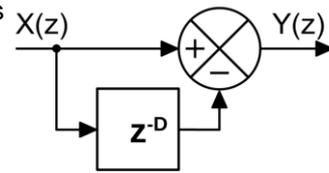
Cela permet d'aboutir à la fonction de transfert élémentaire :

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$



La suite du schéma bloc est décomposé en une série de 3 blocs identiques tels que :  $Y(z) = X(z) - X(z) \cdot z^{-D}$   
 Cela permet d'aboutir à la fonction de transfert élémentaire :

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = 1 - z^{-D}$$



En cumulant les 2x3 blocs, on aboutit à la fonction de transfert suivante :

$$\left( \frac{1 - z^{-D}}{1 - z^{-1}} \right)^3$$

En prenant en compte un coefficient de mise à l'échelle non représenté sur le schéma on obtient la fonction de transfert recherchée :

$$H(z) = \left( \frac{1}{D} \cdot \frac{1 - z^{-D}}{1 - z^{-1}} \right)^3$$

### Question 35

L'équivalence est  $z^{-1} = e^{-j2\pi \cdot f \cdot T_e} = e^{-j2\pi \cdot f / F_e}$

Ce qui permet d'écrire  $z^{-D} = e^{-j2\pi \cdot D \cdot f / F_e}$

Dans ces conditions :

$$H(jf) = \left( \frac{1}{D} \cdot \frac{1 - e^{-j2\pi Df / F_e}}{1 - e^{-j2\pi f / F_e}} \right)^3$$

Que l'on peut réécrire :

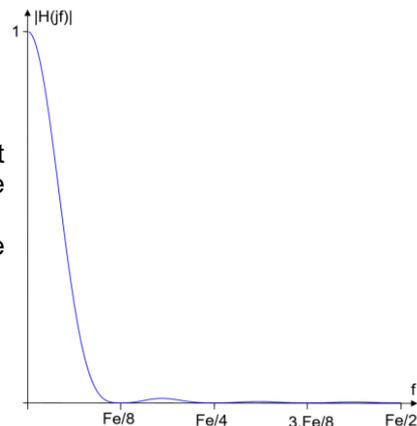
$$H(jf) = \left( \frac{1}{D} \cdot \frac{e^{-j\pi Df / F_e} \cdot e^{j\pi Df / F_e} - e^{-j\pi Df / F_e}}{e^{-j\pi f / F_e} \cdot e^{j\pi f / F_e} - e^{-j\pi f / F_e}} \right)^3$$

Donc l'expression du module devient :

$$|H(jf)| = \left| \frac{1}{D} \cdot \frac{\sin(\pi Df / F_e)}{\sin(\pi f / F_e)} \right|^3$$

Pour  $D=8$  ce module s'annule pour  $f=Fe/8, 2Fe/8, 3Fe/8$  et  $Fe/2$  qui est la limite de représentation du filtre numérique

Pour  $f=0$  le module est égal à 1 ce qui justifie la présence du facteur de mise à l'échelle.



### Question 36

Dans la documentation du circuit MAX30009 (chapitre BioZ Decimation and Digital Filters) il est précisé que la fréquence de coupure est  $F_c=0,26$ . fréquence SR\_BIOZ  
 Ce qui correspond avec la notation à  $F_c=0,26 \cdot Fe/D$

Pour vérifier cette valeur il suffit de calculer le module pour  $f=F_c$

$$|H(jF_c)| = \left| \frac{1}{D} \cdot \frac{\sin(\pi \cdot 0,26)}{\sin(\pi \cdot 0,26 / D)} \right|^3$$

En effectuant le calcul pour  $D=8$  on obtient  $|H(jF_c)| = 0,714 \approx \frac{1}{\sqrt{2}}$  ce qui est cohérent pour la recherche de la fréquence de coupure.

Pour les valeurs de  $D$  supérieure à 8 on peut approcher  $\sin(\pi \cdot 0,26 / D) \approx \pi \cdot 0,26 / D$

$$\text{Donc } |H(jF_c)| \approx \left| \frac{\sin(\pi \cdot 0,26)}{\pi \cdot 0,26} \right|^3 = 0,711$$

### 3.6. Analyse de l'interface de communication

#### Question 37

Il existe 2 interfaces sur le circuit MAX30009 : I2C & SPI

Concernant le bus SPI : Communications sur 4 signaux logiques :

MOSI : Master Output Slave Input (ici SDI)

MISO : Master Input Slave Output (ici SDO)

CLK : Horloge / CS : Chip Select

La sélection est effectuée par une broche Chip Select ce qui nécessite 1 Chip Select par composant adressé.

Les communications sont bidirectionnelles peuvent être effectuées en full duplex. Les fréquences d'horloges peuvent être très élevées (>10MHz).

Concernant le bus I2C: Communications sur 2 signaux logiques uniquement :

SDA : Serial Data / SCK : Serial Clock

La sélection des composants est effectuée par adressage.

Les communications sont de type half duplex.

Les fréquences d'horloges sont beaucoup moins élevées (400kHz en mode normal).

#### Question 38

Comme les signaux SDI et SCLK sont utilisés dans les échanges avec le microcontrôleur il s'agit de l'interface SPI. Il faut donc appliquer sur l'entrée CSB/I2C\_SEL un niveau bas (donc l'entrée est reliée à la masse).

#### Question 39

L'adresse du registre BIOZ\_Configuration3 est 0x22

| ADDRESS | NAME                         |
|---------|------------------------------|
| 0x22    | BioZ Configuration<br>3[7:0] |

| A7 | A6 | A5 | A4 | A3 | A2 | A1 | A0 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |

Les données à transmettre à partir des indications :

| MSB          |            |                    |                    |                    | LSB |
|--------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|
| BIOZ_EXT_RES | LOFF_RAPID | BIOZ_VDRV_MAG[1:0] | BIOZ_IDRV_RGE[1:0] | BIOZ_DRV_MODE[1:0] |     |

- courant RMS fixé à 3,2µA

| STEP | BIOZ_IDRV_RGE | RANGE RESISTOR | BIOZ_VDRV_MAG  | RMS CURRENT |
|------|---------------|----------------|----------------|-------------|
| 1    | 1 (0x0)       | 552.5kΩ        | low (0x0)      | 16nA        |
| 2    | 1 (0x0)       | 552.5kΩ        | low mid (0x1)  | 32nA        |
| 3    | 1 (0x0)       | 552.5kΩ        | high mid (0x2) | 80nA        |
| 4    | 1 (0x0)       | 552.5kΩ        | high (0x3)     | 160nA       |
| 5    | 2 (0x1)       | 110.5kΩ        | low (0x0)      | 320nA       |
| 6    | 2 (0x1)       | 110.5kΩ        | low mid (0x1)  | 640nA       |
| 7    | 2 (0x1)       | 110.5kΩ        | high mid (0x2) | 1.6µA       |
| 8    | 2 (0x1)       | 110.5kΩ        | high (0x3)     | 3.2µA       |

- BIOZ\_EXT\_RES = 0
- LOFF\_RAPID = 1
- BIOZ\_DRV\_MODE[1:0] = 0 0

| D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  |

Il faut ensuite reprendre le chronogramme de la Figure 19 de la documentation constructeur MAX30009 en remplaçant les valeurs A7 à A0 & D7 à D0 par les valeurs précédentes.

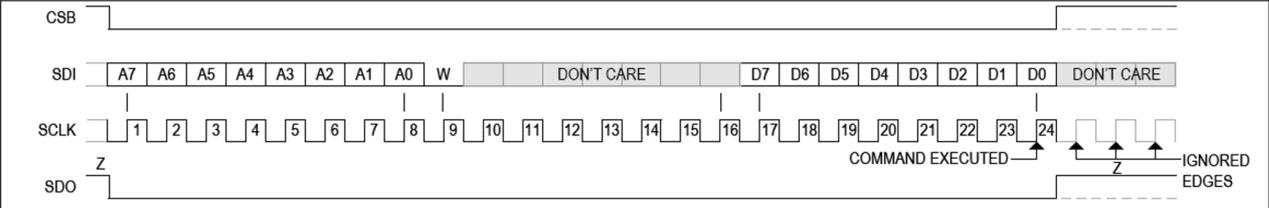


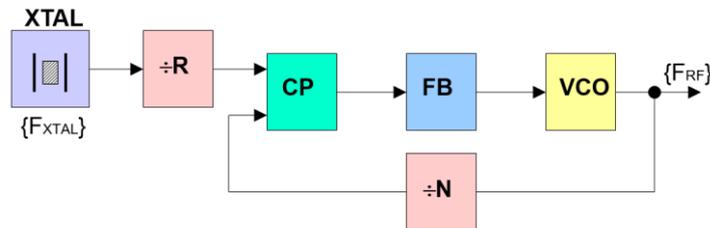
Figure 19. SPI Write Transaction

## 4. Système de transmission radio

### 4.1. Généralités autour de la transmission radio et analyse du circuit retenu

#### Question 40

Le schéma synoptique simplifié d'une synthèse de fréquence par PLL est représenté sur la figure suivante :



**XTAL** : Oscillateur de référence à quartz qui permet d'assurer la précision et la stabilité dans le temps de la fréquence d'émission.

**÷R & ÷N** : Diviseurs de fréquence programmable.

**CP** : Comparateur de phase. On retrouve généralement un bloc de type Phase Frequency Detector.

**FB** : Filtre de boucle qui permet d'assurer la stabilité de la boucle et fixe les performances dynamiques.

**VCO** : Oscillateur contrôlé en tension.

Lorsque la PLL en synthèse de fréquence est verrouillée, les fréquences instantanées en entrée du comparateur de phase sont identiques donc :

$$F_{RF} = \frac{N}{R} \cdot F_{XTAL}$$

La fréquence radio est alors réglée par le diviseur N car la fréquence de travail du comparateur de phase fixée par  $F_{XTAL}$  et le diviseur R est fixe.

L'asservissement ainsi réalisé permet d'obtenir une fréquence très précise et stable dans le temps contrairement à l'utilisation d'un VCO seul qui dérive naturellement en fonction du temps.

#### Question 41

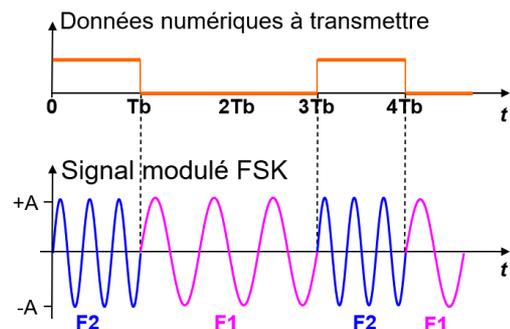
Le principe de la modulation FSK (Frequency Shift Keying) est représenté sur la figure ci-contre.

$T_b$  désigne le temps bit et  $D$  le débit binaire tel que :

$$D = \frac{1}{T_b}$$

l'indice de modulation est défini par :

$$x = \frac{F2 - F1}{D}$$



La valeur de cet indice de modulation impacte directement l'occupation spectrale du signal modulé autour de la porteuse définie par :

$$F_p = \frac{F2 + F1}{2}$$

#### Question 42

La longueur de l'antenne est donnée par :

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4 \cdot F_p} = 17,3cm \quad \text{avec } c = 3 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1} \quad \text{et } F_p = 433,8 MHz$$

### Question 43

Les données numériques changent directement la valeur du diviseur N ce qui change donc la fréquence d'émission.

Une autre méthode consiste à changer très légèrement la fréquence de l'oscillateur à quartz en utilisant un VCXO. Dans cette dernière méthode, le réglage de l'indice de modulation est plus délicat.

### Question 44

En utilisant l'extrait de documentation constructeur, la fréquence en sortie de la synthèse de fréquence est donnée par :

$$F_{out} = F_{PFD} \cdot \left( N_{int} + \frac{N_{FRAC}}{2^{12}} \right)$$

Comme  $F_{out} = 433,8MHz$  et  $F_{PFD} = 4,9152MHz$

$$\frac{F_{out}}{F_{PFD}} = 88,2568 \text{ donc } N_{int} = 88 \text{ et } N_{FRAC} = 2^{12} \cdot \left( \frac{F_{out}}{F_{PFD}} - 88 \right) = 1052$$

### Question 45

En utilisant l'extrait de documentation constructeur, la déviation en fréquence est fixée par :

$$F_{deviation} = \frac{F_{PFD} \cdot ModulationNumber}{2^{14}}$$

Ce qui donne

$$ModulationNumber = 167 \text{ (entier le plus proche)}$$

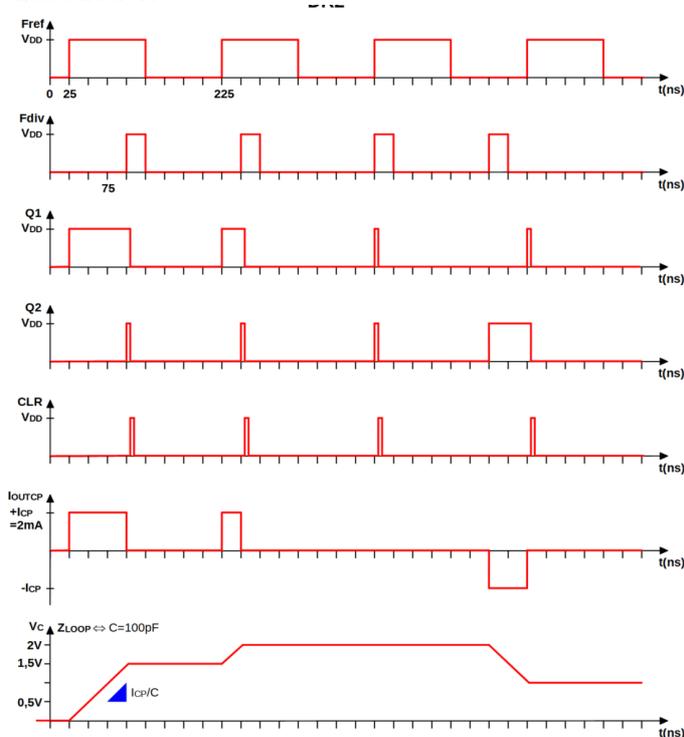
Soit une représentation dans le registre correspondant D9 à D1 : 0 1 0 1 0 0 1 1 1

## 4.2. Etude du fonctionnement du comparateur de phase

### Question 46

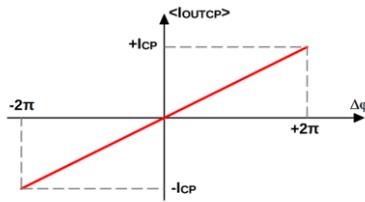
La porte ou-exclusif ne joue le rôle de comparateur de phase uniquement dans le cas de signaux carré avec un rapport cyclique de 50% ce qui est difficilement possible en sortie de diviseur de fréquence. Il est nécessaire de mettre en œuvre un comparateur de phase sensible sur des fronts (montant).

### Question 47



Lorsque Fdiv est en retard, la tension de commande du VCO augmente permettant ainsi de rattraper le retard. Si Fdiv arrive en avance, la tension du VCO diminue.

### Question 48



Le gain de conversion du comparateur de phase est :

$$K_{CP} = \frac{I_{CP}}{2\pi} A/rd$$

### 4.3. Configuration du VCO

### Question 49

L'oscillateur contrôlé en tension (VCO) fonctionne à partir d'un circuit LC résonnant avec une inductance L externe. Afin d'obtenir une variation de fréquence le VCO met en œuvre une diode varicap. Il s'agit d'une diode qui se polarise en inverse et qui présente une capacité équivalente dont la valeur est inversement proportionnelle à la tension de polarisation.

### Question 50

La figure 36 du document technique permet de vérifier que le choix de l'inductance L=22nH donne une fréquence de fonctionnement du VCO comprise entre 400MHz & 450MHz ce qui convient à la valeur de fréquence porteuse 433,8MHz.

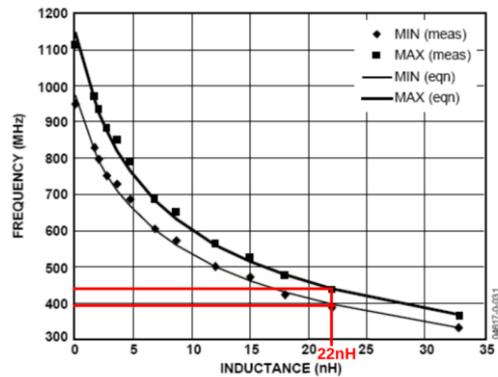


Figure 36. Output Frequency vs. External Inductor Value  
 $I_{BIAS} = 2.0 \text{ mA}$ .

### Question 51

La figure 37 du document technique permet de vérifier que le gain de conversion  $K_V = 28 \text{ MHz}\cdot\text{V}^{-1}$  est bien cohérent pour le choix de la fréquence porteuse à 433,8MHz.

Pour retrouver cette valeur expérimentale, il faut appliquer une tension continue en entrée du VCO et effectuer la mesure de fréquence en sortie du VCO en utilisant un analyseur de spectre RF en respectant bien l'adaptation d'impédance à  $50\Omega$ .

Dans la documentation il est précisé que lorsque la PLL est verrouillée, la tension de commande évolue entre 0,8V et 2,1V ce qui donne la plage de réglage possible.

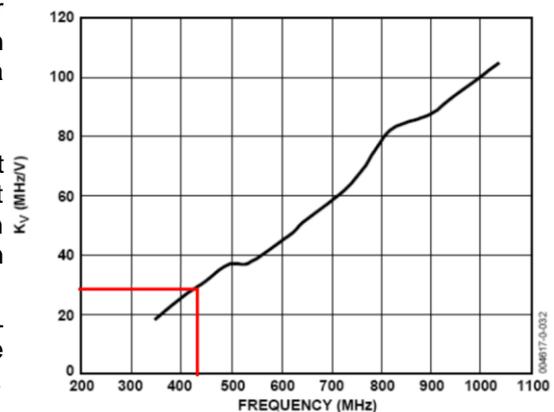


Figure 37.  $k_V$  vs. VCO Frequency

#### 4.4. Modélisation de la boucle à verrouillage de phase.

##### Question 52

Les différents blocs correspondent aux éléments du schéma synoptique de la PLL utilisée en synthèse de fréquence.

Concernant la modélisation du comparateur de phase, la grandeur de sortie est le courant proportionnel à l'écart de phase instantanée des signaux d'entrées donc :

$$I_{OUTCP} = \frac{I_{CP}}{2\pi} \cdot (\varphi_{REF}(t) - \varphi_{DIV}(t))$$

La relation entre phase et fréquence instantanée est telle que :  $2\pi f_i(t) = \frac{d\varphi_i(t)}{dt}$  qui se traduit dans le domaine de Laplace par  $2\pi F_i(p) = p \cdot \varphi_i(p)$

On en déduit donc que  $I_{OUTCP}(p) = \frac{I_{CP}}{p} \cdot (F_{REF}(p) - F_{DIV}(p))$  justifiant ainsi le modèle proposé.

##### Question 53

La fonction de transfert en boucle ouverte ne prend pas en compte le diviseur de fréquence R et dans le cas où l'impédance  $Z_{LOOP}$  est constituée d'un simple condensateur  $C_0$ , on en déduit que :

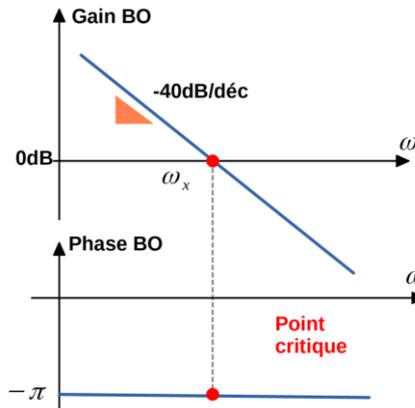
$$TBO(p) = \frac{I_{CP}}{p} \cdot \frac{1}{C_0 p} \cdot \frac{Kv}{N} = \left(\frac{\omega_x}{p}\right)^2$$

avec :

$$\omega_x = \sqrt{\frac{I_{CP}Kv}{C_0N}}$$

Le système est donc en limite de stabilité d'où l'intérêt d'un réseau correcteur R1C1.

Le diagramme de Bode en Boucle Ouverte peut alors se représenter ainsi :



##### Question 54

L'impédance  $Z_{LOOP}$  est l'association en parallèle d'un condensateur  $C_0$  et d'un réseau correcteur  $R_1$  et  $C_1$  en série donc :

$$Z_{LOOP}(p) = \frac{\frac{1}{C_0 \cdot p} \cdot \left(R_1 + \frac{1}{C_1 \cdot p}\right)}{\frac{1}{C_0 \cdot p} + R_1 + \frac{1}{C_1 \cdot p}} = \frac{R_1 C_1 p + 1}{C_0 \cdot p + C_1 \cdot p + R_1 C_0 \cdot p \cdot C_1 \cdot p}$$

donc  $Z_{LOOP}(p) = \frac{1}{(C_0 + C_1) \cdot p} \cdot \frac{1 + R_1 C_1 p}{1 + \frac{R_1 C_0 C_1 p}{C_0 + C_1}}$  qui peut se se mettre sous la forme indiquée :

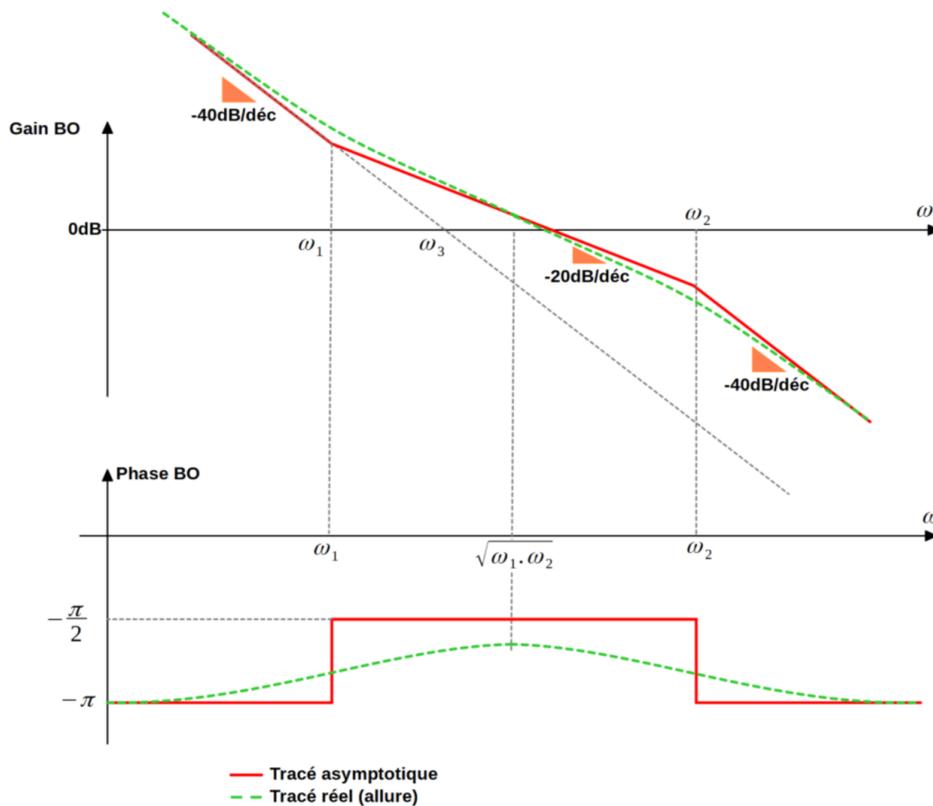
$$Z_{LOOP}(p) = \frac{1}{(C_0 + C_1) \cdot p} \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + \frac{p}{\omega_2}} \text{ avec } \omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1} \text{ et } \omega_2 = \frac{C_0 + C_1}{R_1 C_0 C_1}$$

##### Question 55

$$TBO(p) = \frac{I_{CP}Kv}{N(C_0 + C_1) \cdot p^2} \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{1 + \frac{p}{\omega_2}} \text{ de la forme indiquée avec } \omega_3 = \sqrt{\frac{I_{CP}Kv}{N(C_0 + C_1)}}$$

##### Question 56

$$\omega_2 = \frac{1}{R_1 C_1} \cdot \frac{C_0 + C_1}{C_0} = \omega_1 \cdot \frac{C_0 + C_1}{C_0} \text{ donc } \omega_2 > \omega_1$$



**Question 57**

Le tracé de la phase en boucle ouverte s'écarte de  $-\pi$  au maximum au milieu de l'échelle logarithmique des pulsations  $\omega_2$  et  $\omega_1$  soit pour  $\sqrt{\omega_1\omega_2}$

Pour obtenir une marge de phase maximale sur ce point il faut donc que le gain pour cette pulsation passe par 0dB. En conséquence la pulsation de transition est donc  $\omega_T = \sqrt{\omega_1\omega_2}$

**Question 58**

$$\begin{aligned} \varphi_{BO}(\omega) &= -\pi + \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right) - \arctan\left(\frac{\omega}{\omega_2}\right) \\ M\varphi_{optim} &= \varphi_{BO}(\omega = \sqrt{\omega_1\omega_2}) - (-\pi) \\ M\varphi_{optim} &= \arctan\left(\frac{\sqrt{\omega_1\omega_2}}{\omega_1}\right) - \arctan\left(\frac{\sqrt{\omega_1\omega_2}}{\omega_2}\right) = \arctan\left(\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}}\right) - \arctan\left(\sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}}\right) \end{aligned}$$

Donc on obtient la forme indiquée  $M\varphi_{optim} = 2 \cdot \arctan\left(\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}}\right) - \frac{\pi}{2}$

Comme  $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 + \frac{C_1}{C_0}$

Alors  $M\varphi_{optim} = 2 \cdot \arctan\left(\sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}\right) - \frac{\pi}{2} = 51^\circ$

Ce qui est un choix relativement classique permettant d'obtenir une bonne stabilité.

**Question 59**

$$|TBO|(\omega) = \left(\frac{\omega_3}{\omega}\right)^2 \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}} \qquad |TBO|(\omega = \sqrt{\omega_1\omega_2}) = 1$$

$$\frac{\omega_3^2}{\omega_1\omega_2} \sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}} = 1 \qquad (R_1C_1)^2 = \frac{\sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}}}{\omega_3^2} \qquad R_1 = 1140,7\Omega$$

**Question 60**

$\omega_2 = 1,79 \text{ Mrad. s}^{-1}$   $\omega_1 = 224,79 \text{ krad. s}^{-1}$  donc  $f_T = 100,9 \text{ kHz}$

Dans la documentation constructeur il est spécifié :

« The loop filter bandwidth should usually be a two to three times the data rate »

On vérifie aisément :  $2 \times 38,4 \text{ kbit. s}^{-1} < f_T = 100,9 \text{ kHz} < 3 \times 38,4 \text{ kbit. s}^{-1}$

**Question 61**

Le filtre passe bas RC supplémentaire permet de diminuer le bruit sur la tension de commande du VCO et notamment les fréquences résiduelles du comparateur de phase (4,9152MHz). Sa fréquence de coupure doit cependant être bien supérieure à la fréquence de transition de la boucle pour ne pas affecter sa stabilité.

**4.5. Étage de sortie et filtrage des harmoniques****Question 62**

La classe de fonctionnement d'un amplificateur correspond à la façon dont on utilise les transistors sur l'étage de sortie final.

Le principe de la classe E consiste à utiliser un transistor en commutation tout en réduisant au maximum ses pertes.

**Question 63**

Comme il y a des commutations, il y a de nombreuses harmoniques de la fréquence porteuse. La figure 14 de la documentation constructeur ADF7012 montre des niveaux importants pour les harmoniques 2, 3, 4, 5 ce qui peut engendrer des émissions parasites.

**Question 64**

Théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{E}{R} + \frac{V_B}{jL\omega}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{jL\omega} + jC\omega} = \frac{E \cdot jL\omega + V_B \cdot R}{R + jL\omega + RLC(j\omega)^2} \quad (\text{Eq1})$$

Théorème de Millman au point B :

$$V_B = \frac{\frac{V_A}{jL\omega} + \frac{S}{jL\omega}}{\frac{2}{jL\omega} + jC_1\omega} = \frac{V_A + S}{2 + LC_1(j\omega)^2} \quad (\text{Eq2})$$

Théorème de Millman au point S :

$$S = \frac{\frac{V_B}{jL\omega}}{\frac{1}{jL\omega} + \frac{1}{R} + jC\omega} = \frac{V_B \cdot R}{R + jL\omega + RLC(j\omega)^2} \quad (\text{Eq3})$$

(Eq3) →

$$V_B = S \cdot \left( 1 + \frac{jL\omega}{R} + LC(j\omega)^2 \right)$$

+(Eq2) →

$$S \cdot \left( 1 + \frac{jL\omega}{R} + LC(j\omega)^2 \right) \cdot (2 + LC_1(j\omega)^2) = V_A + S$$

$$S \cdot \left( 1 + j\omega \frac{2L}{R} + (j\omega)^2(2LC + LC_1) + (j\omega)^3 \frac{L^2 C_1}{R} + (j\omega)^4 L^2 C C_1 \right) = V_A$$

(Eq1) & (Eq3) →

$$V_A = \frac{E \cdot jL\omega}{R + jL\omega + RLC(j\omega)^2} + S$$

$$S \cdot \left( j\omega \frac{2L}{R} + (j\omega)^2(2LC + LC_1) + (j\omega)^3 \frac{L^2 C_1}{R} + (j\omega)^4 L^2 C C_1 \right) \cdot (R + jL\omega + RLC(j\omega)^2) = E jL\omega$$

$$\frac{S}{E} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{jL\omega}{R} + LC(j\omega)^2} \cdot \frac{1}{1 + j\omega \frac{R(2C + C_1)}{2} + (j\omega)^2 \frac{LC_1}{2} + (j\omega)^3 \frac{RLCC_1}{2}}$$

De la forme proposée avec :

$$a = \frac{R(2C + C_1)}{2} \qquad b = \frac{LC_1}{2} \qquad c = \frac{RLCC_1}{2}$$

### Question 65

Par identification on en déduit facilement  $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 590,68\text{MHz}$

Comme  $\frac{L}{R} = 0,44 \cdot 10^{-9}\text{s}$  et que  $\frac{1,618}{\omega c} = 0,436 \cdot 10^{-9}\text{s}$  on peut alors considérer que cette partie de fonction de transfert coïncide.

Il convient alors de vérifier que la partie suivante correspond à la 2<sup>nd</sup> partie de la fonction de transfert :

$$\left(1 + \frac{j\omega}{\omega c}\right) \cdot \left(1 + 0,618 \cdot \frac{j\omega}{\omega c} + \left(\frac{j\omega}{\omega c}\right)^2\right) = 1 + 1,618 \frac{j\omega}{\omega c} + 1,618 \left(\frac{j\omega}{\omega c}\right)^2 + \left(\frac{j\omega}{\omega c}\right)^3$$

$$a = \frac{R(2C + C_1)}{2} = 0,437 \cdot 10^{-9} \qquad b = \frac{LC_1}{2} = 1,2 \cdot 10^{-19} \qquad c = \frac{RLCC_1}{2} = 1,98 \cdot 10^{-29}$$

$$\frac{1,618}{\omega c} = 0,437 \cdot 10^{-9} \qquad \frac{1,618}{\omega c^2} = 1,17 \cdot 10^{-19} \qquad \frac{1}{\omega c^3} = 1,95 \cdot 10^{-29}$$



### Question 66

L'atténuation en amplitude apportée uniquement par le filtre est :

$$\text{Atténuation dB} = -\text{Gain dB} = 10 \cdot \log \left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{10}\right)$$

Pour l'harmonique de rang 2  $f=869,74\text{MHz}$  on obtient une atténuation de 16,9dB

Pour l'harmonique de rang 3  $f=1,3\text{GHz}$  on obtient une atténuation de 34,2dB

Entre la figure 14 et la figure 15 on note une atténuation de 18,5dB pour l'harmonique de rang 2 et une atténuation de 38,5dB pour l'harmonique de rang 3 ce qui donne des résultats cohérents.

## 5. Synthèse et évolutions possibles :

### Question 67

On attend du candidat une analyse de la consommation en tenant compte des cycles de mesures et donc d'hypothèses à formuler. Ensuite il faut choisir une technologie d'accumulateur et la mise en place de convertisseur DC/DC + système de recharge avec pourquoi pas une solution de recharge sans fil adapté au contexte.

### Question 68

On attend du candidat une vision sur d'autres systèmes de communications sans fil numérique (Bluetooth, etc..).

## D. Commentaires du jury

### Analyse générale

Le sujet comporte quatre parties indépendantes dont trois principales, dans lesquelles on retrouve des sous parties, elles aussi indépendantes.

D'une manière générale, le jury conseille aux futurs candidats de soigner leur écriture et l'organisation de leur copie (ne pas mélanger l'ordre des questions notamment). Le jury recommande aux candidats de vérifier systématiquement l'homogénéité de leurs résultats.

Il est aussi recommandé de mettre en évidence les expressions littérales et les applications numériques associées. Il faut éviter de donner les résultats numériques sans détail ni justification, aucun point ne peut être donné si l'application numérique est fautive mais que le raisonnement était juste. Les unités ne doivent pas être omises quand il y en a.

Le jury constate à travers les réponses un niveau mathématique insuffisant avec une faible maîtrise des outils mathématiques spécifiques pour le génie électrique (Nombres complexes, Décomposition en série de Fourier, Transformée en  $z$  & équivalence, ...). Par ailleurs de grandes difficultés calculatoires sont constatées entraînant des longueurs dans les calculs mais également de nombreuses erreurs.

Le jury regrette enfin des connaissances élémentaires en électronique insuffisantes.

### 1<sup>ère</sup> Partie : Analyse de l'appui plantaire

Cette première partie propose l'étude de la semelle intégrant les capteurs de forces pour l'analyse de l'appui plantaire. La caractérisation de ces capteurs à travers un banc de mesure associé est également proposée dans cette partie.

La première question élémentaire consiste à déterminer la surface d'appui en  $\text{mm}^2$  d'un capteur de force qui est simplifié à la surface de 2 demi-cercles et d'un rectangle dont l'ensemble des dimensions sont données en mm. Un quart des candidats échouent à cette question.

Pour la caractérisation de la semelle, un capteur industriel est mis en œuvre et une très faible proportion de candidats (15%) sont capables de redonner le schéma d'un pont de Wheatstone. Il est à noter que cette structure de capteur très classique était déjà présente dans le sujet de l'année précédente.

L'étude de l'électronique de conditionnement avec la mise en œuvre d'un ampli d'instrumentation est également proposée et le jury s'étonne des difficultés rencontrées par les candidats pour la lecture de l'extrait de documentation constructeur fournie et l'étude de cette structure élémentaire.

Le jury note également de nombreuses confusions entre le capteur utilisé pour la caractérisation de la semelle et les capteurs présents sur la semelle et rappelle aux candidats de bien relire les descriptions et informations proposées avant chaque question.

Trop peu de candidats ont correctement traité la question 12 alors que l'étude s'effectue en régime continu et qu'il convient d'oublier la présence du condensateur.

Le jury regrette que cette première partie de mise en confiance et donc volontairement simple pour aborder le sujet n'ait pas joué son rôle.

### 2<sup>nd</sup> Partie : Mesure de la bio-impédance

Cette seconde partie introduit le concept de bio-impédance ainsi que les éléments de base concernant sa mesure. Dans les dernières sous-parties, l'étude d'un circuit intégré spécialisé MAX3009 est proposé à partir d'extraits de la documentation constructeur.

La partie débute sur l'expression d'un modèle de Bio-impédance simplifié faisant appel à deux résistances et un condensateur. L'écriture de l'impédance équivalence complexe sous la forme d'une partie réelle et imaginaire n'est correctement traitée que par 1/3 des candidats.

L'étude dans le plan de Nyquist qui aboutit à un  $\frac{1}{2}$  cercle n'est que très peu traitée.

Malgré des schémas équivalents explicites, la grande majorité des candidats ne parvient pas à démontrer l'intérêt d'une technique de mesure d'impédance à 4 points par rapport à une technique simple sur 2 points. Il s'agit pourtant d'un grand classique de l'instrumentation que l'on rencontre même sur des multimètres conventionnels.

L'étude de la source de courant de Howland n'est seulement réussie que par 4 candidats. La mise en équation du circuit sous la forme de simple loi des mailles et loi d'ohm n'est pas correctement effectuée dès le début de l'analyse du schéma. Le jury regrette un manque d'application dans l'établissement des courants et tension sur un schéma clair et visible sur les copies. La source de courant mise en œuvre dans le circuit MAX30009 et dont le schéma est volontairement simplifié n'est correctement traitée que par 1/3 des candidats alors qu'il s'agit d'un montage à base d'un amplificateur opérationnel dont les hypothèses de fonctionnement sont clairement données dans le sujet.

L'analyse du principe de la détection synchrone mise en œuvre dans le circuit MAX30009 se heurte à l'incapacité de nombreux candidats à rappeler l'expression de la décomposition en série de Fourier d'un signal carré symétrique. Cet élément dans l'analyse des signaux est pourtant un élément central dans le domaine du génie électrique.

La suite des questions s'intéresse à la conversion analogique/numérique autour d'un convertisseur  $\Sigma\Delta$  peu connu des candidats. Ici aussi, le jury rappelle que cet élément était déjà présent dans le sujet de l'année précédente.

L'analyse du filtre décimateur permet de constater qu'une très grande partie des candidats ne connaît pas l'équivalence entre l'opérateur  $z^{-1}$  et la notation complexe  $j\omega$ .

Cette partie termine sur un grand classique concernant l'analyse d'un bus de communication SPI et la comparaison avec un bus I2C abordée par seulement 12% des candidats.

### **3<sup>ème</sup> Partie : Système de transmission radio**

Cette troisième partie propose l'étude d'un modulateur FSK mettant en œuvre une boucle à verrouillage en synthèse de fréquence autour du circuit ADF7012 dont un extrait de documentation constructeur est fourni en annexe.

Le jury s'étonne du peu de connaissances autour des éléments fondamentaux d'une boucle à verrouillage de phase en synthèse de fréquence alors qu'il s'agit d'une structure indispensable dans de nombreux systèmes de communications. L'extrait de la documentation constructeur permet de répondre à de nombreuses questions et son exploitation est insuffisante pour la grande majorité des candidats.

La diode Varicap qui est un composant essentiel dans la mise en œuvre des oscillateurs contrôlés en tension (VCO) n'est citée que par seulement 2 candidats.

L'analyse du comparateur de phase nécessite la compréhension d'une bascule D qui est un composant élémentaire en électronique numérique.

La suite des questions propose la modélisation de la PLL et la vérification du bon réglage du filtre de boucle.

La détermination de la fonction de transfert en boucle ouverte (FTBO) conduit de trop nombreux candidats à prendre en considération le diviseur R qui n'intervient pas dans la boucle elle-même.

La détermination de l'expression de l'impédance équivalente constituant le filtre de boucle est un peu mieux réussie (32% des candidats) mais le tracé du diagramme de Bode n'est pas correctement effectué entraînant une mauvaise analyse de la stabilité de la boucle.

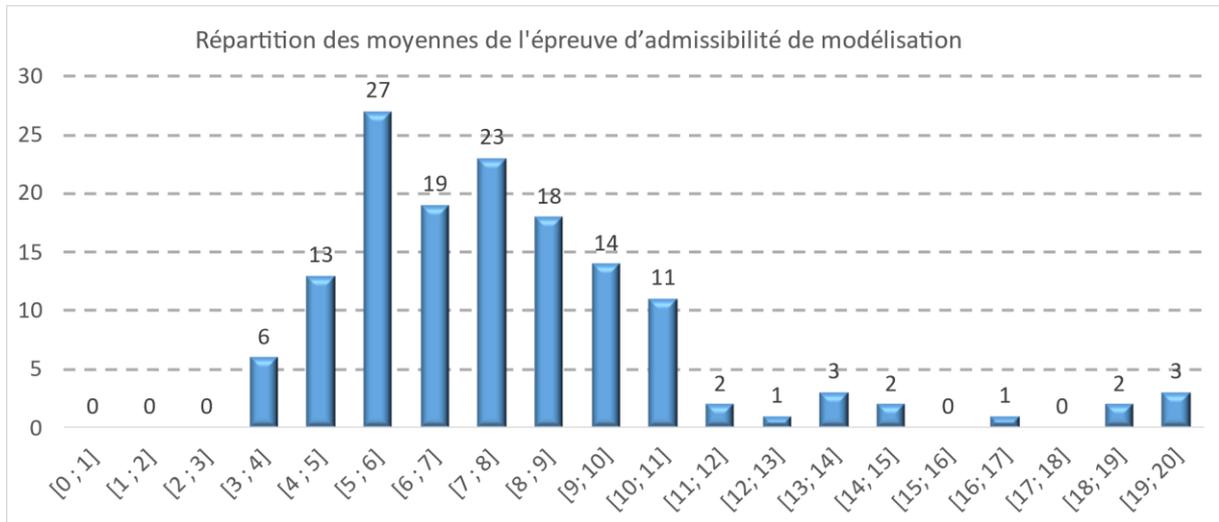
La nature de cette fonction de transfert en boucle ouverte est pourtant un grand classique dans les systèmes asservis et sans connaître la boucle à verrouillage de phase, les questions posées permettent de traiter ce problème d'automatique traditionnel.

### **4<sup>ème</sup> Partie : Synthèses & évolutions possibles**

Cette dernière petite partie permet de vérifier si le candidat synthétise et propose des innovations issues d'une veille technologique qu'il fait au quotidien. Très peu de candidats ont abordé cette partie certainement par manque de temps. Les candidats ayant abordé cette partie n'ont proposé que de trop courtes réponses sans étayer leurs réponses.

## E. Résultats

L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.



# Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'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 les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirensignant.gouv.fr/media/12327/download>

## C. Éléments de correction

### PARTIE A : Conception de l'unité de valorisation énergétique

#### A.1. Dimensionnement de la ressource

**Question 1 :** La masse de déchets valorisables par incinération est  $6\% \times 7,4 \text{ t} \approx 444 \text{ kg/habitant/an}$ .

**Question 2 :** Le PCI moyen des déchets traités par l'UVE en 2022 est

$$\text{PCI} = (2,31 \times 106300 + 6,04 \times 7340 + 4,06 \times 1960) / (106300 + 7340 + 19560) = 2,77 \text{ MWh/t.}$$

**Question 3 :** La ressource énergétique primaire annuelle disponible sur le territoire est

$$E_p = M(t) \times \text{PCI} \text{ (MWh/t)} = 300\,000 \times 0,444 \times 2,77 \approx 369 \text{ GWh.}$$

**Question 4 :** Le débit massique horaire moyen =  $M(t) / t(h) = 133\,200 / 7800 = 17,1 \text{ t/h}$ .

La puissance disponible à l'entrée des fours  $P_f = E_p / t = 369\,300 / 7800 = 47,3 \text{ MW}$ .

#### A.2 Dimensionnement des échangeurs

**Question 5 :** Cycle ci-contre.

**Question 6 :**  $h_2 = 600$  et  $h_3 = 2800$  kJ/kg

$$P_c = (h_3 - h_2) d_{HP} = \eta_c \cdot P_f$$

$$d_{HP} = 3600 \times 0,86 \times 47,3 / (2800 - 600)$$

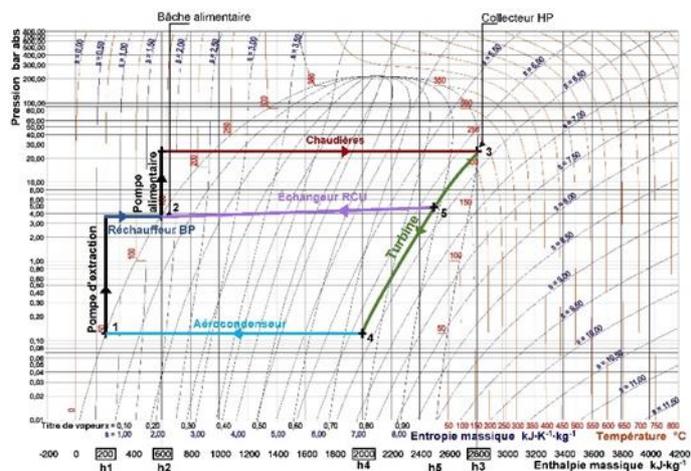
$$d_{HP} = 66,5 \text{ t/h.}$$

**Question 7 :**  $h_4 = 2000$  kJ/kg

la puissance de l'alternateur du GTA

$$P_{max} = 0,74 \times (2800 - 2000) \times (66,5 - 8) / 3600 = 9,62 \text{ MW.}$$

**Question 8 :** Échangeur RCU,  $h_5 = 2500$  kJ/kg



En prenant tout le débit dans l'échangeur  $P_{rcu\ max} = 0,66 \times (2500 - 600) \times (66,5 - 8) / 3600 = 20\ MW$

En tenant compte de  $d_{min} = 1,2 \times 3600 / (800 \times 0,74) = 7,3\ t/h$

Alors  $P_{rcu\ max} \approx 0,66 \times 1900 \times (66,5 - 8 - 7,3) / 3600 \approx 18\ MW$ .

### A.3 Conception de l'alternateur

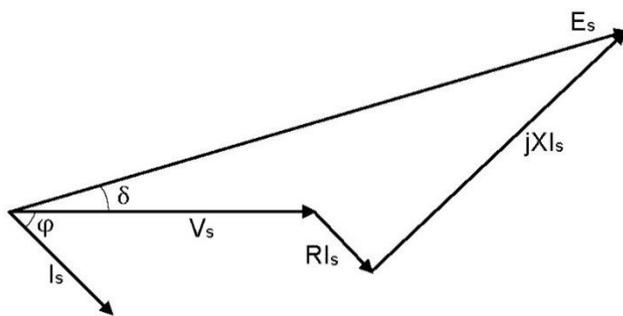
**Question 9 :** La régulation de pression entraîne la turbine à vitesse constante 6726 tr/min ce qui permet l'implantation d'un réducteur mécanique en amont de l'alternateur.

Alternateur synchrone à 2 paires de pôles donc  $N_{alt} = 60 \times 50 / 2 = 1500\ tr/min$

$Red = 6726 / 1500 = Z_s / Z_e$ ,  $Z_s = 31 \times 4,483 = 139\ dents$ .

$P_{amax} = 0,988 \times P_{tmax} = 9,5\ MW$ ,  $C_{max} = P_{amax} / (1500 \times 2\pi/60) = 60382\ N.m$ .

**Question 10 :**  $\underline{E_s} = \underline{V_s} + (R + jX) \underline{I_s}$



**Question 11 :**  $S = 3 \cdot V_s \cdot I_s$ ,  $P = S \cdot \cos(\varphi)$ ,  $Q = S \cdot \sin(\varphi)$

$b = X \cdot I_s \cdot \cos(\varphi) = X \cdot P_s / 3 \cdot V_s$ ,  $a = X \cdot I_s \cdot \sin(\varphi) = X \cdot Q_s / 3 \cdot V_s$

Les projections sur les axes réel et imaginaire sont les images des puissances réactive et active.

**Question 12 :** Plan de fonctionnement donnée par

$I_r\ max$ ,  $I_s\ max$  et  $\delta\ max$ .

**Question 13 :** On règle le déphasage en contrôlant  $I_r$  et donc  $E_s$ .

En supposant une succession de régimes pseudos-permanents on obtient le segment OCBA à  $\varphi$  constant.

**Question 14 :** Pour le point A, on a

$P_{elecA} = \eta_{red} \cdot \eta_{alt} \cdot P_{tmax}$

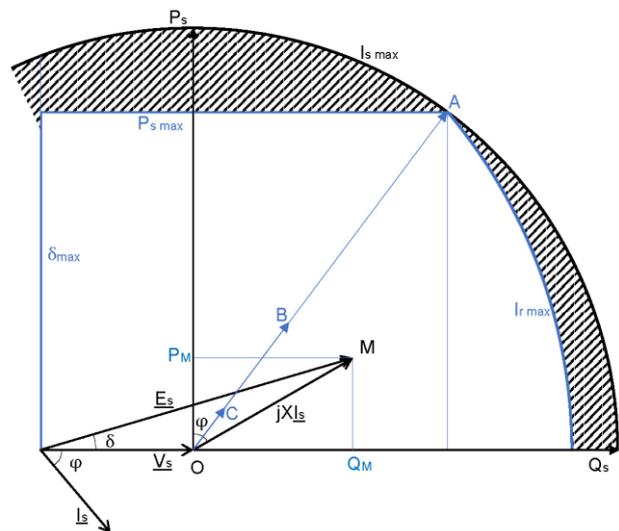
$I_{smax} = \eta_{red} \cdot \eta_{alt} \cdot P_{tmax} / (3 \cdot V_s \cdot \cos(\varphi A))$

$I_{smax} = 1084\ A$

**Question 15 :**  $I_{smax}^2 \cdot X^2 + 2 \cdot V_s \cdot I_{smax} \cdot \sin(\varphi A) \cdot X + (V_s^2 - E_{smax}^2) = 0$

On résoud dans  $\mathbb{R}$   $X = -b + \sqrt{\Delta} / 2a = 9,8\ \Omega$

$E_{smax} \cdot \sin(\delta A) = X \cdot I_{smax} \cdot \cos(\varphi A)$ ,  $\delta A = 0,71 = 40,8^\circ$



**Question 16 :**  $OM = V_s \cdot \cos(\delta) + X_q \cdot I_d$

$$E = OM + (X_d - X_q) \cdot I_d$$

$$OM = X_q \cdot E / X_d + V_s \cdot \cos(\delta) \cdot (1 - X_q / X_d)$$

**Question 17 :** On relève 260% et 143%, donc  $X_d = 2,6 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 1084) = 8,31 \Omega$  et  $X_q = 4,57 \Omega$

**Question 18 :** L'angle interne de la machine  $\delta_A = \arctan(X_q \cdot I_{smax} \cdot \cos(\varphi_A) / (V_s + X_q \cdot I_{smax} \cdot \sin(\varphi_A)))$

$$\delta_A = 0,55 = 31,6^\circ.$$

**Question 19 :** Au point A,  $X_q \cdot I_s \cdot \cos(\varphi_A) = OA \cdot \sin(\delta_A)$  en remplaçant dans l'expression de Q16

$$X_q \cdot I_s \cdot \cos(\varphi_A) = [X_q / X_d \cdot E_{smax} + (1 - X_q / X_d) \cdot V_s \cdot \cos(\delta_A)] \cdot \sin(\delta_A)$$

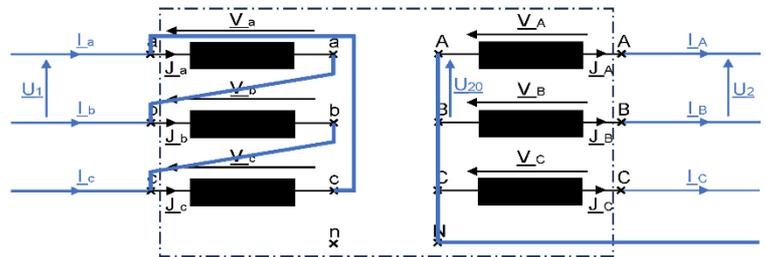
Donc  $E_{smax} = 11329 \text{ V}$ . Avec un rotor à pôles saillants on baisse  $E_{smax}$  et donc  $I_r$  de 13% de la valeur en pôles lisses ce qui éloigne de la limite de saturation magnétique et diminue les pertes fer.

#### A.4 Dimensionnement du transformateur

**Question 20 :** couplage YNd11

$$V_a = U_1 = 6000 \text{ V}$$

$$U_2 = 20 \text{ kV}, V_A = U_2 / \sqrt{3} = 11547 \text{ V}$$



$$\begin{aligned} \underline{U}_{20} &= 3,5 e^{-j\frac{11\pi}{6}} \cdot \underline{U}_1 = 21000 e^{j(\omega t - \frac{11\pi}{6})} \\ &= 21000 e^{j(\omega t + \frac{\pi}{6})} \end{aligned}$$

**Question 21 :**  $J_a = I_a / \sqrt{3} = 12500000 / (3 \times 6000) = 694 \text{ A}$ ,  $m_c = m / \sqrt{3} = 3,5 / \sqrt{3} = 2,02$

$$J_A = J_a / m_c = 343,6 \text{ A}. R_s = m_c^2 R_1 + R_2 \text{ et } X_s = m_c^2 X_1 + X_2.$$

**Question 22 :**  $S_f = b_s^2 = D_c^2 / 2 = 0,08 \text{ m}^2$  soit  $800 \text{ cm}^2$ ,  $K_u = 2/\pi = 63,7\%$ .

**Question 23 :** La force électromotrice par spire est  $U_{sp} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot B_{max} \cdot S_f = 32,9 \text{ V}$ .

**Question 24 :**  $N_2 = m_c \cdot U_1 / U_{sp}$ ,  $N_1 = N_2 / m_c = 6000 / U_{sp}$ .

Pour permettre le bobinage on choisit donc les valeurs entières 183 et 369.

**Question 25 :**  $S_1 = J_a / 3 = 231,5 \text{ mm}^2$ ,  $S_2 = J_A / 3 = 114,5 \text{ mm}^2$ .

$$L_1 = \pi \cdot D_{m1} \cdot N_1 = 276 \text{ m}, L_2 = \pi \cdot D_{m2} \cdot N_2 = 672 \text{ m}.$$

$$R = \rho \cdot L / S, R_1 = 25,3 \text{ m}\Omega, R_2 = 124,4 \text{ m}\Omega.$$

$$P_{cu} = 3 \cdot (R_1 \cdot J_a^2 + R_2 \cdot J_A^2) = 80681 \text{ W} \approx 80 \text{ kW}.$$

**Question 26 :**

Pour une période de chauffe de 182 jours on peut considérer que les maintenances se répartissent sur l'année.

$$E_{elec} = 47895 \text{ MWh} \text{ ordre de grandeur à } 50 \text{ GWh par an}.$$

|              |       |       |     |
|--------------|-------|-------|-----|
| Pgta         | 9,6   | 3,6   | 1,2 |
| rend red     | 0,988 |       |     |
| rend alt     | 0,95  |       |     |
| rend transfo | 0,99  |       |     |
| Pelec        | 8,9   | 3,3   | 1,1 |
| durée        | 7800  | 8760  |     |
| dchauffe     | 3889  | 4368  | 182 |
| delec        | 3910  | 4392  | 183 |
| Eelec        | 34885 | 13010 |     |
| Tot Eelec    | 47895 |       |     |

#### PARTIE B : Conception du réseau express régional

**Question 27 :** D'après le principe fondamental de la dynamique :  $M_v \cdot a = F_t - R_{AV}$

$$M_v = \text{Masse Virtuelle} = \text{Masse statique} (M_s) + \text{masses tournantes}$$

masses tournantes = contribution des moments d'inertie

$$\text{Question 28 : } F_{\text{max}} = \frac{M_s \cdot \Delta t \cdot g_0}{N_e} = \frac{270 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 9,81}{24} = 27,6 \text{ kN}$$

**Question 29 :** Par un raisonnement sur les valeurs moyennes du principe fondamental de la dynamique,  $M_v \cdot a_{\text{moy}} = N_m \cdot F_{\text{max}} - \frac{\text{Res}(0) + \text{Res}(40)}{2}$  en remplaçant  $M_v$  par son expression :

$$(M_s + (N_e - N_m) \cdot 500 + N_m \cdot 800) \cdot a_{\text{moy}} = N_m \cdot F_{\text{max}} - \frac{\text{Res}(0) + \text{Res}(40)}{2}$$

$$\text{Donc } N_m = \frac{\frac{R_{av0} + R_{av40}}{2} + a_{\text{moy}} \cdot (M_s + N_e \cdot 500)}{F_{\text{max}} - a_{\text{moy}} \cdot 300}$$

**Question 30 :**  $N_m = 6,415$  essieux motorisés donc  $N_m = 8$

La puissance du moteur étant constante à partir de  $V = 40$  km/h, on peut calculer la puissance utile de la

$$\text{rame (Pu) : } P_u = \frac{N_m \cdot F_{\text{max}} \cdot V}{3,6} = \frac{6,45 \cdot 27,6 \cdot 10^3 \cdot 40}{3,6} = 1,98 \text{ MW ou } 2,45 \text{ MW si } N_m = 8$$

**Question 31 :**  $P_{\text{um}} = P_u / \eta_r = 1,97 \cdot 10^3 / 0,98 = 2,02 \text{ MW}$  ( si  $N_m = 8$  ,  $P_{\text{um}} = 2,50 \text{ MW}$  )

$P_{\text{mot}} = P_{\text{um}} / 8 = 250 \text{ kW}$  ( si  $N_m = 8$  ,  $P_{\text{mot}} = 312 \text{ kW}$  )

**Question 32 :** On a 8 rames, chacune absorbant  $2,1 \cdot (1,06) \text{ MW} = 2,226 \text{ MW}$

Puissance totale nécessaire =  $8 \cdot 2,226 \text{ MW} = 17,8 \text{ MW}$ . D'après Q28, au maximum l'UVE fournit 8,9 MW.

Pour compenser la différence manquante, on peut soit stocker dans des supercondensateurs l'énergie produite la nuit, soit ajouter de l'énergie du réseau, soit essayer aussi de synchroniser les rames pour réduire leur consommation ( freinage d'une rame en phase avec une accélération d'une autre ).

**Question 33 :**  $P_{tr} = C_{em} \omega_s / p = (3Rr/g) \cdot I_r^2$  donc  $C_{em} = 3 \cdot \frac{p}{\omega_s} \cdot \frac{Rr}{g} \cdot I_r^2$

$$E = \Phi m \omega_s \text{ et } E^2 = (Rr/g)^2 \cdot I_r^2 + (L_2 \omega_s I_r)^2 \text{ donc } I_r^2 = \frac{E^2}{(Rr/g)^2 + (L_2 \omega_s)^2} \text{ donc}$$

$$C_{em} = 3 \cdot \frac{p}{\omega_s} \cdot \frac{Rr}{g} \cdot \frac{E^2}{(Rr/g)^2 + (L_2 \omega_s)^2} = \frac{3p}{L_2} \cdot \Phi m^2 \cdot \frac{1}{\frac{g \cdot L_2 \cdot \omega_s}{Rr} + \frac{Rr}{g \cdot L_2 \cdot \omega_s}} = 795,5 \text{ Nm proche de } 797 \text{ Nm}$$

**Question 34 :**  $R_{\text{pm\_max}} = 6000 \text{ tr/mn}$ , donc  $V_{\text{max}} = R_{\text{pm\_max}} \cdot r_r \cdot R_j \cdot \pi \cdot 3,6 = 173,5 \text{ km/h}$  donc  $> 160 \text{ km/h}$

Calcul de l'accélération résiduelle à 160 km/h

$$a_{\text{res}} = \frac{P_u \cdot 3,6}{160} \cdot \frac{R_{av}(160)}{M_v} = 0,05 \text{ m/s}^2 \text{ avec } R_{av}(160) = 29800 \text{ N}$$

$C_{\text{max}} = \text{couple de démarrage} = 2160 \text{ N.m}$

$$F_{\text{max}} = \frac{C_{\text{max}} \cdot 0,98}{r_r \cdot R_j} = 27,6 \text{ kN conforme à la valeur proposée}$$

Toutes les contraintes précédentes sont respectées donc le choix de la motorisation est convenable.

**Question 35 :**  $P_a = \sqrt{3} \cdot U_{\text{smax}} \cdot I_{\text{smax}} \cdot \cos \varphi$  avec  $P_a = \text{puissance absorbée par les 4 moteurs}$ .

$P_a = 4 \cdot P_{\text{mot}} / \eta_{\text{m}}$  avec  $P_{\text{mot}} = \text{la puissance utile d'un moteur}$

$$I_{\text{smax}} = \frac{4 \cdot P_{\text{mot}}}{\eta_{\text{m}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{smax}} \cdot \cos \varphi} = 491,5 \text{ A} \quad I_{\text{smax crete}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{smax}} = 695 \text{ A} < 1200 \text{ A}$$

$U_{\text{smax crete}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{smax}} = 1990 \text{ V} < 3300 \text{ V}$ . Sur ces 2 caractéristiques, le transistor choisi convient.

**Question 36 :**  $\theta_{\text{sem}} = \theta_{\text{eau}} + (6 \cdot R_{\text{th2}} + R_{\text{th1}} + R_{\text{thContact}}) \cdot (P_{\text{trans}} + P_{\text{diode}}) = 74,4 \text{ }^\circ\text{C}$

**Question 37 :**  $\theta_{\text{jonction diode}} = \theta_{\text{sem}} + P_{\text{diode}} \cdot R_{\text{thjb\_Diode}} = 75,1 \text{ }^\circ\text{C}$   $\theta_{\text{jonction transistor}} = \theta_{\text{sem}} + P_{\text{diode}} \cdot R_{\text{thjb\_Trans}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

Les températures de jonction des diodes et transistor les températures maximales de jonction de 120 °C. Les transistors constituant l'onduleur sont compatibles avec les conditions de fonctionnement nominales de la chaîne de traction : tension commutable < 3300 V et courant crête < 1200 A.

**Question 38 :** Les commandes sont nécessairement complémentaires pour éviter un court-circuit sur le bus continu.

**Question 39** La réversibilité de l'énergie au freinage ne serait plus assurée.

**Question 40 :** La pente de la porteuse est la même sur l'intervalle  $[T_d/2, T_d]$  que sur l'intervalle  $[T_d/2, T_d/2+Th/2]$ . Donc on en déduit que  $T_d - T_d/2 = \frac{T_d/2+Th/2 - T_d/2}{\alpha(k \times T_d)}$  donc  $Th = \alpha(k \times T_d) \cdot T_d$

et  $\alpha_{fm}(k \times T_d) = \frac{Th}{T_d} = \alpha(k \times T_d)$

**Question 41 :** Le plage de linéarité du générateur MLI est comprise entre 0 et 1. Au-delà  $\alpha_{fm}(k \times T_d)$  est écriété à 0 ( valeur minimale ) ou 1 ( valeur maximale )

**Question 42 :** On en déduit que  $\overline{f_m}(k \times T_d) = \alpha(k \times T_d)$

**Question 43 :** Compte-tenu de la figure 16 et des expressions précédentes, on en déduit :

$$v_{2x}(t) = f_{mx}(t) \cdot V_{DC} = (\alpha_x(k \times T_d) + \hat{f}_{mx}(t)) \cdot V_{DC}, x \in (a; b; c) \text{ ou } V_{DC} = v_e$$

**Question 44 :** Soit  $u_{xy}(t) = v_{2x}(t) - v_{2y}(t) = (f_{mx}(t) - f_{my}(t)) \cdot V_{DC}, x \in (a; b; c); y \in (a; b; c); x \neq y$

**Question 45 :**  $m \in [0; 0,5]$  pour respecter la plage de linéarité du générateur MLI

**Question 46 :** Compte-tenu des questions 43 et 44,

$$v_{2x,max} = V_{DC} = 350 V \text{ et } v_{2x,min} = 0 V, x \in (a; b; c)$$

$$u_{xy,max} = V_{DC} = 350 V \text{ et } u_{xy,min} = -350 V, x \in (a; b; c); y \in (a; b; c); x \neq y$$

**Question 47 :**  $f_d = 20 \cdot f_{sinus}$ .

**Question 48 :** On constate d'après le spectre de la figure 18, le premier harmonique est situé à une fréquence proche de celle de la porteuse soit 20 fois supérieure à celle du sinus des signaux de pilotage des machines asynchrones. Donc les différents harmoniques seront facilement filtrables pour éviter des perturbations harmoniques.

**Question 49 :** Le filtre qui convient est filtre passe bas dont la fréquence de coupure sera située entre  $f_{sinus}$  et  $f_d$ . La machine asynchrone compte des inerties mécaniques filtre naturellement les fréquences élevées.

**Question 50 :** On a  $\overline{v_{2x}}(t) = \alpha_x(t) \cdot V_{DC}, x \in (a; b; c)$   $\overline{v_{2x}}(t) = (\alpha_x^*(t) + \alpha_{offset}(t)) \cdot V_{DC}, x \in (a; b; c)$

**Question 51 :**

**Question 52 :** On a  $\overline{u_{ab}}(t) = \overline{v_{2a}}(t) - \overline{v_{2b}}(t) = (\alpha_a^*(t) + \alpha_{offset}(t) - (\alpha_b^*(t) + \alpha_{offset}(t))) \cdot V_{DC}$   
Compte-tenu des expressions  $\alpha_a^*(t)$  et  $\alpha_b^*(t)$

$$\overline{u_{ab}}(t) = m \cdot V_{DC} \cdot (\sin(\omega \cdot t - \varphi) - \sin(\omega \cdot t - \varphi - \frac{2\pi}{3}))$$

On pose  $p = \omega \cdot t - \varphi - \frac{\pi}{3}$  et  $q = \frac{\pi}{3}$

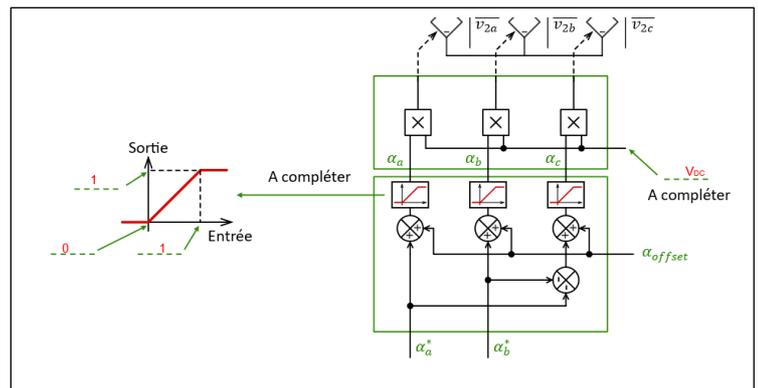
Donc  $\overline{u_{ab}}(t) = m \cdot V_{DC} \cdot (\sin(p + q) - \sin(p - q)) = 2 \cdot m \cdot V_{DC} \cdot \sin(q) \cdot \cos(p)$

$$\overline{u_{ab}}(t) = 2 \cdot m \cdot V_{DC} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \varphi - \frac{\pi}{3}\right) = m \cdot \sqrt{3} \cdot V_{DC} \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \varphi - \frac{\pi}{3}\right)$$

Donc  $K = m \cdot \sqrt{3} \cdot V_{DC} = 242,5 V$  en effet la première raie sur la figure 18 est de l'ordre de 240 V.

**Question 53 :** Pour  $m = 0,5$ , l'amplitude maximale atteignable =  $0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot V_{DC} = 303,1 V$

**Question 54 :**  $m_{max}$  est tel que  $\frac{\sqrt{3}}{2} \times m_{max} = 0,5$  soit  $m_{max} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$



**Question 55** : l'amplitude maximale atteignable =  $\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{3} \cdot V_{DC} = 350 \text{ V}$

Cette stratégie de modulation permet d'augmenter l'amplitude de la première raie donc la puissance transmissible dans la machine asynchrone. Le gain obtenu est de  $(350 - 301,1)/350 \cdot 100 = 15,5\%$ . La stratégie d'injection d'offset est donc plus performante.

**Question 56** : pour huit trains sur une amplitude quotidienne de dix-huit heures en limitant la puissance moyenne consommée à 1,05 MW par synchronisation des phases de démarrage et freinage, l'énergie quotidienne consommée  $E_{\text{RER}} = 18 \text{ h} \times 8 \text{ trains} \times 1,05 \text{ MW} = 151,2 \text{ MWh/j}$

Soit 55 GWh/an à rapporter aux 50 GWh/an produit par l'UVE en question 26. Il faudra toutefois adapter les valeurs instantanées notamment en stockant la surproduction nocturne. On pourra proposer la recharge de véhicules électriques en heures creuses, ou la production d'hydrogène vert.

## D. Commentaires du jury

Cette épreuve est d'une durée de 6 heures, coefficient 1. Elle a pour objectif de vérifier les compétences du candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système pluritechnologique dans le cadre de l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique.

### 1. Présentation du sujet

Le sujet comporte deux parties indépendantes dans lesquelles on retrouve des sous parties, elles aussi indépendantes. Les parties sont organisées avec une difficulté progressive du questionnement. L'épreuve a pour objet de concevoir certains composants de l'unité de valorisation énergétique des déchets et du nouveau réseau express régional afin de mettre en corrélation le talon de production locale décentralisée d'énergie électrique et son principal poste de consommation. Le territoire métropolitain de 300 000 habitants répartis sur 2000 km<sup>2</sup> se conforme aux exigences des normes internationales sur les systèmes de management pour le développement durable des communautés et de leurs indicateurs de réussite.

### 2. Analyse globale des résultats

Une première remarque d'ordre général peut être faite sur la qualité de la rédaction très hétérogène selon les candidats. Trop de copies sont difficilement lisibles et comportent beaucoup de ratures. Le jury constate chez certains candidats un manque de maîtrise du français scientifique, qui se traduit aussi bien par des erreurs de compréhension de la question posée que par des réponses insatisfaisantes.

Un petit nombre de candidats bien préparés traitent correctement la quasi-totalité du sujet. A contrario, un certain nombre de candidats ne maîtrisent pas les compétences et connaissances élémentaires attendues dans ce concours de recrutement.

La mauvaise gestion du temps entre les deux parties, pourtant d'égale importance dans le barème, pénalise le traitement de la partie B pour la majorité des candidats qui suit linéairement le déroulé du sujet. Cependant les sous parties introductives (A1 et B1) de difficulté limitée sont bien mieux réussies que les autres, lorsqu'elles sont traitées. Un trop grand nombre de candidats fait l'impasse sur une partie entière du sujet, ce qui altère fortement la note finale.

### 3. Commentaires sur les réponses apportées

La partie A1 étudie la ressource combustible de l'usine d'incinération des déchets. Elle est correctement traitée par une majorité de candidats. Cependant la notion de moyenne pondérée ou l'utilisation des macro unités de l'énergie pénalise trop de candidats certainement par manque de concentration durant ce début d'épreuve.

La partie A2 étudie le dimensionnement de l'alternateur et de l'échangeur thermique. Très mal traitée, elle démontre le manque de connaissances d'une majorité de candidats dans la modélisation thermodynamique de la cogénération d'électricité et de chaleur.

La partie A3 étudie la conception de l'alternateur. La démarche, bien que très habituelle dans l'étude des alternateurs synchrones, reste parcellaire pour trop de candidats. Le jury dénombre trop d'erreurs sur les formules de base des puissances triphasées et sur l'utilisation des rendements. Le plan de fonctionnement de l'alternateur est très peu connu et seul un tiers des candidats abordent la résolution d'une simple équation du second degré.

La partie A4 étudie le dimensionnement du transformateur. Encore une fois, le mauvais traitement d'une partie aussi fondamentale de l'ingénierie électrique démontre le manque de préparation d'une majorité

de candidats. Les notions de couplage, de rapport de transformation équivalent par colonne ou de force électromotrice par spire doivent être connues d'un candidat à l'agrégation.

La partie B1 porte sur la détermination de la motorisation nécessaire. L'utilisation du principe fondamental de la dynamique ou de la loi Coulomb qui était rappelée, sont mal maîtrisés par une majorité de candidats, ce qui handicape les candidats concernés pour aboutir au choix de la motorisation adéquate.

La partie B2 étudie l'architecture réelle de la chaîne de traction. La moitié des candidats est capable à partir du modèle simplifié d'une phase d'en déduire l'expression du couple électromagnétique ce qui est encourageant. Par contre seuls 10 % des candidats sont capables d'exprimer une température de jonction en analysant un schéma thermique nodal ce qui est pourtant un calcul très classique.

La partie B3 étudie la stratégie de contrôle de l'onduleur de traction. Cette partie est constituée d'une importante série de questions courtes ne nécessitant quasiment pas de calcul. Les candidats n'ont pas suffisamment profité de cette opportunité compte-tenu probablement d'un manque de temps. La seule question calculatoire faisant appel à de la trigonométrie n'a quasiment pas été abordée.

#### 4. Conclusion et conseils aux futurs candidats

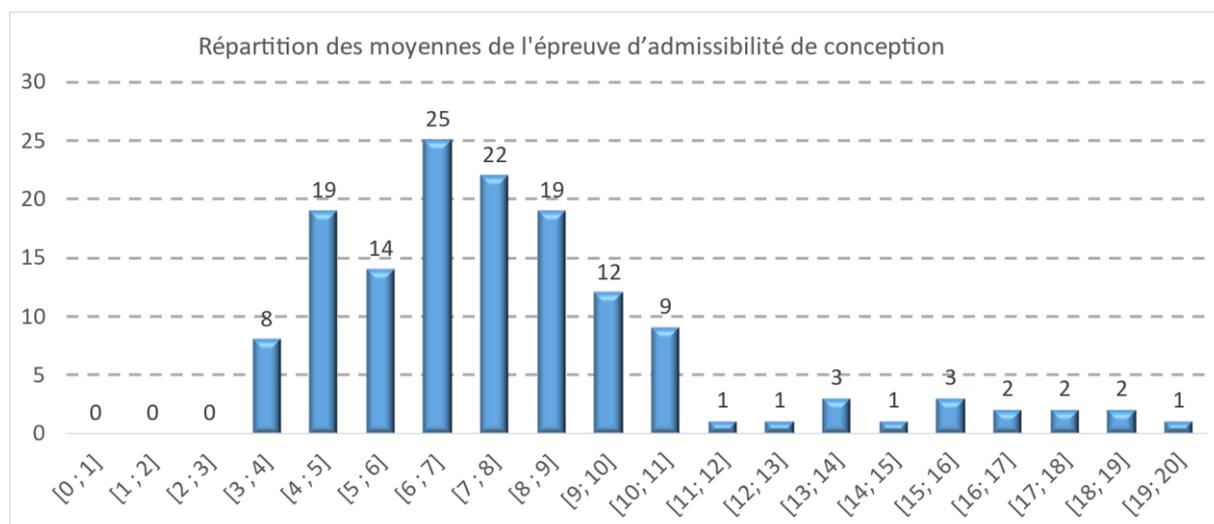
Comme dans toute discipline, la communication écrite est importante et mérite une attention particulière. Le jury conseille aux futurs candidats de soigner leur écriture. Il est aussi recommandé de mettre en évidence les expressions littérales et les applications numériques associées. Les unités, judicieusement choisies, ne doivent pas être omises quand il y en a. Enfin, le jury attire l'attention des futurs candidats sur le fait que lorsque des valeurs numériques sont demandées, les formes littérales ne suffisent pas pour obtenir l'intégralité des points alloués à la question.

La gestion du temps sur une épreuve de six heures est primordiale, le jury invite les prochains candidats à prendre le temps d'étudier le sujet et de planifier leur épreuve au début de celle-ci. Le jury encourage les candidats à s'intéresser à toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des différentes compétences nécessaires à la résolution de problématiques de sciences industrielles de l'ingénieur. Ainsi, le jury apprécie les copies où les candidats tentent de répondre à la globalité du sujet. De nombreuses questions sont indépendantes et il est souvent possible de conclure malgré des résultats intermédiaires manquants.

Enfin, le jury invite vivement les candidats à se préparer avec sérieux et rigueur, à lire attentivement les rapports de jury, à s'entraîner sur les épreuves des sessions passées et à s'inscrire dans les dispositifs de formation ou de préparation qui sont mis à leur disposition.

## E. Résultats

L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.



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

## A. Présentation de l'épreuve

### Textes de référence

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

[Arrêté du 24 juin 2019 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation](#)

- Durée totale 6 heures (activités pratiques 4 heures, préparation de l'exposé 1 heure, exposé 30 minutes maximum, entretien 30 minutes maximum).
- Coefficient 2.
- 10 points sont attribués à la 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 2024, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général et 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 de formation visé précisé dans l'énoncé 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 ;
- mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

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

### **Phase 1 – 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 connecté 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, sur un spectre large permettant une approche pluritechnologique. L'exploitation des résultats obtenus (hypotheses, 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 partie, 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 mais sont disponibles en tant qu'assistant technique.

### **Phase 2 – 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 connecté 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.

### **Phase 3 – 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 parties 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. Néanmoins les résultats expérimentaux ou de simulation numérique peuvent être utilisés afin d'illustrer la séquence ou la séance expérimentale.

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 au sein de la communauté éducative.

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 2024 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- maquette didactisée d'un bras de pelleteuse ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- attelle de remobilisation du genou.

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 de puissance ;
- 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 ;
- analogie entre différents domaines.

## 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 réalisées durant la quatrième 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 troisième 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.

Quelques rares candidats ne présentent pas du tout de séquence pédagogique, et se contentent de rappeler les résultats obtenus lors des activités pratiques. Un tel décalage avec les attendus de l'épreuve surprend au regard de l'exigence du concours de l'agrégation.

#### • **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 et connaissances visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation et la remédiation sont souvent absentes de la séquence.

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

Il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Ces deux séquences sont de difficulté équivalente. Cette possibilité laissée au candidat est bien appréhendée. Pour tous les 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 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.

Les manipulations proposées sont très guidées de sorte que le candidat peut rapidement appréhender l'environnement logiciel et matériel du support. Certains candidats se trouvent en difficulté dès cette phase de prise en main. Le jury leur recommande de se confronter plus régulièrement à la manipulation de systèmes réels et/ou didactisés.

##### **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 généralités 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 de puissance 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, environnements de programmation...).

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 ;
- suivre rigoureusement les protocoles expérimentaux qui leur sont proposés ;
- corréler 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. Des illustrations intégrant des captures d'écran montrant les résultats obtenus permettent de rendre plus concrètes les manipulations proposées.

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.

### **Phase 3 – 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.

Il n'est pas attendu des candidats la présentation des activités réalisées lors de la première phase de cette épreuve, déjà évaluées au cours de la première phase.

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 étant toujours possible sur des sites publics.

Le jury apprécie lorsque les diapositives sont numérotées lors de la présentation orale : cela lui permet de se référer plus facilement aux éléments de présentation. 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**

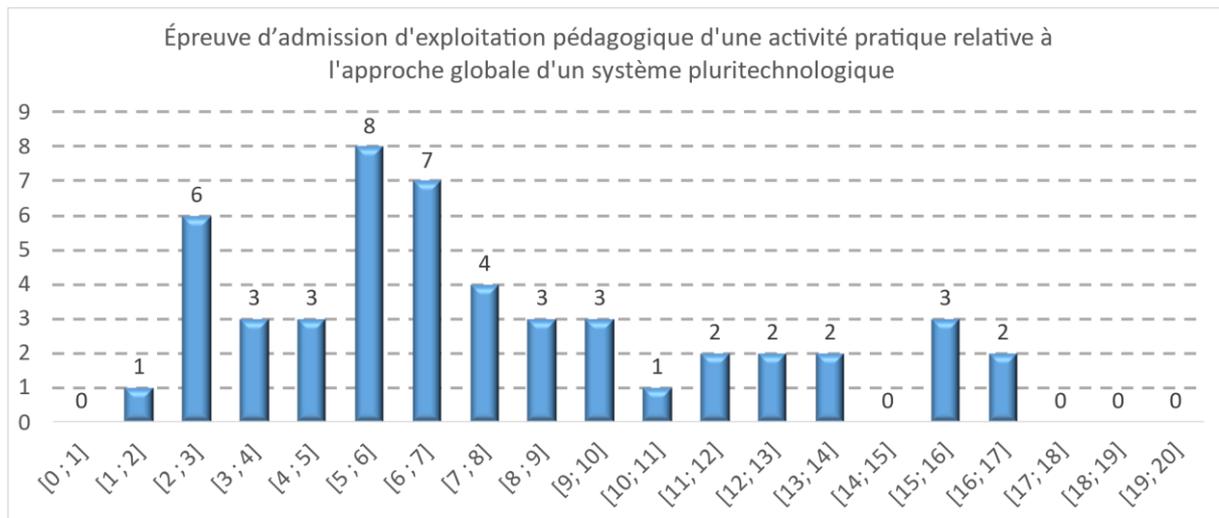
L'augmentation du nombre de candidats présentant un niveau très insuffisant révèle leur impréparation à une épreuve qui est exigeante. Les candidats en capacité de mener à la fois des expérimentations rigoureuses et une réflexion pédagogique approfondie ont été très peu nombreux.

La session 2024 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 des notes obtenues est de 7,75/20. L'écart-type est de 4,2. La meilleure note est 16,2/20. La plus faible est 1,2/20.



## D. Exemple de sujet

### Robot à câbles

**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>     | Modéliser une chaîne électro-mécanique   | Modéliser pour vérifier les performances statiques d'un mécanisme, d'une structure ou d'un ouvrage |
| <b>Niveau de formation visé</b> | Terminale générale – Enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur  |  |
| <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 : <ul style="list-style-type: none"><li>- robot à câbles ;</li><li>- télescope asservi Astrolab ;</li><li>- robot cueilleur de fruits (MaxPid) ;</li><li>- pilote hydraulique de bateau ;</li><li>- projecteur de scène motorisé ;</li><li>- robot holonome ;</li><li>- gyropode ;</li><li>- robot humanoïde Darwin</li><li>- barrière Sympact</li></ul> |  |
| <b>Effectif</b>                 | Classe de 40 à 42 élèves, groupes à effectif réduit de 20-21 élèves.   |  |
| <b>Volume horaire</b>           | 4 heures hebdomadaires (1h de cours + 1h de TD + 2h de TP).  |  |

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

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme SI.pdf) ;
- une proposition de progression didactique adaptée au niveau de formation visé (fichier Progression didactique SI.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 banc robot à câbles didactisé, motorisé et instrumenté ;
- un poste informatique équipé des logiciels utiles ;
- une webcam à brancher sur le port USB du PC pour enregistrer des photos ou des vidéos ;
- un mètre ruban ;

- deux stylos feutres (2 couleurs) ;
- deux dynamomètres 5N et deux dynamomètres 20N ;
- deux masses de 500 g et 1000 g ;
- une brosse ou chiffon ;
- un rouleau de fil.

Le dossier ressource, fourni sous format numérique et papier, comprend :

- DR1 : vidéo de présentation (uniquement en version numérique à lire avec le logiciel VLC) ;
- DR2 : système réel Skycam présentation – exigences ;
- DR3 : système didactisé robot à câbles (RAC) : présentation – exigences ;
- DR4 : mise en service du système et des logiciels associés ;
- DR5 : description des fonctionnalités du robot à câbles et de la webcam ;
- DR6 : lois de commande – définition des notations ;
- DR7 : exemples d'utilisation du logiciel MotionLab.

Le dossier technique, fourni sous format numérique, comprend :

- DT1 : documentation commerciale du moteur DB59 ;
- DT2 : documentation technique du moteur DB59 ;
- DT3 : documentation commerciale du codeur ;
- DT2 : documentation technique du codeur.

Un dossier « Fichiers Simulation » contient les fichiers nécessaires à la réalisation des activités proposées.

**Activité 1** Prendre connaissance du système (DR1 à 3) et mettre en œuvre le robot à câbles à l'aide de DR4 et DR5, en mode « dégradé » uniquement en utilisant les commandes « libre » et « bloquée ». Visualiser les 4 déplacements suivants : Vertical ascendant, Vertical descendant, Horizontal direction droite, Horizontal direction gauche.

**Activité 2** Repérer sur le robot à câbles les composants décrits dans le diagramme de description des blocs partiel [bdd] (DR3) et décrire succinctement leur fonction. Décrire structurellement le robot à câbles et compléter sur le DRep1 le diagramme des blocs internes [ibd] avec les constituants et la nature des flux manquants.  
Indiquer si le système est asservi.

**Activité 3** Réaliser un schéma cinématique plan du treuil gauche du système du laboratoire. Établir la relation liant la position angulaire du tambour, notée  $\theta_{\text{tambour}}$ , à la position longitudinale du chariot, notée  $X_{\text{chariot}}$ , et déterminer le déplacement du chariot lorsque le tambour effectue un tour. Conclure vis à vis de l'exigence Req 6 présentée DR3.

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

Problématique technique et scientifique : comment élaborer les lois de commande du robot à câbles ?

On souhaite vérifier l'exigence « Req 2 » présentée dans le DR3 : « l'effecteur doit suivre les consignes en vitesse en coordonnées cartésiennes imposées au joystick avec une erreur inférieure à  $5^\circ$  sur la direction du vecteur vitesse » donnée dans le classeur ressource.

#### Mise en évidence des limites du mode « dégradé »

**Activité 4** Mettre en place un protocole expérimental permettant de vérifier l'exigence « Req 2 ». Synthétiser les observations issues des manipulations en complétant la première ligne du tableau du document réponse DRep2 pour le mode « dégradé ».

Une modélisation du comportement du système a été réalisée en langage Python : fichier simulation\_1.py dans le dossier « Fichiers simulation ».

**Activité 5** Exécuter le code, se placer en mode dégradé et compléter le DRep2. Conclure quant à la validité du modèle de simulation.

**Activité 6** À partir du code de simulation et du DR6, donner l'expression de la loi de commande des vitesses  $v_1$  et  $v_2$  des treuils en mode « dégradé ». Compléter le DRep2. Conclure sur les défauts du comportement en mode « dégradé » et expliquer succinctement comment y remédier.

### **Étude du comportement du robot à câbles en mode « normal »**

On s'intéresse à présent au comportement du robot à câbles en mode « normal ».

**Activité 7** À partir du code de simulation et du DR6 en mode normal, expliquer les nouvelles lois de commande des vitesses  $v_1$  et  $v_2$  des treuils. Proposer une modification du diagramme [ibd] sur le DRep1 pour modéliser les flux d'informations complémentaires dus à la commande en mode « normal ». En vous aidant des documents techniques DT1 à DT4, justifier la nécessité d'une prise d'origine pour utiliser le mode « normal ».

Placer sur le robot l'effecteur au point P0. Basculer la console en mode « normal ».

**Activité 8** Vérifier expérimentalement le changement de comportement et valider que le mode « normal » satisfait l'exigence attendue Req 2.

Toujours en mode normal, on travaille avec une masse embarquée de 1 kg. Faire valider si besoin le changement de masse par l'examineur.

**Activité 9** À partir du point P4, réaliser un mouvement horizontal aller/retour et mesurer les coordonnées (x,y) de 7 points caractéristiques dans ce mouvement. Modifier dans le code de simulation à partir de la ligne 245, les coordonnées des points expérimentaux. Décommenter la ligne 248.

**Activité 10** Expliquer le programme réalisé par la fonction « ecarts » du fichier de simulation simulation\_1.py. Compléter cette fonction afin qu'elle renvoie l'écart maximum entre la simulation et les points de mesure.

**Activité 11** Pour analyser les écarts entre le modèle et les relevés expérimentaux :

- lancer la simulation ;
- reproduire et tracer le mouvement de l'activité 9 sur un mouvement aller/retour horizontal ;
- fermer la fenêtre graphique ;
- exécuter la fonction « ecarts » et lire la valeur maximale de l'écart affiché.

Conclure quant à l'origine des écarts. Indiquer la conséquence sur le système réel Skycam utilisé dans les stades.

### **Étude du comportement mécanique du système et des limites de fonctionnement**

Le travail s'effectue toujours en mode « normal », avec une masse embarquée de 1 kg.

Le comportement mécanique du système et des limites de fonctionnement du robot à câbles en mode « normal » est désormais étudié.

**Activité 12** Élaborer et conduire un protocole expérimental mettant en évidence l'influence de la position de l'effecteur sur la répartition des efforts dans les câbles. Exploiter les résultats et les synthétiser graphiquement (tableau ou courbe).

**Activité 13** Élaborer un modèle statique permettant d'établir une relation entre le poids de l'effecteur, les tensions dans les câbles et la position de l'effecteur (méthode graphique ou analytique au choix). Pour trois points particuliers, quantifier les écarts entre ce modèle, la simulation et l'expérimentation. Synthétiser les résultats.

**Activité 14** Justifier la présence des zones interdites lors de la manipulation. Conclure sur la limite d'action du robot à câbles en fonction des caractéristiques du bloc d'alimentation électrique, du motoréducteur et de la résistance élastique des câbles.

#### **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 documents fournis pour mener cette partie sont les suivants :

- le fichier de simulation simulation\_1.py disponible dans le dossier « Fichiers simulation » ;
- le dossier ressources, et plus particulièrement le DR7 « Exemples d'utilisation du logiciel MotionLab » qui permet de proposer des expérimentations complémentaires ;
- les documents fournis et accessibles dans le dossier « Contexte pédagogique ».

#### **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.

#### **Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)**

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

## A. 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 technique ;
- 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 ;
- présenter de manière détaillée une séance de cette séquence et un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives.

La séquence présentée doit prendre appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Lors de son travail de réflexion sur la séance, le candidat doit plus particulièrement développer, en faisant référence au programme visé une séance qui pourra comprendre les items suivants :

- une présentation de la problématique ;
- la situation de la séance dans la séquence ;
- les compétences visées et savoirs associés ;
- le déroulé de la séance ;
- la ou les démarche(s) pédagogique(s) utilisée(s) ;
- les modalités d'évaluation mises en œuvre ;
- les éventuelles remédiations envisagées.

### 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.

- Phase 1 - Manipulation expérimentale en laboratoire : 4 heures
- Phase 2 - Préparation de la présentation : 1 heure
- Phase 3 - Présentation des travaux devant le jury : 1 heure
  - exposé : 30 minutes maximum
  - entretien : 30 minutes maximum

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

Cette phase d'une durée totale de 4h, se déroule en trois parties 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.

*Première partie (durée ≈ 0h30)*

Pour cette partie, les développements ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, le jury s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de l'activité pratique ainsi que la problématique proposée.

#### *Deuxième partie (durée ≈ 2h00)*

Pour cette partie, après la présentation du système, le candidat doit suivre les études et le questionnement proposés afin de répondre à la problématique de l'activité pratique. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de réaliser des mesures expérimentales, conduire des simulations, de résoudre les problèmes posés, puis d'en exploiter les résultats obtenus.

#### *Troisième partie (durée ≈ 1h30)*

Le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence en s'aidant du support mis à sa disposition, des développements, des investigations et des analyses effectués ou d'autres éléments qu'il a la possibilité de concevoir, en précisant et en validant un ou plusieurs protocoles permettant de répondre à la problématique.

L'exploitation pédagogique proposée s'appuie sur les activités pratiques réalisées lors des deux premières parties mais aussi sur les expérimentations que le candidat réalise librement pendant la troisième partie.

Elle est relative à l'enseignement spécifique des programmes du :

- BTS Cybersécurité, Informatique et Réseaux, Electronique (option B : électronique et réseaux) ;
- BTS Electrotechnique ;
- BUT Génie Electrique et Informatique Industrielle.

Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique, relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé.

#### **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 ainsi qu'une synthèse des activités menées dans la phase 1 de l'épreuve (durée indicative de 10 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 2024 sont :

- l'échantillonnage des signaux et le traitement numérique ;
- le filtrage et la modulation numérique ;
- la transmission de données sans fil ;
- les modulations analogiques et numériques ;
- l'automatique linéaire ;
- les protocoles de communication numérique ;
- les perturbations harmoniques sur un réseau ;
- la variation de vitesse d'une machine asynchrone ;
- la génération d'énergie photovoltaïque ;
- la conversion et le stockage de l'énergie électrique ;
- la compensation de l'énergie réactive.

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 ;
- mise en œuvre de protocoles expérimentaux ;
- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- identification du comportement ou choix de composants ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- implantation de solutions logicielles et/ou matérielles.

## B. Commentaires du jury

### 1. 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 BUT.

L'utilisation de progiciels de simulation multiphysique et d'analyse de circuits électriques (à cœur SPICE) 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 (utilisation d'un tableur) 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 qu'une part non négligeable des candidats ne maîtrise pas certains fondamentaux tels que :

- les lois de l'électricité (théorème de Millman) ;
- les modèles équivalents (Thevenin, Norton) ;

- le filtrage élémentaire du premier et second ordre ;
- l'échantillonnage des signaux (en temps/fréquence) ;
- les valeurs caractéristiques définissant les grandeurs électriques (valeur efficace, valeur moyenne) ;
- l'analyse harmonique d'un signal électrique ;
- la caractérisation d'un réseau triphasé ;
- les grandeurs électriques permettant la variation de vitesse des différents moteurs électriques.

Le jury regrette le manque d'autonomie dans la conduite des expérimentations et la prise en main des outils de simulation fournis. Par ailleurs, 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, ses analyses et ses conclusions qu'il a pu formuler en cohérence avec la séquence pédagogique qu'il a construite. Le candidat doit également détailler le contenu de l'une des séances d'enseignement.

Le jury a constaté, pour cette session 2024, une utilisation contrastée de ce temps de présentation de la part de nombreux candidats. 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 imposés par le sujet de l'épreuve. Certains candidats montrent leur méconnaissance de ces référentiels, ce qui conduit à des présentations très imprécises voire hors sujet.

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 (en particulier l'oscilloscope) ;
- maîtriser les outils de simulation des circuits électriques et électroniques ;
- maîtriser les architectures des réseaux industriels.

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 ou analogiques de signaux.

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

- d'enseignement de spécialité « Ingénierie, Innovation et Développement Durable » (2I2D) 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 « Cybersécurité, Informatique et Réseaux, Electronique » (option B : électronique et réseaux) et « Électrotechnique » ;
- du BUT « Génie Électrique et Informatique Industrielle » (GEII).

Il ne s'agit pas de connaître par cœur l'intégralité des programmes mais le jury attend des candidats que les référentiels soient connus dans leurs architectures, modalités pédagogiques, modalités certificatives. Le jury encourage en outre les candidats à aller à la rencontre d'enseignants dans ces formations pour échanger sur les éléments cités précédemment. L'accompagnement et le suivi des élèves ou étudiants dans leur parcours de formation nécessitent impérativement des connaissances générales sur les niveaux de formation avant et après la filière dont le professeur prend en charge les enseignements. Par ailleurs, le jury attend aussi des candidats qu'ils puissent montrer leurs connaissances des conditions d'exercice du métier dans le niveau de formation demandé.

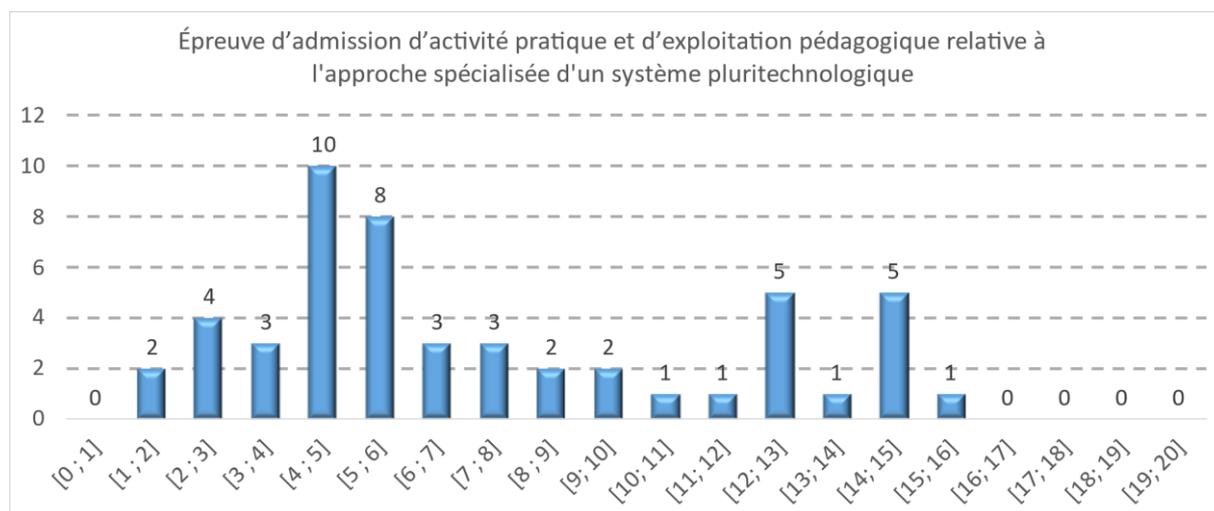
Il est important de préciser que chaque séquence pédagogique présentée doit être contextualisée et construite à partir d'objectifs précis, avec des prérequis correctement identifiés dans le programme ou le référentiel de formation ciblée par le sujet.

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.

## C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 7,64/20. L'écart-type est de 4,36. La meilleure note est 16,9/20. La plus faible est 1,1/20.

L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.



## D. Exemple de sujet

### Phase 1 - Partie 1 – Découverte du système et de la problématique (durée ≈ 0h30)

#### Système de transmission audio sans fil XS Wireless Sennheiser

Le système de transmission audio sans fil XS WIRELESS de la société SENNHEISER est un ensemble constitué d'un émetteur portable SK20 permettant de connecter un micro cravate et d'un récepteur radio EM10 dédié pouvant être raccordé à un dispositif de sonorisation professionnel (table de mixage, enceinte amplifiée, etc...).

Cet ensemble met en œuvre une transmission en modulation de fréquence analogique (FM) autour de fréquences porteuses dans la bande 863-865MHz. L'émetteur portable dont un extrait de la documentation constructeur est disponible en annexe est construit autour d'une boucle à verrouillage de phase utilisée en synthèse de fréquence. Les performances de ce système de transmission sont données dans le fascicule accompagnant le produit.

A travers cette épreuve de TP, la mise en œuvre d'un banc de caractérisation permet de tester et d'évaluer l'émetteur portable puis le récepteur radio de façon indépendante. Parallèlement à ce travail, l'utilisation de maquettes didactiques spécifiques permet une analyse détaillée des fonctions fondamentales de cette chaîne de communication.



**Figure 1 :** Instruments & maquettes didactiques du banc de test pour le système XS Wireless

Pour cette première partie, les manipulations proposées ont pour objectif de prendre en main les différents instruments mis en œuvre pour le banc de caractérisation dans le cadre d'une transmission en modulation de fréquence. Cette partie permet également de vérifier les grandeurs importantes rencontrées dans une transmission FM.

## A – Prise en main des appareils & caractérisation élémentaire d'une transmission FM

Les appareils mis en œuvre dans cette partie sont :

- Un générateur RF TSG4102A qui permet de délivrer un signal sinusoïdal avec toutes les options de modulations.
- Un oscilloscope / analyseur de spectre RF MDO3014 possédant 4 voies d'oscilloscope numérique et une entrée RF spécifique pour la partie analyseur de spectre RF.

1. Mettre le générateur RF TSG4102A et l'oscilloscope MDO3014 en route et procéder aux configurations initiales (PRESET pour TSG4102A & Default Setup sur MDO3014)
2. Régler le générateur RF TSG4102A de telle sorte à obtenir un signal sinusoïdal de fréquence  $f_p=8\text{MHz}$  (ce choix qui correspond à 1/100 de la fréquence porteuse du micro sans fil facilite l'observation sur l'oscilloscope) et de niveau  $-10\text{dBm}$
3. Connecter la sortie du générateur RF sur une voie de l'oscilloscope MDO3014 en sélectionnant la bonne impédance d'entrée. Pour rappel, la puissance en dBm est définie par la relation suivante :  $P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{1\text{mW}}\right)$  ou P représente la puissance du signal sur une charge de  $50\Omega$

Activité 1 **Observer** le signal sur l'oscilloscope et **justifier** l'amplitude crête à crête obtenue.

4. Connecter la sortie du générateur RF sur l'entrée RF de l'analyseur de spectre.
5. Configurer les paramètres principaux Ref Level & Center Frequency pour obtenir une représentation correcte sur l'écran de l'analyseur de spectre. Le paramètre SPAN est fixé à une valeur de  $200\text{kHz}$ .
6. Dans le générateur RF appuyer sur le bouton mod (modulation) et sélectionner la modulation FM (analog). Choisir un modulant sinusoïdal de fréquence  $f_a=10\text{kHz}$  (Rate). Régler la déviation  $\Delta f=24\text{kHz}$ . Les réglages de fréquence porteuse  $f_p=8\text{MHz}$  et niveau du signal modulé à  $-10\text{dBm}$  sont conservés.

Activité 2 **Observer** le spectre du signal modulé et vérifier que les réglages effectués correspondent au cas du « Faux porteur » en déterminant la valeur de l'indice de modulation m et en se reportant aux rappels importants fournis en annexe 1 & 2. Avec la fonctionnalité Marker de la partie analyseur de spectre **mesurer** et **justifier** le niveau des composantes fréquentielles en  $f_p \pm f_a$ .

## B – Découverte du kit Wireless XS

Le kit Wireless XS est essentiellement destiné à des applications en intérieur. L'onde porteuse peut donc être soumise à de multiples réflexions sur les murs et différents obstacles pouvant aboutir à une annulation du signal sur le récepteur. Pour éliminer au maximum les trous de réception le dispositif de réception utilise 2 récepteurs avec 2 antennes suffisamment écartés pour obtenir dans tous les cas un niveau de réception suffisant comme l'illustre la figure 2 suivante.

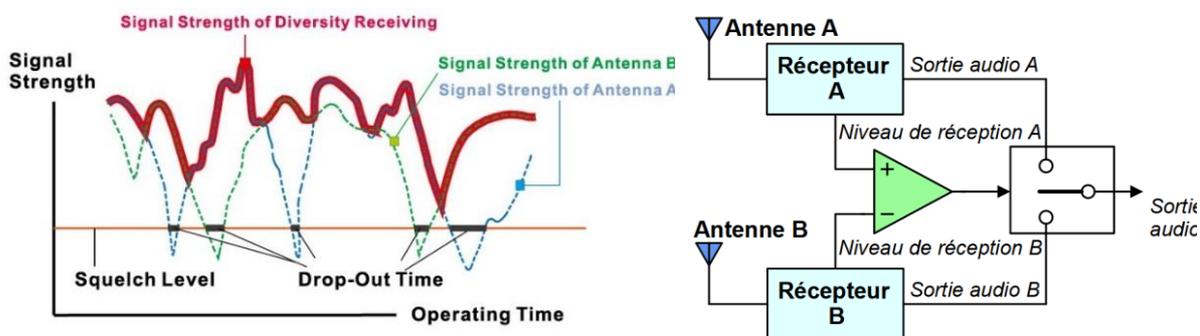


Figure 2 : Système « diversity »

Dans le cadre de cette découverte) où seul le récepteur A est utilisé, l'émetteur est placé à proximité rendant les conditions de transmission optimales. L'antenne du récepteur B est remplacé par un bouchon  $50\Omega$ . L'antenne non utilisée est ainsi disponible pour l'analyseur de spectre.

7. Mettre en route l'émetteur portable sans connecter le micro-cravate dans un premier temps.

Activité 3 **Mesurer** la longueur des antennes sur l'émetteur ou sur le récepteur et **justifier** simplement cette valeur compte tenu des fréquences mises en jeu.

8. Connecter l'antenne disponible sur l'entrée de l'analyseur de spectre.

Activité 4 **Régler** l'analyseur de spectre en ajustant la fréquence centrale et le niveau de référence puis **relever** la présence d'une porteuse et d'un signal pilote (inaudible) de fréquence 32,768kHz intégré dans la modulation en choisissant judicieusement la valeur du paramètre SPAN.

9. Mettre en route le récepteur et connecter la sortie jack 6,35mm sur l'oscilloscope (Impédance d'entrée 1M $\Omega$ ) en utilisant le cordon BNC/Jack mis à disposition.

10. Connecter le microphone sur l'émetteur

Activité 5 **Vérifier** la présence d'une activité radio sur l'analyseur de spectre puis effectuer les réglages de l'oscilloscope afin d'**observer** la présence d'un signal audio cohérent avec les sons captés par le microphone.

## Phase 1 - Partie 2 – Analyse du système (durée $\approx$ 2h00)

### A – Etude & caractérisation de l'émetteur portable

Pour effectuer la caractérisation de l'émetteur, l'utilisation de l'entrée ligne permet d'injecter un signal modulant sinusoïdal délivré par le générateur AFG1062 (Sortie Load HighZ – Touche Utility). Les options de configurations sur l'entrée jack 3,5mm stéréo et la connectique dédiée sont indiqués sur figure 3 ci-dessous.

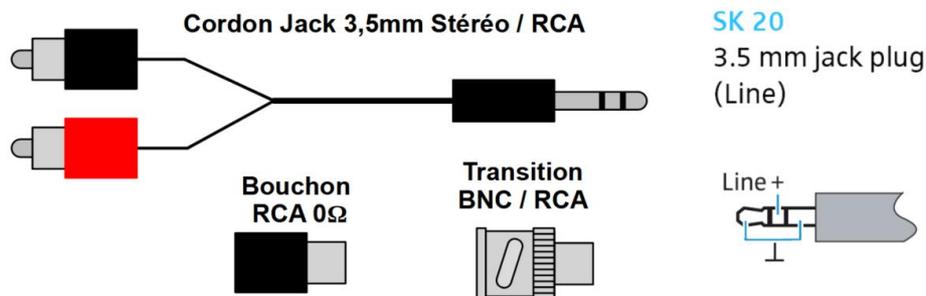


Figure 3 : Connectique pour l'entrée de modulation de l'émetteur

1. Avant de connecter le connecteur jack sur l'émetteur, effectuer les tests élémentaires de continuité électrique permettant de vérifier le bon usage des différentes connectiques.
2. Positionner le niveau de l'entrée ligne à -30dB sur l'émetteur portable.
3. Injecter un signal sinusoïdal de fréquence 8kHz dont l'amplitude est de 100mVpp.
4. Observer le signal en sortie du récepteur sur l'oscilloscope et le signal modulé sur l'analyseur de spectre en adaptant les paramètres SPAN.

Activité 6 **Augmenter** l'amplitude du signal modulant sinusoïdal (sans dépasser 2Vpp) et **noter** l'amplitude de ce signal qui permet d'obtenir le spectre typique du faux porteur (m=2,4).

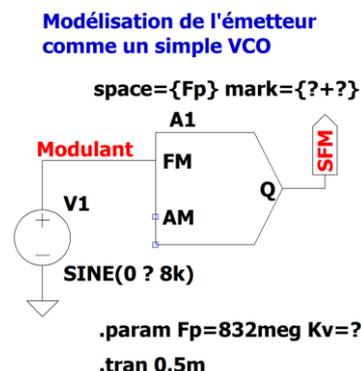
Activité 7 En considérant l'émetteur comme un simple VCO (Voltage Controlled Oscillator) en **déduire** le gain de conversion de celui-ci. **Vérifier** la cohérence de cette hypothèse en changeant la fréquence du signal modulant (4kHz puis 2kHz) et en notant

l'amplitude du signal modulant qui permet de conserver le spectre typique du faux-porteur.

Pour vérifier le résultat précédent, une simulation LTSpice est proposée en complétant le fichier EssaiVCOFM.asc à copier dans votre répertoire de travail.

Le bloc Modulate permet de simuler un VCO délivrant sur la sortie Q un signal sinusoïdal d'amplitude crête 1V et dont la fréquence évolue linéairement en fonction de la tension appliquée sur l'entrée FM.

Pour une tension d'entrée FM = 0V la fréquence de sortie correspond au paramètre space et pour une tension d'entrée FM = 1V la fréquence est celle indiquée par le paramètre mark.

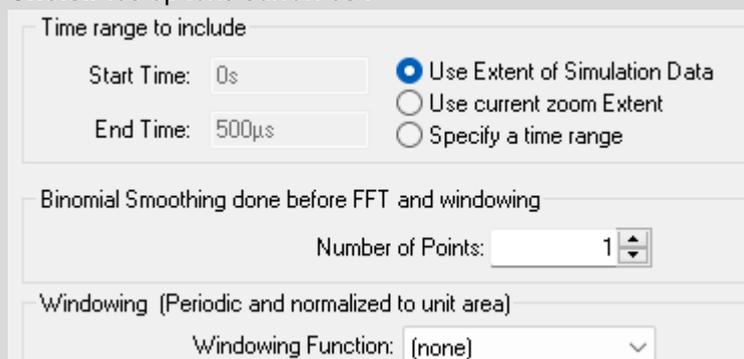


**Figure 4 :** Schéma de simulation EssaiVCOFM.asc

**Activité 8** **Compléter** le fichier de simulation à partir des résultats expérimentaux et observer la sortie SFM après avoir lancé la simulation (Simulate puis Run).

Une analyse FFT du signal modulé permet de retrouver le spectre typique du faux porteur en déroulant les étapes suivantes :

- Dans la fenêtre de représentation temporelle du signal modulé, **effectuer** un clic droit de souris puis dans le menu contextuel sélectionner View puis FFT
- Dans la fenêtre de configuration de l'analyse FFT, **vérifier** que la forme d'onde sélectionnée correspond au signal modulé. **Déterminer** le nombre de points nécessaire afin d'obtenir une fréquence d'échantillonnage suffisante compte tenu de la durée de simulation.
- **Choisir** les options suivantes :



**Lancer** l'analyse FFT en appuyant sur le bouton OK. Dans la fenêtre graphique obtenue, **déplacer** le curseur de la souris sur les axes de fréquence puis d'amplitude. Lorsqu'une petite règle apparaît un clic de souris gauche permet de choisir une représentation linéaire des 2 axes. **Effectuer** un zoom autour de la porteuse et **justifier** le résultat obtenu.

Pour terminer la caractérisation du micro sans fil, mesurer la bande passante du signal modulant en adoptant les réglages suivants :

- Signal modulant sinusoïdal d'amplitude 2Vpp et de fréquence 1kHz pour commencer

- Configuration -30dB sur l'entrée ligne de l'émetteur.

Activité 9 En changeant la fréquence du signal modulant et en observant la sortie du récepteur sur l'oscilloscope, **déterminer** la bande passante haute de l'entrée de modulation. **Comparer** cette valeur aux données proposées par le constructeur.

## B – Procédure de test du récepteur EM10

Pour effectuer la caractérisation du récepteur FM, l'émetteur est remplacé par le générateur RF TSG4102 ainsi que le générateur AFG1062 qui délivre le signal modulant et le signal pilote. La sortie du générateur RF est directement connectée sur l'entrée coaxiale de l'antenne A comme l'indique les éléments de la figure suivante.

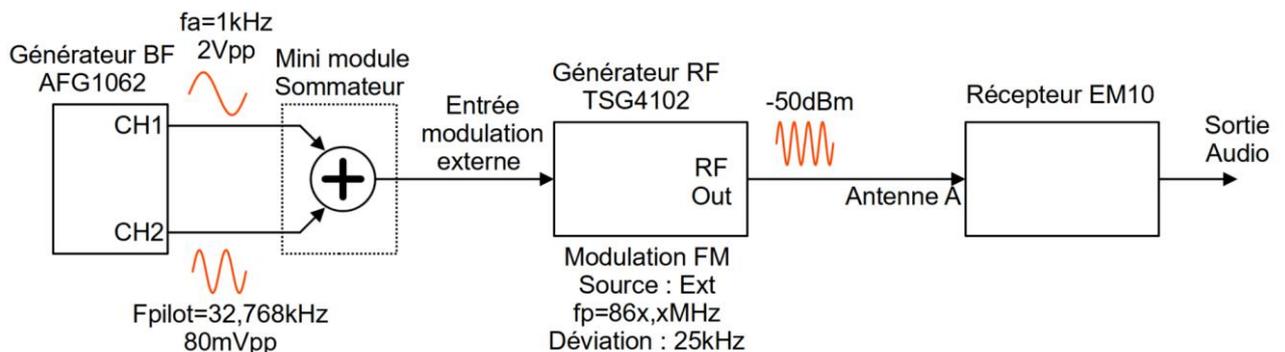


Figure 5 : Caractérisation basique de la liaison FM

Pour la réalisation du sommateur un mini module didactique est proposé et dont la mise en œuvre est détaillée ci-dessous.

La maquette support est alimentée sous une tension symétrique +/-9V. L'alimentation est transmise au mini-module par l'intermédiaire de fiche panneau Ø2mm. Les liaisons entre le mini module et les entrées BNC sont assurées par des mini-cordons banane-banane Ø2mm disponible dans une sacoche.

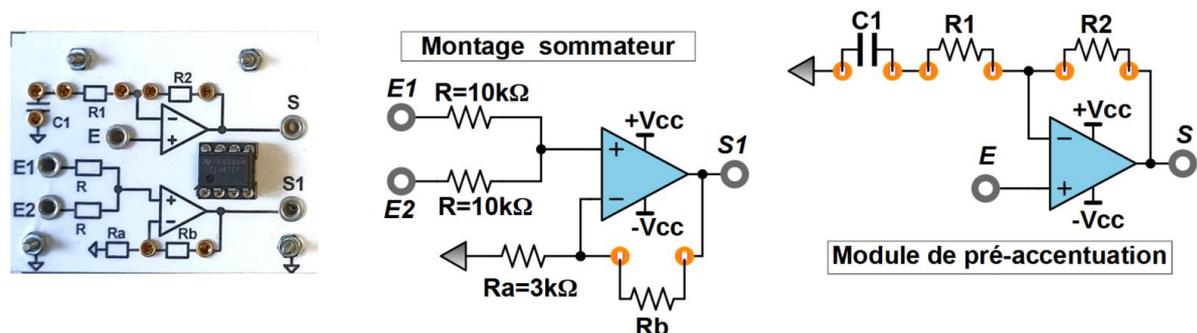


Figure 6 : Mini module didactique

Activité 10 Après avoir déterminé la valeur de  $R_b$  qui permet de réaliser l'opération  $S1=E1+E2$  avec le mini module dédié, **vérifier** que la sortie audio du récepteur délivre le signal modulant de fréquence  $f_a$  lorsque le signal pilote est actif.

Dans une liaison en modulation de fréquence, le niveau de bruit à la sortie du démodulateur est plus élevé pour les fréquences du signal audio élevées. Comme par ailleurs le niveau des composantes fréquentielles de la voix a tendance à diminuer lorsque la fréquence augmente, le rapport signal sur bruit pour la partie haute du spectre audio devient très mauvais. Il devient donc indispensable de prévoir un module de préaccentuation coté émetteur. Afin de retrouver un signal à l'identique coté récepteur un module de désaccentuation est utilisé et réalisé généralement par un simple filtre passe bas du 1<sup>er</sup> ordre. Pour mettre en évidence ce module de désaccentuation et donc l'absence du module de

préaccentuation coté émetteur il convient de changer la fréquence du signal modulant entre 200Hz & 8kHz pour une amplitude constante à 2Vpp.

Activité 11     **Mesurer** le niveau de réception pour les variations de fréquence proposées et **déterminer** la fréquence de coupure.

Pour la réalisation du module de préaccentuation, le montage est proposé sur le mini module dédié dont le schéma est donné sur la figure 6 précédente. Le condensateur C est fixé à une valeur de 6,8nF et la fréquence de coupure haute est réglée à 15kHz au-delà de laquelle le gain n'évolue plus.

Activité 12     **Effectuer** le dimensionnement de ce filtre préaccentuation en choisissant des résistances dans la série E12. **Proposer** une simulation LTSpice en complétant le fichier de simulation fourni filtre\_preaccentuation.asc permettant de vérifier le bon dimensionnement du module.

# Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel

## A. 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 économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée. »*

Sur ce point, l'arrêté du 24 juin 2019 art. 1 modifie l'annexe I de l'arrêté du 28 décembre 2009, fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, ainsi qu'il suit :

*« L'épreuve a pour but de vérifier (...) 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.

## B. Analyse globale des résultats

Trop de candidats ont présenté des dossiers manquant de consistance et/ou éloignés du domaine de l'ingénierie électrique, ce qui conduit à de mauvais résultats. Le programme de l'agrégation d'ingénierie électrique n'est pas une extension du programme de STI2D.

Au vu du nombre de dossiers portant sur des domaines éloignés du domaine de l'ingénierie électrique, le jury rappelle que l'ingénierie électrique est un domaine de l'ingénierie qui traite de la conception, du développement, de la gestion et de l'optimisation des systèmes électriques. Voici quelques-unes des principales branches de l'ingénierie électrique :

- l'électronique concerne la conception et le développement de composants électroniques tels que les circuits intégrés, les transistors, les diodes, les capteurs, etc.,
- l'électrotechnique se concentre sur les applications de l'électricité dans les domaines tels que les machines électriques (moteurs, générateurs), les systèmes d'éclairage, les systèmes de conversion d'énergie, les réseaux électriques, etc.,
- les systèmes embarqués combinent l'électronique et l'informatique pour la conception de systèmes embarqués dans des dispositifs tels que les véhicules, les avions, les smartphones, les appareils médicaux, etc.,
- l'énergie (qui ne se limite pas au photovoltaïque), branche de l'ingénierie électrique qui se concentre sur la production, la transmission et la distribution de l'énergie électrique,
- les télécommunications qui se rapportent aux systèmes de communication et de transmission d'informations.

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

### Le dossier industriel

Le jury encourage vivement les candidats à choisir des systèmes étant à la fois :

- industriels ou « grand public », relevant du domaine de l'Ingénierie Électrique,
- commercialisés et de conception récente,
- attractifs pour leurs futurs élèves ou étudiants.

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. Le cœur de l'étude et donc de la présentation doit porter sur le domaine de l'ingénierie électrique (Cf. programme de l'agrégation sur eduscol). Les modélisations et les simulations doivent être associées à des réalités matérielles. 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, les modèles canoniques doivent s'appuyer sur des structures authentiques. 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. Pour cela des documents techniques issus de l'étude seront adaptés au contexte pédagogique. 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 l'exposé, le jury apprécie particulièrement :

- un exposé oral clair prenant appui sur une présentation structurée et équilibrée ;
- un équilibre temporel entre étude technique et application pédagogique ;
- 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 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 communicant 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.

## **D. 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.

## **E. Résultats**

La moyenne des notes obtenues est de 8,47. L'écart-type est de 5.04. La meilleure note est 20/20. La plus faible est 1,1/20.

L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.

