



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : AGRÉGATION EXTERNE

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie électrique

Session 2023

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	18
E. Résultats	21
Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....	22
A. Présentation de l'épreuve	22
B. Sujet	22
C. Éléments de correction	23
D. Commentaires du jury	40
E. Résultats	42
Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	43
A. Présentation de l'épreuve	43
B. Sujet	43
C. Éléments de correction	44
D. Commentaires du jury	54
E. Résultats	55
Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.....	56
A. Présentation de l'épreuve	56
B. Commentaires du jury	60
C. Résultats	63
D. Exemple de sujet.....	64
Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique.....	69
A. Présentation de l'épreuve	69
B. Commentaires du jury	71
C. Résultats	74
D. Exemple de sujet.....	75
Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel.....	86
A. Présentation de l'épreuve	86
B. Commentaires du jury	86
C. Résultats	89

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 2023 du concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) option ingénierie électrique a permis de recruter 25 candidats alors que 29 postes étaient proposés. Si globalement, les candidats présents à cette session d'admission étaient bien préparés, l'admission n'a pu être prononcée pour ceux dont les prestations n'ont pas donné la garantie qu'ils étaient aptes à embrasser la carrière de professeur agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur. Cela est regrettable dans la mesure où les besoins dans les établissements scolaires sont importants.

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 2023 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.

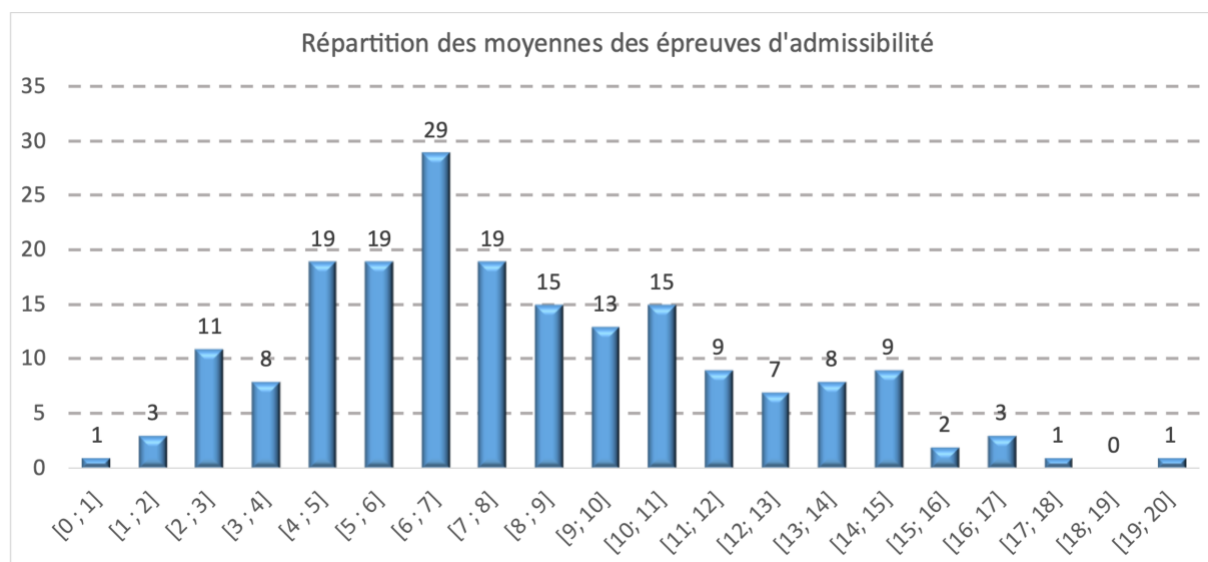
Résultats statistiques

Session	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux 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

* un candidat a été inscrit sur liste complémentaire

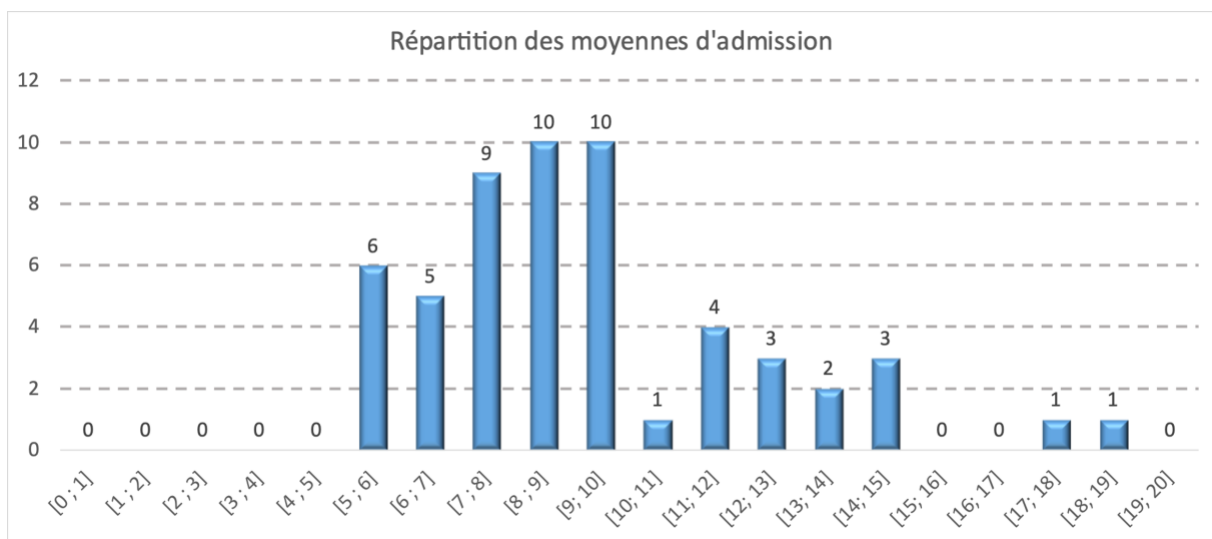
Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admissibilité à la session 2023

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	18,10
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	8,53
Moyenne des candidats présents	7,99
Moyenne des candidats admissibles	11,42
Écart-type des candidats présents	3,42
Écart-type des candidats admissibles	2,46



Statistiques et histogramme des moyennes des notes obtenues à l'admission à la session 2023

Moyenne obtenue par le premier candidat admis	18,01
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	9,17
Moyenne des candidats présents	9,33
Moyenne des candidats admis	11,75
Écart-type des candidats présents	2,95
Écart-type des candidats admis	2,59



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://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/Agreg_externer/00/6/s2023_agreg_externer_sii_1_1430006.pdf

Ce sujet porte sur le bâtiment de la Philharmonie de Paris. Son édification a débuté en septembre 2009 et s'est achevée en 2015 dans le parc de la Villette à Paris.



C. Éléments de correction

PARTIE 1 – Activité *Maestra, Maestro !* à la Philharmonie des enfants

Question 1 : La taille de la vidéo après compression est : $3840 \times 2160 \times 3 \times 25 \times 120 / 5000 \approx 15$ Mo.

Question 2 : Le débit de transmission est d'environ $\frac{1 \text{ bit}}{100 \mu\text{s}} = 10\,000$ bits/s. La durée totale de la transmission est de :

$$\frac{(12 \times 8 \text{ bits} + 12 \times 3 \text{ bits})}{10\,000 \text{ bits/s}} \approx 0,0132 \text{ s.}$$

Question 3 : Pour le checksum, on applique l'opération \otimes entre chaque octet :

$$0xAB = (1010\ 1011)_2$$

$$0x00 = (0000\ 0000)_2$$

$$0x52 = (0101\ 0010)_2$$

$$0x42 = (0100\ 0010)_2$$

$$0xE4 = (1110\ 0100)_2$$

On obtient :

$$1010\ 1011 \oplus 0000\ 0000 \oplus 0101\ 0010 \oplus 0100\ 0010 \oplus 1110\ 0100 = (0101\ 1111)_2 = (5F)_{16}.$$

Les deux caractères XX sont donc 5F si la lecture de la trame est correcte.

Question 4 : On relève du bit faible au bit fort : début de l'écran 11 (2 bits de STOP de l'octet précédent) puis 0 (un bit de START)

11^{ème} octet X : 1010 1100

11 (END) 0 (START)

12^{ème} octet X : 0110 0010

11 (END) 1 (aucune donnée)

11^{ème} octet lecture sérielle avec LSB en premier : $(0011\ 0101)_2 = (35)_{16} =$ caractère 5 ;

12^{ème} octet : $(0100\ 0110)_2 = (46)_{16} =$ caractère F.

On retrouve bien le résultat de la **question 3**.

Question 5 : Le calcul du *checksum* permet de fiabiliser les échanges entre le bracelet et le lecteur par exemple en cas de bruits parasites.

Question 6 : La taille de la vidéo compressée (15 Mo) est bien inférieure à 20 Mo, la durée totale de transmission du numéro du bracelet au lecteur est inférieure à 50 ms (13 ms) et enfin le calcul du *checksum* permet d'éviter les erreurs de lecture. L'ensemble des critères de l'exigence Id 1.1.1 est donc vérifié.

Question 7 : $\text{distance} = dx * \sqrt{((p1[0] - p0[0]) ** 2 + (p1[1] - p0[1]) ** 2)}$

Question 8 : $I(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \delta t.$

Question 9 :

$$A = \begin{bmatrix} I_x(p_0) & I_y(p_0) \\ I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ \dots & \dots \\ I_x(p_{n^2-1}) & I_y(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} -I_t(p_0) \\ -I_t(p_1) \\ \dots \\ -I_t(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}.$$

Question 10 :

```

for i in range(n) :
    for j in range(n) :
        It[i,j] = (I2[i,j] - I1[i,j]) / dt
# OU It[:,:] = (I2[:,:] - I1[:,:]) / dt
return It

```

Question 11 :

```

for j in range(n) :
    for i in range(n) :
        pts.append(mat[i,j])
# OU for i in range(n) :
#     for j in range(n) :
#         pts.append(mat[i,j])
# OU pts.append(mat[j,i])
# OU pts = [0]*(n*n)
#     k = 0
#     for i in range(n) :
#         for j in range(n) :
#             pts[k] = mat[i,j]
#             k += 1

return pts

```

Question 12 :

```

def Lucas_Kanade(Ix,Iy,It) :
    ptsIx = liste(Ix)
    ptsIy = liste(Iy)
    ptsIt = liste(It)
    # calcul de Vx Vy : A V = P
    A = zeros((len(ptsIx),2))
    P = zeros((len(ptsIx),1))
    for i in range(len(ptsIx)):
        # complexité de la boucle :  $O(n^2)$  (dimension de  $ptsIx$  :  $n^2$ )
        A[i,0] = ptsIx[i] # dimension de A :  $n^2 \times 2$ 
        A[i,1] = ptsIy[i]
        P[i] = - ptsIt[i] # dimension de P :  $n^2 \times 1$ 
    At = transpose(A) # complexité :  $O(2n^2)$ 
    C = dot(At,A) # complexité  $O(4n^2)$ 
    C = linalg.inv(C) # complexité  $O(8)=O(1)$  - dimension de C est  $2 \times 2$ 
    C = dot(C,np.transpose(A)) # complexité  $O(4n^2)$ 
    V = dot(C,P) # complexité  $O(2n^2)$ 
    return V

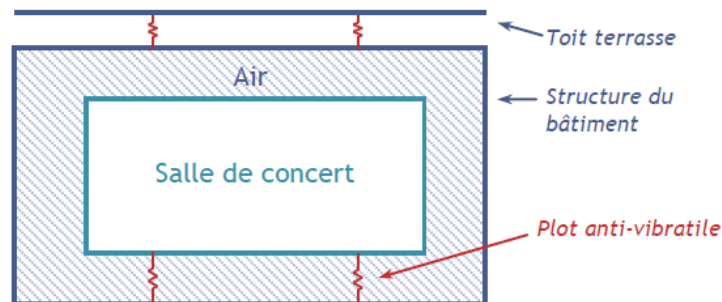
```

On ajoute des complexités d'ordre $O(n^2)$, la complexité de la fonction est donc $O(n^2)$.

Question 13 : La complexité de la méthode différentielle est quadratique tandis que celle de la méthode fréquentielle (transformée de Fourier d'une image) est $O(n^4)$. La méthode différentielle est donc efficace et l'exigence Id 1.2.1 est vérifiée. Il faudra tout de même vérifier que la taille de l'image $I(x,y,t)$ ne soit pas trop importante (en terme de nombre de pixels, sinon les calculs de traitement d'image seront longs en $O(n^2)$) et que le nombre d'images par seconde reste suffisant (pour garantir que δt entre deux images consécutives soit suffisamment petit et l'approximation de Taylor pertinente).

PARTIE 2 – Étude acoustique de la Grande salle Pierre Boulez

Question 14 :



Question 15 : $T_r = 0,16 \frac{V}{A_0}$ donc $A_0 = 0,16 \frac{V}{T_r}$.

Calcul du volume de la salle V : $V = 58 \times 46 \times 22 = 58\,696 \text{ m}^3$.

Calcul de l'aire d'absorption équivalente A_0 : $A_0 = \frac{0,16 \times 58\,696}{3} = 3130,45 \text{ m}^2$.

Calcul du coefficient d'absorption acoustique moyen : $A_0 = \sum_i \alpha_i S_i = \alpha_0 (S_0 + S_B)$ avec S_0 les surfaces de la salle sans les balcons.

Calcul de S_0 : $S_0 = 2 \times (58 \times 46 + 58 \times 22 + 46 \times 22) = 9912 \text{ m}^2$.

On en déduit : $\alpha_0 = \frac{A_0}{S_0 + S_B} = \frac{3130,45}{9912 + 3400} = 0,23$.

Question 16 : Calcul de l'aire d'absorption équivalente de la salle comble :

$A_c = \alpha_0 \times (S_0 + S_B - S_{sp}) + \alpha_{sp} \times S_{sp}$ avec S_{sp} la surface des spectateurs telle que $S_{sp} = 2400 \times 0,5 = 1200 \text{ m}^2$.

D'où $A_c = 0,23 \times (9912 + 3400 - 1200) + 0,8 \times 1200 = 3745,76 \text{ m}^2$.

Calcul du temps de réverbération de la salle comble :

$$T_{rc} = \frac{0,16 \times V}{A_c} = \frac{0,16 \times 58\,696}{3745,76} = 2,5 \text{ s.}$$

Question 17 : La canopée joue le rôle de réflecteur. Plus l'effectif de musiciens sera réduit, plus la position de la canopée doit être faible. Cela permet de favoriser les réflexions du son des musiciens vers le public et la scène.

Question 18 : Dans le cas de la musique amplifiée, il est nécessaire de limiter le temps de réverbération. En effet, une réverbération longue peut entraîner des effets gênants : les panneaux absorbants en velours permettront d'augmenter la surface d'absorption équivalente et donc diminuer le temps de réverbération.

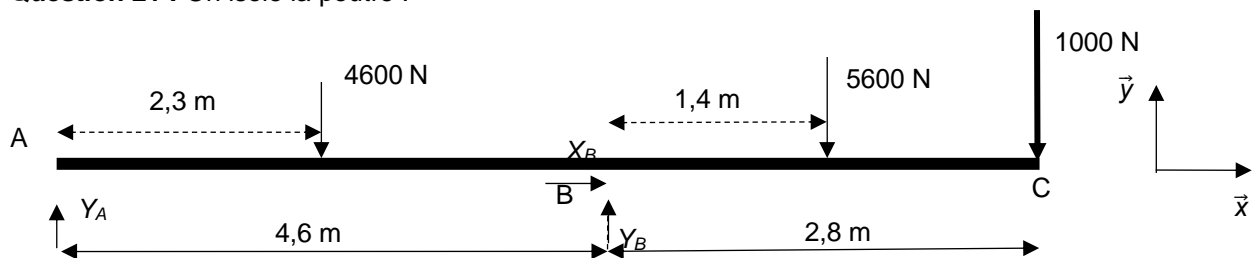
Question 19 : Le BIM permet de suivre en continu les modifications apportées par tous les acteurs sur la conception de la grande salle de concert. En ce sens, le BIM permet de donner une dimension supplémentaire aux études acoustiques illustrées sur les figures 14 et 15. L'acoustique n'est pas seulement une question de qualité d'aménagement mais la somme des choix opérés en structure, dans les équipements techniques, les matériaux... Par exemple, les acousticiens peuvent intégrer dans le BIM les caractéristiques acoustiques des différentes parois ou revêtements afin de vérifier la compatibilité avec d'éventuelles modifications d'architecture ou de matériaux.

PARTIE 3 – Dimensionnement de la canopée

Question 20 : Par associativité sur l'intégrale de surface, la section de l'IPE 200 est un rectangle de 100x200 moins deux rectangles de 47,2x166(47,2 x183)

$$I_{Gz} = \frac{100 \times 200^3}{12} - 2 \frac{47,2 \times 183^3}{12} = 18\,455\,902 \text{ mm}^4.$$

Question 21 : On isole la poutre :



Le théorème de la résultante statique donne :

$$X_B = 0$$

$$Y_A - 4600 + Y_B - 5600 - 1000 = 0 \Rightarrow Y_A + Y_B = 11\,200 \text{ N.}$$

Le théorème du moment statique en B donne :

$$-4,6 \vec{x} \wedge Y_A \vec{y} - 2,3 \vec{x} \wedge 4600 \vec{y} + 2,8 \vec{x} \wedge 1000 \vec{y} + 1,4 \vec{x} \wedge 5600 \vec{y} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow -60 - 4,6 Y_A = 0 \Rightarrow Y_A = -13,04 \text{ N.}$$

On en déduit : $Y_B = 11\,213,04 \text{ N.}$

Question 22 : On détermine l'expression du moment fléchissant puis on calcule sa valeur en B.

On isole le tronçon entre A et B à gauche, l'équilibre de cette portion nous donne :

$$M_{fz} \vec{z} - x \vec{x} \wedge 13 \vec{y} - \frac{x}{2} \vec{x} \wedge 1000 \vec{y} = \vec{0} \Rightarrow M_{fz} = -13x - 500x^2.$$

En B : $x = 4,6 \text{ m}$ donc $M_{fz} = -10\,639,8 \text{ Nm} \approx -10\,640 \text{ Nm}$

Question 23 : Nature de la contrainte en B : contrainte normale.

Contrainte normale Maxi en B pour $y_{max} = 100 \text{ mm}$:

$$\sigma_{Max}^B = \frac{M_{fzMax}}{I_{Gz}} y_{Max} = \frac{10,64 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^6} 100 = 53,2 \text{ MPa.}$$

Question 24 : Conclusion sur le choix du matériau : La contrainte normale maxi est très inférieure à $R_e = 235 \text{ MPa}$. Le coefficient de sécurité est supérieur à 4 ce qui permet de conclure que le matériau retenu convient.

Question 25 : C1 : Canopée (masse en translation verticale)

C2 : Arbre de synchronisation

C3 : Arbre de transmission

C4 : Treuil (tambour et réducteur)

C5 : Poulie de mouflage

Question 26 : Dans le bloc « Corde », pour les positions négatives la force est proportionnelle au déplacement, de manière cohérente avec la raideur imposée (l'effort vaut bien 100 N pour un déplacement de 1 m). Cependant, à la différence d'un bloc ressort pour lequel cette loi serait valable pour toutes positions, pour les positions positives du bloc Corde la force est nulle. Cela permet de modéliser le fait qu'un câble ne peut pas être soumis à de la compression. La force nulle correspond au moment où le câble est détendu. Ainsi il est pertinent d'utiliser un bloc Corde pour modéliser un câble afin de ne pas ajouter de raideur de compression qui n'a pas lieu d'être dans le cas de câble.

Question 27 : La raideur de l'arbre en torsion est telle que $M_t = k_t \cdot \Delta\theta$

Or, pour un arbre soumis à de la torsion l'angle unitaire de torsion est donné par

$$\alpha = \frac{M_t}{I_0 \cdot G} \text{ avec } I_0 = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4)}{32}$$

$$\text{Par ailleurs } \alpha = \frac{\Delta\theta}{L}$$

$$\text{Ainsi } k_t = \frac{M_t}{\Delta\theta} = \frac{I_0 \cdot G}{L} = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4) \cdot G}{32 \cdot L}$$

$$\text{AN } k_t = 4970 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

Question 28 : Les câbles sont soumis à de la traction. La raideur du câble est telle que $F_{\text{cable}} = k_c \cdot \Delta l$ où Δl représente l'allongement du câble. Pour un câble de longueur L

$$F_{\text{cable}} = S \cdot \sigma = S \cdot E \cdot \varepsilon = S \cdot E \cdot \frac{\Delta l}{L}$$

$$\text{Par identification } k_c = \frac{E \cdot S}{L}$$

$$\text{AN } k_c = 2,52 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Question 29 : D'après les figures, sans arbre de synchronisation, la tension dans le câble 4 devient nulle (ce qui est cohérent car l'un des couples moteurs a été imposé à 0 Nm) ce qui peut être problématique au regard de l'enroulement au niveau du tambour. L'arbre de synchronisation permet donc de vérifier qu'aucun câble ne se détende et de répartir les efforts dans les deux cinématiques en cas de désynchronisation mécanique des moteurs ou de défaillance.

Dans le cas où un arbre de synchronisation est présent, la tension maximale relevée est de $4 \cdot 10^4$ N, or la charge maximale admissible est de $34,8 \cdot 10^4$ N. La tension est donc bien inférieure à un cinquième de la charge maximale admissible.

Question 30 : 4 périodes correspondent à 0,9 s, ainsi la période d'oscillation vaut 0,225 s et la fréquence 4,4 Hz.

Si les moteurs tournent à leur vitesse nominale, la ligne d'arbre tourne alors à une vitesse de $198 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ soit $3,3 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1}$. Les à-coups générés par les joints de cardan ont une fréquence de 6,6 Hz. Il n'y a donc pas de risque de mise en résonance à la vitesse de rotation nominale.

S'il y avait un risque, quelques solutions (non exhaustives) sont possibles :

- ajouter des amortisseurs (élastomères) dans la chaîne de transmission ;
- modifier les joints de cardan par des joints tripodes ;
- choisir des câbles/arbres plus gros, afin de modifier la raideur.

Question 31 : Chaque câble étant mouflé une fois,

$$v = \frac{R}{2} \cdot \omega_{\text{tambour}} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \omega_m \text{ donc } r_g = \frac{v}{\omega_m} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

La vitesse de rotation nominale du moteur étant de $1445 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$:

$$v = 0,024 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pour satisfaire l'exigence d'une vitesse maximale de déplacement de $0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ le moteur ne doit pas tourner à sa vitesse nominale. Grâce au variateur de fréquence cette exigence pourra être vérifiée.

Question 32 : Les câbles ont une masse linéique de $1,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$. Dans le cas le plus défavorable la longueur d'un brin vaut 18 m (position « maintenance »). Seule la longueur de câble côté moteur est à prendre en compte, car l'autre brin est fixé au bâti. Pour 6 câbles, la masse vaut

$$M_{\text{cables}} = 6 \cdot 1,85 \cdot 18 = 200 \text{ kg}$$

La masse de l'habillage vaut $80 \cdot 175 = 14 \cdot 10^3 \text{ kg}$. La masse totale de la canopée est donc

$$M = m_{\text{équipement}} + m_{\text{structure}} + m_{\text{fers}} + m_{\text{habillage}} = 15 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 + 3,4 \cdot 10^3 + 14 \cdot 10^3 = 39,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

La masse des câbles est bien négligeable au regard de la masse totale de la canopée de 40 tonnes.

Question 33 : Le centre de gravité total de la canopée vérifie :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{équipement}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{équipement}}} + m_{\text{structure}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{structure}}} + m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

La masse de l'équipement audiovisuel ainsi que la masse propre de la structure hexagonale étant supposées uniformément réparties sur la structure hexagonale, le centre de gravité de l'équipement et de la structure sont situés en O.

Ainsi :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

En projetant dans le repère R :

$$\begin{aligned} x_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot x_f + m_{\text{habillage}} \cdot x_h}{M} = 0,032 \text{ m} \\ y_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot y_f + m_{\text{habillage}} \cdot y_h}{M} = 0,144 \text{ m} \\ z_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot z_f + m_{\text{habillage}} \cdot z_h}{M} = -0,179 \text{ m} \end{aligned}$$

Comme $x_t > 0$, $y_t > 0$ et $y_t > x_t$, il est possible de déduire sans calcul que le câble situé en A_2 sera le plus sollicité (car le plus proche du centre de gravité). Il semble donc cohérent dans la suite d'étudier la Canopée soumise uniquement aux actions des câbles A_2 , A_4 et A_6 .

Question 34 : L'ensemble de la Canopée sauf les poulies est soumise à l'action de la pesanteur, et aux trois actions des poulies supposées verticales.

Le principe fondamental de la statique appliqué à cet ensemble s'écrit en O :

$$\begin{cases} -M \cdot g \cdot \vec{z} + \vec{F}_2 + \vec{F}_4 + \vec{F}_6 = \vec{0} \\ \overrightarrow{OG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{OA_2} \wedge \vec{F}_2 + \overrightarrow{OA_4} \wedge \vec{F}_4 + \overrightarrow{OA_6} \wedge \vec{F}_6 = \vec{0} \\ -M \cdot g \cdot \vec{z} + F_2 \cdot \vec{z} + F_4 \cdot \vec{z} + F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \\ \left(x_G \cdot \vec{x} + y_G \cdot \vec{y} + z_G \cdot \vec{z} \right) \wedge (-M \cdot g \cdot \vec{z}) + \left(\frac{R}{2} \cdot \vec{x} + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_2 \cdot \vec{z} + (-R \cdot \vec{x}) \wedge F_4 \cdot \vec{z} + \left(\frac{R}{2} \cdot \vec{x} - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \end{cases}$$

En résultante en projection sur \vec{z} et en moment en O en projection sur \vec{x} et \vec{y}

$$\begin{cases} F_2 + F_4 + F_6 - M \cdot g = 0 & (1) \\ -y_G \cdot M \cdot g + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_2 - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_6 = 0 & (2) \\ x_G \cdot M \cdot g - \frac{R}{2} \cdot F_2 + R \cdot F_4 - \frac{R}{2} \cdot F_6 = 0 & (3) \end{cases}$$

Après résolution :

$$F_2 = \frac{M \cdot g}{3} \left(1 + \frac{x_G}{R} + \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

$$F_4 = \frac{M \cdot g}{3} \left(1 - \frac{2 \cdot x_G}{R} \right)$$

$$F_6 = \frac{M \cdot g}{3} \left(1 + \frac{x_G}{R} - \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

L'application numérique donne $F_2 = 138 \cdot 10^3$ N

L'effort dans le câble est deux fois inférieur à cause du mouflage, donc

$$F_{cable2} = 69 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Question 35 : L'étude se place dans le cas d'un maintien en statique de la canopée. A la limite du déplacement descendant (cas le plus défavorable), les différents frottements auront tendance à s'opposer au mouvement, donc à diminuer l'effort nécessaire de maintien.

Question 36 : En supposant que les trois câbles moteurs sont soumis à une tension de $7 \cdot 10^4$ N, que les frottements dans toutes les liaisons sont négligeables (les rendements des réducteurs et renvois d'angle sont unitaires), que l'action de l'arbre de synchronisation sur le moteur considéré est nulle, et que les trois réducteurs sont identiques, le couple moteur vaut

$$C_m = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_g \cdot 2 = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot R$$

Le document technique indique le couple maximal en sortie du motoréducteur, il faut donc déterminer le couple en sortie du motoréducteur :

$$C_{red} = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_2 \cdot R = 3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,282}{122,48} = 484 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Le document technique indique que le couple maximal en sortie du motoréducteur de maintien en statique est de $1,15 \cdot 430$ N·m soit 494 N·m, ce qui est supérieur au couple requis. L'exigence est donc respectée.

Question 37 : En supposant que seules les inerties des deux rotors ainsi que la masse de la canopée ne sont pas négligeables, l'énergie cinétique totale vaut :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 + J_m \cdot \omega_m^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v^2$$

Le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble des pièces en mouvement permet d'écrire :

$$\frac{dE_c}{dt} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

$$\left(M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) v \cdot \dot{v} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

Ainsi

$$P_m = \frac{1}{\eta} \left[M \cdot g \cdot v + \left(M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v \cdot \dot{v} \right]$$

La puissance est maximale en fin de phase d'accélération, avec $\dot{v} = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $v = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pour $\eta = 0,9$:

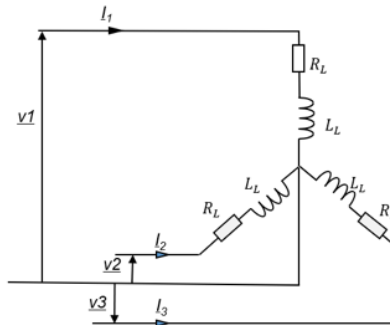
$$P_m = \frac{1}{0,9} \left[39 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,02 + \left(39 \cdot 10^3 + 2 \cdot \frac{280 \cdot 10^{-4}}{(1,58 \cdot 10^{-4})^2} \right) 0,02 \cdot 0,02 \right]$$

$$P_m = 9,51 \text{ kW}$$

Or, deux moteurs de 7,5 kW sont choisis, la puissance totale disponible est donc de 15 kW ce qui est supérieur à 9,5 kW. L'exigence 2.1.4.2 pourra donc être respectée.

PARTIE 4 – Dimensionnement du réseau d'alimentation du sous-ensemble scénique

Question 38 :



Question 39 :

$$\Delta V = 0,02 \cdot 230 = \frac{\rho_c \cdot I_c}{S_c} \cdot I_L = 300 \cdot \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 230}{S_c} \quad S_c = 256 \text{ mm}^2$$

$$P_{\text{fils}} = 3 \cdot R_{\text{fils}} \cdot I^2 = 4,1 \text{ kW}$$

On choisit la section de 300 mm² selon tableau pour un courant maximum de 621 A.

Question 40 : Pour le module Lumière :

- la puissance active vaut : $P = 3 \cdot R_L \cdot I^2 = 432 \text{ kW}$,
- la puissance réactive vaut : $Q = 3 \cdot X_L \cdot I^2 = 243 \text{ kVAr}$, $S = 495 \text{ kVA}$.

Question 41 : Pour le module audiovisuel :

- La puissance active vaut : $P_a = S \cdot \cos \varphi = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 160 \text{ kW}$,
- La puissance réactive vaut : $Q = S \cdot \sin \varphi = P_a \cdot \tan \varphi = 120 \text{ kVAr}$.

Pour le module machinerie :

- la puissance active des 2 moteurs vaut : $P = 2 \cdot \frac{7,5 \cdot 10^3}{0,9} = 16,7 \text{ kW}$,
- la puissance réactive vaut : $Q = P \cdot \tan \varphi = 9 \text{ kVAr}$.

Donc un total pour la machinerie : $P = 526,7 \text{ kW}$ et $Q = 147 \text{ kVAr}$ $S = 547 \text{ kVA}$.

Question 42 :

La puissance active totale vaut : $P_{\text{charges}} = 16,7 + 432 + 510 + 160 = 1118,7 \text{ kW}$.

La puissance réactive totale vaut : $Q_{\text{charges}} = 9 + 243 + 138 + 120 = 510 \text{ kVAr}$,

avec $P_{\text{totale}} = P_{\text{charge}} + 3 \cdot P_{\text{fils}} = 1118,7 + 12,3 \text{ kW}$.

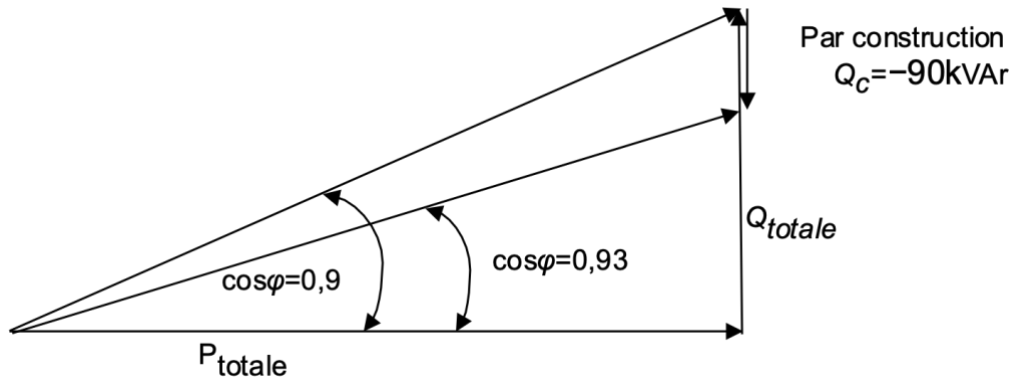
$$\eta = \frac{P_{\text{charge}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{1118,7}{1130} = 99\%$$

Question 43 : Courant en A avant compensation : $I_A = \frac{\sqrt{P_{\text{totale}}^2 + Q_{\text{totale}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_A} = 1790 \text{ A}$.

Le facteur de puissance vaut : $\tan \varphi = \frac{Q_{\text{totale}}}{P_{\text{totale}}} = 0,45$ soit $\cos \varphi = 0,9$.

Question 44 : L'échelle du tracé suggérée est la suivante : 100 kVAr (ou kW) pour 1cm.

Comme pour un condensateur la réactance vaut $X_C = \frac{1}{c\omega}$ on a $Q_C = 3 \cdot U_A^2 c\omega$ ainsi on obtient une capacité de $c = \frac{57 \cdot 10^3}{3 \cdot 400^2 \cdot 314} = 597 \mu\text{F}$.



Question 45 : Courant en A' après compensation : $I'_A = \frac{P_{total}}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot \cos\phi} = \frac{1131}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,93} = 1788 \text{ A}$.

La puissance apparente : $S'_A = \sqrt{P_{totale}^2 + (Q_{totale} - Q_C)^2} = 1218 \text{ kVA}$.

Question 46 : Le courant primaire à vide I_{10} est faible devant le courant nominal, il est alors possible de négliger R_f et L_f .

Question 47 : Le raccordement en étoile permet de ramener le neutre ce qui est nécessaire si des équipements fonctionnent en monophasé.

- Le rapport m : $m = \frac{V_{20}}{U_{1n}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 235}{20000} = 0,02$ pour un couplage triangle-étoile, à vide,
- La résistance $R_S = \frac{P_{cc}}{3I_{2n}^2} = 1,17 \text{ m}\Omega$,
- L'impédance $Z_S = \frac{V_{cc} \cdot V_{2n}}{I_{2n}} = 7,6 \text{ m}\Omega$ (l'erreur sur $V_{cc} = 6\%$ a été prise en compte lors de la correction)
- La réactance $X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 7,57 \text{ m}\Omega$.

Question 48 : L'impédance magnétisante est négligée compte tenu de l'ordre de grandeur du courant consommé à vide.

Construction de Fresnel : $\underline{V}_{2n} = \underline{V}_2 + I_{2n} \cdot (R_S + jX_S)$ équation de Kapp

La chute de tension est déterminée par la relation $\Delta V_2 = I_{2n} \cdot R_S \cdot \cos\phi + I_{2n} \cdot X_S \cdot \sin\phi = 6,96 \text{ V}$.

Soit $\frac{\Delta V_2}{V_{2n}} = 3\% < 5\%$ l'exigence 3.1.2.2 est vérifiée.

La puissance apparente : $S'_A = \sqrt{P_{totale}^2 + (Q_{totale} - Q_C)^2} = 1218 \text{ kVA} < 1250 \text{ kVA}$, l'exigence 3.1.3.1 est vérifiée.

PARTIE 5 – Synthèse

Question 49 :

1. La Philharmonie des enfants, et plus précisément l'attraction *Maestra, Maestro !* a pour vocation de faire découvrir la musique symphonique aux jeunes enfants. L'attraction doit permettre à un jeune visiteur de se mettre dans la peau d'un chef d'orchestre (Id 1.1 sur le DT1). La lecture par technologie RFID du bracelet contenant les informations du visiteur (adresse e-mail) ainsi que

la pertinence de l'algorithme de traitement d'image permettant de fournir deux inputs du logiciel de traitement vidéo ont été vérifiés.

2. Les qualités acoustiques de la Grande salle Pierre Boulez doivent être adaptés à différents styles musicaux (Id 2.1 sur le DT1). L'isolement de la salle Pierre Boulez par rapport à l'ensemble du bâtiment (calcul du temps de réverbération), le réglage en hauteur de la canopée ainsi que le dimensionnement de la canopée (motorisation, structure, tension maximale dans les câbles qui la soutiennent) ont été étudiés.
3. Le module scénique doit être alimenté (Id 3.1 sur le DT1). Le choix du transformateur par le calcul des différentes puissances actives et réactives mises en jeu a été validé. La chute de tension de moins de 5% sur la ligne d'alimentation a été vérifiée.

Question 50 :

1. Une étude thermique pourrait être mise en œuvre afin de respecter la norme en vigueur (modèle BIM, modèle multi-physique, choix des matériaux, isolants etc ...) : exigence 4 du DT1 ;
2. Une étude de la régulation de la température et de l'hydrométrie dans la salle Pierre Boulez pourrait être mise en œuvre afin de vérifier l'exigence 5 du DT1 (asservissement à l'aide de capteurs de température et d'humidité).

D. Commentaires du jury

1. Présentation générale du sujet

Ce sujet porte sur le bâtiment de la Philharmonie de Paris, dans le parc de la Villette, dont l'édification, confiée aux Ateliers Jean Nouvel, s'est achevée en 2015. La Philharmonie propose plusieurs espaces, à vocation scénographique, acoustique, culturelle et pédagogique. Le sujet se focalise principalement sur l'espace éducatif (Philharmonie des enfants) et l'espace scénographique et acoustique principal (la Grande salle Pierre Boulez).

Les différentes parties proposent de vérifier plusieurs des exigences du cahier des charges de la Philharmonie des enfants et de la Grande salle Pierre Boulez :

- les exigences liées à l'attraction *Maestra, Maestro !* de la Philharmonie des enfants ;
- les exigences liées à l'acoustique de la Grande salle Pierre Boulez ainsi qu'au dimensionnement de la structure et de la motorisation de la canopée, réflecteur acoustique principal de la salle ;
- les exigences liées à l'alimentation électrique du sous-ensemble scénique de la Philharmonie.

Les objectifs de la **partie 1** sont de valider les exigences liées à l'attraction *Maestra, Maestro !*, notamment :

- d'analyser l'information transmise par un bracelet RFID situé sur le poignet de l'enfant, permettant d'enregistrer son activité et de la lui envoyer sur adresse e-mail (validation de l'exigence Id 1.1.1) ;
- de proposer une partie de l'algorithme en langage Python permettant d'interpréter les gestes de l'enfant imitant un chef d'orchestre sur un enregistrement vidéo et de valider l'efficacité de l'algorithme (exigence 1.2.1).

L'objectif de la **partie 2** est de vérifier les qualités acoustiques de la Grande salle et valider l'exigence Id 2.1. « les qualités acoustiques de la salle doivent être adaptées à différents genres musicaux ».

Les objectifs de la **partie 3** sont :

- de vérifier que les solutions envisagées pour la conception de la structure de la canopée permettent de valider les exigences de sécurité, en termes de contrainte (Id 2.1.1) et de tension maximale des câbles (Id 2.1.3.3) ;
- de valider le dimensionnement de la motorisation en vérifiant les exigences de vitesse de translation (Id 2.1.4.2) et de maintien statique (Id 2.1.3.2).

L'objectif de la **partie 4** est de valider le choix du transformateur de la ligne d'alimentation du poste d'exploitation Scénique, notamment par :

- la caractérisation de la consommation énergétique du module Lumière ;
- le calcul du rendement énergétique de l'alimentation des modules du poste d'exploitation scénique dans sa globalité, et la validation de l'exigence correspondante (id 3.1.3.1) ;
- le dimensionnement de la batterie de condensateurs qui permet de diminuer les chutes de tension, et donc de limiter les surcoûts de l'installation en aval du transformateur (exigence Id 3.1.2.1) ;
- et finalement de valider le choix du transformateur à partir des charges sur la ligne d'alimentation ainsi que des pertes en ligne (Id 3.1.2.2).

Enfin l'objectif de la **partie 5** est de conclure en effectuant une synthèse sur le travail réalisé et des études complémentaires restant à mener.

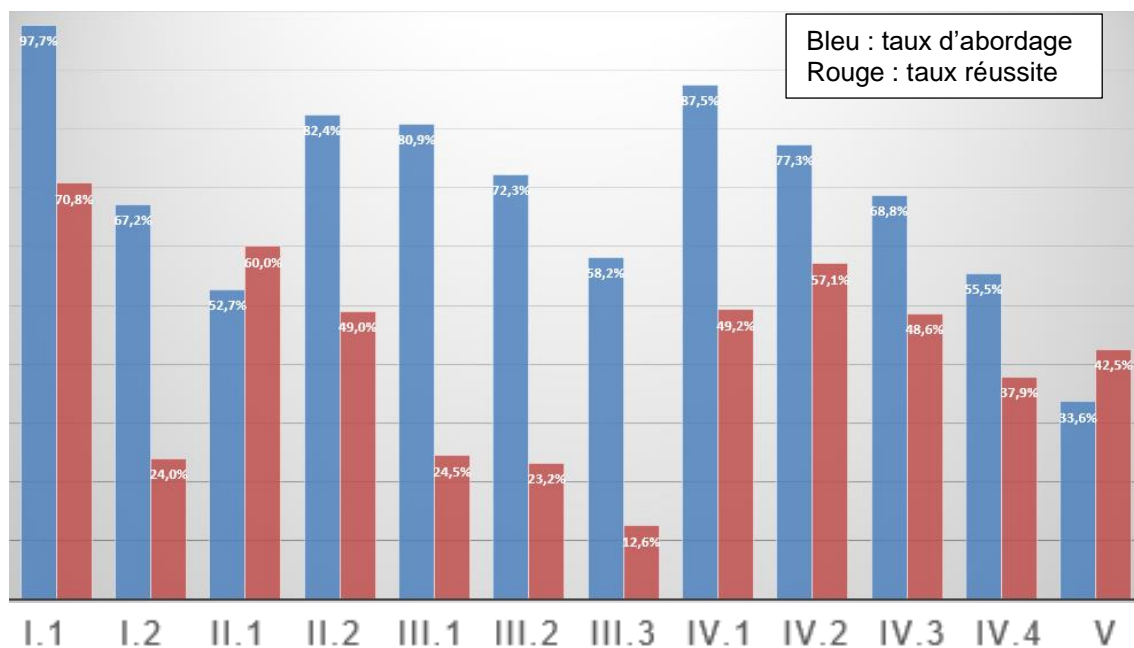
Bien que les cinq parties du sujet soient indépendantes, il était conseillé de traiter ce sujet dans l'ordre.

2. Analyse des résultats

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- la première partie été abordée par une très grande majorité de candidats (95 %). La première sous-partie était très accessible et a un taux de réussite de 60%. En revanche seuls 10 % des candidats ont réussi correctement la deuxième sous-partie ;
- la deuxième partie, d'ordre général, a également été largement abordée par les candidats (88 %) et a été traitée correctement par 32 % des candidats. Elle a un taux de réussite de 41 % ;
- la troisième partie a été abordée par 93 % des candidats. Elle a un taux de réussite de seulement 24 % ;
- la quatrième partie a été abordée par 72 % des candidats. Elle a un taux de réussite de seulement 26 % ;
- la cinquième et dernière partie a été abordée par 37 % des candidats et a un taux de réussite de 44 %.

Les statistiques d'abordage et de réussite propres à chaque partie du sujet sont données dans l'histogramme ci-dessous.



Le jury constate que toutes les parties ont été globalement abordées. Seule la partie V a été très peu abordée par les candidats. Les parties II et IV ont globalement bien été abordées, cependant le taux de réussite n'excède pas 50 % en moyenne sur chaque partie. La partie II a été quand à elle très mal traitée par les candidats.

Le jury observe par rapport à l'année précédente une progression du nombre de candidats qui ont fait l'effort d'aborder des questions qui ne sont pas en lien direct avec leur spécialité, et ne peut que s'en réjouir.

3. Conseils aux futurs candidats

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder chacune des parties. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection.

Le jury encourage ainsi fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et sélectionnent les questions relatives aux différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur.

Les candidats doivent également s'attacher à utiliser leurs connaissances universitaires afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, les justifications et les choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

Les réponses doivent être détaillées et argumentées : des résultats donnés directement, sans calcul, sans justification de principe, ne peuvent pas être pris en compte comme étant justes. Par ailleurs, les réponses montrant une maîtrise de la démarche mais n'arrivant pas jusqu'à la conclusion sont valorisées. Le jury apprécie aussi l'esprit critique face à des résultats aberrants et admet le choix délibéré de commenter ces résultats pour continuer le traitement du sujet.

Le jury souligne enfin la grande qualité d'expression constatée dans certaines copies, rédigées avec soin et un souci de clarté.

Réussir cette épreuve demande :

- de s'approprier en un temps limité un sujet technique pluridisciplinaire décrit avec les outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- de maîtriser les modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie ;
- d'analyser et d'interpréter des résultats d'étude, afin de formuler des conclusions cohérentes et pertinentes en concordance avec une problématique scientifique et technique.

4. Conclusion

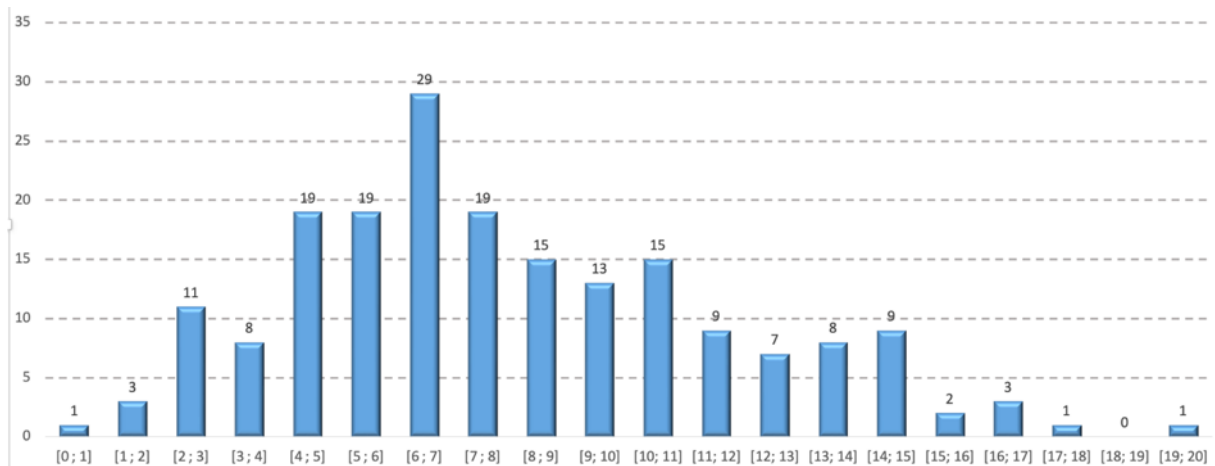
Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette

épreuve transversale. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus de l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié.

Les auteurs remercient les ateliers Jean Nouvel et AMG Féchoz pour l'ensemble des données communiquées.

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.

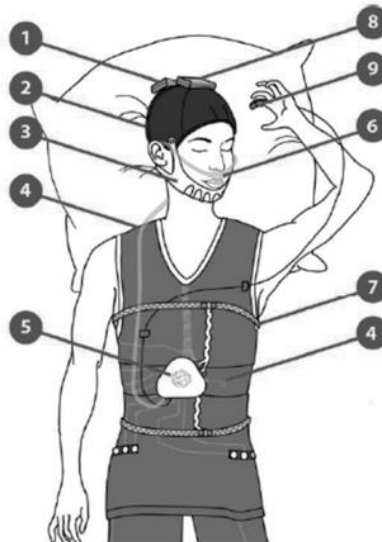
À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou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

B. Sujet

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

https://media.devenirensignant.gouv.fr/file/Agreg_externer/91/4/s2023_agreg_externer_sii_electrique_2_1429914.pdf

Le support de l'épreuve concerne un système permettant de diagnostiquer les troubles de sommeil commercialisé par l'entreprise BioSerenity. Cette société a pour objectif d'aider les patients dans la prise en charge globale de leurs troubles du sommeil et de la vigilance ainsi que de leurs troubles neurologiques.



C. Éléments de correction

Question 1

Le positionnement sur le poignet et la poitrine nécessite une plus grande plage dynamique dans le PPG car la profondeur des veines est plus importante et la mesure sur l'index ou le lobe de l'oreille est plus fiable c'est pourquoi il faut privilégier par transmission.

Question 2

Dans l'explication de la mesure de la saturation, il est nécessaire de récupérer le signal de transmission de la lumière à travers le doigt pour la longueur d'onde rouge et IR pour déterminer R.

Dans l'explication du fonctionnement du cardiofréquencemètre, la LED verte permet d'obtenir la fréquence cardiaque avec une meilleure fiabilité qu'avec une LED rouge. De plus, la puissance lumineuse étant généralement plus importante avec une LED verte, elle permettra une mesure même si le signal est faible.

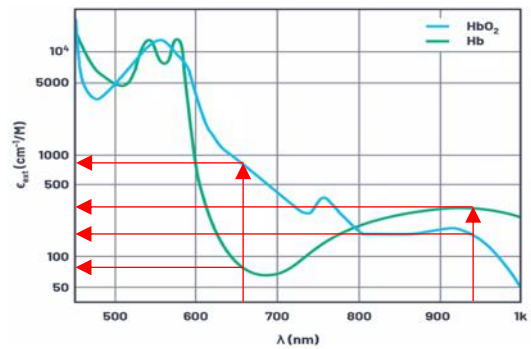
Question 3

$$I_{\text{systole}} = I_{\text{diastole}} \times e^{-\alpha \cdot d_2} \text{ et } I_{\text{systole}} = I_{\text{DC}} + I_{\text{AC}} \text{ et } I_{\text{diastole}} = I_{\text{DC}}$$

$$\text{D'où } -\alpha \cdot d_2 = \ln\left(\frac{I_{\text{systole}}}{I_{\text{diastole}}}\right) = \ln\left(\frac{I_{\text{AC}} + I_{\text{DC}}}{I_{\text{DC}}}\right) \approx \frac{I_{\text{AC}}}{I_{\text{DC}}} \text{ pour } I_{\text{AC}} \ll I_{\text{DC}}$$

Question 4

Led	λ	ϵ_{HbO_2}	ϵ_{Hb}
Rouge	660 nm	$900 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$	$80 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$
IR	940 nm	$250 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$	$400 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$



Pour le signal obtenu par la led rouge, on choisira une longueur d'onde de 660 nm d'après DT1. et il faudra extraire la composante continue (DC) et alternative du signal (AC).

Pour le signal obtenu par la led IR, on choisira une longueur d'onde de 940 nm d'après DT1 et il faudra extraire la composante continue (DC) et alternative du signal (AC).

L'absorption de HbO₂ est supérieure à celle de Hb à 660 nm alors que pour 940 nm l'absorption de HbO₂ est inférieure à celle de Hb ce qui justifie le choix de ces deux longueurs d'onde.

Question 5

Le paramètre à extraire de ce signal sera la fréquence f puis en déterminer le nombre de battements par minute à l'aide de la formule :

$$\text{bpm} = 60 \cdot f \text{ où } f \text{ est en Hz.}$$

Question 6

Le rôle de C_{VLED} permet de découpler l'alimentation de chaque LED du reste de circuit c'est un condensateur de découplage. Son rôle est un puit de courant, qui permet d'avoir un allumage de la LED plus rapide.

Question 7

$$V_{\text{fIR}} = 1,35\text{V}$$

$$V_{\text{fRouge}} = 1,95\text{V}$$

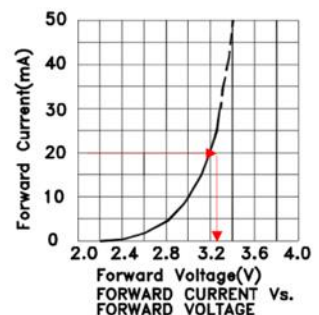
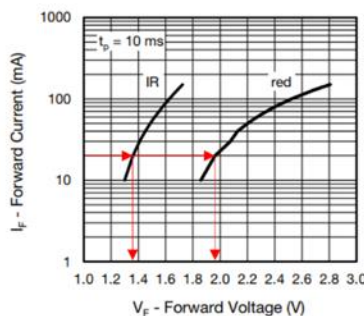
$$\text{et } V_{\text{fVert}} = 3,2\text{V}$$

Donc le potentiel au point LedXA vaut :

$$\text{IR : } 5 - 1,35 = 3,65\text{V}$$

$$\text{Rouge : } 5 - 1,95 = 3,05\text{V}$$

$$\text{Vert : } 5 - 3,2 = 1,80\text{V}$$

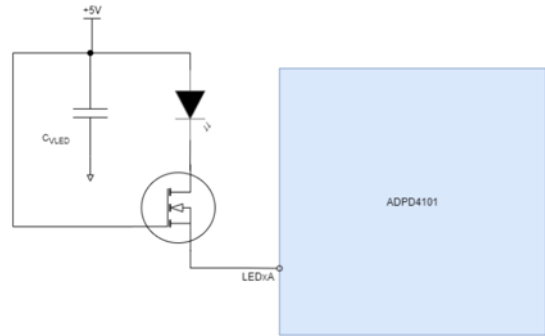


Question 8

D'après DT3, la valeur maximale du potentiel autorisée au point LEDxA est 3,6 V.

Question 9

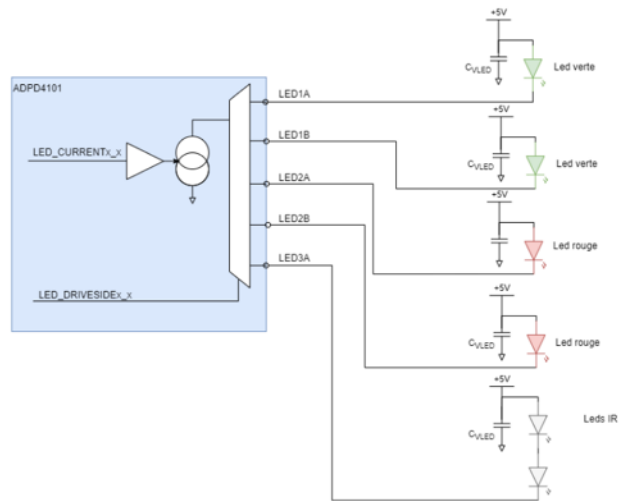
Le transistor MOSFET se pilote en tension contrairement à un transistor bipolaire qui se pilote en courant.



Question 10

D'après le DT3, Led1A et Led1B sont alimentées en courant en même temps, c'est pourquoi il faut mettre les leds de mêmes couleurs sur ces deux sorties. Idem pour Led2A et Led2B.

En branchant les deux leds IR en série sur la sortie led3A, le potentiel en ce point sera : $5 - 1,35 - 1,35 = 2,3 \text{ V} < 3,6 \text{ V}$ ce qui justifie la suppression des transistors MOSFET.



Question 11

La photodiode est sensible pour les longueurs d'onde de 400 nm à 1100 nm d'après la figure 7 du DT4. Le maximum de sensibilité est pour 940 nm, elle décroît de $(1 - 0.61 = 0.39)$ 39 % pour la led rouge à 660 nm et de $(1 - 0.3 = 0.70)$ 70 % pour la led verte à 525 nm, ce qui justifie une led verte plus puissante $1800 \text{ mcd} = \frac{1800}{683} = 2,64 \text{ mW/sr}$.

1 Cd = 1 Lumen par stéradian. Le Candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source de couleur verte (longueur d'onde 555 nm) dont l'intensité énergétique dans ladite direction est de $1/683 \text{ W}$ par stéradian.

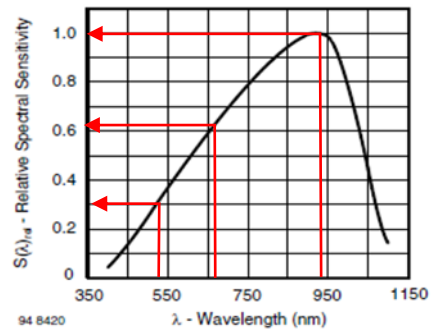


Fig. 7 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

Selection Guide

Part No.	Dice	Lens Type	Iv (mcd) [2] @ 20mA		Viewing Angle [1]
			Min.	Typ.	2θ1/2
APTL3216ZGC/G	Green (InGaN)	WATER CLEAR	900	1800	70°

BASIC CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	COLOR	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	I _F = 20 mA, t _p = 20 ms	V _F	Red	-	2.0	2.3	V
			IR	-	1.4	1.7	
Temperature coefficient	I _F = 20 mA	TK _{V_F}	Red	-	-2.3	-	mV/K
			IR	-	-2.3	-	
Reverse current		I _R	not designed for reverse operation				μA
Junction capacitance	V _R = 0 V, f = 1 MHz, E = 0 mW/cm ²	C _J	Red	-	7	-	pF
			IR	-	5	-	
Radiant intensity	I _F = 20 mA	I _e	Red	1.9	2.3	-	mW/sr
			IR	0.8	1.5	-	

Question 12

La partie photosensible du capteur est un carré de coté 3 mm d'après DT4 donc la diagonale vaut : $3 \cdot \sqrt{2} \text{ mm}$.

La distance entre le capteur et la LED est de 15 mm

Donc l'angle $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{3\sqrt{2}}{15}\right) = 8,05^\circ$.

D'où $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos(8,05)) = 0,062 \text{ sr}$.

Question 13

D'après DT1 : l'intensité lumineuse pour un courant de 20 mA est $I_e = 2,3 \text{ mW}\cdot\text{sr}^{-1}$.

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	COLOR	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_f = 20 \text{ mA}$, $t_p = 20 \text{ ms}$	V_f	Red	-	2.0	2.3	V
			IR	-	1.4	1.7	
Temperature coefficient	$I_f = 20 \text{ mA}$	TK_{VF}	Red	-	-2.3	-	mV/K
			IR	-	-2.3	-	
Reverse current		I_R	not designed for reverse operation				μA
Junction capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$, $f = 1 \text{ MHz}$, $E = 0 \text{ mW}/\text{cm}^2$	C_J	Red	-	7	-	pF
			IR	-	5	-	
Radiant intensity	$I_f = 20 \text{ mA}$	I_o	Red	1.9	2.3	-	mW/sr
			IR	0.8	1.5	-	

Donc la puissance lumineuse est de $P = I_e \cdot \Omega = 2,3 \cdot 0,062 = 0,143 \text{ mW}$.

Question 14

Le contact entre la diode et doigt provoque une absorption de $A_C = 15\%$.

L'épaisseur des tissus hors artère et veine pendant chaque phase sera de $15 - 0,6 - 0,6 \cdot 1,3 = 13,62 \text{ mm}$ soit $1,362 \text{ cm}$.

Le facteur d'absorption moyen des tissus du doigt (Os, muscles, ligaments, nerfs..) vaut $72\% \cdot \text{cm}^{-1}$

Donc les tissus provoquent une absorption $A_T = 72 \cdot 1,362 = 98,06\%$

Le facteur d'extinction à 660 nm l'hémoglobine oxygénée (HbO_2) vaut environ $900 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$ et celui de l'hémoglobine désoxygénée (Hb) vaut environ $80 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{M}^{-1}$.

La concentration molaire de $[\text{Hb}] = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

La concentration molaire de $[\text{HbO}_2] = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Donc $\epsilon_{\text{Hb}} = 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 80 = 0,0224 \text{ cm}^{-1}$.

Donc $\epsilon_{\text{HbO}_2} = 9,1 \cdot 10^{-4} \cdot 900 = 0,819 \text{ cm}^{-1}$.

En phase systolique :

L'épaisseur de l'artère vaut $e_a = 0,6 \cdot 1,3 = 0,78 \text{ mm} = 0,078 \text{ cm}$ et $A_{\text{HbO}_2} = e_a \cdot \epsilon_{\text{HbO}_2} = 0,819 \cdot 0,078 = 0,063 = 6,3\%$.

L'épaisseur de la veine vaut $e_v = 0,6 \text{ mm} = 0,06 \text{ cm}$ et $A_{\text{Hb}} = e_v \cdot \epsilon_{\text{Hb}} = 0,0224 \cdot 0,06 = 0,0013 = 0,13\%$.

Donc l'absorption totale sera $A = 1 - (1 - A_c) \cdot (1 - A_T) \cdot (1 - A_{\text{HbO}_2}) \cdot (1 - A_{\text{Hb}})$
 $= 1 - (1 - 0,15) \cdot (1 - 0,9806) \cdot (1 - 0,063) \cdot (1 - 0,0013)$
 $= 0,9846 = 98,46\%$

Question 15

La puissance lumineuse sur le plan de la photodiode en phase systolique sera

$P_{\text{LED}} = P \cdot (1 - A) = 0,143 \cdot (1 - 0,9846) = 2,202 \mu\text{W}$.

L'intensité qui traverse la photodiode est proportionnelle à la surface du capteur :

$S_{\text{photodiode}} = c^2 = 3^2 = 9 \text{ mm}^2$.

$S_{\text{cercle rouge}} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{3}{\sqrt{2}}\right)^2 = 14,14 \text{ mm}^2$.

$P_{\text{capteur}} = P_{\text{LED}} \cdot \frac{S_{\text{photodiode}}}{S_{\text{cercle rouge}}}$.

En phase systolique : $P_{\text{capteur}} = 2,202 \cdot \frac{9}{14,14} = 1,40 \mu\text{W}$.

Soit une irradiance $I_{e\text{Systole}} = \frac{P_{\text{capteur}}}{S_{\text{photodiode}}} = \frac{1,40 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-2}} = 0,016 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$.

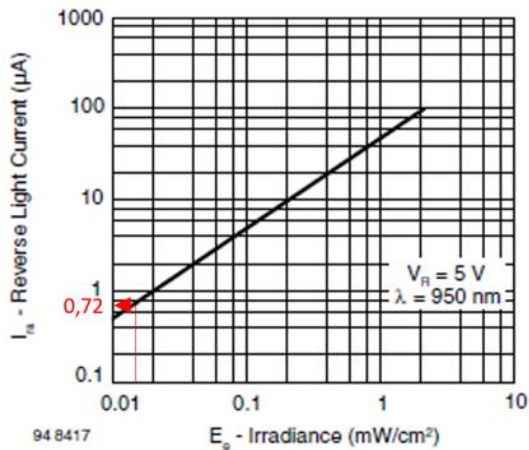


Fig. 3 - Reverse Light Current vs. Irradiance

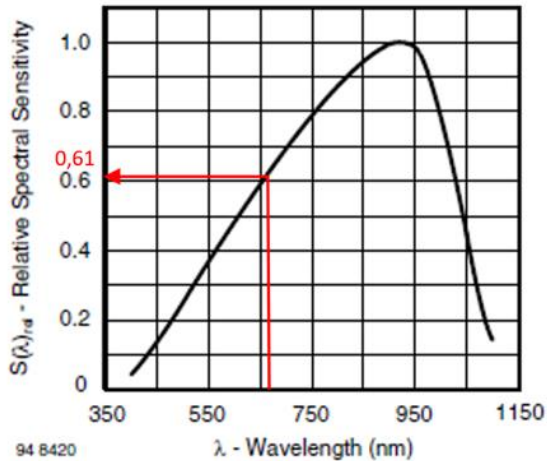


Fig. 7 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

D'après la figure 3,

Pour la phase systolique : $I_{raSystole} \cong 0,72 \mu A$ pour $\lambda = 950 \text{ nm}$.

Or d'après la figure 7, $S(\lambda)_{rel} = 0,61$ pour $\lambda = 660 \text{ nm}$.

Donc $I_{raSystole} \cong 0,72 \cdot 0,61 = 0,44 \mu A$ pour $\lambda = 660 \text{ nm}$.

Le courant dans la photodiode pour la phase systolique est de $0,44 \mu A$ pour une led.

Or deux leds rouge sont allumées en même temps donc le courant dans la photodiode pour la phase systolique est de $0,88 \mu A$

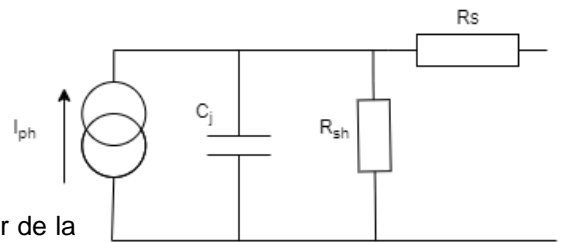
Question 16

Schéma électrique équivalent d'une photodiode :

R_{sh} : résistance dynamique de la jonction, valeur élevée en mode photoconducteur $\approx 10^{10} \Omega$.

R_s : résistance des contacts ohmiques, quelques dizaines d'ohms.

C_j : capacité de la jonction, dépend de la surface, de la largeur de la photodiode.



Question 17

C'est un amplificateur transimpédance qui permet de convertir le courant de la photodiode en tension.

Question 18

R_{sh} étant très grande, $i''' \approx 0 \text{ A}$ et

$U_{Rsh} \approx 0 \text{ V}$.

Donc en appliquant la loi des nœuds, $i_{ph} = i' + i''$

$$i_{ph} = C \cdot \frac{dU_c}{dt} + i''$$

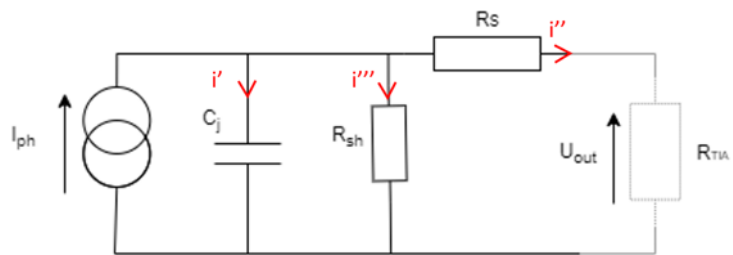
D'après la loi des mailles :

$$U_c = U_{R_s} + U_{out}$$

$$\text{Donc } U_c = R_s \cdot i'' + R_{TIA} \cdot i'' \text{ donc } i'' = \frac{U_c}{R_s + R_{TIA}}$$

$$\text{D'où } U_{out} = \frac{R_{TIA}}{R_s + R_{TIA}} \cdot U_c$$

$$\text{Or } i_{ph} = C \cdot \frac{dU_c}{dt} + \frac{U_c}{R_s + R_{TIA}}$$



Cette équation différentielle a pour solution :

$$U_c = (R_s + R_{TIA}) \cdot i_{ph} + K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

A $t=0$ $U_c = 0$ donc $U_c = (R_s + R_{TIA}) \cdot i_{ph} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec $\tau = (R_s + R_{TIA}) \cdot C$

Or $U_{out} = \frac{R_{TIA}}{R_s + R_{TIA}} \cdot U_c$ donc $U_{out} = R_{TIA} \cdot i_{ph} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec $\tau = (R_s + R_{TIA}) \cdot C$

Comme cela se comporte comme un filtre RC, $U_{out} = U_{in} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

Pour $U_{in} = 1V$,

t_1 correspond à la durée pour atteindre 10 % du signal soit $U_{out} = 0,1 V$ et

t_2 correspond à la durée pour atteindre 90 % du signal soit $U_{out} = 0,9 V$

D'où : $0,1 = 1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}$ et $0,9 = 1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}}$

D'où $t_1 = -\tau \cdot \ln(0,1)$ et $t_2 = -\tau \cdot \ln(0,9)$

D'où $t_r = t_2 - t_1 = -\tau \cdot (\ln(0,9) - \ln(0,1)) \cong 2,197 \cdot \tau$

D'où $\tau \cong \frac{t_r}{2,197} \cong 0,455 \cdot t_r$

Or $f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} \cong \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,455 \cdot t_r} \cong \frac{0,35}{t_r}$

On acceptera que le candidat réponde que cela correspond à un modèle du 1^{er} ordre classique et que par conséquent $f_c = \frac{0,35}{t_r}$.

Question 19

D'après le montage, la photodiode a une tension inverse de 5V donc d'après la courbe du DT4 : figure 6, la capacité équivalente est d'environ 20 pF.

R_s valant quelques dizaines d'ohm, elle sera négligée par rapport à R_{TIA} . Pour avoir la fréquence maximum, la valeur de la résistance de l'amplificateur transimpédance doit être minimum soit 12.5 kΩ d'après DT3.

D'où : $\tau = 12,5 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-12} = 2,5 \cdot 10^{-7} s$

$$f = \frac{0,35}{2,5 \cdot 10^{-7}} = 1,4 \text{ MHz.}$$

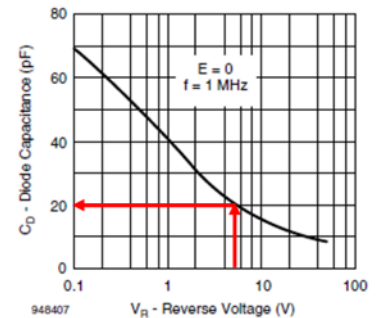


Fig. 6 - Diode Capacitance vs. Reverse Voltage

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
SYSTEM PERFORMANCE Referred to Input Noise	Continuous connect mode, single pulse, single channel, floating input, TIA_VREF = 1.265 V, 3 μs integration time				
	12.5 kΩ TIA gain		8.2		nA rms
	25 kΩ TIA gain		4.1		nA rms
	50 kΩ TIA gain		2.2		nA rms
	100 kΩ TIA gain		1.2		nA rms
	200 kΩ TIA gain		0.61		nA rms

Cependant, plus la fréquence est grande, plus le courant traversant la photodiode est petit donc le choix d'un compromis entre la fréquence d'acquisition et la résistance de l'amplificateur transimpédance s'impose.

La valeur minimum de la fréquence correspondra à une valeur de résistance de l'amplificateur transimpédance maximum soit 200 kΩ d'après DT3.

D'où : $\tau = 200 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-12} = 4 \mu s$

$$f = \frac{0,35}{4 \cdot 10^{-6}} = 87,5 \text{ kHz.}$$

Donc la plage de fréquence d'acquisition pourra être réglable entre 1,4 MHz et 87,5 kHz.

Question 20

Donc la photodiode doit acquérir un signal toutes les 3 μs au minimum.

La fréquence d'acquisition est $f_p = \frac{1}{T} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-6}} = 333 \text{ kHz.}$

D'après le théorème de Nyquist-Shannon la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à deux fois la fréquence du signal soit 666 kHz.

Le choix de la photodiode BPW34 dont la fréquence limite est 1,4 MHz > 666 kHz si le gain de l'amplificateur transimpédance est de 12,5 kΩ est adapté.

On pourra aussi régler un gain de 25 kΩ car la fréquence sera de 700 kHz > 666 kHz, cette photodiode restera adaptée.

Question 21

D'après DT3 : séquence de pilotage des LED, chaque point de la courbe est obtenu toutes les 10 ms soit une fréquence :

$$f_a = \frac{1}{T} = \frac{1}{10^{-2}} = 100 \text{ Hz}$$

Pour 30 bpm, $f = \frac{\text{bpm}}{60} = \frac{30}{60} = 0.5 \text{ Hz}$ et pour 210 bpm, $f = \frac{\text{bpm}}{60} = \frac{210}{60} = 3.5 \text{ Hz}$.

D'après le théorème de Nyquist-Shannon il faut que $f_a > 2 \cdot f$ ce qui est largement vérifié pour 30 bpm et 210 bpm.

Question 22

D'après le théorème de Millman au point A :

$$V_A = \frac{\frac{V_e + V_s}{R + R}}{\frac{2}{R} + j \cdot 2 \cdot C \cdot \omega} \text{ donc } V_A = \frac{V_e + V_s}{2 + 2j \cdot R \cdot C \cdot \omega}$$

D'après le théorème de Millman au point B :

$$V_B = \frac{\frac{V_e j \cdot C \cdot \omega + V_s j \cdot C \cdot \omega}{\frac{2}{R} + j \cdot 2 \cdot C \cdot \omega}}{\frac{1}{R} + j \cdot C \cdot \omega} \text{ donc } V_B = \frac{(V_e + V_s) j \cdot R \cdot C \cdot \omega}{2 + 2j \cdot R \cdot C \cdot \omega}$$

D'après le théorème de Millman au point V_+ / V_s :

$$V_+ = V_s = \frac{\frac{V_A + V_B j \cdot C \cdot \omega}{\frac{1}{R} + j \cdot C \cdot \omega}}{\frac{1}{R} + j \cdot C \cdot \omega} \text{ donc } V_s = \frac{V_A + V_B j \cdot R \cdot C \cdot \omega}{1 + j \cdot R \cdot C \cdot \omega}$$

A partir des équations précédentes :

$$V_s = \frac{(V_e + V_s) \cdot (1 + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2)}{(1 + j \cdot R \cdot C \cdot \omega) \cdot (2 + 2j \cdot R \cdot C \cdot \omega)}$$

$$\text{D'où : } V_s \cdot (2 + 4 \cdot j \cdot R \cdot C \cdot \omega + 2 \cdot (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2) = (V_e + V_s) \cdot (1 + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2)$$

$$\text{D'où : } V_s \cdot (1 + 4 \cdot j \cdot R \cdot C \cdot \omega + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2) = V_e \cdot (1 + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2)$$

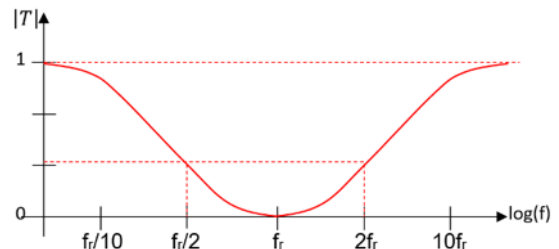
$$\text{D'où : } \frac{V_s}{V_e} = \frac{1 + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2}{1 + 4j \cdot R \cdot C \cdot \omega + (j \cdot R \cdot C \cdot \omega)^2}$$

$$\text{D'où } T(jf) = \frac{1 + (j \frac{f}{f_r})^2}{1 + \frac{jf}{Q \cdot f_r} + (\frac{jf}{f_r})^2} \text{ avec } f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \text{ et } Q = \frac{1}{4}$$

Question 23

$$|T(jf)| = \frac{\left| 1 - \left(\frac{f}{f_r}\right)^2 \right|}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_r}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{f}{Q \cdot f_r}\right)^2}}$$

f	$f_r/10$	$f_r/2$	f_r	$2f_r$	$10f_r$
f/f_r	0,1	0,5	1	2	10
T	0,93	0,35	0	0,35	0,93



Avec $R = 68 \text{ k}\Omega$ & $C = 47 \text{ nF}$ on obtient $f_r = 49,8 \text{ Hz}$ donc proche de 50 Hz.

Toutefois ce filtre présente de nombreux inconvénients car la précision de f_r dépend de celle des composants. Par ailleurs ce filtre n'est pas sélectif et atténue largement autour de f_r ce qui déforme inévitablement la forme d'onde ECG.

Question 24

Il s'agit d'un filtre anti-repliement ou anti aliasing filter nécessaire pour éviter le repliement de composantes fréquentielles supérieures à $f_e/2$.

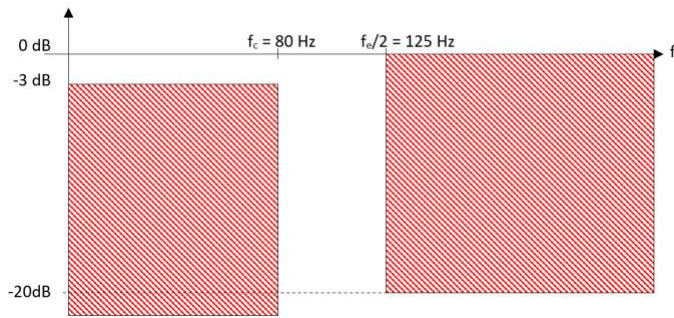
Question 25

$$|T(jf)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2 \cdot n}}}$$

$$\text{Gain} = -10 \cdot \log\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2 \cdot n}\right)$$

$$\text{D'où } 1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2 \cdot n} = 10^{\frac{-\text{Gain}}{10}}$$

$$n \geq \frac{\log\left(10^{\frac{-\text{Gain}}{10}} - 1\right)}{2 \cdot \log\left(\frac{f}{f_c}\right)}$$



gain = -20 dB et $f = \frac{f_c}{2} = 125$ Hz et $f_c = 80$ Hz, donc $n \geq 5,14$ donc $n = 6$.

Question 26

D'après le théorème de Millman au point M :

$$V_M = \frac{\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_0}{R_1} + V_0 \cdot j \cdot C_2 \cdot \omega}{\frac{2}{R_1} + j \cdot C_2 \cdot \omega} = \frac{V_i + V_0 + V_0 \cdot j \cdot R_1 \cdot C_2 \cdot \omega}{2 + j \cdot R_1 \cdot C_2 \cdot \omega}$$

Entre $V_+ = V_0$ et V_M on reconnaît un simple filtre passe bas d'où

$$V_0 = \frac{1}{1 + j \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \omega} \cdot V_M$$

A partir des deux équations précédentes :

$$V_0 \cdot (1 + j \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \omega) \cdot (2 + j \cdot R_1 \cdot C_2 \cdot \omega) = V_i + V_0(1 + j \cdot R_1 \cdot C_2 \cdot \omega)$$

$$\text{D'où } V_i = V_0 \cdot (1 + 2 \cdot j \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \omega + (j \cdot \omega)^2 \cdot R_1^2 \cdot C_1 \cdot C_2)$$

$$\text{D'où } \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{1 + 2 \cdot j \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \omega + (j \cdot \omega)^2 \cdot R_1^2 \cdot C_1 \cdot C_2} \text{ de la forme } \frac{1}{1 + 2 \cdot m \cdot j \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\text{Par identification } \omega_0 = \frac{1}{R_1 \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2}} \text{ et } \frac{m}{\omega_0} = R_1 \cdot C_1 \text{ d'où } m = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

Question 27

Pour le dimensionnement on fixe $C_1 = 10$ nF

$$C_2 = \frac{C_1}{m^2} \text{ pour un filtre Butterworth } \omega_0 = \omega_c \text{ d'où } R_1 = \frac{m}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C_1}$$

$$\text{Cellule n°1 : } m = \frac{1,932}{2} \text{ d'où } C_2 = 10,7 \text{ nF et } R_1 = 192,2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Cellule n°2 : } m = \frac{1,414}{2} \text{ d'où } C_2 = 5 \text{ nF et } R_1 = 140,7 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Cellule n°3 : } m = \frac{0,518}{2} \text{ d'où } C_2 = 74,5 \text{ nF et } R_1 = 51,5 \text{ k}\Omega$$

Question 28

La transformée bilinéaire classique entraîne une distorsion en fréquence ce qui est préjudiciable pour un filtre réjecteur à la fréquence f_r . La transformée bilinéaire modifiée permet d'obtenir une équivalence stricte entre la réponse fréquentielle analogique et son équivalent numérique pour la fréquence f_r considérée.

Question 29

$$\frac{j \cdot \omega}{\omega_R} = \frac{j \cdot f}{f_R} = a \cdot \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}}$$

$$H(Z) = \frac{1 + a^2 \cdot \frac{(1 - Z^{-1})^2}{(1 + Z^{-1})^2}}{1 + \frac{a}{Q} \cdot \frac{1 - Z^{-1}}{1 + Z^{-1}} + a \cdot \frac{(1 - Z^{-1})^2}{(1 + Z^{-1})^2}} = \frac{(1 + Z^{-1})^2 + a^2 \cdot (1 - Z^{-1})^2}{(1 + Z^{-1})^2 + \frac{a}{Q} \cdot (1 - Z^{-1}) \cdot (1 + Z^{-1}) + a^2 \cdot (1 - Z^{-1})^2}$$

$$H(Z) = \frac{1 + a^2 + Z^{-1}(2 - 2 \cdot a^2) + Z^{-2}(1 + a^2)}{1 + \frac{a}{Q} + a^2 + Z^{-1}(2 - 2 \cdot a^2) + Z^{-2}(1 - \frac{a}{Q} + a^2)}$$

$$H(Z) = \frac{\frac{1 + a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2} + Z^{-1} \cdot \frac{2 - 2 \cdot a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2} + Z^{-2} \frac{1 + a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2}}{1 + Z^{-1} \cdot \frac{2 - 2 \cdot a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2} + Z^{-2} \cdot \frac{1 - \frac{a}{Q} + a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2}}$$

De la forme indiquée avec

$$a_0 = \frac{1 + a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2} \text{ et } a_1 = \frac{2 - 2 \cdot a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2} \text{ et } a_2 = a_0$$

$$b_1 = a_1 \text{ et } b_2 = \frac{1 - \frac{a}{Q} + a^2}{1 + \frac{a}{Q} + a^2}$$

$$f_R = 50 \text{ Hz et } f_c = 250 \text{ Hz donc } a = 1,376$$

$$a_0 = a_2 = 0,954$$

$$a_1 = b_1 = -0,589$$

$$b_2 = 0,909$$

Question 30

L'équation de récurrence qui sera implanté est :

$$y(n) = a_0 \cdot x(n) + a_1 \cdot x(n - 1) + a_2 \cdot x(n - 2) - b_1 \cdot y(n - 1) - b_2 \cdot y(n - 2)$$

Il s'agit donc d'un filtre numérique récursif que l'on appelle filtre à réponse impulsionnelle infinie ou IIR (Infinite Impulse Response).

Pour déterminer la stabilité du filtre, il faut déterminer les pôles de la fonction de transfert et vérifier que $|z| < 1$.

Le dénominateur de la fonction de transfert est de la forme $1 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}$.

Trouver les pôles de la fonction de transfert revient à résoudre $z^2 + b_1 \cdot z^1 + b_2 = 0$.

Le déterminant est $\Delta = b_1^2 - 4b_2 = -3,29$ donc négatif ce qui donne 2 pôles complexes conjugués : $z = \frac{-b_1 \pm j\sqrt{|\Delta|}}{2}$ ce qui permet d'établir que $|z| = \frac{\sqrt{b_1^2 + |\Delta|}}{2} = 0,953 < 1$ ce qui permet donc de s'assurer que le filtre est stable.

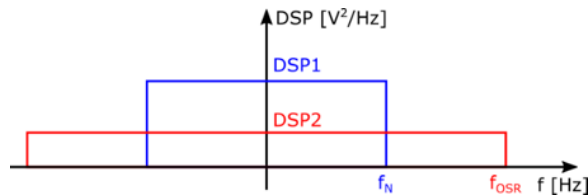
Question 31

Pour la réponse, en plus de la facilité de filtrage, on peut attendre que les candidats parlent de l'effet du sur-échantillonnage sur le bruit de quantification.

Le sur-échantillonnage augmente la résolution de la conversion en réduisant le bruit de quantification.

Si l'on nomme OSR le taux de sur-échantillonnage, c'est-à-dire le rapport entre la fréquence d'échantillonnage et la fréquence de Shannon-Nyquist (f_{OSR}/f_N). Les niveaux des densités spectrales de bruits s'expriment par :

$$DSP1 = \frac{q^2}{12 f_N} ; DSP2 = \frac{q^2}{12 f_{OSR}}$$



Et correspondent à un nombre de bits supplémentaires, N_{inc} , fonction du sur-échantillonnage par rapport à la fréquence de Nyquist.

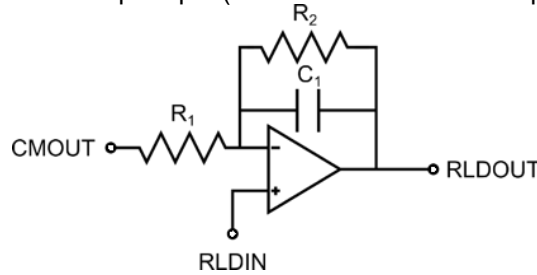
$$f_{OSR} = 4^{N_{inc}} f_N$$

Démonstration : pas de quantification q' (nombre de bits équivalent) qui correspondrait au niveau de bruit DSP2 dans la bande f_N sans sur-échantillonnage ?

$$DSP2 = \frac{q^2}{12 f_{OSR}} = \frac{q'^2}{12 f_N} \rightarrow \frac{f_N}{f_{OSR}} = \frac{q'^2}{q^2} = \left(\frac{V}{2^{N'}}\right)^2 = 4^{N' - N} = 4^{N_{inc}}$$

Question 32

Il s'agit d'un montage intégrateur réel/pratique (avec la résistance R2 en parallèle de C1).



Son rôle d'asservissement de potentiel est d'imposer un mode commun sur le corps du patient à RLDREF en annulant l'erreur statique entre le mode commun moyen mesuré CMOU et RLDREF (RLDIN connecté à RLFREF).

Question 33

En règle générale, les composants électroniques ne savent traiter que des signaux électriques qui sont compris entre leurs tensions d'alimentation (+Vs/-Vs ; Vdd/Vss). Pour les amplificateurs d'instrumentation, il y a une restriction supplémentaire qui fait que le mode commun des signaux d'entrée limite la dynamique de sortie. Figure ci-après, tension de sortie maximum en fonction du mode commun des entrées pour un amplificateur d'instrumentation rail-to-rail (ici AD623).

AD623

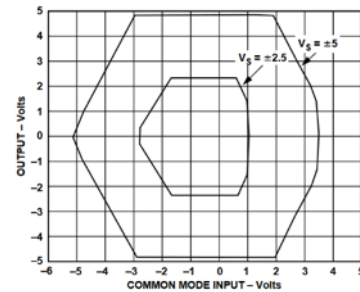
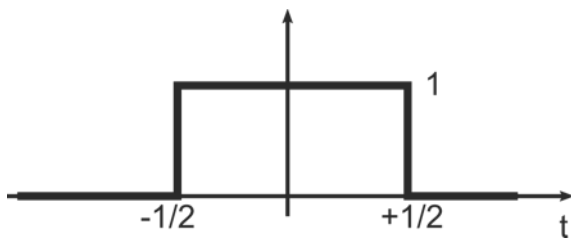


Figure 20. Maximum Output Voltage vs. Common Mode, G ≥ 10, R_L = 100 kΩ

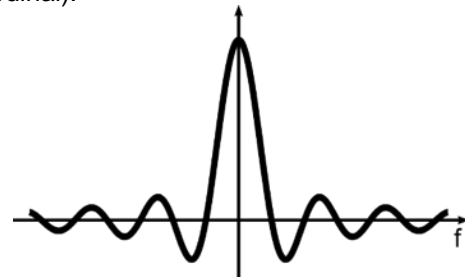
Pour avoir le maximum de dynamique de sortie, on a intérêt à avoir un mode commun centré entre les 2 niveaux de tension d'alimentation ((+Vs-Vs)/2 ; (Vdd+Vss)/2).

Question 34

On choisit pour M une puissance de 2, ainsi la division par M ne nécessite pas de calcul arithmétique mais un simple décalage à droite de m rang, avec m tel que 2m=M. La moyenne glissante correspond dans le domaine temporel à une fonction porte. Sa transformée de Fourier est une fonction sinc (sinus cardinal).



TF



$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} 1 \cdot e^{-i2\pi ft} dt = \int_{-1/2}^{+1/2} 1 \cdot e^{-i2\pi ft} dt = \left[\frac{e^{-i2\pi ft}}{-i2\pi f} \right]_{-1/2}^{+1/2} = \frac{\sin(\pi f)}{\pi f} = \text{sinc}(\pi f)$$

Question 35

$\Phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \cdot S$ avec S = surface de la spire et $\Phi = L \cdot I$
D'où $L = \frac{B \cdot S}{I}$ donc $\Delta L = \frac{B}{I} \cdot \Delta S$

Question 36

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j \cdot L \cdot \omega} + j \cdot C \cdot \omega = \frac{j \cdot L \cdot \omega + R_p + j^2 \cdot R_p \cdot L \cdot C \cdot \omega^2}{j \cdot R_p \cdot L \cdot \omega}$$

Que l'on peut écrire sous la forme $Z_{eq} = R_p \frac{\frac{j \cdot L \cdot \omega}{R_p}}{1 - L \cdot C \cdot \omega^2 + \frac{j \cdot L \cdot \omega}{R_p}}$

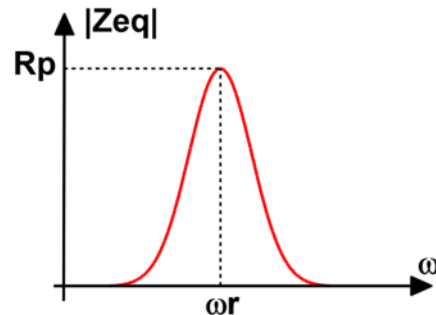
Question 37

$$|Z_{eq}| = R_p \frac{\frac{L \cdot \omega}{R_p}}{\sqrt{(1 - L \cdot C \cdot \omega^2)^2 + \left(\frac{L \cdot \omega}{R_p}\right)^2}}$$

Cette écriture permet de montrer simplement que le module de l'impédance est maximal pour la pulsation de résonance telle que $1 - L \cdot C \cdot \omega_r^2 = 0$
soit pour $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$

C = 0,5 nF et L = 11 µH

$$A.N : f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 10^{-9}}} = 2,15 \text{ MHz}$$



Question 38

Dans la DT6 il est indiqué que la fréquence de résonance doit être comprise entre 1 et 30MHz. C'est donc validé.

Question 39

$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ avec la dérivée logarithmique :

$$\ln(f_r) = -\ln(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C}) - \frac{1}{2} \cdot \ln(L)$$

$$D'où \frac{\Delta f_r}{f_r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

$$\ln(f_r) = -\ln(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C}) - \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{B \cdot S}{I}\right)$$

$$\ln(f_r) = -\ln(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C}) - \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{B}{I}\right) - \frac{1}{2} \cdot \ln(S)$$

$$D'où \frac{\Delta f_r}{f_r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S}{S} \text{ avec } \frac{\Delta S}{S} = 1 \%$$

$$D'où \Delta f_r = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta S}{S} \cdot f_r \quad A.N : \Delta f_r = -\frac{1}{2} \cdot 0,01 \cdot 2,15 \cdot 10^6 = 10750 \text{ Hz}$$

Question 40

$$Q = \frac{I_L}{I_R} = \frac{U}{|j \cdot L \cdot \omega_r|} \cdot \frac{R_p}{U} = \frac{R_p}{L \cdot \omega_r} = \frac{R_p}{L} \cdot \sqrt{L \cdot C} = R_p \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Ou bien

$$Q = \frac{I_C}{I_R} = U \cdot |j \cdot C \cdot \omega_r| \cdot \frac{R_p}{U} = R_p \cdot C \cdot \omega_r = R_p \cdot C \cdot \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = R_p \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

A.N : Q = 6.74

D'après DT6, $5 < Q < 30$ donc la valeur est correcte

Question 41

En ajoutant une inductance en série on diminue la résolution de la mesure : la partie variable devient plus faible par rapport à la partie constante.

Question 42

En ajoutant 2 condensateurs on enlève toute possibilité d'avoir un courant continu qui circule dans la bobine et donc en cas de défaut d'isolation un courant à travers le patient. En ajoutant les condensateurs on modifie la fréquence des oscillations mais également la condition d'oscillation.

Question 43

D'après DT7, $R_c(T) = R_{ref} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}$

Comme on sait que $R_{25} = 22 \text{ k}\Omega$ alors $B_{25/85} = 3740 \text{ K}$.

D'où les valeurs des coefficient A, B, C et D suivant :

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES									
NUMBER	B _{25/85} (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K ²)	D (K ³)	A ₁	B ₁ (K ⁻¹)
1	2880	Mat O. with Bn = 2880K	3	-9.094	2251.74	229098	-2.744820E+07	3.354016E-03	3.495020I
2	2990	Mat P. with Bn = 3990K	3	-10.2296	2887.62	132336	-2.502510E+07	3.354016E-03	3.415560I
3	3041	Mat Q. with Bn = 3041K	3	-11.1334	3658.73	-102895	5.166520E+05	3.354016E-03	3.349290I
4	3136	Mat R. with Bn = 3136K	3	-12.4493	4702.74	-402687	3.196830E+07	3.354016E-03	3.243880I
5	3390	Mat S. with Bn = 3390K	3	-12.6814	4391.97	-232807	1.509643E+07	3.354016E-03	2.993410I
6	3528 (1)	Mat I. with Bn = 3528K	0.5	-12.0596	3687.667	-7617.13	-5.914730E+06	3.354016E-03	2.909670I
	3528 (2)			-21.0704	11903.95	-2504699	2.470338E+08	3.354016E-03	2.933908I
7	3560	Mat H. with Bn = 3560K	1.5	-13.0723	4190.574	-47158.4	-1.199256E+07	3.354016E-03	2.884193I
8	3740	Mat B. with Bn = 3740K	2	-13.8973	4557.725	-98275	-7.522357E+06	3.354016E-03	2.744032I

$$R_c(T) = R_{ref} \cdot e^{\left(-13,8973 + \frac{4557,725}{T} - \frac{98275}{T^2} - \frac{7,522357 \cdot 10^6}{T^3}\right)}$$

$$\alpha = \frac{1}{R(T)} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{1}{R_{ref} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T}\right)}} \cdot \frac{dR_{ref} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T}\right)}}{dT} \text{ car on néglige C et D.}$$

$$\alpha = \frac{1}{R_{ref} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T}\right)}} \cdot \frac{-B}{T^2} \cdot R_{ref} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T}\right)}$$

$$\alpha = \frac{-B}{T^2}$$

Question 44

$$R_c(T) = -46,9 T(K) + 15763$$

Or sensibilité $s = \frac{\Delta R}{\Delta T}$

$$s = \frac{R_c(44) - R_c(30)}{44 - 30} = \frac{-46,9(44 + 273,15) + 46,9(30 + 273,15)}{14} = -46,9 \Omega \cdot K^{-1}$$

Question 45

La mesure avec le pont de Wheatstone est une mesure différentielle, cela permet :

- de mesure uniquement la partie variable (ce qui nous intéresse ici, pas de tension continue)
- d'améliorer la robustesse par rapport aux bruits qui apparaissent sur les deux entrées (comme les perturbations électromagnétiques, et la dérive de la source).

Question 46

$$V_A = \frac{R_c(T)}{R_1 + R_c(T)} \cdot E \text{ et } V_B = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot E$$

$$V_{mes} = V_B - V_A$$

$$V_{mes} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot E - \frac{R_c(T)}{R_1 + R_c(T)} \cdot E$$

$$V_{mes} = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_c(T)) - R_c(T) \cdot (R_2 + R_3)}{(R_2 + R_3) \cdot (R_1 + R_c(T))} \cdot E$$

$$V_{mes} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_c(T)}{(R_2 + R_3) \cdot (R_1 + R_c(T))} \cdot E$$

Question 47

Si le pont est équilibré $V_{mes} = 0 \text{ V}$ si $R_c(T) = \text{constante} = R_{C37}$

Alors $R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_{C37} = 0$ donc $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_{C37}$

En pratique on choisira $R_1 = R_3 = R_2 = R_{C37}$

Question 48

$$V_{mes} = \frac{R_{C37}^2 - R_{C37} \cdot (R_{C37} + \Delta R_c)}{(2 \cdot R_{C37}) \cdot (2 \cdot R_{C37} + \Delta R_c)} \cdot E$$

ELECTRICAL DATA AND ORDERING			
R ₂₅ (Ω)	B _{25/85} VALUE (K)	UL APPROVED (Y/N)	(± %)
470	3560	Y	1.5
680	3560	Y	1.5
1000	3528	Y	0.5
1500	3528	Y	0.5
2000	3528	Y	0.5
2200	3977	Y	0.75
2700	3977	Y	0.75
3300	3977	Y	0.75
4700	3977	Y	0.75
5000	3977	Y	0.75
6800	3977	Y	0.75
10 000	3977	Y	0.75
12 000	3740	Y	2
15 000	3740	Y	2
22 000	3740	Y	2
33 000	4090	Y	1.5

$$V_{\text{mes}} = \frac{-\Delta R_c}{4 \cdot R_{C37} + 2 \cdot \Delta R_c} \cdot E$$

$$V_{\text{mes}} = -\frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R_c}{R_{C37}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R_c}{2 \cdot R_{C37}}} \text{ est non linéaire sauf si } \frac{\Delta R_c}{2 \cdot R_{C37}} \ll 1$$

Ici

$$s = \frac{\Delta R}{\Delta T} = -46,9 \Omega \cdot K^{-1} \text{ avec } \Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C} \text{ on a } \Delta R = -469 \Omega$$

$$\text{Donc } \frac{\Delta R_c}{2 \cdot R_{C37}} = \frac{-469}{2 \cdot (-46,9 \cdot (37 + 273,15) + 15763)} = \frac{469}{2 \cdot 1217} = 0,19 \text{ qui n'est pas très par rapport à } 1$$

Le conditionnement en pont de Wheatstone ne permet pas d'obtenir la linéarité (qu'il n'y pas non plus avec le pont diviseur). Il oblige à utiliser deux résistances de plus, ce qui engendre quelques inconvénients : augmentation des coûts, baisse de la robustesse au vieillissement (plus de soudure) notamment.

Les avantages apportés par le pont de Wheatstone ne sont pas pertinents dans cette application face aux inconvénients. En effet, on ne s'intéresse qu'à l'amplitude de la variation de la température et non à sa valeur absolue.

Question 49

En statique, la valeur de l'accélération correspond à la mesure de la gravité (dirigée vers le sol). L'information des valeurs et de leurs signes sur les 3 axes donnera l'information de la position du patient. Par exemple, si l'accéléromètre est placé sur le ventre du patient avec l'axe z dirigé vers le haut et que la mesure est négative sur z et nulle en x et en y, on en conclura que le patient est sur le dos.

Question 50

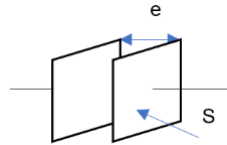
D'après la documentation technique DT8, la mesure est en g. Le g correspond à la l'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre. $1 \text{ g} = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$.

Question 51

$$C(0) = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{e} \text{ avec } \epsilon_0 : \text{permittivité du vide}$$

$$C(x) = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{e + \Delta x}$$

$$Q_c = C(x) \cdot E$$



Question 52

Un amplificateur est considéré comme parfait si son impédance d'entrée est infinie (avec pour conséquence des courants en entrée nuls) et son impédance de sortie est nulle. L'amplification différentielle tend vers l'infini.

Question 53

$$V_{\text{amp}} = -\frac{1}{C_g} \cdot \int i \cdot dt \text{ avec } i = \frac{dQ}{dt}$$

$$\text{D'où } V_{\text{amp}} = -\frac{Q_c(x)}{C_g} = K \cdot Q_c(x) \text{ avec } K = \frac{-1}{C_g}$$

Le condensateur étant alimenté par un générateur de tension continue : $Q_c(x) = C_c(x) \cdot E$

$$\text{Ainsi } V_{\text{amp}} = K \cdot C_c(x) \cdot E = K \cdot E \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{e + \Delta x}$$

Question 54

L'accélération est la dérivée seconde par rapport au temps du déplacement Δx .

En statique, lorsque la personne dort, Δx est constant ($\frac{d^2 \Delta x}{dt^2} = 0$, pourtant on mesure l'accélération de pesanteur).

Il y a dans l'accéléromètre une force de rappel de type ressort qui s'oppose à l'accélération subit par la masse mobile (armature mobile du condensateur)

D'après le principe fondamental de la dynamique :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

avec $F = k(\Delta x)$ (force de rappel ressort, k raideur), a accélération subie.

Alors $k(\Delta x) = ma$ et le déplacement Δx est proportionnel à l'accélération.

La mesure de V_{amp} donne dx, qui permet ensuite d'obtenir l'accélération.

Question 55

D'après la documentation :

- variation de la sensibilité par rapport à la température : 0.01 %/°C
- variation du niveau de zero-g par rapport à la température : +/-0,5 g/°C

Ici ça a peu d'importance car on a juste besoin de l'orientation (déterminée avec les valeurs des trois composantes) et du signe de l'accélération.

Question 56

Miniaturisation, abaissement des coûts, possibilité d'intégration de l'électronique de conditionnement sur un même substrat (augmentation de la robustesse car moins de soudure).

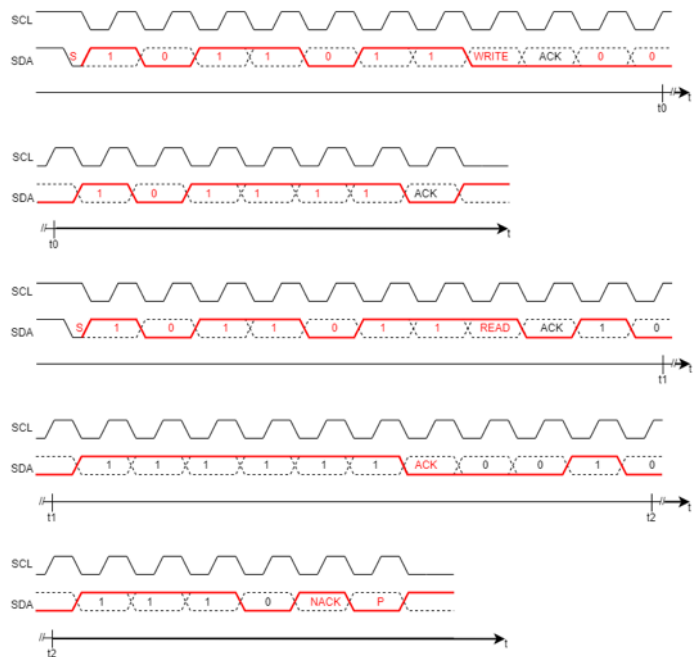
Question 57

Ces résistances se nomment résistances de tirage.

Les lignes SDA et SCL sont pilotées par des transistors en drain ou collecteur ouvert ce qui permet d'adapter le bus à des périphériques disposant de tension d'alimentation différente sans trop de problèmes. Une résistance de tirage à V_{cc} est donc nécessaire pour obtenir le niveau haut de ces signaux permettant de forcer les lignes SCL et SDA au niveau haut (niveau d'inactivité) en l'absence de communication.

L'influence de la valeur de cette résistance pourra être cruciale pour le bon fonctionnement du bus en raison des capacités parasites C_p du câblage et des transistors employés et surtout de leurs performances et du courant maximum qu'ils peuvent supporter. Ce dernier point pourra être gênant avec l'utilisation de plusieurs modules I²C du commerce possédant chacun une résistance de tirage, celles-ci se retrouvant en parallèle du point de vue du transistor actif sur le bus.

Lors de la transition du niveau bas au niveau haut le transistor de commande est désactivé et la capacité parasite C_p se charge à travers la résistance de tirage. Si sa valeur est insuffisante le temps de montée du signal sera trop important limitant la fréquence d'horloge maximale du signal, un bus d'impédance élevé sera aussi plus sensible aux perturbations et parasites externes. A contrario une résistance faible provoquera un courant élevé dans le transistor de sortie qui pourrait ne pas permettre d'obtenir un niveau bas correct.



Question 58

L'adresse de la FIFO pour la led rouge est 0x002F soit en binaire 0010 1111 (valeur de A6 à A0)

48942 en binaire vaut 1011 1111 0010 1110
Voir chronogramme ci-contre

Question 59

D'après le chronogramme ci-dessus, il faut 47 impulsions pour récupérer la donnée, avec une fréquence de 400 kHz cela correspond à une durée de $47 \cdot \frac{1}{400 \cdot 10^3} = 1,175 \cdot 10^{-4} \text{s}$.

Pour les trois valeurs, la durée de transfert des données sera de 0,3525 ms.

donc le bus sera disponible $10 - 0,3525 = 9,6475 \text{ ms}$ toutes les 10 ms pour le transfert des autres données.

Question 60

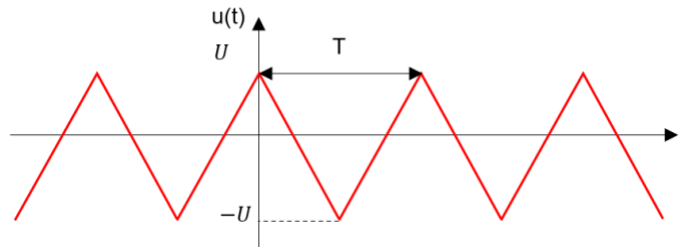
Pour la led rouge :

$I_{AC_{rouge}}$ correspond à la valeur efficace du signal.

On suppose que le signal est triangulaire périodique de valeur moyenne nulle

Pour $-\frac{T}{2} \leq t \leq 0$: $u(t) = a \cdot t + b$
 si $t = 0, s(0) = U = b$
 si $t = -\frac{T}{2}, s(-\frac{T}{2}) = -U = -a \cdot \frac{T}{2} + U$
 d'où $a = \frac{4 \cdot U}{T}$

Donc pour $-\frac{T}{2} \leq t \leq 0$: $u(t) = \frac{4 \cdot U}{T} \cdot t + U$



Pour $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$: $u(t) = a \cdot t + b$
 si $t = 0, s(0) = U = b$
 si $t = \frac{T}{2}, s(\frac{T}{2}) = -U = a \cdot \frac{T}{2} + U$
 d'où $a = -\frac{4 \cdot U}{T}$

Donc pour $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$: $u(t) = -\frac{4 \cdot U}{T} \cdot t + U$

Or $\langle u^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} u^2(t) dt$

$$= \frac{1}{T} \left[\int_{-\frac{T}{2}}^0 \left(\frac{4 \cdot U}{T} \cdot t + U \right)^2 dt + \int_0^{\frac{T}{2}} \left(-\frac{4 \cdot U}{T} \cdot t + U \right)^2 dt \right]$$

$$= \frac{2 \cdot U^2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} \left(-\frac{4}{T} \cdot t + 1 \right)^2 dt$$

$$= \frac{2 \cdot U^2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} \left(\frac{16 \cdot t^2}{T^2} - \frac{8}{T} \cdot t + 1 \right) \cdot dt$$

$$= \frac{2 \cdot U^2}{T} \cdot \left[\frac{16}{3 \cdot T^2} \cdot t^3 - \frac{4}{T} \cdot t^2 + t \right]_0^{\frac{T}{2}}$$

$$= \frac{2 \cdot U^2}{T} \cdot \left[\frac{16}{3 \cdot T^2} \cdot \left(\frac{T}{2} \right)^3 - \frac{4}{T} \cdot \left(\frac{T}{2} \right)^2 + \frac{T}{2} \right]$$

$$= \frac{U^2}{3}$$

Donc la valeur efficace du signal est égale à l'amplitude divisé par $\sqrt{3}$.

Donc $I_{AC_{rouge}} = \left(\frac{Max_{rouge} - Min_{rouge}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{48949 - 48833}{\sqrt{3}} \right) = 66,97$

$IP_{rouge} = \frac{I_{AC_{rouge}}}{I_{DC_{rouge}}} = \frac{I_{AC_{rouge}}}{Moyenne_{rouge}} = \frac{66,97}{48887,96} = 0,00137$

Pour la led IR :

$I_{AC_{IR}} = \left(\frac{Max_{IR} - Min_{IR}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{34599 - 34426}{\sqrt{3}} \right) = 99,88$

$IP_{IR} = \frac{I_{AC_{IR}}}{I_{DC_{IR}}} = \frac{I_{AC_{IR}}}{Moyenne_{IR}} = \frac{99,88}{34494,10} = 0,00289$

D'où

$R = \frac{IP_{rouge}}{IP_{IR}} = \frac{0,00137}{0,00289} = 0,474$

Or

$SpO_2 = aR^2 + bR + c$

Avec

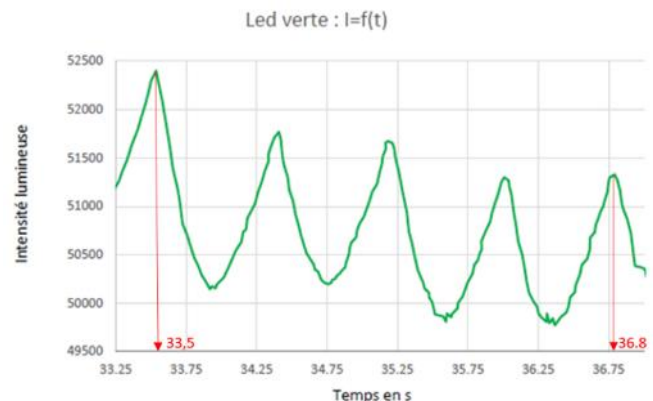
$a = 1,0358422$

$b = -32,9596622$

$c = 114,1898759$

$SpO_2 = 98,79 \%$

Pour la fréquence cardiaque : $\frac{60 \cdot 4}{36,8 - 33,5} = 72 \text{ bpm}$



Question 61

Pour une durée de 4s, il y a 400 valeurs car le système récupère une donnée toutes les 10 ms.

En Python :

```
moy_rouge,moy_ir=0,0
```

```
for i in range(400):
    moy_rouge=moy_rouge+led_rouge[i]
    moy_ir=moy_ir+led_ir[i]
```

```
moy_rouge=moy_rouge/400
```

```
moy_ir=moy_ir/400
```

```
Veff_rouge,Veff_ir=0,0
```

```
for i in range(400):
    Veff_rouge=Veff_rouge+(led_rouge[i]-
    moy_rouge)**2*0.01 #car delta t=10 ms soit 0,01s
    Veff_ir=Veff_ir+(led_ir[i]-moy_ir)**2*0.01 #car delta
    t=10 ms soit 0,01s
```

```
Veff_rouge=sqrt(Veff_rouge/4) #durée totale des mesures
= 4s
```

```
Veff_ir=sqrt(Veff_ir/4) #durée totale des mesures = 4s
```

```
IP_rouge=Veff_rouge /moy_rouge
```

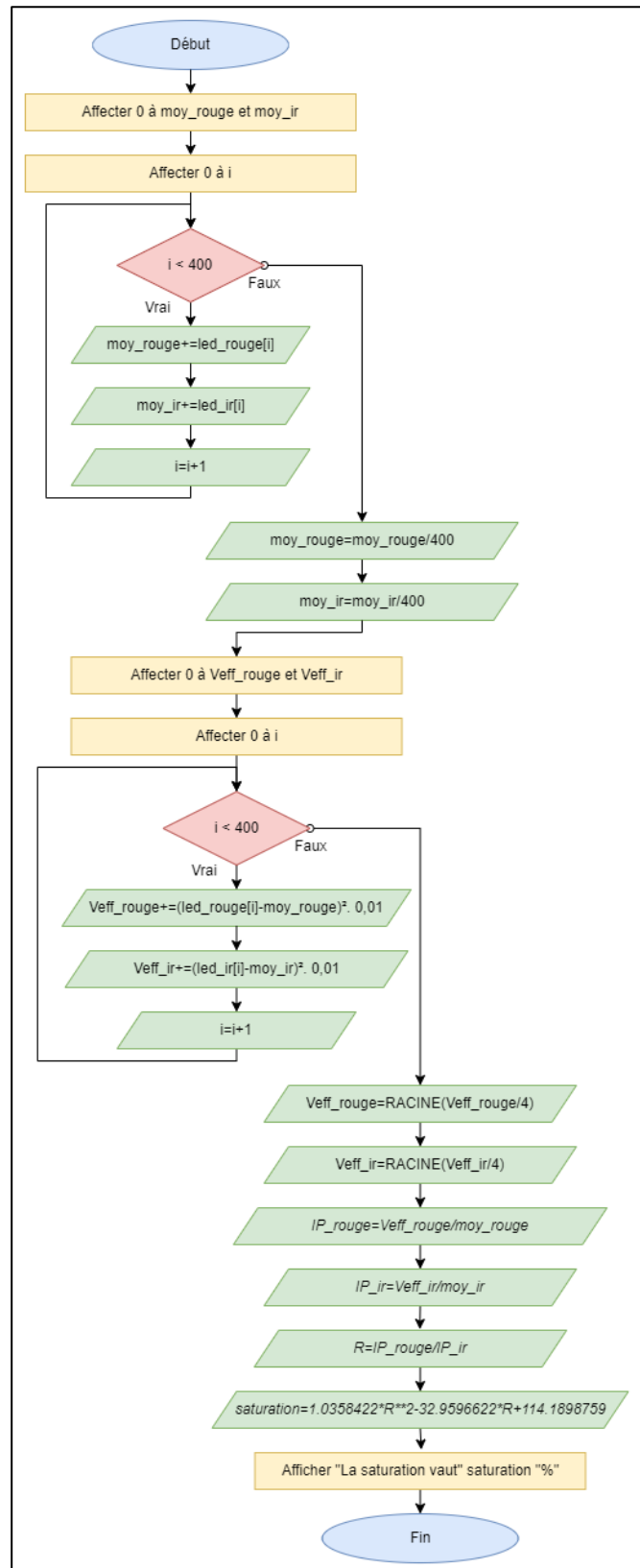
```
IP_ir=Veff_ir/moy_ir
```

```
R=IP_rouge/IP_ir
```

```
saturation=1.0358422*R**2-32.9596622*R+114.1898759
```

```
print("La saturation vaut :",saturation, "%")
```

Sous forme d'algorithme voir ci-contre

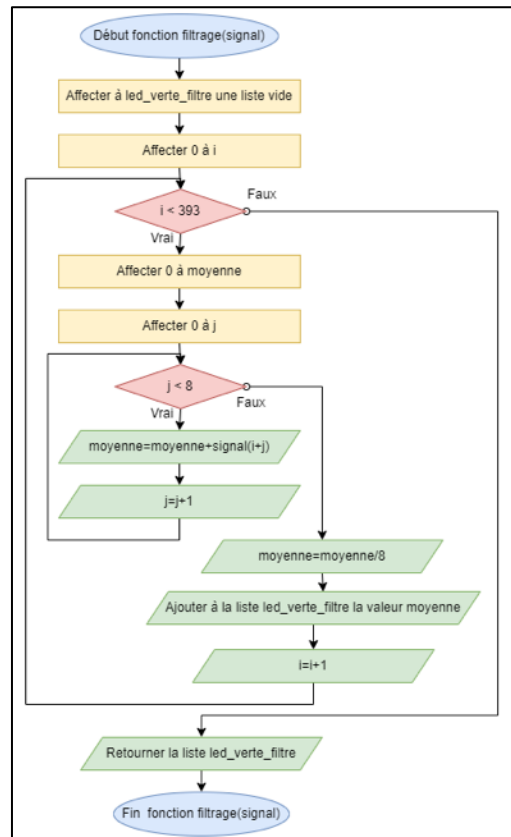


Question 62

En python :

```
def filtrage(signal):  
    led_verte_filtre=[]  
  
    for i in range(0,393):  
        moyenne=0  
  
        for j in range(8):  
            moyenne=moyenne+signal[i+j]  
  
        moyenne=moyenne/8  
        led_verte_filtre.append(moyenne)  
  
    return led_verte_filtre
```

Sous forme d'algorithmme voir ci-contre

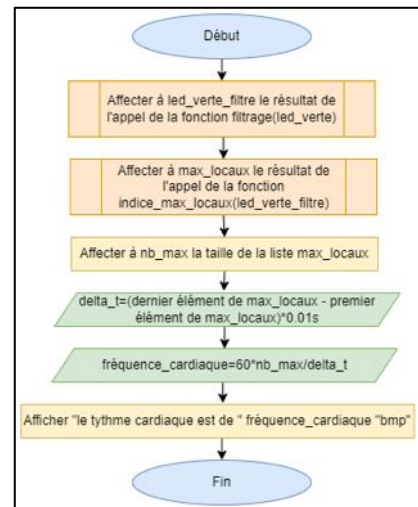


Question 63

En Python

```
led_verte_filtre=filtrage(led_verte)  
max_locaux=indice_max_locaux(led_verte_filtre)  
nb_max=len(max_locaux)  
delta_t=(max_locaux[-1]-max_locaux[0])*0.01  
frequence_cardiaque=60*nb_max/delta_t  
print("Le rythme cardiaque est de ",frequence_cardiaque,"bpm")
```

Sous forme d'algorithmme voir ci-contre



Question 64

Bluetooth à basse énergie (en anglais : Bluetooth Low Energy — BLE), est une technique de transmission sans fil basé sur le Bluetooth, qu'il complète mais sans le remplacer.

Comparé au Bluetooth, le BLE permet un débit du même ordre de grandeur (1 Mbit/s) pour une consommation d'énergie 10 fois moindre. Cette technologie permet aux appareils de se connecter dans un rayon d'environ 10 mètres. Les modes BLE (bande passante plus limitée et très faible consommation) et Bluetooth standard (niveau d'émission plus élevé et portée plus grande) sont donc des technologies complémentaires.

Dans ce système, il est utilisé car la distance de transmission est faible et surtout car il consomme 10 fois d'énergie que le Bluetooth classique.

Question 65

11200 octets = 89600 bits

Par paquet, d'après DT8, on envoie 240 bits maxi soit $89600/240 = 373,3$ soit 374 paquets

Pour l'envoi et la réception d'un paquet, la durée est de 2 time-slot soit $625*2=1250 \mu s$

La durée totale pour les 374 paquets sera de $467\ 500 \mu s$ soit 0,47 s bien inférieure à 2 s donc cela est compatible avec une transmission toutes les 2 s.

Question 66

Le capteur de pression est présent dans la canule et il permet de mesurer le flux d'air dans le nez du patient.

Une liaison SPI (pour Serial Peripheral Interface) est un bus de données série synchrone qui opère en mode full-duplex.

Une transmission SPI est une communication simultanée entre un maître et un esclave :

- Le maître génère l'horloge et sélectionne l'esclave avec qui il veut communiquer par l'utilisation du signal SS
- L'esclave répond aux requêtes du maître

À chaque coup d'horloge le maître et l'esclave s'échangent un bit. Après huit coups d'horloges le maître a transmis un octet à l'esclave et vice versa. La vitesse de l'horloge est réglée selon des caractéristiques propres aux périphériques.

Avantages

- Communication Full duplex
- Débit plus important qu'un bus I2C
- Flexibilité du nombre de bits à transmettre ainsi que du protocole en lui-même
- Simplicité de l'interface matérielle
- Aucun arbitre nécessaire car aucune collision possible
- Les esclaves utilisent l'horloge du maître et n'ont donc pas besoin d'oscillateur propre

Inconvénients

- Monopolise plus de broches d'un boîtier que l'I2C ou une UART qui en utilisent seulement deux.
- Aucun adressage possible, il faut une ligne de sélection par esclave en mode non chaîné.
- Le protocole n'a pas d'acquiescement. Le maître peut parler dans le vide sans le savoir.
- Ne s'utilise que sur de courtes distances contrairement aux liaisons RS-232, RS-485 ou bus CAN.

Le candidat devra citer au moins deux avantages et deux inconvénients.

Question 67

Les données de ronflements et bruit ambiant sont acquies à l'aide de microphones donc ils correspondent à des sons, c'est pourquoi le protocole I²S est utilisé.

I²S est une liaison série, développé spécialement pour l'audio numérique. Le bus gère uniquement les données audios via un bus à 3 fils. I²S est utilisé uniquement pour les appareils audios. I²S prend en charge un seul maître.

Il offre une chaîne audio complète et élimine le besoin de tout préamplificateur et DAC et ADC.

Question 68

Le système proposé est conçu pour réaliser des études sur les troubles du sommeil en équipant un patient avec une batterie de capteurs qui bien que n'étant pas invasif au sens médical du terme présentent tout de même quelques inconvénients en termes d'ergonomie comme le montre les figures 1 et 4 : Le bonnet, une canule, un capteur SpO₂ au bout du doigt....

Il est assez facile d'imaginer le manque de confort avec cet ensemble de capteurs qui perturbe donc le sommeil alors que ce dispositif de mesure doit étudier le sommeil.

Les alternatives à ce problème seraient d'utiliser des capteurs sans contact direct avec le patient tout en permettant d'extraire des données relatives au sommeil comme par exemple :

- un tapis que l'on dépose sous le matelas et qui permet d'extraire le rythme de respiration,
- une caméra qui filme le patient et qui par un traitement d'image permet d'en déduire la température, le rythme cardiaque, les phases de sommeil.
- Un simple bracelet plus agréable à porter qu'un capteur SpO₂ au bout du doigt...etc...

Question 69

L'intelligence artificielle est utilisée pour traiter rapidement beaucoup de données. Elle permet de détecter des anomalies dans les graphes (augmentation ou diminution de l'amplitude ou de la fréquence de chaque courbe) et elle peut donc les extraire pour le praticien.

De plus, lorsqu'elle est utilisée en deep learning (apprentissage en profondeur), elle peut proposer un diagnostic du trouble et un traitement associé grâce à un réseau neuronal qui évolue au fil du traitement des données. Le praticien reste tout de même la dernière personne à valider le diagnostic et le traitement adapté pour le patient.

D. Commentaires du jury

1. Analyse générale

Le sujet comporte cinq parties indépendantes, 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 remarque que souvent les documents techniques ne sont pas lus correctement.

2. Acquisition de la saturation en oxygène et du rythme cardiaque

Cette partie est composée de trois sous-parties.

La première sous-partie relève surtout de la lecture de documents et de l'extraction des données importantes. Pour la question sur l'expression de $-\alpha \cdot d_2$ en fonction de I_{AC} et I_{DC} , certains candidats ont vu là une demande d'application numérique, alors qu'il s'agissait d'exprimer un développement limité. Beaucoup de candidats ont mal interprété l'utilisation de la led verte destinée à la mesure du rythme cardiaque et non au taux de saturation.

La seconde sous-partie a pour but de vérifier les connaissances générales en câblage d'un condensateur, d'une led et d'un transistor en s'appuyant sur un dossier technique. La recherche du potentiel maximum dans le dossier technique a été bien traitée par presque tous les candidats. Cependant, la représentation et le câblage d'un transistor MOSFET sont mal maîtrisés. De plus, pour la seconde solution, sans transistor MOSFET, il faut mettre les deux leds IR en série, 50% des candidats ont fait un schéma avec les deux en parallèle.

La troisième sous-partie a pour but de déterminer le courant dans la photodiode lorsque la led rouge est allumée puis de déterminer le temps de réponse de la photodiode et les puissances des leds. Peu de candidats connaissent le schéma équivalent d'une photodiode et le calcul de la fréquence limite sachant qu'il faut utiliser un modèle du 1^{er} ordre. L'identification du montage de l'AOP est souvent fautive. Malgré l'aide dans le sujet pour le calcul de l'angle solide, celui-ci a été souvent mal calculé. Le jury constate que la notion de la sensibilité est non maîtrisée par la plupart des candidats.

3. Acquisition de l'électrocardiogramme

La troisième partie concerne la modélisation et la justification des différents filtrages de la chaîne d'acquisition des bio-potentiels pour acquérir un électrocardiogramme. Cette partie a été peu traitée alors qu'elle contenait des questions classiques de l'électronique telles que le calcul de fonctions de transfert. Le jury s'étonne que la méthode de calcul avec le théorème de Millman soit mal connue. Le jury constate qu'une partie des candidats ayant démarré le calcul l'ont abandonné en se perdant dans des modifications d'expressions inefficaces et longues. L'application du théorème de Millman, notamment avec des condensateurs, permet de gagner un temps considérable en obtenant des fonctions de transfert avec les variables $j\omega$ directement à la bonne place pour permettre des écritures sous des formes canoniques. Le jury rappelle qu'un module est toujours positif. Pour rappel $|X| = \sqrt{X^2}$.

Une partie des questions concernaient la chaîne d'acquisition numérique. Le jury s'étonne de la méconnaissance de filtre anti-repliement et de son utilité. Le filtrage numérique est mal connu également, pourtant grand nombre d'applications électroniques actuelles sont numériques.

Enfin, le jury note que la notion de mode commun, importante en instrumentation, reste floue pour un grand nombre de candidats.

4. Acquisition des mouvements de respiration et de la position du patient

Cette partie est composée de trois sous-parties.

La première sous-partie traite de la bande inductive qui permet de caractériser la respiration du patient. Là encore le jury note des difficultés calculatoires pour la détermination de l'impédance équivalente du circuit RLC parallèle. La mise sous forme d'une fraction rationnelle du résultat est appréciée. Le tracé de l'impédance est peu abordé alors qu'il s'agit d'un classique de l'électronique. Le jury constate que très peu de candidats sont capables d'exprimer une variation relative. Le jury rappelle qu'il faut pour cela passer par la dérivée logarithmique.

La deuxième sous-partie concerne le capteur CTN permettant de caractériser les variations de la température. Cette sous-partie est bien traitée dans l'ensemble, le jury s'étonne tout de même des imprécisions pour déterminer la condition d'équilibre du pont de Wheatstone.

La troisième sous-partie traite de la détermination de la position du patient à l'aide d'un accéléromètre. Le jury constate que peu de candidats sont capables d'exprimer correctement la capacité d'un condensateur plan en fonction de la surface des armatures et de l'espace entre celles-ci. Le jury rappelle que le « bit » n'est pas une unité de grandeur analogique. Le jury regrette que la notion d'amplificateur parfait soit mal connue et souvent confondue avec les hypothèses d'un fonctionnement en régime linéaire.

5. Traitement et transmission de l'ensemble des données

La partie 5 permet de vérifier si le candidat maîtrise les différents types de transferts de données I2C, I2S, SPI et Bluetooth ainsi que les algorithmes de base de filtrage numérique d'un signal.

La première sous-partie consiste essentiellement en l'exploitation du dossier technique DT3 et à connaître les caractéristiques d'une transmission I2C qui, pour la plupart des candidats, sont bien maîtrisées. Plusieurs candidats commettent des erreurs dans la conversion Décimal en Binaire et Hexadécimal en Binaire. Souvent les candidats ont mal utilisé le bit de poids le plus fort et celui de poids le plus faible.

La seconde sous-partie consiste à vérifier la capacité des candidats à maîtriser des algorithmes de filtrage numérique de base. Peu de candidats ont traités les questions sur les algorithmes.

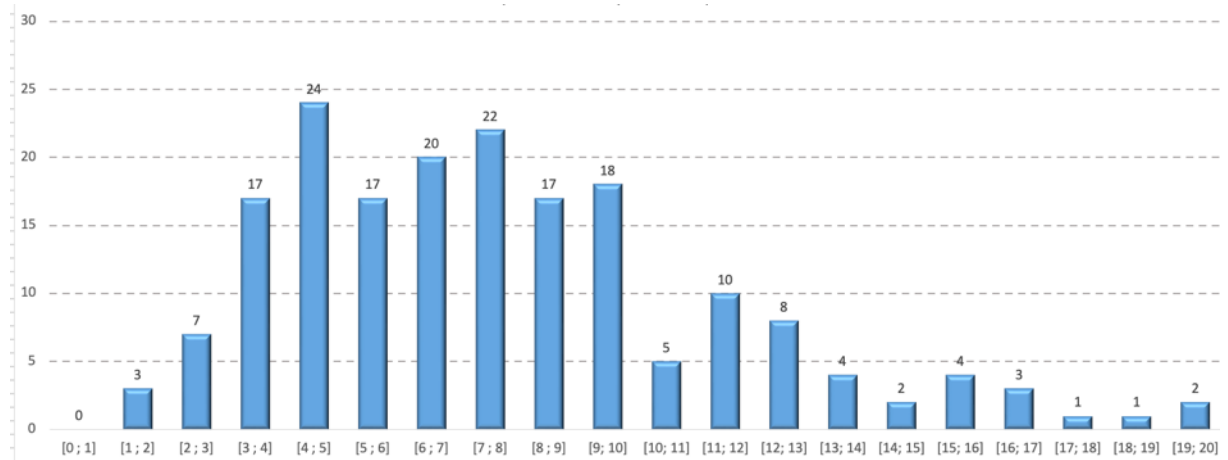
La troisième sous-partie consiste à vérifier les connaissances techniques des candidats sur les différents protocoles de communication. Il est recommandé de ne pas inventer de réponse si on ne connaît pas les protocoles en question.

6. Synthèse et évolutions possibles

Cette partie permet de vérifier si le candidat synthétise et propose des innovations issues d'une veille technologique qu'il fait au quotidien. Les correcteurs attendent, pour ce type de question, des réponses précises utilisant un vocabulaire scientifique et technique pour une proposition de technologie alternative et une argumentation sur les points forts de l'intelligence artificielle. Globalement les réponses étaient trop vagues (il faudrait faire plus petit et sans fils...), le concept d'intelligence artificielle est peu connu alors que c'est un sujet d'actualité.

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://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/Agreg_externer/91/5/s2023_agreg_externer_sii_electrique_3_1429915.pdf

Le support de cette épreuve est un véhicule électrique de la marque Renault. Le sujet aborde la conception de la chaîne de puissance, de l'onduleur et de la commande rapprochée.



C. Éléments de correction

Partie A : Conception de la chaîne de puissance

A.1. Simulation du comportement du véhicule en vue du dimensionnement de la chaîne de puissance

Question 1

Dans le DT2, la classe du véhicule est définie en fonction de sa puissance massique.

A partir des informations du DT1, on calcule :

$$P_m = \frac{\text{Puissance du véhicule}}{\text{masse à vide}} = \frac{100000}{1577} = 63 \text{ W/kg} > 34 \text{ W/kg.}$$

Le véhicule Renault Zoé Etech est donc de classe 3.

Question 2

Grandeur	Expression	Valeur numérique	Unités
Rtrans		1/9	sans unité
Kx	$\frac{1}{2} \rho S C_x$	0,45	N.s ² /m ²
Rroue		0,3105	m
Fr	$R_{RC} M g$	124	N
MasseVh	masse du véhicule à vide + masse du passager	1647	kg

Question 3

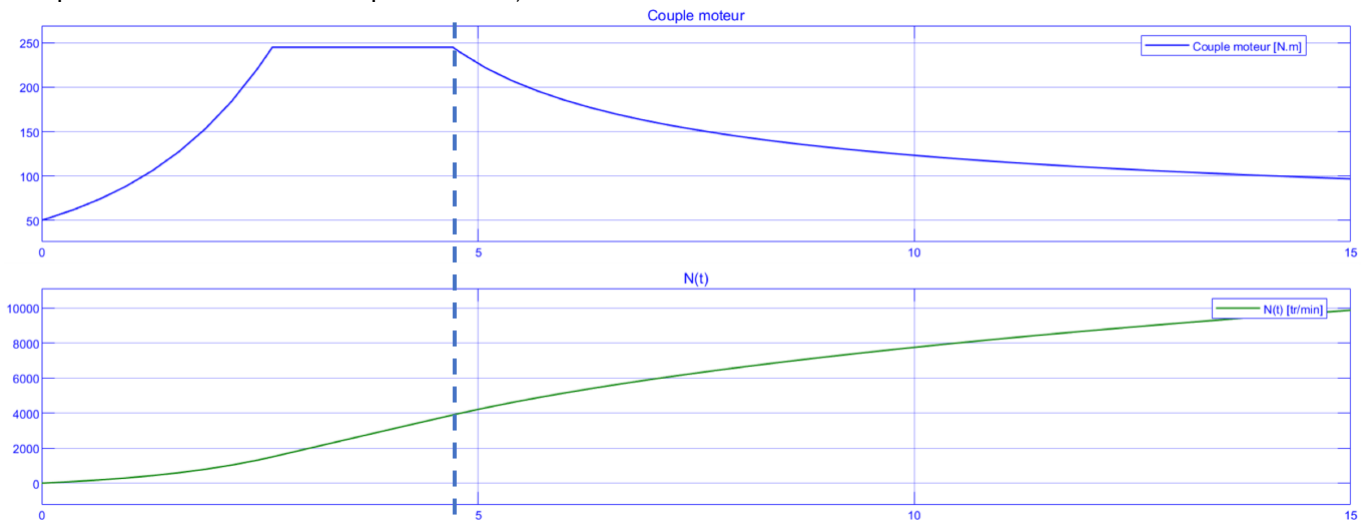
Le display 1 permet d'afficher l'énergie consommée par le moteur, exprimée en J.

Le display 2 permet d'afficher la distance parcourue, exprimée en m.

A.2 Dimensionnement du moteur synchrone

Question 4

La puissance est maximale à partir de t=4,7 s. Elle vaut Pmax=100480 W.



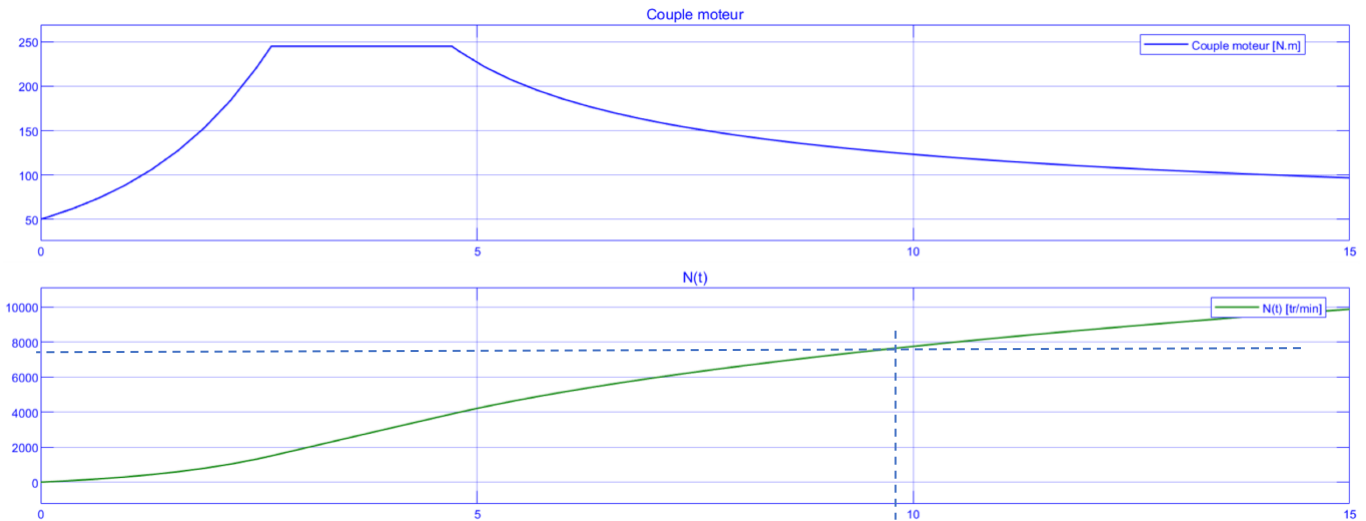
Question 5

Lorsque le véhicule roule à 100km/h, on a :

$$\Omega_{\text{mot}} = \frac{R_{\text{trans}}}{R_{\text{roue}}} * \frac{100000}{3600} = 805 \text{ rad/s} \text{ soit } N_{\text{mot}} = 7692 \text{ tr/min.}$$

Question 6

Dans cette configuration, pour atteindre la vitesse de 100km/h, il faudrait 9,5 s.
Ce temps est conforme au temps annoncé par le constructeur.



Question 7

La puissance maximale délivrée par le motoréducteur est $P_{\max} = \frac{C_{\text{mot}} \cdot \Omega_{\text{mot}}}{\eta}$ * avec les valeurs lues à partir de $t=4,7$ s. On obtient alors $P_{\max} = \frac{250 \cdot 4000}{0,98} \cdot \frac{2\pi}{60} = 106802$ W.

A.3 Dimensionnement de la batterie de traction

Question 8

La tension aux bornes d'un module s'écrit :

$$U_{\text{mod}} = 8 \cdot U_{\text{cell}} = 8 \cdot 4,2 = 33,6 \text{ V.}$$

Pour obtenir une tension de 400V aux bornes de la batterie, il faut mettre en série $N = \frac{400}{33,6}$ modules.

Soit $N=12$ modules.

Question 9

Chaque module contient 2 cellules en parallèle, la capacité de la batterie vaut donc

$$C_{\text{tot}} = 2 \cdot C = 130 \text{ A.h.}$$

La capacité nominale est donc

$$C_{\text{nom}} = 400 \cdot 130 = 52 \text{ kWh.}$$

Question 10

Avec une batterie chargée à 100%, il est possible de réaliser $\frac{52}{2,62} = 19,8$ cycles WLTC.

Ainsi, l'autonomie serait de $19,8 \cdot 23,3 = 462 \text{ km} > 395 \text{ km}$.

Cette batterie permet en effet d'atteindre l'autonomie annoncée par le constructeur de 395 km. L'écart est dû à la non prise en compte des pentes, du freinage, du rendement de la transmission et des virages.

Partie B : Conception de l'onduleur

Question 11

Les différentes pertes produites sont les pertes par effet joules au rotor et au stator, les pertes fer (Foucault, hystérésis), les pertes dues aux frottements visqueux et secs dans le motoréducteur.

B.1 Détermination des caractéristiques du bus continu

Question 12

La puissance nominale fournie par le bus continu s'écrit

$$P_{\text{acc}} = \frac{P_m}{\eta_{\text{MR}} \cdot \eta_{\text{OT}}} = \frac{100 \cdot 10^3}{0,91 \times 0,987} = 111337 \text{ W soit } 111,3 \text{ kW.}$$

Question 13

Sur le bus continu, la relation entre puissance, courant et tension est

$$P_{\text{acc}} = U_{\text{Bat}} \cdot I_B$$

$$\text{D'où le courant } I_B = \frac{P_{\text{acc}}}{U_{\text{Bat}}} = \frac{111337}{400} = 278 \text{ A.}$$

B.2 Structure de l'onduleur

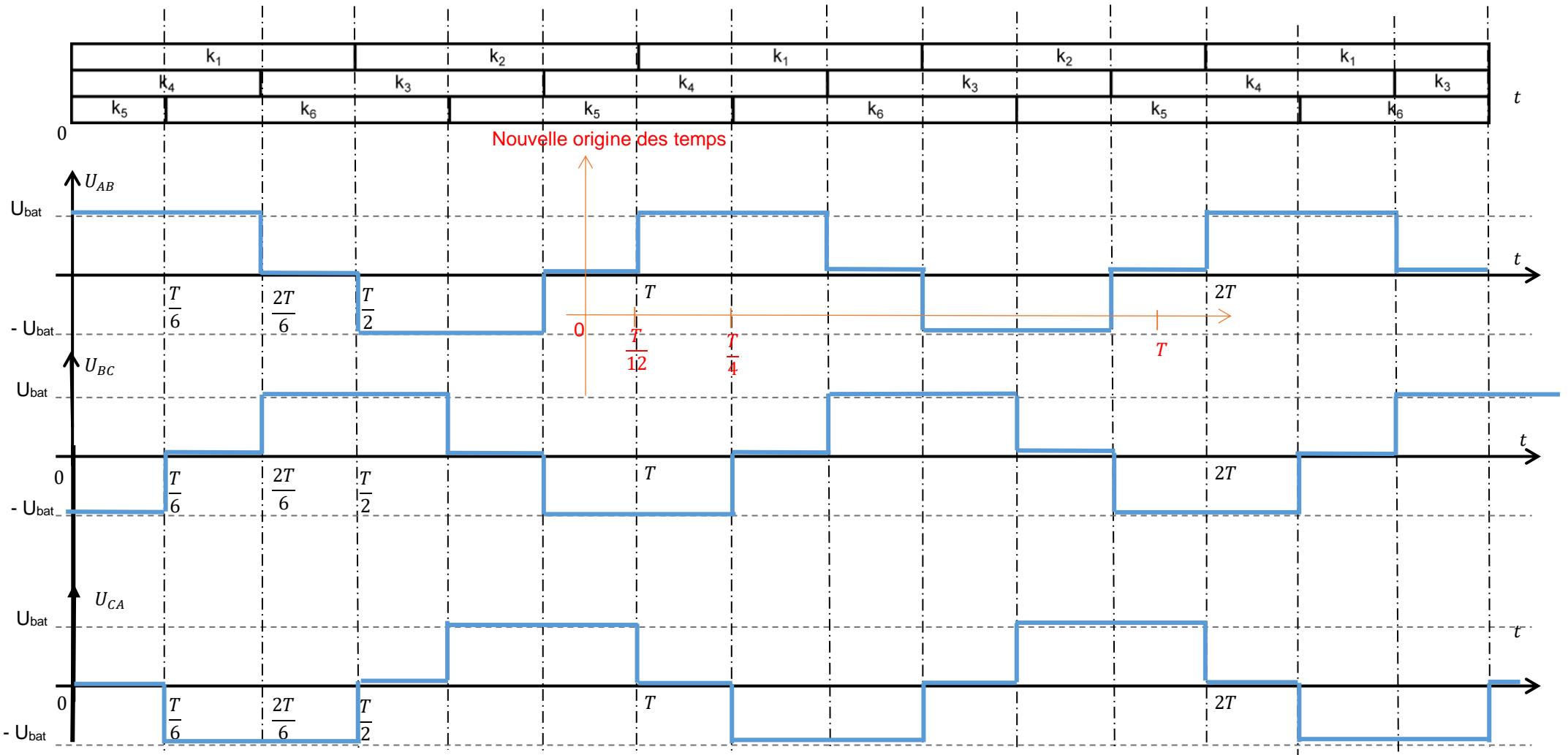
Question 14

Il s'agit de mettre en œuvre la règle d'association des sources :

- La source de tension ne peut pas être court-circuitée dans un bras, on ne peut pas fermer deux interrupteurs en même temps.
- Les sources de courant ne peuvent pas être interrompues, au moins un interrupteur par bras doit être fermé.

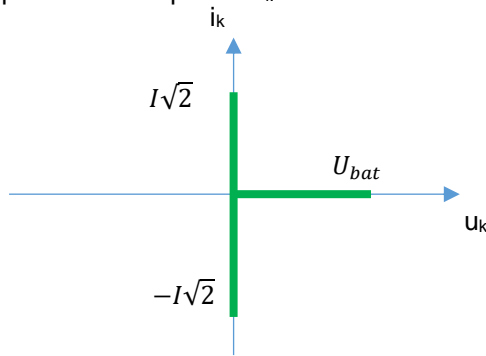
En conséquence, la commande des interrupteurs d'un bras doit être complémentaire.

Question 15



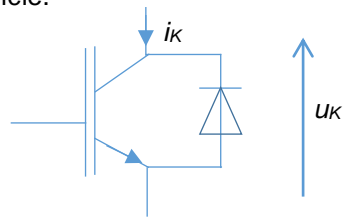
Question 16

Grphe statique des interrupteurs k_i .



Question 17

Il faut un composant bidirectionnel en courant et unidirectionnel en tension, on peut choisir un IGBT et une diode en antiparallèle.



Question 18

La valeur efficace de la tension U_{AB} est

$$U = \sqrt{\frac{2}{T} * \frac{T}{3} * U_{Bat}^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{Bat}.$$

Question 19

La tension U_{AB} est une fonction impaire qui peut être obtenue par symétrie de glissement. Ainsi, les termes de la décomposition en série de Fourier sont les coefficients impairs des termes en sinus.

$$D'où \sqrt{2} * U_k = 4 * \frac{2}{T} \int_{T/12}^{T/4} U_{bat} \sin((2k+1)\omega t) dt = 4 * \frac{2}{T} U_{bat} \left[\frac{-\cos((2k+1)\omega t)}{(2k+1)\omega} \right]_{T/12}^{T/4}$$

Donc

$$U_k = \frac{2U_{bat}\sqrt{2}}{\pi(2k+1)} \cos\left((2k+1)\frac{\pi}{6}\right).$$

Question 20

Par la formule de Parseval, on a : $THD_F = \frac{\sqrt{U^2 - U_0^2}}{U_0}$.

$$Où U_0 = \frac{2U_{bat}\sqrt{2}}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{U_{bat}\sqrt{6}}{\pi}.$$

$$On obtient \quad THD_F = \sqrt{\frac{\pi^2}{9} - 1} = 0,31.$$

Question 21

Un taux de distorsion harmonique trop élevé peut entraîner une augmentation des pertes fer. Pour réduire le THD, on peut opter pour une commande MLI.

PARTIE C : Conception de la commande rapprochée

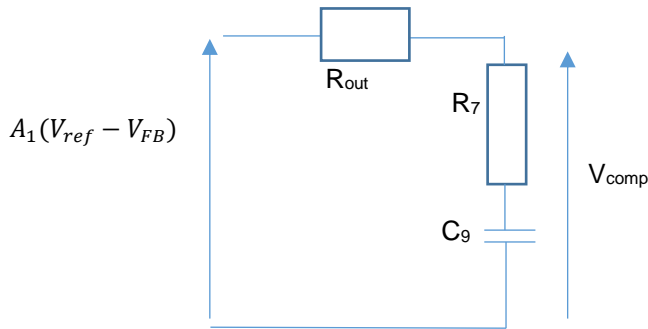
Question 22

Chaque ensemble {commande rapprochée + pilote} assure la sécurité de son IGBT pour deux cas de figure. En cas de surintensité, l'IGBT est protégé par la mesure de désaturation (entrée DESAT) et par le miroir de courant (signal OCP). En cas de surtension, la solution mise en œuvre est l'écrêtage actif par la diode Zener (entrée ACLI).

C.1 Conception de l'alimentation à découpage (SMPS)

Question 23

- Premier montage



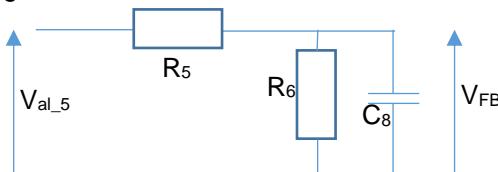
$$H_1(p) = \frac{V_{comp}}{V_{ref} - V_{FB}} = A_1 * \frac{R_7 + Z_{C_9}}{R_{out} + R_7 + Z_{C_9}} = \frac{1 + R_7 C_9 p}{1 + p(R_{out} + R_7) C_9}$$

Par identification, on obtient :

$$\omega_1 = \frac{1}{R_7 C_9} \text{ et } \omega_{11} = \frac{1}{(R_{out} + R_7) C_9}$$

$$AN: \omega_1 = 9671 \text{ rad.s}^{-1} \text{ et } \omega_{11} = 831 \text{ rad.s}^{-1}$$

- Deuxième montage



$$H_3(p) = \frac{V_{FB}}{V_{al_5}} = \frac{R_6 // Z_{C_8}}{R_5 + R_6 // Z_{C_8}} = \frac{R_6}{(R_5 + R_6)(1 + p \frac{R_6 C_8}{R_5 + R_6})}$$

Par identification, on peut écrire :

$$A_3 = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \text{ et } \omega_3 = \frac{R_5 + R_6}{R_5 R_6 C_8}$$

- Calcul de l'erreur statique

La FTBO de cet asservissement est $H_1 H_2 H_3$. Elle est de classe 0. L'erreur statique s'écrit alors :

$$\varepsilon_s = \frac{1}{1 + K_{BO}} = \frac{1}{1 + A_1 A_2 A_3}$$

Question 24

- Dans le DT7, page 2/2, on lit que R_5 et R_6 doivent être choisies telles que $V_{FB} = 1,26 \text{ V}$.

$$D'où A_3 = \frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{1,26}{5} = 0,252. \text{ Ainsi } R_6 = 0,336 * R_5.$$

Résultat que l'on combine avec $\omega_3 = \frac{R_5 + R_6}{R_5 R_6 C_8} = 6800 \text{ rad.s}^{-1}$ pour obtenir :

$R_5 = 58,5 \text{ k}\Omega$ et $R_6 = 19,6 \text{ k}\Omega$.

- Dans le DT7, page 2/2, on lit la relation pour choisir R_8 : $R_8 = 4,503 * 10^{11} * f^{-1,26}$.
Ainsi avec $f=475 \text{ kHz}$, on a $R_8 = 31686 \Omega$.
- Avec $A_3=0,252$, l'erreur statique vaut $\varepsilon_s = 1,4\%$.

C.2 Conception du transformateur

Question 25

Les transistors du haut doivent être obligatoirement indépendants pour la commande de grille. Ceux du bas le sont aussi, les masses de commandes sont séparées des masses de puissances. Les courants mis en jeu étant très différents. Cette isolation est obtenue par le transformateur TR1 et par le composant « Eice DRIVER ».

Question 26

$$P_s = 3 + 2,5 * 6 = 18 \text{ W} .$$

Question 27

$$Q1 \text{ saturé} \Rightarrow E = L_1 \frac{di_1}{dt} \text{ d'où } i_1(t) = \frac{E}{L_1} t.$$

$$\text{La valeur maxi du courant est atteinte pour } t = \alpha T_H \text{ soit } I_{\max} = \frac{E}{L_1} \alpha T_H = \frac{E\alpha}{f_H L_1}.$$

$$\text{L'énergie accumulée dans le circuit magnétique } W_1 \text{ s'écrit : } W_1 = \frac{1}{2} L_1 I_{\max}^2 .$$

$$\text{Soit } W_1 = \frac{E^2 \alpha^2}{2 * L_1 f_H^2}.$$

Question 28

$$P_{A1} = W_1 * f_H$$

Question 29

$$\eta = \frac{P_s}{P_{A1}} \text{ d'où } P_{A1} = \frac{P_s}{\eta} = \frac{E^2 \alpha^2}{2 * L_1 f_H^2} * f_H$$

$$\text{Donc } L_1 = \frac{E^2 \alpha^2 \eta}{2 * f_H * P_s}.$$

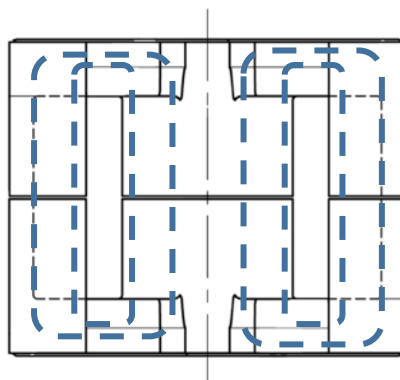
Question 30

$$\text{AN : } L_1 = \frac{12^2 * 0,75^2}{2 * 475 * 10^3 * 20} = 3,8 \mu\text{H} ; I_{1\max} = 5\text{A} ; W_1 = 47 \mu\text{J}.$$

Question 31

$$n_1 = \frac{L_1 I_{1\max}}{B_{\max} A_e} = \frac{E * \alpha}{f_H * B_{\max} * A_e}.$$

Question 32



Question 33

Avec un champ magnétique $B_{\max}=104 \text{ mT}$ et une fréquence de commutation $f_H=475 \text{ kHz}$, le choix se porte sur le matériau désigné ML27D.

AN : Avec $\alpha = 0,75$; $E = 12\text{V}$; $f_H = 475\text{kHz}$; $B_{\max} = 0,104 \text{ T}$; $A_e = \frac{\pi \cdot (8,8 \cdot 10^{-3})^2}{4}$.

On trouve $n_1=3$ spires.

Question 34

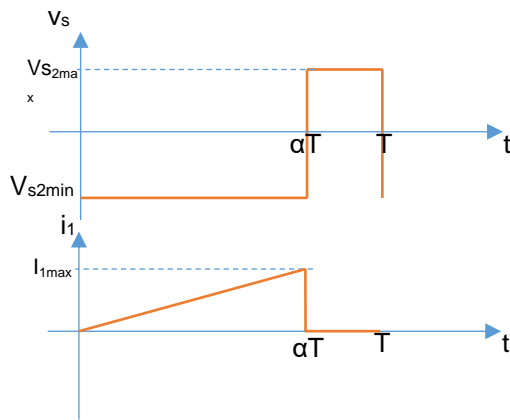
Lorsque la diode D_2 est passante, la loi des mailles donne :

$$V_{S2\max} = V_{AL5} + V_F.$$

Lorsque la diode D_2 est bloquée, la loi des mailles donne :

$$V_{S2\min} = -m_{21} * E.$$

Question 35



Question 36

La tension en sortie du transformateur étant nulle, on a :

$$V_{S2\min} * \alpha + (1 - \alpha) * V_{S2\max} = 0.$$

$$m_{21} = \frac{(1-\alpha)(V_{AL5}+V_F)}{\alpha E}.$$

AN : $m_{21}=0,166$.

Question 37

$$m_{21} = \frac{n_2}{n_1} \text{ soit } n_2 = m_{21} * n_1 = 0,166 * 3 = 0,5 \text{ spire.}$$

Question 38

De la même manière, $m_{31} = \frac{(1-\alpha)(V_{AL15}+V_{AL8}+V_F)}{\alpha E} = 0,66$.

D'où $m_{31} = \frac{n_3}{n_1}$ soit $n_3 = m_{31} * n_1 = 0,66 * 3 = 2$ spires.

Question 39

L'énergie magnétique stockée dans l'entrefer est : $W_1 = \frac{B_{\max}^2}{\mu_0} * e * A_e$.

D'où $e = \frac{\mu_0 * W_1}{A_e * B_{\max}^2}$.

A.N. : $e = 89\mu\text{m}$.

Question 40

Ces matériaux permettent d'obtenir des transformateurs de très faibles volumes et de très faibles poids avec un nombre de spires relativement faible.

C3. Limitation des pertes Joule de l'onduleur

Question 41

La puissance absorbée par le moteur est

$$\frac{P_m}{\eta_{MR}} = \sqrt{3} * U_0 I_1 F_P \text{ d'où } I_1 = \frac{P_m}{\sqrt{3} * U_0 * F_P * \eta_{MR}}$$

A.N. : $I_1=239,2$ A.

Question 42

Courant maxi majoré de 10% : $I_0 = 1,1 * \sqrt{2} * I_1$.

A.N. : $I_0=371$ A.

Question 43

Sur la courbe 4 du DT9, pour $I_c=371$ A, on lit $V_{ge,M}=8,8$ V.

Question 44

La tension V_{ge} évolue selon une expression du premier ordre $V_{ge}(t) = V_{gg} \left(1 - e^{-t/R_{g-on} C_{ies}} \right)$.

Ainsi pour $t=t_1$: $V_{ge,th} = V_{gg} \left(1 - e^{-\frac{t_1}{R_{g-on} C_{ies}}} \right)$ et pour $t=t_2$: $V_{ge,M} = V_{gg} \left(1 - e^{-\frac{t_2}{R_{g-on} C_{ies}}} \right)$.

En posant $\tau = R_{g-on} C_{ies}$, on obtient alors : $t_1 = -\tau * \ln \left(\frac{V_{gg} - V_{ge,th}}{V_{gg}} \right)$ et $t_2 = -\tau * \ln \left(\frac{V_{gg} - V_{ge,M}}{V_{gg}} \right)$.

D'où $t_{r,a} = t_2 - t_1 = \tau * \left[\ln \left(\frac{V_{gg}}{V_{gg} - V_{ge,M}} \right) - \ln \left(\frac{V_{gg}}{V_{gg} - V_{ge,th}} \right) \right]$.

Donc $t_{r,a} = \tau * \ln \left(\frac{V_{gg} - V_{ge,th}}{V_{gg} - V_{ge,M}} \right)$.

A.N. : Avec $t_{r,a}=150$ ns, $C_{ies}=65$ nF, $V_{gg}=15$ V, $V_{ge,th}=4,1$ V et $V_{ge,M}=8,8$ V ; on obtient : $R_{g-on}=4,09$ Ω .

Question 45

- Pour l'IGBT :

Sur le tracé $i_c=f(V_{CE})$ pour $V_{GE}=15$ V, on lit $V_{CE0}=0,8$ V.

r_{CE} correspond à l'inverse de la pente de la droite du tracé $i_c=f(V_{CE})$, $r_{CE} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta i_c} = \frac{2-0,8}{1200} = 1$ m Ω .

- Pour la diode :

Sur le tracé $i_F=f(V_F)$ pour $T_{vj}=150^\circ\text{C}$, on lit $V_{F0}=1,1$ V.

r_D correspond à l'inverse de la pente de la droite du tracé $i_F=f(V_F)$, $r_D = \frac{\Delta V_F}{\Delta i_F} = \frac{2,2-1,1}{1300} = 0,84$ m Ω .

Question 46

- D'après le graphe $E=f(R_G)$, pour $I_c=450$ A ; $R_{G-on}=2,4$ Ω ; $R_{G-OFF}=5,1$ Ω ;

on lit $E_{ON}=17,5$ mJ et $E_{OFF}=22$ mJ.

Pour $I_{K0} = \frac{\sqrt{2} * I_1}{\pi} = 107$ A, les pertes étant proportionnelles au courant, on obtient alors :

$E_{ON} = 17,5 * \frac{107}{450} = 4,16$ mJ et $E_{OFF} = 22 * \frac{107}{450} = 5,23$ mJ.

- D'après le graphe $E_{rec}=f(R_G)$, pour $I_c=375$ A ; $R_{G-OFF}=5,1$ Ω ;

on lit $E_{rec}=13,5$ mJ.

Pour $I_{K0}=107$ A, les pertes étant proportionnelles au courant, on obtient alors :

$E_{rec} = 13,5 * \frac{107}{375} = 3,85$ mJ.

Question 47

- Bilan des pertes par commutation dans le module :

Sur une période, la totalité des énergies perdues par commutation dans l'IGBT et la diode vaut :

$E_{\text{tot}} = E_{\text{ON}} + E_{\text{OFF}} + E_{\text{REC}} = 13,24 \text{ mJ}$ d'où $P_{\text{commut}} = E_{\text{tot}} * f_{\text{MLI}} = 0.01324 * 8000 = 105,9 \text{ W}$.
Soit dans le module : $P_1 = 6 * P_{\text{commut}} = 635,5 \text{ W}$.

- Bilan des pertes par conduction dans le module :

En appliquant les formules fournies, on calcule :

$P_{\text{cond}}(\text{IGBT}) = 60,5 \text{ W}$ et $P_{\text{cond}}(\text{diode}) = 18,9 \text{ W}$.

Donc dans le module : $P_2 = 6 * (60,5 + 18,9) = 476,4 \text{ W}$

- Bilan des pertes globales dans le module : $P = P_1 + P_2 = 1111,9 \text{ W}$.

Question 48

Le rendement de l'onduleur est $\eta = \frac{U_{\text{bat}} * I_1 - P}{U_{\text{bat}} * I_1} = \frac{95680 - 1111,9}{95680} = 98,8\%$.

Question 49

Il faut réaliser un compromis entre les surtensions liées aux inductances parasites car l'augmentation de R_G augmente les pertes.

Il faut que les conducteurs ohmiques soient les plus courts possibles d'où l'intégration de l'onduleur au plus près du moteur.

D. Commentaires du jury

Le sujet comporte trois parties indépendantes, dans lesquelles on retrouve des sous parties, elles aussi indépendantes. Les parties sont organisées avec une difficulté progressive du questionnement.

Une première remarque d'ordre générale peut être faite sur la qualité de la rédaction très inégale selon les 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. Trop de copies sont illisibles et comportent beaucoup de grossières ratures. Il est aussi recommandé de mettre en évidence les expressions littérales et les applications numériques associées. Les unités ne doivent pas être omises quand il y en a.

La première partie étudie le choix de la batterie de traction du véhicule et le dimensionnement du moteur synchrone.

Le jury déplore qu'un trop faible nombre de candidats soit capable de lire un modèle causal.

De même, il subsiste encore des oublis de prise en compte du rendement de la chaîne de transmission. Les relevés temporels de couple et vitesse sont quant à eux souvent bien exploités.

La seconde partie porte sur la conception de l'onduleur.

Les premières questions traitant des caractéristiques du bus continu ainsi que le tracé de la tension de sortie d'onduleur ont été correctement traitées par une large majorité de candidats.

Le calcul de la valeur moyenne de la tension a posé problème à beaucoup de candidats.

Le jury invite les prochains candidats à mieux connaître les règles de conduction des différents interrupteurs de puissance (uni/bidirectionnalité en courant/tension).

Le calcul du THD quand il a été traité est trop approximatif et manque trop souvent de rigueur.

La troisième partie aborde la conception de la commande rapprochée.

Les questions 23 et 24 traitent de la régulation de tension de l'alimentation des drivers. Trois calculs de fonctions de transfert sont demandés mais une trop faible proportion de candidats a abordé cette sous-partie. Le jury rappelle que l'automatique fait partie intégrante du programme de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur et qu'il est indispensable de maîtriser ce domaine.

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.

Les questions suivantes étudient la conception du transformateur avec plusieurs enroulements secondaires.

Le jury constate une importante méconnaissance des formules permettant de déterminer les énergies stockées ainsi que le parcours des lignes de champ dans le circuit magnétique.

Le sujet aborde ensuite le calcul des pertes dans les composants de l'onduleur.

Le calcul de la valeur efficace du courant dans le moteur n'a pas posé de problème.

Pour les questions 43 à 46 qui reposaient sur des recherches de valeurs ($V_{ge,M}$, V_{CE0} , r_{CE} , V_{F0} et r_D) dans les documents techniques, le jury s'étonne du trop faible nombre de réponses correctes.

Cependant, même sans avoir abordé convenablement ces dernières questions, les candidats ont bien saisi l'idée du compromis à réaliser pour le choix de la résistance R_G .

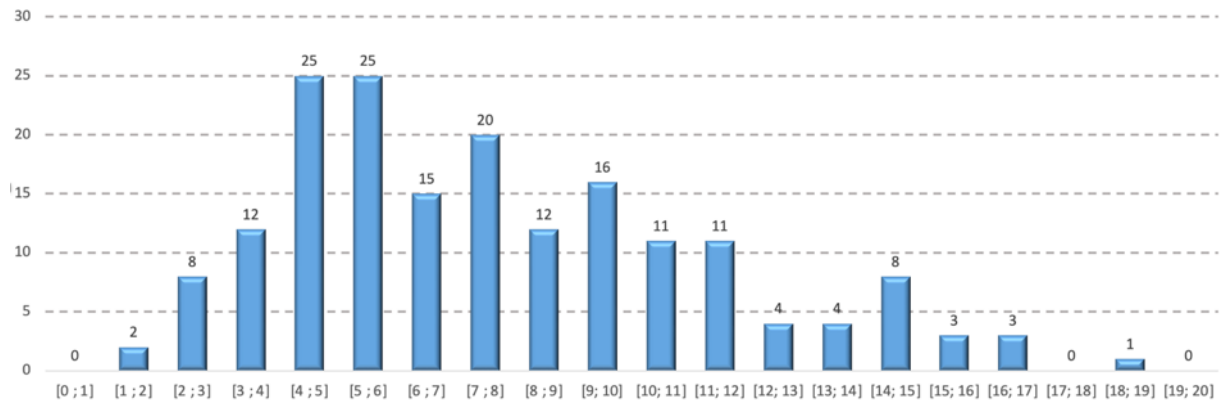
Les pistes abordées dans la dernière question de synthèse sont parfois originales et ne reprennent pas assez souvent les thématiques abordées dans les différentes parties du sujet.

Le jury encourage fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur.

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

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).
- 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 2023, 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 2023 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- 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.

• 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'approprier 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, modéleur, 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 ;
- corrélérer 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 trop souvent formatées. 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.

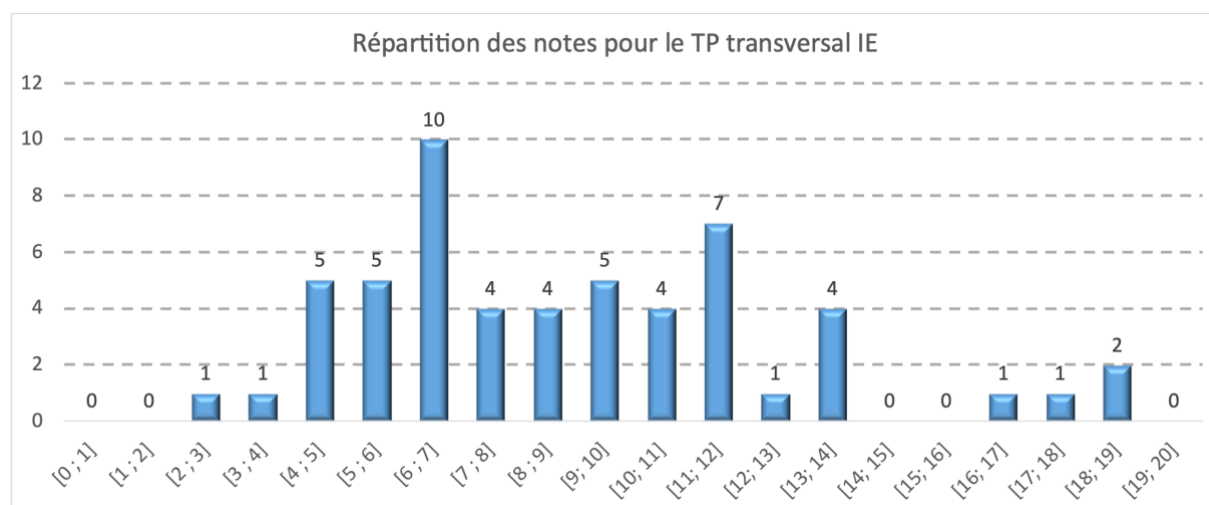
Le jury apprécie lorsque les diapositives sont numérotées lors de la présentation orale : cela lui permet de se référer plus facilement aux éléments de présentation. Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés ; elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se 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

La session 2023 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 08,97/20. L'écart-type est de 3,74. La meilleure note est 18,90. La plus faible est 02,40. La médiane est de 08,50.



D. Exemple de sujet

Robot porte-laparoscope

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
Titre de la séquence	Analyser, modéliser et résoudre pour vérifier les performances cinématiques des transmetteurs de mouvement.	Analyser, modéliser et résoudre pour valider le comportement temporel des Systèmes Linéaires Continus Invariants.
Niveau de formation visé	Première année PCSI – CPGE – Enseignement de Sciences Industrielles de l'Ingénieur	
Supports pédagogiques	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">- Portail automatisé ;- Robot cueilleur de fruits (MaxPid) ;- Simulateur de course ;- Pilote hydraulique de bateau ;- Robot haptique ;- Direction assistée électrique ;- Plateforme 6 axes ;- Robot porte-laparoscope ;- Télescope Astrolab.	
Effectif	Classe de 40 à 42 élèves, groupe à effectif réduit de 20-21 élèves.	
Volume horaire	4 heures hebdomadaires (1 h cours + 1 h TD + 2h TP).	

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

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

Production attendue

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

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

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

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

Le candidat dispose des éléments suivants :

- un robot porte-laparoscope Evolap ;
- les logiciels ServeurEvolap (déjà lancé à l'arrivée du candidat) et ClientEvolap installés sur l'ordinateur.

Le système présent dans le laboratoire est un robot porte-laparoscope utilisé pour remplacer un assistant lors des opérations chirurgicales. Un ensemble de capteurs équipe le robot et permet différentes acquisitions.

Un dossier ressources est fourni sous forme papier et numérique. Il comprend notamment :

- la définition du contexte d'utilisation du robot ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs,...) ;
- les protocoles expérimentaux pour les parties 1.2 et 1.3 de l'épreuve.

Un logiciel de pilotage et d'acquisition installé sur le poste informatique permet, entre autres :

- de réaliser des acquisitions et voir la zone de travail à l'aide de la caméra équipée en bout de laparoscope ;
- de piloter le robot selon deux axes en boucle ouverte ou asservis en vitesse ;
- de traiter des résultats expérimentaux.

Prendre connaissance de l'annexe « 1 - Principe de la laparoscopie » du dossier ressources.

Activité 1 Compléter le document réponse 1 permettant d'identifier les constituants du système.

Prendre connaissance du protocole expérimental n°1 fourni dans le dossier ressources.

Activité 2 Mettre en œuvre le protocole expérimental n°1. Conclure quant à la possibilité pour le chirurgien de mouvoir le laparoscope et les outils simultanément à l'aide des images fournies par la caméra.

Prendre connaissance de l'annexe « 2 - Chaînes fonctionnelles du porte-laparoscope » du dossier ressources.

Activité 3 Situer sur le système du laboratoire les différents constituants de la chaîne de puissance et d'information fournis sur le document réponse 2, et compléter les éléments manquants. Repérer sur le système réel les angles α , β , θ et φ .

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

Problématique technique et scientifique : Comment le robot porte-laparoscope permet-il d'assister le chirurgien durant une opération chirurgicale ?

Analyse et mise en œuvre du suivi automatique de l'instrument chirurgical

Analyse du mode de fonctionnement souhaité

Prendre connaissance de l'annexe « 3 - Diagramme d'états » dans le dossier ressources.

Activité 4 Analyser le diagramme d'états, et identifier le mode mis en œuvre dans le protocole n°1. Décrire qualitativement le comportement attendu en « Mode suivi ».

Mise en œuvre du suivi automatique de l'instrument chirurgical

En situation d'usage dans une salle d'opération, le mode de pilotage du porte-laparoscope est le mode suivi automatique. Ce mode consiste à positionner le laparoscope automatiquement par rapport à l'instrument chirurgical grâce au robot porte-laparoscope. L'objectif de cette partie est de proposer un algorithme pour ce suivi automatique de l'instrument chirurgical.

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

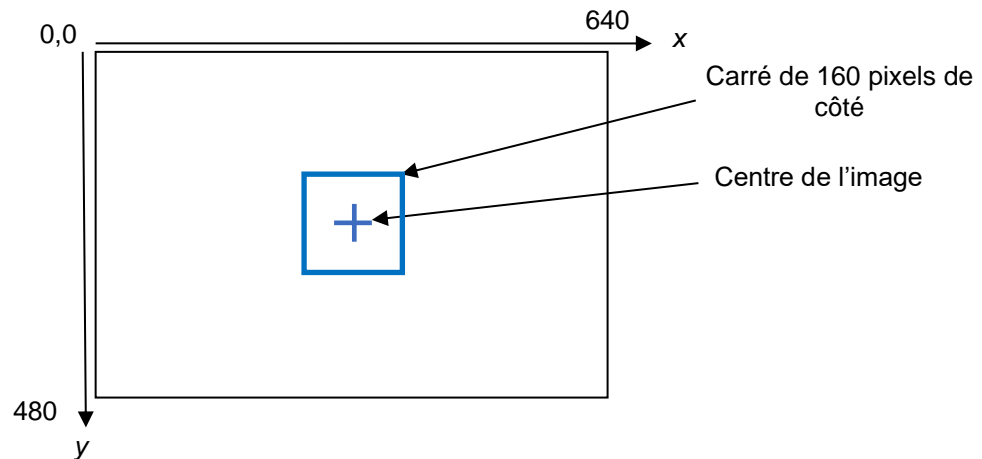
Activité 5 Mettre en œuvre le protocole expérimental n°2 et décrire le comportement observé.

La suite de cette partie consiste à réaliser le suivi automatique de l'instrument chirurgical, c'est-à-dire, le pilotage des 2 actionneurs en fonction de la position de l'instrument chirurgical dans l'image acquise

par la caméra. Les dimensions de l'image sont de 640x480 pixels (640 est la dimension de l'image selon l'horizontale et 480 est la dimension de l'image selon la verticale).

La logique de commande des actionneurs du robot porte-laparoscope retenue est décrite ci-dessous :

- le centre de la zone rouge de l'instrument chirurgical est repéré à partir de l'image fournie par la caméra ;
- lorsque celui-ci est en dehors d'un carré de 160 pixels de côté construit autour du centre de l'image, l'algorithme doit permettre de le ramener dans le carré.



La logique de commande est implantée dans la carte de commande et est programmée en langage Python, par le programme « programme_suivi.py » commenté en fin de dossier ressources.

La fonction « ma_fct » à compléter est contenue dans une boucle exécutée à intervalle de temps régulier. Lorsque le laparoscope doit être mis en mouvement, l'amplitude de la commande des mouvements est prise égale à 5.

Les noms des variables et fonctions à utiliser sont :

- `pos_g` est une liste à deux dimensions contenant les coordonnées du barycentre de la surface rouge détectée automatiquement par la caméra. Pour accéder à la coordonnée de ce point selon l'axe horizontal, la syntaxe à utiliser est `pos_g[0]` (et `pos_g[1]` pour la coordonnée selon l'axe vertical) ;
- `mvt_gd(vitesse, output)` est une fonction permettant de déplacer le centre de l'image captée par la caméra de gauche à droite à la vitesse désirée. Ainsi pour :
 - o déplacer le laparoscope vers la gauche, l'instruction est `mvt_gd(5, output)` ;
 - o déplacer le laparoscope vers la droite, l'instruction est `mvt_gd(-5, output)` ;
 - o l'arrêter, il faut utiliser une vitesse nulle en argument ;
- `mvt_hb(vitesse, output)` est une fonction permettant de déplacer le centre de l'image captée par la caméra de haut en bas à la vitesse désirée. Ainsi pour :
 - o déplacer le laparoscope vers le bas, l'instruction est `mvt_hb(5, output)` ;
 - o déplacer le laparoscope vers le haut, l'instruction est `mvt_hb(-5, output)` ;
 - o l'arrêter, il faut utiliser une vitesse nulle en argument.

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

Activité 6 Réaliser le protocole expérimental n°3 fourni dans le dossier ressources et valider expérimentalement le fonctionnement observé par rapport au comportement attendu.

À ce stade de l'étude, nous disposons d'une solution permettant de piloter le porte-laparoscope en mode suivi automatique de l'instrument chirurgical, à l'aide des fonctions `mvt_gd` et `mvt_hb`. Or, les actionneurs (motoréducteurs M1 et M2) ne permettent pas directement de piloter les mouvements haut-bas et gauche-droite.

L'objectif de la suite de cette partie consiste à déterminer la loi de commande des 2 motoréducteurs permettant de générer les mouvements haut-bas (variation de l'angle θ) et gauche-droite (variation de l'angle φ) du porte-laparoscope.

Analyse et mise en œuvre de la commande des actionneurs

Analyse de la commande des actionneurs

Prendre connaissance du protocole expérimental n°4 fourni dans le dossier ressources.

Activité 7 Mettre en œuvre le protocole expérimental n°4. Conclure en identifiant le ou les motoréducteurs à commander afin de faire évoluer l'angle θ , ainsi que le ou les actionneurs à commander pour faire varier l'angle φ . Valider les définitions des fonctions `mvt_gd` et `mvt_hb` du fichier Python « programme_suivi.py ».

Analyse et validation d'un modèle de simulation de la chaîne de puissance

Activité 8 Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap_Act8.slx ». Analyser le modèle complet en proposant une correspondance entre les éléments modélisés et le système réel.

Activité 9 Lancer des simulations avec des vitesses de consigne des motoréducteurs M1 et M2, telles que définies ci-dessous :

- consignes de vitesse angulaire des 2 motoréducteurs égales à 20 rad/s (à saisir dans le champ Final Value) ;
- consigne de vitesse angulaire du motoréducteur 2 égale à 20 rad/s et consigne de vitesse angulaire du motoréducteur 1 nulle.

Visualiser, pour chaque essai ci-dessus, les évolutions des angles θ et φ en fonction du temps. Conclure quant à la pertinence du modèle complet vis-à-vis de la commande identifiée à l'activité 7.

Activité 10 Analyser, à partir des simulations, le découplage entre les évolutions des grandeurs angulaires θ et φ vis-à-vis de la commande des motoréducteurs. Valider cette analyse par observation sur le système réel. Conclure sur les conséquences dans le cadre du suivi de l'outil chirurgical en cas de non-découplage.

Élaboration d'un modèle de simulation de la chaîne de puissance

Activité 11 Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap_Act11.slx ». Compléter le modèle associé au bloc « Différentiels » (n'utiliser qu'un seul des blocs mis à disposition), et valider le modèle.

À ce stade de l'étude, nous disposons de la loi de commande des motoréducteurs afin de mouvoir le laparoscope en mode suivi d'un instrument chirurgical. L'objectif de la fin de cette partie consiste à analyser la commande en vitesse des 2 motoréducteurs afin de s'assurer de la netteté des images fournies par la caméra située à l'extrémité du laparoscope.

Étude de la commande de vitesse des motoréducteurs

Une commande en boucle ouverte de chaque motoréducteur est envisagée dans un premier temps.

Analyse et mise en œuvre de la commande en boucle ouverte des motoréducteurs

Prendre connaissance du protocole expérimental n°5 fourni dans le dossier ressources.

Activité 12 Compléter le document réponse 3 en précisant le nom des composants manquants. Mettre en œuvre le protocole expérimental n°5, et commenter les résultats obtenus. Conclure quant à la possibilité d'utiliser une commande en boucle ouverte sur le robot porte-laparoscope.

Analyse et mise en œuvre de la commande en boucle fermée des motoréducteurs

Prendre connaissance du protocole expérimental n°6 fourni dans le dossier ressources.

Activité 13 Mettre en œuvre le protocole n°6. Conclure quant à la nécessité de mettre en œuvre un asservissement de vitesse angulaire de chaque motoréducteur.

Activité 14 Ouvrir dans Matlab/Simulink le modèle « Evolap_Act8.slx » et double cliquer sur le bloc « Moteur M1 asservi en vitesse angulaire ». Analyser et décrire les différents blocs utilisés dans l'asservissement de vitesse angulaire. Réaliser une simulation sur 1s et observer l'évolution de la position angulaire des motoréducteurs en double cliquant sur le scope. Après avoir effectué une prise d'origine, réaliser l'expérience de l'activité 13 sur le robot porte-laparoscope, et comparer les performances en vue de valider le modèle de simulation.

Synthèse

Activité 15 À la lumière de toutes les activités réalisées dans ce TP, répondre à la problématique technique et scientifique.

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.

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 parmi les thèmes retenus pour la session 2023.

- 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 systèmes numériques (option électronique et communication) ;
- BTS électrotechnique ;
- BUT génie électrique 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 2023 sont :

- l'échantillonnage des signaux et le traitement numérique ;
- le filtrage et la modulation numérique ;
- la transmission de données sans fil ;
- la modulation et démodulation analogique ;
- 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 de 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, les analyses et les conclusions qu'il a pu formuler en cohérence avec la séquence pédagogique qu'il a construite. Le candidat doit également détailler le contenu d'une des séances d'enseignement.

Le jury a constaté, pour cette session 2023, une bonne utilisation de ce temps de présentation de la part de nombreux candidats. Cependant, 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. 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.

2. 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 « Systèmes Numériques » option « Électronique et Communication » et « Électrotechnique » ;
- du BUT « Génie Électrique et Informatique Industrielle » (GEII).

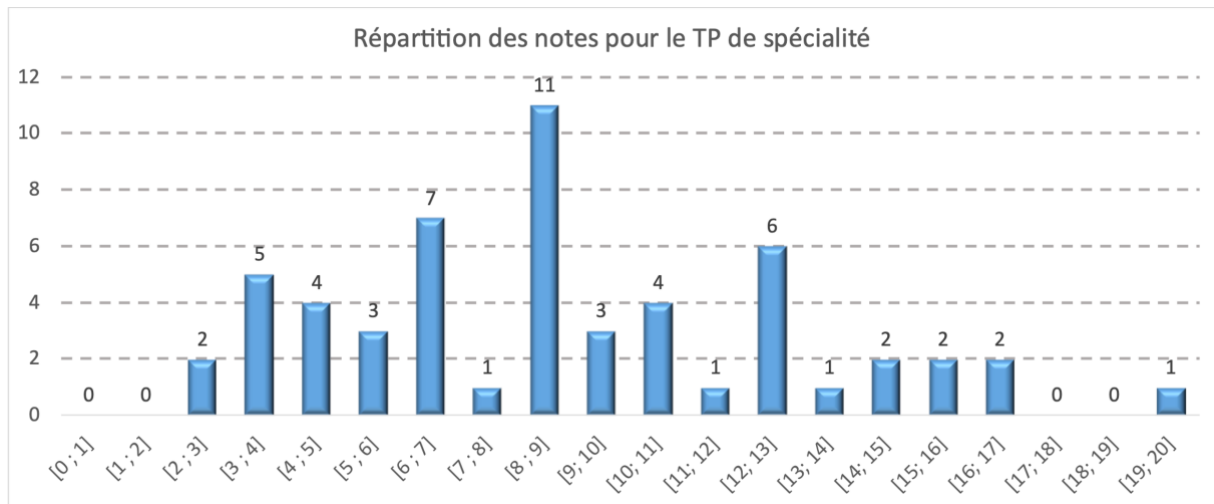
Le jury s'étonne de la méconnaissance de certains candidats des contenus et des enjeux des diplômes ou filière en lien avec le génie électrique cités ci-dessus. Il ne s'agit pas de connaître par cœur l'intégralité des programmes mais l'accompagnement et le suivi des élèves ou étudiants dans leur parcours 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

55 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 8,9/20. La meilleure note est de 19,2/20 et la plus faible de 2,1/20.



D. Exemple de sujet

Système de détection d'objets conducteurs et non-conducteurs *Détection synchrone*



Objectif pédagogique et niveau de classe

La séquence de formation sera conçue et organisée pour être proposée à des étudiants d'une classe de **BUT Génie Electrique & Informatique Industrielle**.

L'objectif pédagogique de la séquence attendue consiste à utiliser le support comme point de départ pour développer une SAÉ 3.ESE.01 : Implantation d'une chaîne d'acquisition ou de restitution sur un système électronique à la page 89 du Programme National du BUT GEII.

Système de détection d'objets conducteurs et non-conducteurs

Les systèmes de détection d'objets conducteurs (métaux par exemples) de type « poêle à frire » sont développés depuis plus d'un siècle. Ils utilisent des sources et des capteurs de champs magnétiques. Le système de détection impose localement un champ magnétique. Les modifications de ce champ, mesurées par un capteur magnétique, indiquent la présence d'objets conducteurs. Ce principe de détection qui repose sur le phénomène d'induction magnétique ne permet pas la détection d'objets non-conducteurs.

Pour les objets non-conducteurs, cas du système étudié, la détection s'appuie sur le champ électrique. Le principe de détection, illustré en Figure 1, reste le même que celui des systèmes magnétiques avec la génération d'un champ connu par une source et la mesure du champ par un/des capteur(s). La présence d'un objet dans la zone de détection perturbe le champ connu imposé. La perturbation est une signature de la présence de l'objet et peut donner des indications sur ses dimensions ou sa composition. La détection par champ électrique s'applique également aux objets conducteurs.

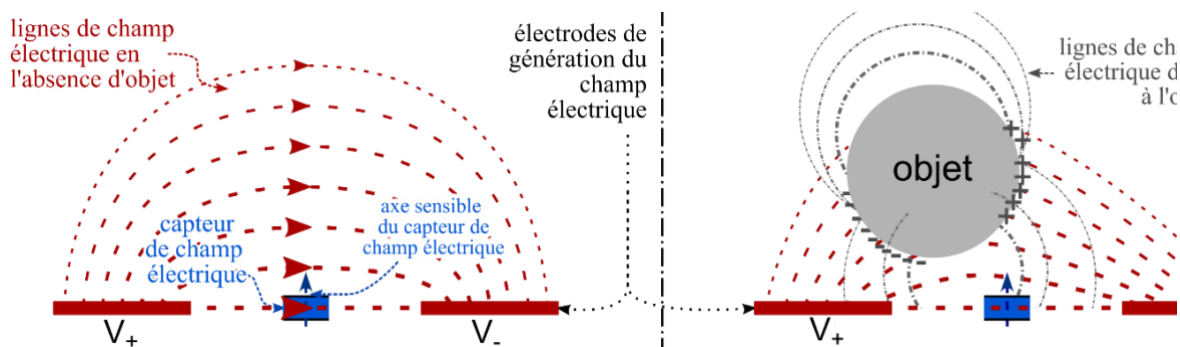


Figure 1: Principe de détection. À gauche, champ électrique généré sans objet. La symétrie du système implique une composante de champ nulle selon l'axe sensible du capteur. À droite, le champ imposé induit des déplacements de charges ou des polarisations sur la surface d'un objet présent dans le champ. Ces déplacements de charges ou polarisations créent un champ électrique perturbateur dont la composante verticale, dans l'axe sensible du capteur, peut être mesurée.

Le système de détection par champ électrique peut trouver des applications pour le contrôle non-destructif sur des matériaux non-conducteurs (matériaux composites de l'aéronautique par exemple) ou pour la détection d'objets non-conducteurs enfouis dans le sol (par exemple mines anti-personnelles ou déchets plastiques).

Prise en main de la source et du capteur de champ électrique

La Figure 2 présente le matériel relatif à la mesure et à la production du champ électrique.



Figure 2 : (À gauche) Sonde capteur de champ électrique et conditionneur associé. (À droite) Dispositif pour la caractérisation de la sonde capteur de champ électrique. Les armatures conductrices placées parallèlement dans le support forment un condensateur d'écart réglable. Les armatures sont des disques de diamètre 20 cm et d'épaisseur 2 mm. La polarisation des armatures crée un champ électrique dépendant de leurs positions relatives.

Caractérisation de la sonde capteur de champ électrique

La Figure 3 représente une configuration pour la caractérisation de la sonde capteur de champ électrique. Une différence de potentiel sinusoïdale est appliquée aux deux armatures conductrices de caractérisation. La sonde, placée entre les armatures, est reliée au conditionneur et le signal de sortie du conditionneur est observé et mesuré.

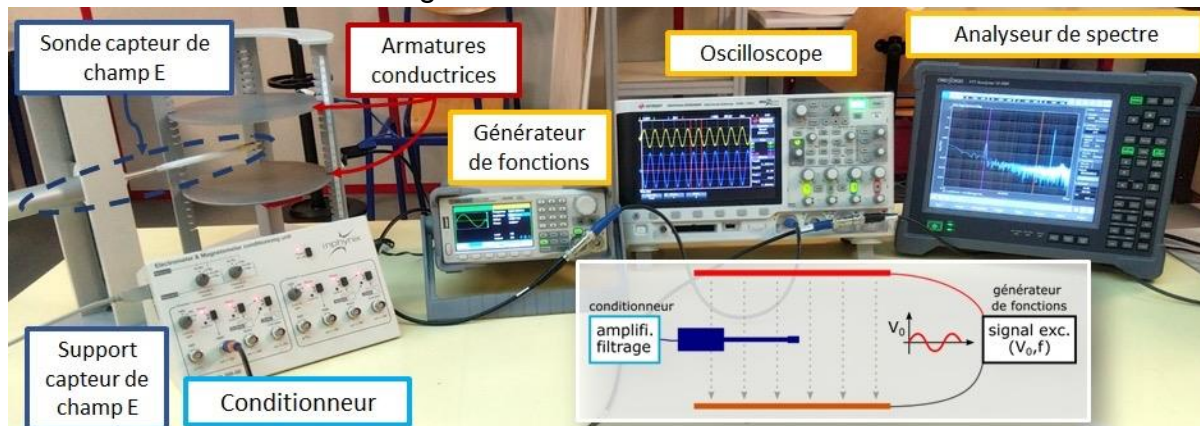


Figure 3 : Illustration du montage pour la caractérisation du capteur. La tête de la sonde capteur de champ électrique est placée entre les armatures conductrices.

La Figure 4 détaille la face avant du conditionneur et la configuration pour une mesure de champ électrique. Le conditionneur a été développé pour une sonde capteur de champ électrique (*electrometer*) et une sonde capteur de champ magnétique (*magnetometer*). Le conditionneur est configuré en fonction du type de sonde utilisé, de la source (*Source*) et de la voie d'observation (*Channel*). Chaque voie peut être une sonde soit de champ électrique, soit de champ magnétique. Ici, seule une sonde capteur de champ électrique est utilisée.

Pour la caractérisation du capteur, le signal du conditionneur est observé en direct. Des filtres sont intégrés au conditionneur pour rejeter les perturbations secteur et/ou limiter la bande passante.

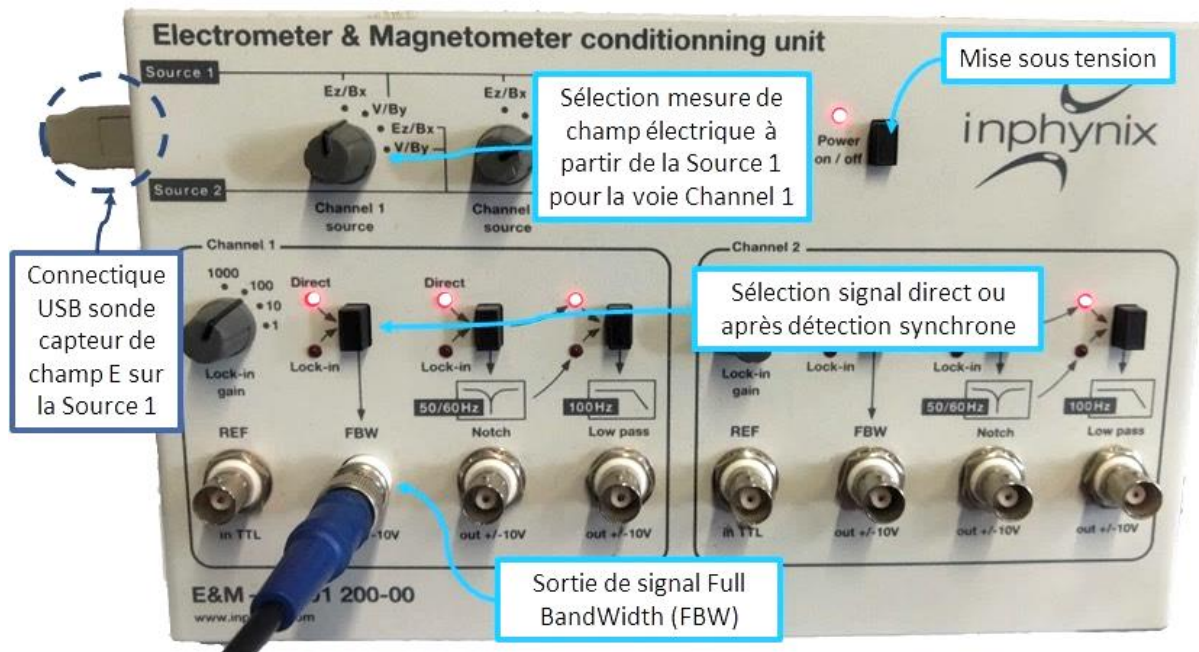


Figure 4 : Face avant du conditionneur pour le capteur sonde de champ électrique. La sonde de champ électrique est connectée au port USB latéral du haut (Source 1). La mesure de champ électrique E_z à partir de la Source 1 est sélectionnée par le bouton rotatif au-dessus de l'inscription Channel 1 source. Les signaux issus de la sonde après conditionnement sont accessibles dans la partie gauche (Channel 1) de la face avant.

Activité 1 Caractérisation du capteur : transfert

La Figure 5 représente pour une configuration donnée le potentiel et le champ électrique entre les armatures, résultats d'une simulation par éléments finis avec le logiciel FEMM.

- Pour une distance de 10 cm entre les armatures, **évaluer** les tensions à appliquer entre les armatures pour créer des champs d'amplitudes 10, 50, 100 et 200 $V_{pp}.m^{-1}$.
- En utilisant la voie 1 (*Output 1*) du générateur de fonctions SIGLENT, **générer** des champs électriques entre 10 et 200 $V_{pp}.m^{-1}$ à une fréquence de 1 kHz et en plaçant le capteur de champ électrique entre les armatures, **évaluer** le transfert (gain) du capteur en $V_{pp}/(V_{pp}.m^{-1})$.
- **Indiquer** si le placement latéral et en hauteur du capteur de champ électrique a une importance.

Activité 2 Caractérisation du capteur : bande passante

En plaçant le capteur de champ électrique à mi-distance entre les armatures métalliques, pour une amplitude de champ électrique de 100 $V.m^{-1}$ et balayer en fréquence pour **déterminer** la bande passante haute de la mesure de champ électrique.

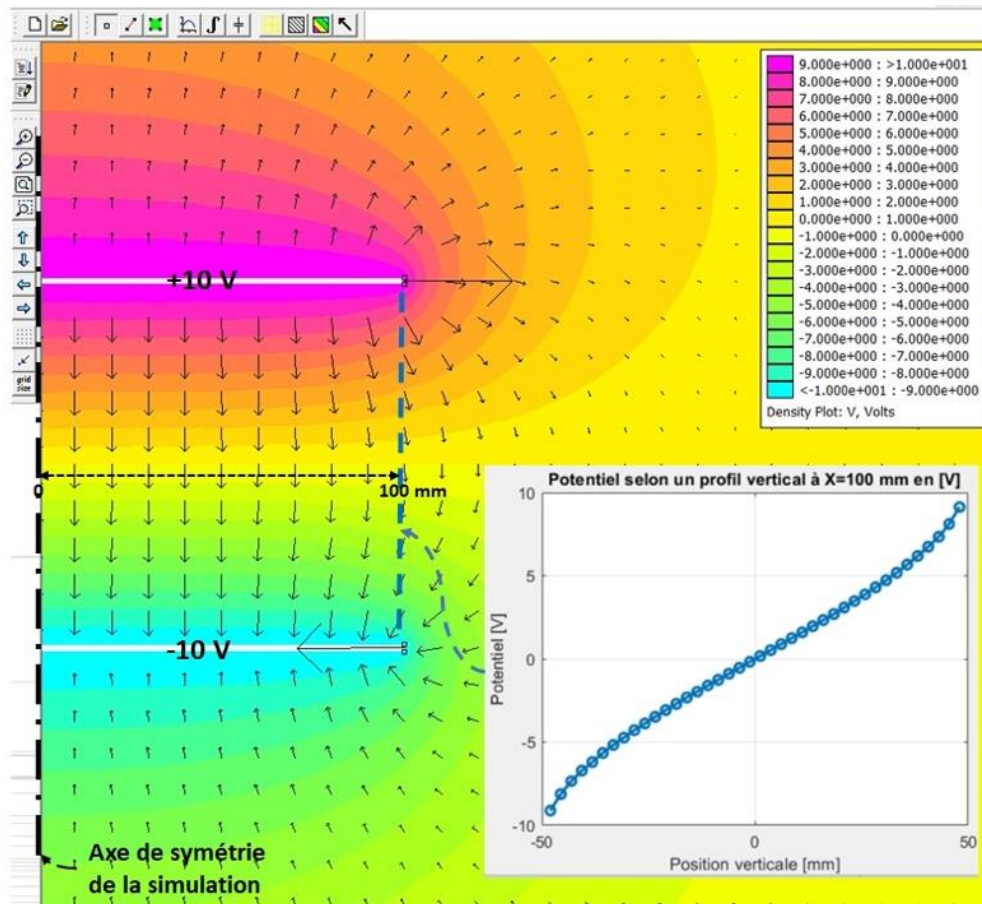


Figure 5: Simulation axisymétrique par éléments finis (logiciel FEMM). Répartition du potentiel, équipotentielles et lignes de champs (symbolisées par des flèches) lorsque les armatures espacées de 100 mm sont polarisées en +/- 10 V. (Insert) Profil du potentiel entre les armatures au bord des disques (à 100 mm de l'axe central).

Activité 3 Caractérisation du capteur : densité spectrale de bruit

En utilisant l'analyseur de spectre OnoSokki :

- **visualiser** la densité spectrale de bruit en connectant un bouchon 50 Ohm sur un câble coaxial à l'entrée CH1 de l'analyseur de spectre. **Commenter** l'unité $V/\sqrt{\text{Hz}}$.
- **visualiser** la densité spectrale de bruit en connectant la sortie Full BandWidth (FBW) du conditionneur. **Identifier et commenter** les différentes composantes spectrales. **Relever** le niveau de la densité spectrale dans la zone de bruit blanc.

La Figure 6 représente la face avant de l'analyseur de spectre OnoSokki.

L'offset de signal pouvant être important, **choisir** un couplage AC pour le signal.

[Home]>[Input]>[Input Cond]> AC coupling

- **Choisir** une mesure de puissance spectrale (Power Spectrum)

[Home]>[Measurement]>[Data Type]> Power Spectrum

Si besoin, pour récupérer des données sauveées :

[Home]>[Memory]>[Data]>[Select]>[Copy Selected Data] > Destination media USB[:H]

Pour gérer les échelles X, Y :

[Home]>[Display]

- **Observer et commenter** les spectres des signaux en sorties Notch et Low Pass.



Figure 6 : Face avant de l'analyseur de spectre OnoSokki.

Phase 1 - Partie 2 – Analyse du système (durée ≈ 2h00)

Les candidats doivent suivre le questionnement proposé afin de répondre à la problématique proposée dans le TP.

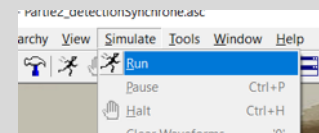
Activité 4 Simulation du principe de la détection synchrone du conditionneur

Le fichier *Partie2_Q4_DetectionSynchrone.asc* propose un modèle de détection synchrone pour le simulateur LTSpice. La Figure 7 présente le schéma modèle de la détection synchrone.

Le signal de sortie du capteur sonde de champ électrique est sortieSondeE. Il dépend du champ électrique, champE, et de la présence d'objet à détecter, modélisée ici par une forme sinusoïdale.

Les signaux en phase, P, et en quadrature, Q, sont multipliés au signal issu du capteur pour produire respectivement les voies en phase, voieP, et en quadrature, voieQ. Les signaux des deux voies passent ensuite dans des filtres passe-bas.

- **Simuler** le fichier (Simulate→Run).



- **Exprimer** les signaux voieP et voieQ.

Notations : $ChampE(t) = A \cdot \sin(2\pi f_p t)$, $modObjet(t) = M \cdot \sin(2\pi f_M t)$, $P(t) = \sin(2\pi f_p t)$, $Q(t) = \cos(2\pi f_p t)$.

- **Justifier** le choix de la fréquence de coupure pour les filtres passe-bas de sortie.

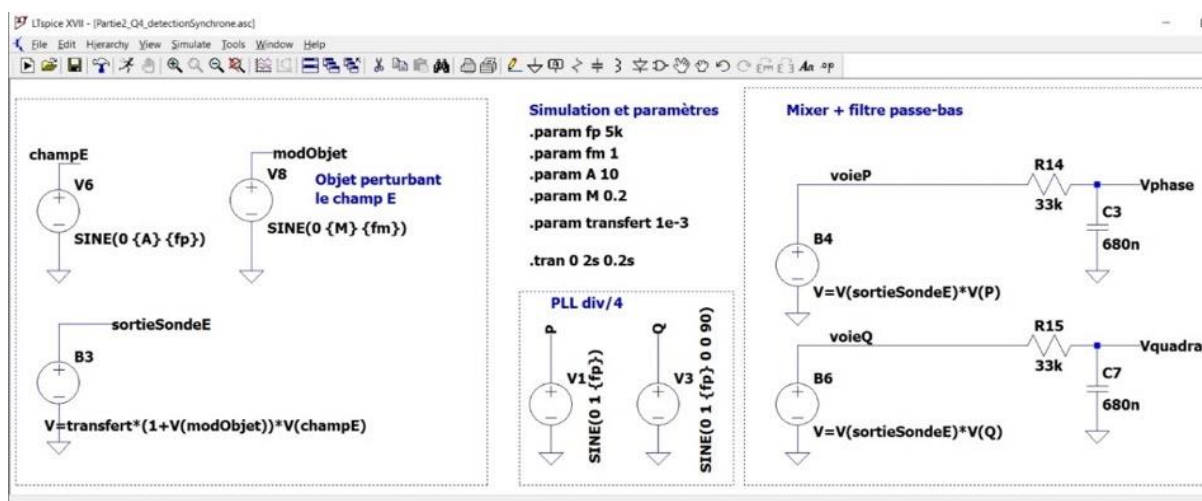


Figure 7 : Schéma pour la simulation de la détection synchrone.

Activité 5

Mise en œuvre de la détection synchrone du conditionneur

Retour sur la partie expérimentale avec le conditionneur et la sonde de champ E.

- Avec la voie 1 (*Output 1*) du générateur de fonction SIGLENT, **générer** un signal pour créer un champ électrique de 100 V.m^{-1} de fréquence 5 kHz entre les armatures.
- Avec la voie 2 (*Output 2*) du générateur de fonction SIGLENT, **générer** un signal de référence TTL (signal carré 0-5V) en phase avec le signal de la voie 1. Vérifier le déphasage à l'oscilloscope.
- **Connecter** le signal de référence *TTL* sur l'entrée *REF in TTL* du conditionneur.
- **Observer** qualitativement le bon fonctionnement de la détection synchrone (*Lock-in*) en actionnant le bouton poussoir *Lock-in* pour *Channel 1* avec un gain de 100 (bouton rotatif *Lock-in gain* à 100).

Remarque : le générateur de fonctions SIGLENT permet de coupler les paramètres des signaux des deux sorties (fréquence et/ou amplitude et/ou phase). Bouton Utility > CH Copy Coupling > Channel Coupling : FreqCoup par exemple.

Pour l'observation qualitative :

- **Tourner** progressivement l'axe de la sonde.
- **Indiquer** quelle fonction décrit l'amplitude du signal de sortie de la détection synchrone en fonction de l'angle.
- **Moduler** l'amplitude du signal de champ électrique (voie 1).

Touche Mod du générateur → Type AM, Source Internal, AM Depth 50%, Shape Sine, AM Freq 1 Hz

- **Indiquer** quelle est la forme du signal de sortie de la détection synchrone.

Activité 6

Simulation de la détection synchrone

- **Poursuivre** l'illustration du principe de la détection synchrone à travers des simulations mettant en évidence le rejet des perturbations (50 Hz ou dans la gamme 30-100 kHz) ainsi que des dérives lentes.

Dans le fichier de simulation LTSpice fourni (*Fichier Partie2_Q6_DetectionSynchrone.asc*), 6 tensions (V(champE) : champ électrique d'excitation, V(modObjet) : signal modélisation un objet s'approchant du détecteur, et V(deriveLente), V(perturbation50Hz), V(bruitBlanc), V(perturbation30kHz))

contribuent à créer un signal composite modélisant une sortie possible pour la sonde de champ électrique (V(sortieSondeE)).

Pour observer des signaux sur des échelles d'amplitudes différentes : click droit souris + Add Plot Pane puis Add Trace.

- **Indiquer** comment sont traités les différentes composantes du signal sortieSondeE par la détection synchrone.
- **Indiquer** quelles peuvent être les sources de perturbations dans la gamme 30-100 kHz.
- **Indiquer** quels phénomènes peuvent être à l'origine des dérives lentes.
- À travers les simulations, **mettre** en évidence le compromis lié au filtre passe-bas de sortie.

Activité 7 Détection synchrone, temps de réponse

Revenir sur la partie expérimentale avec le conditionneur et la sonde de champ E.

- **Relever** la constante de temps de la détection synchrone (système équivalent à un premier ordre).

Pour un filtre du 1^{er} ordre, la bande équivalente de bruit (Noise Equivalent Power BandWidth) s'exprime à partir de la fréquence de coupure, f_c , comme $f_{NEP\ BW} = \frac{\pi}{2} \cdot f_c$.

- **Evaluer** la résolution de mesure en champ (mesure correspondant à un rapport signal à bruit de 1).

Activité 8 Numérisation du signal

Le signal en sortie de la détection synchrone est analogique. Pour pouvoir l'enregistrer et le traiter sur ordinateur une étape de conversion analogique numérique est nécessaire.

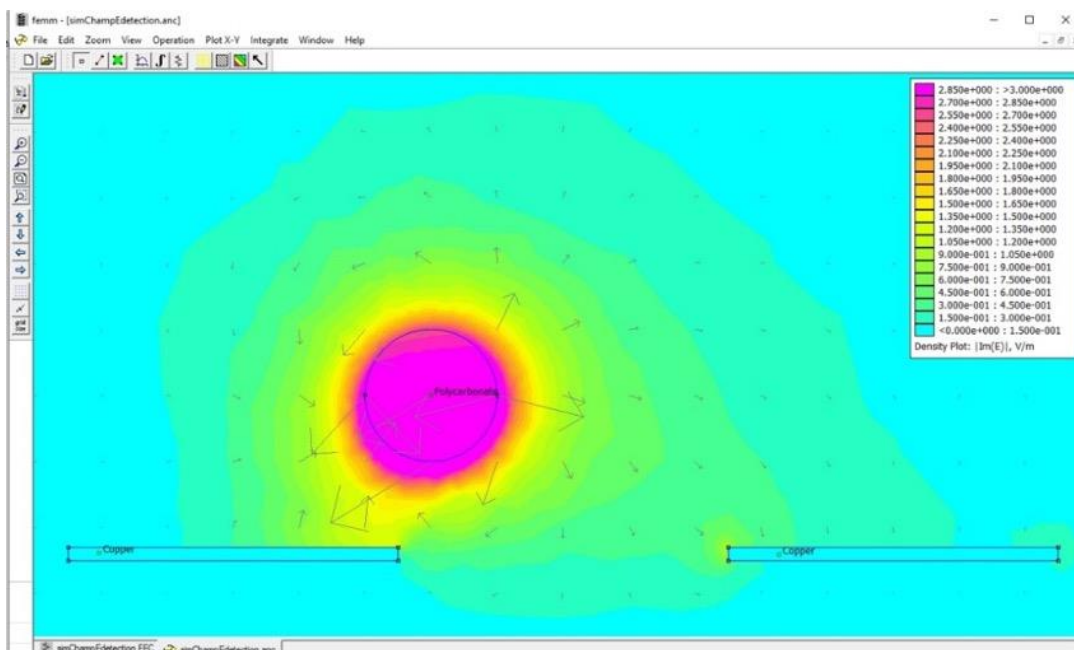
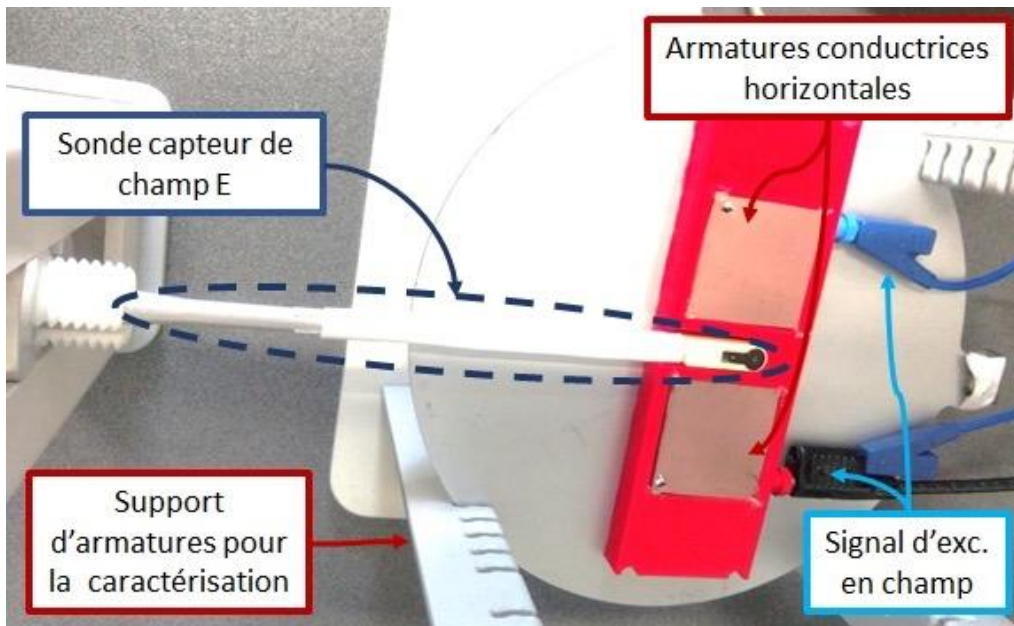
- **Proposer** une fréquence d'échantillonnage adaptée pour la conversion analogique numérique du signal en sortie de détection synchrone.
- **Proposer** une résolution de convertisseur analogique numérique travaillant sur la gamme [-10 V ;10 V] qui permettrait de ne pas perdre en résolution.

Activité 9 Détection d'objets

Le support illustré en Figure 8 permet d'effectuer des tests de détection d'objet à proximité.

- En utilisant la sonde de champ E et le conditionneur, **relever** l'évolution du signal lors de déplacements d'objet conducteurs ou non-conducteurs à proximité du support de test.
- **Observer** les cas en phase et en quadrature.

La Figure 9 illustre un résultat de simulation dans le cas d'un objet non-conducteur en polymère à proximité des armatures conductrices de création du champ électrique. La présence d'un objet non-conducteur induit une composante de champ électrique en quadrature.



Phase 1 - Partie 3 – Exploitation pédagogique (durée ≈ 1h30)

Pour cette troisième partie, le but est de concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique.

La séquence de formation sera conçue et organisée pour être proposée à des étudiants d'une classe de **BUT Génie Electrique & Informatique Industrielle**.

L'objectif pédagogique de la séquence attendue consiste à utiliser le support comme point de départ pour développer une **SAÉ 3.ESE.01** : Implantation d'une chaîne d'acquisition ou de restitution sur un système électronique à la **page 89** du Programme National du BUT GEII.

Cette séquence prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable et au cours des activités pratiques.

Il est demandé, au cours de la présentation orale, d'explicitier la démarche méthodologique, de mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui ont permis de construire la séquence de formation, de décrire et situer la séquence élaborée.

L'exposé devant le jury a une durée maximale de 30 minutes. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

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. Commentaires du jury

Analyse globale des résultats

Trop de candidats ont présenté des dossiers manquant de consistance et/ou éloignée 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.

Le jury souhaite rappeler aux candidats les principales branches de l'ingénierie électrique :

- l'électronique avec l'électronique analogique, l'électronique numérique, la microélectronique, l'électronique des télécommunications, l'électronique embarquée, l'instrumentation électronique etc.
- le domaine de l'énergie avec la génération d'énergie, les réseaux électriques, l'économie de l'énergie, le stockage de l'énergie, l'électrification des transports, l'énergie et efficacité énergétique des bâtiments, etc.
- l'électrotechnique avec les machines électriques, l'électromagnétisme, l'électronique de puissance, le contrôle et automatisation, les systèmes de conversion d'énergie, etc.
- les systèmes de télécommunication avec les réseaux de télécommunications, la transmission de données, les réseaux sans fil, les réseaux optiques, les réseaux de données, etc.

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. 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. 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.

Conclusions

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.

C. Résultats

55 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 8,9/20. La meilleure note est de 19,5/20

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

