



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2025

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Ingénierie électrique

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

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	17
E. Résultats	18
Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	19
A. Présentation de l'épreuve	19
B. Sujet	19
C. Éléments de correction.....	20
C. Commentaires du jury	35
D. Résultats	36
Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation ..	37
A. Présentation de l'épreuve.....	37
B. Sujet	37
C. Éléments de correction.....	38
D. Commentaires du jury	47
E. Résultats	48
Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.....	49
A. Présentation de l'épreuve	49
B. Commentaires du jury	52
C. Résultats	56
D. Exemple de sujet.....	57
Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique.....	65
A. Présentation de l'épreuve	65
B. Commentaires du jury	67
C. Résultats	69
D. Exemple de sujet.....	71
Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel	77
A. Présentation de l'épreuve	77
B. Commentaires du jury	77
C. Résultats	79

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.

Pour les épreuves d'admission pratiques, l'accès à Internet était autorisé afin de mettre les candidats dans les conditions du métier qu'ils envisagent d'exercer. Mais cela ne doit pas masquer le fait que la réflexion, la cohérence, l'appréciation du niveau des élèves et la précision pédagogique dans les explications sont des qualités précieuses pour un futur enseignant.

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 2025 du concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur (SII), option ingénierie électrique, a permis de recruter 15 candidats sur les 22 postes proposés. Le jury a constaté que de nombreux candidats admissibles ne se sont pas présentés aux épreuves orales. Par ailleurs, beaucoup de ceux qui ont participé à ces épreuves n'étaient pas correctement préparés aux exigences du concours. Cette situation est d'autant plus regrettable que les besoins en enseignants dans les établissements scolaires sont importants.

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

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

Remerciements

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

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

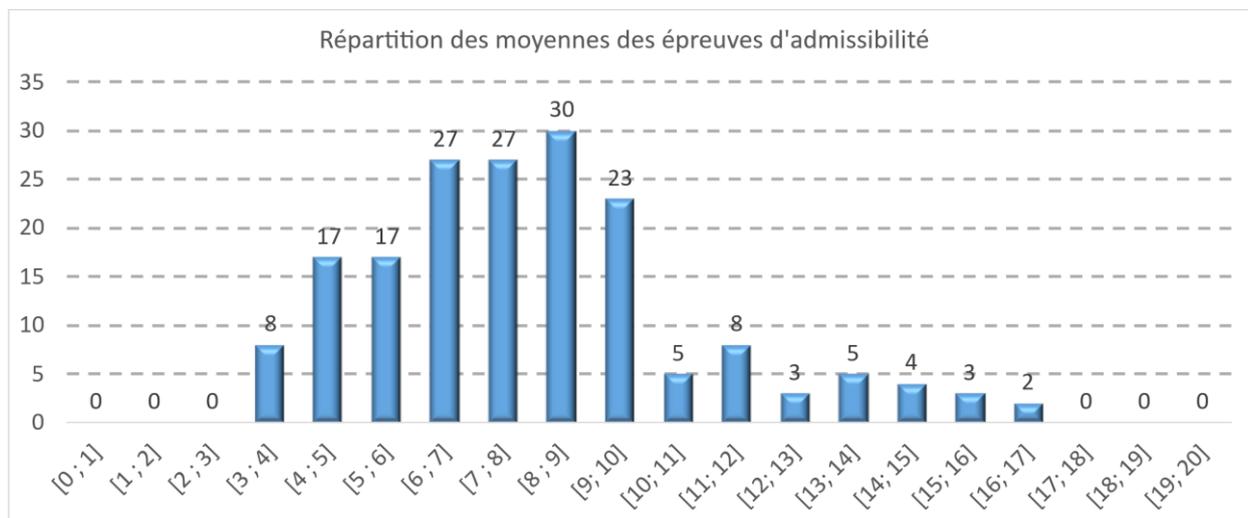
Les membres de jury ayant contribué à la rédaction de ce rapport ainsi que les concepteurs des sujets, tant pour les épreuves d'admissibilité que pour les épreuves d'admission, sont également tout particulièrement remerciés.

Résultats statistiques

Session	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents à toutes les épreuves d'admission	Admis
2022	408	24	150	60	51	24
2023	390	29	179	70	55	25
2024	491	25	145	64	51	18
2025	391	22	129	52	34	15

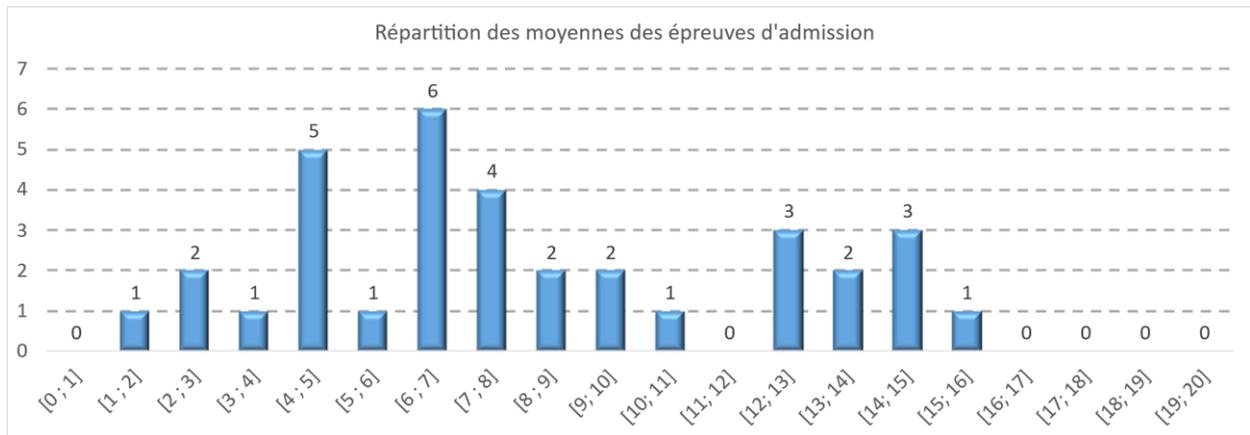
Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admissibilité à la session 2025

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	17
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	8,2
Moyenne des candidats présents	8,06
Moyenne des candidats admissibles	10,8
Écart-type des candidats présents	2,80
Écart-type des candidats admissibles	2,59



Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admission à la session 2025

Moyenne obtenue par le premier candidat admis	15,7
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	8,9
Moyenne des candidats présents	9,14
Moyenne des candidats admis	12,42
Écart-type des candidats présents	3,49
Écart-type des candidats admis	2,47



Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

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

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

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/16117/download>

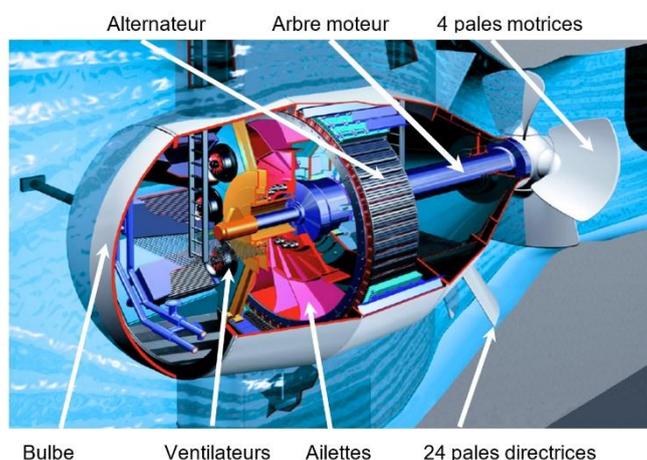
Cette épreuve porte sur la centrale hydroélectrique de Pierre-Bénite, située aux portes de Lyon, qui joue un rôle primordial pour la jonction du Rhône avec la Saône.

Elle est équipée de quatre groupes hydroélectriques à turbines installés chacun dans une conduite hydraulique, dont le débit d'eau peut être modifié en ouvrant plus ou moins la section de passage de la conduite, à l'aide de vingt-quatre pales orientables nommées « pales directrices », disposées autour de la turbine.



La CNR, qui gère les dix-huit centrales hydroélectriques du Rhône, doit assurer en temps réel un équilibre entre la puissance électrique qu'elle produit et la puissance électrique consommée par ses clients, reliés au réseau électrique européen.

Dans ce contexte, les ingénieurs de la CNR ont choisi de réguler la vitesse de rotation des turbines des groupes hydroélectriques, qui sont en prise directe avec leurs alternateurs, afin de réguler la fréquence de ces derniers à celle du réseau (50 Hz). Pour que cette régulation se fasse avec un rendement optimal, ils utilisent deux systèmes asservis qui modifient la vitesse de rotation de la turbine : l'asservissement de la position angulaire des pales directrices et l'asservissement de la position angulaire des pales motrices.



C. Éléments de correction

Étude de la production d'Électricité

Question 1. Afin de limiter les variations de fréquence sur le réseau les producteurs d'électricité doivent disposer de réserves de puissances.

La réserve primaire qui permet rapidement de stabiliser la fréquence en cas de dérive.

La réserve secondaire qui permet de restaurer la fréquence à sa valeur nominale et de reconstituer les réserves primaires.

La réserve tertiaire qui permet d'ajuster les consignes de production.

La limite est la valeur de la puissance de réserve disponible.

Question 2. $\Delta f = 200 \text{ mHz}$ $K_{\min} = 5 \text{ MW.Hz}^{-1}$ $P_C = P_n = 20 \text{ MW}$
 $f_n = 50 \text{ Hz}$ $f = 50,2 \text{ Hz}$ $P = 20 - 5 \times (50,2 - 50) = 19 \text{ MW}$

Question 3. Une baisse de soutirage électrique par rapport à l'injection provoque une augmentation de la fréquence. Une hausse du soutirage électrique par rapport à l'injection diminution de la fréquence.

Question 4. $s = \frac{(50,2-50)/50}{(19-20)/20} = -0,08 = -8\%$, le statisme est bien compris entre 3% et 12%.

Question 5. Avant incident : $P_{\text{prod}} = 392,4 \text{ MW}$ Après incident : pertes de 72 MW
 Variation de fréquence : $\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{72}{392,4} \cdot 50 = -0,734 \text{ Hz}$ soit $f_1 = 49,266 \text{ Hz}$

Question 6. Après réglage primaire, les groupes sont à 100% : $P_{2\text{prod}} = 352 \text{ MW}$
 $\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{(392,4-352)}{392,4} \cdot 50 = -0,412 \text{ Hz}$ soit $f_2 = 49,588 \text{ Hz}$

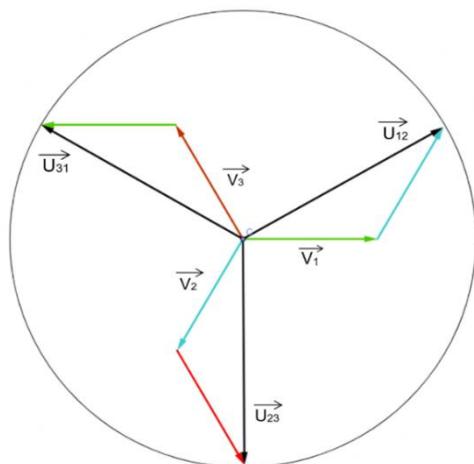
Le réglage primaire permet de ramener la fréquence des signaux électriques dans la plage de fréquence admissible par la norme soit entre $49,5 \text{ Hz} < f < 50,5 \text{ Hz}$

Question 7. Le risque d'effondrement de la fréquence du réseau européen est faible car un incident majeur de 3000MW de pertes de production entraine une faible baisse de fréquence.

L'intermittence de certaines énergies renouvelables, comme le solaire photovoltaïque et l'éolien, a tendance à provoquer des variations aléatoires de puissance.

La croissance de ces énergies peut impacter la stabilité en fréquence du réseau en provoquant des variations significatives et aléatoires de la fréquence.

Question 8.



$$V_1(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$V_2(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi/3)$$

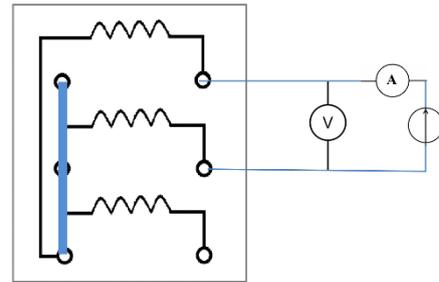
$$V_3(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 4\pi/3) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t + 2\pi/3)$$

$$U_{12}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/6)$$

$$U_{23}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - \pi/2)$$

$$U_{31}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - 7\pi/6) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + 5\pi/6)$$

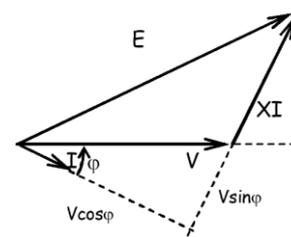
Question 9. Rentre phases = 24 mΩ R = 12 mΩ



Question 10. $Z = E_0 / I_{CC} = 2000/1800 = 1,1 \Omega$ $X = \sqrt{1,1^2 - 0,012^2} = 1,099 \Omega \sim 1,1 \Omega$

Question 11. $E = \sqrt{(V + XI \cdot \sin\phi)^2 + (XI \cdot \cos\phi)^2}$

La machine synchrone est supposée à son point de fonctionnement nominale.



Question 12. $\text{fp} = 0,99$ $Q_N = 2850 \text{ kVAR}$ $I_N = 3\,332 \text{ A} = 3,33 \text{ kA}$

Question 13. $\cos\phi=0,99$ $V = 2\,021 \text{ V}$ $E = 4\,427,6 \text{ V}$ $I_e = 664 \text{ A}$

Question 14. $P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$ et $E \cdot \sin \delta = XI \cos\phi$ $\delta = \arcsin \frac{P \cdot X}{3 \cdot V \cdot E} = 55^\circ < 90^\circ$ stable

Question 15. $\Omega_s = f / p = 83,3 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_{90\%} = p \cdot \Omega_s = 36 \times 75 / 60 = 45 \text{ Hz}$

Question 16. Le raccordement des machines synchrones sur le réseau exige les conditions suivantes sur les signaux électriques : égalité de la fréquence, égalité des tensions, même ordre de succession des phases, décalage angulaire nul.

Question 17. fonctionnement dans le quadrant B.

Étude de la régulation de vitesse d'un groupe hydroélectrique

Question 18.

30	ligne = ligne.strip()
31	ligne = ligne.replace(',','')

Question 19.

33	if not isVector(valeurs_essai):
----	---------------------------------

Pour cette instruction, la fonction « isVector(valeur_essais) » permet d'identifier pour chaque ligne d'essais lue, si le deuxième élément (essais[1]) et le troisième élément (essais[2]) de la ligne sont des nombres. Si ce n'est pas le cas, le programme est alors en train de lire une des trois lignes d'entête d'une série donnée.

Le test de la ligne 33 est vrai, et le programme passe à la ligne 34

34	Tester si la série courante contient des essais (sa longueur est non-nulle)
35	Si oui, enregistrer la série courante dans la liste de série « series_list »
36	Puis réinitialiser la liste courante
37	Tester si la première valeur de la ligne est une date (elle contient deux //)
38	Si oui, enregistrer la dernière valeur de cette ligne comme un élément appelé 'hauteur' dans la série courante (il s'agit de la hauteur de la série)

Question 20.

41	turbinage=float(valeurs_essai[2])/reference_turbinage
----	---

Suite à cette instruction, le programme a calculé la valeur relative de turbinage de la ligne d'essais en cours de lecture, à l'aide de la valeur de référence de turbinage donnée en début de programme à 70 (car $70^\circ = 100\%$ de turbinage).

Question 21. L'exécution de l'instruction de la ligne 43, a permis d'enregistrer les vingt valeurs de vannage en première position de la chaîne ['essais'] de la série en cours de lecture.

```
43 serie_courante['essais'].append([vannage,turbinage])
```

```
60 for essai in series_list[0]['essais']:
61     V_vannage.append(essai[0])
```

Question 22.

```
88 def interpolation_lineaire(h):
89     i = 0 # Initialiser i à 0 (comptage de pas i des 3 valeurs du vecteur hauteurs)
90     while not(hauteurs[i] <= h and h < hauteurs[i+1]):
            # pour i=0 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [6 ;9.15]
            # ceci permet d'utiliser la fonction pour toute valeur de h
            # sans avoir à préciser qu'elle est forcément dans [6m ;14.8m] à la ligne 103
            # pour i=1 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [9.15 ;14.8]
91         i = i + 1
            # on incrémente pour aller au domaine suivant
92     alpha = (h - hauteurs_list[i]) / (hauteurs_list[i+1] - hauteurs_list[i])
            # calculer la valeur de « alpha » dans domaine en cours
93     V_turbinage_lin = V_turbinages_list[i] * (1 - alpha) + V_turbinages_list[i+1] * alpha
            # calculer la valeur de turbinage théorique par interpolation
94     return V_turbinage_lin
            # renvoyer cette valeur (qui sera utilisée à l'instruction de la ligne 105)
```

Question 23. Lorsque le vérin se déplace de 0 m à $X_{Max} = 1$ m, les pales directrices s'inclinent de 0° à 90° , ce qu'on considère être une ouverture de conduite de 0% à $V_{\%Max} = 100\% = 1$.

$$\text{Alors, } K_M = \frac{V_{\%Max}}{X_{Max}} = \frac{100\%}{1m} = 1 m^{-1}$$

Question 24. La tension de mode commun n'est pas amplifiée ni supprimée.

La tension différentielle est amplifiée d'un gain G_d : $R_g = \frac{2 \cdot R_1}{G_d - 1} = 20,02 \Omega$

$$\text{Question 25. } V_3^+(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_1} \cdot V_{s1}(t) = \frac{V_{s1}(t)}{2} \quad V_3^-(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_1} \cdot (V_{s2}(t) + V_s(t)) = \frac{V_{s2}(t) + V_s(t)}{2}$$

$$\text{Question 26. } V_s(t) = \frac{A_d}{2 \cdot \left(1 + \frac{A_d \cdot A_{MC}}{4}\right)} \cdot (V_{s1}(t) - V_{s2}(t)) + \frac{A_{MC}}{2 \cdot \left(1 + \frac{A_d \cdot A_{MC}}{4}\right)} \cdot \frac{(V_{s1}(t) + V_{s2}(t))}{2}$$

Si $A_d \gg 1$ et $A_d \gg A_{MC}$, alors $K_1 \approx 1$ et $K_2 \approx \frac{A_{MC}}{A_d}$

$$\text{Question 27. } V_s(t) = K_1 \cdot G_d \cdot \left(V_d(t) + \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d} \cdot V_c(t) \right) \quad G_{dt} = G_d \cdot K_1 \text{ et } G_{MCT} = \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d}$$

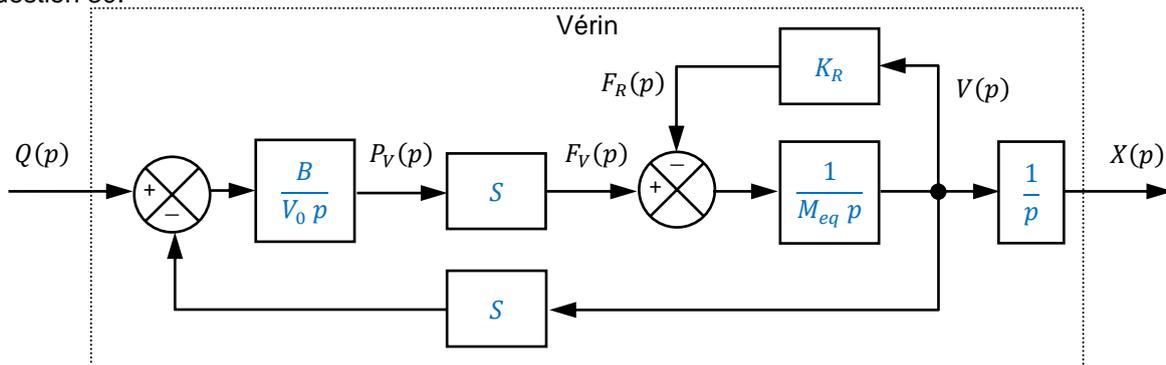
Le gain de l'étage 1 divise G_{MCT} et donc réduit l'influence du mode commun sur la tension $V_s(t)$. Un gain sur l'étage 2 aurait pour impact de ne pas influencer sur G_{MCT} et donc de ne pas réduire l'impact du mode commun sur $V_s(t)$.

Question 28. La résolution du capteur vaut : $5 \mu m$ Donc $K_c = \frac{1}{5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^5 m^{-1}$

$X_M = 1 m \Rightarrow 2 \cdot 10^5$ impulsions. Finalement, puisque $2 \cdot 10^5 < 2^{18} \Rightarrow$ Un capteur codant au moins à 18 bits donc à 3 octets (24 bits), est donc nécessaire.

Question 29. $01d4c0_{(H)} = 120000_{(D)}$, correspond à une position $X(p) = \frac{1,2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} X_M = 600 mm$

Question 30.



$$H_V(p) = \frac{1}{p} \frac{\frac{1}{S}}{1 + \frac{V_0 K_R}{BS^2} p + \frac{V_0 M_{eq}}{BS^2} p^2} = \frac{K_V}{p} \frac{1}{1 + \frac{2z}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Cette fonction de transfert est de classe 1 et d'ordre 3, avec :

- Le gain : $K_V = \frac{1}{S} = \frac{1}{0.08 \text{ m}^2} = 12.5 \text{ m}^{-2}$
- La pulsation propre : $\omega_0 = \sqrt{\frac{BS^2}{V_0 M_{eq}}} = 400 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- Le coefficient d'amortissement : $z = \frac{V_0 K_R}{2BS^2} \sqrt{\frac{BS^2}{V_0 M_{eq}}} = \frac{1}{3}$

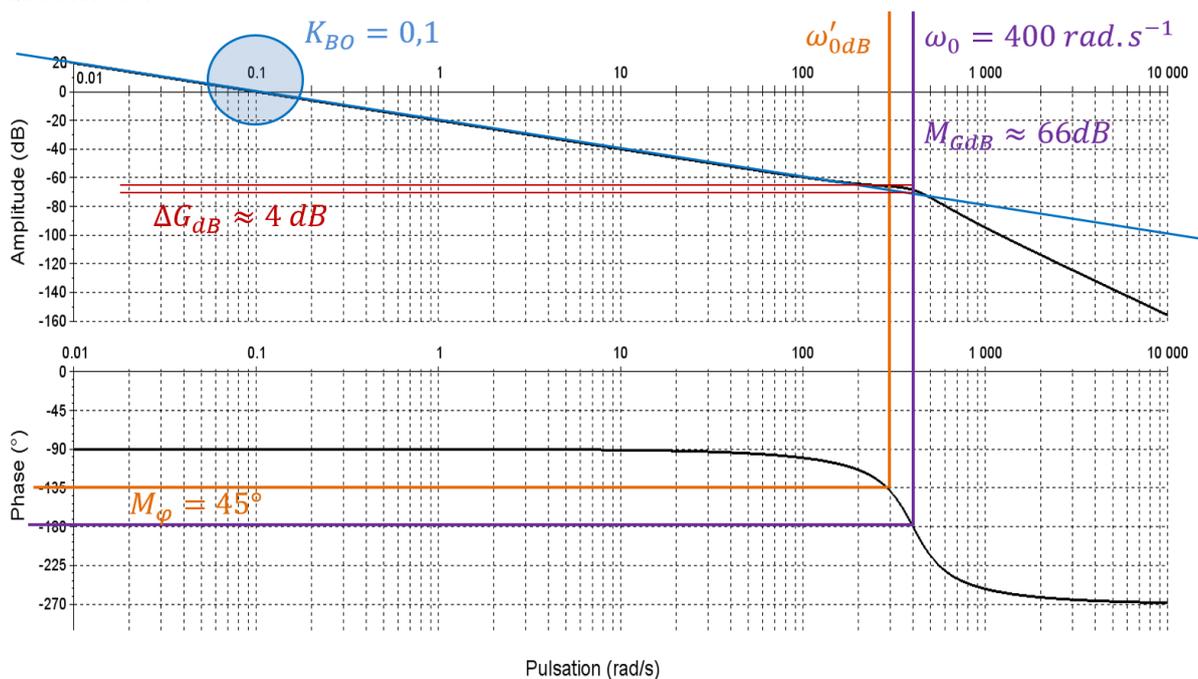
Question 31. $Q_{max} \geq S \cdot V_{max} = 72 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

$$K_D = \frac{80 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}}{10 \text{ Volt}} = \frac{4}{3} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$$

Question 32. $H_A(p) = \frac{1}{H_M(p)} = \frac{1}{K_M} = 1 \text{ m}$

$$K_A = K_C$$

Question 33.



Graphiquement, nous identifions une FTBO de classe $\alpha = 1$ et d'ordre $n = 3$ avec $\omega_{0db} = 0,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{B0} = 0,1 \text{ s}^{-1}$

Question 34.

Exigence de stabilité : voir les tracés en orange

Les exigences de stabilité sont respectées. Pour garantir une marge de phase minimale de 45° , il est possible d'augmenter le gain K_p du correcteur de sorte que la nouvelle pulsation de bande passante atteigne $\omega'_{0dB} \leq 300 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Si le gain est relevé de 66dB , $\omega'_{0dB} = 300 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, mais le système ne respecte plus l'exigence de marge de gain. C'est donc cette dernière qui impose la valeur maximale du gain K_p du correcteur, qui doit alors relever le gain de 46dB seulement.

$$\Rightarrow 20 \log(K_{Pmax}) \leq 46\text{dB} \Rightarrow K_{Pmax} \leq 10^{\frac{46}{20}} \approx 200 \text{ (adimensionnel)}$$

Exigence de précision :

Le système étudié est à retour unitaire, avec une FTBO $H_{BO}(p)$ de classe $\alpha = 1$.

Ainsi, le théorème de la valeur finale permet de prouver que :

- L'erreur statique de position en réponse à un échelon sera nulle.
- L'erreur statique de trainage en réponse à une rampe de $15\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ sera égale à :

$$e_{s-t} = \frac{15}{K_{BO}} = \frac{15}{0,1 K_p} \text{ mm}$$

Alors, pour respecter le critère de précision en réponse à une rampe, il faut régler le gain K_p du correcteur à la valeur minimale :

$$K_{Pmin} \geq \frac{15}{0,1 e_{s-t}} = \frac{15 \text{ mm}}{0,1 \cdot 1 \text{ mm}} = 150 \text{ (adimensionnel)}$$

Conclusion : un simple correcteur proportionnel permet de respecter les critères de stabilité et de précision imposés par le cahier des charges. Mais le respect du critère de rapidité n'a pas été vérifié.

Question 35. La réponse à la question précédente a prouvé qu'il est possible de régler un correcteur proportionnel qui permette de respecter les exigences de stabilité et de précision du système d'asservissement de vannage.

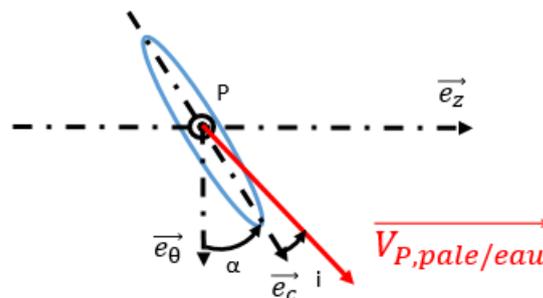
Mais même si la conduite est ouverte de façon parfaitement précise, la vitesse de rotation de la turbine qui est prédite en conséquence, reste le résultat d'un calcul théorique (qui dépend de la dynamique des fluides, de l'asservissement de turbinage et de la hauteur de chute qui agit comme une perturbation) et il est possible qu'il y ait un écart avec la vitesse réelle de rotation de la turbine.

Un écart entre la fréquence du réseau à 50 Hz et la fréquence de l'électricité produite par l'alternateur, reste possible, malgré la précision de l'asservissement de vannage. Le correcteur PID sert à réguler la fréquence du groupe hydroélectrique de façon indépendante de la précision du vannage ou du turbinage.

Étude dynamique de la turbine

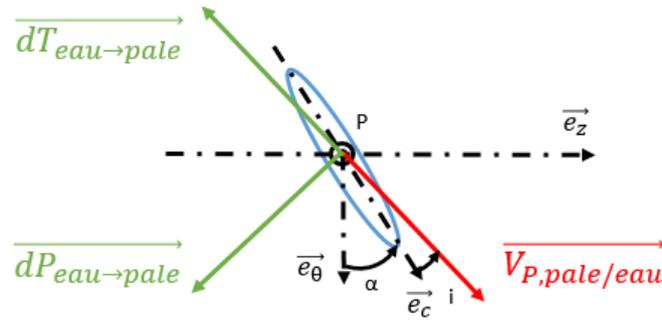
Question 36. $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = r \cdot \omega \vec{e}_\theta + V_e \vec{e}_z$ A.N. : $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = 26,5 \vec{e}_\theta + 25 \vec{e}_z$

Question 37.



Question 38. $\tan(\alpha + \beta) = \frac{V_e}{r \cdot \omega}$

Question 39.



Question 40. $\overrightarrow{dM}_{O,eau \rightarrow pale} \cdot \vec{z}_0 = r \cdot \left| \overrightarrow{dP}_{eau \rightarrow pale} \right| \cdot \sin(\alpha + \beta) - r \cdot \left| \overrightarrow{dT}_{eau \rightarrow pale} \right| \cdot \cos(\alpha + \beta)$

Question 41. Pour conserver un angle d'attaque constant sur toute la longueur de la pale, il est possible de modifier l'angle de calage en vrillant la pale sur sa longueur, ce que l'on observe sur le document DT5.

Question 42. $\Gamma_{turbine/bulbe} = -\frac{\Omega_{emb}}{t_f} = -\frac{314 \times 2\pi}{60 \times 180} = -0,183 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$

Question 43. Théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement ou théorème du moment dynamique en projection sur l'axe de rotation :

$$C_T - C_a - C_f = J_{eq} \cdot \Gamma_{turbine/bulbe} \quad C_f = 86,6 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Question 44. $\{ \tau_{pistons \rightarrow disque} \}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2f P_{ap} \frac{\pi d_p^2}{4} \end{Bmatrix} \left| \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\}$ dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

Question 45. $P_{ap} = \frac{-J_{eq} \cdot \Gamma_{turbine/bulbe} + C_T - C_a}{2ef\pi d_p^2}$

Question 46. $P_{ap} = \frac{86,6 \cdot 10^4}{2 \times 2 \times 0,5 \times \pi \times 0,8^2} = 2,15 \text{ bars} < 7 \text{ bars}$. L'exigence est respectée.

Question 47. La charge, la vitesse de rotation, la viscosité du lubrifiant et donc la température, la rugosité, la présence d'aspérité ou de corps étrangers, ...

Question 48. Il faut que le centre de gravité G_1 soit équidistant des centres des paliers A et B.

Question 49. $p = \frac{Mg}{2(2rl)} = \frac{1,58 \cdot 10^5 \cdot 9,81}{2(2 \cdot 0,45 \cdot 0,9)} = 0,96 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$

La marge est importante pour tenir compte des phases de démarrage avant que le film d'huile soit suffisant.

Question 50. $\frac{2\pi Q_f}{a r l \omega} = 0,7 \quad Q_f = 0,7 \frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,45 \cdot 0,9 \cdot 83 \frac{\pi}{30}}{2\pi} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Le débit prévu étant 8 fois supérieur au débit de fuite, la marge est suffisante pour garantir le bon fonctionnement du palier vis-à-vis de ce critère.

Question 51. La forme de la matrice est justifiée par :

- Une géométrie qui présente un axe de révolution,
- Un point d'expression de la matrice - G_1 - qui appartient à l'axe de révolution,
- Une base de calcul $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ qui est principale d'inertie

La condition d'équilibrage statique est vérifiée car le centre d'inertie G_1 appartient à l'axe de rotation.

La condition d'équilibrage dynamique n'est pas vérifiée car l'axe de rotation n'est pas principal d'inertie (absence de plan de symétrie de normale \vec{z}_0) : la rotation du rotor va donc engendrer des vibrations dans les paliers.

Question 52.
$$\overrightarrow{\sigma(G_1, 1/0)} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_R \cdot \begin{bmatrix} -\varepsilon \cdot \dot{\theta} \\ 0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = -A_1 \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{x} + C_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{z}$$

$$\overrightarrow{\delta(G_1, 1/0)} = \frac{d\overrightarrow{\sigma(G_1, 1/0)}}{dt} /_{R_0} = (-A_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \varepsilon \cdot \cos \varepsilon + C_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \varepsilon) \cdot \vec{y} = (C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \vec{y} \quad (dl1)$$

Question 53. Isolons {1} pour écrire les équations issues du PFD avec $\overrightarrow{\Gamma(G_1, 1/0)} = \vec{0}$:

TRD / \vec{x}_1 : $X_{21} + X_{31} - m_1 \cdot g \cdot \sin \theta = 0$

TRD / \vec{y}_1 : $Y_{21} + Y_{31} - m_1 \cdot g \cdot \cos \theta = 0$

TMD en G_1 / \vec{x}_1 : $L \cdot Y_{21} - L \cdot Y_{31} = 0$

TMD en G_1 / \vec{y}_1 : $-L \cdot X_{21} + L \cdot X_{31} = (C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2$

La résolution de ce système de 4 équations à 4 inconnues donne :

$$Y_{21} = Y_{31} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2}$$

$$X_{21} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

$$X_{31} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} + \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

Et donc :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{R_A} &= X_{21} \cdot \vec{x}_1 + Y_{21} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \left(\frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \right) \cdot \vec{x}_1 + \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} (\sin \theta \cdot \vec{x}_1 + \cos \theta \cdot \vec{y}_1) \\ &= \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} \cdot \vec{y}_0 \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{R_A} = F_0 \cdot \vec{y}_0 + F_1 \cdot \vec{y}_1 \quad \text{avec} \quad F_0 = \frac{m_1 \cdot g}{2} \quad \text{et} \quad F_1 = \frac{(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2}{2L}$$

Question 54. $F_1 = F_0 \Leftrightarrow \frac{|(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon| \cdot \dot{\theta}^2}{2L} = \frac{m_1 \cdot g}{2} \quad \omega_{lim} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot L}{|(C_1 - A_1) \cdot \varepsilon|}}$

Question 55.

Représentation de $-\vec{R}_A$ dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0)	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier est la circonférence entre les points M0 et M1.</p>	<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier couvre l'intégralité de la circonférence du palier.</p>
Représentation de $+\vec{R}_A$ dans la base (\vec{x}_1, \vec{y}_1)	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor couvre l'intégralité de la circonférence du rotor.</p>	<p>Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor est la circonférence entre les points M'0 et M'1.</p>

Question 56. En phase de fonctionnement normal, la vitesse de rotation étant suffisamment inférieure à la vitesse limite, si le rotor était amené à se déformer alors la zone du palier où la charge s'appliquerait resterait limitée à celle prévue (à l'opposé des orifices d'injection du lubrifiant).
Par contre, en phase de délestage lorsque la vitesse de rotation va augmenter, celle-ci intervenant au carré dans l'expression de F_1 , la zone du palier où la charge va s'appliquer va croître très rapidement entraînant un risque de portance insuffisante et donc une usure prématurée du palier.

Étude des moyens de maintenance des Éléments d'un groupe hydroélectrique

Question 57.

- Longueur \gg devant la section ;
- Matériau linéaire homogène et isotrope ;
- Les déformations sont petites ;
- Hypothèses de Navier-Bernoulli : les sections planes et perpendiculaires à l'axe de la poutre avant déformation restent planes et perpendiculaires à l'axe neutre après déformation ;
- Hypothèse de Saint Venant : les résultats de la RDM ne s'appliquent valablement qu'à une distance suffisamment éloignée de la région d'application des forces.

Question 58. Le poids propre de la poutre est modélisé par une charge uniformément répartie.

La charge utile du pont roulant est modélisée par une charge ponctuelle.

Le modèle possède 3 inconnues de liaisons que l'on peut déterminer grâce aux 3 équations du PFS dans le plan, le système est donc isostatique.

Question 59. $q = \rho \cdot g \cdot S = 56 \text{ kN.m}^{-1}$ $F_C = 600 \times 10 / 2 = 3000 \text{ kN}$

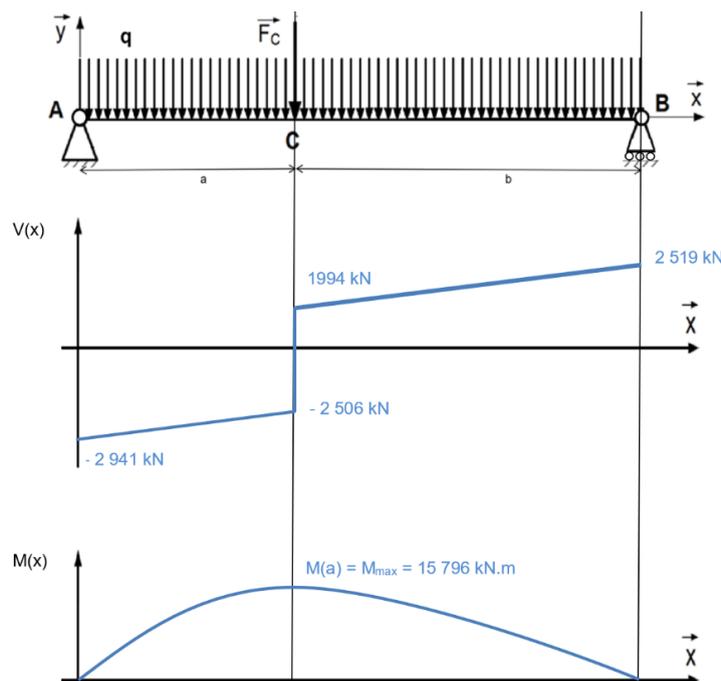
Question 60. $\{\tau_{coh}\} = \begin{Bmatrix} N(x) & 0 \\ V(x) & 0 \\ 0 & M(x) \end{Bmatrix}$

$N(x)$ = effort normal $V(x)$ = effort tranchant $M(x)$ = moment fléchissant

$0 < x < 5,8\text{m}$ $N(x) = 0$ $V(x) = q \cdot x - R_{yA}$ $M(x) = -q \cdot x^2/2 + R_{yA} \cdot x$

$5,8\text{m} < x < 12,8\text{m}$ $N(x) = 0$ $V(x) = F_C + q \cdot x - R_{yA}$ $M(x) = -F_C \cdot (x - 5,8) - q \cdot x^2/2 + R_{yA} \cdot x$

Question 61.



Question 62. $I = 0,2462 \text{ m}^4$ $\sigma_{max} = 57,7 \text{ Mpa}$ $5 \sigma_{max} = 288,5 \text{ Mpa} < 345 \text{ Mpa}$

Question 63. E.I . $f_r(x) = q.L.x^3/12 - q.x^4/24 - q.L^3.x/24$ $f_r(x) = \frac{q.(2L.x^3 - x^4 - L^3.x)}{24.EI}$

Question 64. $f_{r\text{MAX}} = -\frac{5q.L^4}{384.EI} = -0,53 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible $L/400 = 12,8 / 400 = 32 \text{ mm}$, l'exigence est bien respectée.

Question 65. La valeur maximale de la déformée est observée au point d'abscisse $x = 6,24 \text{ m}$.

Question 66. $f_r(6,24) = -0,32 \text{ mm}$ $f_p(6,24) = -3,95 \text{ mm}$

Flèche maximale : $\delta_{\text{max}} = f_r(6,24) + f_p(6,24) = -0,32 - 3,95 = -4,27 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible : $f_{\text{max}} = 12,8/750 = 17,06 \text{ mm}$

$\delta_{\text{max}} < f_{\text{max}}$ La poutre est correctement dimensionnée vis-à-vis de la flèche.

D. Commentaires du jury

Le jury constate que la grande majorité des candidats concentre leurs efforts sur les questions proches de leur spécialité ingénierie électrique, certains ne traitant aucune question mobilisant d'autres compétences. Cette stratégie ne permettant pas d'aboutir à une note élevée, il est important que les candidats préparent cette épreuve avec une approche transversale.

En effet, les lauréats du concours de l'agrégation seront appelés à intervenir dans les enseignements de sciences pour l'ingénieur en lycée pré-baccalauréat (filières STI2D et spécialité SI) et post-baccalauréat (brevet de technicien supérieur et classe préparatoire aux grandes écoles). Les professeurs agrégés peuvent également être affectés dans des établissements tels que les IUT, les universités ou les écoles d'ingénieurs. Un travail de préparation sur les différentes options est donc fondamental en vue d'une potentielle affectation hors de son domaine de spécialité.

Le barème de cette épreuve n'évaluant pas exclusivement les résultats finaux, les candidats doivent accorder davantage d'importance à leurs justifications en proposant une rédaction qui permette aux correcteurs de comprendre la démarche suivie et les hypothèses formulées.

De plus, même si l'évaluation ne tient pas compte de la qualité de l'écriture des candidats, le jury insiste sur le fait qu'un futur enseignant se doit de fournir des documents lisibles, tant du point de vue de la graphie que de l'orthographe et de la grammaire.

Étude de la production d'électricité

Cette première partie est la mieux traitée par les candidats, les questions étant très proches de leur domaine d'expertise. Cependant, le jury a trop souvent observé un manque de rigueur avec le formalisme, notamment avec la manipulation des complexes.

De plus, lorsque le candidat obtient une application numérique aberrante, il est attendu de celui-ci qu'il le mentionne dans sa copie. Les ordres de grandeur doivent être maîtrisés.

Étude de la régulation

Pour les premières questions de cette partie, qui portaient sur la programmation en langage Python, les réponses des candidats sont souvent approximatives, tant dans l'interprétation d'un code que dans l'écriture de celui-ci. Globalement, ces questions n'ont été traitées que par la moitié des candidats.

Les questions suivantes, qui portaient sur l'électronique et l'automatique linéaire, sont largement traitées par les candidats, mais le jury observe que trop de candidats semblent traiter les questions indépendamment les unes des autres, sans bien comprendre leur enchaînement. Chaque partie du sujet répond à un objectif, et le candidat doit donc inscrire sa réflexion dans celle-ci. Ainsi, les conclusions formulées doivent nourrir la réponse à cette problématique.

Étude dynamique de la turbine

Que ce soit pour le calcul d'un vecteur vitesse, ou l'écriture d'un torseur d'action mécanique, ou l'application du principe fondamental de la dynamique, le jury observe là-aussi une rigueur insuffisante, notamment avec le formalisme vectoriel. Les candidats doivent être plus exigeants dans l'écriture mathématique de leurs calculs.

De plus, les phénomènes physiques propres à la mécanique comme les notions de portance et de trainée, de pression de contact, de frottement ou d'équilibrage ne sont pas suffisamment maîtrisés.

Le jury note que la moitié des candidats n'a pas du tout traité cette partie.

Étude des moyens de maintenance

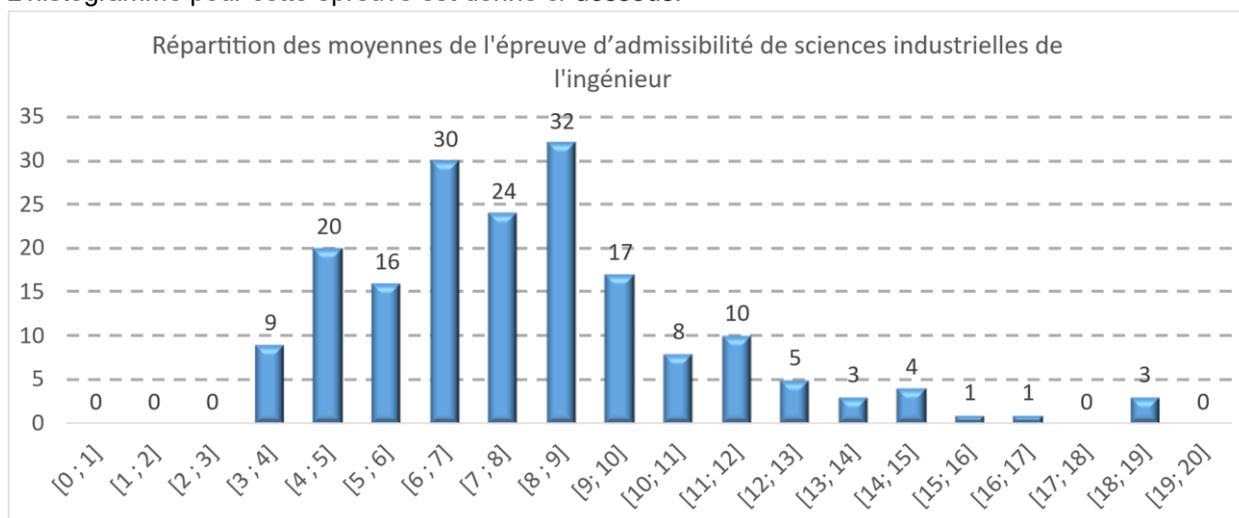
Dans cette partie qui cherchait à dimensionner une poutre, trop peu de candidats ont su déterminer les actions mécaniques extérieures aux appuis. Dans ce contexte, l'étude de résistance des matériaux ne peut être conduite convenablement.

Le jury rappelle aux candidats l'importance de vérifier l'homogénéité de leurs résultats, notamment pour piéger d'éventuelles erreurs d'inattention.

Enfin, trop de candidats ont réalisé de longs calculs sans les mener à leur terme.

E. Résultats

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



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

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/15939/download>

Le support de l'étude est un système de sextant électronique permettant la géolocalisation à partir des astres.

La géolocalisation astrale utilise les étoiles, mais aussi le soleil, la lune, les planètes pour fournir des informations de navigation de façon autonome. Le positionnement des astres est répertorié dans des éphémérides. Ainsi la position des étoiles et des autres astres sur la voûte céleste à une date et pour une localisation données sur Terre est connue. Le système de géolocalisation astrale comporte une caméra pour pointer et imager les étoiles à la verticale de l'utilisateur et un système électronique composé d'une centrale inertielle et d'un compas magnétique pour déterminer une référence locale.



Figure 1 : photographie d'un modèle de système de navigation astrale (sextant électronique) de l'entreprise STARNAV (longueur environ 25 cm).

La référence locale est le trièdre géographique local (TGL) qui permet d'exprimer les positions azimutale et de hauteur des objets célestes. Pour la géolocalisation, la caméra et le traitement d'image identifient les astres à partir d'une base de données pendant que la centrale inertielle et le magnétomètre définissent le repère local. À partir de l'image des astres, du temps universel, des éphémérides de positionnement des étoiles et du trièdre géographique local, le système de navigation évalue la longitude et la latitude de l'observateur.

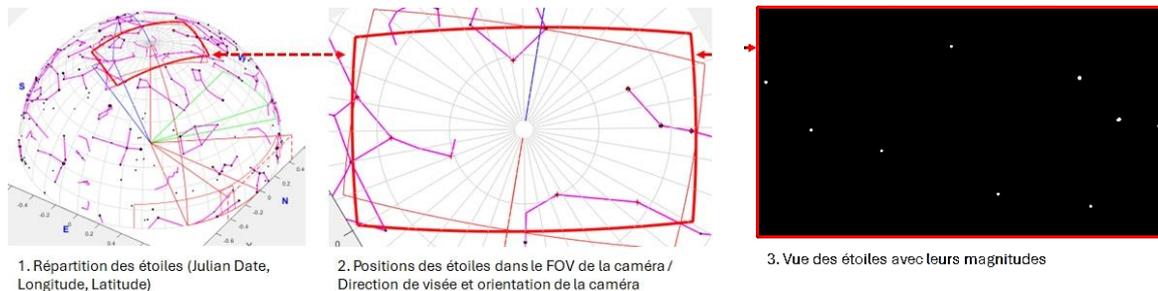


Figure 2 : Illustration du positionnement des étoiles sur la voûte céleste. (1.) les éphémérides permettent de connaître la position des étoiles sur la voûte céleste en fonction de la position de l'observateur sur Terre (longitude et latitude) et de la date. (2.) Les étoiles observables sur la voûte céleste dans le champ de vision de la caméra (FOV : Field of View) à la verticale de l'observateur. (3.) Image de la position des étoiles sur la voûte céleste avec leurs magnitudes.

C. Éléments de correction

2. Analyse de la détermination de la verticale locale

2.1. Cahier des charges et caractéristiques de l'accéléromètre

Question 1

Un mille nautique équivaut à $1^\circ/60$ c'est-à-dire une minute d'arc et donc 60 secondes d'arc.

Donc $\frac{1}{4}$ mille nautique correspond à : 15 arcsec

Question 2

L'ADXL354 est analogique, les sorties sont des niveaux de tension. L'ADXL-355 comporte des sorties numériques. Le transducteur (accélération vers signal électrique) est le même dans les 2 cas.

Question 3

La gamme la plus adaptée étant donné que l'on souhaite mesurer les projections angulaires de l'accélération de pesanteur (valeur maximum +/-1g selon le sens de positionnement de l'accéléromètre) est la plus petite

+/-2g.

Dans ce cas la résolution sur les axes X, Y et Z (page 5) est : 3,9 $\mu\text{g}/\text{LSB}$.

Le bit de poids faible (Least Significant Bit) correspond à une variation de 3,9 μg .

Question 4

I2C & SPI

Concernant le bus SPI : Communications sur 4 signaux logiques :

MOSI : Master Output Slave Input, MISO : Master Input Slave Output, CLK : Horloge, CS : Chip Select
La sélection est effectuée par une broche Chip Select ce qui nécessite 1 Chip Select par composant adressé. Les communications sont bidirectionnelles peuvent être effectués en full duplex. Les fréquences d'horloges peuvent être très élevés (>10MHz)

Concernant le bus I2C: Communications sur 2 signaux logiques uniquement : SDA : Serial Data, SCK : Serial Clock

La sélection des composants est effectuée par un adressage. Les communications sont de type half duplex.

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

Question 5

SPI : voie 1 clk, voie 2 MISO, voie 3 MOSI, voie 4 Chip Select CS.

~11 périodes d'horloge pour 1 carreau à 14 μs /carreau. ~780 kHz

7,25 carreaux pour transfert data 81 périodes horloge ~790 kHz

2.2. Conversion angle-accélération

Question 6

Mesure selon l'axe Z	Mesure selon l'axe X ou l'axe Y
<p>Axe sensible orienté verticalement</p> <p>Mesure de la projection G_z sur l'axe sensible.</p> $G_z = G \cdot \cos(\theta)$ <p>Évaluation de l'angle :</p> $\theta = \arccos\left(\frac{G_z}{G}\right)$ <p>Variation mesure, G_z, pour $\theta = 5$ arcsec :</p> <p>(5 arcsec = 2,4241e-5 Rad, $\cos(5 \text{ arcsec})=0,9999999997062$)</p> $\Rightarrow \Delta G_z = g \cdot (1 - \cos\theta) = 2,94e-10 \text{ g} = 2,94e-4 \mu\text{g}$ <p><3,9 μg, non mesurable avec le capteur</p> <p>Approche développement limité :</p> <p>Pour les petits angles : $\cos(\theta) \cong 1 - \frac{\alpha^2}{2}$</p> $\rightarrow G_z = G\left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)$ $\Delta G_z = G\left(\frac{2 \cdot 4241e-5^2}{2}\right) = 2,938 \times 10^{-10} \text{ g}$	<p>Axe sensible orienté horizontalement</p> <p>Mesure de la projection G_x sur l'axe sensible.</p> $G_x = G \cdot \sin(\theta)$ <p>Évaluation de l'angle :</p> $\theta = \arcsin\left(\frac{G_x}{G}\right)$ <p>Variation mesure, G_x, pour $\theta = 5$ arcsec :</p> <p>(5 arcsec = 2,4241e-5 Rad, $\sin(5 \text{ arcsec})=2,4241e-5$)</p> $\Rightarrow \Delta G_x = g \cdot \sin\theta = 2,4241e-5 = 24,241 \mu\text{g}$ <p>>3,9 μg, mesurable.</p> <p>Approche développement limité :</p> <p>Pour les petits angles : $\sin(\theta) \cong \theta$</p> $\rightarrow G_x = G \cdot \theta$ $\Delta G_x = G \cdot 2,4241 \times 10^{-5} = 24,241 \mu\text{g}$

Question 7

Meilleure solution, mesure avec l'axe sensible dans le plan (X ou Y).

$$\text{Alors } \alpha_{res} = \frac{G_{Xres}}{G} = 3,9 \times 10^{-6} \text{ rad} \rightarrow \frac{3600 \times 180}{\pi} \rightarrow 0,804433 \text{ arcsec}$$

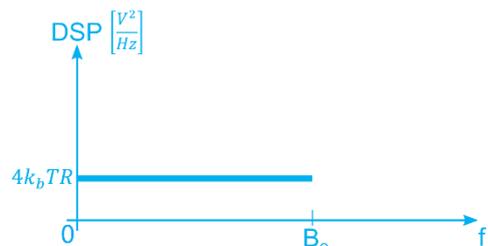
$$\text{Ce qui correspond à : } \frac{0,804433 \times 1}{60} \rightarrow 0,0134 \text{ Nm}$$

2.3. Performances de l'accéléromètre - adéquation avec le cahier des charges

Question 8

$$dsp_{bb} = 4k_b TR \left[\frac{V^2}{\text{Hz}} \right]$$

Unité : $\frac{V^2}{\text{Hz}}$ densité spectrale. Pour avoir la valeur de puissance de bruit, il faut multiplier par la largeur de bande équivalente de bruit. V^2 indépendant de l'impédance de charge.



Question 9

Déviatoin standard racine carrée de la variance.

Question 10

Résolution voulue 5 arcsec, fréquence d'acquisition des données 1 Hz.

Conversion arcsec g

$$g_x = g \cdot \sin(\alpha)$$

pour les petits angles, $\sin(\alpha) = \alpha$, soit $\alpha [rad] = g_x/g$

équivalence rad \leftrightarrow g .

conversion rad arcsec : $1 rad = \frac{180}{\pi} degré = \frac{180}{\pi} 3600 arcsec$

$$1 arcsec = \frac{\pi}{180 \cdot 3600} rad = \frac{\pi}{180 \cdot 3600} [g] = 4,85 \mu g$$

5 arcsec \rightarrow 24,25 μg

Sur la figure 55, cela conduit à 0,12 secondes environ soit 8.33 Hz.

Question 11

Sur les courbes 55, 56 et 57 pente -1/2 correspondant au bruit blanc.

Question 12

La pente gauche décroissante correspond à l'amélioration de la résolution lors de l'intégration de la mesure (moyennage qui réduit le bruit haute fréquence), la pente droite croissante correspond à la dégradation de la résolution lorsque le temps d'intégration devient trop important et que les phénomènes de dérive lente interviennent.

Le temps d'intégration augmente le nombre d'échantillons N ($\tau \leftrightarrow N$).

Dans le cas d'un bruit blanc, l'effet du moyennage sur N acquisitions, de l'intégration est de réduire l'écart-type (la déviation standard) d'un facteur \sqrt{N} .

Cela correspond à une pente -1/2 pour la déviation standard d'Allan en fonction du temps d'intégration.

Propriété de la variance : $var(a+b) = var(a)+var(b)$ pour deux variables aléatoires a et b indépendantes (car d'échantillons de bruit blanc), et $var(ka) = k^2var(a)$. Pour une variable aléatoire x_i de variance σ^2 .

$$var\left(\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i\right) = \frac{1}{N^2} var\left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i\right) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} var(x_i) = \frac{1}{N^2} N\sigma^2 = \frac{1}{N} \sigma^2$$

La variance des moyennes varie en $1/N$, alors l'écart-type (la déviation standard) varie en $1/\sqrt{N}$, donc en $1/\sqrt{\tau}$.

La représentation de la déviation standard d'Allan permet de repérer les conditions optimales de temps d'intégration pour la mesure. Ici autour de 150 s, trop long pour l'application.

3. Modélisation de l'accéléromètre

3.1. Généralités

Question 13

MEMS Micro-ElectroMechanical System : microsystème intégré fabriqué à partir de silicium, utilisant les technologies de fabrication issue des technologies semi-conducteur.

Question 14

Faible volume, faible poids pour dispositifs portables.

Faible consommation.

Intégration possible d'une partie ou de la totalité de l'électronique de conditionnement (miniaturisation accrue, fiabilité améliorée, immunité au bruit).

Connectique intégrée entre transducteur et électronique de conditionnement : fiabilité améliorée par rapport à connectique filaire classique entre capteur et électronique discrète.

Fabrication « collective » sur wafer de silicium : coût réduit.

3.2. Modèle mécanique de l'accéléromètre

Question 15

$$\sum \overrightarrow{force} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_r + \vec{F}_a + \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

Projection selon x

$$-kx - c \frac{dx}{dt} + F_{ext} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Soit : $kx + c \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{ext}$

Question 16

$$kx + c \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{ext}$$

$$kX(p) + c p X(p) + m p^2 X(p) = F_{ext}(p)$$

$$\frac{X(p)}{F_{ext}(p)} = \frac{1}{k + cp + m p^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} ; G = \frac{1}{k} ; \xi = \frac{1}{2} \frac{c}{k} \omega_n = \frac{1}{2} \frac{c}{\sqrt{km}}$$

Système du second ordre de type passe-bas (comportement passe-bas comme tout système physique).

Question 17

Système du second ordre de type passe-bas (comportement passe-bas comme tout système physique).

G : gain statique (relation ressort déplacement-force) [m/N],

ω_n : pulsation naturelle du système [rad/s]

ξ : coefficient d'amortissement sans unité

Question 18

Minimum du module du dénominateur. Dérivée par rapport à la pulsation.

$$\frac{d |dénominateur|^2}{d \omega} = \frac{d}{d \omega} \left\{ \left(\frac{2\xi\omega}{\omega_n} \right)^2 + \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \right)^2 \right\}$$

$$\frac{d|\text{dénominateur}|^2}{d\omega} = 2 \cdot \left(\frac{2\xi}{\omega_n}\right)^2 \cdot \omega - \frac{2 \cdot 2 \cdot \omega}{\omega_n^2} \cdot \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)$$

$$\text{Annulation de la dérivée : } 2 \cdot \left(\frac{2\xi}{\omega_n}\right)^2 \cdot \omega - \frac{2 \cdot 2 \cdot \omega}{\omega_n^2} \cdot \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right) = 0$$

$$2 \cdot \xi^2 - \left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right) = 0$$

$$\omega = \omega_n \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \xi^2}$$

Résonance si $1 - 2 \cdot \xi^2 > 0$

$$f_r = f_n \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \xi^2}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \xi^2}$$

Question 19

$$\text{Masse } m = \rho_{Si} \cdot L \cdot l \cdot h = 2330 \times 600 \cdot 10^{-4} \times 600 \cdot 10^{-6} \times 10 \cdot 10^{-6} = 8,39 \cdot 10^{-9} [kg]$$

$$\text{Raideur } k = \frac{E \cdot t \cdot W^3}{4 \cdot L_{eq}^3} = \frac{130 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}^3}{4 \cdot 220 \cdot 10^{-6}^3} = 1,95 N/m$$

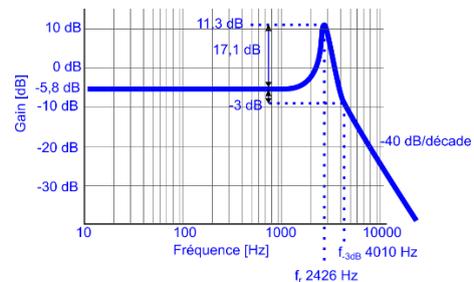
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{1 - 2 \cdot \xi^2} \cong \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = 2426 \text{ Hz}$$

Piège, unité standard de masse kg pas g

Question 20

Comportement passe-bas sous-amorti. Résonance autour de 2.4 kHz.

Pente -40 dB/décade => 2nd ordre.



Question 21

Fréquence résonance : ~ 2.4 kHz

$$\text{Gain statique } G(\omega=0) = 1/k = 1/1.95 = 0,513 [m/N] \Rightarrow -5,8 \text{ dB}$$

Déplacement pour 1 g en statique 42 nm.

$$\text{À la résonance : } G(\omega=\omega_r) \cong \frac{1}{k} \frac{1}{2\xi} = 3,66 [m/N] \Rightarrow 11,27 \text{ dB}$$

$$\frac{G_{\omega=\omega_r}}{G_{\omega=0}} = \frac{1}{2\xi} = 7,14 \rightarrow 17,1 \text{ dB}$$

facteur d'amortissement $\xi = 0,07$

Question 22

$$kx = F_{ext} = mg ; x = \frac{mg}{k} = \frac{g}{\omega_n^2} = \frac{9.8}{(2\pi \cdot 2426)^2} = 42 \text{ [nm]}$$

4. Convertisseur analogique-numérique sigma-delta

4.1. Convertisseur sigma-delta : principe de fonctionnement

Question 23

phase ② : C_{mes} court-circuitée à la masse (charge nulle) Q_{C_{mes}}(②)=0

$$Q_{C_{int}}(\textcircled{2}) = C_{int} V_S(\textcircled{2})$$

$$Q_{C_{réf}}(\textcircled{2}) = S(\textcircled{2}) C_{réf} V_{CC}$$

Question 24

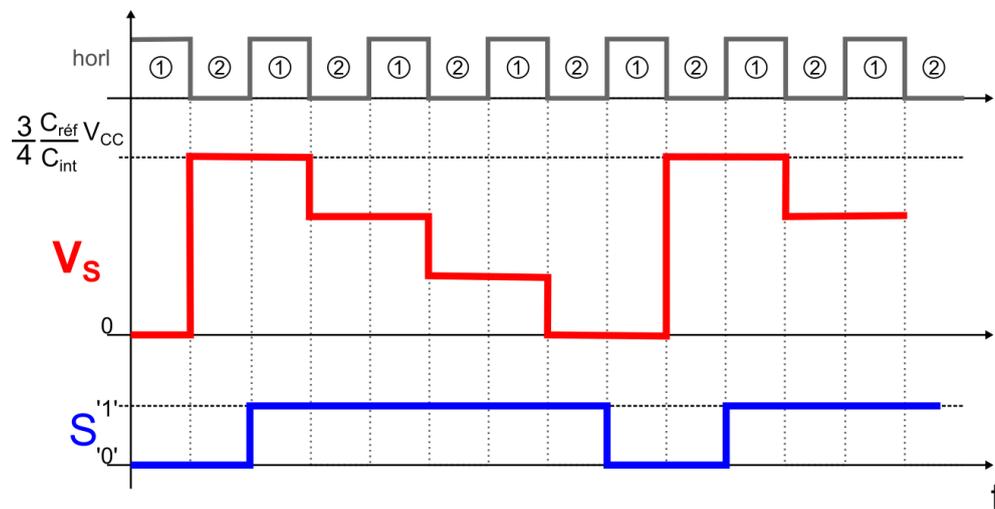
$$Q\textcircled{1} = Q\textcircled{2}$$

$$C_{mes} V_{CC} + C_{int} V_S(\textcircled{1}) + 0 = 0 + C_{int} V_S(\textcircled{2}) + S(\textcircled{2}) C_{réf} V_{CC}$$

Question 25

$$\text{Au début : } V_S(\textcircled{2}) = 0 + \frac{(C_{mes} - C_{réf} \cdot 0) V_{CC}}{C_{int}} = \frac{3 C_{réf}}{4 C_{int}} V_{CC}$$

Ensuite on soustrait $\frac{1 C_{réf}}{4 C_{int}} V_{CC}$ à chaque cycle jusqu'à retrouver la situation initiale.



Question 26

Expression de S(kT)

$$S(kT) = \frac{C_{mes}(kT)}{C_{réf}} - \left[\frac{C_{int} [V_S((k+1)T) - V_S(kT)]}{C_{réf} V_{CC}} \right]$$

$$\text{moyenne}(S(kT)) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N-1} \left\{ \frac{C_{mes}(kT)}{C_{réf}} - \left[\frac{C_{int} [V_S((k+1)T) - V_S(kT)]}{C_{réf} V_{CC}} \right] \right\}$$

Les termes V_S s'annulent deux par deux et il ne reste que la différence entre le premier et le dernier divisée par N, le nombre de période utilisées pour le moyennage. Plus N est grand, plus l'erreur est petite.

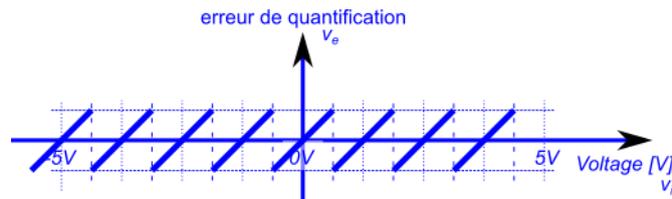
$$\text{moyenne}(S(kT)) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N-1} \left(\frac{C_{mes}(kT)}{C_{réf}} \right) - \left[\frac{C_{int}[V_S((N)T) - V_S(0)]}{N C_{réf} V_{CC}} \right]$$

$$\text{moyenne}(S(kT)) \cong \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N-1} \left(\frac{C_{mes}(kT)}{C_{réf}} \right)$$

Pour N grand, la valeur moyenne du signal binaire S tend vers le rapport de la capacité à mesurer sur la capacité de référence connue. la valeur moyenne du signal binaire S est par conséquent une image de la valeur de capacité à mesurer.

4.2. Quantification, sur-échantillonnage

Question 27



Erreur maximum = $\boxed{q/2}$

Question 28

Signal erreur dent de scie : $v_{erreur_q} = \frac{q}{T} t$

Valeur efficace dent de scie : $v_{eff_q} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \left(\frac{q}{T} t \right)^2 dt} = \sqrt{\frac{q^2}{T^3} \left[\frac{t^3}{3} \right]_{-T/2}^{T/2}} = \sqrt{\frac{q^2}{12}} = \frac{q}{2\sqrt{3}}$

$$P_q = v_{eff_q}^2 = \frac{q^2}{12}$$

(1 puissance signal) $P_q = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{q/2} v_e^2 dv = \frac{q^2}{12}$

(2 variance d'une variable aléatoire) $P_q = \sigma^2 = \int_{-q/2}^{q/2} P(v_e) v_e^2 dv$ avec $P(v_e)$ la densité probabilité de l'erreur de quantification supposée uniforme sur $\left[-\frac{q}{2}; \frac{q}{2}\right]$ valant $\frac{1}{q}$.

Question 29

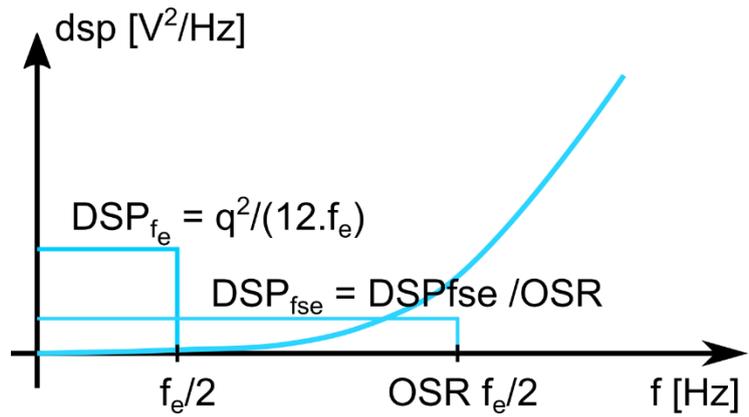
Le signal étant compris dans la bande $[0 ; f_b]$, la fréquence d'échantillonnage minimum selon le théorème de Shannon Nyquist est $f_e = 2 f_b$.

Question 30

Cf document réponse DR.

Densité de puissance de bruit $DSP_{bruit_{fs}} = \frac{P_q}{2 f_b} = \frac{\frac{q^2}{12}}{2 f_b} [V^2/Hz]$

Question 31



Densité de puissance de bruit $DSP_{bruit_{f_{se}}} = \frac{P_q}{2 \cdot fb \cdot OSR} = \frac{DSP_{bruit_{f_s}}}{OSR} [V^2/Hz]$

Question 32

$$SNR_{f_{se}} = 10 \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit_{f_{se}}}} \right) = 10 \log \left(\frac{P_{signal}}{\frac{P_{bruit_{f_e}}}{OSR}} \right) = SNR_{f_e} + 10 \log(OSR) [dB]$$

Gain de 3dB en doublant la fréquence d'échantillonnage.

Question 33

Cas 1 bit : $SNR_{ADC_{Nbits}} = 6,02 + 1,76 \text{ dB} = 7,78 \text{ dB}$; Cas 8 bits : $SNR_{ADC_{Nbits}} = 6,02 \cdot 8 + 1,76 \text{ dB} = 49,92 \text{ dB}$

Il faut que le SNR augmente de $7,78 - 49,92 = -42,14 \text{ dB}$.

Soit $10 \log(OSR) = 42,14$ d'où $OSR = 16368$.

Cette valeur est très grande est limite rapidement la seule utilisation du sur-échantillonnage pour améliorer la résolution.

4.2.1. Mise en forme du bruit

Question 34

$$V_s(z) = \frac{I(z)}{1 + I(z)} V_e(z) + \frac{1}{1 + I(z)} B(z)$$

Intégrateur : $I(z) = \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}}$; $V_s(z) = z^{-1} \cdot V_e(z) + (1 - z^{-1})B(z)$

Simple retard pour $V_e(z)$, dérivation (passe-haut) pour $B(z)$.

Question 35

Le système se comporte comme un passe-bas vis-à-vis de V_s . Seule sa valeur moyenne est vue par l'intégrateur. Intégrateur dans la boucle donc pas d'erreur statique en entrée de l'intégrateur. Alors $\bar{V}_s = \bar{V}_e$.

Question 36

$$V_s(z) = B(z) + \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \left(\frac{1}{1 - z^{-1}} (V_e(z) - V_s(z)) - V_s(z) \right)$$

$$V_s(z) \left(1 + \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}} + \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2} \right) = B(z) + \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2} V_e(z)$$

$$V_s(z) \left(\frac{1}{(1-z^{-1})^2} \right) = B(z) + \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2} V_e(z)$$

$$H_S(z) = \frac{V_s(z)}{V_e(z)} = z^{-1}$$

$$H_B(z) = \frac{V_s(z)}{B(z)} = (1-z^{-1})^2$$

Question 37

$$P_{bruit_{ordre\ n}} = \int_{-f_e/2}^{f_e/2} P_{bruit_{f_{se}}}(f) |H_B(f)|^2 df = \int_{-f_b}^{f_b} P_{bruit_{f_{se}}}(f) |H_B(f)|^2 df$$

Équivalence $z^{-1} \rightarrow e^{-j2\pi \frac{f}{f_{se}}}$

$$1 - z^{-1} \rightarrow 1 - e^{-j2\pi \frac{f}{f_{se}}}; \quad 1 - z^{-1} \rightarrow e^{-j\pi \frac{f}{f_{se}}} \left(e^{j\pi \frac{f}{f_{se}}} - e^{-j\pi \frac{f}{f_{se}}} \right); \quad 1 - z^{-1} \rightarrow 2i \cdot e^{-j\pi \frac{f}{f_{se}}} \cdot \sin \pi \frac{f}{f_{se}}$$

$$|H_B(f)|^2 = \left| \left(2 \cdot \sin \pi \frac{f}{f_{se}} \right)^M \right|^2$$

$$P_{bruit_{ordre\ n}} = \int_{-f_e/2}^{f_e/2} P_{bruit_{f_{se}}}(f) \left| 2 \cdot \sin \pi \frac{f}{f_{se}} \right|^{2M} df$$

$f_{se} \gg f_e$; développement limité $\sin x = x$; $OSR = \frac{f_{se}}{f_e}$

$$P_{bruit_{ordre\ n}} \cong \int_{-f_e/2}^{f_e/2} P_{bruit_{f_{se}}}(f) \left| 2 \cdot \pi \frac{f}{f_{se}} \right|^{2M} df = \int_{-f_e/2}^{f_e/2} \frac{P_q}{f_{se}} \left| 2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{f_{se}} \right|^{2M} df$$

$$P_{bruit_{ordre\ n}} \cong \frac{P_q}{f_{se}} \left(\frac{2 \cdot \pi}{f_{se}} \right)^{2M} \left[\frac{f^{2M+1}}{2M+1} \right]_{-f_e/2}^{f_e/2} = \frac{P_q}{f_{se}} \left(\frac{2 \cdot \pi}{f_{se}} \right)^{2M} \frac{1}{2M+1} 2 \left(\frac{f_e}{2} \right)^{2M+1}$$

$$P_{bruit_{ordre\ n}} \cong \left(\frac{q}{2} \right)^2 \frac{1}{3\pi(2M+1)} \left(\frac{\pi}{OSR} \right)^{2M+1}$$

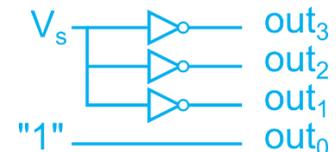
Ou approximation dérivée : $p \leftrightarrow \frac{1-z^{-1}}{T_{se}}$ alors $1 - z^{-1} \rightarrow pT_{se} = j2\pi \frac{f}{f_{se}}$

4.3. Décimateur

Question 38

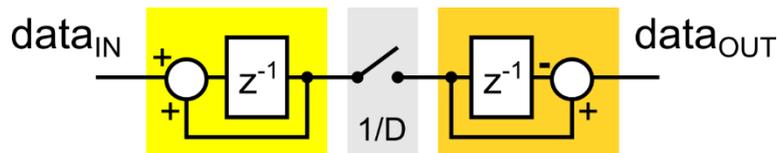
Vs, niveau flux binaire	Valeur numérique	N, complément à 2 sur 4 bits
Haut 1	+1	0001
Bas 0	-1	1111

out(3) <= not Vs;
 out(2) <= not Vs;
 out(1) <= not Vs;
 out(0) <= '1';



Question 39

La structure peut être redessinée et simplifiée comme ci-après.



Bloc jaune intégrateur : $\frac{1}{1-z^{-1}}$; au centre décimation ; bloc orange dérivateur : $1 - z^{-D}$

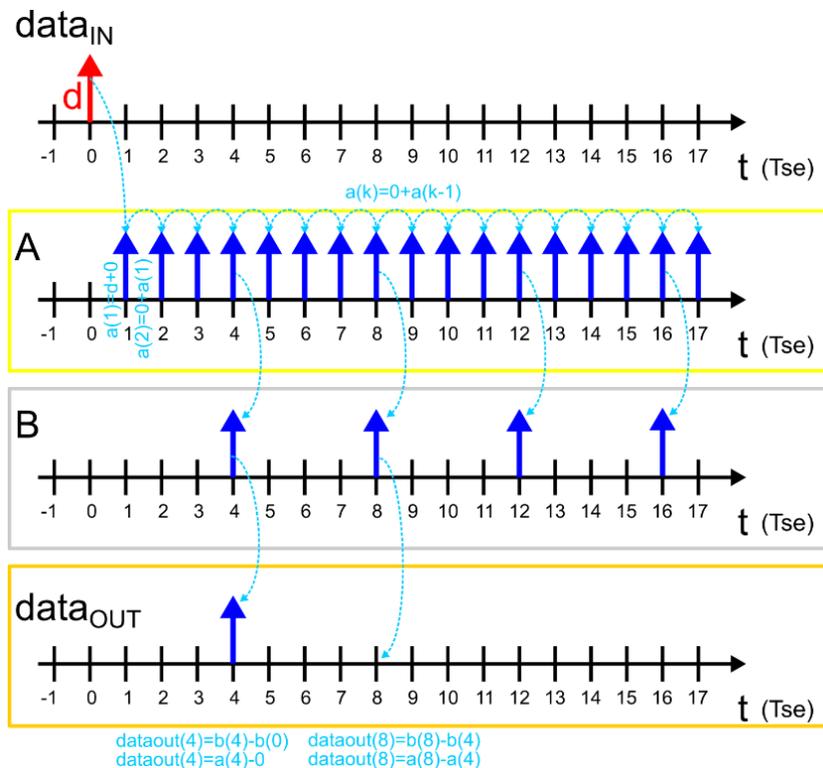
Fonction de transfert du décimateur CIC : $\frac{1-z^{-D}}{1-z^{-1}}$

Or moyenne glissante : $moyenne(t) = \frac{1}{D} \sum_{i=0}^{D-1} x(t - nT_e)$

Fonction de transfert en z : $H_{moyenne}(z) = \frac{1}{D} \sum_{i=0}^{D-1} z^{-i} = \frac{1}{D} \frac{1-z^{-D}}{1-z^{-1}}$

Au facteur 1/D près, moyenne glissante.

Question 40



Question 41

$D = 2^d$ permet de faire la normalisation de la moyenne sans division par D avec un simple décalage de d bits à droite de la valeur obtenue à la sortie du filtre.

Question 42

Fonction de transfert en bruit du sigma-delta d'ordre M : $H_B(z) = \frac{V_S(z)}{B(z)} = (1 - z^{-1})^M$

Fonction de transfert filtre CIC d'ordre L : $H_{CIC}(z) = \frac{1}{D} \left(\frac{1-z^{-D}}{1-z^{-1}} \right)^L$

Il faut que l'effet passe-bas du décimateur soit plus grand que l'effet passe-haut du sigma-delta sur le bruit.

Ordre plus élevé pour le décimateur que pour le sigma-delta.

5. Compas magnétique numérique pour le cap au Nord

5.1. Compas magnétique numérique PNI

Question 43

Il s'agit d'un trigger de Schmitt inverseur.

On le rencontre classiquement à l'entrée des circuits numériques pour mettre en forme les fronts des signaux (antirebonds, élimination de parasites). Il est un constituant de certains oscillateurs à relaxation (NE555) utilisés auparavant pour générer des signaux périodiques ou astables.

Question 44

Parfait : gain infini, $i_+ = i_- = 0$ (impédance d'entrée infinie), impédance de sortie nulle.

Rail-to-rail : la gamme de tension d'excursion de sortie correspond à la gamme d'alimentation. (LMV7219)

Question 45

$$V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OUT} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} = V_{H2}$$

Le retour est sur l'entrée non-inverseuse, cela implique en fonctionnement en commutation (non-linéaire). Selon la valeur de V_{IN} par rapport à des niveaux de tensions de seuil, la tension de sortie du montage bascule entre deux valeurs $+V_{SAT}$ (V_{DD}) et $-V_{SAT}$ ($V_{SS}=0$).

Tant que $V_{IN} < V_{H2}$: $V_S = +V_{SAT} = V_{DD}$

Quand V_{IN} dépasse V_{H2} , la sortie du comparateur bascule à $-V_{SAT}$, ici $V_{SS}=0V$.

Il s'agit d'un trigger de Schmitt inverseur.

Question 46

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} = 1V$$

$$V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} + 1V = 4V$$

$$V_H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 5V + 1V = 4V$$

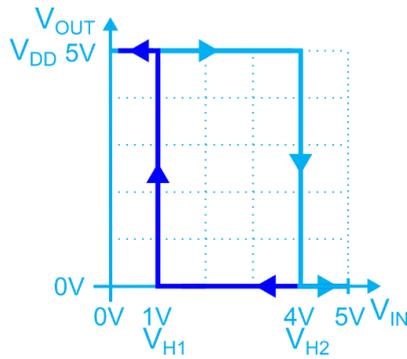
$R_1 = \frac{3}{2} R_2$; ça tombe bien résistance série E6 100kΩ 150kΩ.

$$V_B = \frac{R_2}{\frac{3}{2} R_2 + R_2} V_{REF} = 1V$$

$$V_{REF} = \frac{5}{2} V = 2.5V$$

R_3 n'intervient pas dans les conditions.

Question 47



Question 48

Un comparateur : le slew-rate (vitesse de commutation) est privilégié au détriment de la linéarité non nécessaire pour ce type de montage à commutation. Le comparateur permet potentiellement également de définir une tension de commutation de sortie différente de la tension d'alimentation.

Question 49

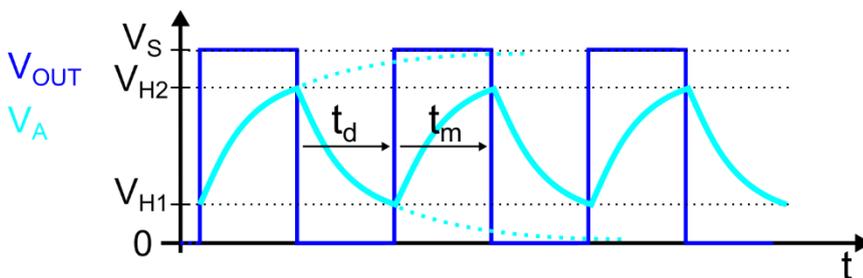
$$V_{out} = L \frac{di}{dt} + R_B i = \frac{L}{R_B} \frac{dV_A}{dt} + V_A$$

Question 50

Constante de temps montée/descente : $\tau = \frac{L}{R} = 1,36 \mu s$.

Question 51

V_{out} : signal créneau $\rightarrow V_A$: alternance de croissances et décroissances exponentielles



Question 52

Commutation V_H vers V_B , $V_{OUT}=0$: $V_A(t_d) = V_B = V_H \exp\left(-\frac{t_d}{\tau}\right) \rightarrow t_d = \tau \ln\left(\frac{V_H}{V_B}\right) = \tau \ln\left(\frac{4}{1}\right) = 1,88 \mu s$

Commutation V_B vers V_H , $V_{OUT}=V_S$: $V_A(t_m) = V_H = (V_B - V_S) \exp\left(-\frac{t_m}{\tau}\right) + V_S \rightarrow t_m = \tau \ln\left(\frac{V_S - V_B}{V_S - V_H}\right) = \tau \ln\left(\frac{4}{1}\right)$

Période : $T = t_d + t_m = 3,77 \mu s$

Question 53

La période du signal V_A s'exprime comme $T = 2 \cdot \tau \cdot \ln\left(\frac{4}{1}\right) = 2,77 \cdot \tau = 2,77 \cdot \frac{L}{R}$

$L=f(H_E)$ alors $T=f(H_E)$

La constante de temps est proportionnelle à l'inductance de l'élément sensible qui varie avec le champ magnétique extérieur. La mesure de champ magnétique revient à une mesure de période, une mesure de temps qui peut être réalisée par un compteur.

5.2. Modèle de l'inductance

Question 54

C représente les capacités parasites entre les spires du bobinage et entre le câble bobiné et l'environnement. Stray capacitance. Limite la bande passante de l'inductance.

Question 55

R et L en série, en parallèle de C. $Z_{eq} = (R + Z_L) // Z_C$

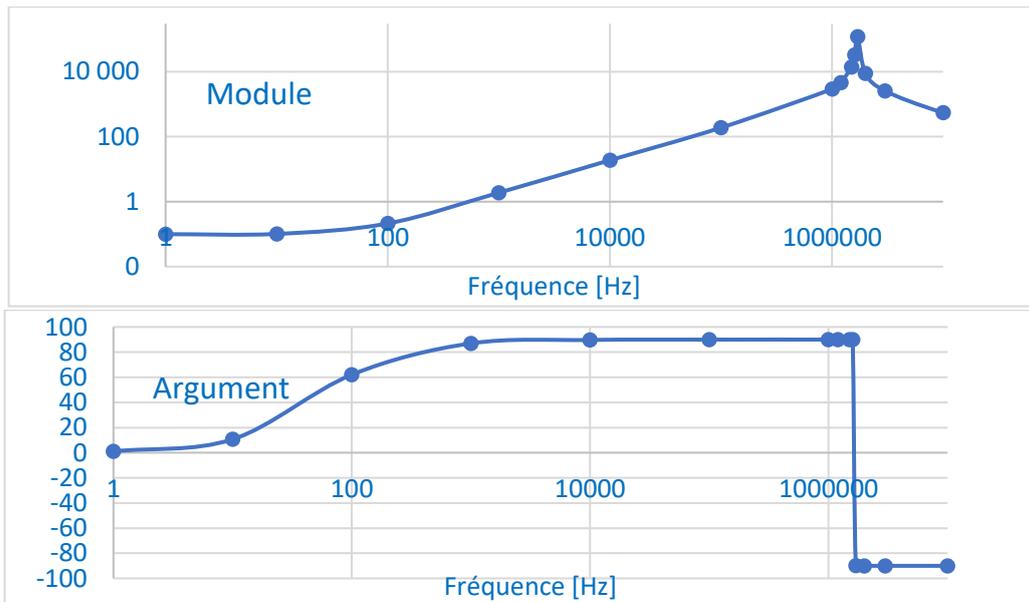
$$Z_{eq} = \frac{R + j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\omega RC}$$

Module : $\sqrt{\left(\frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega(L(1 - \omega^2 LC) - R^2 C)}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}\right)^2}$ autre expression $\frac{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}{\sqrt{(1 - LC\omega^2)^2 + (RC\omega)^2}}$

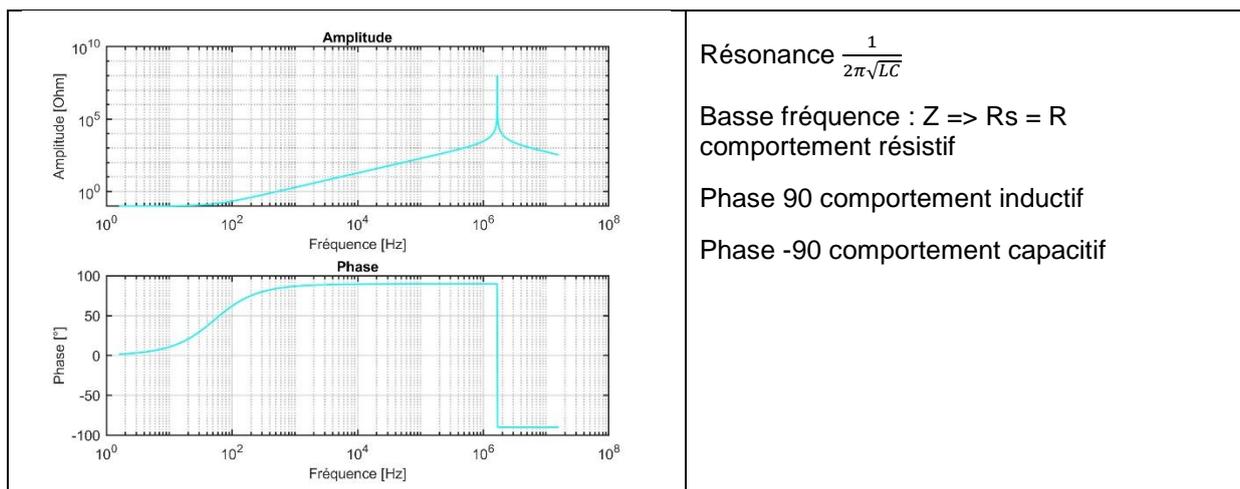
Argument :

$$\text{atan}\left(\frac{L\omega}{R}\right) - \text{atan}\left(\frac{RC\omega}{1 - LC\omega^2}\right) \text{ si } (1 - LC\omega^2) > 0 ; \text{atan}\left(\frac{L\omega}{R}\right) - \text{atan}\left(\frac{RC\omega}{1 - LC\omega^2}\right) - \frac{\pi}{2} \text{ si } (1 - LC\omega^2) < 0$$

Question 56



Fréquence	Module	Argument [Rad]	Argument [degré]
10 Hz	0.102	0.19	10.7
10 kHz	18.8	1.56	89.7
10 MHz	545	1.57	90



Résonance $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Basse fréquence : $Z \Rightarrow R_s = R$
comportement résistif

Phase 90 comportement inductif

Phase -90 comportement capacitif

Question 57

Il s'agit du domaine dans lequel l'impédance a un comportement inductif. Quelques centaines Hertz à quelques centaines de kiloHertz.

Choix autour de 10 kiloHertz, cela permet au système de comptage de fournir une réponse plus rapidement sans avoir un pas de comptage trop fin.

5.3. Capteur de champ magnétique PNI

Question 58

Application Specific Integrated Circuit. Il s'agit d'un circuit intégré sur silicium conçu spécialement pour une application, ici l'interfaçage avec les bobines de mesure pour le conditionnement du signal (circuit trigger), la mesure des périodes d'oscillations et la mise en forme vers les protocoles de communication numériques I2C ou SPI.

Question 59

Continuous measurement mode : le capteur génère régulièrement des données de mesure. C'est le capteur qui gère le timing (période d'acquisition) ce qui allège le fonctionnement du microcontrôleur ou du système qui interroge le capteur. Le temps est défini par le registre TMRC. Cela garantit en général une période d'acquisition des données plus précise et régulière que le mode Polling. Lorsque les données sont prêtes, le capteur informe le microcontrôleur par l'intermédiaire du signal data ready DRDY. Les périodes d'acquisition sont limités à des valeurs prédéfinies.

Polling mode : le microcontrôleur interroge le capteur lorsqu'il souhaite récupérer une/des donnée(s). Le microcontrôleur gère le timing, les données n'étant pas forcément prêtes au moment de l'interrogation, l'échantillonnage ou l'acquisition régulière ne sont pas garanties.

Question 60

Mode continuous measurement mode :

Registre (0x01) CMM : 0 1 1 1 0 0 0 1 (START à 1, continuous mode, 3 axes, on attend les 3 axes).

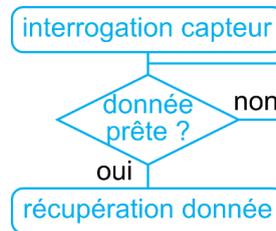
Timing $f \geq 1$ Hz. Documentation technique page 32 Table 5-4 : TMRC 9C : ~1.6 s, ~0.6 Hz

TMRC : 1 0 0 1 1 1 0 0

Question 61

Mode polling : registre (0x00) POLL : 0 1 1 1 0 0 0, acquisition sur les 3 axes.

Timing géré par l'interrogateur, microcontrôleur, il faut configurer un Timer ($f \geq 1$ Hz), configurer des interruptions Timer, lancer l'interrogation du capteur dans la routine d'interruption et attendre l'interruption Data Ready (DRDY) avant d'aller lire les valeurs de mesure.



5.4. Autre technique de mesure à partir de fil GMI - Détection synchrone

Question 62

$$i_0(t) = g_m \cdot v_0(t) ; v_0(t) = V_0 \cdot \sin(\omega t)$$

$$v_{GMI}(t) = Z_{GMI} i_0(t) = Z_{GMI} g_m V_0 \sin(\omega t) = |Z_{GMI}| g_m V_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

Question 63

$$\begin{aligned}
 v_M(t) &= k \cdot v_{GMI}(t) \cdot v_0(t) = k |Z_{GMI}| g_m V_0 \sin(\omega t + \varphi) \cdot V_0 \sin(\omega t) \\
 &= \frac{1}{2} |Z_{GMI}| k g_m V_0^2 (\cos(\varphi) - \cos(2\omega t + \varphi))
 \end{aligned}$$

Question 64

Le filtre élimine la composante sinusoïdale

$$v_F(t) = \frac{1}{2} |Z_{GMI}| k g_m V_0^2 (\cos(\varphi))$$

v_F est proportionnelle à la partie réelle de l'impédance complexe du fil GMI.

6. Synthèse

Question 65

Le module Real-Time-Clock est la base de temps du système. C'est le temps qui permet de déterminer la longitude. Il permet également de caler l'éphéméride.

Question 66

Rejet des accélérations parasites (autre que pesanteur). Choc des vagues ou houle sur l'étrave d'un navire, ... Avec un filtrage adaptatif, filtrage de Kalman ce type de perturbation peut être rejeté

Question 67

En plein jour, il n'y a, a priori, qu'un point de repère le soleil. Entre une capture d'image de nuit et de jour, les optiques des caméras doivent être adaptées pour ne pas saturer. La dynamique de mesure est plus grande entre un soleil direct et un soleil voilé par les nuages.

Le soleil seul, circulaire, ne permet pas une orientation des images acquises. Pour lever l'indétermination d'orientation, plusieurs images à différents intervalles de temps (le soleil se déplaçant dans le ciel) sont nécessaires.

C. Commentaires du jury

Le sujet comporte quatre parties principales indépendantes et une partie finale de synthèse. Les parties principales sont constituées de sous-parties indépendantes.

Le jury recommande aux futurs candidats de soigner la présentation de leur copie, en particulier la clarté de l'écriture et le respect de l'ordre des questions. Il insiste sur la vérification systématique de l'homogénéité des résultats.

Les expressions littérales doivent être clairement mises en valeur ainsi que les applications numériques associées. Les résultats ne doivent jamais être donnés sans explication : une application numérique erronée sans justification ne peut être valorisée, même si le raisonnement est correct. Les unités doivent toujours être précisées.

Le jury déplore enfin des lacunes persistantes en électronique de base. Les deux premières parties généralistes ont été mieux traitées que les deux parties suivantes plus spécialisées.

1^{ère} partie : Analyse de la détermination de la verticale locale

Cette partie concerne les performances requises pour la centrale inertielle et plus spécifiquement l'accéléromètre du système de façon à répondre au cahier des charges qui fixe une résolution angulaire de 5 arcsec pour la détermination de la verticale locale.

Les premières questions de mise en confiance concernent des conversions d'unité et de la recherche d'information dans la documentation technique de l'accéléromètre.

La question 2 concerne la différence entre les deux types d'accéléromètres de la documentation technique. Le jury remarque qu'un grand nombre de candidat ne tranche pas pour répondre et se contente de recopier en partie la documentation.

Pour la question 3, le jury est surpris de constater que de nombreux candidats ne connaissent pas les principaux protocoles de communication série et leurs caractéristiques. Ce type de question est présente depuis au moins trois sessions de concours.

Les questions de la 3^{ème} sous-section Performances de l'accéléromètre, interrogeaient les candidats sur les notions de bruit. Extrêmement peu de candidats, deux seulement, ont su formuler correctement l'expression de la densité spectrale de puissance de bruit d'une résistance. Les questions suivantes avaient pour objectif de tester la compréhension d'un système de représentation du bruit pour un accéléromètre, la déviation standard d'Allan, qu'a priori les candidats ne connaissaient pas.

2^{ème} partie : Modélisation de l'accéléromètre

Cette partie qui faisait appel à la modélisation de système du second ordre à partir de la relation fondamentale de la dynamique appliquée au système masse-ressort amorti de l'accéléromètre a plutôt bien été traitée.

Le jury regrette que des candidats inventent des terminologies. Cela a pu être le cas pour la question 13 de cette partie.

La question 19 pouvait présenter un piège avec la masse dont l'unité standard internationale est le kilogramme et non le gramme, peu de candidats sont tombés dans ce piège.

3^{ème} partie : Convertisseur analogique-numérique sigma delta

Cette partie après quelques questions relatives à l'électronique à capacités commutées s'attachait à la modélisation du bruit de quantification du convertisseur sigma-delta en s'appuyant sur l'outil transformée en z.

Le jury s'étonne que des questions élémentaires sur l'erreur de quantification ou la fréquence d'échantillonnage (respect du théorème de Shannon-Nyquist) n'aient pas été traitées correctement par l'ensemble des candidats.

Les améliorations de la résolution liées au sur-échantillonnage ont été assez peu traitées. Certaines des dernières questions de la section, à fort coefficient et nombre de points, volontairement plus difficiles ont été très peu traitées. Les questions 37 à 42 ont été traitées par moins de 20% des candidats.

4^{ème} partie : Compas magnétique numérique pour le cap au Nord

Cette partie détaille le fonctionnement d'un capteur magnétique de l'entreprise PNI. Un matériau magnétique dont la perméabilité varie avec le champ magnétique extérieur constitue le cœur d'une bobine insérée dans un montage oscillateur à relaxation. Par conséquent, la valeur de l'inductance de la bobine, qui dépend du champ magnétique extérieur à mesurer, varie également, ce qui modifie la période des oscillations du montage à relaxation en fonction de la grandeur à mesurer. Les premières questions portant sur la mise en équation de l'oscillateur à relaxation réalisé autour d'un comparateur à hystérésis ont été traitées par plus de 70% des candidats.

Le jury constate que la question 48 sur la différence entre un amplificateur opérationnel et un comparateur n'a été bien traitée que par 3% des candidats. Cette question de culture électronique a été très discriminante.

Le jury déplore que les questions sur une mise en équation différentielle du 1^{er} ordre (question 49) et sur les périodes de charges-décharges d'un circuit RL (question 52) n'aient été bien traitées que par respectivement 3% et 4% des candidats.

Pour la question 55 relative au modèle équivalent de l'inductance, aucun candidat n'a pensé à prendre en compte le signe de l'argument de la fonction arc tangente pour exprimer le résultat. Les questions relatives à la configuration de l'ASIC ont été traitées par moins de 40 % des candidats, mais elles l'ont été de manière satisfaisante lorsqu'elles l'étaient. Les questions 62 à 64 détaillant le principe de la détection synchrone n'ont été correctement traitées que par un quart des candidats. Dès la question 62 portant sur l'expression en régime permanent d'une tension en fonction du module et de l'argument d'une impédance complexe pose problème à de nombreux candidats. Le même style de questions avait été posé l'année précédente.

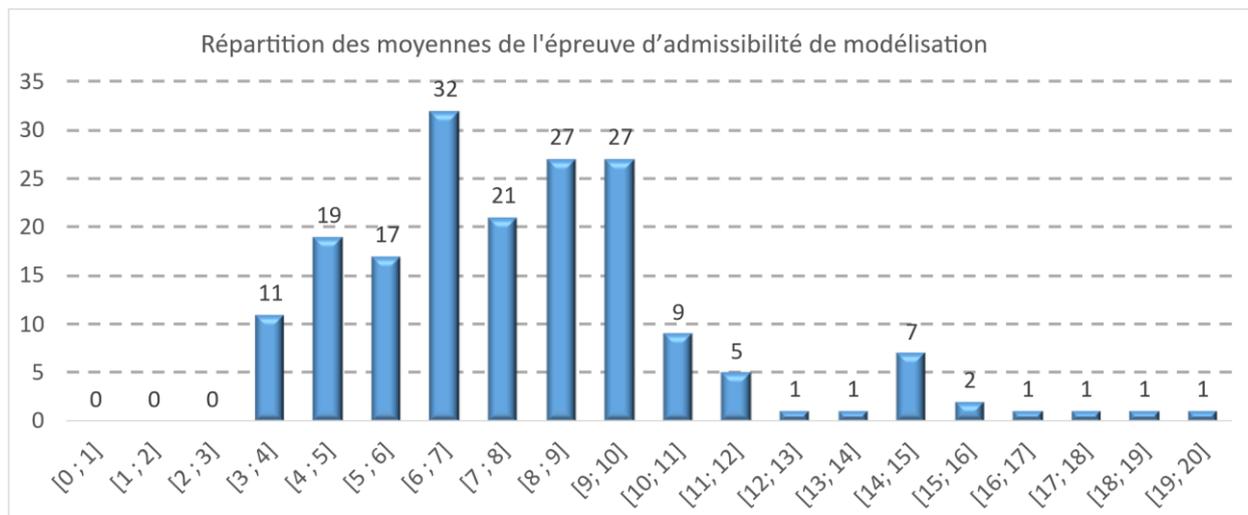
5^{ème} partie : Synthèse

Cette dernière partie permet de vérifier si le candidat est capable de synthétiser et de proposer des innovations issues de sa veille technologique quotidienne.

Le jury s'étonne de voir un grand nombre de candidat recommander d'ajouter un module GPS à un système développé comme une alternative au GPS en cas de brouillage ou de non-couverture en réponse à la question 67.

D. Résultats

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



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

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/15942/download>

Le support de cette épreuve est une borne de recharge rapide pour véhicule électrique. Le sujet aborde la conception de la chaîne de puissance, de la gestion de la charge et de la qualité de l'énergie.



C. Éléments de correction

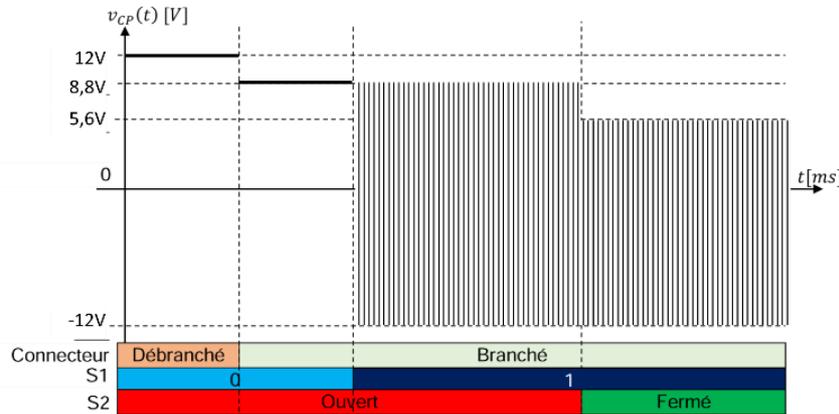
Question 1 : L'extrait de la NF C15-100 indique que les bornes de recharge triphasées acceptent 32A par phase. Donc : $P_{max} = 3.V.I = 3.230.32 = 22 \text{ kW}$

Question 2 : $T_{ch} = \frac{E_u}{P_{max}}$. La documentation du véhicule indique que la capacité utile $E_u = 46,3 \text{ kW}\cdot\text{h}$. Sans autre considération, le temps de charge sur la borne domestique délivrant $P_{max} = 22\text{kW}$ vaudra $T_{ch} = \frac{E_u}{P_{max}} = 2 \text{ h et } 6 \text{ minutes}$. Le temps de charge annoncé étant nettement inférieur, la puissance du chargeur sera donc supérieure à 22 kW : ce chargeur sera obligatoirement externe au véhicule.

Question 3 : Connecteur débranché : $V_{CPA} = V_{CC}$ car il n'y a pas de courant dans R_1 . Connecteur branché : $V_{CPB} = V_{CC} \frac{R_3}{R_1+R_3}$ A.N. : $V_{CPA} = 12 \text{ V}$; $V_{CPB} = 12 \frac{2,74}{1+2,74} = 8,79 \text{ V}$

Question 4 : V_{CPC} L'oscillateur est à l'état bas la diode D est bloquée, il n'y a pas de courant $V_{CPC} = -V_{CC} = -12 \text{ V}$. V_{CPD} , il apparait un diviseur de tension $R_2//R_3, R_1$. $V_{CPD} = V_{CC} \frac{R_2//R_3}{R_1+R_2//R_3} = 12 \frac{0,881}{1+0,881} = 5,62 \text{ V}$

Question 5 :

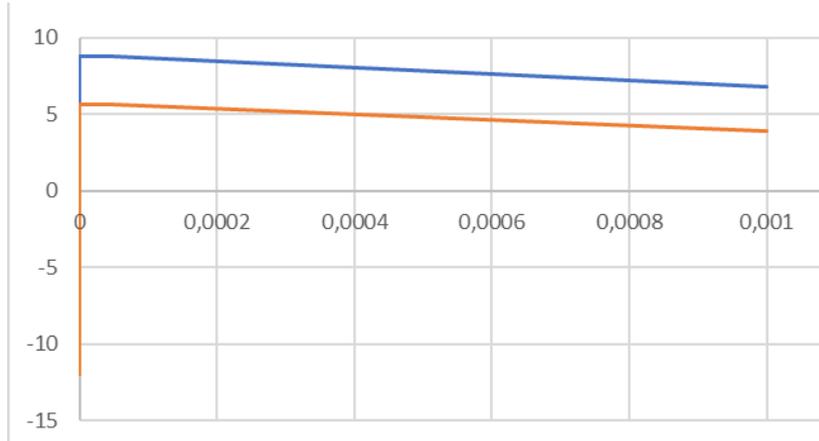


Question 6 : $V_{S2} = V_{C1}$. Tant que l'ALI ne sature pas. C'est un montage suiveur qui ne fonctionnera que si $-V_{sat} < V_{C1} < +V_{sat}$ c'est-à-dire $\pm V_{cc}$ aux tensions de déchets près.

Question 7 : D1 est bloquée si $u_{d1} < 0$ soit $V_{s1} < V_{C1}$ or $V_{S2} = V_{C1}$
 Si $V_{s2} < V_{cp} \Rightarrow V_{s1} = V_{sat+} \rightarrow$ D1 est passante
 Donc si $V_{s2} > V_{cp}$ alors $V_{s1} = V_{sat-} \rightarrow$ D1 Bloquée
 Donc D1 est bloquée si $V_{C1} > V_{cp}$

Question 8 : Dès que D1 conduit C1 se charge jusqu'au blocage de D1 c'est-à-dire dès que $V_{cp} > V_{C1}$; Quand la diode se bloque C1 se décharge à travers R_p . Lors de cette décharge la courbe peut être assimilée à sa tangente à l'origine car $R_p C_1 \gg T$

$$\Delta V_{S2} = \frac{(V_{S2max} + V_{CC})(1 - \alpha)T}{R_p C_1}$$



Question 9 : U_3 fonctionne en régime non-linéaire du fait de l'absence de contre-réaction v_{S3} présente deux états stables : $v_{S3} = +V_{cc}$ ou $v_{S3} = -V_{cc}$. Le changement d'état a lieu quand $V_A = V_{S2}$. V_A s'exprime par le théorème de Millman :

$$V_A = \frac{\frac{V_{cc} + V_{cc}}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}}}{\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}} \Rightarrow V_{S2b} = \frac{R_5(R_6 + R_4)V_{cc}}{R_5R_6 + R_4R_6 + R_4R_5}; V_{S2a} = \frac{R_5(R_6 - R_4)V_{cc}}{R_5R_6 + R_4R_6 + R_4R_5}$$

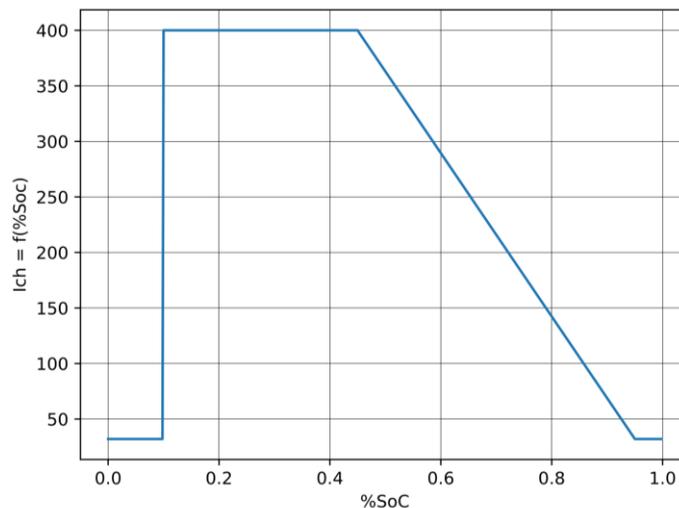
Question 10 : $V_{S2M} = \frac{R_5R_6V_{cc}}{R_5R_6 + R_4R_6 + R_4R_5}$; $\Delta V_{S2m} = \frac{2R_5R_4V_{cc}}{R_5R_6 + R_4R_6 + R_4R_5}$; $\beta = \frac{R_5R_4V_{S2M}}{R_5V_{cc} - (R_5 + R_4)V_{S2M}} = \frac{28 \times 33 \times 6,3}{33 \times 12 - (33 + 28) \times 6,5} = 470 \text{ k}\Omega$

$$\Delta V_{S2m} = \frac{2R_5R_4V_{cc}}{R_5R_6 + R_4R_6 + R_4R_5} = \frac{2 \times 33 \times 26 \times 12}{33 \times 446 + 26 \times 446 + 26 \times 33} = 0,75 \text{ V}$$

Les deux seuils du trigger sont à 5,91 V et 6,66 V ; les valeurs de V_{S2} reportées depuis la question 8 quand S2 est fermé est de 5,62V et quand il est ouvert de 6,81 V les deux seuils sont inclus dans cette fourchette. Ce montage permet bien de détecter l'état de S2.

Question 11 : $duree = duree + h / Pc * C_{neuve} * SoH * 3600$

Question 12 :



Question 13 : $T_c(\%SoC) = \frac{3600 \cdot C_u \cdot dSoC}{P_c(\%SoC)}$

Question 14 : Charge de 20% à 80% :

$$TDC_{20 \rightarrow 80} = 3600 \cdot C_u \int_{0,2}^{0,8} \frac{dSoC}{P_c(\%SoC)} = 3600 \times 1000 \cdot C_u \left(\int_{0,2}^{0,45} \frac{dSoC}{400 \times 350} + \int_{0,45}^{0,8} \frac{dSoC}{350(731 - 736 SoC)} \right) = 3600 \times 1000 \cdot C_u \left(\left[\frac{0,45 - 0,2}{400 \times 350} \right] + \frac{1}{350 \times 736} \left(\ln \left(\frac{736}{731 - 736 \times 0,8} \right) - \ln \left(\frac{736}{731 - 736 \times 0,45} \right) \right) \right) = 1670 \text{ s soit environ 28 min}$$

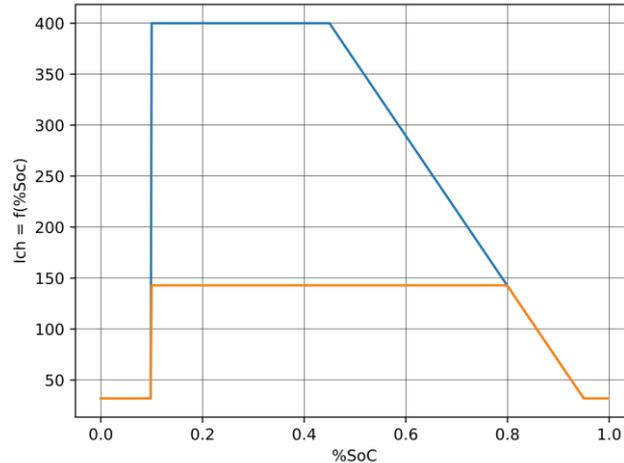
Charge de 80% à 100% :

$$TD_{C_{80 \rightarrow 100}} = 3600 \times 1000 \cdot C_u \int_{0,8}^1 \frac{dSoC}{P_c(\%SoC)} = 3600 \times 1000 \cdot C_u \left(\int_{0,8}^{0,95} \frac{dSoC}{350(731-736 SoC)} + \int_{0,95}^1 \frac{dSoC}{32 \times 350} \right) = 3600 \times 1000 C_u \frac{1}{350 \times 736} \left(\ln \left(\frac{736}{731-736 \times 0,95} \right) - \ln \left(\frac{736}{731-736 \times 0,8} \right) + \left[\frac{1-0,95}{32 \times 350} \right] \right) = 2960 \text{ s soit } \underline{49 \text{ min}}$$

Question 15 : Le courant de charge est limité à $50.10^3/350 = 142,85 \text{ A}$

Il le sera jusqu'à un SoC de 80%

Alors $3600 \times 1000 \cdot C_u \left(\left[\frac{0,8-0,2}{142,85 \times 350} \right] \right) = 3456 \text{ s soit environ } 58 \text{ min}$



Question 16 : $80-20 = 60\%$ soit $0.6 \times 80 = 48 \text{ kWh}$ ce qui correspond à 282 km . Parcours en 130 min auxquelles il faut ajouter 28 min de charge. Ce qui amène à une vitesse moyenne de 106 km/h recharger de 20 à 100% serait une erreur de stratégie : $0.8 \times 80 = 64 \text{ kWh}$ 376 km parcouru en 173 min auquel il faut ajouter 77 min de charge et donc une moyenne de 90 km/h

Question 17 : La Ioniq 6 peut charger à 233 kW la borne affecte donc $233/20 = 11,65$ c'est à dire $N_{m1} = 12$ modules

La consigne de courant de chaque module est donc de $I_{chm1} = 233000/12/697 = 27,85 \text{ A}$ ($> 5 \text{ A}$)

Question 18 : La puissance totale demandée $233 + 150 = 380$ dépasse les 300 kW de la borne une répartition $61\% - 39\%$ soit $N_{m1} = 9$ et $N_{m2} = 6$ le véhicule 1 obtient 180 kW max avec $I_{chm1} = 28,7 \text{ A}$ le deuxième véhicule dispose de $6 \times 20 \text{ kW}$ soit 120 kW et $I_{chm2} = 50,5 \text{ A}$

Question 19 : La borne en mode dégradé dispose de 12 modules opérationnels soit $12 \times 20 = 240 \text{ kW}$ la répartition passe à $7 + 5$ soit $140 \text{ kW} + 100 \text{ kW}$ les consignes ne changent pas, le courant par prise diminue. Les modules les plus sollicités en courant le sont encore, certainement ceux qui chauffent le plus. La granularité de ces bornes permet toutefois de maintenir un service en mode dégradé.

Question 20 :

Intervalle	SW ₁	SW ₂	SW ₃	SW ₄	DA/D _D	DB/D _C	v _P [V]	v _S [V]	v _{BRIDGE} [V]
$0 < t < \phi$	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	V _{DC}	k.V _{DC}	k.V _{DC}
$\phi < t < \frac{T_{PSFB}}{2}$	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	0	0	0
$\frac{T_{PSFB}}{2} < t < \frac{T_{PSFB}}{2} + \phi$	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	-V _{DC}	-k.V _{DC}	k.V _{DC}
$\frac{T_{PSFB}}{2} + \phi < t < T_{PSFB}$	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	0	0	0

Question 21 : $F_L = 2 \cdot F_{PSFB}$

La tension $v_{BRIDGE moy} = V_{BATT}$ car, en régime permanent, la tension moyenne aux bornes de L_0 est nulle. On exprime cette dernière tension moyenne :

$$v_{L0 moy} = \frac{1}{T_{PSFB}} \cdot \int_0^{\frac{T_{PSFB}}{2}} v_{BRIDGE} \cdot dt - V_{BATT} = k \cdot V_{DC} \cdot \frac{\phi}{\frac{T_{PSFB}}{2}} - V_{BATT}$$

$$v_{L0 moy} = 2 \cdot k \cdot V_{DC} \cdot \phi \cdot F_{PSFB} - V_{BATT}$$

Question 22 : On égale cette tension à 0 car une inductance parfaite en régime permanent n'a pas de tension moyenne à ses bornes :
 $2 \cdot k \cdot V_{DC} \cdot \phi \cdot F_{PSFB} - V_{BATT} = 0$

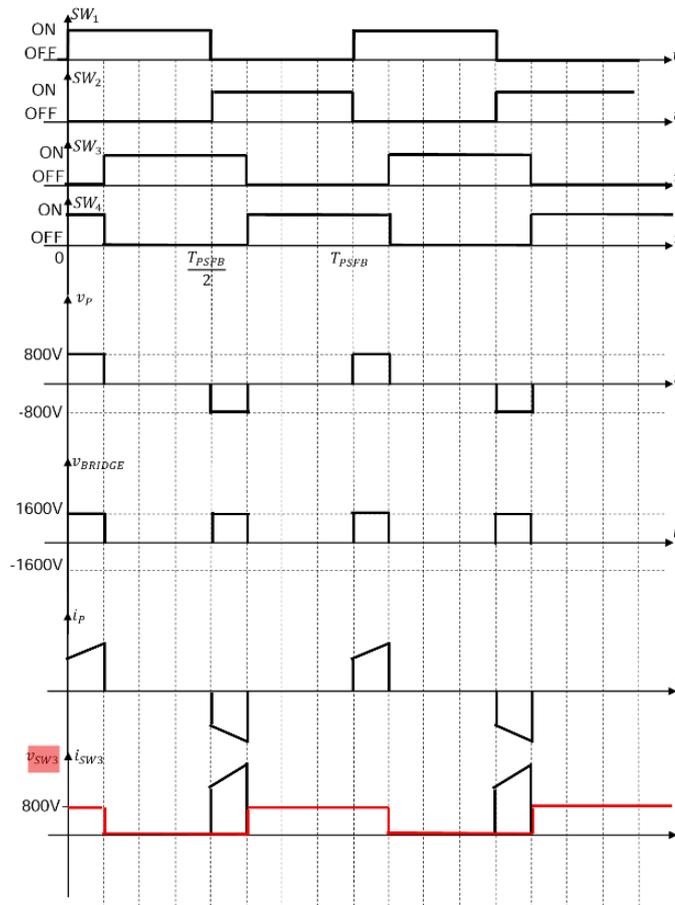
$$V_{BATT} = 2 \cdot k \cdot V_{DC} \cdot \phi \cdot F_{PSFB}$$

$$\phi = \frac{V_{BATT}}{2 \cdot k \cdot V_{DC} \cdot F_{PSFB}} = 2,5 \mu S$$

Question 23 : $I_{L_{O moy}} = \frac{P_{BATT}}{V_{BATT}} = 50A$ $\Delta i_{LO} = \frac{k \cdot V_{DC} - V_{BATT}}{L_0} \cdot \phi$

Question 24 : On veut $\Delta i_{LO} = 5 A \rightarrow 2,5 = \frac{2.800-400}{L_0} \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = \frac{0,003}{L_0}$
 $\rightarrow L_0 = 600 \mu H$

Question 25 :



Question 26 : On détermine $W_{L moy} = \frac{1}{2} \cdot L_0 \cdot I_{L_{O moy}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 600 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2 = 0,75 J$
 Cette énergie est stockée dans 2 tores empilés. Chaque tore en emmagasine donc la moitié :
 $W_{T moy} = 0,375 J = 375000 \mu J$

La courbe de la documentation donne : $NI = 3000 A.T$. Le courant moyen valant 50A $\rightarrow N = 60$ spires.

Question 27 : Le DT donne des pertes de 26mW/cm³ pour une fréquence de 100kHz. Chaque tore a un volume égal à 173 cm³, donc les pertes fer totales s'élèvent à $p_f = 9 W$

Question 28 : Le courant efficace dans l'inductance vaut près de 50A répartis dans 12 fils. Chaque fil fera donc circuler 4,16A. La section du fil doit donc être supérieure à 1,7mm². On choisira l'AWG14 de section 2,1mm².

La résistance d'une spire pour un fil vaudra $R_{spire fil} = \frac{3,76 \cdot 10^{-9}}{2,1 \cdot 10^{-6}} = 1,8 m\Omega$.

Il y a 60 spires avec 12 fils en parallèle. La résistance du bobinage vaudra : $R_w = \frac{60 \cdot R_{spire fil}}{12} = 9 m\Omega$.

Les pertes dans le bobinage vaudront donc : $p_w = R_w \cdot I_{L0}^2 = 22,4W$.

Les pertes totales dans l'inductance valent $p_w + p_f = 31,4W$, ce qui correspond à moins de 0,2% de pertes de rendement dans l'inductance.

Question 29 : La tension v_{SW3} passe de 600V à 0V, et le courant de 0A à 75A en un temps égal à 16ns. Cela correspond à 21ns pour passer de 0 à 100A.

$$\text{Donc } v_{SW3} = 800 - \frac{800}{21 \cdot 10^{-9}} t \quad \text{et } i_{SW3} = \frac{100}{21 \cdot 10^{-9}} t$$

$$\text{Les pertes instantanées s'expriment : } p_{SW3} = 800 \cdot \frac{100}{21 \cdot 10^{-9}} t - \frac{800}{21 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{100}{21 \cdot 10^{-9}} \cdot t^2$$

Les pertes seront maximums au bout de 10,5ns

$$\rightarrow p_{SW3MAX} = 800 \cdot \frac{100}{21 \cdot 10^{-9}} \cdot 10,5 \cdot 10^{-9} - \frac{800}{21 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{100}{21 \cdot 10^{-9}} \cdot (10,5 \cdot 10^{-9})^2$$

$$\rightarrow p_{SW3MAX} = 40000 - 20000 = 20kW$$

Question 30 : $i_P = i_{SW4} - i_{SW3}$ (0)

Or :

$$i_{SW3} = C_{OSS} \cdot \frac{dv_{SW3}}{dt} \quad (1)$$

$$i_{SW4} = C_{OSS} \cdot \frac{dv_{SW4}}{dt} \quad (2)$$

$$V_{DC} = v_{SW3} + v_{SW4} \quad (3)$$

$$\text{En dérivant (3) : } \frac{dv_{SW3}}{dt} + \frac{dv_{SW4}}{dt} = 0 \rightarrow \frac{dv_{SW3}}{dt} = -\frac{dv_{SW4}}{dt} \quad (4)$$

$$\text{En remplaçant (1) et (2) dans (0) : } i_P = C_{OSS} \cdot \frac{dv_{SW4}}{dt} - C_{OSS} \cdot \frac{dv_{SW3}}{dt}$$

En utilisant (4) dans l'expression précédente :

$$i_P = -2 \cdot C_{OSS} \cdot \frac{dv_{SW3}}{dt} \quad (5)$$

Durant cette phase, on a aussi : $L_R \cdot \frac{di_P}{dt} = v_{SW3}$

En dérivant (5) et en réinjectant dans l'équation ci-dessus, on obtient une équation différentielle du second ordre déterminant l'évolution de v_{SW3} :

$$-2 \cdot L_R \cdot C_{OSS} \frac{d^2 v_{SW3}}{dt^2} - v_{SW3} = 0$$

$$\rightarrow 2 \cdot L_R \cdot C_{OSS} \frac{d^2 v_{SW3}}{dt^2} + v_{SW3} = 0$$

Il est peut-être plus rapide de passer par les transformations de Laplace pour obtenir cette équation différentielle.

Question 31 : Equation caractéristique : $2 \cdot L_R \cdot C_{OSS} \cdot r^2 + 1 = 0$

$$\Delta = -8 \cdot L_R \cdot C_{OSS}$$

$$\text{Solutions : } r_{1,2} = \pm j \cdot \frac{\sqrt{8 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}}{4 \cdot L_R \cdot C_{OSS}} = \pm j \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}}$$

$$v_{SW3} = \lambda \cdot \cos(\beta \cdot t) + \mu \cdot \sin(\beta \cdot t) \quad \text{avec } \beta = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}}$$

(pour information : $v_{SW3} = V_{DC} \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{1}{2 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}} \cdot t\right) - I_{PP} \cdot \sqrt{\frac{L_R}{2 \cdot C_{OSS}}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{1}{2 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}} \cdot t\right)$; I_{PP} = condition initiale sur le courant).

Le passage par 0 de la tension a lieu au bout d'un quart de période. Donc $t_{DTmin} = \frac{\pi}{2 \cdot \beta}$

$$t_{DTmin} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot L_R \cdot C_{OSS}}$$

La documentation du pont donne $C_{OSS} = 0,33nF$ donc $t_{DTmin} = 63,8ns$

Question 32 : Le fonctionnement ZVS permet diminuer les pertes (donc refroidissement plus aisé) et d'augmenter la fréquence du convertisseur de manière à réduire son encombrement.

Question 33 :

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{300000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 433A$$

Question 34 :

$I'_z = \frac{I_B}{K} = \frac{433}{0.78} = 555A$ Donc chaque conducteur sera parcouru par 277A. D'après le tableau, on trouve 185mm² par conducteur.

Question 35 :

PFC → tension et courant en phase

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} = \frac{1}{2} \cdot 2,35 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{20}{185 \cdot 10^{-6}} = 1,27m\Omega$$

$$X = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 0,09 = 0,9 m\Omega$$

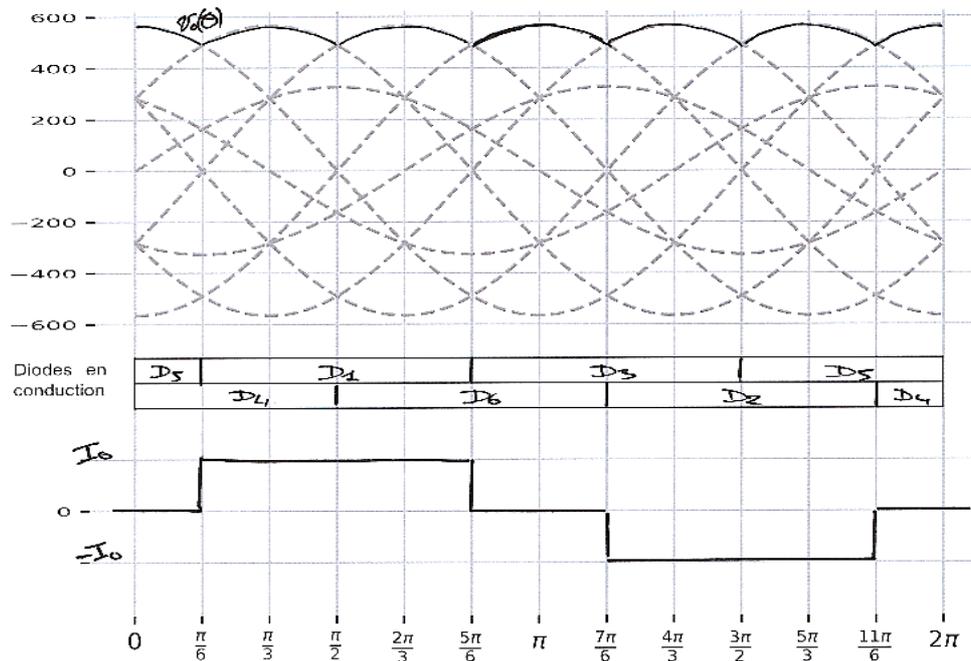
Dans notre cas, la borne contient un PFC maintenant $\cos \varphi = 1$

$$\Delta V = I_B \cdot [R_p \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi] = 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot 433 = 0,5V; \Delta V_{\%} = 100 \cdot \frac{0,5}{230} = 0,24\%$$

Comparaison avec le tableau : celui-ci indique un $\Delta U=0,22V/A/km$ pour un câble 185mm² avec un $\cos \varphi = 1$; $\Delta U=0,22 \cdot 433 \cdot 0,02=1,9V$; Or le câble est constitué de 2 conducteurs de 185mm². : $\Delta U=0,95V$

Il s'agit ici de $\Delta U \rightarrow \Delta V_{\%} = 100 \cdot \frac{0,95}{400} = 0,24\%$; On retrouve bien la chute de tension dans ce câble double.

Question 36 :



Question 37 : $I_{1eff} = I_0 \sqrt{\frac{2}{3}}$

Question 38 : En tenant compte des symétries et de la parité de i_1 l'amplitude des harmoniques b_{2k+1} donnent pour chaque valeur de k la valeur efficace :

$$I_{1k} = \frac{2\sqrt{2}I_0}{(2k+1)\pi} \cos\left((2k+1)\frac{\pi}{6}\right)$$

Question 39 : I_{10} est la valeur efficace du fondamental $I_{10} = \frac{I_0\sqrt{6}}{\pi}$; par Parseval on obtient $THD_F =$

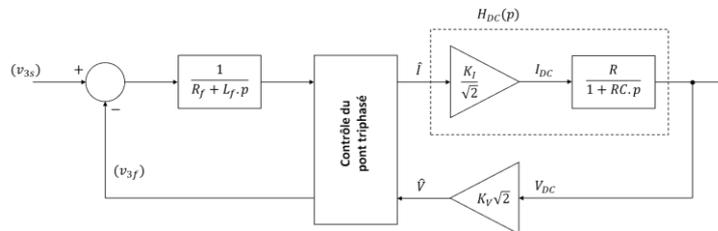
$$\sqrt{1 - \frac{9}{\pi^2}} = 0,297$$

Question 40 : La contribution des rangs 5 et 7 correspondent à $k = 2$ et $k = 3$ elle s'exprime par $\frac{2\sqrt{3}}{(2k+1)\pi} \left| \cos\left((2k+1)\frac{\pi}{6}\right) \right|$ soit 19 % et 13,6 % pour les rangs 5 et 7 très supérieure au 4% de la norme.

Question 41 : Il n'y a pas de puissance fluctuante en triphasé. La puissance instantanée est égale à la puissance moyenne et vaut donc $p(t) = 3V_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi$ et si les courants sont en phase avec les tensions, on a simplement $p(t) = 3V_f \cdot I_f$. Et du côté DC, on a $p(t) = v_{DC}(t) \cdot i_{DC}(t) = V_{DC} \cdot i_{DC}(t)$. Les deux puissances sont supposées égales avec un convertisseur idéal (sans pertes). On peut donc poser une expression constante du courant $i_{DC}(t) = I_{DC} : i_{DC}(t) = \frac{3V_f I_f}{V_{DC}}$

Question 42 : On pose le lien entre tensions AC et DC : $V_f = K_V \cdot V_{DC}$ (gain contrôlable avec la MLI utilisée pour le pilotage du convertisseur). On peut alors établir un gain en courant K_I en utilisant la relation établie à la question précédente : $K_I = 3K_V$

Question 43 :

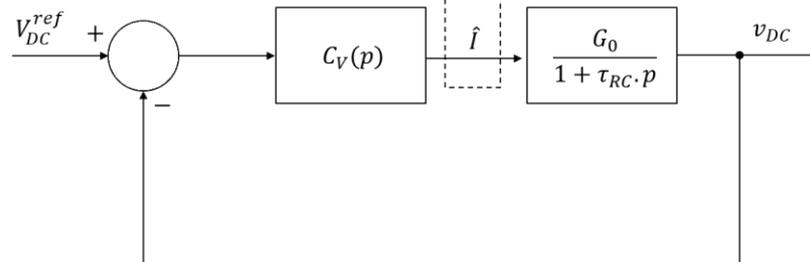


Question 44 : Les données numériques nous permettent de calculer $K_V = \frac{230}{650} \approx 0.354$ donc $\frac{K_I}{\sqrt{2}} \approx 0.751$; La fonction de transfert recherchée est :

$$H_{DC}(p) = \frac{\frac{K_I}{\sqrt{2}} R}{1 + RCp} = \frac{G_0}{1 + \tau_{RC}p}$$

Avec $G_0 = 0.751 \Omega$ et $\tau_{RC} = 47$ s (pulsation correspondante : 0.0213 rad/s)

**Boucle de courant
(supposée parfaite)**



On règle le correcteur $C_V(p)$ par compensation de pôle en posant $T_{IV} = RC$. Il s'agit ensuite de régler K_{PV} pour obtenir une constante de temps en boucle fermée égale à $RC/10$. Or, la fonction de transfert en boucle ouverte $T_{BO}(p)$ vaut

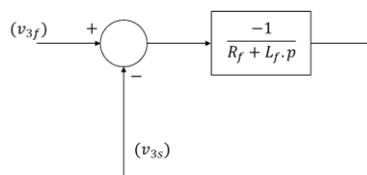
$$T_{BO}(p) = \frac{K_{PV} \cdot G_0}{RCp}$$

Soit en boucle fermée

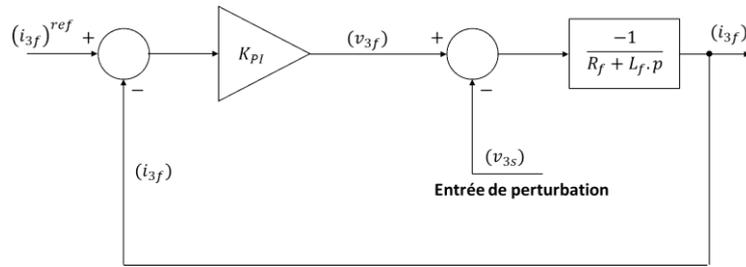
$$T_{BF}(p) = \frac{T_{BO}(p)}{1 + T_{BO}(p)} = \frac{1}{1 + \frac{RCp}{K_{PV} \cdot G_0}}$$

Il faut donc $K_{PV} \cdot G_0 = 10$ soit $K_{PV} = 133 \mu S$.

Question 45 :



Question 46 :



La fonction de transfert en boucle fermée est du premier ordre et pour atteindre une fréquence de coupure de 1 kHz, il faut régler $K_{PI} = -0.628$.

Question 47 : La fonction de transfert en boucle fermée est alors égale à

$$T'_{BF}(p) = \frac{0.998}{1 + T_{BF}p}$$

Avec $T_{BF} = 159 \mu s$.

Le déphasage introduit par cette fonction de transfert vaut donc $-\arctan(T_{BF}\omega)$. On peut donc le calculer pour les différentes fréquences indiquées (la composante fondamentale et les premiers harmoniques à traiter) :

@50Hz : -0.0499 rad (-2.8°)

@250Hz : -0.245 rad (-14°)

@350Hz : -0.336 rad (-19°)

On voit donc que les premiers harmoniques ne peuvent pas être parfaitement suivis à cause du déphasage introduit.

Question 48 :

$$(x_3) = \hat{X}.C_{32}.P(\omega_0 t). \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

On en déduit que les composantes de Clarke s'expriment comme suit :

$$(x_{\alpha\beta}) = \hat{X}.P(\omega_0 t). \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \hat{X}. \begin{pmatrix} \cos \omega_0 t \\ \sin \omega_0 t \end{pmatrix}$$

Et les composants de Park sont :

$$(x_{dq}) = \hat{X}. \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Question 49 :

Les phaseurs sont liés par

$$\underline{r}(t) = e^{j\omega_0 t}$$

Dans le domaine fréquentiel, on a

$$\underline{X}_{\alpha\beta}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{x}_{\alpha\beta}(t). e^{-j\omega t}. dt$$

Et

$$\underline{X}_{dq}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{x}_{dq}(t). e^{-j\omega t}. dt$$

Or, on peut remplacer $\underline{x}_{\alpha\beta}(t)$ par $\underline{r}(t). \underline{x}_{dq}(t) = e^{j\omega_0 t}. \underline{x}_{dq}(t)$ dans la première expression :

$$\underline{X}_{\alpha\beta}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j\omega_0 t}. \underline{x}_{dq}(t). e^{-j\omega t}. dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{x}_{dq}(t). e^{-j(\omega - \omega_0)t}. dt = \underline{X}_{dq}(\omega - \omega_0)$$

Ou par réciprocity

$$\underline{X}_{dq}(\omega) = \underline{X}_{\alpha\beta}(\omega + \omega_0)$$

Cette opération effectue donc une translation de spectre.

Question 50 :

Un correcteur PI encapsulé dans une transformation de Park peut donc être vu comme un correcteur dont la fonction de transfert est réexprimée en fonction de $\omega - \omega_0$.

En effet, on a

$$C_{PI}(j\omega) = K_{PI} \frac{1 + T_I \cdot j\omega}{T_I \cdot j\omega}$$

Et donc

$$C_{\alpha\beta}(j\omega) = K_{PI} \frac{1 + T_I \cdot j(\omega - \omega_0)}{T_I \cdot j(\omega - \omega_0)}$$

On constate alors que le correcteur a un gain infini à la pulsation ω_0 et permettra, sous réserve de stabilité de suivre une consigne sinusoïdale à cette fréquence.

Question 51 : Le bloc 1 consiste uniquement à extraire les composantes du vecteur obtenu en sortie de l'algorithme de FFT (FFT : Transformée de Fourier Rapide) à la fréquence souhaitée.

Dans le cas du bloc n°2, il faut en plus ne pas oublier d'appliquer un signe « - » pour pouvoir absorber avec le filtre actif un courant en opposition de phase avec celui de la charge polluante.

A noter qu'il y a une superposition entre plusieurs contrôles : non seulement pour chaque harmonique (avec la possibilité d'une compensation sélective – ce qui permet de ne pas surdimensionner le circuit de puissance en compensant plus d'harmoniques que nécessaire). En outre, il y a un contrôle de la tension de bus continu avec la composante fondamentale des courants en entrée du filtre actif (cf. question 45)

Question 52 :

- Prise en compte d'éléments supplémentaires dans le modèle : impédances de ligne
- Prise en compte de l'impact des inductances de lissage entre réseau et filtre actif
- Mise en œuvre d'une PLL pour se synchroniser avec les tensions réseau
- Modifier la MLI pour le contrôle du filtre actif
- Remise en cause de la structure de la charge (remplacer le PD3 à diodes par un redresseur MLI).
- Filtre passif (piège à harmonique) ?

D. Commentaires du jury

Le sujet de cette épreuve était structuré en trois grandes parties indépendantes, elles-mêmes subdivisées en blocs thématiques cohérents. La progression des questions était construite pour aller du plus accessible vers le plus exigeant, en valorisant la capacité des candidats à identifier et mobiliser rapidement les notions fondamentales du programme.

Le jury recommande aux futurs candidats de soigner la présentation de leur copie, en particulier la clarté de l'écriture et le respect de l'ordre des questions. Il insiste sur la vérification systématique de l'homogénéité des résultats.

Les expressions littérales doivent être clairement mises en valeur ainsi que les applications numériques associées. Les résultats ne doivent jamais être donnés sans explication : une application numérique erronée sans justification ne peut être valorisée, même si le raisonnement est correct. Les unités doivent toujours être précisées.

A propos du sujet

Partie A – Recharge rapide

Domaine : Électronique appliquée / Dialogue véhicule-borne

- Exploiter efficacement les circuits de détection logique : diviseurs de tension, diodes, comparateurs.
- Maîtriser les conditions de saturation, fonctionnement suiveur et non-linéaire des ALI.
- Conseil : connaître les montages à base d'ALI, les conditions de conduction des diodes.

Domaine : Gestion énergétique et prévision de charge

- Savoir modéliser la relation puissance-énergie-temps dans un contexte véhicule électrique.
- Lire et interpréter un algorithme de calcul en Python.
- Conseil : Analyser les documents et faire preuve de bon sens en ce qui concerne la recharge et la planification.

Partie B – Convertisseurs modulaires

Domaine : Électronique de puissance

- Identifier rapidement les structures de type PSFB, les principes de répartition de puissance.
- Calculer les consignes de courant pour des charges réparties dynamiquement, loi des noeuds.
- Conseil : maîtriser les topologies classiques et les logiques de commande des convertisseurs statiques à MOSFET ou IGBT.

Domaine : Dimensionnement magnétique

- Calculer une inductance, déterminer un nombre de spires à partir des pertes et densité de flux.
- Choisir une section de fil adaptée à la densité de courant admissible.
- Conseil : savoir exploiter une fiche technique pour l'utiliser dans le cadre d'une conception.

Partie C – Régulation et traitement du signal

Domaine : Automatique / Régulation

- Traduire une exigence fréquentielle en fonction de transfert, utiliser des correcteurs PI.
- Appliquer les transformations de Clarke/Park pour le filtrage et la commande.
- Conseil : revoir le lien entre déphasage, bande passante et réponse temporelle.

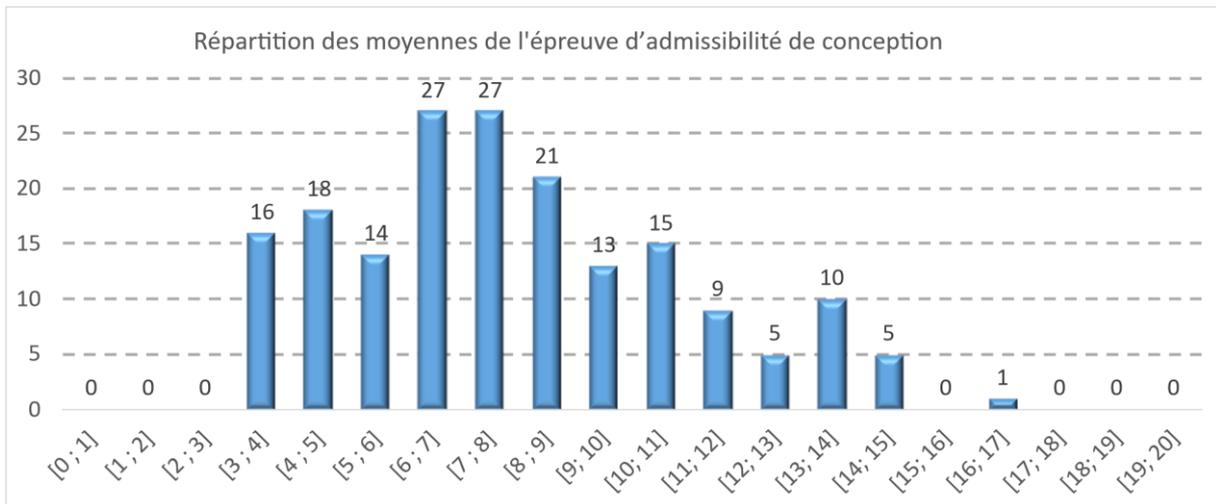
Synthèse des bonnes pratiques

- Lire tout le sujet au début pour repérer les blocs abordables.

- Maîtriser les fondamentaux du Génie Electrique (diviseur de tension, puissance instantanée, active en continu, instantané, monophasé et triphasé, régulation, asservissement, conversion d'énergie ...).
- Soigner la rédaction (hypothèses explicites, résultats encadrés), effectuer les applications numériques quand elles sont demandées.
- S'entraîner régulièrement sur des sujets corrigés.

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.devenirenseignant.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.

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 de la séquence imposée ;
- 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'examinateur 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 ;

- prendre en compte les propositions alternatives faites par le jury.

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 2025 étaient les suivants :

- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- maquette didactisée d'un bras de pelleteuse ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- exosquelette contre le mal de dos ;
- 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. Il n'est pas rare que des candidats ne se réfèrent pas du tout aux programmes en vigueur. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la troisième partie de la première phase sont souvent reprises

dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

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

- **Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats**

Phase 1 – Première partie : réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences et connaissances visées sont peu ciblées, voire non identifiées ;
- 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. Une lecture attentive et le respect des consignes fournies doit permettre d'avancer efficacement dans les activités de prise en main proposées. Le jury recommande aux candidats 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 s'appuient 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, modelleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation, environnements de programmation...).

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

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

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

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires de SI, STI2D et 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. Les éventuelles remédiations doivent être précisées.

Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle

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

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

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

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

Le jury est amené à proposer des mises en situation permettant de vérifier la capacité du candidat à prendre en compte les conditions d'exercice de son métier futur (travail en équipe pédagogique, personnels ressources dans les établissements, construction des parcours des élèves et étudiants, etc.).

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. Quelques candidats ont fait le choix de s'appuyer sur des propositions émanant d'intelligences artificielles génératives. Cet étayage n'apporte pas de plus-value dans la mesure où il n'est pas accompagné des justifications appropriées quant aux choix pédagogiques et didactiques opérés.

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

présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

Conclusion

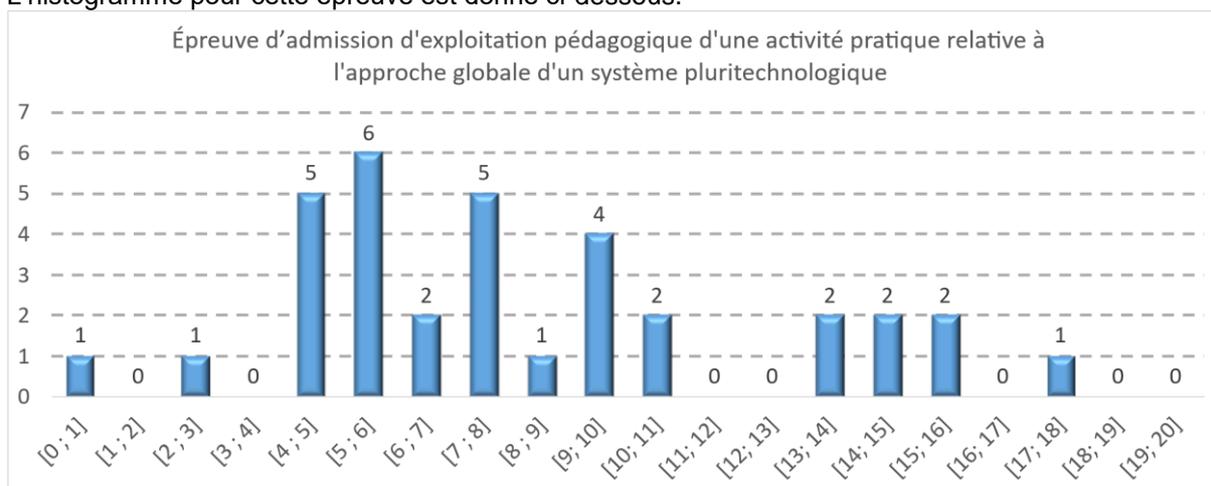
L'augmentation du nombre de candidats présentant un niveau très insuffisant révèle leur impréparation à une épreuve qui est exigeante. Les candidats en capacité de mener à la fois des expérimentations rigoureuses et une réflexion pédagogique approfondie ont été très peu nombreux.

La session 2025 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 aux candidats 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 8,28/20. L'écart-type est de 4,17/20. La meilleure note est 16,6. La plus faible est 0,9. La médiane est de 7,15.

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



D. Exemple de sujet

Volet roulant solaire

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’appropriier 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	Comment les nouvelles technologies peuvent-elles améliorer l'habitat ?	Comment optimiser l'utilisation de l'énergie de façon autonome tout en respectant l'environnement ?
Niveau de formation visé	STI2D enseignements communs de 2I2D en Terminale	
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 : - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ;	
		- systèmes variés de chauffage ; - système d'éclairage communicant de salles de spectacles ; - thermostat connecté et intelligent ; - pompe à chaleur ; - ...
Effectif	Classe de 24 élèves, groupe à effectif réduit de 12 élèves	
Volume horaire	12 heures hebdomadaires (2h à effectif complet + 10h à effectif réduit)	

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

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme IT-I2D-2I2D.pdf) ;
- des documents d’accompagnement (dossier Ressources Pédagogiques STI2D) ;
- une proposition de séquences adaptées au niveau de formation visé (fichier Progression didactique STI2D.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 :

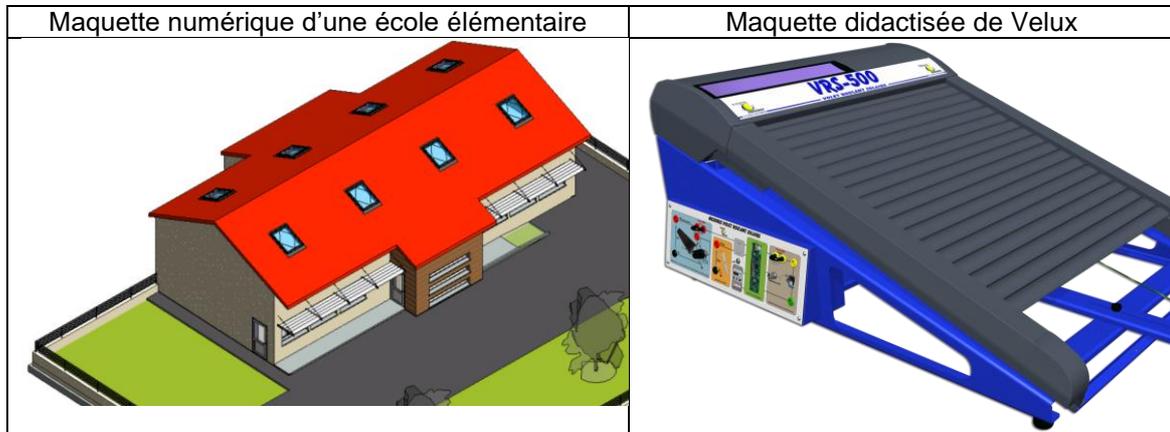
- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition 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’appropriier l’environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :
la maquette numérique d’une école élémentaire sous ArchiWizard ;

- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et du sous-système développement durable ;
- des appareils de mesures (multimètre et thermomètre) ;
- la documentation technique des différents constituants du banc didactique combiné ;
- trois modèles de simulation Matlab « VRS_S_model », « simumaquette » et « simubatiment ».



Le contexte d'étude est celui d'une commune décidant de créer une nouvelle classe au premier étage dans les combles de son école maternelle / primaire (voir plans au DT1).

L'architecte souhaite favoriser au maximum l'éclairage naturel grâce à des Velux tout en maîtrisant le confort d'été en optimisant les besoins en chauffage et en éclairage.

Il souhaite notamment respecter la cible 10 « confort visuel » du label HQE (Haute Qualité Environnementale) préconisant un environnement intérieur satisfaisant sur le plan visuel sous une forme plus qualitative que quantitative.

L'accent est mis sur l'accès à la lumière naturelle avec la recherche de l'équilibre des luminances et la limitation de l'éblouissement ; l'indicateur opérationnel retenu est le facteur de lumière du jour (FLJ minimum de 2,5 % dans les bureaux et 2 % dans l'enseignement). Des données sur l'éclairage sont fournies par le DT3.

L'éclairage artificiel, conçu pour fonctionner en l'absence d'éclairage naturel ou en appoint de ce dernier, distingue comme indicateurs opérationnels :

- le niveau d'éclairage moyen à maintenir selon les usages (300 lux dans les bureaux, 300 lux dans les salles de classes primaire et secondaire et 500 lux dans les salles de cours du soir et d'enseignement pour adultes) ;
- le facteur d'uniformité (0,7 à 0,8 suivant l'implantation) ;
- l'équilibre de luminance et la limitation de l'éblouissement direct des sources d'éclairage ;
- la température de couleur et le rendu des couleurs.

La conception du bâtiment considéré amène, de plus, l'architecte à considérer les matériaux utilisés pour optimiser les échanges thermiques et ainsi la consommation énergétique globale du bâtiment.

Activité 1 Découverte de la maquette de l'école élémentaire

En suivant le protocole expérimental 1 (DT2) et en complétant le document réponse DR1, relever les grandeurs principales caractérisant les besoins de chauffage et d'éclairage, le confort d'été, l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel de la salle de classe située dans les combles du bâtiment. Indiquer dans quelle mesure la cible 10 du label HQE est respectée.

Activité 2 Exploitation de la maquette de l'école élémentaire

À partir de vos données et du DT4, formuler des hypothèses sur l'influence du nombre de Velux, du type de vitrage et de la composition des parois de la salle sur les paramètres relevés précédemment.

Le système instrumenté à disposition se compose :

- d'un banc didactique VRS 500 ;
- d'une maquette instrumentée simulant un local permettant de mesurer :

- la température intérieure du local, notée T_{int} , à l'aide d'un capteur Grove MCP9808 ;
- l'éclairage du local, notée E_L , à l'aide d'un capteur Grove LS06-S ;
- les températures de surface de la vitre, notées respectivement T_{si} et T_{se} à l'aide de sondes de température PT1000.

Dans une habitation, l'installation d'un volet roulant automatisé nécessite, dans la pièce considérée, la présence d'un capteur d'éclairage, ainsi que celle d'un capteur de température.

Deux environnements virtuels sont disponibles (raccourcis sur le bureau) :

- VRS-500_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture du banc didactique ;
- VRS-500_DD_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture de la maquette instrumentée simulant un local.

Activité 3 Découverte du banc de mesure

Ouvrir le volet à l'aide de la télécommande afin de localiser les différents éléments du système instrumenté décrit ci-dessus. À partir de vos observations, de l'environnement virtuel VRS-500_EMP disponible sur le bureau (menu « le produit », puis « Description SSL-CK02 », puis « détail du mécanisme ») du sous-système volet roulant et du 2^{ème} environnement virtuel VRS-500_DD_EMP, compléter le document réponse DR2 en indiquant les différents sous-systèmes formant la chaîne de puissance et la chaîne d'information :

- du dispositif de gestion de l'éclairage du local ;
- du dispositif de régulation de température intérieure du local.

Compléter les flux des chaînes de puissance et d'information.

Indiquer par ailleurs les différents composants présents faisant partie de la didactisation du banc d'étude, mais n'intervenant pas dans la gestion de l'éclairage ou la régulation de la température du local.

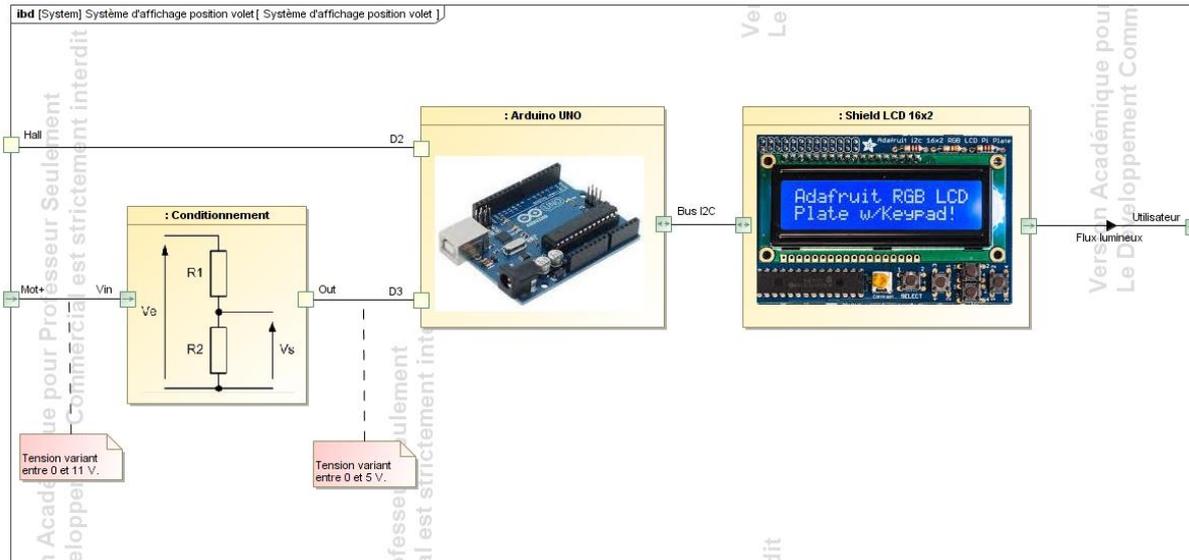
Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique : Comment optimiser l'éclairage naturel et artificiel, ainsi que la température d'un local ?

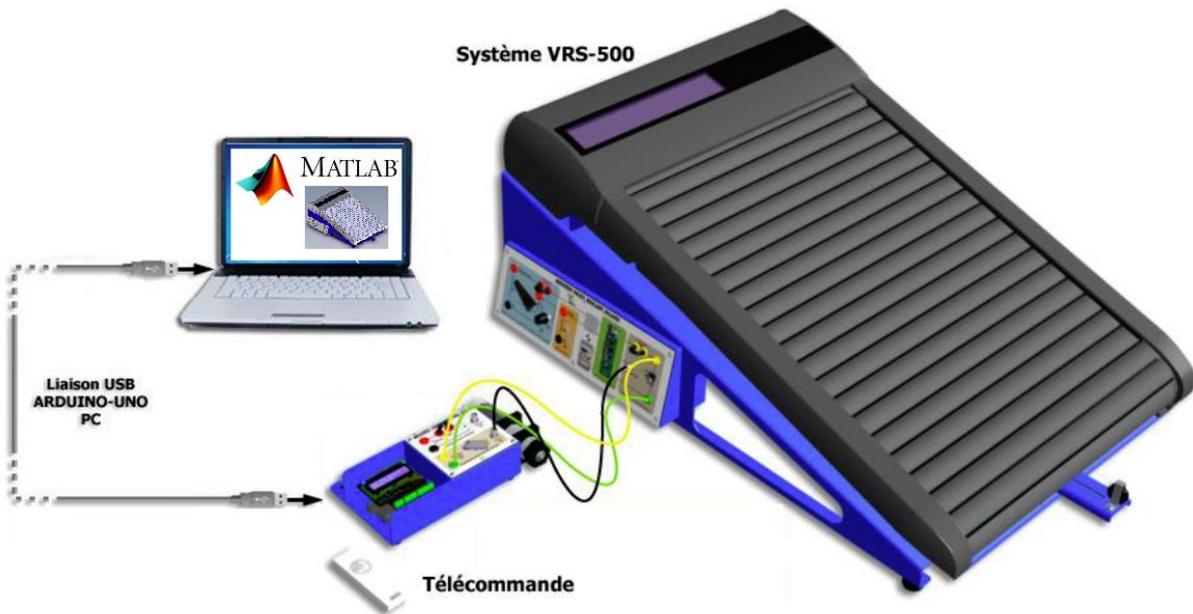
Étude de l'obtention de la position

Le positionnement du volet à sa position optimale nécessite de récupérer l'information de position. Le volet roulant étant dépourvu de capteurs de fin de course, l'information de position du volet roulant est obtenue par le compte/décompte des impulsions Hall générées au niveau du moteur. Le système exploite cette information pour anticiper les arrivées en fin de courses haute et basse et gérer de manière optimale l'arrêt dans ces conditions.

On dispose pour cela d'une interface programmable à base de microcontrôleurs constituée comme indiqué sur la figure suivante.

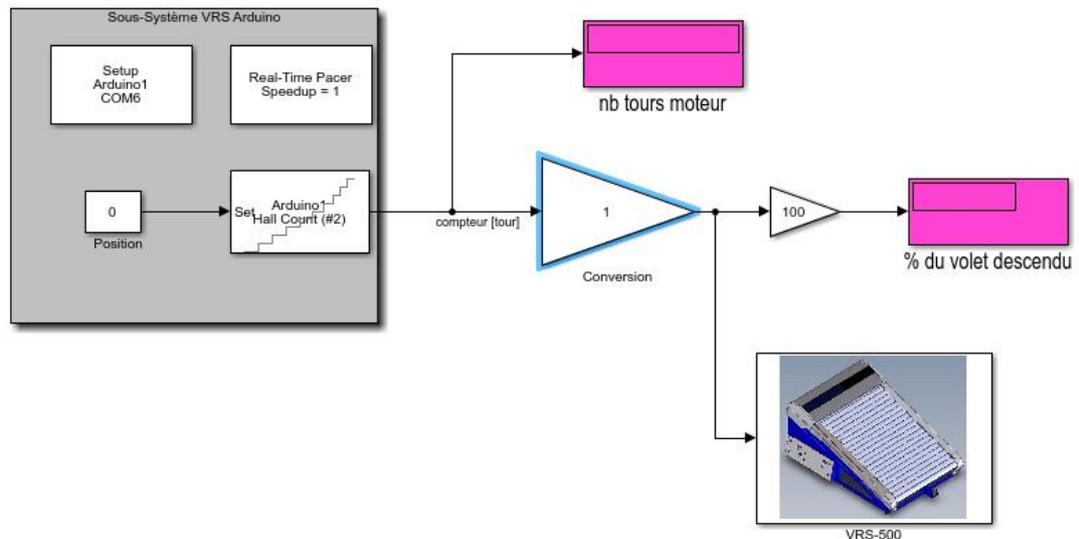


En plus du signal issu du capteur à effet Hall, les tensions aux bornes du moteur sont acquises via un étage de conditionnement. La carte Arduino se charge, selon les tensions mesurées aux bornes du moteur, d'incrémenter/décrémenter en conséquence la valeur d'un compteur. Cette valeur est remontée via une liaison USB au logiciel Matlab. On peut ainsi animer en temps-réel un modèle virtuel de la même manière que le système réel (on parle alors de « jumeau numérique »).



Mettre le volet en position « totalement ouvert ». Après avoir réalisé le câblage du sous-système, comme indiqué sur la figure précédente, ouvrir le modèle Matlab disponible dans le dossier « Fichiers Matlab/Virtual VRS-500 » par le fichier « VRS_S_model.mdl » et faire vérifier votre montage par votre examinateur.

Modèle pour la commande d'un VRS-500 virtuel, piloté par le VRS réel



Activité 4 Obtention de la position du volet

En étudiant la transmission de mouvement du moteur au volet (voir VRS-500_EMP « En savoir plus » onglet « Transmission et dispositif de tension lames », « Réducteur épicycloïdal » et « Le système à étoile d'avancement des lames »), déterminer le facteur de conversion (en bleu ci-dessus, fixé arbitrairement à 1) à appliquer dans le modèle Matlab pour que le jumeau se comporte de la même manière que le système réel. Renseigner la valeur et lancer la simulation en cliquant sur « Run ». Comparer le comportement du réel et du jumeau numérique lors d'une fermeture partielle puis complète, et faire valider votre modèle par votre examinateur.

Une fois l'activité 4 terminée, défaire le câblage du sous-système, fermer Matlab et relier le câble USB de la maquette instrumentée à l'ordinateur.

Étude de l'ouverture optimale du volet roulant

Le volet roulant du Velux a pour fonction de se protéger de la chaleur en été tout en optimisant l'éclairage intérieur naturel. L'objectif de cette partie est de déterminer expérimentalement l'ouverture optimale correspondant au réglage : « protection solaire sans obscurité complète » de ce volet roulant tel que le propose la société Velux (kit « Velux active ») dont la documentation est fournie en document ressource (voir Dossier Technique/VELUX Télécommande KRX100, page 62/113).

La maquette instrumentée, à l'avant du banc de mesure, est constituée (entre autres) :

- d'un capteur de température ambiante haute précision de type Grove MCP9808 ;
- d'un capteur d'éclairage intérieur.

Le programme Arduino « activite5.ino » permet la mise en œuvre de ces capteurs, une fois la maquette instrumentée connectée via l'USB à l'ordinateur.

Après avoir lancé le logiciel Arduino, il faudra vérifier le numéro de port utilisé (« Outil/port ») et sélectionner le type de carte utilisée.

Pour visualiser les valeurs, il faudra cliquer sur le moniteur série (icône loupe en haut à droite) et éventuellement régler la vitesse de communication en bauds.



Capteur d'éclairage



Capteur de température ambiante

Activité 5 Variations des température et éclairement ambiants en fonction de l'ouverture du volet

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la température intérieure T_i et l'éclairage intérieur E_i en régime permanent en fonction de l'ouverture du volet, et le présenter à votre examinateur avant de le mettre en œuvre.

Tracer $T_i = f(\% \text{ ouverture volet})$ et $E_i = f(\% \text{ ouverture volet})$.

Conclure sur l'ouverture optimale de ce volet roulant et comparer avec les préconisations du constructeur.

Étude des échanges thermiques mis en jeu dans la régulation en température de la pièce

Dans le dimensionnement d'un bâtiment, afin d'optimiser la consommation énergétique globale, il est nécessaire de pouvoir évaluer les échanges thermiques mis en jeu. Ainsi le choix des matériaux entrant en jeu dans l'isolation revêt une importance toute particulière. En ce sens, il est nécessaire de connaître les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés. Des valeurs théoriques sont données par les fournisseurs mais, bien souvent, afin d'aboutir à une solution optimale, les cabinets d'expertises en charge du projet mettent en œuvre une campagne expérimentale pour leur dimensionnement. La finalité de la maquette instrumentée est de pouvoir déterminer la résistance thermique de chaque matériau participant à l'isolation afin de pouvoir implémenter et/ou valider les modèles de simulations numériques du bâtiment considéré.

On s'intéresse ici à la détermination de la résistance thermique du matériau utilisé pour réaliser la vitre présente sous le volet roulant. Comme précisé précédemment, la vitre du banc d'essai est instrumentée à l'aide de deux sondes PT1000 sur chacun de ses cotés, afin de pouvoir évaluer la température réelle de chacune de ses parois. Une sonde PT1000 est aussi disponible hors du banc didactisé à toutes fins utiles.

La sonde PT1000 est un composant purement résistif dont la résistance R varie en fonction de sa température. On peut écrire :

$$R(T) = R_0 + K.T$$

avec :

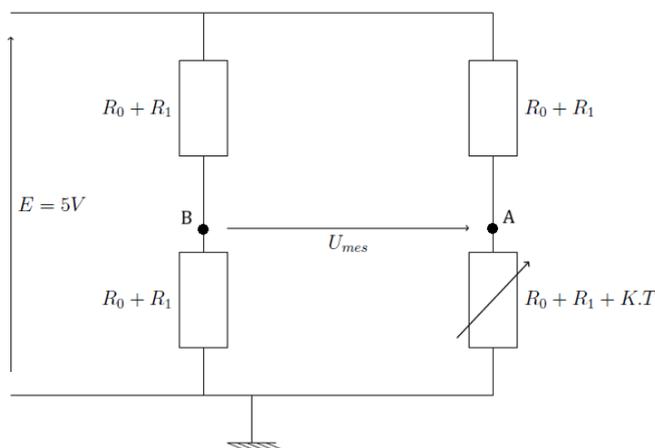
- T , la température en $^{\circ}\text{C}$ de la paroi sur laquelle la sonde est attachée ;
- R_0 , la valeur de $R(T)$ pour $T=0^{\circ}\text{C}$, en Ω ;
- K , la valeur du gain de la sonde en $\Omega \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Attention : La sonde PT1000 est un capteur très fragile. Ne manipuler que la plaque sur laquelle il est soudé.

Activité 6 Étude de la loi de comportement du capteur

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer les valeurs de K et R_0 pour la sonde PT1000. Après avoir appelé l'examinateur pour valider ce protocole, le mettre en œuvre et déterminer alors la valeur des deux constantes K et R_0 de la sonde PT1000 mise à votre disposition.

Afin de mesurer la température de chacune des parois de la vitre, la sonde PT1000 est insérée dans le montage du pont de Wheatstone de la figure suivante.



On donne $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$. On obtient :

$$U_{mes} \approx \frac{E \cdot K \cdot T}{4 \cdot (R_0 + R_1)}$$

L'acquisition de la mesure est envisagée à l'aide d'une carte Arduino. Les entrées analogiques de la carte sont codées sur 10 bits pour une variation de tension allant de 0V à 5V.

Activité 7 Étude de la résolution de mesure

Donner la résolution de mesure (quantum de conversion) en V, r_v , d'une entrée analogique de la carte Arduino et en déduire alors la résolution de mesure en °C, r_c , obtenue si l'on branchait directement les points de mesure du pont de Wheatstone précédent sur des entrées analogiques de la carte. Commenter la valeur trouvée, en considérant une plage de variation de température à évaluer allant de 10°C à 70°C, et proposer une modification du dispositif de mesure afin d'obtenir une résolution de 0,2°C.

Une paroi peut être modélisée, en régime permanent, comme une résistance thermique vérifiant la relation :

$$r_{th,vitre} \cdot \varphi = (T_{se} - T_{si})$$

avec :

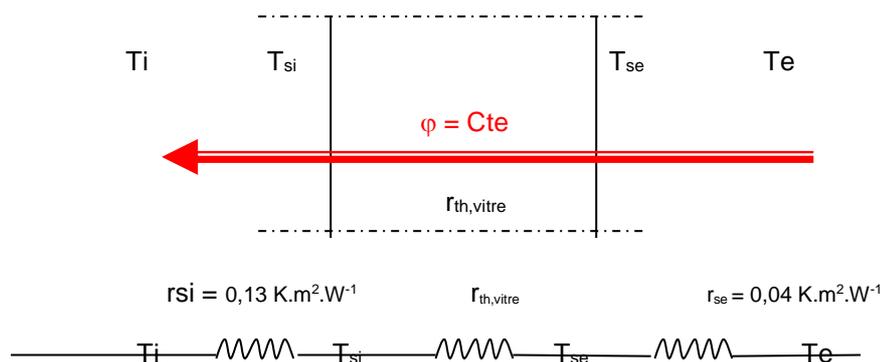
- T_{se} et T_{si} , respectivement les températures de surface extérieure et intérieure en K ;
- $r_{th,vitre}$, la résistance thermique du vitrage considéré en $K.m^2.W^{-1}$;
- φ : le flux thermique à travers la paroi en $W.m^{-2}$.

Afin de pouvoir implémenter un modèle de simulation pour dimensionner un local, et évaluer les échanges thermiques, il est nécessaire de connaître la valeur de la résistance thermique $r_{th,vitre}$ du vitrage utilisé.

Le programme Arduino « activite8.ino » permet de lancer l'acquisition nécessaire pour traiter l'activité 8. Pour cette activité, allumer le spot.

Activité 8 Détermination de la résistance thermique de la vitre utilisée

À partir de mesures que vous effectuerez et du schéma ci-dessous, déterminer la valeur expérimentale de $r_{th,vitre}$.



Le constructeur donne $r_{th,vitre} = 0,075 K.m^2.W^{-1}$. Comparer la valeur expérimentale et la valeur constructeur et analyser.

Des modèles de simulation Matlab, « simumaquette » pour la maquette didactisée et « simubatiment » pour l'école considérée, sont fournis dans le dossier candidat. Ils permettent de simuler le fonctionnement du système de chauffage de la maquette et de l'école considérée. Seul le modèle « simumaquette » est utilisé dans les activités suivantes. Pour utiliser chaque modèle, il faut double-cliquer sur le fichier «.mat », cliquer sur « Finish », puis ouvrir le fichier «.slx » dans l'arborescence.

Activité 9 Analyse du modèle de simulation

Détailler le lien entre chacun des composants du modèle « simumaquette » avec le système réel en complétant les zones de commentaires en pointillés.

Activité 10 Mise en œuvre du modèle de simulation

Après avoir renseigné la valeur de $r_{th,vitre}$ déterminée précédemment (« clic droit » dans le modèle simulink, « Find Referenced Variables », « Based workspace »), lancer la simulation et analyser les résultats obtenus. Proposer des améliorations et/ou des modifications du modèle de simulation afin d'obtenir une réponse plus rigoureuse vis-à-vis de la réalité.

Activité 11 Synthèse

Au regard des différentes activités réalisées, répondre à la problématique posée et conclure sur les paramètres à prendre en compte pour optimiser le confort dans l'habitat (éclairage et température à l'intérieur).

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

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

Production attendue

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

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

Les documents fournis pour mener cette partie sont les suivants :

- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et le sous-système complémentaire développement durable ;
- les différents fichiers Arduino permettant d'effectuer des acquisitions ;
- les différents fichiers de simulation Matlab ;
- une caméra thermique.

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

Textes de référence

<http://www.devenirenseignant.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.

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, d'acquisition, de traitement, de simulation et de représentation ;
- conduire une expérimentation, mener une analyse d'une ou plusieurs problématiques et de la ou des solutions associées, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et de vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation avec un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné ;
- présenter de manière détaillée une séance de cette séquence et un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives.

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

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

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

Le déroulement de l'épreuve

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

En début d'épreuve, le candidat tire au sort un sujet.

- Phase 1 - Manipulation expérimentale en laboratoire : 4 heures
- Phase 2 - Préparation de la présentation : 1 heure

- Phase 3 - Présentation des travaux devant le jury : 1 heure
 - exposé : 30 minutes maximum
 - entretien : 30 minutes

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

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

Première partie (durée ≈ 0h30)

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

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

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

Troisième partie (durée ≈ 1h30)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- présenter le système ainsi qu'une synthèse des activités menées dans la phase 1 de l'épreuve (durée indicative de 10 minutes) ;
- présenter leur exploitation pédagogique (durée indicative de 20 minutes).

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

Au cours de l'entretien d'une durée maximale de 30 minutes, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation ainsi qu'à expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique qu'il a opérés dans la construction de la séquence de formation présentée.

Les thèmes d'étude retenus pour l'activité pratique de la session 2025 sont :

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

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

- modélisation comportementale des systèmes ;
- détermination des paramètres significatifs dans une modélisation ;
- analyse critique de modèles ;
- validation de modèles ;
- mise en œuvre de protocoles expérimentaux ;
- caractérisation d'une chaîne de mesure ;
- identification du comportement ou choix de composants ;
- respect des normes ;
- optimisation de solutions constructives industrielles ;
- implantation de solutions logicielles et/ou matérielles.

B. Commentaires du jury

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

L'utilisation des appareils de mesure classiques (multimètre, oscilloscope, générateur basse fréquence, ...) doit être maîtrisée. Le jury n'attend pas une connaissance approfondie de toutes les

références des différents constructeurs mais une très bonne connaissance des fonctionnalités communes de ces appareils couramment utilisés dans les formations du génie électrique.

Cette première partie de l'épreuve permet au jury d'évaluer les compétences du candidat dans la mise en œuvre d'un système technique, mais aussi dans sa maîtrise des concepts fondamentaux du domaine de l'ingénierie électrique qu'il permet d'aborder.

Le jury constate qu'une part non négligeable des candidats ne maîtrise pas certains fondamentaux tels que :

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

Le jury regrette le manque d'autonomie dans la conduite des expérimentations et la prise en main des outils de simulation fournis. Par ailleurs, certains candidats n'analysent que trop sommairement les résultats produits au regard des outils théoriques sous-jacents.

Présentation orale et entretien

Le candidat dispose de 30 minutes maximum pour présenter le support sur lequel il a travaillé ainsi que les résultats de ses investigations, ses analyses et ses conclusions qu'il a pu formuler en cohérence avec la séquence pédagogique qu'il a construite. Le candidat doit également détailler le contenu de l'une des séances d'enseignement.

Le jury a constaté, pour cette session 2025, une utilisation contrastée de ce temps de présentation de la part de nombreux candidats. Certains candidats n'utilisent que trop peu le temps imparti, ce qui les amène à proposer des séquences pédagogiques très sommaires. D'autres candidats utilisent pleinement le temps de 30 minutes alloué mais en abordant des points peu pertinents au détriment d'éléments correspondants aux attentes de l'épreuve. Le jury rappelle aux candidats que la durée de la présentation n'est pas un critère d'évaluation, il est attendu d'un candidat à l'agrégation la capacité à présenter des résultats et une proposition pédagogique de manière synthétique en dégageant l'essentiel.

La présentation d'une séquence pédagogique impose une prise en compte effective des compétences visées, au regard du programme ou du référentiel de formation imposés par le sujet de l'épreuve. Certains candidats montrent une méconnaissance partielle voire complète de ces référentiels, ce qui conduit à des présentations très imprécises voire hors sujet.

La définition des prérequis ne doit pas s'arrêter à une liste plus ou moins exhaustive d'unités d'enseignement ou de savoirs. La présentation de la structure de la séquence pédagogique envisagée ne doit pas être limitée à un volume global d'heures. Le candidat doit être capable d'effectuer des choix pédagogiques réfléchis et ne doit pas se limiter à la retranscription des référentiels fournis. Les modalités d'évaluation mises en œuvre en cours et en fin de séquence doivent être définies avec suffisamment de précision.

Concernant la séance détaillée (que certains candidats n'abordent pas), 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, ni que la séquence pédagogique proposée ne fasse aucun lien avec les activités pratiques mises en œuvre dans la première partie de l'épreuve.

Conseils pour la préparation de l'épreuve

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

- maîtriser l'utilisation des outils courants de mesure (en particulier l'oscilloscope) ;
- maîtriser les outils de simulation des circuits électriques et électroniques ;
- maîtriser les notions énergétiques de bases (forme, transformation, conservation, flux) ;
- maîtriser les notions de qualité de l'énergie électrique (formes, puissances, énergies, THD ...).

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 fonctions élémentaires de l'électronique analogique (filtrage, amplification) et sur les bases des modulations analogiques ou numériques.

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

- des BTS « Cybersécurité, Informatique et Réseaux, Electronique » (option B : électronique et réseaux) et « Électrotechnique » ;
- du BUT « Génie Électrique et Informatique Industrielle » (GEII).

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

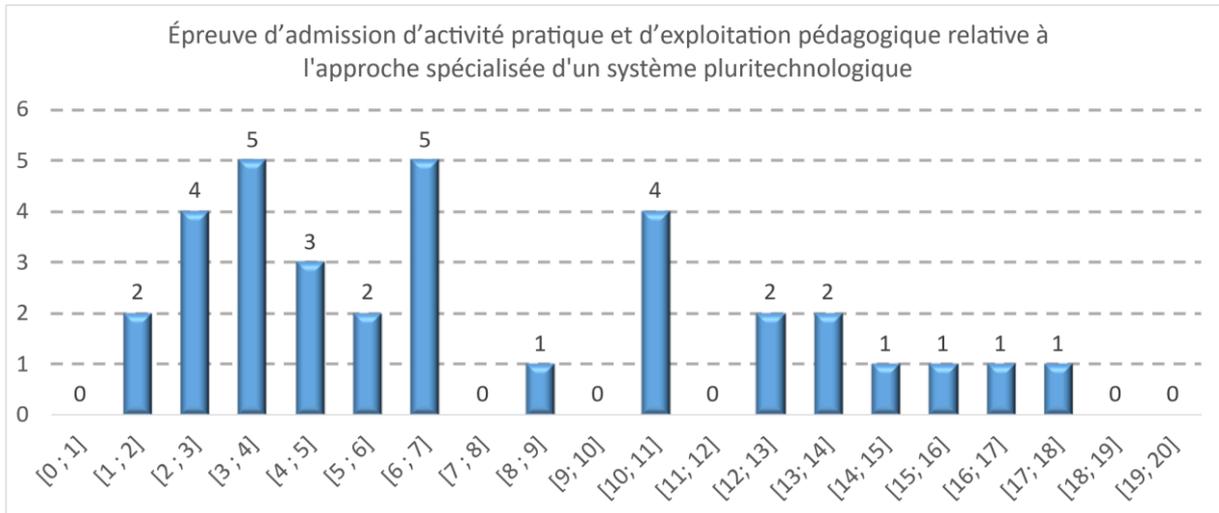
Il est important de préciser que chaque séquence pédagogique présentée doit être contextualisée et construite à partir d'objectifs précis, avec des prérequis correctement identifiés dans le programme ou le référentiel de formation ciblée par le sujet.

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

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 7,56. L'écart-type est de 4,84. La meilleure note est 18. La plus faible est 1,1.

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



D. Exemple de sujet

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

Système de transmission audio sans fil XS Wireless Sennheiser

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

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

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



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

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

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

Les appareils mis en œuvre dans cette partie sont :

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

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

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

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

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

B – Découverte du kit Wireless XS

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

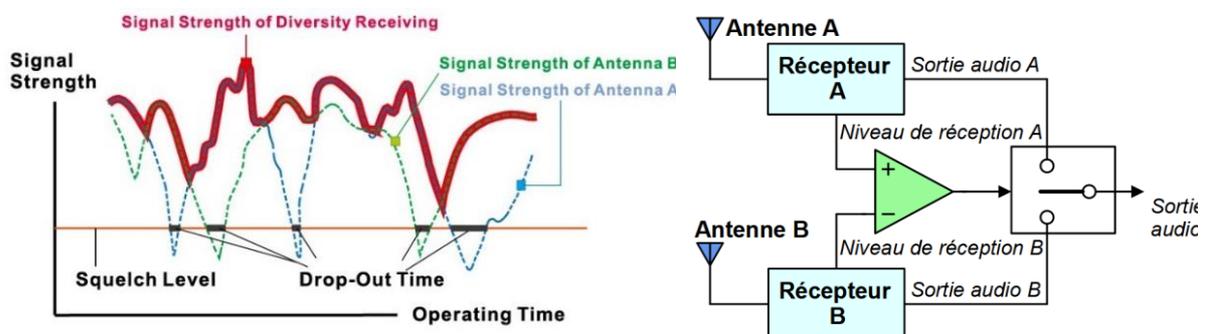


Figure 2 : Système « diversity »

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

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

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

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

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

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

10. Connecter le microphone sur l'émetteur

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

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

A – Etude & caractérisation de l'émetteur portable

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

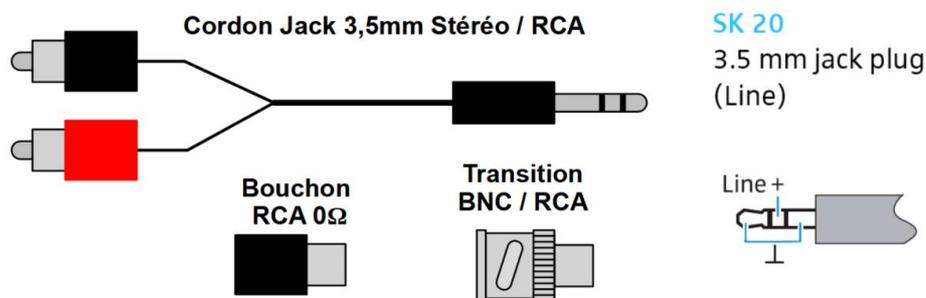


Figure 3 : Connectique pour l'entrée de modulation de l'émetteur

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

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

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

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

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

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

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

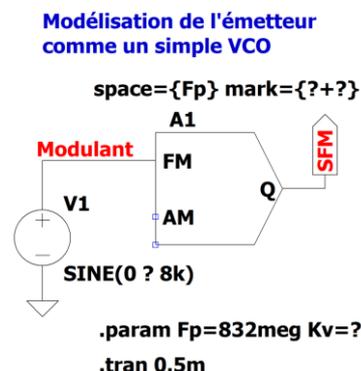
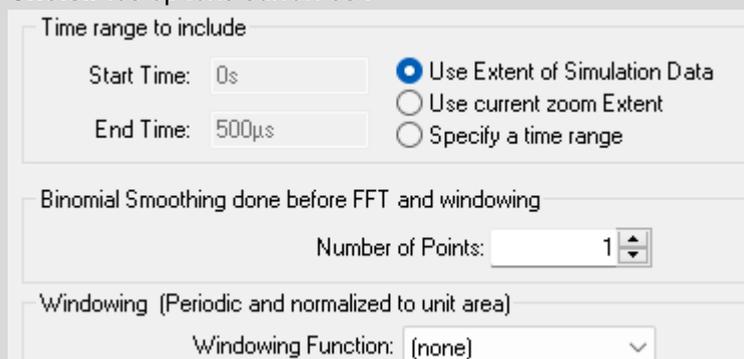


Figure 4 : Schéma de simulation EssaiVCOFM.asc

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

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

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



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

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

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

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

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

B – Procédure de test du récepteur EM10

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

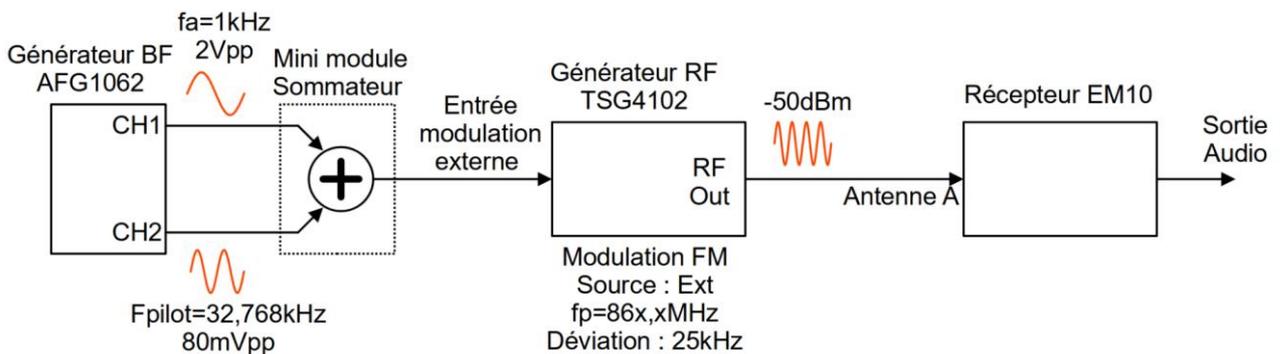


Figure 5 : Caractérisation basique de la liaison FM

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

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

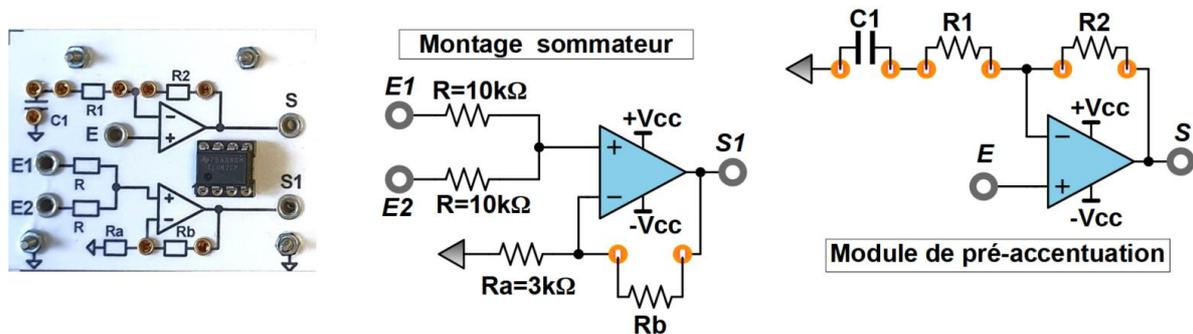


Figure 6 : Mini module didactique

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

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

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

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

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

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

Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel

A. Présentation de l'épreuve

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 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 des résultats

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

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

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

Conseils aux futurs candidats

Le dossier industriel

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

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

Au-delà du choix du support en lui-même, l'identification d'une problématique claire et réelle nécessitant la mise en place d'une démarche d'ingénieur permet de présenter des développements cohérents. Le cœur de l'étude, et donc de la présentation, doit porter sur le domaine de l'ingénierie électrique (Cf. ci-dessus). Les modélisations et les simulations doivent être associées à des réalités matérielles. Le choix du système doit aussi être guidé par les développements pédagogiques envisagés dans la deuxième partie du dossier.

La frontière du système, de l'ouvrage ou de l'installation doit être clairement identifiée. Sa modélisation doit être abordée à un niveau correspondant à celui du concours de l'agrégation. Celle-ci doit être pertinente et doit servir la résolution de la problématique. Les recherches de solutions et/ou l'analyse des performances peuvent alors servir de support à l'élaboration du dossier en s'appuyant sur des expérimentations sur le système matériel ou son modèle numérique. Le contenu du dossier ne peut se résumer à une présentation générale des solutions, les modèles canoniques doivent s'appuyer sur des structures authentiques. Il est primordial que l'ensemble des informations contenues dans le dossier ou projetées lors de l'épreuve soient parfaitement maîtrisées par le candidat. Enfin, un regard critique doit être porté sur la réponse à la problématique technique de départ. Les candidats ayant échoué au concours les années précédentes peuvent reprendre leur dossier, mais il convient de l'améliorer pour répondre aux attentes de l'épreuve.

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

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

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

- le dossier doit comporter un sommaire et être paginé ;
- les tableaux et graphiques présentés doivent être correctement référencés en lien avec la bibliographie et parfaitement lisibles ;
- il ne s'agit en aucun cas d'un rapport de stage, de projet de BTS, ni 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.

L'exposé et les échanges avec le jury

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 maîtrisée, 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.

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

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

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 8,68. L'écart-type est de 5,42. La meilleure note est 17,3. La plus faible est 0,9.

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

