



**MINISTÈRES  
ÉDUCATION  
JEUNESSE  
SPORTS  
ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR  
RECHERCHE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Direction générale des ressources humaines**

## **RAPPORT DU JURY**

**SESSION 2026**

**Concours : Agrégation externe**

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

**Option : Ingénierie électrique**

Rapport de jury présenté par :

Pascale COSTA, Inspectrice générale de l'éducation, du sport et de la recherche

Présidente 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 |
| D. Commentaires du jury .....                                                                                                                  | 28 |
| E. Résultats.....                                                                                                                              | 29 |
| Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....                                      | 30 |
| A. Présentation de l'épreuve.....                                                                                                              | 30 |
| B. Sujet.....                                                                                                                                  | 30 |
| C. Éléments de correction.....                                                                                                                 | 31 |
| D. Commentaires du jury .....                                                                                                                  | 40 |
| E. Résultats.....                                                                                                                              | 41 |
| Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique .....     | 42 |
| A. Présentation de l'épreuve.....                                                                                                              | 42 |
| B. Commentaires du jury .....                                                                                                                  | 45 |
| C. Résultats.....                                                                                                                              | 49 |
| D. Exemple de sujet.....                                                                                                                       | 50 |
| Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique ..... | 58 |
| A. Présentation de l'épreuve.....                                                                                                              | 58 |
| B. Commentaires du jury .....                                                                                                                  | 60 |
| C. Résultats.....                                                                                                                              | 63 |
| D. Exemple de sujet.....                                                                                                                       | 64 |
| Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel .....                                                                                | 73 |
| A. Présentation de l'épreuve.....                                                                                                              | 73 |
| B. Commentaires du jury .....                                                                                                                  | 73 |
| C. Résultats.....                                                                                                                              | 76 |

## 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 2026 du concours de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie électrique, a permis de recruter 18 candidats sur les 18 postes proposés. Le nombre important de présents aux épreuves d'admissibilité est toujours un élément très positif. Il est nécessaire que le vivier de candidats bien préparés se développe pour recruter les enseignants de haut niveau nécessaires à l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur en ingénierie électrique.

Des candidats ont su démontrer une expertise disciplinaire remarquable, un sens de la pédagogie et une posture professionnelle compatibles avec l'exercice des missions d'enseignant ; le jury les en félicite.

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.

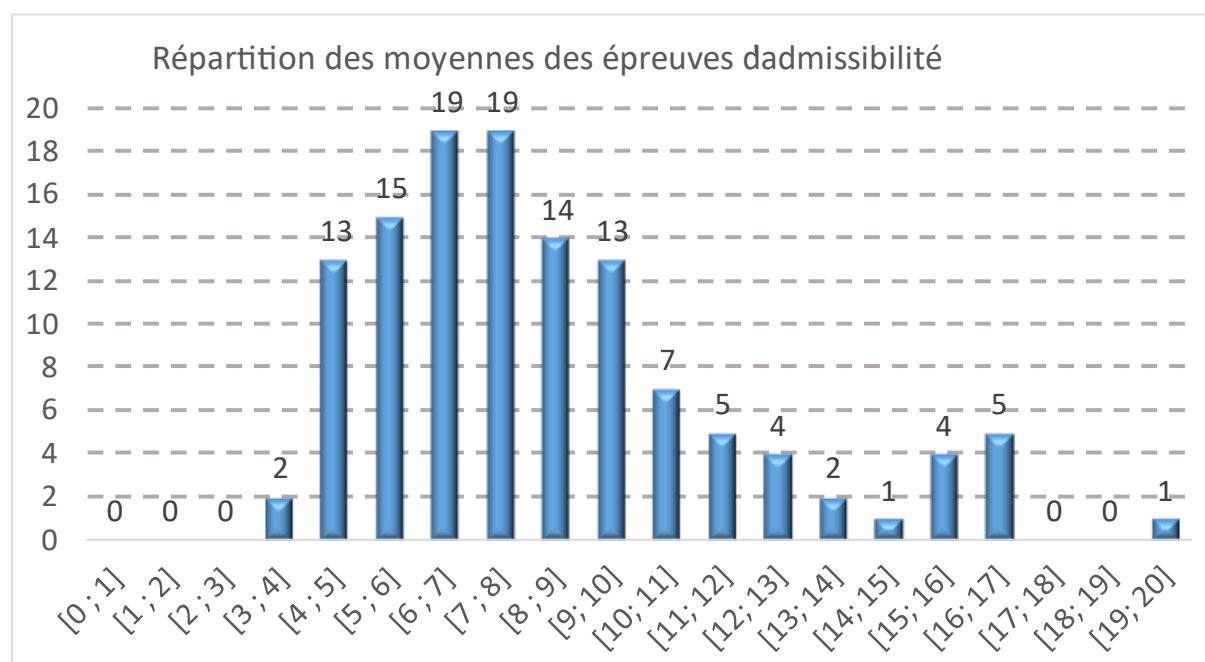
Les membres de jury ayant contribué à la rédaction de ce rapport ainsi que les concepteurs des sujets, tant pour les épreuves d'admissibilité que pour les épreuves d'admission, sont également tout particulièrement remerciés.

## 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        |
| <b>2026</b> | <b>475</b> | <b>18</b>        | <b>124</b>                                  | <b>51</b>   | <b>38</b>                                  | <b>18</b> |

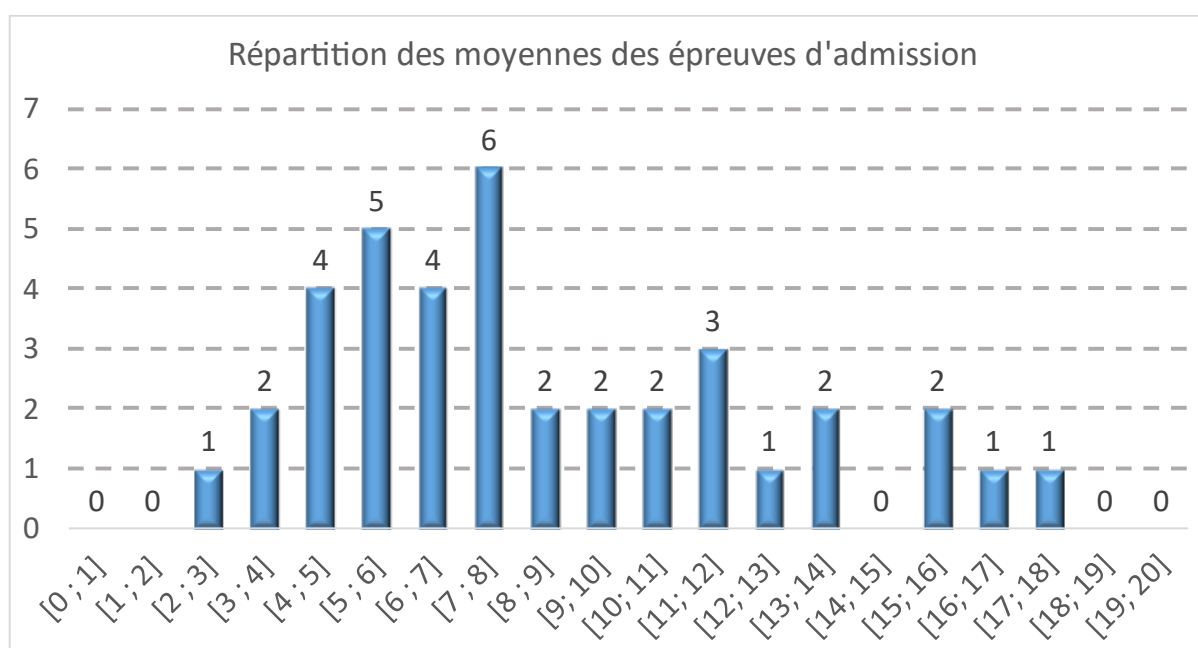
Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admissibilité à la session 2026

|                                                           |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Moyenne obtenue par le premier candidat admissible</b> | <b>19,23</b> |
| <b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible</b> | <b>8,50</b>  |
| Moyenne des candidats présents                            | 8,42         |
| Moyenne des candidats admissibles                         | 11,49        |
| Écart-type des candidats présents                         | 3,28         |
| Écart-type des candidats admissibles                      | 2,80         |



Statistiques et histogramme des moyennes de notes obtenues à l'admission à la session 2026

|                                                      |              |
|------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Moyenne obtenue par le premier candidat admis</b> | <b>18,16</b> |
| <b>Moyenne obtenue par le dernier candidat admis</b> | <b>9,08</b>  |
| Moyenne des candidats présents                       | 9,71         |
| Moyenne des candidats admis                          | 12,61        |
| Écart-type des candidats présents                    | 3,41         |
| Écart-type des candidats admis                       | 2,66         |



# 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/19056/download>

### Le porte-conteneurs Meltem

D'après l'Organisation maritime internationale (OMI), le transport maritime représente au niveau mondial près de 3% des émissions de gaz à effet de serre.

Moyen de transport efficace d'un point de vue énergétique rapporté aux volumes transportés, le transport maritime n'en est pas moins quasi exclusivement dépendant des énergies fossiles. Il doit aujourd'hui opérer une transition énergétique sans précédent afin de respecter les engagements fixés au niveau international et européen, mais aussi contribuer à l'effort national de décarbonation. Pour répondre aux objectifs, plusieurs technologies sont à l'étude comme l'utilisation de piles à combustibles, la motorisation électrique et la propulsion vélique. C'est cette dernière qui est étudiée dans la suite.

Le porte-conteneurs Meltem (Figure 1), développé par l'entreprise Zéphyr Borée, est doté de quatre paires d'ails, conçues par l'entreprise CWS. Il possède une passerelle 3/4 avant, de manière à pallier l'obstruction de la visibilité sur l'avant du navire. La propulsion mécanique est assurée par deux moteurs thermiques de 4 800 kW. Afin de limiter la hauteur du centre de voilure, la hauteur maximum des bays de conteneur est réduite par rapport à un navire conventionnel de mêmes dimensions. La capacité maximale géométrique est donc moindre, mais la capacité de chargement à 14 tonnes homogènes reste identique à celle d'un navire de mêmes dimensions sans ailes.



Figure 1 – Meltem Porte conteneur de Zéphyr et Borée, dotée de 4 paires d'ails CWS.

Source : [lemarin.ouest-France.fr](http://lemarin.ouest-France.fr)

## C. Éléments de correction

### Partie 1 : Pertinence de l'usage d'ailes rigides

Q1.

$$\vec{V}_V = 22,2 \text{ km.h}^{-1} \text{ soit } 2,2 \text{ cm}$$

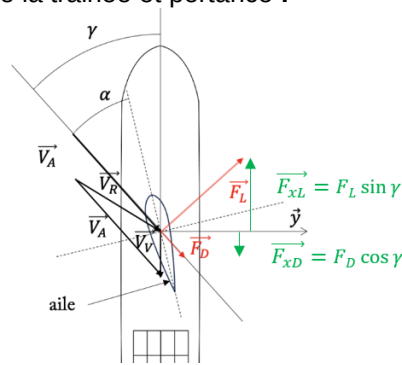
$$\vec{V}_A \text{ (5,24cm en y et 2,68cm en x) soit } 5,9\text{cm. } \vec{V}_A = 59 \text{ km.h}^{-1}$$

$$\gamma = 63^\circ$$

$$\text{Q2. } \gamma = \tan^{-1} \left( \frac{V_R \sin \xi}{V_R \cos \xi + V_V} \right) \text{ ou } \gamma = \sin^{-1} \left( \frac{V_R \sin \xi}{\sqrt{(V_R \sin \xi)^2 + (V_R \cos \xi + V_V)^2}} \right)$$

$$V_A = \sqrt{(V_R \sin \xi)^2 + (V_R \cos \xi + V_V)^2}$$

Q3. Construction graphique de la trainée et portance :



$$\text{Q4. } F_x = F_L \sin \gamma - F_D \cos \gamma$$

$$\text{Q5. } F_x = \frac{1}{2} \rho S V_A^2 ((a\alpha + b) \sin \gamma - (C_{D0} + c\alpha^2) \cos \gamma)$$

Q6. Expression mathématique d'un extremum :  $\frac{dF_x}{d\alpha} = 0$  donc  $2c\alpha \cos \gamma + a \sin \gamma = 0$ .

$$\alpha = \frac{a \sin \gamma}{2c \cos \gamma} = \frac{a}{2c} \tan \gamma$$

$$\alpha = \frac{a}{2c} \cdot \frac{V_R \sin \xi}{V_R \cos \xi + V_V}$$

Q7. Plage de variation de  $\xi$  : + ou  $-45^\circ$

Plage de variation de  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{a}{2c} \cdot \frac{V_R \sin \xi}{V_R \cos \xi + V_V} \text{ avec } V_R = 40 \text{ km.h}^{-1}, V_V = 22,2 \text{ km.h}^{-1}$$

$$\alpha = \frac{a}{2c} \cdot \frac{V_R \cdot \sqrt{2}/2}{V_R \sqrt{2}/2 + V_V} = 0,28 * \frac{a}{c} \text{ ou } -0,28 * \frac{a}{c}$$

On souhaite avoir une précision correcte sur la variation de  $\alpha$ , avec un pilotage du moteur cohérent et donc avoir un rapport de réduction suffisant pour cela.

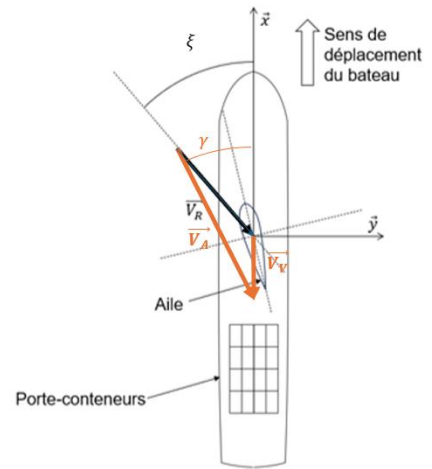
$$\text{Q8. Puissance moyenne propulsive vélique : } P_{moy} = 8 * F_x * V_V = 543,25 \text{ kW}$$

Q9. Expression de l'énergie moyenne produite par les ailes :

$$E1 = 0,6 * P_{moy} * t = 85\,073 \text{ kWh avec } t=261\text{h.}$$

Q10. Expression de l'énergie moyenne consommée par les deux moteurs thermiques :

$$E2 = 2 * P_{moteur} * t = 2\,505\,600 \text{ kWh}$$





**Q11.** Expression du gain de fioul :  $G_{f\%} = \frac{E1}{E2} \cdot 100 = 3.4\%$

**Q12.** Gain en CO<sub>2</sub>:  $G_{CO2} = 49 \text{ t.CO}_2$

**Q13.** La présence d'aile n'ajoute que peu de poids supplémentaire et enlève un très faible volume de conteneurs. D'un point de vue écologique, elles permettent de réduire significativement l'empreinte carbone des navires. La baisse de consommation de fioul des moteurs thermiques permet également de générer un gain économique significatif avec l'augmentation des prix des carburants. La principale limite de ce système réside dans le fait que les ailes rigides ne fonctionnent qu'à de faibles vitesses de navigation. Ainsi, pour pouvoir maximiser les réductions de consommations, il est nécessaire d'augmenter les délais de livraison.

## Partie 2 : Prédimensionnement du mât de l'aile

**Q14.** Sollicitations mécaniques : Compression (sous son poids propre+ équipement), flexion simple (sous la pression du vent). La torsion a été également acceptée.

**Q15. Calcul des charges :**

Calcul de G seule :  $G=50 \cdot 9.81=490,5 \text{ kN}$

Calcul de  $P_{aéro}$  seule :  $P_{aéro}=3601,5 \text{ N.m}^{-2}$

Prise en compte des coefficients de sécurité sur les deux actions :

$$W=11885 \text{ N.m}^{-1}$$

$$G=663 \text{ kN}$$

**Q16.** 2 tronçons ici :

Coupe 1 :  $z \in [17; 38 \text{ m}]$  :

$$N=-G$$

$$T_y=-W \cdot (L-z)$$

$$M_x(z)=-W \cdot (L-z)^2/2$$

Coupe 2 :  $z \in [0; 17 \text{ m}]$

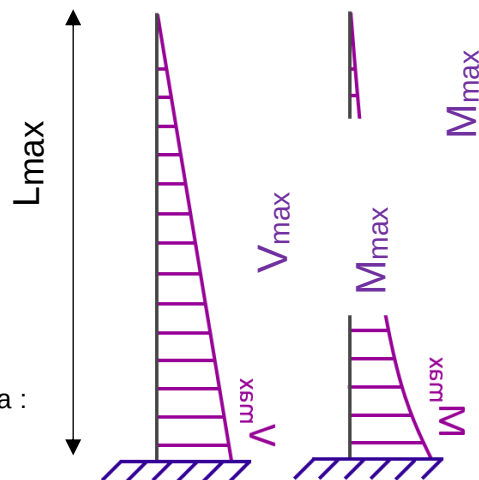
$$N=0$$

$$T_y=-W \cdot (L-z)$$

$$M_x(z)=-W \cdot \frac{(L-z)^2}{2}$$

$$(\text{Valeurs maximum : } M_{\max}=-8580970 \text{ N.m,}$$

$$T_{\max}=-451630,0 \text{ N})$$



**Q17.** Au niveau du système de fermeture, à  $x=18 \text{ m}$ , on aura :

$$T_y=237,7 \text{ kN.m}$$

$$M_x=2377 \text{ kN.m}$$

Note : la modélisation considère une charge ponctuelle pour le poids à  $17 \text{ m}$ , alors qu'en réalité le poids est réparti et des efforts de compression existent au niveau du système de fermeture.

**Q18.** Un profilé creux présente un moment quadratique plus élevé à masse équivalente.

**Q19.** Calcul de la surface minimale  $S_{\min}$  permettant de reprendre la compression seule :

$$S_{\min} = \frac{G}{\sigma_{c,\max}} = \frac{663000}{355} = 1868 \text{ mm}^2$$

$$\text{Surface du carré creux : } S = 700 \cdot 700 - 600 \cdot 600 = 130000 \text{ mm}^2$$

$S > S_{\min}$  Le profilé convient. Le flambement devra être ensuite vérifié par la suite.

**Q20. Vérification du critère de dimensionnement :**

Expression et valeur de la contrainte normale de compression  $\sigma_c = \frac{G}{S} = 5,1 \text{ MPa}$

Expression et valeur de la contrainte normale de flexion  $\sigma_{fx} = \frac{M_{fx}}{I_{Gx}} \cdot \vartheta = 326,2 \text{ MPa}$

$$(\text{AN : } I_{Gx} = \frac{a^4}{12} - \frac{(a-2e)^4}{12} = 9,2084 \cdot 10^9 \text{ mm}^4, \vartheta = 0,35 \text{ m, } M_{fx} = 8580,97 \text{ kN.m})$$

$$\sigma_c + \sigma_f = 331,3 \text{ arrondi à } 332 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa car on utilise de l'acier S355.}$$

Le profilé étant en flexion composée, on aurait pu vérifier le déversement et le flambement.

**Q21. Calcul de la flèche**

Expression de la flèche  $v(z) = \frac{W}{EI_{Gx}} \cdot (L^2 \cdot \frac{z^2}{4} - L \cdot \frac{z^3}{6} + \frac{z^4}{24})$

Maximale en L :  $v(L) = \frac{W}{EI_{Gx}} \cdot \frac{L^4}{8} = 1,6m$

**Q22. Vérification des hypothèses**

1<sup>ère</sup> hypothèse : calcul de l'angle d'inclinaison  $\alpha = 2,29^\circ$ , donc  $\cos(\alpha) = 0.998$ , donc 1% d'erreur sur la valeur de l'effort.

2<sup>ème</sup> hypothèse : angle de  $2.29^\circ$  donc la longueur AB proposée sur le modèle serait de 38,03m. Soit 0.08% d'erreur sur la longueur.

**Q23. Equation du moment fléchissant, sur le modèle déformé :**

Coupure 1 :  $z \in [17; 38m]$  :  $M_x(z) = -W \cdot (L - z)^2 / 2$

Coupure 2 :  $z \in [0; 17m]$  :  $M_x(z) = -W \cdot \frac{(L-z)^2}{2} - G \cdot \sin \alpha \cdot (17 - z)$

Valeur maximale : 9031,3 kN.m

**Q24. Ecart relatif entre le modèle déformé et non déformé**

Situation déformée :  $M_{\max} = M(0) = 9031,3 \text{ kN.m}$

Situation non déformée :  $M_{\max} = M(0) = 8581,0 \text{ kN.m}$

Écart relatif de 5% : Écart faible entre les deux modèles, mais le modèle déformé est plus pénalisant. Pour aller dans le sens de la sécurité, il est donc nécessaire de prendre la situation déformée en compte.

**Q25. Comparaison des modèles en contraintes :**

- Étude en grands déplacements (modélisation SolidWorks) :  $\sigma_{fx} = 355,2 \text{ MPa}$
- Étude en petits déplacements :  $\sigma_{fx} = 337,7 \text{ MPa}$

Écart relatif : 4.9 %, dans le sens négatif, c'est-à-dire qu'on sous-estime la contrainte réelle. Il est donc dangereux de ne pas se mettre en grands déplacements.

Vérification du profilé : en théorie non, en pratique on est très proche de la limite élastique donc on pourrait accepter pour éviter un surdimensionnement inutile.

**Partie 3 : Dimensionnement, consommation et commande des moteurs de pivotement des ailes**
**Q26. Coefficient aérodynamique maximum angle d'incidence associé**

$C_{Mz \max} = 0,7$  à l'angle d'incidence  $+ 30^\circ$

**Q27. Expériences et simulations**

Les simulations aérodynamiques demandent beaucoup de temps de calcul et sont énergivores. Concernant l'essai en soufflerie, une fois l'installation opérationnelle, il est très facile et rapide de faire varier l'angle d'incidence et d'acquies les données. La simulation est validée car les écarts sont plutôt faibles entre ses résultats et les résultats en soufflerie. Il sera alors possible d'utiliser le modèle de simulation pour faire varier la géométrie et les dimensions sans avoir besoin de réaliser une nouvelle maquette réelle.

**Q28. Moment aérodynamique maximum**

On trouve :  $M_{z \max} = 1540 \text{ kN} \cdot m$  (3 chiffres significatifs maximum).

**Q29. Couple moteur nécessaire**

$C_m = 10 + 2\,000\,000 / 1200 = 10 + 1670 = 1680 \text{ N.m}$ .

Le couple de démarrage du réducteur est négligeable lors de vents forts.

**Q30. Moteur choisi**

Attention, le couple de démarrage n'est pas exprimé en N.m ou kN.m mais en ratio par rapport au couple nominal. Cela donne :

LS 315 SN : Couple de démarrage :  $2,5 \cdot 0,729 = 1,82 \text{ kN.m}$  < 2 kNm → insuffisant

LS 315 MP : Couple de démarrage :  $2,4 \cdot 0,877 = 2,10 \text{ kN.m}$  > 2 kNm → OK s=1,1

LS 315 MR : Couple de démarrage :  $2,4 \cdot 1,072 = 2,57 \text{ kN.m}$  > 2 kNm → OK s=1,3

Vitesse de rotation :  $1000/1200 = 0,83 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  → Critère de vitesse respecté pour les 4.

**Q31. Courant de démarrage**

$$I_{\text{démarrage}} = 7,2 \cdot 164 = 1\,180 \text{ A}$$

$$I_{\text{démarrage 8 voiles}} = 7,2 \cdot 164 \cdot 8 = 9\,450 \text{ A}$$

Pour éviter cet appel de courant, il est envisageable d'étager les démarrages car la variation d'orientation sera très lente. Ainsi l'impact de ces 8 moteurs sur les circuits électriques du navire sera réduit.

**Q32. Temps d'exécution**

$$N_m = 980 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} = 5880^\circ \cdot \text{s}^{-1}$$

Rampe de vitesse en 10s pour atteindre la vitesse nominale donc :  $\ddot{\theta}_m = 588^\circ \cdot \text{s}^{-2}$

Réduction de 1200 donc :  $\Delta\theta_m = 3 \cdot 1200 = 3600^\circ$

Aire sous la courbe d'accélération et de décélération :  $\Delta\theta_m = 2 \cdot \ddot{\theta}_m \cdot \frac{t_f^2}{2}$

$$t_f = \sqrt{\frac{\Delta\theta_m}{\ddot{\theta}_m}} = \sqrt{\frac{3600}{588}} = 5 \text{ s}$$

**Q33. Consommation des moteurs**

À partir des données météorologiques, les constructeurs évaluent qu'il est nécessaire de faire varier l'angle d'incidence de  $3^\circ$  chaque minute or pour réaliser ce mouvement le moteur n'a pas le temps d'atteindre sa vitesse nominale. Le contrôleur VFD impose donc une loi de commande écourtée qui comporte une accélération suivie d'une décélération : démarrage et freinage.

$$P_{\text{instantanée consommée}} = 3 P_{\text{nominale}} = 270 \text{ kW}$$

$$P_{\text{moyenne consommée}} = \frac{5 P_{\text{instantanée consommée}}}{60} = 22,5 \text{ kW} \ll 4800 \text{ kW}$$

Consommation d'1 moteur d'orientation : 0,5%

Consommation de 8 moteurs d'orientation : 3,7%

La consommation d'un seul moteur est négligeable mais la consommation moyenne des 8 moteurs augmenterait la consommation de 3,7% ce qui n'est pas négligeable et qui devra être pris en compte dans le bilan énergétique de l'installation des ailes.

**Q34. Démonstration – Loi de Faraday**

Le stator crée un champ tournant à la pulsation  $\omega_s$ , et le rotor tourne à la vitesse  $\Omega$ . Du point de vue électrique, le rotor a une pulsation de  $\Omega \cdot p = \omega$ . Dans le repère électrique du rotor, par composition, le stator a donc une pulsation de  $\omega_s - \omega$ .

D'après la loi de Faraday :

$$\underline{E_R} = -j(\omega_s - \omega)\underline{\Psi_R}$$

**Q35. Vitesse de synchronisme**

On sait que  $\omega_s = 2\pi f_s$ , d'où :

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{p} = \frac{2\pi f_s}{p} = \frac{2\pi \times 50}{3} = 105 \text{ rad/s}$$

$$= \frac{2\pi \times 50}{3} \times \frac{60}{2\pi} = 1000 \text{ tr/min}$$

**Q36. Glissement nominal**

D'après la documentation,  $\Omega_n = 980 \text{ tr/min}$  au rotor dans les conditions nominales donc :

$$g_n = \frac{1000 - 980}{1000} = 2\%$$

**Q37. Expression de  $\underline{E}_R$**

$$g = \frac{\Omega_S - \Omega_R}{\Omega_S} = \frac{\omega_S - \omega_R}{\omega_S}$$

Donc :

$$\underline{E}_R = -j(\omega_S - \omega_R)\Psi_R = -jg\omega_S\Psi_R$$

**Q38. Rotor en court-circuit - expression de  $\underline{E}_R$**

Rotor en court-circuit donc  $V_R = 0$ . Ainsi, d'après la loi des mailles et la loi d'Ohm :  $\underline{E}_R = -R_R \underline{I}_R$ .

**Q39. Rotor en court-circuit - expression de  $\underline{E}_R$**

$$\begin{aligned}\underline{E}_R &= -R_R \underline{I}_R \text{ d'après la Q38} \\ &= -jg\omega_S\Psi_R \text{ d'après la Q37} \\ &= -jg\omega_S\Psi_S \text{ car il n'y a pas de fuite de champ magnétique} \\ &= +g\underline{E}_S \text{ d'après la formule de } \underline{E}_S \text{ donnée dans le sujet}\end{aligned}$$

Par identification :  $\underline{E}_S = -\frac{R_R}{g} \underline{I}_R$

Le couplage étant parfait (pas de fuite de champ magnétique), on a :

$$E_S I_S = E_R I_R$$

Donc :

$$\frac{1}{g} = \frac{E_S}{E_R} = \frac{I_R}{I_S}$$

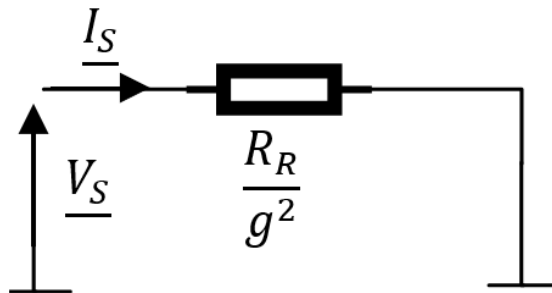
Remarque : ces deux équations (en module) peuvent aussi s'écrire en complexe. On aurait alors :

$$\underline{E}_S \cdot \underline{I}_S^* = \underline{E}_R \cdot \underline{I}_R^* \quad \text{et} \quad \frac{1}{g} = \frac{\underline{E}_S}{\underline{E}_R} = \frac{\underline{I}_R}{\underline{I}_S}$$

Dans tous les cas, on obtient :

$$\underline{E}_S = -\frac{R_R}{g^2} \underline{I}_S$$

donc la résistance équivalente du rotor ramenée au stator est  $R_R/g^2$ . Schéma :



**Q40. Puissance active consommée**

$$P_n = \frac{3V_S^2}{R_R/g_n^2} = \frac{U_S^2 g_n^2}{R_R}$$

**Q41. Commande U/f constant**

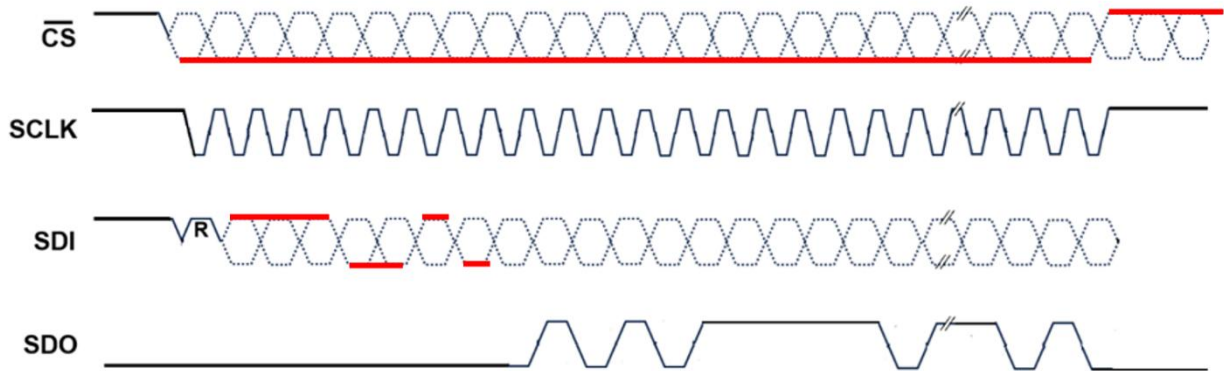
On alimente la machine avec une tension  $V_S(t)$  telle que la quantité  $V_S/\omega_S$  soit constante pour que le couple soit constant et maximal. Le convertisseur permettant de générer une tension alternative  $V_S(t)$  de fréquence variable est l'onduleur (ou cyclo-convertisseur).

#### Partie 4 : Contrôle de la position des ailes

##### Q42. Lecture multiple

Tant que CS n'est pas désactivé, le capteur pointera vers le registre suivant. Les registres correspondant aux mesures (X-Axis Data 0, Data 1...) étant séquentiels (0x32, 0x33...), on doit donc pointer en premier vers 0x32, soit 110010 en binaire. Le bit MB doit être à 1.

##### Q43. Compléter la trame



##### Q44. Lecture

0101 0111 en binaire, soit 87.

##### Q45. Compléter le code Python

```
def PO(force, d_theta):
    theta = mesure_theta()
    consigne_position(theta + d_theta)
    sleep(10) # attendre 10 secondes
    force_prime = mesure_force()
    if force_prime < force :
        d_theta = -d_theta
    return force_prime, d_theta
```

# initialisation

```
force = mesure_force()
d_theta = 10
```

while True:

```
    force, d_theta = PO(force, d_theta)
```

##### Q46. Limitations et pistes d'améliorations de l'algorithme P&O

Consommation : Les puissances et les inerties mises en jeu sont très grandes, et en plus les moteurs consomment beaucoup au démarrage : changer l'orientation de chaque voile toutes les 10 secondes risque de coûter trop cher en énergie. On peut se permettre d'augmenter le délai  $\Delta t$ , jusqu'à par exemple 1min. De toute manière, on n'utilise pas les ailes pour changer abruptement la trajectoire du bateau !

Convergence : on remarque qu'avec cet algorithme, on risque d'osciller autour de la position d'équilibre (faire  $\pm 10^\circ$  en permanence). On pourrait mettre un seuil sur  $\delta\theta$  en-deçà duquel on ne modifie pas l'orientation de l'aile.

Rapidité : On pourrait aussi paramétrer le pas : au lieu d'un pas fixe, on utilise un pas dynamique, qui diminue lorsqu'on se rapproche du maximum

##### Q47. Gradient

On a :  $\Delta F = \frac{F' - F}{\theta' - \theta}$ , d'où :

gradient = (force\_prime - force) / (theta\_prime - theta)

#### Q48. Discussion

Consommation : rien n'a changé donc non.

Convergence : si le paramètre d'apprentissage  $\eta$  est trop grand, on peut toujours osciller autour de la position d'équilibre, voire diverger. En plus, l'estimation du gradient peut amener un risque de division par zéro si  $\theta$  varie trop peu (notamment à l'approche du maximum). La solution serait toujours de mettre un seuil sur  $\theta' - \theta$  en-deçà duquel on ne modifie pas l'orientation de l'aile. Rapidité : si le paramètre d'apprentissage est trop petit, ça va être lent.

Rapidité : s'il est bien réglé, il peut potentiellement être plus rapide que l'algo P&O, mais pas de garantie.

Conclusion : l'algo de montée de gradient n'est pas mieux que l'algo P&O, qui est plus simple, mais plus robuste.

#### Q49. Avantages et inconvénients de l'approche par apprentissage automatique

Avantage :

- Permet de réduire le nombre d'accéléromètres -> réduire coût (même si en réalité pas très cher, 25€), simplification matérielle

Inconvénients :

- Comportement imprévisible : Dépendance à la qualité des données d'entraînement (si nouvelles conditions météorologiques ?), manque de garanties théoriques sur les performances -> garde-fous ?
- Perte d'information : un unique accéléromètre central ne permet peut-être pas d'accéder aux forces spécifiques sur chaque voile, ce qui limite la précision
- Complexité algorithmique : ça introduit une complexité supplémentaire en termes de conception, d'entraînement et de mise à jour du modèle

Panne : en cas de défaillance du capteur unique, le système perd complètement sa capacité de mesure, alors que ce n'est pas le cas avec plusieurs capteurs répartis

#### Q50. Fonction de transfert

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{C_{mot}(p) - C_r(p)} = \frac{1}{f + J \cdot p} = \frac{\frac{1}{f}}{1 + \frac{J}{f} \cdot p} = \frac{K}{1 + T \cdot p}$$

Avec  $K = 1/f$  et  $T = J/f$ .

#### Q51. Protocole expérimental

- On mesure pour chaque essai la valeur du couple moteur  $c_{mot\infty}$  et de la vitesse de rotation  $\omega_\infty$  en régime permanent.
- On trace le nuage de points  $(\omega_\infty, c_{mot\infty})$  pour tous les essais.  
On a alors :  $c_{mot\infty} - c_r - f \cdot \omega_\infty = 0$ , donc :  
$$c_{mot\infty} = c_r + f \cdot \omega_\infty$$
- On fait une régression affine. Le coefficient directeur sera  $f$  et l'ordonnée à l'origine sera le couple résistant  $c_r$  en l'absence de vent.

#### Q52. Valeurs numériques des paramètres

En régime permanent,  $\omega_\infty = K \cdot (c_0 - c_r)$  donc :  $K = \frac{\omega_\infty}{c_0 - c_r} = \frac{997 \times 2\pi / 60}{100 - 10} = 1,2 \text{ rad.s}^{-1} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . On détermine la valeur de la constante de temps en utilisant le fait que : soit après  $T$  on atteint 63% de la valeur finale, soit après  $3T$  on atteint 95% de la valeur finale, soit la pente à l'origine coupe l'asymptote en  $T$ . On devrait trouver :  $T \simeq 3,4 \text{ s}$

#### Q53. Choix du correcteur

Un correcteur PI permet d'augmenter la classe de la FTBO et de le rendre parfaitement précis. Un correcteur P, même s'il était plus rapide, ne permettrait d'améliorer la précision qu'au prix d'une grande valeur de gain car les grandeurs mises en jeu sont grandes.

#### Q54. Pulsation de coupure

$$|H(\omega_{0dB})| = 1 \Leftrightarrow \frac{K}{\sqrt{1 + (T \cdot \omega_{0dB})^2}} = 1 \Leftrightarrow \omega_{0dB} = \frac{1}{T} \sqrt{K^2 - 1} = 0,19 \text{ rad.s}^{-1}$$

On veut que  $\omega_{0dB,corr} = 2 \cdot \omega_{0dB} = 0,39 \text{ rad/s}$

**Q55. Réglage du correcteur**

On place  $1/T_i$  une décade avant la pulsation de coupure à 0 dB souhaitée, donc :

$$\frac{1}{T_i} = \frac{1}{10} \omega_{0dB,corr} \Rightarrow T_i = \frac{10}{\omega_{0dB,corr}} = 26 \text{ s}$$

Comme  $1/T_i$  est placé bien avant  $\omega_{0dB}$ , on a :  $C(p) \simeq K_p$ , donc :

$$|H(\omega_{0dB,corr}) \cdot C(\omega_{0dB,corr})| = 1 \Leftrightarrow \frac{K_p K}{\sqrt{1 + (T \cdot \omega_{0dB,corr})^2}} = 1 \Leftrightarrow K_p = \frac{\sqrt{1 + (T \cdot \omega_{0dB,corr})^2}}{K} = 1,4 \text{ USI}$$

**Q56. Marges de stabilité**

Graphiquement : La phase de la FTBO corrigée n'atteint jamais  $-180^\circ$  donc marge de gain infini. Pour la marge de phase, on trace la flèche qui va de  $-180^\circ$  jusqu'à la courbe en phase à la pulsation où le gain vaut 0dB (entre 0,6 et 0,7 rad/s) : la flèche doit aller vers le haut ! Valeur :  $M_\varphi \simeq 100^\circ$ . Le calcul analytique des marges de stabilité était aussi acceptable (bien que, inutilement plus long).

**Q57. Synthèse**

Stabilité : très stable (d'après Q56) car marge de gain infini et marge de phase très supérieure à  $45^\circ$  (valeur habituelle). Précision : parfaitement précis en réponse à un échelon de vitesse (d'après Q53). Rapidité : temps de réponse deux fois plus rapide car pulsation de coupure à 0 dB deux fois plus grande (d'après Q54).

**Partie 5 : Déploiement et inversion des ailes****Q58. Fermeture géométrique**

Dans le polygone  $OAHD$  :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HD} + \overrightarrow{DO} &= \vec{0} \\ \lambda(t)\vec{z}_2 + \frac{l_6}{2}\vec{y}_6 - h_6\vec{z}_6 - l\vec{y}_0 - L\vec{z}_0 &= \vec{0} \end{aligned}$$

En projection dans la base  $B_6$  :

$$\begin{cases} / \vec{y}_6 : & -\lambda(t) \sin \alpha_2 + \frac{l_6}{2} - l \cos \gamma - L \sin \gamma = 0 \\ / \vec{z}_6 : & \lambda(t) \cos \alpha_2 - h_6 + l \sin \gamma - L \cos \gamma = 0 \end{cases}$$

$$\text{D'où : } \lambda(t) = \sqrt{\left(\frac{l_6}{2} + l \sin \frac{\beta}{2} - L \cos \frac{\beta}{2}\right)^2 + \left(h_6 - l \cos \frac{\beta}{2} - L \sin \frac{\beta}{2}\right)^2}$$

**Q59. Course des vérins**

$C = 2600 \text{ mm}$  pour  $2750 \text{ mm}$  sur la documentation technique. La course du vérin choisi est suffisante.

**Q60. Relation affine**

$$a = -875 \text{ mm} \cdot \text{rad}^{-1} \text{ et } b = 612 \text{ mm}$$

**Q61. Matrice d'inertie**

La matrice  $\bar{I}_{G_1}(1)$  présente la forme de celle d'un solide de plan de symétrie  $(G_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ .

**Q62. Energie cinétique**

Les éléments d'inertie des solides 2 à 6 sont négligeables devant ceux du solide 1 :  $E_{c,\Sigma/0} = E_{c,1/0}$

La matrice d'inertie est donnée en  $G_1$ , d'où :  $E_{c,1/0} = \frac{1}{2} [m_1 \cdot \|\vec{V}_{G_1,1/0}\|^2 + \vec{\Omega}_{1/0} \cdot \bar{I}_{G_1}(1) \cdot \vec{\Omega}_{1/0}]$

$$E_{c,1/0} = \frac{1}{2} [m_1 \cdot (e_1^2 + h_1^2) + A_1] \dot{\beta}^2 \quad \text{avec} \quad J_{eq} = [m_1 \cdot (e_1^2 + h_1^2) + A_1] = 1,29 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

**Q63. Puissances galiléennes**

$$P_{v_1 \rightarrow 6/0} = \vec{R}_{0 \rightarrow 6} \cdot \vec{V}_{A,6/0} = -pS\dot{\lambda}(t) = -apS\dot{\beta}(t)$$

$$P_{\text{pes} \rightarrow 1/0} = \vec{R}_{\text{pes} \rightarrow 1} \cdot \vec{V}_{G_1,1/0} = -m_1 g \vec{z}_0 \cdot (-e_1 \vec{z}_1 - h_1 \vec{y}_1) \dot{\beta} = m_1 g \dot{\beta} (e_1 \cos \beta + h_1 \sin \beta)$$

$$P_{\text{frott} \rightarrow 1/0} = \left\{ \begin{matrix} X_{01} \vec{x}_0 + y_{01} \vec{y}_0 + Z_{01} \vec{z}_0 \\ -\mu \dot{\beta} \vec{x}_0 + y_{01} \vec{y}_0 + Z_{01} \vec{z}_0 \end{matrix} \right\}_D \otimes \left\{ \begin{matrix} \dot{\beta} \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_D = -\mu \dot{\beta}^2$$

$$P_{6 \leftrightarrow 1} = \vec{R}_{1 \rightarrow v_2} \cdot \vec{V}_{B,6/1} = -pS\dot{\lambda}(t) = -apS\dot{\beta}(t)$$

$$P_{\text{tot}} = -apS\dot{\beta}(t) + m_1g\dot{\beta}(e_1 \cos \beta + h_1 \sin \beta) - \mu\dot{\beta}^2 - apS\dot{\beta}(t)$$

#### Q64. Théorème de l'énergie cinétique

$$\frac{dE_{c\Sigma/0}}{dt} = P_{\Sigma \rightarrow \Sigma/0} + P_{\text{int}}$$

$$J_{eq}\dot{\beta}\ddot{\beta} = -2apS\dot{\beta} + m_1g\dot{\beta}(e_1 \cos \beta + h_1 \sin \beta) - \mu\dot{\beta}^2$$

$$p = -\frac{1}{2aS}[J_{eq}\ddot{\beta} + \mu\dot{\beta} - m_1g(e_1 \cos \beta + h_1 \sin \beta)]$$

#### Q65. Loi en trapèze

Une loi en trapèze permet de limiter les effets dynamiques. Spécifiquement en hydraulique, cela permet de préserver l'intégrité du réseau.

Dans le trapèze, on écrit :

$$\dot{\beta}_{\text{max}}(T - T_a) = 180$$

$$\dot{\beta}_{\text{max}} = \dot{\beta}_{T_a}$$

On obtient :  $T_a = 14$  s, d'où  $\dot{\beta}_{\text{max}} = 0,7^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### Q66. Prédimensionnement vérin

Le vérin est utilisé en rentrée de tige. La surface utile est donc de  $S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$  avec  $D = 230\text{mm}$  et  $d = 110\text{mm}$ .

$$S = \frac{\pi}{4}(0,23^2 - 0,11^2) = 0,032\text{m}^2.$$

#### Q67. Dimensionnement vérin en phase d'accélération

En phase d'accélération :  $\beta(T_a) = \beta(0) + \Delta\beta$

Avec  $\Delta\beta = \frac{\ddot{\beta}}{2}T_a^2 = 5^\circ$ , d'où :  $\beta(T_a) = -175^\circ$

$$p = -\frac{1}{2aS}[J_{eq}\ddot{\beta} - m_1g(e_1 \cos \beta + h_1 \sin \beta)]$$

$$p_{\text{max\_acc}} = -\frac{1}{2aS}[J_{eq}\ddot{\beta} - m_1g(-e_1)]$$

$$p_{\text{max\_acc}} = -\frac{1}{2 \times (-875 \times 10^{-3}) \times 0,032} [1,29 \times 10^6 \times 0,05 \times \frac{2\pi}{360} - 16,4 \times 10^3 \times 9,81 \times (-1,125)]$$

$$p_{\text{max\_acc}} = 3\,252\,000\text{Pa} = 32,5 \text{ bars}$$

#### Q68. Dimensionnement vérin au bras de levier maximal

$$p_{\text{max\_cst}} = -\frac{1}{2aS}[m_1gh_1]$$

$$p_{\text{max\_cst}} = -\frac{1}{2 \times (-875 \times 10^{-3}) \times 0,032} [16,4 \times 10^3 \times 9,81 \times 8,1]$$

$$p_{\text{max\_cst}} = 23\,270\,000 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{max\_cst}} = 233 \text{ bars}$$

#### Q 69. Conclusion dimensionnement

Le vérin répond aux exigences de course et de pression.

#### Q 70. Conclusion

$$E = P * \Delta t$$

$$\text{AN} : 8 \times 5 \times 270/3600 \times 20 = 60 \text{ kWh.}$$

#### Q 71. Conclusion finale

Les consommations du système pilotant les ailes représentent 8% de la production. Ces consommations ne sont pas négligeables - donc à prendre en compte dans le bilan énergétique - mais sont limitées.

Il faut rajouter à cette étude une analyse de l'ensemble de cycle de vie du produit : extraction des matériaux, fabrication, transport, installation, entretien et recyclage. Il faudra que la durée de vie de ce système soit grande pour diminuer significativement la consommation énergétique globale et l'empreinte écologique de ces moyens de transport.

Si la durée de vie du système est suffisante, le système pourra donc être performant et pertinent d'un point de vue développement durable :

- écologique : réduction des émissions de CO2 et possibilité d'une conversion éventuelle vers une autre source d'énergie bas carbone ; système de propulsion hydraulique moins puissant donc perturbant moins les écosystèmes marins.



- économique : réduction de la consommation de fioul suffisante à terme pour compenser le coût de l'installation ;
- social : création d'emplois locaux pour l'installation des ailes et du système de commande sur des bateaux existants. Création d'emplois moins locaux pour la fabrication des ailes et de leur système de commande.

## D. Commentaires du jury

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

La première partie a été abordée par l'ensemble des candidats. Le jury a constaté que les expressions littérales ont été majoritairement correctement établies, il regrette cependant de nombreuses erreurs d'application numérique essentiellement liées à une mauvaise lecture du sujet.

La seconde partie portant sur le prédimensionnement du mât a été traitée par un grand nombre de candidats. Trop de candidats ont donné les valeurs maximales du moment fléchissant ou de l'effort tranchant mais rares sont ceux qui ont réalisé correctement les coupures et donné l'équation en fonction de « z » de ces éléments. Le jury regrette que peu de candidats aient traité la dernière question, qui était une question de lecture de résultats sur une modélisation.

La troisième partie concernait le dimensionnement, la consommation et la commande des moteurs de pivotement. Le dimensionnement moteur était abordable par l'ensemble des candidats mais un grand nombre de candidats a oublié de vérifier l'exigence de vitesse (et éventuellement de puissance) en sus du couple nécessaire. De trop nombreux chiffres significatifs dans les résultats numériques ont été pénalisés par le jury car ils montrent un manque de recul sur les incertitudes mais aussi sur la portée et les limites des modèles. La modélisation de la commande du moteur asynchrone est maîtrisée par les candidats qui ont travaillé ce sujet lors de leur préparation.

La quatrième partie portant sur le contrôle de la position des ailes a été traitée par la majorité des candidats. Cependant, le jury fait état de nombreuses erreurs, notamment sur le protocole SPI dont la documentation est entièrement donnée dans le sujet et sur la mise à jour des paramètres dans la boucle infinie du code Python. Les questions portant sur l'asservissement ont été assez peu abordées.

La cinquième partie portant sur le déploiement des ailes a été traitée par peu de candidats. Les premières questions mêlaient géométrie et lecture de courbes. La fermeture géométrique et notamment les projections dans une base doivent être traitées de manière beaucoup plus rigoureuse.

Les calculs d'énergie cinétique (solide en rotation autour d'un axe fixe) et de puissances ont été très mal traités par la majorité des candidats. Dans la très grande majorité des cas, le théorème de l'énergie cinétique n'est pas su ou pas écrit. Les dernières questions nécessitaient d'avoir obtenu les résultats aux questions précédentes.

Dans l'ensemble, le jury enjoint les candidats à faire preuve de plus de rigueur dans la manipulation des expressions et des grandeurs. Par ailleurs, certains candidats ne remarquent pas les erreurs flagrantes d'ordres de grandeur (par exemple dans le calcul de la surface du piston ou de la pression dans celui-ci). Il est fondamental pour un futur enseignant de sciences de l'ingénieur de maîtriser ceux-ci.

La conclusion finale pouvait être traitée par l'ensemble des candidats car les résultats nécessaires étaient donnés. Trop peu de candidats prennent le temps de répondre à cette question alors qu'il paraît incontournable de conclure pour répondre à la problématique générale proposée. Quelques candidats ont réussi à nuancer l'impact positif de l'installation des ailes en mentionnant la nécessité de réaliser une étude de l'ensemble du cycle de vie du système complet.

Le jury constate que les meilleurs résultats sont obtenus par les candidats ayant abordé au moins trois parties. Le jury encourage ainsi fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui sélectionnent les questions et se restreignent à celles relatives à une spécialité donnée de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement

limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur. Les candidats doivent également s'attacher à utiliser leurs connaissances universitaires afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, les justifications et les choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Trop de copies ressemblent à un brouillon tant au niveau de l'organisation que de l'écriture peu soignée. On rappelle que la rédaction des réponses doit toujours commencer par indiquer le numéro exact de la question traitée. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

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

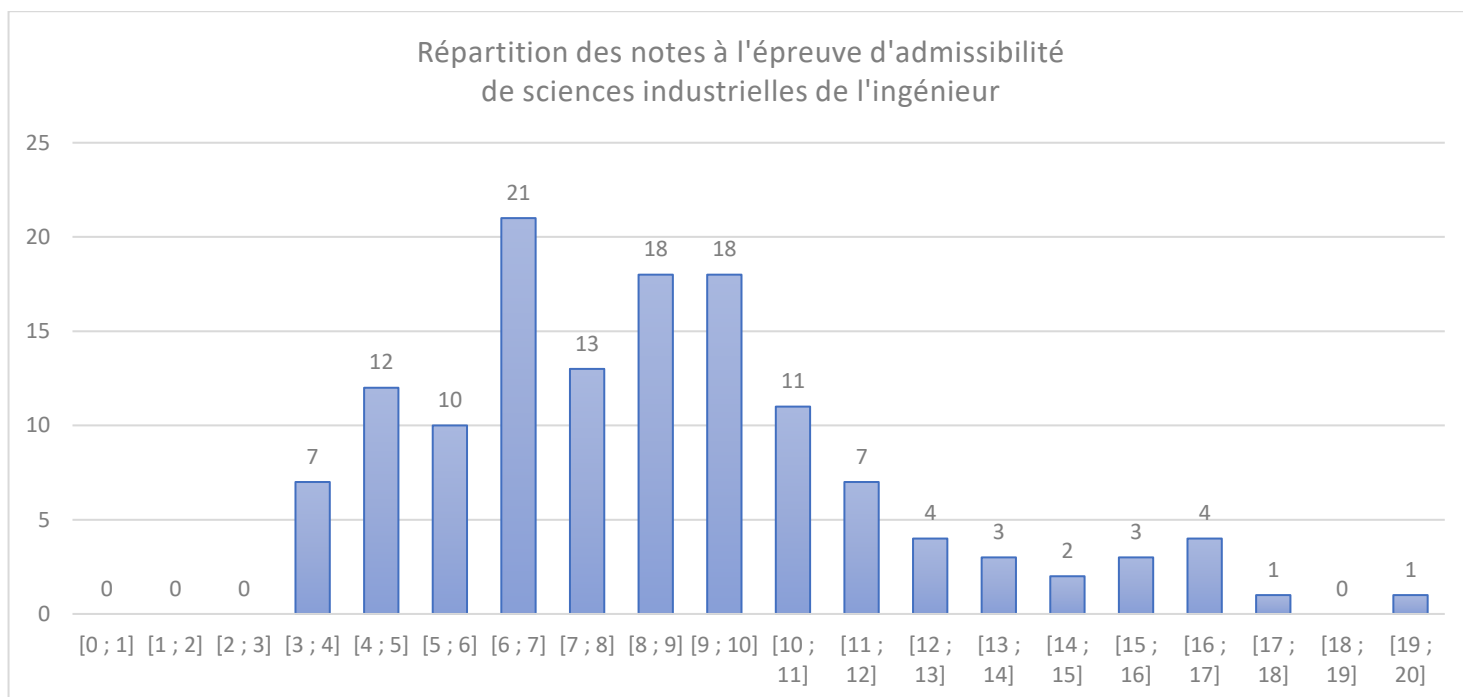
Réussir cette épreuve demande :

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

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus de l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié.

## E. Résultats

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



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

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

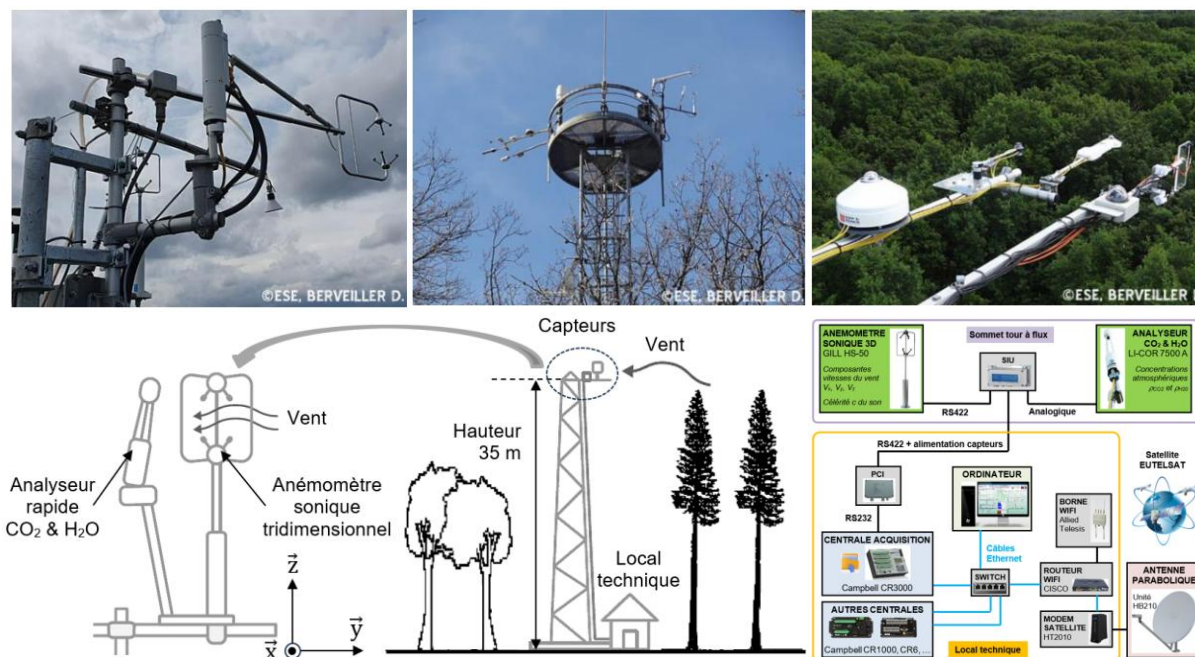
## B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/19036/download>

Le sujet de l'étude porte sur les dispositifs expérimentaux mis en place par l'équipe Ecophysiologie végétale du laboratoire Ecologie, Société et Evolution (ESE) pour mesurer les flux de  $\text{CO}_2$  échangés entre l'atmosphère et les écosystèmes, au sein d'un site situé dans la forêt de Barbeau où est installée une tour à flux.

La mesure de flux de  $\text{CO}_2$  se base sur la méthode de la covariance des turbulences et utilise un anémomètre sonique tridimensionnel et un analyseur rapide  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  infrarouge situés au sommet de la tour. De nombreux capteurs haute technologie complètent ce dispositif afin d'expliquer les variations de flux observées et de mieux comprendre leur rôle face aux changements climatiques.

Le système étudié dans le sujet concerne plus particulièrement l'électronique d'acquisition et de traitement des signaux issus des capteurs ainsi que la transmission des signaux par liaison satellite. Il s'appuie sur des données expérimentales issues du site de Barbeau et accessibles en ligne sur la base de données de l'infrastructure de recherche européenne ICOS (Integrated Carbon Observation System).



## C. Éléments de correction

- Question 1** Anémomètre :  $V_z$  en  $m \cdot s^{-1}$  – étendue de mesure de 0 à  $45 m \cdot s^{-1}$   
Analyseur :  $\rho_{CO_2}$  en  $mmol \cdot m^{-3}$  – étendue de mesure de 0 à  $117 mmol \cdot m^{-3}$
- $$F_{CO_2} = \overline{\rho_{CO_2}} \cdot \overline{V_z} \text{ en } mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$$
- Question 2**  $\overline{\rho_{CO_2}} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \rho_{CO_2}[k]$   $\overline{V_z} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} V_z[k]$
- Question 3** On cherche N tel que  $N \cdot T_e = T$  soit  $N = f_e \cdot T = 20 \cdot 30 \cdot 60 = \boxed{36000}$
- Question 4** Les données transitent sur une paire de fils distincts de la masse, de façon différentielle. La liaison RS422 entre le connecteur SIU et l'interface PCIA est bidirectionnelle simultanée (full duplex) car il y a 2 conducteurs d'émission des données (Tx<sup>+</sup>,Tx<sup>-</sup>) et 2 conducteurs de réception des données (Rx<sup>+</sup>,Rx<sup>-</sup>).
- Question 5** Débit maximal sur DT1 :  $\boxed{115 \text{ kbauds}}$  ou  $\boxed{115 \text{ kbits/s}}$  (1 baud = 1 bit/s).  
 La longueur maximale de câble sans résistance de terminaison avec ce débit est d'environ 80 à 100 m, nettement > 35 m + quelques m reliant le local technique aux capteurs. Les résistances de terminaison ne sont donc pas nécessaires.
- Question 6** Le mécanisme de transfert repose sur la transmission de données sans signal d'horloge. La synchronisation se fait par un bit de start. Les émetteurs et récepteurs doivent être configurés avec les mêmes paramètres, dont entre autres le débit, la parité, le format de la donnée (7 ou 8 bits) et le nombre de bit(s) de stop.
- Question 7** Chaque caractère est codé en ASCII sur un octet, soit 60 à 70 octets par numéro à transmettre.  
 $36000 \cdot 60 = 2160000 \text{ octets} \Rightarrow \boxed{2,16 \text{ Mo}}$  ou  $\boxed{2,06 \text{ Mio}}$   
 $36000 \cdot 70 = 2520000 \text{ octets} \Rightarrow \boxed{2,52 \text{ Mo}}$  ou  $\boxed{2,40 \text{ Mio}}$   
 La capacité mémoire minimale de la carte Compact Flash doit être :  
 $2,16 \cdot 48 \cdot 5 = \boxed{518 \text{ Mo}}$  ou  $2,06 \cdot 48 \cdot 5 = \boxed{494 \text{ Mio}}$   
 $2,52 \cdot 48 \cdot 5 = \boxed{605 \text{ Mo}}$  ou  $2,4 \cdot 48 \cdot 5 = \boxed{576 \text{ Mio}}$   
 Les cartes SSD-C01GI-3038 et SSD-C02GI-3038 sont susceptibles de convenir.
- Question 8**  $t_a = \frac{L}{c - V_1}$  et  $t_r = \frac{L}{c + V_1} \Rightarrow c = \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{1}{t_a} + \frac{1}{t_r} \right)$  et  $V_1 = \frac{L}{2} \cdot \left( \frac{1}{t_r} - \frac{1}{t_a} \right)$ .  
 La célérité c dépend des conditions ambiantes de température, humidité et pression barométrique. On s'en affranchit avec ce principe puisque  $V_1$  ne dépend pas de c contrairement à ce qu'on obtiendrait avec un simple émetteur et un simple récepteur.
- Question 9**  $\vec{e}_k = \cos \varphi \cdot (\cos \theta_k \vec{x} + \sin \theta_k \vec{y}) + \sin \varphi \cdot \vec{z}$
- Question 10**  $B = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \theta_1 & \cos \varphi \cdot \sin \theta_1 & \sin \varphi \\ \cos \varphi \cdot \cos \theta_2 & \cos \varphi \cdot \sin \theta_2 & \sin \varphi \\ \cos \varphi \cdot \cos \theta_3 & \cos \varphi \cdot \sin \theta_3 & \sin \varphi \end{pmatrix} \Rightarrow B = \begin{pmatrix} 0,6593 & 0 & 0,7518 \\ -0,3297 & -0,5710 & 0,7518 \\ -0,3297 & 0,5710 & 0,7518 \end{pmatrix}$
- Question 11**  $V_z = 0,4434 \cdot (V_1 + V_2 + V_3)$
- Question 12** Les transducteurs doivent être à tour de rôle émetteur puis récepteur (Combined use type). De plus, ils doivent être étanches (Waterproof type). Les transducteurs convenant ont pour référence : MA40E7S-1, MA40E8-2 et MA40MF14-1B.

**Question 13**  $Z_{min} = \boxed{280 \Omega}$  à  $f_r = \boxed{40,9 \text{ kHz}}$  et  $Z_{max} = \boxed{17,77 \text{ k}\Omega}$  à  $f_{ar} = \boxed{44,2 \text{ kHz}}$

$f < f_r$  et  $f > f_{ar}$  : comportement capacitif ( $\varphi < 0$  et proche de  $-\pi/2$ )

$f_r < f < f_{ar}$  : comportement inductif ( $\varphi > 0$ )

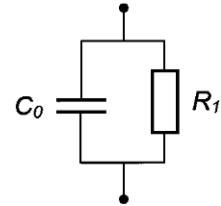
**Question 14** 
$$\underline{Y} = jC_0 2\pi f + \frac{1}{\frac{1}{jC_1 2\pi f} + jL_1 2\pi f} \Rightarrow \underline{Z} = \frac{1}{j2\pi f} \cdot \frac{1 - L_1 C_1 (2\pi f)^2}{C_0 + C_1 - L_1 C_1 C_0 (2\pi f)^2}$$

**Question 15**  $\boxed{Z_{min} = 0 \Omega} \Rightarrow \boxed{f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}}$  et  $\boxed{Z_{max} = +\infty} \Rightarrow \boxed{f_{ar} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{L_1 C_1 C_0}{C_0 + C_1}}}}$

**Question 16** Numériquement, on trouve  $\boxed{C_1 = 369 \text{ pF}}$  et  $\boxed{L_1 = 41 \text{ mH}}$ .

**Question 17** 
$$\underline{Z}(f = f_r) = \frac{1}{jC_0 2\pi f_r + \frac{1}{R_1}} = \frac{R_1}{1 + jR_1 C_0 2\pi f_r} \Rightarrow \boxed{Z_{min} = \frac{R_1}{\sqrt{1 + (R_1 C_0 2\pi f_r)^2}}}$$

$$Z_{min}^2 = \frac{R_1^2}{1 + (R_1 C_0 2\pi f_r)^2} \Rightarrow R_1 = \frac{Z_{min}}{\sqrt{1 - Z_{min}^2 (C_0 2\pi f_r)^2}} = \boxed{284 \Omega}$$



**Question 18** Au voisinage de la résonance (40,9 kHz), le modèle basé sur les paramètres calculés donne les meilleurs résultats, l'écart entre valeurs issues du modèle et données expérimentales étant très faible en particulier pour la phase. Au voisinage de l'antirésonance (44,2 kHz), par contre, c'est le modèle basé sur les paramètres « fabricant » qui semble donner les meilleurs résultats. Cela s'explique par le fait que la valeur de  $Z_{max}$  n'est pas exploitée pour établir le modèle calculé.

**Question 19**

| Registres | b <sub>7</sub> | b <sub>6</sub> | b <sub>5</sub> | b <sub>4</sub> | b <sub>3</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>1</sub> | b <sub>0</sub> |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| FREQUENCY | 0              | 0              | 1              | 1              | 0              | 1              | 1              | 0              |
| PULSE     | 1              | 1              | 0              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              |
| CURR_LIM  | 0              |                | 1              | 1              | 0              | 0              | 1              | 0              |

| Registres | b <sub>7</sub> ... b <sub>0</sub> |
|-----------|-----------------------------------|
| FREQUENCY | 0x36 ou 0h36 ou \$36 ou 36        |
| PULSE     | 0xCA ou CA ou \$CA ou CA          |

**Question 20** Les graphes sont donnés ci-contre.

**Question 21** 
$$\underline{Z_r} = \frac{R_1(1 - L_f(C_0 + C_a) \cdot (2\pi f_r)^2) + jL_f 2\pi f_r}{1 + jR_1(C_0 + C_a) 2\pi f_r}$$

L'impédance  $Z_r$  est minimale si :

$$1 - L_f(C_0 + C_a) \cdot (2\pi f_r)^2 = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{C_a = \frac{L_1 C_1}{L_f} - C_0} = \boxed{585 \text{ pF}}$$

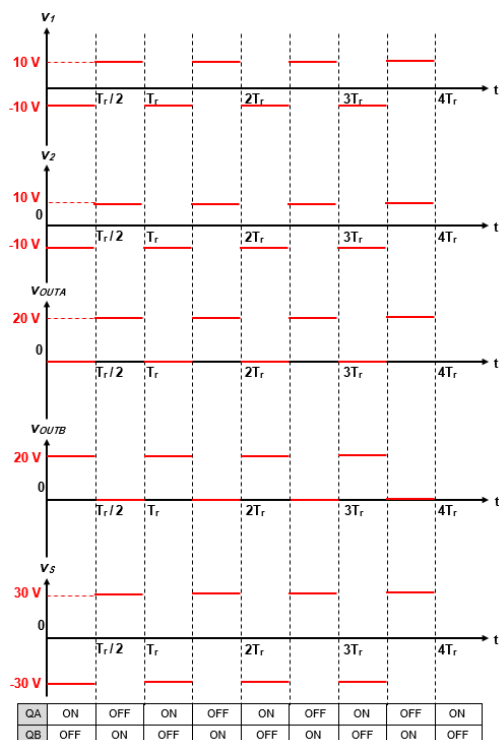
**Question 22**  $L = 600 \cdot 10^{-6} \cdot 343 \approx \boxed{20,6 \text{ cm}}$

**Question 23**  $\boxed{v_a(t) = v^- = v^+ = V_{REF}}$

**Question 24** 
$$\underline{H}(j\omega) = A_v \frac{jR_2 C_2 \omega}{1 + jR_2 C_2 \omega}$$

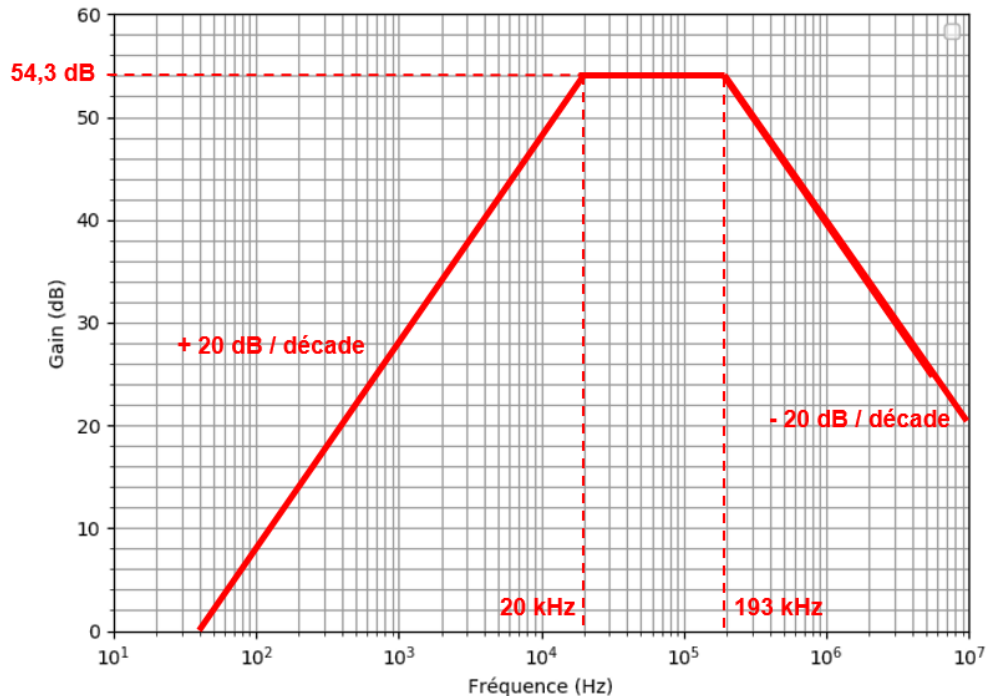
Filtre passé – haut

$$\boxed{f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}} \approx \boxed{20 \text{ kHz}}$$



**Question 25** L'amplitude crête à crête du signal reçu est d'environ 9 mV.  
On peut l'amplifier d'un facteur  $A_v = 517$  ( $517 \times 9 = 4,65 \text{ V} < 5 \text{ V}$ )

**Question 26** On a  $A_v \cdot f_c = 100 \text{ MHz} \Rightarrow f_c = \frac{100 \cdot 10^6}{517} \approx 193 \text{ kHz}$   
Dans la bande passante :  $20 \cdot \log_{10} A_v = 54,3 \text{ dB}$



**Question 27**  $\log_{10} e_{nf}(f) = -0,5 \cdot \log_{10} f + \log_{10} b$  avec  $b = e_{nw} \sqrt{f_{ce}}$

$$e_{nf}(f) = e_{nw} \sqrt{\frac{f_{ce}}{f}} \quad \text{et} \quad i_{nf}(f) = i_{nw} \sqrt{\frac{f_{ci}}{f}}$$

**Question 28**  $E_n = e_{nw} \sqrt{f_{ce} \cdot [\ln f]_{f_L}^{f_H} + [f]_{f_L}^{f_H}} = e_{nw} \sqrt{f_{ce} \cdot \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + f_H - f_L}$

De même, on démontrerait que :  $I_n = i_{nw} \sqrt{f_{ci} \cdot \ln \left( \frac{f_H}{f_L} \right) + f_H - f_L}$

**Question 29**  $e_{nw} = 0,7 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  et  $i_{nw} = 1 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$

$$f_{ce} \approx 4 \text{ kHz} \quad \text{et} \quad f_{ci} \approx 2 \text{ kHz}$$

$$E_n = 304 \text{ nV} \quad \text{et} \quad I_n = 430 \text{ pA}$$

**Question 30** Par application du principe de superposition, on démontre que :

$$E_{on-R} = \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \sqrt{4 k_B T_a ((R_2 // R_3) + R_2) (f_H - f_L)}$$

**Question 31**  $E_{on-R} = 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ V}$  et  $E_{on-ALI} = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ V} \Rightarrow E_{on} = 3,29 \cdot 10^{-4} \text{ V}$

**Question 32**  $q = \frac{PE}{2^n} = \frac{5}{2^{12}} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

On vérifie que  $2 \sqrt{2} E_{on} < q \Rightarrow 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,29 \cdot 10^{-4} \text{ V} = 9,3 \cdot 10^{-4} \text{ V} < 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ V}$   
donc le nombre de bits imposé par la résolution est compatible avec le bruit du signal.



### Question 33

Pour  $v_{ech} = 4 \text{ V}$  :

$i = 11$   $N_{int} = (1000 \ 0000 \ 0000)_2 = 2048_{(10)}$

$v_{CNA} = 2,5 \text{ V} < v_{ech}$

le bit de poids 11 reste à 1.

$i = 10$   $N_{int} = (1100 \ 0000 \ 0000)_2 = 3072_{(10)}$

$v_{CNA} = 3,75 \text{ V} < v_{ech}$

le bit de poids 10 reste à 1.

$i = 9$   $N_{int} = (1110 \ 0000 \ 0000)_2 = 3584_{(10)}$

$v_{CNA} = 4,375 \text{ V} > v_{ech}$

le bit de poids 9 passe à 0.

$i = 8$   $N_{int} = (1101 \ 0000 \ 0000)_2 = 3328_{(10)}$

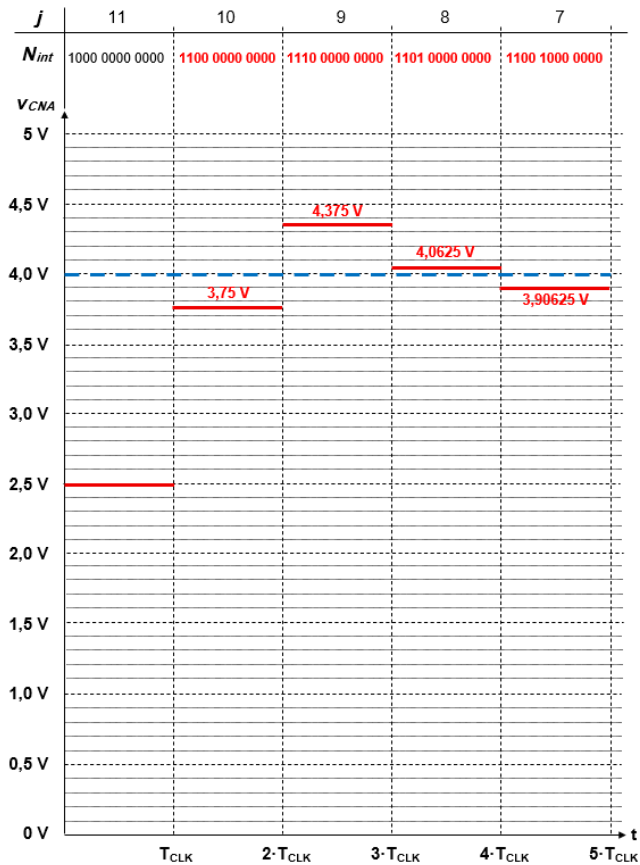
$v_{CNA} = 4,0625 \text{ V} > v_{ech}$

le bit de poids 8 passe à 0.

$i = 7$   $N_{int} = (1100 \ 1000 \ 0000)_2 = 3200_{(10)}$

$v_{CNA} = 3,90625 \text{ V} < v_{ech}$

le bit de poids 7 reste à 1.



### Question 34

La durée de conversion  $T_{conv}$  est constante :  $T_{conv} = 12 \cdot T_{CLK}$

Numériquement,  $T_{conv} = \frac{12}{f_{CLK}} = \frac{12}{16 \cdot 10^6} = 0,75 \mu\text{s} < T_e = 1 \mu\text{s}$

### Question 35

$\omega_{ac} = 2 \cdot 10^6 \cdot \tan \frac{2 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 252 \ 659 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

$\omega_{ah} = 2 \cdot 10^6 \cdot \tan \frac{2 \cdot \pi \cdot 42 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 265 \ 436 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

$\omega_{ab} = 2 \cdot 10^6 \cdot \tan \frac{2 \cdot \pi \cdot 38 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 239 \ 902 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

### Question 36

$H(p) = \frac{1}{\frac{1}{\Delta\omega} \frac{p^2 + \omega_0^2}{p} + 1} = \frac{\Delta\omega \cdot p}{p^2 + \Delta\omega \cdot p + \omega_0^2} = \frac{25534 \cdot p}{p^2 + 25534 \cdot p + 6,384 \cdot 10^{10}}$

Par identification, il vient  $a = b = \Delta\omega = 25534$  et  $c = \omega_0^2 = \omega_{ac}^2 = 6,384 \cdot 10^{10}$

### Question 37

$H(z) = \frac{\frac{\Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} - \frac{\Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} z^{-2}}{1 + \frac{2 \cdot \omega_0^2 \cdot T_e^2 - 8}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} z^{-1} + \frac{\omega_0^2 \cdot T_e^2 - \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + 4}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} z^{-2}}$

Par identification, il vient :

$a_0 = a_2 = \frac{\Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} = 0,0124$

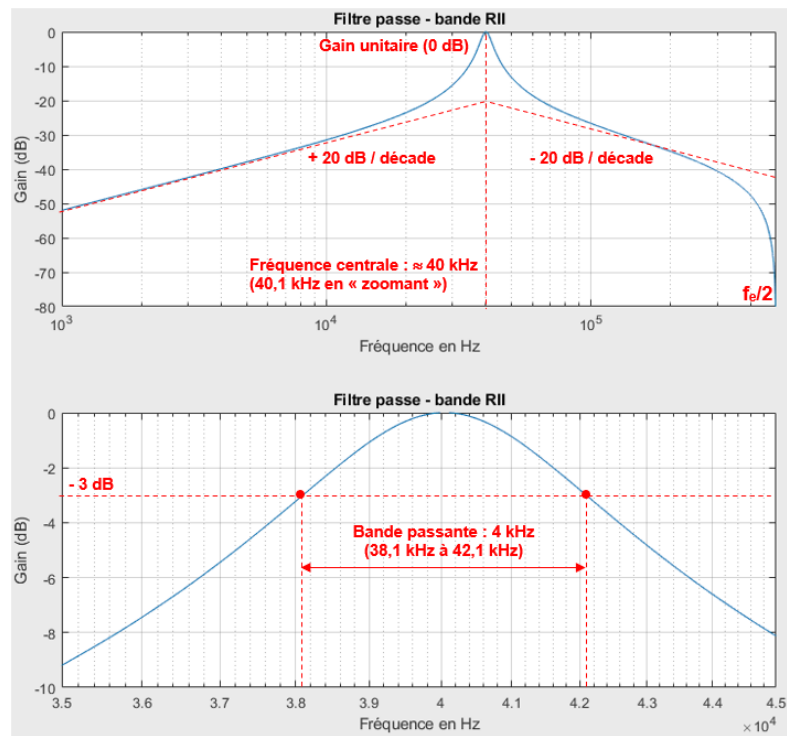
$b_1 = \frac{2 \cdot \omega_0^2 \cdot T_e^2 - 8}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} = -1,913$

$b_2 = \frac{\omega_0^2 \cdot T_e^2 - \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + 4}{4 + \Delta\omega \cdot 2 \cdot T_e + \omega_0^2 \cdot T_e^2} = 0,975$

### Question 38

Filtre stable car tous ses pôles ont un module inférieur à 1 :  $|p_{1,2}| = 0,9875 < 1$

### Question 39



### Question 40

$$N_F[k] = 1,913 \cdot N_F[k-1] - 0,9752 \cdot N_F[k-2] + 0,01241 \cdot N[k] - 0,01241 \cdot N[k-2]$$

### Question 41

$$N_R[k] = |N_F[k]|$$

### Question 42

X correspond à  $N_R$  et Y correspond à  $N_C$

### Question 43

On peut prendre un taux égal à 12 ou 13 car la durée de chacune des oscillations obtenues après redressement est égale à une demi-période soit  $\frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \cdot 40000} = 12,5 \mu s$  ou encore une fréquence de sous-échantillonnage de 80 kHz.

```
# Initialisation
Taux = 12
Nc [0] = 0
C = 0

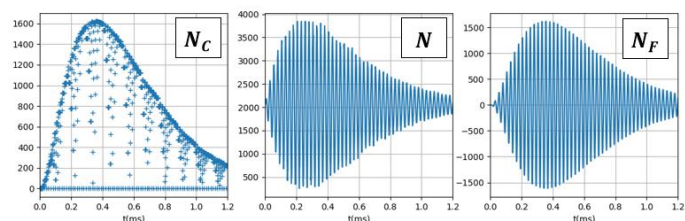
# compteur du bloc sous-échantillonnage
Pour k variant de 1 à durée du signal observé / période d'échantillonnage
    Si C ≤ Taux
        Si NR[k] > Nc[k-1] # algorithme de recherche du maximum
            Nc[k] = NR[k]
        Sinon
            Nc[k] = Nc[k-1]
        Fin si
        C = C + 1 # incrémentation du compteur
    Sinon
        No = Nc[k-1]
        Sauvegarder No dans FIFO RAM
        Nc[k] = 0 # RAZ des variables Nc et C
        C = 0
    Fin si
Fin pour
```

### Question 44

La mémoire FIFO RAM (First-In-First-Out Random Access Memory) fait référence à un type de structure de mémoire dans laquelle les premières données écrites dans la mémoire sont les premières à être lues. Les données sont traitées dans l'ordre dans lequel elles ont été reçues. En prenant Taux = 12, on a 100 points sur une durée d'observation de 1,2 ms soit une capacité mémoire nécessaire de 200 octets.

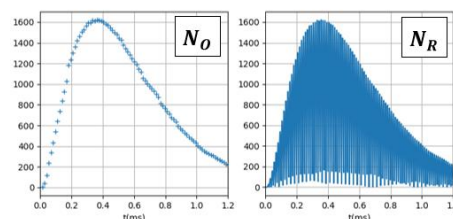
### Question 45

Les équations de récurrence et l'algorithme de recherche de maximum implémentés permettent bien de réaliser un détecteur d'enveloppe numérique.



### Question 46

La connexion internet par satellite représente une alternative pour les zones non couvertes par la fibre optique, ce qui est le cas de la forêt de Barbeau.





**Question 47** Il s'agit d'une modulation **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying).

Elle exploite les décalages de phase pour transmettre des données numériques sur les fréquences radio, la communication par satellite, et d'autres supports. C'est une modulation robuste pour des canaux de communication très perturbés. De plus, son efficacité dans l'utilisation de la bande passante, en fait un choix privilégié pour divers systèmes de diffusion numérique et de télécommunications.

Il y a **4 symboles** et **2 bits par symbole**. Par conséquent :  $R_b = 2 \cdot R_s$

**Question 48**  $s(t) = V_I \cos(2\pi f_p t) + V_Q \cos\left(2\pi f_p t + \frac{\pi}{2}\right) = V_I \cos(2\pi f_p t) - V_Q \sin(2\pi f_p t)$

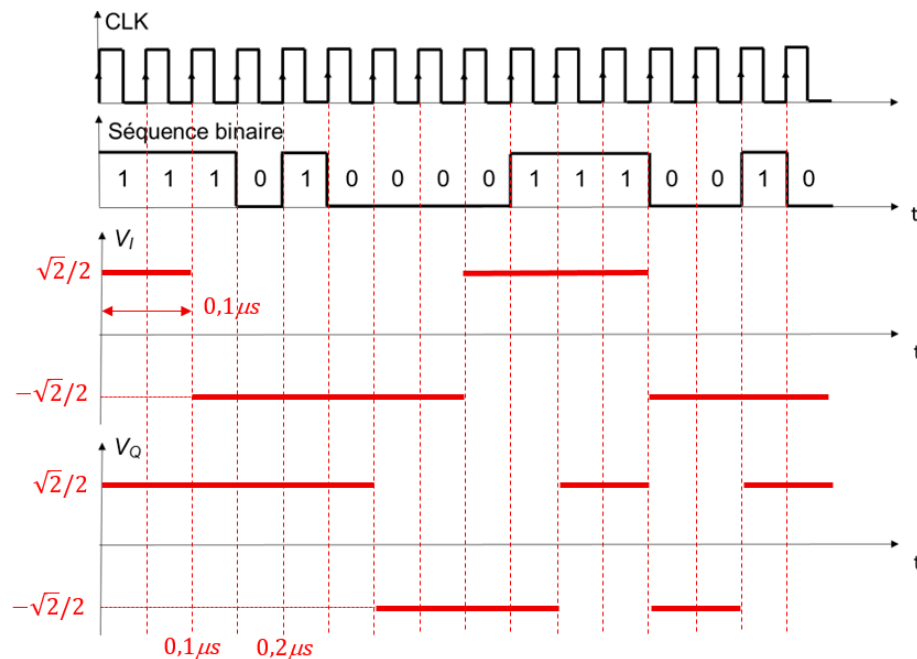
$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_p t + \varphi_k) = A \cdot \cos(2\pi f_p t) \cdot \cos \varphi_k - A \cdot \sin(2\pi f_p t) \cdot \sin \varphi_k$$

$$V_I = A \cdot \cos \varphi_k \quad \text{et} \quad V_Q = A \cdot \sin \varphi_k$$

**Question 49**

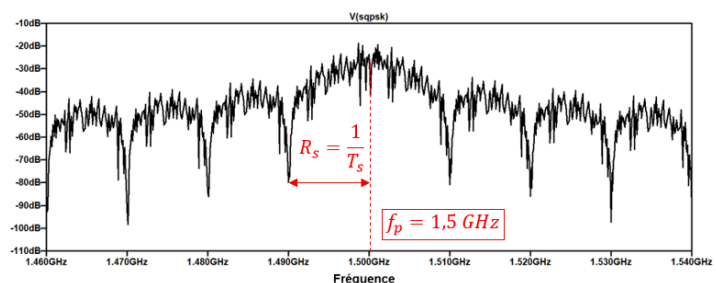
| Symbole | $\varphi_k$ | $V_I$ (V)     | $V_Q$ (V)     |
|---------|-------------|---------------|---------------|
| 11      | $\pi/4$     | $\sqrt{2}/2$  | $\sqrt{2}/2$  |
| 10      | $3\pi/4$    | $-\sqrt{2}/2$ | $\sqrt{2}/2$  |
| 00      | $5\pi/4$    | $-\sqrt{2}/2$ | $-\sqrt{2}/2$ |
| 01      | $7\pi/4$    | $\sqrt{2}/2$  | $-\sqrt{2}/2$ |

**Question 50**



**Question 51**

L'efficacité spectrale est définie par  $\eta = D/B$  et s'exprime en "bit par seconde et par hertz". La valeur D est le débit binaire (en bit/s) et B (en Hz) est la largeur de la bande occupée par le signal modulé. Pour une modulation QPSK :  $\eta = 2$ .



**Question 52**  $L_S = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{c/f}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35786 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 / 20 \cdot 10^9}\right)^2 = 8,988 \cdot 10^{20}$

$$(L_S)_{dB} = 10 \cdot \log_{10} L_S = 209,5 \text{ dB}$$

**Question 53**

$$P_R = \frac{P_{IREsat} \cdot G_R}{L_S \cdot L_A}$$

Question 54

$$\frac{P_R}{P_b} = \frac{PIRE_{sat}}{L_S \cdot L_A \cdot k_B \cdot B} \cdot \left( \frac{G_R}{T_b} \right)$$

Question 55

$$P_R = E_b \cdot R_b$$

Question 56

$$P_b = B \cdot N_0$$

Question 57

$$\frac{P_R}{P_b} = \frac{R_b}{B} \cdot \left( \frac{E_b}{N_0} \right)$$

Question 58

$$\frac{P_R}{P_b} = \frac{PIRE_{sat}}{L_S \cdot L_A \cdot k_B \cdot B} \cdot \left( \frac{G_R}{T_b} \right) = \frac{R_b}{B} \cdot \left( \frac{E_b}{N_0} \right) \text{ avec } 10 \cdot \log_{10} k_B = 10 \cdot \log_{10} 1,38 \cdot 10^{-23} = -228,6$$

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} = 228,6 + (PIRE_{sat})_{dB} + \left( \frac{G_R}{T_b} \right)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} - 10 \cdot \log_{10} R_b$$

Question 59

$$\left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} \geq 6,5 \text{ dB}$$

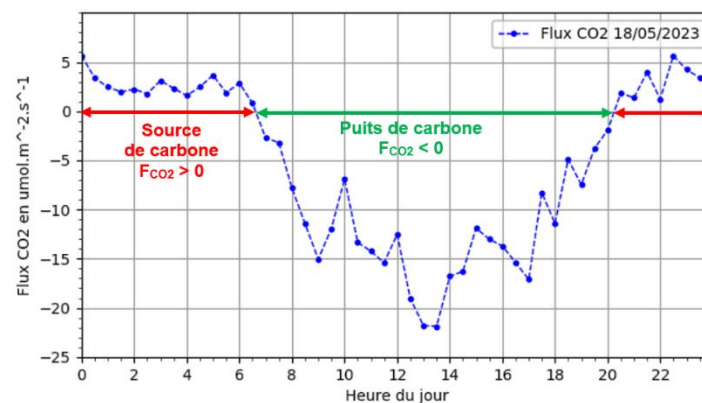
Question 60

$$R_{smax} = 12 \cdot 10^6 \text{ bauds et } R_b = 2R_{smax} = 24 \cdot 10^6 \text{ bits} \cdot s^{-1}$$

$$\left( \frac{G_R}{T_b} \right)_{dB} \geq 6,5 - 228,6 - 50 + 209,5 + 10 + 10 \cdot \log_{10} 24 \cdot 10^6 = \boxed{21,2 \text{ dB}}$$

Il faudra choisir une antenne de diamètre 1,2 m.

Question 61



Question 62

$$Q_{CO2} \text{ en } \mu\text{mol (ou mmol)} \cdot m^{-2}$$

Question 63

$$Q_{CO2}(n \cdot T) = Q_{CO2}((n-1) \cdot T) - \int_{(n-1) \cdot T}^{n \cdot T} F_{CO2}(x) \cdot dx$$

$$\int_{(n-1) \cdot T}^{n \cdot T} F_{CO2}(x) \cdot dx = \frac{F_{CO2}((n-1) \cdot T) + F_{CO2}(n \cdot T)}{2} \cdot T$$

$$A = 1 ; B = C = -\frac{T}{2} = -900 \text{ s}$$

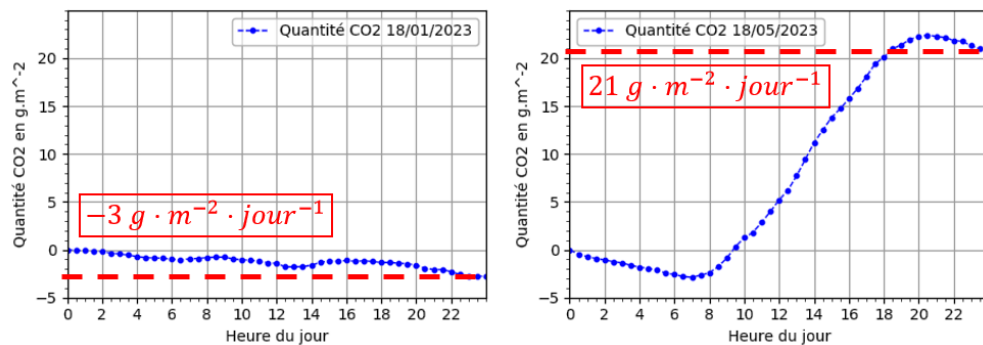
Question 64

```

QCO2 = np.zeros(len(FCO2))           # Création d'un tableau de zéros
A, B, C = 1, -900, -900              # Valeurs des coefficients A, B et C
# Boucle de calcul des QCO2[n]
for i in range(1, len(FCO2)):
    QCO2[i] = A * QCO2[i-1] + B * FCO2[i] + C * FCO2[i-1]
return QCO2

```

### Question 65



Si on ramène à un hectare (ha) soit 10 000 m<sup>2</sup>, on obtient :

La forêt **émet** lors de cette journée d'hiver :  $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$

La forêt **séquestre** lors de cette journée de printemps :  $210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$

### Question 66

Pour 350 passagers, un vol Paris – New York émet  $350 \cdot 11672 / 100 \cdot 9 \approx 367$  tonnes. Il faut donc près de **20 ans** à un hectare de cette forêt pour séquestrer cette quantité.

### Question 67

La start-up Kanop a développé une technique innovante de télédétection par satellite et intelligence artificielle pour évaluer le carbone stocké dans les forêts, qui se distingue fortement de la méthode eddy covariance reposant sur des instruments de terrain comme un analyseur CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O et un anémomètre sonique. Elle permet d'estimer le carbone stocké dans les forêts sur de grandes surfaces, sans déploiement d'instruments au sol.

#### Avantages de la méthode Kanop

1. Large couverture spatiale – Idéale pour des politiques de suivi à l'échelle régionale/nationale.
2. Moins invasive – Pas besoin de construction d'infrastructures sur site.
3. Facilité de mise à jour – Les cartes de stock peuvent être mises à jour régulièrement avec de nouvelles données satellite.
4. Utilisation en zones inaccessibles – Forêts tropicales, zones montagneuses, etc.

#### Inconvénients de la méthode Kanop

1. Mesure indirecte – Elle repose sur des modèles et des hypothèses (calibration nécessaire avec données terrain).
2. Pas de mesure des flux – Ne permet pas de savoir combien de carbone est absorbé ou émis à un instant donné.
3. Résolution temporelle plus faible – Ne permet pas de suivre les variations journalières ou saisonnières comme l'eddy covariance.

La méthode Kanop est complémentaire à la méthode des covariances turbulentes :

- Kanop est idéale pour cartographier les stocks de carbone à grande échelle.
- L'eddy covariance est indispensable pour comprendre les dynamiques de flux de carbone et calibrer/valider les modèles.

L'avenir du suivi du carbone forestier réside donc dans la synergie entre les deux méthodes : la télédétection pour la cartographie à grande échelle, et les mesures in situ pour l'ancrage scientifique

## D. Commentaires du jury

### Analyse générale

Le sujet comportait 5 parties indépendantes, dont 3 principales.

De manière générale, le jury recommande aux futurs candidats de :

- Soigner leur copie, certaines copies pouvant être difficiles à lire par les correcteurs.
- Veiller à ce que leur copie soit correctement organisée. En particulier, il est souhaitable de ne pas mélanger l'ordre des questions.
- Lire l'intégralité des questions posées, certaines réponses sont incomplètes par manque d'attention.
- Détailler les développements théoriques ou les applications numériques. Si l'expression théorique ou l'application numérique est fautive alors que le raisonnement est correct mais non détaillé sur la copie, aucun point ne peut être attribué.
- Veiller à l'homogénéité des expressions obtenues et ne pas oublier les unités.

Par ailleurs, le jury relève des connaissances insuffisantes en électronique sur des questions élémentaires comme l'association parallèle de plus de 2 impédances complexes, les expressions des impédances complexes d'un condensateur ou d'une inductance (oubli de  $j$  !) et le comportement d'un condensateur en régime continu.

### 1<sup>ère</sup> partie : Principe de la mesure du flux de CO<sub>2</sub>

Cette première partie proposait de :

- (i) caractériser le flux de CO<sub>2</sub> (technique de covariance des turbulences) ;
- (ii) caractériser la transmission des données entre les capteurs et la centrale d'acquisition ;
- (iii) déterminer le nombre de mesures nécessaires et les capacités mémoires des centrales d'acquisition.

La première question consistait à étudier les documentations techniques des capteurs (anémomètre sonique et analyseur CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) afin de donner les unités de la concentration molaire volumique de CO<sub>2</sub> et de la vitesse  $V_z$  d'un tourbillon d'air transportant du CO<sub>2</sub> ainsi que leurs étendues de mesure. Si cette question a été dans l'ensemble bien traitée, une partie des candidats n'a pas donné les étendues de mesures.

La sous-partie concernant la transmission et sauvegarde des mesures dans la centrale d'acquisition interrogeait les candidats sur les caractéristiques de la transmission des données qui s'appuyaient principalement sur la lecture de documentation. Peu de candidats ont répondu aux questions de cette sous-partie dans leur intégralité. En particulier, la question 6 sur le mécanisme d'une transmission série asynchrone UART a été traitée de façon incomplète et peu de candidats ont réussi à estimer les capacités mémoire minimales du système (question 7).

### 2<sup>ème</sup> partie : Acquisition de la vitesse du vent

La deuxième partie portait sur le principe d'acquisition de la vitesse du vent à l'aide d'un anémomètre sonique.

La partie débutait sur l'expression de la vitesse du vent selon un des axes du transducteur. Le jury note beaucoup d'erreurs dans le traitement de la question 8 avec des vitesses qui ne sont pas exprimées correctement en fonction de la distance et du temps. Une grande partie des candidats n'a pas su traiter correctement le calcul de la matrice de passage de la base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  à la base  $(\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ .

Les questions suivantes traitaient de la modélisation des transducteurs piézoélectriques. Le jury note des difficultés notables pour de nombreux candidats à calculer une fonction de transfert complexe. Quelques candidats ne savent pas exprimer l'impédance complexe d'un condensateur ou d'une inductance. La question 15 a par ailleurs été globalement mal traitée, les candidats ne considérant pas les valeurs de  $Z_{\min} = 0$  et  $Z_{\max} = +\infty$ , permettant de déduire les fréquences de résonance et d'anti-résonance. Globalement, le manque d'aisance mathématique a pénalisé de nombreux candidats dans cette sous-partie. Par ailleurs, la question 20 sur l'analyse du schéma du générateur d'impulsions a été traitée partiellement par la plupart des candidats.

Dans la sous-partie sur la réception des ondes sonores (amplification et filtrage), la question 23 a mis en évidence qu'une grande partie des candidats ne connaissaient pas le comportement d'un

condensateur en régime continu. De même, pour la question 26 où le diagramme de Bode asymptotique du système prenant en compte la limitation en fréquence de l'ALI n'a correctement été tracé que par 7 candidats.

La dernière sous-partie sur le bruit en sortie du LNA n'a été traitée que partiellement et en particulier aucun candidat n'a mené jusqu'au bout le calcul de bruit à la question 30.

### 3<sup>ème</sup> partie : Liaison satellite

Cette partie traitait de la transmission des données numériques par liaison satellite. Le jury s'étonne que peu de candidats connaissent la signification de l'abréviation QPSK de la modulation utilisée.

Cette partie s'appuie sur des relations classiques dans les liaisons satellite pour déterminer en particulier le rapport S/B à la réception des données et en déduire les dimensions de l'antenne. Elle ne présentait pas de difficulté particulière, au moins sur le plan mathématique. Environ 2/3 des candidats ont traité cette partie et 1/4 des candidats a obtenu la moyenne sur cette partie.

### 4<sup>ème</sup> partie : Exploitation des données

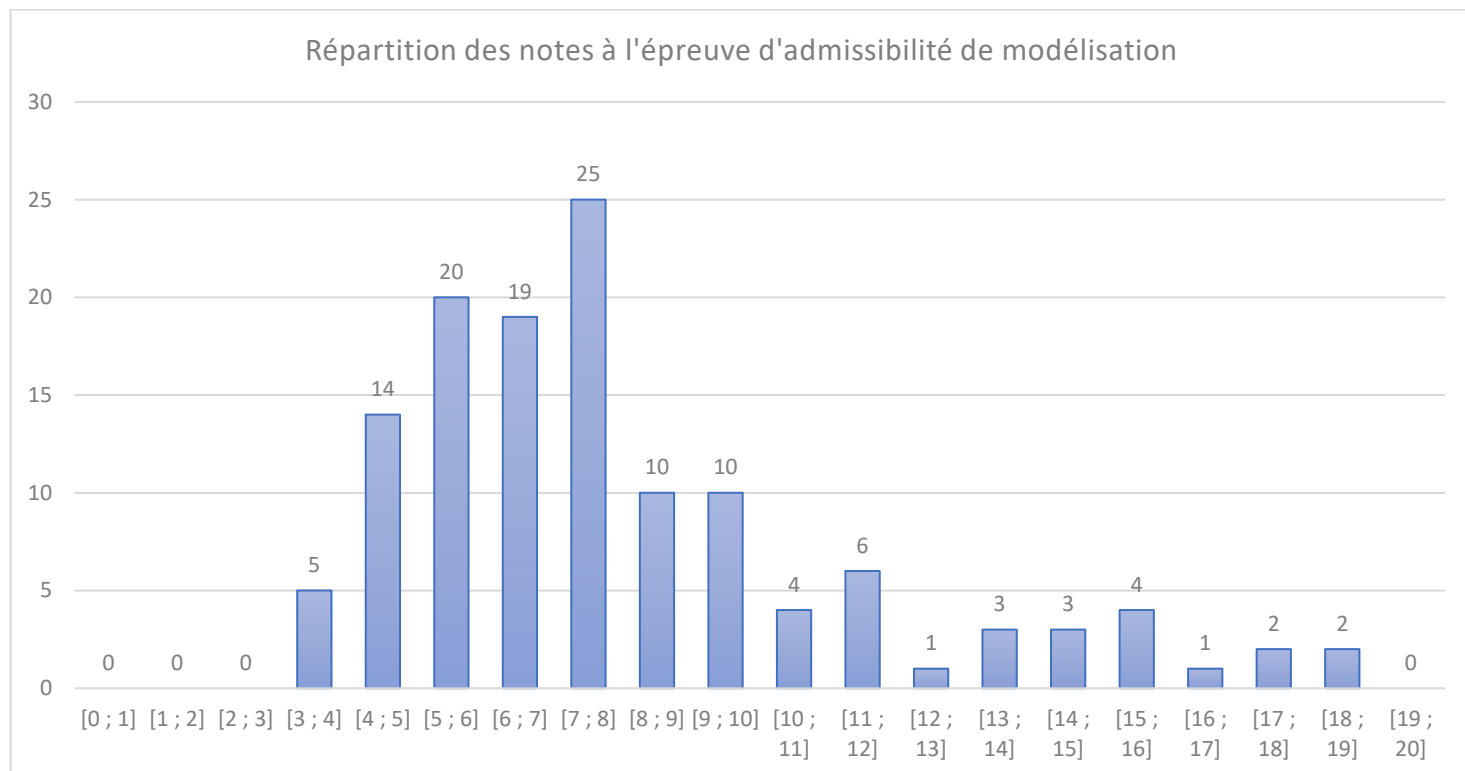
Cette partie sur l'exploitation des données consistait à exploiter les mesures de flux de CO<sub>2</sub> pour évaluer la quantité de CO<sub>2</sub> séquestrée ou émise par la forêt. Elle faisait notamment appel à de l'intégration numérique (méthode des trapèzes) et un peu de programmation en Python. Seulement 2/5 des candidats ont traité cette partie et les questions 64 (méthode des trapèzes) et 65 (programmation) ont majoritairement posé des problèmes.

### 5<sup>ème</sup> partie : Synthèse

Cette dernière partie permettait de faire une synthèse du sujet mais a été abordée par peu de candidats certainement par manque de temps. La question 66 portant sur le calcul de la durée que met la forêt de Barbeau pour séquestrer le CO<sub>2</sub> émis lors d'un vol Paris-New York a été globalement bien traitée par les candidats qui ont répondu à cette question. La dernière question demandait une réflexion pour comparer deux techniques d'analyse de la quantité de CO<sub>2</sub> stockée par les forêts (dont celle développée dans le sujet) et a été traitée de façon assez superficielle.

## E. Résultats

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



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

## A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système pluritechnologique 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/19039/download>

Engagée dans une stratégie de décarbonation, la SNCF a annoncé une sortie totale du transport diesel pour 2035. Or, la solution de l'électrification n'est rentable que si le trafic est suffisant. Pour des trafics faibles ou intermédiaires, l'emploi de locomotives ou automotrices autonomes en énergie est privilégié.

La solution basée sur la seule utilisation de batteries électrochimiques est la plus simple et la plus efficace. Toutefois, le coût, la durée de vie, l'encombrement et le temps de charge sont des freins qui limitent cette solution aux petites distances (inférieures à 100 km). Pour des distances plus longues, la solution « hydrogène » devient intéressante.



*Automotrice Coradia iLint d'Alstom à hydrogène*

### C. Éléments de correction

#### Partie A : Profil de ligne et calcul des besoins en puissance et énergie

##### Question 1 :

Pour une accélération constante :  $v(t) = \gamma_o t$

Durée d'accélération  $\delta_t$  et la distance parcourue  $\delta_x$  :

$$\delta_t = \frac{V_{moy}}{\gamma_o}$$

$$\delta_x = \frac{V_{moy}^2}{2\gamma_o}$$

Pour la durée du trajet effectuée à vitesse constante (sur la distance  $d_1 - 2\delta_x$ ) :

$$\Delta_t = \frac{d_1 - 2\delta_x}{V_{moy}}$$

$$\Delta_x = d_1 - 2\delta_x$$

$$t_1 = \frac{d_1}{V_{moy}} + \frac{V_{moy}}{\gamma_o}$$

##### Question 2 :

$$t_1 = 3600 \text{ s}$$

$$V_{moy}^2 - (\gamma_o t_1) V_{moy} + \gamma_o d_1 = 0$$

Il y a 2 solutions : 21.8 m/s et 554 m/s. On garde la première :

$$V_{moy} = 78,5 \text{ km/h}$$

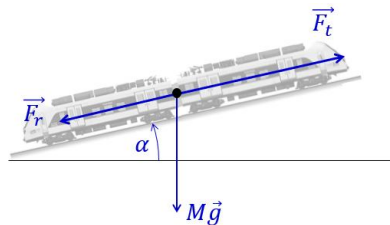
##### Question 3 :

$$t_{1min} = 53 \text{ min}$$

$$\text{Marge} = t_1 - t_{1min} = 7 \text{ min}$$

##### Question 4 :

Représentation des forces



$$\vec{F}_t - \vec{F}_r = M \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Une projection sur l'axe porté par la pente donne, en Newton :

$$F_t = 1000 M_t \cdot \gamma + 1000 M_t g \cdot \sin \alpha + 10 \cdot (A + 3,6 \cdot BV + 12,96 \cdot CV^2)$$

**Question 5 :** Pour une élévation  $\Delta h$  sur une distance  $d$  :  $p = \frac{\Delta h}{d} = \tan(\alpha)$

Pour des petites valeurs de pente, on peut faire l'approximation suivante :

$$p \simeq \sin(\alpha) \text{ ou } \alpha$$

$$F_t = 1000 M_t \cdot \gamma + 1000 M_t g p + 10 \cdot (A + 3,6 \cdot BV + 12,96 \cdot CV^2)$$

##### Question 6 :

|  |                              |             |             |              |
|--|------------------------------|-------------|-------------|--------------|
|  | Vitesse (km/h)               | 50          | 100         | 140          |
|  | Résistance à l'avancement(N) | <b>2776</b> | <b>6376</b> | <b>10696</b> |

**Question 7 :**

|            | Vitesse (km/h)                  | 50           | 100          | 140          |
|------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|            | Résistance à l'avancement (N)   | 2776         | 6376         | 10696        |
| Pente 0%   | Effort de traction (N)          | 2776         | 6376         | 10696        |
|            | <b>Puissance mécanique (kW)</b> | <b>38,5</b>  | <b>177,1</b> | <b>415,6</b> |
| Pente 2.5% | Effort de traction (N)          | 32206        | 35806        |              |
|            | <b>Puissance mécanique (kW)</b> | <b>447,3</b> | <b>994,6</b> |              |

**Question 8 :**

|                                             | Vitesse (km/h)                  | 50         | 140         |
|---------------------------------------------|---------------------------------|------------|-------------|
| Pente 0%<br>$\gamma = 0.5 \text{ m/s}$      | Effort de traction (N)          | 62776      |             |
|                                             | <b>Puissance mécanique (kW)</b> | <b>872</b> |             |
| Pente 0,68 %<br>$\gamma = 0.16 \text{ m/s}$ | Effort de traction (kN)         |            | 37,9        |
|                                             | <b>Puissance mécanique (kW)</b> |            | <b>1475</b> |

**Question 9 :** Il faut pouvoir fournir mécaniquement  $P_{méca} = 1475 \text{ kW}$ .  
Avec 4 moteurs de traction, la puissance utile de chaque moteur vaut :

$$P_u = \frac{P_{méca}}{4\eta_{red}} = 380 \text{ kW}$$

Couple utile :

$$C_u = \frac{P_u}{\omega_{red,3.6\text{roue}}} = 870 \text{ Nm}$$

**Question 10 :** Pour  $t \in [0, t_1]$

$$t_1 = \frac{V_o}{\gamma_1} = 27.8 \text{ s}$$

Pour  $t \in [t_1, t_2]$

$$v(t) = \gamma_2(t - t_1) + V_o$$

$$t_2 = t_{acc} - t_1 = \frac{V_f - V_o}{\gamma_2} = 86.8 \text{ s}$$

$$t_2 = 86,8 \text{ s}$$

$$t_{acc} = t_1 + t_2 = 114,6 \text{ s}$$

**Question 11 :** Si on néglige, les efforts de frottement, l'effort de traction est constant sur les deux phases de l'accélération. Avec une vitesse augmentant linéairement, la puissance augmente donc linéairement et :

$$W_{acc} = \frac{1}{2} P_1 t_1 + P_1 t_2 + \frac{1}{2} (P_2 - P_1) t_2$$

$$P_1 = (1000 M_t \gamma_1 + 1000 M_t g p) V_o = 1242 \text{ kW}$$

$$P_2 = (1000 M_t \gamma_2 + 1000 M_t g p) V_f = 1351 \text{ kW}$$

$$W_{acc} = 36 \text{ kWh}$$

**Question 12 :**

$$P_{pac} = 320 \text{ kW}$$

$$P_{bat} = 650 \text{ kW}$$

**Question 13 :**

$$W_{pac} = 1.2 \left( P_{pac1} \frac{t_1}{3600} \right) + 1.2 \left( P_{pac2} \frac{t_2 - t_1}{3600} \right) + 1.2 \left( P_{pac3} \frac{t_3 - t_2}{3600} \right) = 1,2 \cdot 1162 \text{ kWh}$$

$$W_{pac} = 1394 \text{ kWh}$$

Avec le rendement de la pile :

$$W_{H2} = 2789 \text{ kWh}$$

Masse d'hydrogène :  $M_{H2} = \frac{W_{H2}}{33} = 84,5 \text{ kg}$

Volume d'hydrogène à 350 bars :  $vol_{H2} = \frac{M_{H2}}{23,9 \cdot 10^{-3}} = 3536 \text{ litres}$

**Question 14 :**  $Q_{max} = 3600 C_{bat}$

**Question 15 :**

$$Q(t + \Delta t) = Q(t) - \int_t^{t+\Delta t} I_{bat}(t) dt$$



$$SoC(t + \Delta t) = SoC(t) - \frac{1}{3600 C_{bat}} \int_t^{t+\Delta t} I_{bat}(t) dt$$

**Question 16 :** Il faut faire travailler la batterie dans la zone où la tension reste quasi constante en fonction de l'état de charge, soit entre 90 % et 30 % (20 % possible aussi). En supposant les variations de charge positives sont égales, on peut choisir :

$$SoC(0) = 60\%$$

**Question 17 :**

Entre  $t_2$  et  $t_1$ , on a :  $I_{bat2} = \frac{P_{bat2}}{U_{DC}} = -21,3 A$

Donc :  $\Delta SoC = -\frac{I_{2 bat moy}}{3600 C_{bat}} (t_2 - t_1)$

$$C_{bat} = -I_{2 bat moy} \frac{(t_2 - t_1)}{3600 \Delta SoC} = 183 Ah$$

**Question 18 :**

Pour obtenir la bonne tension, on ajuste le nombre de module mis en série et pour ajuster la capacité, on ajuste le nombre de branches en parallèles.

Avec des modules 40.30 PFE : il faut 19 éléments série et 7 branches en parallèle soit 133 éléments.

Avec des modules 20.60 PFE : il faut 38 éléments série et 4 branches en parallèle soit 152 éléments.

**Question 19 :**

Pour le procédé de production à partir du gaz naturel :

$$Emission \text{ par voyageur par km} = 23,8 gCo_2$$

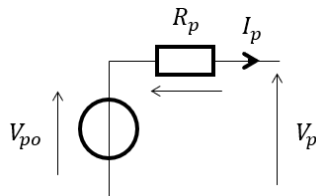
Pour le procédé de production par électrolyse réseau :

$$Emission \text{ par voyageur par km} = 6,48 gCo_2$$

**Question 20 :** Les données commerciales sont calculées sur la base de moyennes avec une part significative des transports électrifiés. Néanmoins la valeur obtenue avec production par électrolyse est cohérente.

## Partie B. Etude de la chaine de conversion PAC

**Question 21 :**



$$E_{po} = 400 V$$

$$R_p = 0,341 \Omega$$

**Question 22 :**

$$V_{cell} = 0,84 - 0,22 I_{cell}$$

En supposant que la pile travaille à  $0,8 A/cm^2$  pour la puissance maximale, la tension cellule vaut pour ce point :  $V_{cell} = 0,664 V$

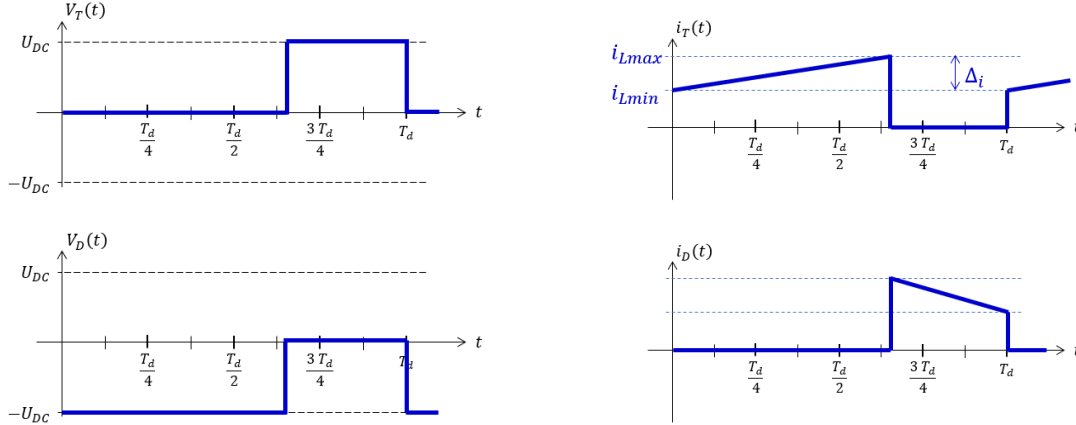
On trouve, le nombre de cellules à associer en série (avec 250 V pour la tension à la puissance max) :

$$N_{cel} = \frac{250}{0,664} = 377 \text{ cellules}$$

Le courant de cellule à la puissance max vaut :  $I_{cel} = 440 A$

Donc la surface active nécessaire :  $S_{cel} = 550 cm^2$

**Question 23 :**



**Question 24 :**

$$\frac{U_{DC}}{V_p} = \frac{1}{1 - \alpha}$$

Avec  $U_{DC} = 750 \text{ V}$  et  $V_p = 250 \text{ V}$ , on obtient :  $\alpha = 0,67$

**Question 25 :** On montre que :

$$\Delta_i = \frac{\alpha(1 - \alpha)U_{DC}}{L f_d}$$

**Question 26 :** On a l'ondulation maximale pour  $\alpha = 0,5$ ,  $L = 938 \mu\text{H}$

**Question 27 :** Pour la puissance maximale :

$$\begin{aligned} I_{L \text{ moy}} &= 440 \text{ A} \\ i_{T \text{ moy}} &= \alpha I_{L \text{ moy}} = 295 \text{ A} \\ i_{D \text{ moy}} &= (1 - \alpha) I_{L \text{ moy}} = 145 \text{ A} \\ i_{T \text{ eff}} &= \sqrt{\alpha} I_{L \text{ moy}} = 360 \text{ A} \\ i_{D \text{ eff}} &= \sqrt{1 - \alpha} I_{L \text{ moy}} = 253 \text{ A} \end{aligned}$$

**Question 28 :**

$$\begin{aligned} A_L &= 78 \text{ nH} \\ \mu_r &= 26 \end{aligned}$$

**Question 29 :** Pour le cahier des charges considéré :  $L_o \cdot I_{L \text{ moy}}^2 = 45592 \text{ mH} \cdot \text{A}^2$

Donc, en prenant la valeur entière supérieure :

$$N_{\text{tores}} = \frac{L_o \cdot I_{L \text{ moy}}^2}{8000} = 6$$

**Question 30 :** La section de passage du flux est multipliée par le nombre de tores empilés.

$$A_{L \text{ tot}} = N_{\text{tores}} A_L = 468 \text{ nH}$$

**Question 31 :**

$$N_s = \sqrt{\frac{L_o}{0.92 A_{L \text{ tot}}}} = 23 \text{ spires}$$

**Question 32 :**

$$H = \frac{N_s I_{\text{moy}}}{L_e} = 24,56 \text{ kA/m}$$

$$H_{\text{oersted}} = 308,7 \text{ Oe}$$

Pour le matériau considéré et la perméabilité initiale  $\mu = 26$ , on applique la formule :

$$\% \text{ initial permeability} = \frac{1}{(a + bH^c)}$$

Avec :

$$a = 0.01$$

$$b = 4,205 \cdot 10^{-9}$$

$$c = 2,426$$

$$\% \text{ initial permeability} = 68,5\%$$

$$\textbf{Chute relative} = \mathbf{31,5\%}$$

**Question 33 :** Il faut prendre des conducteurs dont le diamètre soit au moins deux fois plus petit que l'épaisseur de peau. A 5 kHz :  $e_p = 1\text{mm}$ .

On sélectionne la référence AWG 13 (OD 1,902 mm). Avec 5 A/mm<sup>2</sup>, on trouve 31 conducteurs en parallèle.

**Question 34 :**

$$k_w = \frac{N_p N_s S_{cu}}{S_w}$$

D'après la documentation du matériau :  $S_w = 8030 \text{ mm}^2$

On trouve :

$$\mathbf{k_w = 37\%}$$

Ce coefficient de remplissage assure la faisabilité.

**Question 35 :** D'après la documentation du matériau, la hauteur d'un tore vaut 33,15 mm :

$$R_{Lo} = \frac{1}{\sigma} \frac{1,1 \cdot 2 \cdot N_{tores} HT}{N_{para} \cdot S_{cu}}$$

$$\mathbf{R_{Lo} = 3,4 \text{ m}\Omega}$$

$$\mathbf{P_{cu} = 5 R_{Lo} I_0^2 = 3,3 \text{ kW}}$$

**Question 36 :**

$$V_{CE0} = 0,9 \text{ V}$$

$$R_{TON} = R_{CE} = 2,3 \text{ m}\Omega$$

$$V_{D0} = V_F = 1,18 \text{ V}$$

$$R_{DON} = R_F = 1,93 \text{ m}\Omega$$

**Question 37 :** Pour le transistor :

$$P_{IGBT} = \frac{1}{T_d} \int_0^{\alpha T_d} (V_{CE0} + R_{TON} i_L(t)) i_L(t) dt$$

$$\mathbf{P_{IGBT} = V_{CE0} I_{T moy} + R_{TON} I_{T eff}^2 = 564 \text{ W}}$$

$$\mathbf{P_{IGBT} = 564 \text{ W}}$$

$$\mathbf{P_{Diode} = V_{D0} I_{D moy} + R_{DS ON} I_{D eff}^2 = 295 \text{ W}}$$

**Question 38 :**

$$\mathbf{\eta = \frac{P_{PAC} - P_L - P_{IGBT}}{P_{PAC}} = 96\%}$$

**Question 39 :**

$$L \frac{di_p}{dt} + (R_L + R_p) i_p = V_{po} - (1 - \alpha) U_{DC}$$

Avec :

$$i_p = I_{po} + \tilde{i}_p$$

$$\alpha = \alpha_o + \tilde{\alpha}$$

$$L \frac{\tilde{i}_p}{dt} + (R_L + R_p) \tilde{i}_p = \tilde{\alpha} U_{DC}$$

$$L \frac{\tilde{i}_p}{dt} + (R_L + R_p) \tilde{i}_p = k_\alpha U_{DC} \tilde{V}_{cde}$$

$$\frac{\tilde{V}_{ip\ mes}}{\tilde{V}_{cde}} = \frac{k_i k_\alpha U_{DC}}{R_L + R_p} \frac{1}{1 + \frac{L}{R_L + R_p} p} = \frac{G_o}{1 + \frac{p}{\omega_c}}$$

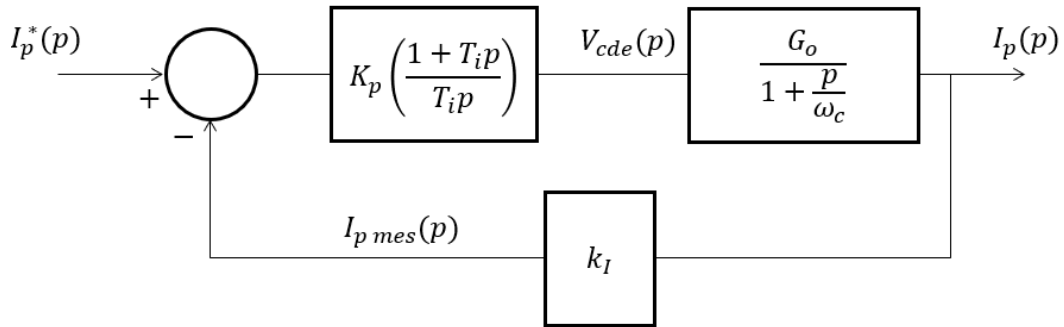
Gain statique :

$$G_o = \frac{k_i k_\alpha U_{DC}}{R_L + R_p} = 4,16$$

Pulsation de coupure :

$$\omega_c = \frac{R_L + R_p}{L} = 383 \text{ rad/s}$$

**Question 40** : Schéma blocs de la régulation



$$C(p) = K_p \left( \frac{1 + T_i p}{T_i p} \right)$$

$$C(p) \cdot H_{BO}(p) = K_p \left( \frac{1 + T_i p}{T_i p} \right) \frac{G_o}{1 + \frac{p}{\omega_c}}$$

Compensation du pôle dominant :

$$\omega_c = \frac{1}{T_i}$$

$$C(p) \cdot H_{BO}(p) = \frac{K_p G_o}{T_i p}$$

$$H_{BF}(p) = k_i \frac{1}{1 + \frac{T_i}{K_p k_i G_o} p} = \frac{1}{1 + \frac{p}{\omega_{c\ BF}}}$$

$$T_i = \frac{1}{\omega_c} = 2,6 \text{ ms}$$

$$K_p = 3,9$$

**Question 41** : Avec un système d'ordre 1, on devrait théoriquement pouvoir obtenir une bande passante infinie. En pratique, cette bande passante est limitée par la dynamique du convertisseur Boost et la fréquence de découpage. En choisissant 1 kHz, on est bien inférieur à la fréquence de découpage tout en étant suffisamment rapide pour imposer les gradients de courants (0.3A/s) voulus.

## Partie C. Etude de la chaine de conversion électromécanique

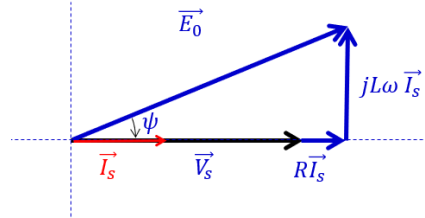
Question 42 : Mesure entre deux phases (essai 1), donc :

$$R = \frac{U}{2I} = 2,7 \text{ m}\Omega$$

Question 43 : A partir de l'essai 3 :

$$k_\phi = \frac{\Delta E_{\text{mesurée}}/\sqrt{3}}{\frac{\pi}{30} \Delta \text{Vitesse}} \sim 0,59 \text{ V/rad. s}^{-1}$$

Question 44 :



Question 45 A partir des données de l'essai à vide :

$$\omega = p\Omega = 314,1 \text{ rad/s}$$

$$V_s = R_{ch} I_s$$

$$R_s = 0,51 \Omega$$

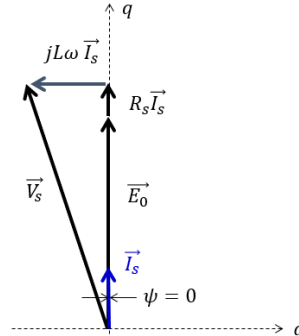
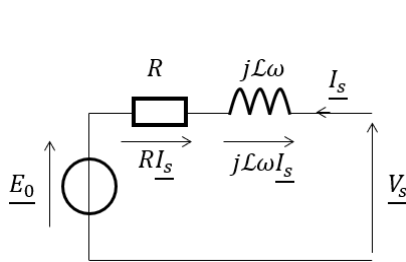
$$\psi = \text{atan}\left(\frac{L\omega}{R + R_{ch}}\right)$$

$$L = \frac{(R + R_{ch}) \tan(\psi)}{\omega} = 0.15 \text{ mH}$$

Question 46 : On mesure la somme des pertes fer et pertes mécaniques.

$$P_{\text{fer}} + P_{\text{méca}} = P_o - 3RI_s^2 \sim 3530 \text{ W}$$

Questions 47, 48 :



Question 48 : A la puissance maximale :

$$\Omega = 437 \text{ rad/s}$$

$$C_u = 870 \text{ Nm}$$

$$P_u = C_u \Omega = 380 \text{ kW}$$

Pertes mécaniques négligées :

$$P_u = P_{em}$$

$$P_{em} = 3E_o I_s \cos\psi = 3E_o I_s$$

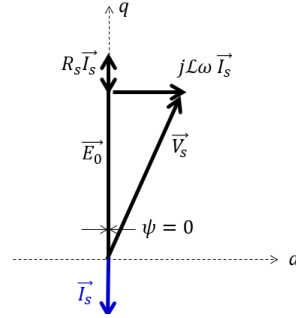
$$E_o = k_\phi \Omega = 258 \text{ V}$$

$$I_s = 491 \text{ A}$$

$$V = \sqrt{(E_o + R I_s)^2 + (L p \Omega I_s)^2} = 277 \text{ V}$$

$$\delta = \text{atan}\left(\frac{L p \Omega I_s}{E_o + R I_s}\right) = 20,4^\circ$$

Question 49 :



Question 50 :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = -2C_{em\ max}$$

$$\Omega(t) = \Omega_o - \frac{2C_{em\ max}}{J} t$$

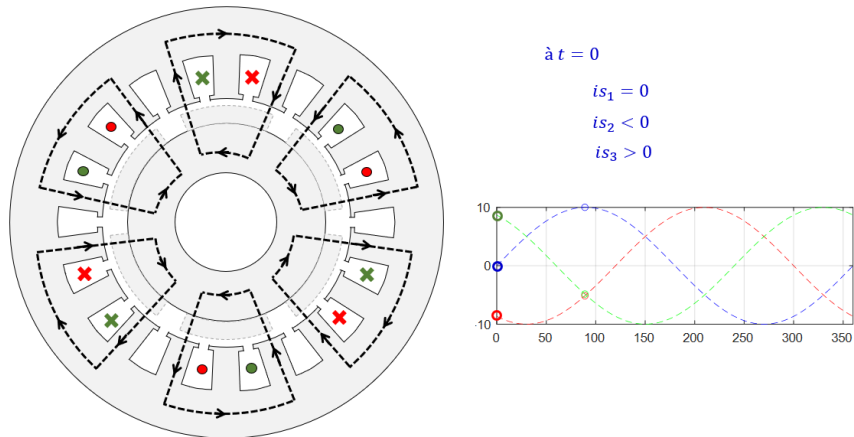
$$J = \frac{1000M_t}{4} \left( \frac{r_{roue}}{m_{red}} \right)^2 = 237,3 \text{ kg.m}^2$$

$$\Omega_o = 437 \text{ rad/s}$$

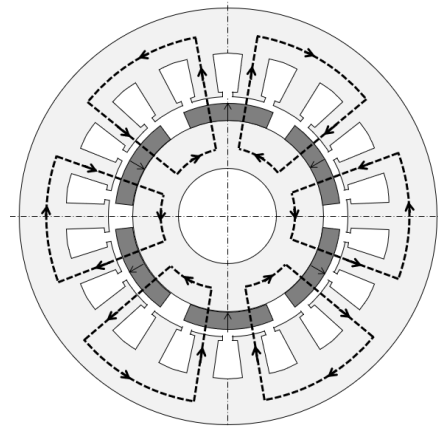
$$t_f = \frac{J\Omega_o}{2C_{em\ max}} = 35 \text{ s}$$

$$d_f = \frac{r_{roue}}{m_{red}} \left( \Omega_o t_f - \frac{C_{em\ max}}{J} t_f^2 \right) = 695 \text{ m}$$

Question 51 :



Question 52 :



Question 53 : Par décomposition en série de Fourier, l'harmonique de rang 1 s'écrit :

$$B_f(\theta, \theta_r) = \frac{4}{\pi} B_{fo} \sin\left(\frac{p\beta}{2}\right) \cos(p(\theta - \theta_r))$$

$$B_{fm} = \frac{4}{\pi} B_{fo} \sin\left(\frac{p\beta}{2}\right)$$

$$B_{fo} = 0,64 \text{ T}$$

$$B_{fm} = 0,778 \text{ T}$$

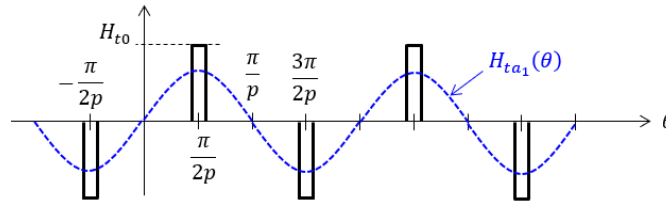
**Question 54 :** L'application du théorème d'Ampère donne :

$$H_{fer} l_{fer} + H_i W_{ist} = N_c i_s$$

Avec  $\mu_{fer} = \infty$  :

$$H_{t0} = \frac{N_c i_s}{W_{ist}}$$

**Question 55 :**



**Question 56 :** Pour calculer le couple, il faut intégrer le produit  $H_t B_n$  sur le contour de l'entrefer.

$$C = \int_0^{2\pi} \frac{D_s}{2} H_t B_n \frac{D_s}{2} L d\theta$$

$$C = \frac{\pi D_s^2 L}{4} H_{teff} B_{fm} \sqrt{2} \cos(\omega t - p\theta_r - \psi)$$

Pour avoir un couple moteur moyen non nul, il faut vérifier la condition de synchronisme :  $\omega = p\Omega$   
On obtient alors :

$$C = \frac{\pi D_s^2 L}{4} \sqrt{2} H_{teff} B_{fm} \cos(\psi)$$

**Question 57 :**

$$C = \frac{\pi D_s^2 L}{4} \frac{6p N_c I_s \sqrt{2}}{\pi D_s} B_{fm}$$

Au couple max,  $C = 1451 \text{ Nm}$

$$N_c I_s = 5630 \text{ A}$$

$$I_s = 805 \text{ A}$$

A la puissance max,  $C_{em} = 870 \text{ Nm}$

$$N_c I_s = 3377 \text{ A}$$

$$I_s = 482 \text{ A}$$

**Question 58 :** Meilleur rendement, puissance massique.

## **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 à 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 et de leur cohérence.

Les expressions littérales doivent être clairement mises en valeur ainsi que les applications numériques associées. Les résultats ne doivent jamais être donnés sans explication. Les unités doivent toujours être précisées.

Un entraînement régulier et rigoureux sur des sujets corrigés est fortement conseillé.

### **A propos du sujet**

Partie A :

La première partie de ce sujet était consacrée à la prise en main de la problématique avec l'objectif de déterminer les besoins en puissance et en énergie de l'automotrice. Après un premier calcul de vitesse moyenne pour respecter un horaire, il s'agissait d'appliquer le principe fondamental de la dynamique pour obtenir les efforts de traction et puissances aux points de fonctionnement significatifs. Les besoins en énergie, volume d'hydrogène et capacité batteries ont quant à eux été déterminés à partir d'un profil de puissance moyenné sur trois fenêtres temporelles choisies pour être représentatives des états de charge extrêmes des batteries.

In fine, l'analyse des émissions de gaz à effet de serre a permis de conclure quant à la pertinence de l'utilisation d'un train à hydrogène sur un parcours non électrifié.

Le jury conseille fortement de prêter attention aux unités, aux applications numériques et à la cohérence des résultats obtenus. La dernière question était l'occasion d'une prise de recul quant à l'intérêt de l'utilisation de trains à hydrogène, particulièrement pertinents en remplacement de trains diesel d'un point de vue du bilan carbone en phase d'utilisation. Le jury déplore un manque de rigueur chez beaucoup de candidats conduisant à des applications numériques fausses alors que la formule est donnée. L'application du principe fondamental de la dynamique, appliquée ici au cas simple d'une masse sur un plan incliné, n'est malheureusement pas toujours maîtrisée. La capacité d'une batterie, notion élémentaire de l'électricité, est pour certains candidats confondue avec la capacité d'un condensateur.

Partie B :

La seconde partie portait sur la modélisation de la pile à hydrogène et l'étude de son convertisseur d'alimentation, un convertisseur élévateur de type Boost. L'étude du fonctionnement du convertisseur statique associé à la pile à hydrogène était menée et donnait lieu à un calcul de pertes en conduction dans les semi-conducteurs ainsi qu'au dimensionnement de l'inductance du convertisseur. Enfin, le pilotage du convertisseur associé à la pile à hydrogène était abordé avec calcul d'un correcteur de type Proportionnel-Intégral.

Le jury recommande aux candidats de s'entraîner à l'étude des structures de conversion statique et au dimensionnement d'éléments magnétiques. Dans l'ensemble, le comportement des convertisseurs à découpage est assez bien maîtrisé. Cependant, le jury constate une capacité de synthèse parfois limitée. Peu de candidats prennent en compte simultanément les pertes dans les semi-conducteurs et celles de l'inductance pour évaluer le rendement global du convertisseur. La modélisation du système



au sens de l'automatique a été très peu abordée et mal traitée. Les candidats ont proposé généralement une forme approximative de fonction de transfert sans l'expliquer.

#### Partie C :

Cette partie traite de la motorisation du train. Des essais réalisés sur une machine synchrone permettent d'en établir un modèle. Les cas particuliers, correspondant à des points dimensionnants, sont étudiés : fonctionnement à puissance maximale et fonctionnement lors d'un freinage d'urgence. Enfin, un dimensionnement simplifié de la machine synchrone conclut cette partie et le sujet.

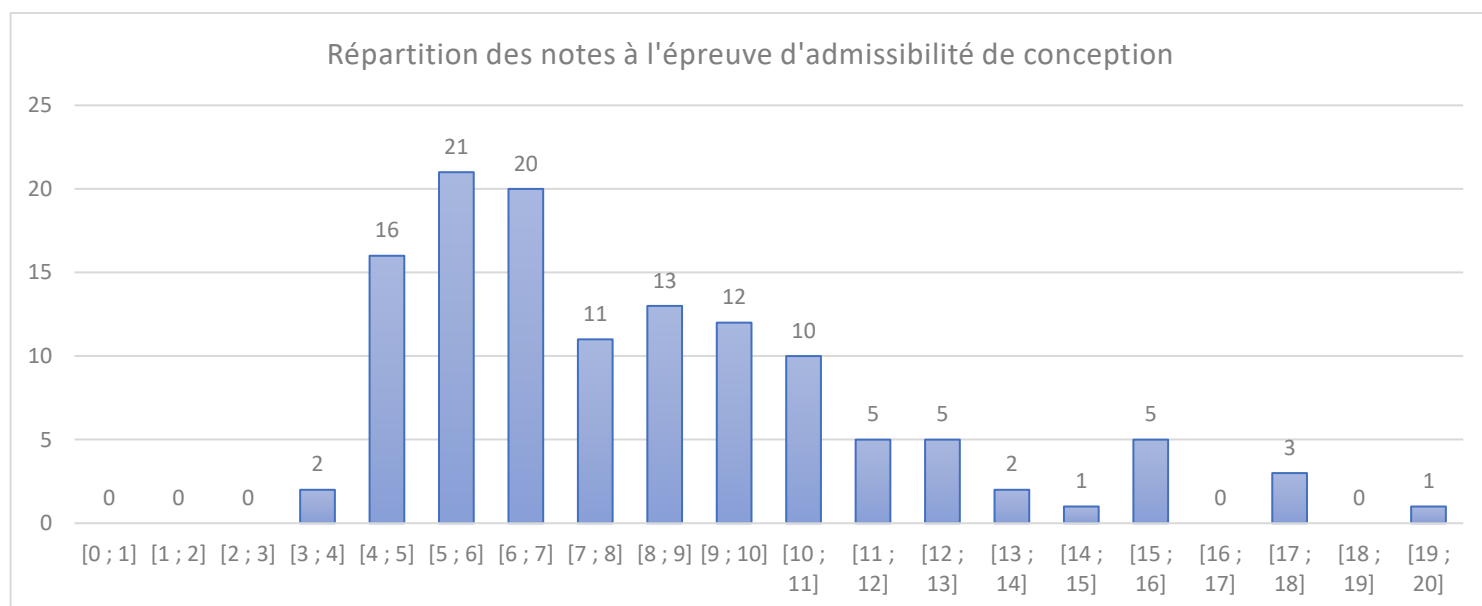
Le jury incite vivement les candidats à maîtriser les modèles et outils usuels du génie électrique utilisés pour traiter les machines à courant alternatif (diagramme de Fresnel, modèle équivalent de Behn-Eschenburg, modèle monophasé, ...). Bien qu'en fin de sujet, cette partie a mis en évidence une préparation inégale face à ces questions. Le jury déplore, chez de nombreux candidats, une mauvaise maîtrise du calcul complexe et des calculs de puissances, notions pourtant élémentaires et fondamentales de l'électricité. Le jury déplore également une méconnaissance quasi générale de l'électromagnétisme. Le simple tracé de lignes de champ magnétiques et l'application du théorème d'Ampère ont été peu et mal traités.

#### Synthèse des bonnes pratiques

- Lire l'intégralité du sujet en début d'épreuve pour repérer les blocs les plus abordables.
- Au sein d'une partie indépendante, prendre connaissance de la trame proposée pour donner du sens au sujet et faciliter le travail de synthèse.
- Repérer les ordres de grandeur mentionnés dans le sujet, lorsqu'ils ne sont pas usuels, afin de faciliter la prise de recul et l'analyse critique des applications numériques.
- Maîtriser les fondamentaux du Génie Electrique (puissance, énergie, valeur moyenne et instantané, monophasé et triphasé, régulation, asservissement, conversion d'énergie, pertes dans les semi-conducteurs, magnétisme, ...).
- 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

[Arrêté du 28 décembre 2009 modifié](#)

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

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

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

Au cours de cette épreuve, le candidat est amené 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 de la spécialité ingénierie et développement durable en première sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) et 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 les compétences des candidats à s'inscrire dans la démarche d'un professeur 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.

La séquence pédagogique étant imposée, le candidat doit d'abord préparer sa trame 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 ou de STI2D.

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Puis il doit proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les pré-requis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression didactique proposée et présentée. Le candidat doit justifier ses choix pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet, ...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique, qui sera présenté et évalué lors de la troisième phase.

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

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

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

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

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

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

- situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;

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

Pendant toute la durée de cette 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 le candidat 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, ainsi que 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.

La durée de l'exposé du candidat est 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 et la remédiation ;
- 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 confier aux élèves lors de la séance à caractère expérimental 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 à caractère expérimental.

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 un outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2026 étaient les suivants :

- voiture radiocommandée ;
- 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, ...) ;
- 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 et ont conduit des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique.

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, ce qui ne correspond pas aux 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 se contentant 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.

Un choix parmi deux séquences pédagogiques est proposé au candidat, 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 en 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 permettre au candidat 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 ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires 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, qui 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.

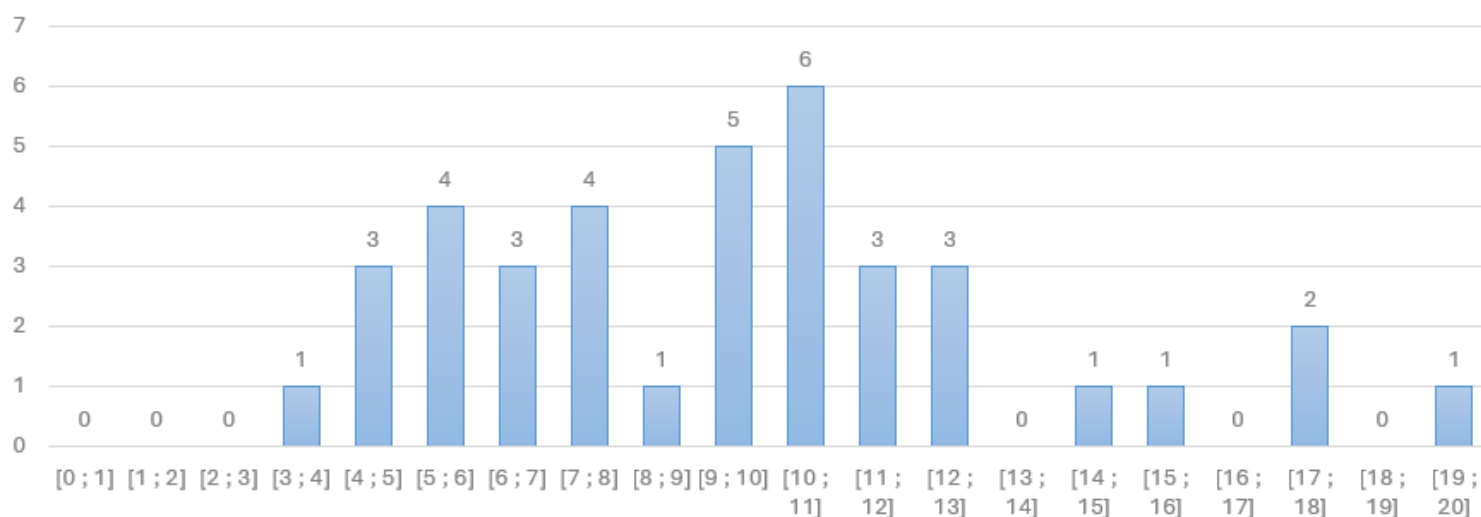
La session 2026 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose aux candidats de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés 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 9,58/20. L'écart-type est de 3,87/20. La meilleure note est 19,7. La plus faible est 3,2.

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

Répartition des notes à l'épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique



## 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’approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l’architecture de la séquence de formation.

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

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

|                                 | Choix 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Choix 2                                                                                             |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titre de la séquence</b>     | Comment les nouvelles technologies peuvent-elles améliorer l'habitat ?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Comment optimiser l'utilisation de l'énergie de façon autonome tout en respectant l'environnement ? |
| <b>Niveau de formation visé</b> | STI2D enseignements communs de 2I2D en Terminale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                     |
| <b>Supports pédagogiques</b>    | Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : <ul style="list-style-type: none"><li>- ventilation mécanique contrôlée double-flux ;</li><li>- système de climatisation ;</li><li>- panneaux photovoltaïques ;</li><li>- volet roulant solaire autonome ;</li><li>- système Eolicc ;</li><li>- systèmes variés de chauffage ;</li><li>- système d'éclairage communicant de salles de spectacles ;</li><li>- thermostat connecté et intelligent ;</li><li>- pompe à chaleur ;</li><li>- ...</li></ul> |                                                                                                     |
| <b>Effectif</b>                 | Classe de 24 élèves, groupe à effectif réduit de 12 élèves                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                     |
| <b>Volume horaire</b>           | 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.

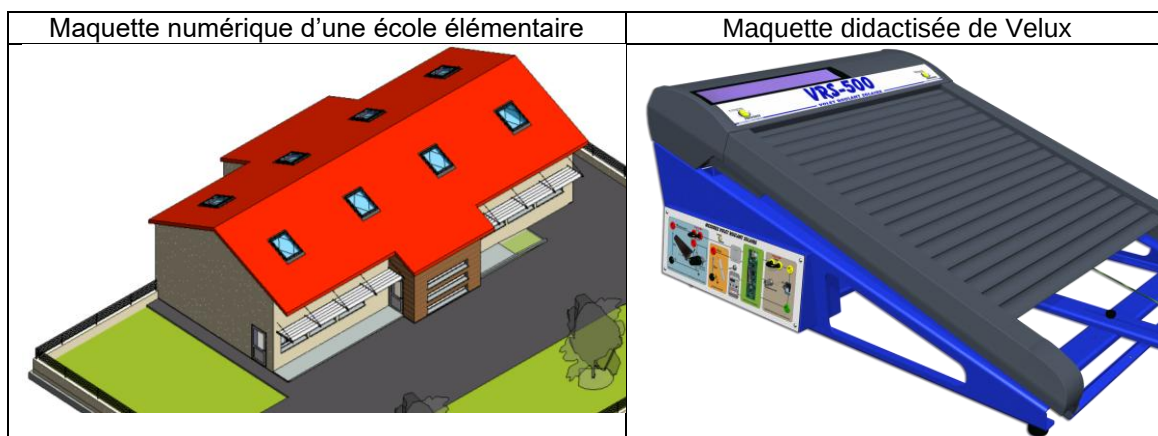
#### Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectif : s’approprier 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'éclairement 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'éclairement, 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<sup>ème</sup> 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'éclairement 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'éclairement ou la régulation de la température du local.

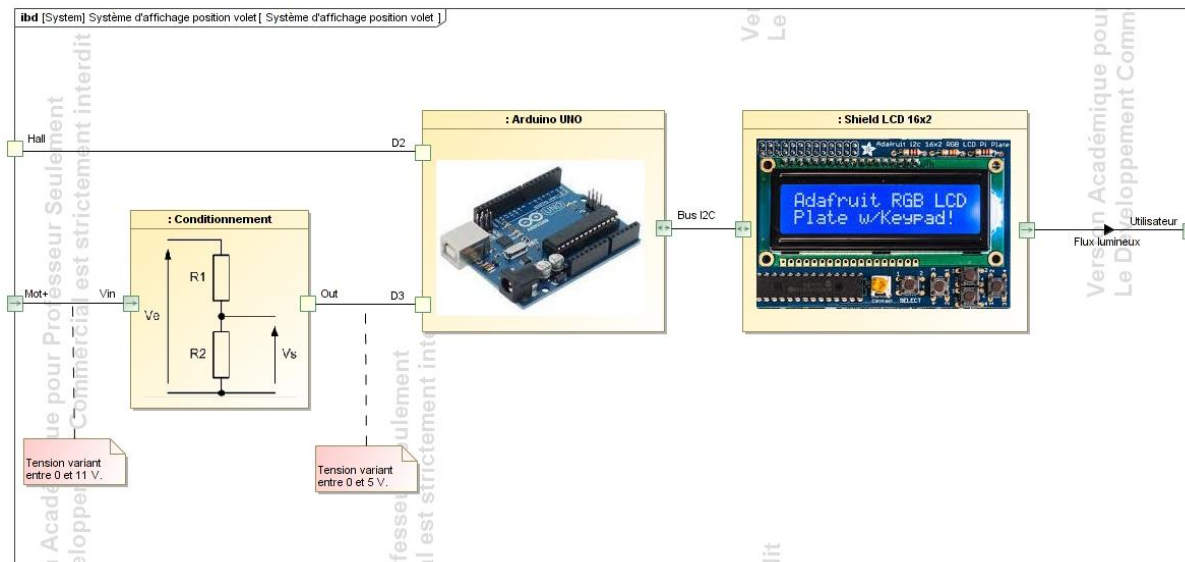
### **Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)**

Problématique technique et scientifique : Comment optimiser l'éclairement 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.

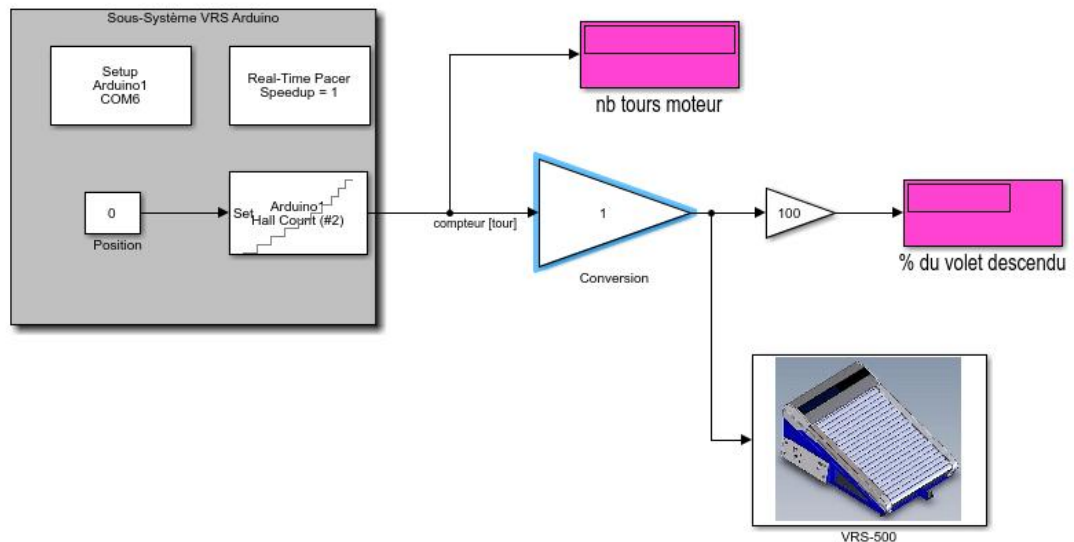


En plus du signal issu du capteur à effet Hall, les tensions aux bornes du moteur sont acquises via un étage de conditionnement. La carte Arduino se charge, selon les tensions mesurées aux bornes du moteur, d'incrémenter/décrémenter en conséquence la valeur d'un compteur. Cette valeur est remontée via 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).

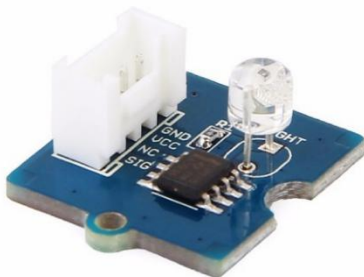
La maquette instrumentée, à l'avant du banc de mesure, est constituée (entre autres) :

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

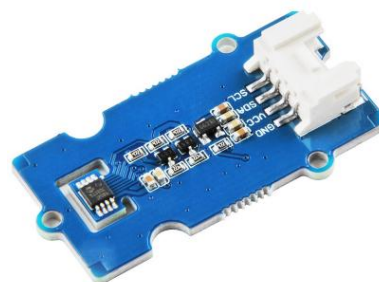
Le programme Arduino « activite5.ino » permet la mise en œuvre de ces capteurs, une fois la maquette instrumentée connectée via l'USB à l'ordinateur.

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 côtés, 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 :

$$R(T) = R_0 + K \cdot T$$

avec :

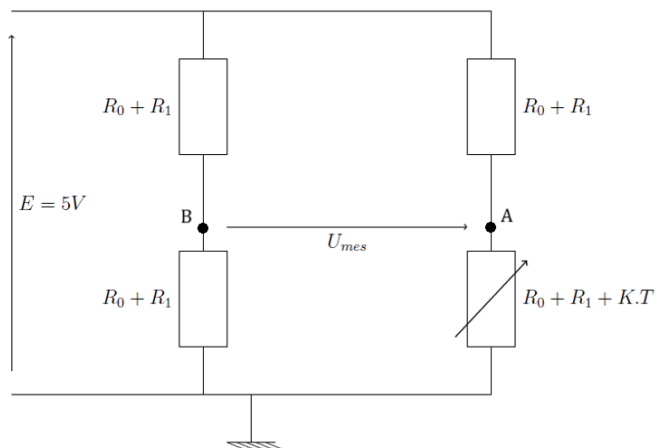
- $T$ , la température en  $^{\circ}\text{C}$  de la paroi sur laquelle la sonde est attachée ;
- $R_0$ , la valeur de  $R(T)$  pour  $T=0^{\circ}\text{C}$ , en  $\Omega$  ;
- $K$ , la valeur du gain de la sonde en  $\Omega \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

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'examineur 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 :

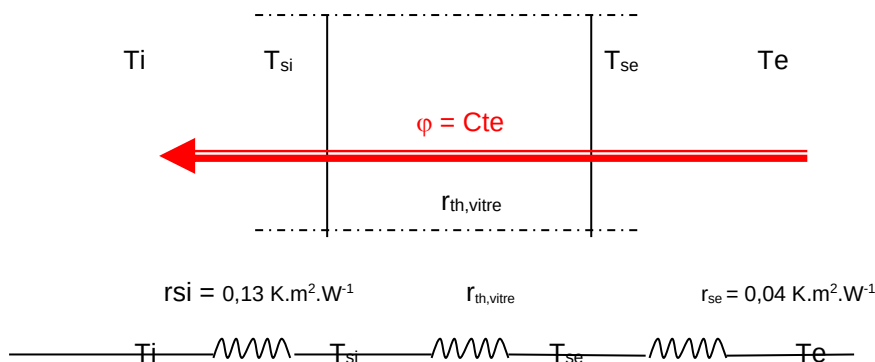
- $T_{se}$  et  $T_{si}$ , respectivement les températures de surface extérieure et intérieure en K ;
- $r_{th,vitre}$ , la résistance thermique du vitrage considéré en  $K.m^2.W^{-1}$  ;
- $\varphi$  : le flux thermique à travers la paroi en  $W.m^{-2}$ .

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 relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique**

## **A. Présentation de l'épreuve**

### **Textes de référence**

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

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

L'épreuve a pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

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

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

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

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

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

### **Le déroulement de l'épreuve**

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

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

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

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

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

#### ***Première partie (durée ≈ 0h30)***

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

#### ***Deuxième partie (durée ≈ 2h00)***

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les thèmes d'étude retenus pour l'activité pratique de la session 2026 sont :

- le conditionnement analogique, l'échantillonnage et le traitement numérique des signaux ;
- le filtrage analogique et numérique ;
- la transmission de données sans fil ;
- l'analyse spectrale des signaux ;
- l'automatique linéaire ;
- les protocoles de communication numérique ;
- la conversion DC/DC et DC/AC ;
- 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.

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'analyse spectrale de signaux ;
- 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 ;
- les notions de puissances (ou de flux) et leurs mesures ;
- les bases de schématisation tant pour des synoptiques que pour des schémas électriques (raccordement, situation de composants etc ...) ;
- l'utilisation des fonctions de base d'un tableur.

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 2026, une utilisation contrastée de ce temps de présentation de la part de nombreux candidats. Certains candidats n'utilisent que trop peu le temps imparti, ce qui les amène à proposer des séquences pédagogiques très sommaires. D'autres candidats utilisent pleinement le temps de 30 minutes alloué mais en abordant des points peu pertinents au détriment d'éléments correspondants aux attentes de l'épreuve. Le jury rappelle aux candidats que la durée de la présentation n'est pas un critère d'évaluation, il est attendu d'un candidat à l'agrégation la capacité à présenter des résultats et une proposition pédagogique de manière synthétique en dégagant l'essentiel.

La présentation d'une séquence pédagogique impose une prise en compte effective des compétences visées, au regard du programme ou du référentiel de formation imposés par le sujet de l'épreuve. Certains candidats montrent 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 également des candidats qu'ils puissent montrer leurs connaissances des conditions d'exercice du métier dans le niveau de formation demandé.

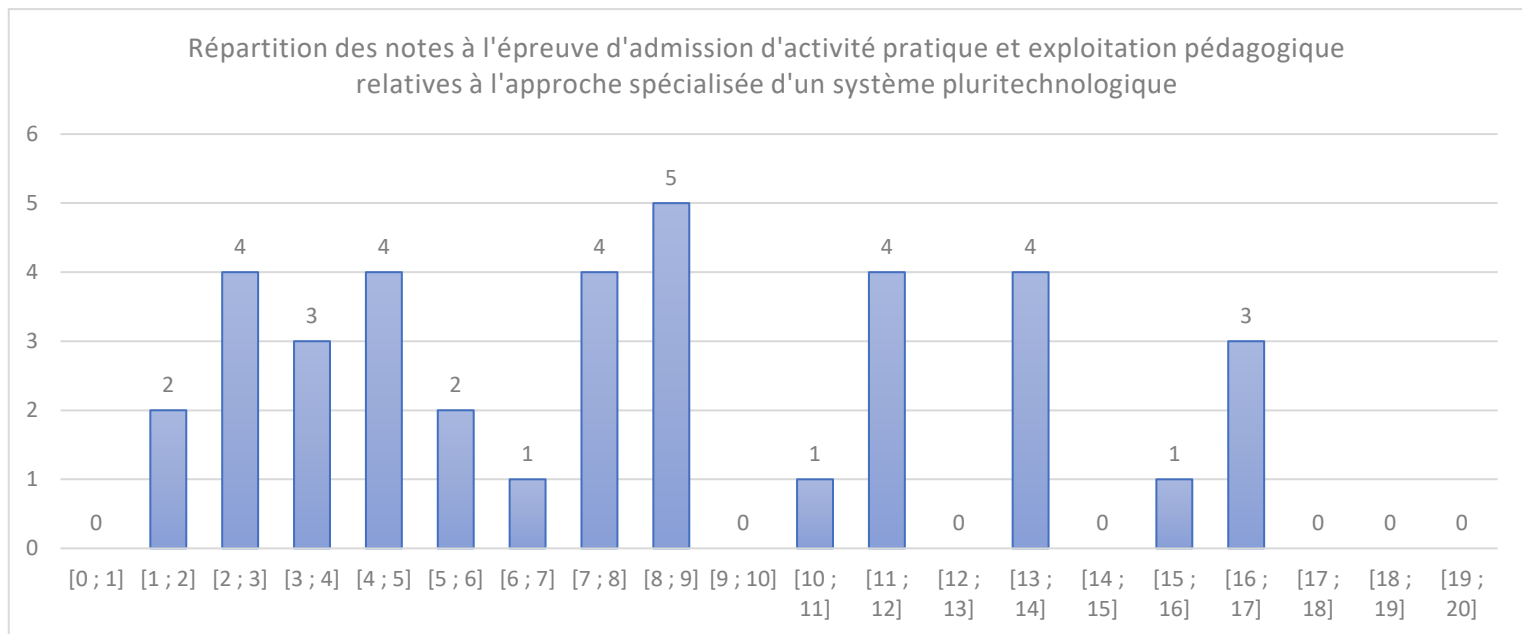
Il est important de préciser que chaque séquence pédagogique présentée doit être contextualisée et construite à partir d'objectifs précis, avec des prérequis correctement identifiés dans le programme ou le référentiel de formation ciblée par le sujet.

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 8,15. L'écart-type est de 4,68. La meilleure note est 17. La plus faible est 1,6.

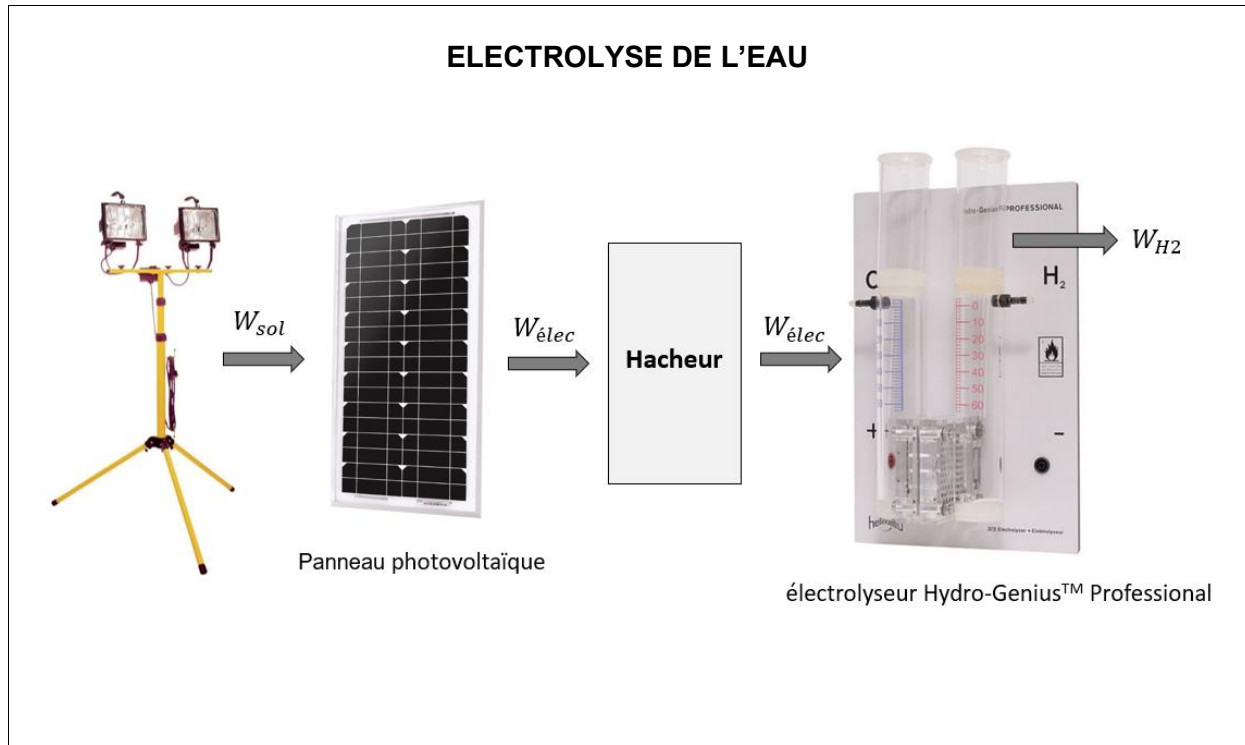
L'histogramme pour cette épreuve est donné ci-dessous.



#### D. Exemple de sujet

### ÉPREUVE DE TP DE SPÉCIALITÉ

Durée : 6 heures



Le matériel à disposition du candidat est listé ci-dessous :

- deux électrolyseurs Hydro-Genius™ Professional,
- un hacheur de type Buck Synchrone,
- un panneau photovoltaïque (Réf. UNITECK 5W 12V MONOCRISTALLIN),
- des appareils de mesures (4 multimètres, 1 oscilloscope),
- une alimentation programmable (Tektronix),
- un Générateur Basses Fréquences (GBF),
- une alimentation stabilisée +15/-15V.

#### Objectif pédagogique et niveau de classe

La séquence de formation sera conçue et organisée pour être proposée à des étudiants d'une classe de **BUT GEII, parcours : Électricité et maîtrise de l'énergie**.

L'objectif pédagogique de la séquence attendue s'inscrit dans la SAÉ 5.EME.01 : Concevoir, installer, vérifier et maintenir un système de conversion et de gestion de l'énergie électrique (page 219 du Programme national).



## PRODUCTION D'HYDROGENE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU

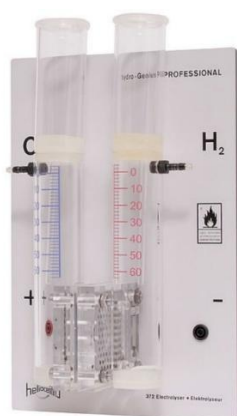
Parmi les solutions de substitution aux énergies fossiles, l'hydrogène est un vecteur énergétique propre et durable lorsqu'il est produit à partir d'une énergie renouvelable (énergie solaire par exemple). Utilisé par une pile à combustible, cet « hydrogène vert » est de plus en plus utilisé dans les transports (trains, bus, navires, ...) dans un contexte où la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est un enjeu majeur.



Figure 1 : bus à hydrogène de la flotte de transport en commun de l'agglomération de la Roche-sur-Yon

L'objectif est ici d'étudier le principe et la mise en œuvre de la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire.

On dispose de deux électrolyseurs « Hydro-Genius™ Professional » en version didactisée où la production d'hydrogène se fait à pression atmosphérique (voir figure 2). Ils permettent l'étude et la mise en œuvre d'une chaîne de conversion d'énergie avec, pour source primaire, l'énergie solaire convertie par un panneau photovoltaïque. Les électrolyseurs sont de technologie à membrane échangeuse de protons et le panneau photovoltaïque est de technologie monocristalline. On dispose également d'un convertisseur à découpage (hacheur abaisseur de type Buck synchrone) pour une exploitation optimale de la ressource solaire.



Énergie volumique de l'H<sub>2</sub>, à la pression atmosphérique : 10.91 kJ/l

Courant max : 1,5 A

Figure 2 : Électrolyseur « Hydro-Genius™ Professional »

On dispose d'un module photovoltaïque dont la caractéristique (Figure 3 et annexes 1 et 2) est donnée pour un éclairement à  $1000 \text{ W/m}^2$  et  $70^\circ\text{C}$  (Réf. UNITECK 5W 12V MONOCRISTALLIN).

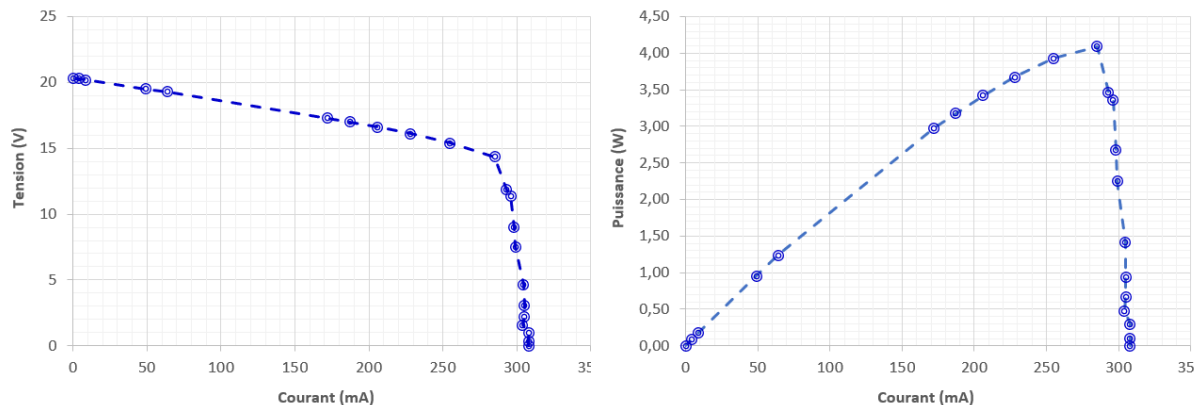


Figure 3 : caractéristique courant/tension du panneau photovoltaïque relevée à  $1000 \text{ W/m}^2$  et  $70^\circ\text{C}$  (cf. annexe)

Pendant ce TP, on alimentera les deux électrolyseurs connectés en série et on utilisera le panneau photovoltaïque sous éclairement maximum de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### Modèle électrique d'un électrolyseur et association avec un panneau photovoltaïque

Il s'agit, dans un premier temps, d'établir le modèle électrique équivalent en régime statique des deux électrolyseurs branchés en série afin de mettre en évidence la nécessité d'utiliser un convertisseur d'électronique de puissance.

**Activité 1** **Établir** un protocole expérimental, en précisant le matériel utilisé, permettant de tracer la caractéristique courant/tension de l'association série des deux électrolyseurs.

**Activité 2** **Relever et tracer**, sur le fichier excel fourni, cette caractéristique puis **calculer** les éléments du modèle électrique équivalent (modèle de Thévenin) des deux électrolyseurs en série.

**Activité 3** **Tracer** sur la même figure, la caractéristique du panneau photovoltaïque (voir données du panneau fourni) et la caractéristique des deux électrolyseurs en série. **Expliquer** l'intérêt d'utiliser un convertisseur d'électronique de puissance de type Buck (Hacheur abaisseur).

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

### 1. Rendement en énergie des électrolyseurs.

On souhaite caractériser le rendement en énergie de la conversion électrochimique.

**Activité 4** À partir du modèle électrique équivalent établi précédemment, **calculer** puis **tracer** l'évolution théorique du rendement en énergie de la conversion électrochimique en fonction du courant (l'électrolyse s'effectuant à courant constant).

Activité 5      **Établir** un protocole expérimental permettant de mesurer le rendement en énergie de l'électrolyseur en fonction du courant puis **mesurer** ce rendement (2 points judicieusement choisis suffiront) et **conclure** sur la limite de validité du modèle.

## 2. Production d'hydrogène à partir du panneau photovoltaïque

Electrolyseurs connectés directement au PV :

Activité 6      **Déterminer**, à partir des activités précédentes, le rendement en énergie prévisible de la conversion électrochimique lorsque le PV est connecté directement aux électrolyseurs.

Electrolyseurs connectés au PV via le hacheur :

Activité 7      **Calculer** la valeur optimale théorique du rapport cyclique permettant d'exploiter au mieux la ressource solaire. On pourra assimiler l'association série des deux électrolyseurs à une source de tension parfaite.

Activité 8      **Réaliser** le câblage de l'ensemble de la chaîne : PV, hacheur, électrolyseurs.  
**Tracer** l'évolution de la puissance électrique fournie à l'électrolyseur en fonction du rapport cyclique puis déterminer la valeur du rapport cyclique qui maximise la production d'hydrogène. **Comparer** le rapport cyclique obtenu à celui attendu théoriquement et prédéterminé lors de l'activité 7 puis **conclure**.

Activité 9      **Déterminer** le rendement en puissance du hacheur puis le rendement en énergie de l'ensemble de la chaîne pour le rapport cyclique qui maximise la production d'hydrogène, puis **justifier** le choix de cette stratégie d'alimentation.

## 3. Simulation numérique du hacheur

On réalise la simulation de l'ensemble hacheur - électrolyseurs pour le point de fonctionnement optimum (celui déterminé Activité 9). Le logiciel LTspice est utilisé.

Activité 10      **Ouvrir** le fichier *Buck\_Synchrone.asc* puis **compléter** le schéma fourni en ajoutant le filtre de sortie du hacheur et les composants du modèle équivalent des électrolyseurs puis **analyser** les résultats obtenus.

Pour ajouter des composants : aller dans edit puis component et sélectionner le composant voulu dans la liste proposée.

A partir de LTspice :

- un Alt + clic gauche sur un composant, permet de tracer sans saisie d'expression, la puissance instantanée dans le composant.
- un Ctrl + clic gauche sur le label d'un tracé permet de lire sa valeur moyenne (Average).

Activité 11      **Calculer**, à partir des résultats de la simulation, le rendement du hacheur et **comparer** la valeur simulée à la valeur mesurée puis conclure sur les éventuels écarts observés.

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

---

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

La séquence de formation sera conçue et organisée pour être proposée à des étudiants d'une classe de **BUT Génie Electrique, parcours Electricité et maîtrise de l'énergie**.

L'objectif pédagogique de la séquence attendue consiste à développer chez les étudiants les compétences spécifiques définies page 219 du Programme National du BUT Génie Electrique et Informatique Industrielle :

- SAÉ 5.EME.01 : Concevoir, installer, vérifier et maintenir un système de conversion et de gestion de l'énergie électrique.

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

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

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

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

## ANNEXE 1

### Caractéristique courant/tension du panneau photovoltaïque

| U(V) ▼ | I(mA) ▼ | P (W) ▼ |
|--------|---------|---------|
| 0      | 308     | 0,00    |
| 0,34   | 308     | 0,10    |
| 0,96   | 308     | 0,30    |
| 1,56   | 304     | 0,47    |
| 2,18   | 305     | 0,66    |
| 3,09   | 305     | 0,94    |
| 4,64   | 304,6   | 1,41    |
| 7,51   | 299     | 2,25    |
| 8,97   | 298     | 2,67    |
| 11,37  | 296     | 3,37    |
| 11,84  | 293     | 3,47    |
| 14,36  | 285     | 4,09    |
| 15,4   | 255     | 3,93    |
| 16,1   | 228     | 3,67    |
| 16,6   | 206     | 3,42    |
| 17     | 187     | 3,18    |
| 17,3   | 172     | 2,98    |
| 19,3   | 64      | 1,24    |
| 19,5   | 49      | 0,96    |
| 20,2   | 8,5     | 0,17    |
| 20,3   | 4       | 0,08    |
| 20,3   | 0       | 0,00    |

Relevé effectué à 1000 W/m<sup>2</sup> et 70°C

Réf. UNITECK 5W 12V MONOCRISTALLIN

## ANNEXE 2

### Données techniques du PV UNITECK 5W 12V MONOCRISTALLIN



**UNISUN**  
**5.12 M**

Ref 0491

#### Performance électrique

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Puissance max. (Pm)*                  | 5 W    |
| Tolérance de puissance*               | 0/+3 % |
| Tension d'utilisation                 | 12 V   |
| Technologie                           | mono   |
| Tension à puissance max. (Vmp)*       | 17,4 V |
| Intensité à puissance max. (Imp)*     | 0,29 A |
| Tension à vide (Voc)*                 | 21,6 V |
| Intensité en court-circuit (Icc/Isc)* | 0,32 A |
| Efficacité des cellules               | 20,60% |
| Efficacité des modules*               | 7,56%  |

#### Charge batterie maximum\*\*\*

|              |                      |        |
|--------------|----------------------|--------|
| Batterie 12V | avec régulateur PWM  | 0,23 A |
|              | avec régulateur MPPT | 0,33 A |
| Batterie 24V | avec régulateur PWM  | n.a.   |
|              | avec régulateur MPPT | n.a.   |

#### Comportement en température

|                               |     |           |
|-------------------------------|-----|-----------|
| Température de fonctionnement |     | -40/+85°C |
| NOCT / TUC**                  |     | 45 ±2°C   |
| Coefficient de température    | Pm  | -0,43%/°C |
|                               | Voc | -0,34%/°C |
|                               | Icc | 0,05%/°C  |

#### Caractéristiques mécaniques

|                                     |             |           |
|-------------------------------------|-------------|-----------|
| Cadre alu anodisé                   | oui         |           |
| Design black-back sheet (fond noir) | non         |           |
| Entraxe de                          | n°1 - L x H | 140 x 195 |
| fixation (mm)                       | n°2- L x H  | -         |
| Longueur câble (avec connectiques)  | -           |           |
| Dimensions du module (mm)           | 216x306x18  |           |
| Poids du module                     | 0,8 kg      |           |

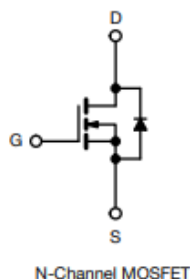
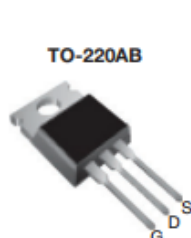
#### Garantie produit

|       |       |
|-------|-------|
| Durée | 5 ans |
|-------|-------|

## Datasheet transistor Power MOSFET IRF 520


[www.vishay.com](http://www.vishay.com)
**IRF520**

Vishay Siliconix

**Power MOSFET****FEATURES**

- Dynamic  $dV/dt$  rating
- Repetitive avalanche rated
- 175 °C operating temperature
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?999912](http://www.vishay.com/doc?999912)



Available  
**RoHS\***  
Available  
**HALOGEN  
FREE**  
Available

**Note**

\* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details

**PRODUCT SUMMARY**

|                           |                        |      |
|---------------------------|------------------------|------|
| $V_{DS}$ (V)              | 100                    |      |
| $R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ ) | $V_{GS} = 10\text{ V}$ | 0.27 |
| $Q_g$ max. (nC)           | 16                     |      |
| $Q_{gs}$ (nC)             | 4.4                    |      |
| $Q_{gd}$ (nC)             | 7.7                    |      |
| Configuration             | Single                 |      |

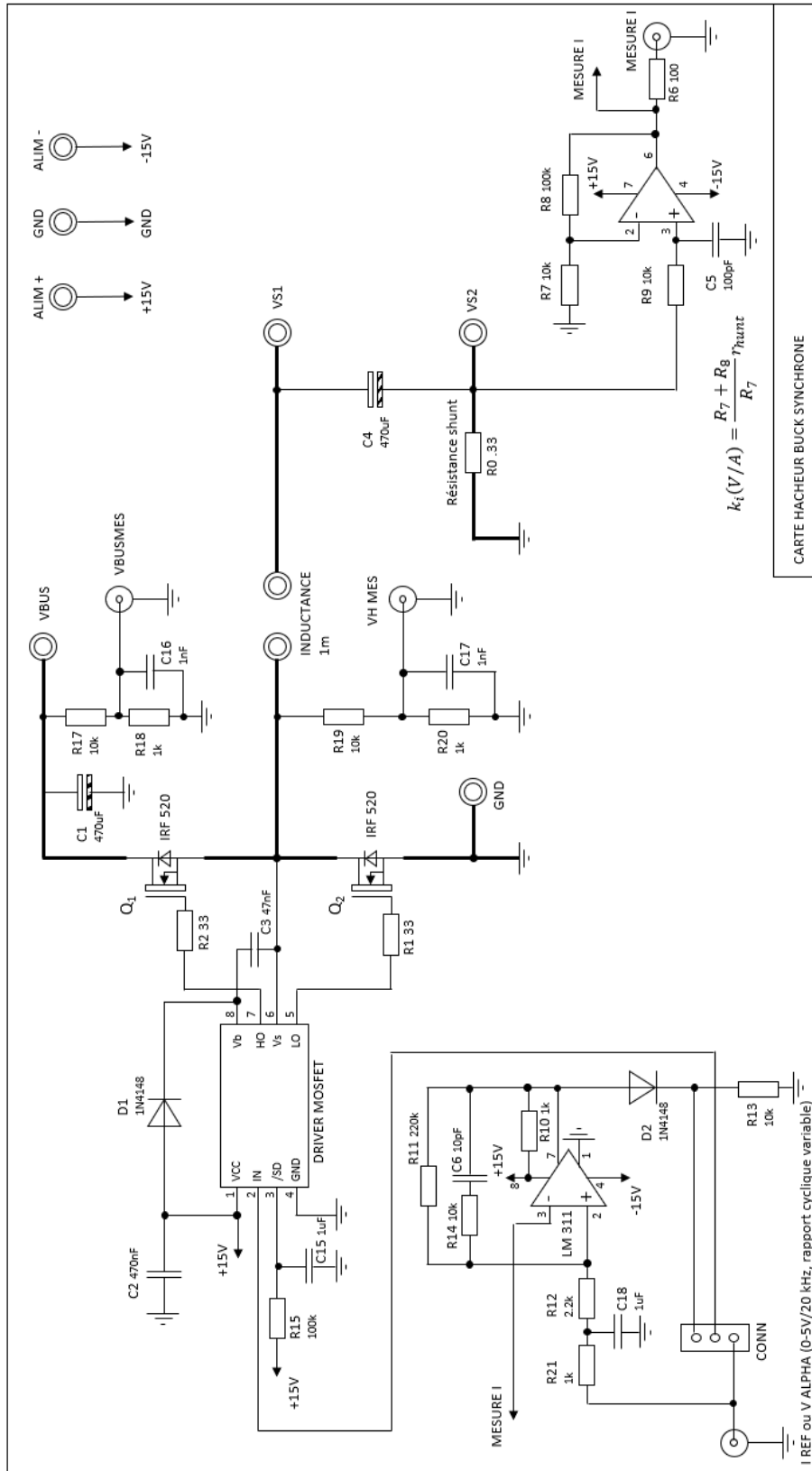
**DESCRIPTION**

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

## ANNEXE 4

### Schéma carte hacheur Buck Synchron





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

## A. Présentation de l'épreuve

### Textes de référence

[Arrêté du 28 décembre 2009 modifié](#)

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

- 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 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

Dans l'ensemble, les supports présentés relèvent de technologies innovantes et actuelles. Les enjeux sociétaux et de développement durable sont souvent abordés.

Quelques candidats ont présenté des dossiers dont le support et la problématique étaient trop éloignés des champs de l'ingénierie électrique.

Le jury déplore que certains candidats ne parviennent pas à expliquer certains contenus de leur dossier. 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 un support d'étude étant à la fois :

- industriel ou « grand public », relevant du domaine de l'ingénierie électrique ;
- attractif pour leurs futurs élèves ou étudiants ;
- avec un enjeu sociétal clairement identifié.

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 support doit aussi être guidé par les développements pédagogiques envisagés dans la deuxième partie du dossier.

La frontière de l'étude doit être clairement identifiée. Il est primordial que l'ensemble des informations contenues dans le dossier, ou projetées lors de l'épreuve, soient parfaitement maîtrisées par le candidat. La problématique doit être pertinente et les développements scientifiques et technologiques doivent correspondre au niveau attendu du concours de l'agrégation. Les recherches de solutions et/ou l'évaluation des performances doivent s'appuyer sur une démarche d'ingénierie. Des expérimentations et des modélisations numériques sont attendues. Le contenu du dossier ne peut se résumer à une présentation de solutions techniques. Par ailleurs, il ne s'agit pas d'un rapport de stage, d'un projet de BTS, d'un rapport de fin d'études de master ou d'une thèse. 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 leurs enseignements tout ou partie des développements scientifiques et technologiques menés. Pour cela des documents techniques issus de l'étude seront adaptés au contexte pédagogique. La pluridisciplinarité doit être valorisée.

Le dossier présenté doit résulter d'un travail personnel du candidat. Les références scientifiques et pédagogiques doivent être citées explicitement dans le texte et précisées dans la bibliographie. L'usage de l'IA générative doit être également indiquée en préambule.

Le jury préconise de respecter l'ensemble de ces critères :

- le corps du dossier doit contenir au maximum 40 pages (20 pages d'annexe peuvent y être ajoutées) ;
- 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 ;
- le dossier doit être rédigé dans une langue française soignée, en tenant compte des règles syntaxiques, 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 et équilibré entre développements scientifiques et transpositions pédagogiques ;
- une expression et un débit maîtrisés, un vocabulaire scientifique 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 ;
- la présentation de séquences de différents niveaux de formation (second degré et enseignement supérieur) dont une détaillée ;
- la présentation argumentée des activités, les démarches pédagogiques et les évaluations proposées aux élèves ;
- les réponses démontrant la connaissance du contexte d'exercice et du système éducatif dans son ensemble.

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 des enseignements des sciences industrielles de l'ingénieur ;
- les interactions avec d'autres disciplines ;
- les démarches pédagogiques mises en œuvre ;
- l'ensemble des compétences qu'un enseignant doit développer ainsi que 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 de la République en tant qu'agent du service public d'éducation.

### **Conclusions**

Les candidats qui se sont distingués montrent en même temps une solide expertise scientifique et technologique, un esprit d'analyse et de synthèse doublé d'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 8,04. L'écart-type est de 4,79. La meilleure note est 19. La plus faible est 2.

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

