



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : agrégation interne et CAERPA

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie électrique

Session 2020

Rapport de jury présenté par : Samuel VIOLLIN, président du jury
Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Avant-propos | 3 |
| Modalités du concours de l'agrégation interne | 4 |
| Données quantitatives | 5 |
| Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique | 6 |
| A. éléments de correction | 6 |
| B. commentaires du jury | 16 |
| Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation | 19 |
| A. éléments de correction | 19 |
| B. commentaires du jury | 26 |

Avant-propos

Cette année 6 postes étaient offerts à l'agrégation interne SII option IE pour le public, 2 postes étaient offerts pour le privé. Le nombre d'inscrits fut de 341 (298 publics et 43 privés), 166 candidats du public ont composé les deux épreuves et 21 candidats du privé.

19 candidats ont été déclarés admissibles pour les 6 postes offerts au concours public et 5 candidats ont été déclarés admissibles pour les 2 postes offerts au concours privé.

Ces chiffres confirment l'attractivité du concours sur un vivier de candidats important. Il s'agit là d'un élément positif. Il est essentiel de recruter les enseignants de haut niveau nécessaire à l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur.

L'État recrute des professeurs agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, associées à de grandes compétences pédagogiques. Les épreuves sont organisées de façon complémentaire afin de bien évaluer l'ensemble des compétences attendues d'un professeur agrégé.

Il est conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, modifié successivement jusqu'au texte consolidé par l'arrêté du 24 juin 2019.

Ce rapport a été rédigé pour être utile aux futurs candidats de l'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie électrique et à leurs formateurs. Tous sont invités à se l'approprier par une lecture attentive.

La crise sanitaire exceptionnelle que traverse le pays a nécessité d'adapter l'organisation de ce concours.

Il a été décidé de maintenir l'organisation du concours interne en l'aménageant¹ et de recruter les lauréats avec le statut de fonctionnaire stagiaire. En effet, l'objectif du ministère a été de ne léser aucun candidat et d'assurer leur sécurité ainsi que celle des personnels.

En conséquences :

- les oraux du concours interne ont été annulés ;
- les notes obtenues à l'admissibilité ont été celles utilisées pour fixer la barre d'admission ;
- une liste complémentaire a été proposée pour le concours public.

Ce rapport porte sur les épreuves d'admissibilité.

Il est conseillé aux candidats de la session 2021 de relire attentivement le rapport de jury de la session 2019 afin de préparer au mieux la phase d'admission.

Le président du jury adresse ses chaleureux remerciements à la vice-présidente, madame Christel IZAC, IA-IPR de l'académie de Nantes et au secrétaire général, monsieur Philippe RAYMOND, directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques, académie de Rennes, ainsi qu'à tous les membres du jury qui se sont fortement mobilisés.

Samuel VIOLLIN

**Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche
Président du jury**

¹ Conformément à l'arrêté du 10 juin 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours interne de recrutement de professeurs agrégés de l'enseignement du second degré ouvert au titre de l'année 2020 en raison de la crise sanitaire née de l'épidémie de covid-19 (JORF du 14/06/2020).

MODALITÉS DU CONCOURS DE L'AGRÉGATION INTERNE

Arrêtés du 25 juin 2015, du 19 avril 2016 et du 24 juin 2019 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation

Section sciences industrielles de l'ingénieur

L'agrégation interne de sciences industrielles de l'ingénieur comprend quatre options :

- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions ;
- option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie informatique.

Le choix est formulé au moment de l'inscription. Les candidats font l'objet d'un classement distinct selon l'option choisie. Un jury est institué pour chacune des options.

A – Épreuves écrites d'admissibilité

1°- Épreuve « analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique ».

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.

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

Elle permet également de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal " sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) " et/ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général, ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation).

Durée de l'épreuve : cinq heures ; coefficient 2.

2°- Épreuve « étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation ».

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Durée de l'épreuve : quatre heures ; coefficient 1.

B – Épreuves d'admission

Il n'y pas eu d'épreuves d'admission lors de la session 2020. Les candidats qui souhaitent préparer la prochaine session sont invités à consulter le rapport de jury 2019 (voir avant-propos).

DONNÉES QUANTITATIVES – Concours Public

| | |
|--|------|
| Nombre de postes : | 6 |
| Nombre de candidats inscrits : | 298 |
| Nombre de candidats n'ayant pas eu de note éliminatoire : | 166 |
| Nombre de candidats admissibles : | 19 |
| Moyenne des candidats admissibles aux épreuves d'admissibilité : | 8,43 |
| Nombre de candidats admis : | 6 |
| Liste complémentaire | 4 |

DONNÉES QUANTITATIVES – Concours Privé

| | |
|--|-----|
| Nombre de postes : | 2 |
| Nombre de candidats inscrits : | 43 |
| Nombre de candidats n'ayant pas eu de note éliminatoire : | 21 |
| Nombre de candidats admissibles : | 5 |
| Moyenne des candidats admissibles aux épreuves d'admissibilité : | 6,3 |
| Nombre de candidats admis : | 2 |

Épreuves d'admissibilité

Remarques d'ordre général concernant les deux épreuves d'admissibilité :

- les questions doivent être lues attentivement afin de n'oublier aucune des réponses attendues ;
- les copies doivent être soignées (écriture lisible, orthographe, présentation claire des résultats) ;
- les notations de l'énoncé doivent être impérativement respectées ;
- les réponses doivent être données sous formes littérales, puis chaque grandeur doit être remplacée par sa valeur numérique en respect de sa position dans la relation de départ avant de donner le résultat numérique avec unité.

Épreuves écrites d'admissibilité

Épreuve : analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique (1^{re} épreuve d'admissibilité)

Durée de l'épreuve : cinq heures ; coefficient 2.

A) Éléments de correction

Partie 1. Analyse du contexte - Identification des exigences liées à l'environnement

Objectif : identifier les contraintes liées à l'environnement conduisant au choix d'un système de transport par câble adapté à la ville de Brest.

Question 1. Pour les solutions de transport par câble de type téléphérique, télécabine, « funitel à câble côte à côte », « funitel à câble en saut de mouton », repérer les critères de choix permettant de caractériser ces quatre solutions.

Critères de choix : tenue au vent, coût, largeur de voie, portée maximale, débit maximal, vitesse à quai.

Question 2. À l'aide des documents DT1 et DT2 1/3, justifier le choix de la solution de Funitel à « saut de mouton » compte tenu du contexte propre à la ville de Brest. Établir le lien entre ce choix de solution et l'approche de développement durable voulue par la ville.

Ville côtière : vent important ;

La largeur est limitée par une arche du bâtiment (doit s'intégrer dans le milieu urbain)

Question 3. À l'aide du DP1, identifier les compétences issues du programme du baccalauréat STI2D pouvant être abordées en prenant appui sur une analyse comparative de solutions techniques ; justifier votre réponse.

Eléments de réponse :

Le fait de mettre en place une analyse comparative implique l'évaluation de la compétitivité d'un produit par rapport à un autre. La compétence « CO2.2 : Evaluer la compétitivité d'un produit d'un point de vue technique et économique », peut donc être abordée mais ce type d'analyse permet également de justifier des choix au regard de différents points de vue. Les compétences CO1.1, CO1.2 et CO1.3 peuvent donc également être abordées.

Afin d'aboutir à une analyse complète, il sera peut-être nécessaire de caractériser les solutions techniques. Dans ce cas la compétence « CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques », peut également être abordée. Enfin, pour décrire les solutions techniques dans l'objectif de les comparer, il sera nécessaire d'utiliser des outils de description. Cela concerne la compétence « CO4.1 : Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés ».

Question 4. Construire un document adapté aux élèves de première STI2D leur permettant de caractériser les différentes solutions de transport par câble en vue d'effectuer un choix.

Eléments de réponse :

Un tableau synthétique reprenant les différentes solutions et les critères permettant de faire un choix objectif.

Partie 2. Analyse des solutions techniques retenues

2.1. Capacité horaire du funitel

Question 5. Déterminer le temps de parcours maximal t_f pour satisfaire à l'exigence de capacité horaire en mode événementiel. En déduire la vitesse de croisière V_c minimale afin de satisfaire l'exigence et vérifier que celle-ci est acceptable du point de vue du confort des passagers.

La capacité horaire est de 1200 passagers par heure et par sens.

Chaque cabine peut contenir 60 passagers.

Le temps de cycle doit être $t_c = 3600 \times \frac{60}{1220} = 180$ s

Le temps de trajet doit être $t_t = t_c - 2 \times t_d - 4 \times t_p = 142$ s

La distance parcourue est 420 m

La durée du déplacement est : $t_f = t_t = t_a + \frac{d}{V_c}$ avec $t_a = \frac{V_c}{a}$ (d : distance parcourue ; a : accélération)

Soit $t_t = \frac{V_c}{a} + \frac{d}{V_c} \Rightarrow V_c^2 - a \cdot t_f \cdot V_c + a \cdot d = 0$

$$V_c^2 - 0,5 \cdot 142 \cdot V_c + 0,5 \cdot 420 = 0$$

$$V_c = 3 \text{ m.s}^{-1}$$

Cette vitesse est bien inférieure à $7,5 \text{ m.s}^{-1}$.

2.2. Tenue au vent

Question 6. Déterminer l'angle d'inclinaison maximal de la cabine sous l'effet d'un vent de 30 m.s^{-1} . Justifier qu'un téléphérique monocâble ne peut satisfaire l'exigence de tenue au vent

On isole la cabine.

BAME : la force du vent \vec{F}_W en W ; le poids en G ; la réaction du câble en A

$\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} C_x \rho S V^2 h_w}{M v g h_G} \Rightarrow \alpha = 0,19 \text{ rad} > 0,05 \text{ rad}$ donc le cahier des charges n'est pas respecté avec un téléphérique monocâble
 Rem : $F_w = 8364 \text{ N}$

Question 7. Préciser les hypothèses et théorèmes utilisés afin d'obtenir cette relation puis conclure quant à l'exigence de tenue au vent.

On isole la cabine et on applique un TMS en O

$$\vec{OA} \wedge (-Y_A \vec{y}) + \vec{OB} \wedge (-Y_B \vec{y}) + \vec{OG} \wedge \vec{P} + \vec{OW} \wedge \vec{F}_W = \vec{0}$$

$$(Y_A - Y_B) \frac{l^2}{2} - h_G P \sin \alpha + F_W h_w = 0$$

$$\text{Soit } -k \frac{l^2}{2} \sin \alpha - h_G P \sin \alpha + F_W h_w = 0$$

$$\sin \alpha = \frac{F_W h_w}{k \frac{l^2}{2} + h_G P}$$

L'exigence de tenue au vent est cette fois vérifiée.

2.3. Système de compensation de longueur de câble

Question 8. Déterminer les distances à parcourir pour chacune des deux cabines et justifier la nécessité d'un système de compensation de longueur pour les câbles de traction.

Cabine supérieure :

$$d_s = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0s}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1s}} = 419 \text{ m}$$

Cabine inférieure :

$$d_i = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0i}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1i}} = 416 \text{ m}$$

Les deux cabines ne peuvent pas aller à la même vitesse.

Question 9. Déterminer la course nécessaire des vérins de compensation et valider le choix du vérin.

La course des vérins doit être de $(419-416)/2 = 1,54 \text{ m} < 2 \text{ m}$

2.4. Tenue des ancrages de câbles

2.4.1. Tension des câbles porteurs

Question 10. Déterminer les composantes des efforts en A et en P en fonction de la force $R_H = R_{HA}$, du poids de la cabine $P = \|\vec{P}\|$, de sa position x_C et des grandeurs géométriques H, D et L. En déduire la tension dans le câble $N(x)$ pour $0 < x < x_C$ et pour $x_C < x < L$ en fonction de R_H , P, x_C et des grandeurs géométriques.

On isole l'ensemble cabine + câbles.

$$R_{HA} = R_{HP} = R_H$$

$$R_{VA} + R_{VP} = P \text{ (TRS)}$$

$$P \cdot x_C + R_{HP} \cdot D = R_{VP} \cdot L \text{ (TMS en A)}$$

$$\text{Soit : } R_{VP} = P \cdot \frac{x_C}{L} + R_H \frac{D}{L} \text{ et } R_{VA} = P \cdot \left(1 - \frac{x_C}{L}\right) - R_H \frac{D}{L}$$

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + R_{VA}^2} \text{ si } 0 \leq x \leq x_C$$

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + (R_{VA} - P)^2} \text{ si } x_C \leq x \leq L.$$

Question 11. À partir des résultats de simulation donnés figure 9, vérifier la tenue du câble. Évaluer l'effort d'ancrage en A en précisant éventuellement vos hypothèses.

La tension maximale (870 kN) est bien inférieure à la force limite à rupture (2743 kN).
il y a 4 câbles soit environ $4 \cdot 870 = 3480$ kN

2.4.2. Ancrages

Question 12. À l'aide de la documentation technique du fournisseur dans le document DT4, déterminer la section minimale puis choisir le tirant précontraint à mettre en place.

Section mini = $1,54 \times \text{Traction de service} / \text{Contrainte de rupture acier}$
 $= 1,54 \cdot 1400 \text{ kN} / (1,86 \text{ kN/mm}^2)$
 $= 1159 \text{ mm}^2$

On sélectionne un tirant 8T15 ($A_p = 1200 \text{ mm}^2$)

Question 13. À l'aide du document technique DT5, déterminer la longueur libre minimale du tirant.

Le remblai situé dans la partie haute du substratum présente des caractéristiques mécaniques très hétérogènes et une cohésion inexistante. Les tirants sont donc ancrés dans la partie rocheuse du sol qui présente une bonne tenue mécanique et qui est située à une profondeur supérieure à 19,1 m.
La longueur libre du tirant oblique sera donc au minimum égale à $(19,1 \text{ m} / \sin 35^\circ) = 33,3 \text{ m}$.

Question 14. Déterminer la longueur de scellement L_s minimale à mettre en œuvre en utilisant la formule de Bustamante : $T_u = \pi D_s \cdot L_s \cdot q_s$ où q_s est le frottement latéral unitaire du sol et D_s est le diamètre du bulbe de scellement (ici, on prendra $D_s = 20 \text{ cm}$). Déterminer la longueur minimale du tirant précontraint.

a) Traction de service = 1400 kN \Rightarrow Traction limite du tirant = 2800 kN
 $T_u = \pi D_s \cdot L_s \cdot q_s$

Dans le DT5, on lit : $q_s = 267 \text{ kPa}$

D'où $L_{s_minimale} = T_u / (\pi D_s \cdot q_s) = 16,7 \text{ m}$

b) On en déduit Longueur tirant mini = Longueur libre + $L_{s_mini} = 33,3 + 16,7 = 50,0 \text{ m}$

Question 15. Calculer la valeur minimale de T_e et estimer l'allongement théorique du tirant sous cet effort. Comparer à l'allongement sous charge maximale du tirant sélectionné.

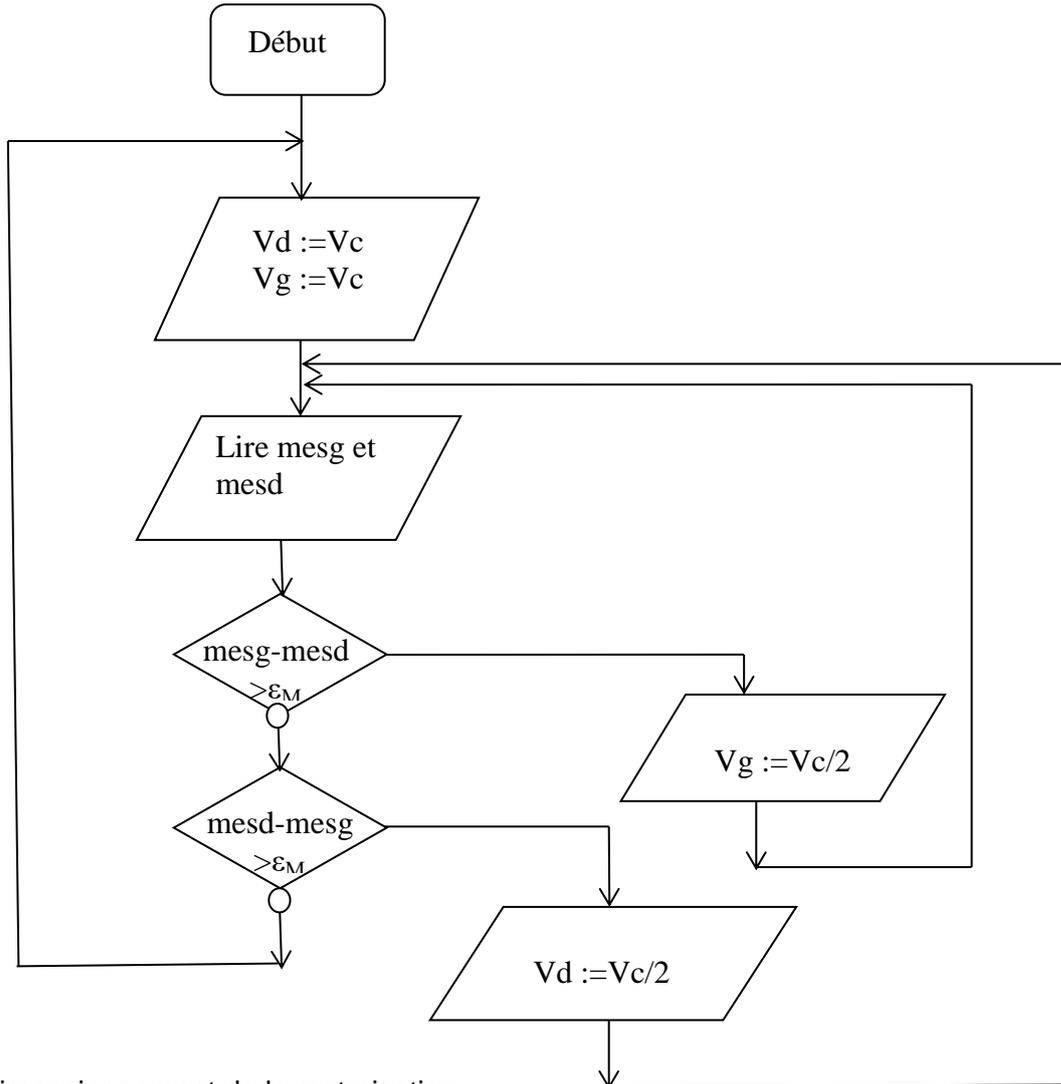
a) $T_e = 1,25 \cdot T_s = 1400 \cdot 1,25 = 1750 \text{ kN}$

b) Allongement théorique = Effort * Longueur armature / (section armature * module élasticité longitudinal) = $1750000 \cdot 50,0 / (1200 \cdot 195000) = 0,37 \text{ m}$

(Module élasticité à lire dans l'annexe 2)

c) l'allongement sous charge maximal est de 3,5 % (DT4)

Question 17. Compléter l'algorithme proposé sur le document réponse DR2.



2.6. Dimensionnement de la motorisation

Question 18. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne, notée E_{CT} , des câbles tracteurs, des deux cabines et de la motorisation, en fonction de V_s et des données du problème. En déduire l'expression de M_{eq} défini par $E_{CT} = \frac{1}{2} M_{eq} V_s^2$.

$$E_{CT} = \frac{1}{2} M_{cp} V_{cp}^2 + \frac{1}{2} M_s V_s^2 + \frac{1}{2} M_i V_i^2 + 2 \times \frac{1}{2} I_m r^2 \omega_m^2 + n \times \frac{1}{2} I_p r^2 \omega_m^2 + \frac{1}{2} \mu_t (L_s V_s^2 + L_i V_i^2)$$

Avec M_{cp} et V_{cp} sont les masse et vitesse des contrepoids.

Sachant que $V_i = k_i V_s$, $\omega_m = \frac{2V_s}{D_p r}$, $V_{cp} = \frac{V_s - V_i}{2}$, on a :

$$E_{CT} = \frac{1}{2} \left(M_{cp} \left(1 - \frac{k_i^2}{4} \right) + M_s + M_i k_i^2 + 2 I_m \frac{4}{D_p^2} + 6 \times I_p \frac{4}{D_p^2} + \mu_t (L_s + L_i k_i^2) \right) V_s^2$$

$$D'où M_{eq} = M_{cp} \left(1 - \frac{k_i^2}{4} \right) + M_s + M_i k_i^2 + 2 I_m \frac{4}{D_p^2} + 6 \times I_p \frac{4}{D_p^2} + \mu_t (L_s + L_i k_i^2)$$

$$M_{eq} = M_s + M_i k_i^2 + 2 I_m \frac{4}{D_p^2} + 6 \times I_p \frac{4}{D_p^2} + \mu_t (L_s + L_i k_i^2) \text{ si on néglige l'énergie des contrepoids}$$

Question 19. Préciser en justifiant la phase de fonctionnement la plus défavorable pour le dimensionnement du moteur. Déterminer la puissance galiléenne, notée P_p , des actions de pesanteur sur l'installation en fonction de V_s et des données dans cette situation la plus défavorable.

la phase la plus défavorable est pour $0 \leq t \leq t_{ms}$. Reste à définir le sens :

Cabine supérieure : sens Capucin vers SIAM :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{0s} - M_i V_i g \sin \alpha_{1i}$$

$$P_{s0} = M \cdot g \cdot \sin \alpha_{s0} \cdot V = 102710 \times \sin 8,8^\circ \times 7,5 = 117 \text{ kW}$$

$$P_{i1} = M \cdot g \cdot \sin \alpha_{i1} \cdot V = 102710 \times \sin 11,4^\circ \times 7,5 = 152 \text{ kW}$$

$$P_p = 269 \text{ kW}$$

Ou

Cabine supérieure : sens SIAM vers Capucin :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{1s} - M_i V_i g \sin \alpha_{0i}$$

$$P_{i0} = M \cdot g \cdot \sin \alpha_{i0} \cdot V = 102710 \times \sin 6,7^\circ \times 7,5 = 90 \text{ kW}$$

$$P_{s1} = M \cdot g \cdot \sin \alpha_{s1} \cdot V = 102710 \times \sin 14,1^\circ \times 7,5 = 187 \text{ kW}$$

$$P_p = 277 \text{ kW}$$

La situation la plus défavorable est donc cabine sup vers capucin, cabine inf vers siam, lorsque les 2 cabines montent soit $0 \leq t \leq t_{m1}$

Question 20. En déduire une estimation de la puissance galiléenne maximale nécessaire, notée P_T pour l'entraînement de la ligne entre les gares dans la situation étudiée, en fonction de V_s et de l'accélération \dot{V}_s . en déduire l'expression du couple maximal sur la poulie C_r dans ces conditions.

$$\frac{dEc}{dt} = P_p + P_T$$

Soit $P_t = M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p$ avec $P_t = C_r \omega_p$ et $V_s = \frac{D}{2} \omega_p$

$$\text{Soit } C_r = \frac{M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p}{V_s} \cdot \frac{D}{2}$$

Question 21. Déterminer les caractéristiques mécaniques du moteur (couple, vitesse angulaire et puissance).

Vitesse du moteur : $\omega = \frac{v}{r.R} = \frac{7,5}{0,0483.1} = 155,3 \text{ rad/s}$ ce qui donne $N = 1482 \text{ tr/mn}$.

Couple moteur : $C_m = \frac{C_r.r}{\eta r} = \frac{69.0,0483}{0,95} = 3,5 \text{ KNm}$ donc pour 1 moteur $C_m = 1,75 \text{ KNm}$

Puissance mécanique moteur : $P_m = C_m \cdot \omega = 1,75.155,3 = 271,8 \text{ KW}$

Question 22. Vérifier si les caractéristiques du moteur conviennent pour notre application.

Le moteur a une puissance mécanique de 293KW donc supérieure à 271,8 KW et une vitesse nominale de 1480 tr/mn qui est quasi identique à 1482 tr/mn. Donc le moteur convient pour notre application.

2.7. Partie pédagogique

Question 23. À partir de l'étude traitée dans la partie 2.5, proposer une activité pratique destinée à des élèves de STI2D permettant d'aborder la compétence CO6.2 et le chapitre 3.1 des connaissances associées.

CO6.2 : Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique.

Chapitre 3.1 : Modélisation et simulation

Une transposition de l'activité de la partie 2.5 est proposée

Question 24. Afin de mettre en place une évaluation formative pendant l'activité, identifier trois indicateurs de performance permettant de savoir si un élève a acquis ou non la compétence ciblée.

Exemples de critères mais d'autres sont possibles. L'important est de vérifier que le candidat propose réellement des observables avec une progressivité.

L'élève a su identifier les variables et les paramètres de simulation ;
L'élève fait le lien entre les paramètres du modèle et le système réel ;
L'élève a modifié correctement le modèle multi physique ;

...

Question 25. Proposer une stratégie de remédiation pour les élèves n'ayant pas acquis la compétence.

Activité supplémentaire spécifique au besoin

Intégration des connaissances dans la séquence suivante (acquisition spiralaire)

Ressources en ligne pour travail hors classe

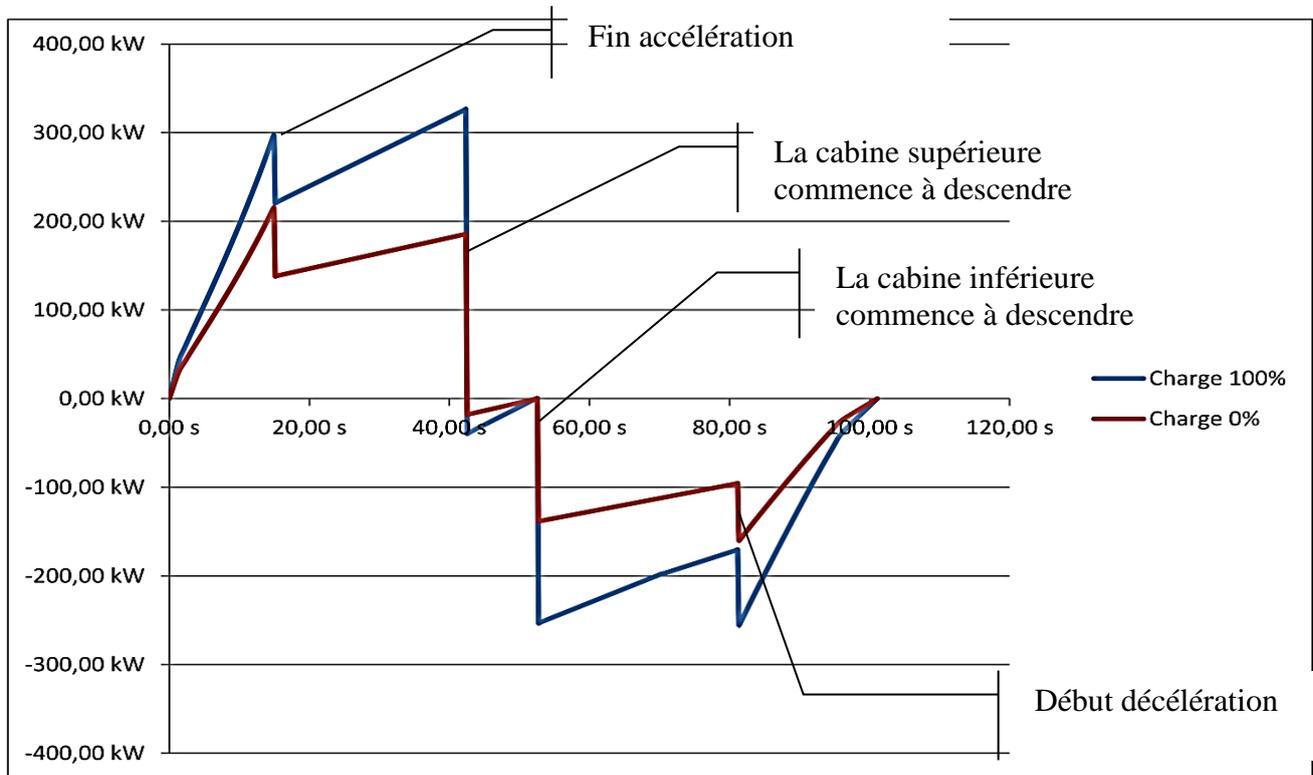
Quizz

Tutorat par les pairs

Partie 3. Optimisation énergétique

3.1. Bilan énergétique d'un trajet

Question 26. Une simulation, DR3, permet d'afficher les puissances le long d'un cycle pour une loi d'accélération donnée. Justifier sur le DR3 les allures des courbes obtenues.



Puissance d'un moteur en fonction du temps
(cabines pleines et vides pour une vitesse de $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Question 27. Préciser s'il est possible de récupérer de l'énergie pour la restituer et justifier la nécessité de recourir à une source extérieure.

Lorsque la puissance est négative (à partir de t_{m1}), la puissance est négative. Il est donc possible de récupérer l'énergie.

L'aire sous la courbe représente l'énergie nécessaire puis récupérable. Celle-ci est plus faible, d'où la nécessité de recourir à une énergie extérieure.

3.2. Analyse structurelle du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

Question 28. En utilisant le document technique DT7 « comparatif des solutions de stockage de l'énergie électrique », rédiger une synthèse explicitant les cas dans lesquels l'utilisation de super-condensateurs est appropriée ; argumenter ce choix dans le cadre du système étudié.

Éléments de réponse :

Avantages des super condensateurs : Grande cyclabilité, temps de réponse adapté au système, capacité énergétique adaptée, pas d'usure mécanique, pas de bruit, pas de pollution, modularité

possible...
Inconvénients : prix au Kwh.

Question 29. À l'aide du document DR3, quantifier l'énergie récupérable sur un cycle de déplacement (pour une charge de 100% correspondant à une cabine pleine).

L'aire sous la courbe est environ $200\text{kW} \times 40\text{s} = 8000 \text{ kW.s} = 8.10^6 \text{ J} \approx 2,2 \text{ kW.h}$

Question 30. Déterminer la capacité c nécessaire pour stocker l'énergie dans ces conditions.

$$c = \frac{2w}{v^2} = \frac{2 \times 8.10^6}{720^2} = 31 \text{ farads}$$

Question 31. Déterminer le nombre de modules ainsi que leur couplage ou association.

Si n condensateurs en série on a $C_{eq} = \frac{c}{n}$

$$\frac{375}{11} = 34,1 \text{ il faut donc 11 condensateurs en série.}$$

Question 32. Déterminer la valeur des paramètres a et c₁.

$$0,8 \times 34,1 = c_1 \text{ et } 1,3 \times 34,1 = 720 \text{ a} + c_1$$

Soit $c_1 = 27,3 \text{ farad}$ et $a = 2,4.10^{-2} \text{ f.V}^{-1}$

Question 33. Démontrer l'équation suivante :

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

avec V_{\max} la tension en fin de charge et V_{\min} la tension en début de charge.

$$w_c(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^t c \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v + c_1) \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v^2 + c_1 v) \frac{dv(t)}{dt} dt$$

$$w_c(t) = \left[\frac{1}{3} a v^3 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}} + \left[\frac{1}{2} c_1 v^2 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}}$$

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

Question 34. Calculer l'énergie (en kWh) stockée lors d'une charge. Comparer cette énergie par rapport à celle de la question 31.

$$w_c = \frac{1}{2} 27,3 (720^2 - 250^2) + \frac{1}{3} 0,0238. (720^3 - 250^3) = 9.10^9 \text{ J} = 2,5 \text{ kW.h} > 8.10^6 \text{ J OK}$$

3.3. Optimisation de la consommation électrique

Question 35. À l'aide du document DR3, déterminer la quantité d'énergie extérieure pour un cycle. Proposer une stratégie de gestion d'énergie entre l'énergie stockée et l'énergie d'E.D.F. qui permettra d'éviter les dépassements de puissance.

L'énergie nécessaire pour la montée (aire sous la courbe) est d'environ $40 \times 250 \text{ kW.s} = 10^7 \text{ J}$;

L'énergie récupérable est 8.10^6 J .

Donc il manque 2.10^6 J .

La puissance nécessaire en fin de montée est supérieure à 240 kW ; il faut donc utiliser l'énergie

stockée en fin de montée.
La montée dure 40 s.

$$\frac{2 \cdot 10^6}{40} = 5 \cdot 10^4 W$$

Avec une consommation EDF constante de 50 kW, on utilise la totalité de l'énergie stockée sans dépasser la puissance maximal EDF.

Question 36. Déterminer le coût énergétique journalier (le téléphérique fonctionne 12 heures par jour et il effectue en moyenne 8 cycles par heure).

$$0,15 \times \frac{2 \cdot 10^3}{3600} \times 8 \times 12 + 42,48 \times \frac{50}{365} = 14,22$$

Partie 4. **Stratégie pédagogique**

Question 37. Proposer la définition d'une séquence pédagogique.

Rédiger la réponse sous forme d'une fiche de séquence (le format est laissé libre) en veillant à préciser :

- le choix du contexte pédagogique retenu pour les enseignements spécifiques représentés dans la classe de terminale STI2D (AC ou ITEC, EE ou SIN) ;
- le rappel des compétences visées ;
- les connaissances associées aux compétences ;
- la démarche pédagogique retenue en veillant à **justifier son choix** ;
- les activités proposées et leur enchaînement au fil de la séquence ;
- une estimation de la durée de chaque étape de la séquence ;
- les modalités d'évaluation envisagées ;
- le contexte matériel, notamment les supports autres que le Funitel de Brest mobilisés dans la séquence.

B) Commentaires du jury

Remarques générales

À la vue des réponses données, certains candidats n'ont pas lu l'ensemble du sujet. Ce premier travail essentiel aurait pu leur permettre d'orienter leur recherche, de mieux appréhender la problématique traitée.

Il n'était pas rare que la réponse à une question se résumait à une valeur numérique fautive non justifiée par une résolution préalable, et moins fréquemment, sans unité, ne permettant pas au correcteur d'évaluer la démarche du candidat.

Qualité des copies

Il reste quelques copies insuffisamment soignées dans leur présentation et leur rédaction.

Beaucoup de copies présentaient des fautes d'orthographe.

Il est demandé au candidat de soigner particulièrement ses réponses manuscrites de manière à les rendre exploitables en vue d'une correction.

De plus, cet effort de présentation est fortement utile au candidat lors des questions synthétisant une partie de l'épreuve.

Le jury est sensible à la bonne lisibilité des copies. Elle prend tout son sens avec les missions de professeur dont les documents produits sont principalement destinés aux apprenants.

Analyse du contexte et des solutions techniques.

Les domaines fondamentaux des sciences industrielles de l'ingénieur sont souvent abordés par une approche énergétique au travers des variables duales (efforts et flux) dans des modèles multiphysiques. Il est demandé aux candidats :

- d'élargir leurs domaines de compétences initial aux fondamentaux des autres options de l'agrégation SII en vue de mieux appréhender l'épreuve transversale ;
- de connaître les équations fondamentales et les unités des grandeurs abordées pour une telle épreuve.

Le lien entre énergie et puissance n'était pas évident pour tous les candidats, il subsiste parfois des erreurs d'unité. Un simple calcul d'aire sous la courbe à partir de relevés de puissances issus d'expérimentation ou de modélisation permettait de déterminer les énergies mises en jeu.

Quelques candidats encore trop rares ont rédigé des copies de qualités, mais globalement la moyenne des candidats obtenue à cette épreuve est insuffisante par le manque de connaissances dans le domaine de spécialité de l'agrégation présentée.

Une justification des solutions techniques retenues reposait sur des études mécaniques élémentaires.

Le jury rappelle qu'une motorisation se justifie par les variables duales imposées par la charge mécanique et les exigences rattachées au système.

Le théorème de l'énergie cinétique n'était pas toujours acquis interdisant tout dimensionnement de moteur, c'est pourtant une compétence attendue de l'agrégation présentée.

Les principes fondamentaux de la statique et de la dynamique sont souvent abordés de manière incomplète amenant le candidat à une démarche erronée. Il y a souvent confusion entre vecteur colonne et torseur entraînant une modélisation incomplète ou erronée ne permettant pas de résoudre le problème posé.

Le questionnement sur le dimensionnement des tirants et leur allongement n'a été que très peu traité. Cela s'explique davantage par le manque de connaissances dans ce domaine que par la complexité abordée.

Exploitation pédagogique

L'exploitation pédagogique s'appuie sur un élément de la trame du sujet.

Il était demandé aux candidats de proposer une séquence complète basée sur l'exploitation d'un modèle multiphysique en classe de terminale en enseignement de spécialité. Le jury n'attendait pas à voir apparaître toute la trame du sujet mais uniquement une ré exploitation de la partie dédiée.

La didactique était visiblement bien maîtrisée :

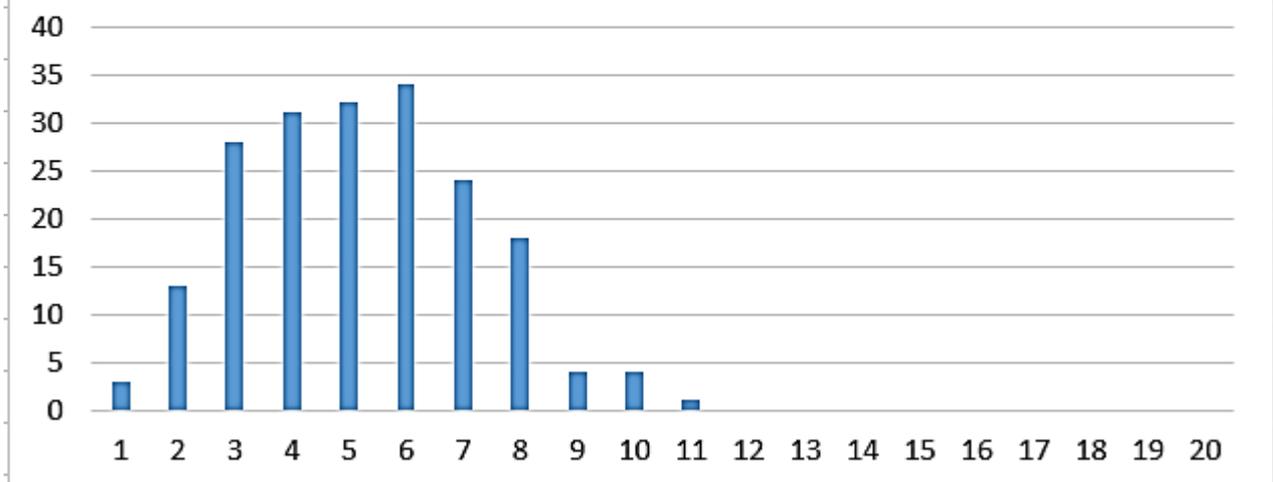
- vocabulaire associé ;
- compétences visées et savoir associés ;
- les approches pédagogiques ;
- les modes d'évaluation ;
- les remédiations ;
- l'estimation du temps alloué pour chaque phase ;

Il était plus difficile de trouver de manière explicite le contexte de la séquence, le matériel nécessaire, les indicateurs de performances pour l'évaluation axée sur l'exploitation d'un modèle multiphysique.

De manière plus générale, les candidats n'ont pas tous fait preuve d'esprit de synthèse pour dégager les points fondamentaux de leur séquence. Il a été apprécié la présentation synthétique sous forme de tableau alliant efficacité et rapidité.

Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique.

Distribution du nombre de copies par notes



La moyenne générale obtenue par les candidats admissibles est de 7/20

Épreuve : étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation (2^e épreuve d'admissibilité)

Durée de l'épreuve : 4 heures ; Coefficient 1.

Le jury conseille aux candidats d'analyser la globalité du sujet et ses différentes parties qui sont généralement indépendantes et de ne pas nécessairement le traiter dans l'ordre des questions. Toutefois, le jury précise qu'il attend des candidats des compétences transversales allant des systèmes d'information à l'énergie. De nombreux candidats ne traitent que partiellement le sujet, se concentrant uniquement sur les parties correspondant à leur spécialité.

D'une manière générale, le jury conseille aux candidats :

- de veiller à la qualité de présentation des résultats. Les points essentiels sont :

- la lisibilité de l'écriture ;
- dans le cas où le sujet n'aurait pas été traité de manière linéaire, le candidat devra s'assurer de respecter l'enchaînement des questions et le découpage par parties proposé, quitte à laisser des pages vierges ;

- d'être plus attentifs aux consignes (identifier clairement les questions, reporter les résultats sur les documents réponse et les restituer), aux ordres de grandeur, aux unités et d'une manière générale à la cohérence des réponses ;

- pour les questions de synthèse, le jury attend une analyse critique. Le candidat ne peut se contenter de reformuler la question sous forme de réponse, mais doit utiliser des données tangibles présentes dans les questions précédentes ou dans les annexes.

A) Eléments de correction

Partie A. Vérification de la capacité de levage et du dimensionnement des alimentations

Question 1 :

Charge de 20kg, donc $F_c = \text{masse} \cdot g = 20 \cdot 9,81 = 196,2 \text{ N}$.

Répartition sur les deux demi poignets, on prendra $F_c / 2$ pour chacun soit 98,1 N.

$C_3 = (F_c / 2) \cdot \text{distance axe 5 - point C} = 98,1 \cdot 0,29 = 28,45 \text{ Nm}$.

Donc $F_B = C_3 / R_4 = 28,45 / 30 \cdot 10^{-3} = 948 \text{ N}$.

$C_2 = F_B \cdot R_3 = 948 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 8,5 \text{ Nm}$.

Par conséquent $F_A = C_2 / R_2 = 8,5 / 22,5 \cdot 10^{-3} = 377,7 \text{ N}$.

Question 2 :

C_{sr} , couple en sortie de réducteur, doit être supérieur au produit $F_A \cdot R_1$.

$C_{sr} > 377,7 \cdot 11,25 \cdot 10^{-3}$ donc $C_{sr} > 4,25 \text{ Nm}$.

Etant donné que C_{sr} nominal = 15 Nm, le dimensionnement est correct.

Question 3 : le moteur EC40 a un couple nominal de 165 mNm (document ress. 1)

Le rapport de réduction du réducteur est de 91 :1.

Donc le couple moteur nécessaire = $4,25 \text{ Nm} / 91 = 0,0467 \text{ Nm}$ soit 46,7 mNm.

Il est capable de fournir plus que le couple nécessaire, donc la capacité de levage est bien supérieure à 20 kg.

Question 4 : dans la documentation du moteur on trouve 2,1 Nm pour 3000 tr/min ; nous avons donc

$P_{\text{méca}} = 2,1 \times 3000 \times 2 \times 3,14 / 60 = 659,4 \text{ W}$

Question 5 : le document ressource indique un déclassement de 30% pour du multi-axes soit

$P_{\text{total}} = 0,7 \times 3 \times 659,7 = 1385$

$$P_{\text{alim}} = 1385 / 0,9 = 1539 \text{ W}$$

Par conséquent une alimentation de 2000W suffit bien.

Partie B. Adaptation au milieu nucléaire des solutions technologiques au niveau du bras

Question 6 :

$$T1 = \frac{1}{1+jR4.C3.\omega} = \frac{1}{(1+j\frac{\omega}{\omega0})} \quad \text{Avec } \omega0 = \frac{1}{R4.C3}$$

$$\frac{1}{820 \cdot 2,2 \cdot 10^{-9}} = 554323 \text{ rd/s. On peut prendre comme valeurs } 820\Omega \text{ et } 2,2 \text{ nf.}$$

Question 7 :

$F_{\text{excitation}} = 10 \text{ kHz}$, donc calculs à $100 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ et à $10 \cdot 10^3 \text{ Hz}$.

Sur les diagrammes de Bode du MFB, points à 62831 rd/s et à 628310 rd/s .

$$G_{\text{cellule RC}} = -20 \cdot \log \sqrt{\left(1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\omega0}\right)^2\right)}$$

$$\Phi_{\text{cellule RC}} = -\text{Atn}\left(\frac{\omega}{\omega0}\right)$$

Relevé graphique pour le filtre MFB (ou calcul).

| Fréquence | Gain RC (dB) | Gain MFB (dB) | Gain total (dB) | Φ RC (degrés) | Φ MFB (degrés) | Φ Total (degrés) |
|-----------|--------------|---------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 10 kHz | -0,05 | 0 | -0,05 | -6,466 | -7 | -13,466 |
| 100 kHz | -3,5 | -1 | -4,5 | -48,57 | -100 | -148,57 |

Question 8 : afin d'améliorer S/N, on alimente envoie une tension d'excitation la plus élevée possible, soit 10V peak (Doc ressource 2).

Avec $R=150 \Omega$ on a $V_{\text{RS0-pp}} = 2,12 \text{ peak to peak}$ (doc 2)

Il faut donc amplifier de $10 / 1,06 = 9,43$ soit 19,49 dB au total.

Le gain des amplificateurs devra être égal à $19,49 + 0,05 = 19,99 \text{ dB}$.

La tension d'alimentation des amplificateurs sera de 24V (doc 2).

Question 9 : le rapport de transformation du résolveur (ratio, doc ressource 2), est de 0,5. Les signaux V_{cos} et V_{sin} auront donc pour amplitude 5 Vpeak, 10 Vp-p. Donc, l'amplification maximale sera de $2,3 / 10 = 0,23$ soit **-12,7 dB max**

Question 10 : le filtre d'excitation induit un déphasage de $-13,5^\circ$, le filtre de retour un déphasage de $-18,8^\circ$, ce qui donne un total de $-31,5^\circ$.

Le déphasage doit être compris entre -45° et $+45^\circ$, ce qui donne une plage :

$$-13,5^\circ < \text{Déphasage de l'amplificateur d'excitation} < 76,5^\circ \text{ à } 10\text{kHz}$$

Question 11 :

$$Z = 70 + 100j. |Z| = 122\Omega, \varphi_z = 55^\circ, \cos \varphi = 0,57$$

$$P_{\text{load}} = \frac{V^2}{|Z|} \cdot \cos\varphi = \frac{7^2}{122} \cdot 0,57 = 0,229 \text{ W}$$

Question 12 : le courant a une forme redressée bi-alternance donc

$$I_{\text{moy}} = \frac{2 \cdot I_{\text{Max}}}{\pi} = \frac{2 \cdot \frac{10}{122}}{\pi} = 52 \text{ mA}$$

Question 13 :

$$P_{\text{supply}} = 24 \text{ V} \cdot 52 \text{ mA} = 1,25 \text{ W}$$

$$P_{\text{amp}} = P_{\text{supply}} - P_{\text{load}} = 1 \text{ W}.$$

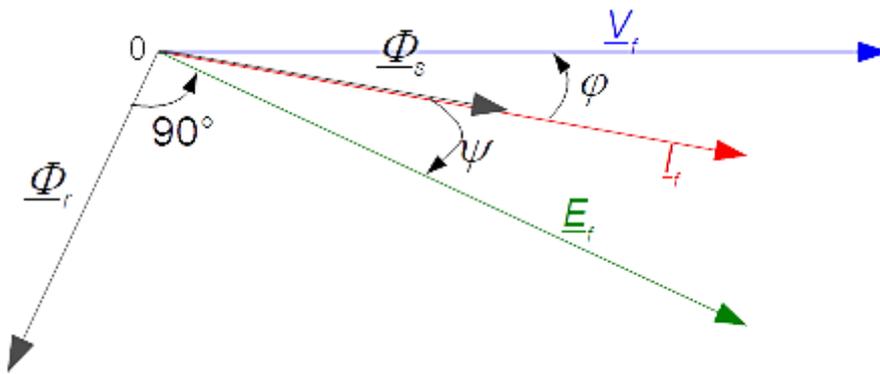
Question 14 : température CI = θ_A + Résistance thermique . $P_{\text{amp}} = 25 + 47,2 = 72,2^\circ\text{C}$. < 150 donc le composant peut dissiper cette puissance.

$$\theta_{A \text{ Maxi}} = 150 - R_{\text{thCI}} \cdot P_{\text{amp}} = 102,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Question 15 : la carte d'acquisition utilisée permet bien d'éviter la phase d'ajustement du déphasage entre le signal d'excitation et les signaux de retour Vcos et Vsin. De plus, elle permettra de limiter le rapport signal / bruit en fournissant un signal d'excitation de tension maximale 10V au résolveur tout en limitant la tension de retour de tension en dessous de la valeur maximale d'entrée.

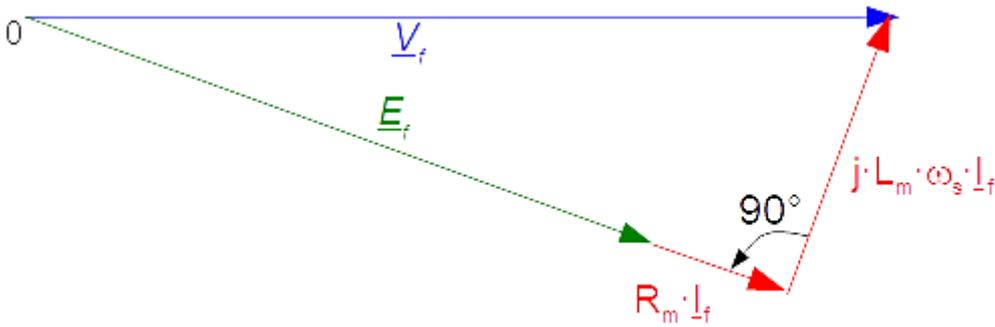
Partie C. Détermination d'un point de fonctionnement de la boucle de contrôle de couple des moteurs synchrones du poignet

Question 16 : en considérant la relation entre le flux de réaction d'induit Φ_s et le courant d'induit $i_f(t)$, $\Phi_s(t) = L_m \cdot i_f(t)$, on peut dire que les deux grandeurs complexes associées sont en phase. En considérant la relation temporelle entre la tension induite $e_f(t)$ et le flux rotorique Φ_r : $e_f(t) = \frac{d\Phi_r(t)}{dt}$, on peut dire que Φ_r est en quadrature arrière sur $\underline{E}_f = j \cdot \omega_s \cdot \Phi_r$, avec ω_s pulsation des grandeurs électriques. On obtient le diagramme de Fresnel suivant :



Question 17 : bilan de puissance active sur le dipôle associé à $e_f(t)$, $P_{em} = C_{em} \cdot \Omega_m = 3 \cdot E_{f\text{EFF}} \cdot I_{f\text{EFF}} \cdot \cos(\Psi)$ avec $E_{f\text{EFF}} = k_{fe} \cdot \Omega_m$. On obtient la relation $C_{em} = 3 \cdot k_{fe} \cdot I_{f\text{EFF}} \cdot \cos(\Psi)$. Pour un courant efficace donné le couple est optimum pour $\cos(\Psi) = 1$, $\Psi = 0$, dans ce cas de figure Φ_s et Φ_r sont en quadrature.

Question 18 : soit $\omega_s = p \cdot \Omega_m$ la pulsation des courants au stator. Si l'autopilotage est actif \underline{E}_f et \underline{I}_f sont en phase, la construction de Fresnel associée à la relation complexe $\underline{V}_f = \underline{E}_f + R_m \cdot \underline{I}_f + j \cdot L_m \cdot \omega_s \cdot \underline{I}_f$ est constituée de deux vecteurs orthogonaux, l'un associé à $\underline{E}_f + R_m \cdot \underline{I}_f$, l'autre associé à $j \cdot L_m \cdot \omega_s \cdot \underline{I}_f$. On obtient le diagramme de Fresnel suivant :



Question 19 : en régime permanent pour une machine sans perte mécanique :
 $C_{em} = 3 \cdot k_{fe} \cdot I_{fEFF} = C_r = K_{FV} \cdot \Omega_m \Rightarrow \Omega_m = \frac{3 \cdot k_{fe} \cdot I_{fEFF}}{K_{FV}} = \frac{3 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 2,8}{172 \cdot 10^{-6}} = 586 \text{ rd/s}$
 $C_{em} = K_{FV} \cdot \Omega_m = 172 \cdot 10^{-6} \cdot 586 = 100 \text{ mNm} = 0.1 \text{ Nm}$.

Question 20 : on exploite les relations : $E_f = k_{fe} \cdot \Omega_m$ et $\omega_s = p \cdot \Omega_m$ avec $p = 1$ (cf nombre de paires de pôles dans la notice constructeur). Expression de la valeur efficace de la tension : $V_{fEFF} = \sqrt{(k_{fe} \cdot \Omega_m + R_m \cdot I_{fEFF})^2 + (L_m \cdot p \cdot \Omega_m \cdot I_{fEFF})^2}$
 Application numérique : $V_{fEFF} = \sqrt{(12 \cdot 10^{-3} \cdot 586 + 0,4 \cdot 2,8)^2 + (0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 586 \cdot 2,8)^2} = 8,16 \text{ V}$

Partie D. Élaboration d'un modèle de simulation de l'onduleur triphasé

Question 21 : $v_{iN} = f_{iu} \cdot U_c / 2 - f_{il} \cdot U_c / 2 = f_{iu} \cdot U_c / 2 - (1 - f_{iu}) \cdot U_c / 2 = f_{iu} \cdot U_c - U_c / 2$
Question 22 : $u_{1-2} = v_{1N} - v_{2N} = (f_{1u} - f_{2u}) \cdot U_c$. En changeant les indices on obtient les expressions : $u_{2-3} = v_{2N} - v_{3N} = (f_{2u} - f_{3u}) \cdot U_c$ et $u_{3-1} = v_{3N} - v_{1N} = (f_{3u} - f_{1u}) \cdot U_c$.
Question 23 : pour un système de tensions triphasées équilibrées on peut écrire la relation $v_1 = (1/3) \cdot (u_{1-2} - u_{3-1}) = (U_c/3) \cdot (2 \cdot f_{1u} - f_{2u} - f_{3u})$. En changeant les indices on obtient les expressions : $v_2 = (U_c/3) \cdot (2 \cdot f_{2u} - f_{3u} - f_{1u})$ et $v_3 = (U_c/3) \cdot (2 \cdot f_{3u} - f_{1u} - f_{2u})$.

Partie E. Étude analytique de la boucle de contrôle de courant et analyse critique du modèle de simulation

Question 24 : soit $BO(p)$ la transmittance en boucle ouverte :

$$BO(p) = K_p \cdot \left(\frac{1 + \tau_i \cdot p}{\tau_i \cdot p} \right) \cdot H_{ond} \cdot \frac{1}{R_m \cdot (1 + \frac{L_m}{R_m} \cdot p)}$$

Le pôle non nul est $p = -R_m/L_m$, pour annuler l'effet de cette composante du 1er ordre il faut $\tau_i = L_m/R_m$. $\tau_i = 0,17 \cdot 10^{-3} / 0,4 = 425 \mu\text{s}$

On obtient : $BO(p) = \frac{K_p \cdot H_{ond}}{\tau_i \cdot R_m \cdot p} = \frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p}$

Question 25 : on considère la transmittance en boucle fermée : $BF(p) = \frac{I_f(p)}{I_{cf}(p)} = \frac{\frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p}}{1 + \frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p}} =$

$\frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p + K_p \cdot H_{ond}} = \frac{1}{1 + \frac{L_m}{K_p \cdot H_{ond}} \cdot p}$. C'est un passe bas du premier ordre, pour obtenir une erreur d'amplitude

inférieure à 5% à la vitesse nominale $\Omega_n = 958 \text{ rd/s}$ ($N_n = 9150 \text{ tr/mn}$), il faut $\|BF(j \cdot \omega = j \cdot \Omega_n)\| > 0,95$. Il faut résoudre :

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{L_m \cdot \Omega_n}{K_p \cdot H_{ond}})^2}} > 0,95 \Rightarrow \frac{L_m \cdot \Omega_n}{K_p \cdot H_{ond}} < 0,329 \Rightarrow K_p > \frac{L_m \cdot \Omega_n}{0,329 \cdot H_{ond}} = \frac{0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 958}{0,329 \cdot 2,4} = 0,206$$

Question 26 : l'écart de phase entre courant et consigne au régime nominal est égal à :

$$\text{Argument}(BF(j \cdot \omega = j \cdot \Omega_n)) = -\tan^{-1} \left(\frac{L_m \cdot \Omega_n}{K_p \cdot H_{ond}} \right) = -\tan^{-1} \left(\frac{0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 958}{0,206 \cdot 2,4} \right)$$

Argument(BF(j · ω = j · Ω_n)) = -0,318 rd soit -18,23°

Question 27 : la réponse à la question 17 montre que l'écart de phase Ψ entre I_f(j · ω) et E_f(j · ω) intervient dans l'expression du couple C_{em}, le couple est maximum pour Ψ = 0. Dans la remarque qui précède la question, on dit que les grandeurs I_{cf}(j · ω) et E_f(j · ω) sont en phase, donc I_f(j · ω) est en retard sur E_f(j · ω) de Ψ = -18,23° (réponse question 26), le couple C_{em} est diminué du facteur cos(-18.23°) = 0,95 .

Question 28 : sur la figure n°22 l'amplitude de i₁(t) est supérieure à l'amplitude de i_{cons1}(t) alors qu'avec le modèle de la figure n°21 le rapport des amplitudes est de 0,95. Le retard de phase de i₁(t) par rapport à i_{cons1}(t) est bien supérieur à -18,23°. Les courbes de la figure n°22 ne sont pas compatibles avec les résultats des questions 25 et 26.

Question 29 : les résultats obtenus avec le modèle analytique de la figure n°21 sont trop différents des résultats de simulation du modèle Scilab/Xcos. L'influence de la f.e.m. induite e_f(t) ne peut être négligée dans l'étude de la boucle de courant.

Question 30 : la loi des mailles V_f(p) = (R_m+L_m·p)·I_f(p) +E_f(p) mise sous la forme

$$I_f(p) = \frac{1}{R_m + L_m \cdot p} \cdot (V_f(p) - E_f(p))$$

permet de justifier la modification du schéma fonctionnel de la figure n°36.

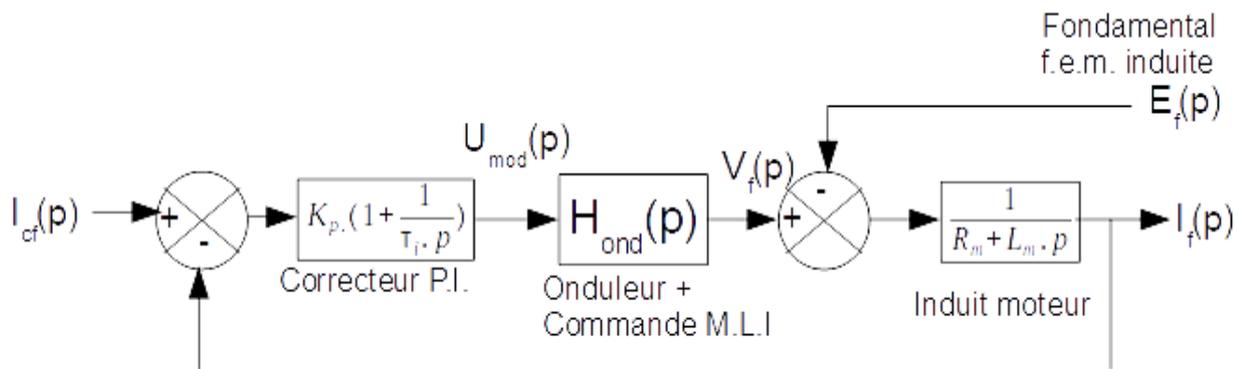


Figure n°36

En utilisant le théorème de superposition :

E_f(p) = 0 , on utilise les développements de la question 25 ⇒ I_f(p) = $\frac{1}{1 + \frac{L_m}{K_p \cdot H_{ond}} p}$ · I_{cf}(p) avec τ_n =

$$\frac{L_m}{K_p \cdot H_{ond}} = \frac{0,17 \cdot 10^{-3}}{0,206 \cdot 2,4} = 344 \mu s . H_1(p) = \frac{1}{1 + \frac{L_m}{K_p \cdot H_{ond}} p} = \frac{1}{1 + \tau_n \cdot p}$$

I_{cf}(p) = 0, la boucle ouverte BO(p) est identique à celle de la question 24 : BO(p) = $\frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p}$ ⇒ H₂(p) =

$$\frac{I_f(p)}{E_f(p)} = - \frac{\frac{1}{R_m \cdot (1 + \frac{L_m}{R_m} p)}}{1 + BO(p)} = - \frac{\frac{1}{R_m \cdot (1 + \frac{L_m}{R_m} p)}}{(1 + \frac{K_p \cdot H_{ond}}{L_m \cdot p})} = - \frac{\frac{L_m \cdot p}{R_m \cdot (1 + \frac{L_m}{R_m} p)}}{(L_m \cdot p + K_p \cdot H_{ond})} = - \frac{\tau_i \cdot p}{(L_m \cdot p + K_p \cdot H_{ond})} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{L_m}{R_m} p)} = - \frac{\frac{\tau_i \cdot p}{K_p \cdot H_{ond}}}{(1 + \frac{L_m}{K_p \cdot H_{ond}} p)}$$

$$\frac{1}{(1 + \frac{L_m}{R_m} p)} = - \frac{1}{R_m} \cdot \frac{\tau_n \cdot p}{(1 + \tau_n \cdot p) \cdot (1 + \tau_m \cdot p)} \text{ avec } \tau_m = \tau_l = L_m / R_m = 425 \mu s .$$

En superposant les deux expressions on obtient :

$$I_f(p) = \frac{1}{1 + \tau_n \cdot p} \cdot (I_c(p) - \frac{1}{R_m} \cdot \frac{\tau_n \cdot p}{1 + \tau_m \cdot p} \cdot E_f(p))$$

Question 31 : le nombre de paire de pôles p du moteur égale 1. La pulsation des courants de la figure n°22 est donc égale à la vitesse de rotation du moteur Ω_m = 2 · π / T_m avec les mesures sur la figure n°22 on obtient :

$$10ms \rightarrow 61 \text{ mm}, T_m \rightarrow 88 \text{ mm} \Rightarrow T_m = (88/61) \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 14,4 \text{ ms} \Rightarrow \Omega_m = 435 \text{ rd/s} .$$

Question 32 : sur la figure n°30 de DT4 on voit que le calculateur construit la consigne de courant avec l'expression : i_{cons1}(t) = I_{max} · cos(θ_e(t) + $\frac{\pi}{2}$) , le flux rotorique a pour expression Φ_r(t) = Φ_{rmax} · cos(θ_e(t)) donc e_f(t) = $\frac{d\Phi_r(t)}{dt} = \Phi_{rmax} \cdot \frac{d\theta_e(t)}{dt} \cdot (-\sin(\theta_e(t)))$, à vitesse constante e_f(t) = Φ_{rmax} · Ω_m · cos(θ_e(t) + $\frac{\pi}{2}$). On voit que e_f(t) et i_{cons1}(t) sont en phase, en complexe E_f(j · ω) et I_c(j · ω) sont en phase.

Question 33 : on prend comme origine des phases $E_r(j\cdot\omega)$ et $I_c(j\cdot\omega)$, ces deux grandeurs sont réelles $E_f = k_{fe} \cdot \Omega_m = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 435 = 5,22 \text{ V}$ et $I_c = 2,8 \text{ A}$, le calcul numérique complexe suivant est à réaliser :

$$I_f(j \cdot 435) = \frac{1}{1 + j \cdot 344 \cdot 10^{-6} \cdot 435} \cdot \left(2,8 - \frac{1}{0,4} \cdot \frac{j \cdot 344 \cdot 10^{-6} \cdot 435}{1 + j \cdot 425 \cdot 10^{-6} \cdot 435} \cdot 5,22 \right)$$

l'écart de phase entre $i_{1f}(t)$ et $i_{1cf}(t)$ est égal à : $\text{argument}(I_f(j \cdot 435)) = -46,1^\circ$

Sur la figure n°22 on relève les valeurs suivantes :

écart de phase entre $i_{1f}(t)$ et $i_{1cf}(t) \rightarrow 11 \text{ mm}$, $T_m \rightarrow 88 \text{ mm} \Rightarrow$ écart de phase = $-360 \cdot (11/88) = -45^\circ$, l'écart mesuré est cohérent avec l'écart de phase calculé.

Question 34 : la valeur efficace de $i_{1f}(t) = \text{module}(I_f(j \cdot 435)) = 3,06 \text{ A}$, ce qui correspond à une amplitude de courant de $3,06 \cdot \sqrt{2} = 4,33 \text{ A}$, cela correspond à l'amplitude de $i_1(t)$ sur la figure n°22. Les résultats obtenus avec le modèle analytique de la figure n°36 correspond aux résultats de simulation du modèle Scilab/Xcos des graphes de la figure n°22. Il faut prendre en compte la f.e.m. $E_r(p)$ pour obtenir des résultats analytiques cohérents avec le modèle de simulation.

Question 35 : on ne peut modifier que τ_n , réduire sa valeur pour augmenter la bande passante de la boucle de courant, réduction de l'écart de phase pour une vitesse de rotation donnée et le terme $\tau_n \cdot \Omega_m \cdot k_{fe} \cdot \Omega_m$ diminue réduisant l'influence de $E_r(p)$ sur la valeur de $I_f(p)$. $\tau_n = \frac{L_m}{K_p \cdot \text{Hond}}$, pour réduire τ_n il faut augmenter le facteur K_p de correcteur P.I. .

Question 36 : $i_1(t)$ est confondu avec sa consigne $i_{\text{cons}1}(t)$, le courant atteint bien l'amplitude de $2,8 \cdot \sqrt{2} = 3,96 \text{ A}$. La mesure de la période de $i_1(t)$ correspond à une vitesse de rotation $\Omega_m = 555 \text{ rd/s}$. Les résultats du calcul analytique de la partie C correspond aux résultats de simulation du modèle Scilab/Xcos. La modélisation de la boucle de contrôle de courant est validée.

$15 \text{ ms} \rightarrow 61 \text{ mm}$, $T_m \rightarrow 45 \text{ mm} \Rightarrow T_m = (45/61) \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 11,07 \text{ ms} \Rightarrow \Omega_m = 568 \text{ rd/s}$.

Partie F. Modification et exploitation d'un script pour calculer la position du flux statorique et valider la quadrature des flux

Question 37 : voir les portions de script ci-dessous :

Version Python 3 :

```
for i in range(nrow):
# Partie à modifier : Le corps de la boucle for est constitué de toutes les
instructions
# respectant la même indentation, ici une tabulation
    id = i1[i]-0.5*(i2[i]+i3[i])
    iq = math.sqrt(3)/2*(i2[i]-i3[i])
    tetaPhis[i] = math.atan2(iq, id)*180/math.pi
```

Version Scilab :

```
for i=1:nLig;
// Partie à modifier : Le corps de la boucle "for" est constitué de
toutes les instructions
// comprises entre les deux lignes débutant par les mots clés "for" et
"end"
    id = i1(i)-0.5*(i2(i)+i3(i))
    iq= sqrt(3)/2*(i2(i)-i3(i))
    tetaPhis(i) = atan(iq, id)*180/%pi
end;
```

Question 39 : voir la ligne de script à rajouter ci dessous dans la boucle, ligne en rouge :

Version Python 3 :

```
for i in range(nrow):
# Partie à modifier : Le corps de la boucle for est constitué de toutes les
```

```

instructions
# respectant la même indentation, ici une tabulation
    id = i1[i]-0.5*(i2[i]+i3[i])
    iq = math.sqrt(3)/2*(i2[i]-i3[i])
    tetaPhis[i] = math.atan2(iq, id)*180/math.pi
    tetaRotor2[i] = math.atan2(math.sin(tetaRotor1[i]),
math.cos(tetaRotor1[i]))*180/math.pi

```

Version Scilab :

```

for i=1:nLig;
    // Partie à modifier : Le corps de la boucle "for" est constitué de
toutes les instructions
    // comprises entre les deux lignes débutant par les mots clés "for" et
"end"
    id = i1(i)-0.5*(i2(i)+i3(i))
    iq= sqrt(3)/2*(i2(i)-i3(i))
    tetaPhis(i) = atan(iq, id)*180/%pi
    tetaRotor(i) = atan(sin(tetaRotor(i)),cos(tetaRotor(i)))*180/%pi
end;

```

En analysant les graphes de la figure n°28, on voit que la courbe bleue (position du flux statorique) est obtenue en réalisant une translation verticale de 90° de la courbe verte (position du rotor), dans l'intervalle [-180°, +180°]. La position du rotor et du flux statorique sont bien décalées de 90°. Le mode autopiloté est validé.

Partie G. Étude de la gestion de la position des articulations

Question 40 : dans le DT on trouve l'instruction BLFB, le choix « other » permet de fonctionner avec un encodeur. Il y a les contrôleurs « 1 » et « 2 » à paramétrer :

```

Setconfig(_BLFB,1,0)
Setconfig(_BLFB,2,0)

```

Question 41 : position rotation selon X = somme des deux compteurs $C_{\text{ép}_x} = \frac{C_{\text{ép}1} + C_{\text{ép}2}}{2}$

Position rotation selon Y = différence entre les deux = $C_{\text{ép}1} - C_{\text{ép}2}$

Question 42 :

- Lire la valeur de la tension d'alimentation mesurée (VBatt)
- Comparer cette tension avec la valeur minimale
- Si la valeur mesurée est inférieure au minimum requis, alors sauver C1 et C2
- (Sinon ne rien faire)
- Suite du programme...

On acceptera un algorithme correctement réalisé.

Question 43 :

```

Result = Getvalue(_Valim,2) // Valim = variable, 2 = n° du paramètre correspondant à Vbatt
If Valim < Vmini Then
Setconfig(_EE,1,Cép1)      // adresse 0 non utilisable, première adresse = 1. Sauvegarde
Setconfig(_EE,3,Cép2)      // épisodique, possible en Flash (pas de batterie). Adresse 3 car
End If                      // mots de 32 bits
...

```

Question 44 : demande d'arrêt d'urgence, instruction EX, index 0x200C, sub index 00

Trame d'une commande :

| Header | DLC | Payload | | | | | |
|----------|-----|----------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | Byte0 | | | Byte1-2 | Byte 3 | Bytes4-7 |
| | | bits 4-7 | bits2-3 | bits0-1 | | | |
| 0x600+nd | 8 | css | n | xx | index | subindex | data |

Header = 0x600+node destination = 0x602

DLC = longueur = 8 octets

Css = 2 pour une commande (4 = requête)

N = nombre d'octet de données non utilisés = 3 car data = W8 = 1 octet

Xx = non utilisés.

Index = 0x200C

Sub index 0

Syntax Scripting: setcommand(_EX, 1)
setcommand(_ESTOP, 1)

| Header | DLC | Payload | | | | | |
|---------|-----|----------|---------|---------|---------|-------------|-------------------------|
| | | Byte0 | | | Byte1-2 | Byte 3 | Bytes4-7 |
| | | bits 4-7 | bits2-3 | bits0-1 | | | |
| 0x600+2 | 8 | css 2 | n 3 | xx 0 | 0x200C | subindex 00 | data 0 ou 1 |
| 0x602 | 8 | 2C | | | 0C 20 | 00 | 01000000 ou 00000000 |

0 accepté.

Question 45 :

Acquittement de commande effectuée

| Header | DLC | Payload | | | | | |
|----------|-----|----------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | Byte0 | | | Byte1-2 | Byte 3 | Bytes4-7 |
| | | bits 4-7 | bits2-3 | bits0-1 | | | |
| 0x580+nd | 8 | css | n | xx | index | subindex | Data |

| Header | DLC | Payload | | | | | |
|---------|-----|----------|---------|---------|---------|-------------|-------------------------|
| | | Byte0 | | | Byte1-2 | Byte 3 | Bytes4-7 |
| | | bits 4-7 | bits2-3 | bits0-1 | | | |
| 0x580+2 | 8 | css 6 | n 3 | xx 0 | 0x200C | subindex 00 | data 0 ou 1 |
| 582 | 8 | 6C | | | 0C 20 | 00 | 01000000 ou 00000000 |

0 accepté.

Header 582= car nœud d'origine = 2

Css = 6 car opération réalisée avec succès

N=3, format d'origine repris (comme dans le DT)

Index subindex idem Q49.

Question 46 : nous avons bien une sauvegarde des positions du bras lors de la coupure d'alimentation (accidentelle ou mise hors tension).

Le nombre de cycles de 10000 sauvegardes dans la mémoire flash permet une assez longue durée de vie et évite l'intégration de batteries sur le bras manipulateur.

Il n'était pas donné de nombre de cycles allumages/extinction quotidien dans le sujet ni de durée de vie minimale dans le cahier des charges, par conséquent on pourra admettre l'argumentation inverse si elle est bien étayée.

B) Commentaires du jury

Partie A

Ces questions ont été traitées par une grande majorité des candidats.

- Q1 à Q3 : une mauvaise lecture du sujet a conduit une majorité des candidats à interpréter de manière incorrecte les données fournies et à mélanger les contraintes imposées par la charge à manipuler et les limites mécaniques des actionneurs et la chaîne de transmission. Par ailleurs, peu de candidats ont pris en compte le fait que l'effort était réparti sur deux moteurs. En conséquence, les trois premières questions ont engendré beaucoup de résultats faux.
- Q4 : la question Q4 a été traitée correctement.

Q5 : les candidats ont pour la plupart mal exploité ou compris les notions de rendement et de déclassement proposées pour la question Q5.

Partie B

Ces questions traitaient de la structure de la carte d'acquisition de position.

- Q6 : la question 6 concernait le dimensionnement d'une cellule RC du premier ordre. Beaucoup d'erreurs ont été dues à une mauvaise lecture du sujet et une confusion avec le système du deuxième ordre associé, mais également à une non maîtrise des notions pourtant simples de fréquence de coupure, pulsation de coupure et constante de temps.
- Q7 : l'exploitation demandée est souvent restée très vague, par confusion entre $F_{excitation}$ et f_0 .
- Q8, Q9 : il était nécessaire d'exploiter les documents techniques afin de trouver les valeurs des différentes tensions. Beaucoup de candidats confondent les grandeurs d'amplification et de gain.
- Q10 : une reprise du déphasage induit par le filtre complet était nécessaire afin de calculer les limites de déphasage de l'amplificateur.
- Q11 : les notions de module et d'argument de \underline{Z} ne sont pas toujours appliquées pour le calcul de la puissance active.
- Q12 : la figure 12 n'a quasiment jamais été exploitée pour le calcul du courant moyen, et les calculs d'intégrale ont rarement abouti.
- Q13 : cette question a été souvent bien traitée, mais avec des effets « tiroir » induits par les questions précédentes.
- Q14 : on note une mauvaise maîtrise de l'équation relative à la dissipation de puissance dans un semi-conducteur.

Q15 : peu de candidats ont répondu à cette question qui consistait en une reprise des différents points nécessaires pour adapter le système au milieu nucléaire.

Partie C

- Q16 à Q20 : l'objectif de ces 5 questions était de vérifier la maîtrise des outils de modélisation tels que équations temporelles et complexes, représentation graphique des grandeurs complexes pour calculer un point de fonctionnement et vérifier plus tard dans le sujet la cohérence des résultats du modèle numérique Scilab/Xcos. Les relations entre flux

et courant et variation de flux et tension induite sont très souvent incorrectes et très peu utilisées pour justifier les constructions de Fresnel. Pour les candidats ayant traité cette partie les résultats de la question 19 sont souvent corrects mais la question 20 pose plus de problèmes, module d'une grandeur complexe mal maîtrisé et pulsation des grandeurs électriques et vitesse du moteur synchrone trop peu souvent associées.

Partie D

- Q21 à Q23 : cette partie du sujet permettait d'élaborer le modèle Scilab/Xcos de l'onduleur triphasé. Les questions 21 et 22 ont été souvent correctement traitées mais pour la résolution de la question 23 la relation exprimant la tension simple d'un système triphasé en fonction des tensions composées n'a quasiment jamais été exploitée par les candidats.

Partie E

Cette partie concernait la boucle de contrôle des courants d'induit avec le dimensionnement des deux paramètres d'un correcteur P.I. . Une analyse critique des résultats, avec prise en compte ou non de la f.e.m. induite du moteur, s'appuyait sur la comparaison avec les résultats de simulation du modèle numérique Scilab/Xcos.

- Q24 : beaucoup de confusion entre boucle ouverte et boucle fermée, la boucle ouverte n'est pas la transmittance $I_r(p)/I_\alpha(p)$. La compensation du pôle se fait à l'aide de la composante intégrale. La composante proportionnelle (Q25) permettant de régler la bande passante de la boucle fermée. Cette méthodologie semblait mal connue pour beaucoup de candidats. Un certain nombre de candidats ont trouvé tout de même la constante d'intégration du correcteur P.I. .

- Q25 : très peu de candidats ont abouti à l'étude d'une transmittance en boucle fermée du premier ordre en régime sinusoïdal permanent comme le précisait l'énoncé. Pourtant par la suite, le candidat disposait avec l'expression de $I_r(p)$ de la question 30 de ce modèle d'étude pour pouvoir rebondir. La simplification des expressions liée au choix de la constante d'intégration du correcteur égale au pôle non nul de la boucle ouverte (Q24) a été très peu utilisée. Les candidats se sont souvent lancés dans une complexité de calcul inutile et jamais demandée dans une épreuve de 4 heures. Au niveau du calcul des erreurs d'amplitude et de phase du courant asservi, une lecture trop rapide du sujet amenait à les confondre avec l'erreur statique. Le jury souhaite rappeler que l'erreur statique correspond à une erreur en régime permanent de grandeurs continues (exemple : réponse à un échelon), par contre dans ce cas précis, les grandeurs en régime permanent étaient de type sinusoïdal. Le calcul des gains et phases et les erreurs correspondantes doivent donc être effectuées pour la fréquence du signal considéré.

- Q26 : pour les candidats disposant de la transmittance en boucle fermée du premier ordre cette question ne posait pas de problème.

- Q27 : très peu de candidats ont quantifié l'erreur sur la valeur du couple due à l'écart de phase identifié à la question précédente.

- Q28 à Q29 : pas de traitement cohérent de ces questions sans valeur numérique correcte du déphasage en réponse aux questions 25 et 26 mais il était possible de mettre en évidence, sans calcul, l'incohérence sur l'amplitude des courants et d'invalider la non prise en compte de la f.e.m. induite dans le modèle analytique.

- Q30 : peu de candidats exploitent le modèle R.L.E. du moteur synchrone pour exprimer

$I_f(p)$ en fonction de $V_f(p)$ et $E_f(p)$ afin de justifier les modifications du diagramme de la boucle d'asservissement. Quand la question est traitée, si l'utilisation du théorème de superposition est correctement posée, beaucoup de candidats se lancent dans des calculs complexes très éloignés des résultats attendus.

- Q31 : cette question ne posait pas de problème aux candidats maîtrisant le fonctionnement du moteur synchrone.
- Q32 : question très peu traitée qui s'appuyait sur une lecture détaillée de la commande d'autopilotage de la figure n°30 du document DT4 et de connaissances classiques sur le fonctionnement du moteur synchrone.
- Q33 à Q34 : la question était totalement indépendante et s'appuyait sur l'utilisation de l'expression de la question 30 et de l'identification de trois valeurs numériques E_f , I_f et \square_m mais les calculs numériques sur des expressions à valeurs complexes ne sont pas maîtrisés. Une utilisation plus pointue des calculatrices scientifiques facilite la résolution de ce type de calculs. Ces valeurs numériques étaient indispensables à l'étude critique des résultats du modèle Scilab/Xcos.
- Q35 à Q36 : très peu de candidats ont abordé cette question où il fallait justifier de l'action du coefficient proportionnel du correcteur sur la bande passante de la boucle fermée et sur l'influence de la f.e.m. induite sur l'amplitude du courant, les réponses à la question 33 étaient indispensables. L'analyse des résultats de la simulation Scilab/Xcos a rarement été pertinente et peu de comparaison avec le résultat de la vitesse obtenue à la question 19.

Partie F

Cette partie avait pour objectif de tester les capacités en traitements numériques des candidats pour retrouver une grandeur physique utile, ici la position angulaire du flux statorique, à partir de signaux mesurés ou de résultats de simulation, ici les trois courants d'induit. Aucune connaissance approfondie des langages proposés était nécessaire, des connaissances de trigonométrie et d'algèbre linéaire étaient à exploiter. Étaient évalués, la capacité d'extraire des informations des aides disponibles dans les environnements de développement ainsi que des commentaires présents dans les scripts proposés.

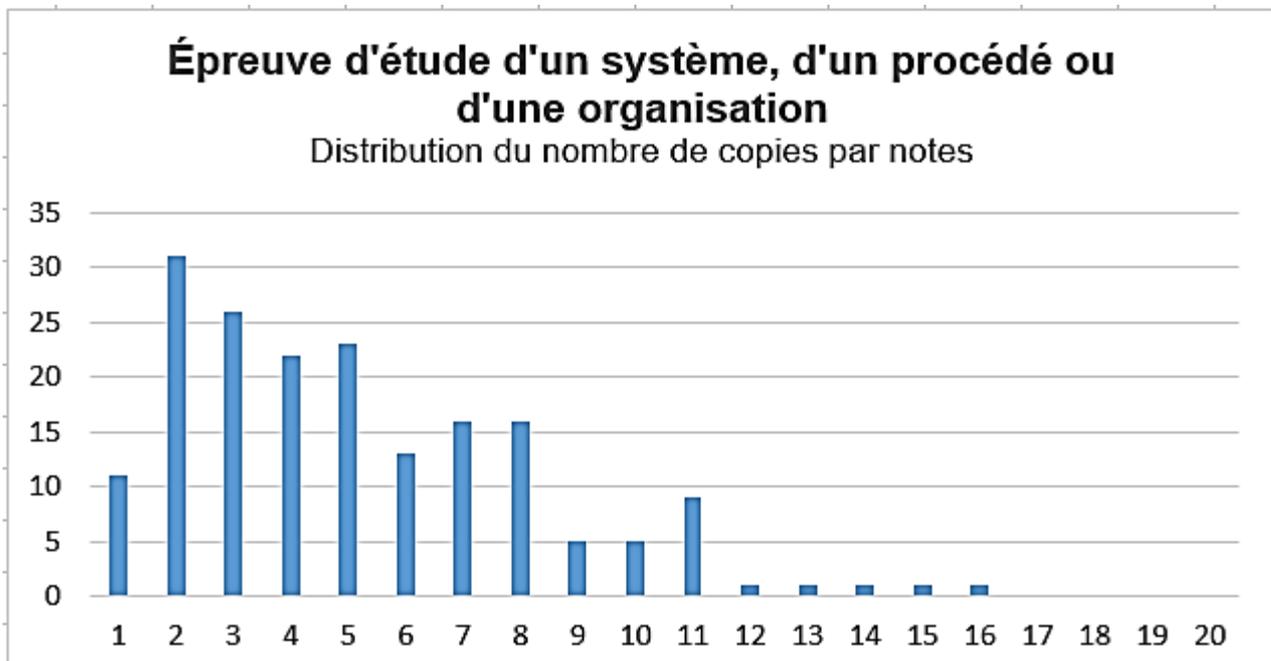
Q37 à Q38 : les deux relations linéaires des courants en quadrature i_d et i_q sont rarement exprimées et les méthodes associées à la racine carré ou aux fonctions sinus/cosinus peu utilisées. Le choix entre les deux fonctions arctangente, deux quadrants ou quatre quadrants, est très peu traité, cette remarque s'applique aussi à la question Q38. Et pour la validation de la quadrature des deux champs magnétiques le jury n'a constaté que très peu d'analyse de la figure n°28 pour mettre en évidence la translation verticale de 90° des deux courbes de position.

Partie G

Cette partie concernait la gestion (calcul et sauvegarde) des positions des articulations en cas de coupure d'alimentation. Elle ne comportait aucune difficulté mathématique mais nécessitait une bonne analyse des documents techniques fournis.

Ces questions ont été traitées par une partie des candidats mais une mauvaise lecture des ressources a conduit à de nombreux résultats erronés.

- Q39 : il s'agissait d'exploiter la commande BLFB avec les valeurs numériques des paramètres correspondant à l'application demandée. Un certain nombre de candidats s'est contenté de recopier la commande dans sa forme brute.
- Q40 : la question a souvent été mal comprise, ce qui a amené beaucoup de candidats à faire des calculs inutiles.
- Q41, Q42 : l'algorithme a été assez bien traité, soit sous forme littérale, soit sous forme graphique. On retrouve les mêmes problèmes qu'à la question Q39 pour le passage aux lignes de code.
- Q43 et Q44 : une bonne étude des documents fournis a permis à certains candidats de réussir ces questions.
- Q45 : cette question devait amener les candidats à prendre du recul et faire une analyse critique de la solution retenue, en particulier sur les moyens techniques utilisés pour la sauvegarde (mémoire flash ou batteries). Peu d'entre eux l'ont fait.



La moyenne générale obtenue par les candidats admissibles est de 8,96/20