



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

Rapport du jury

SESSION 2025

Concours : AGRÉGATION INTERNE

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie électrique

Rapport de jury présenté par : Pascale COSTA, présidente du jury
Inspectrice générale de l'éducation, du sport et de la recherche

Sommaire

Avant-propos	3
Remerciements	4
Résultats statistiques.....	5
Épreuve d'admissibilité d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique	6
A. Présentation de l'épreuve	6
B. Sujet	6
C. Éléments de correction	7
D. Commentaires du jury	18
E. Résultats	22
Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	23
A. Présentation de l'épreuve	23
B. Sujet	23
C. Éléments de correction	24
D. Commentaires du jury	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	43
C. Résultats	45
Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel	46
A. Présentation de l'épreuve	46
B. Commentaires du jury	46
C. Résultats	50
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République.....	51

Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier les candidats capables d'enseigner les sciences industrielles de l'ingénieur (SII) et notamment l'ingénierie électrique (IE) à un haut niveau de compétences scientifiques, technologiques et pédagogiques. Les épreuves proposées aux candidats permettent de révéler leur potentiel d'adaptabilité, leur capacité à faire évoluer leurs pratiques pédagogiques et à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution.

Les épreuves sont organisées de façon complémentaire afin de bien évaluer l'ensemble des compétences attendues d'un professeur agrégé. Les coefficients cumulés, qui sont identiques pour les épreuves d'admissibilité et les épreuves d'admission, mettent en évidence la nécessité d'une bonne préparation de toutes les épreuves du concours. La complémentarité des épreuves et leurs différentes natures nécessitent une préparation spécifique, bien en amont des phases d'admissibilité et d'admission.

Pour l'option ingénierie électrique de ce concours interne, les candidats déterminent, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi deux : "systèmes d'information" ou "gestion de l'énergie".

Les épreuves contrôlent la capacité des candidats à former des élèves et de futurs professionnels du domaine de l'ingénierie électrique tout en garantissant une maîtrise satisfaisante de concepts scientifiques et technologiques plus transversaux. À ce titre, si le professeur agrégé doit être crédible lorsqu'il interagit dans un milieu professionnel de l'ingénierie électrique, pour lui permettre de travailler en lien avec des techniciens, des ingénieurs et des chercheurs, il doit également s'attacher à explorer des domaines connexes à sa discipline et relevant des sciences industrielles de l'ingénieur. L'épreuve d'admissibilité d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique a pour but de valider cette appétence. Le jury encourage vivement l'ensemble des candidats à prendre en compte cette exigence dans le cadre de la préparation à ce concours.

Il est également essentiel que les candidats prennent connaissance des programmes de formation dans lesquels ils peuvent être amenés à exercer.

Le jury attend des candidats, dans toutes les épreuves, une expression écrite et orale de qualité.

L'agrégation interne est un concours de recrutement de professeurs qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables. Le jury y est attentif et invite les candidats à respecter et à porter les valeurs de l'École de la République dans les circonstances de leur exercice professionnel de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Cette année, huit postes étaient offerts à l'agrégation interne SII option IE pour le public et deux postes pour le privé. Le nombre d'inscrits étaient de 274 publics et 34 privés, 150 candidats du public ont composé les deux épreuves d'admissibilité et 18 candidats du privé. Ces chiffres confirment l'attractivité du concours sur un vivier de candidats important. Il s'agit là d'un élément positif.

Le jury félicite les lauréats admis et encourage l'ensemble des candidats inscrits non admis à poursuivre leur préparation avec le plus grand sérieux, gage d'une prochaine réussite.

Le présent rapport participe à la préparation des candidats pour la session 2026 du concours. Les conseils prodigués constituent une aide précieuse et le jury encourage vivement les candidats à les prendre en compte dans le cadre d'une préparation soutenue et continue.

Remerciements

Le lycée Edouard Branly de Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2025. Les membres du jury tiennent à remercier la proviseure du lycée, son directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques, 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.

Résultats statistiques

Public

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux épreuves d'admission	Admis
2023	6	307	174	18	16	6
2024	6	298	174	18	15	6 + 2*
2025	8	274	150	19	15	8

* 2 candidas ont été admis en liste complémentaire

Privé

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux épreuves d'admission	Admis
2023	2	33	22	6	5	2
2024	2	31	17	6	5	2
2025	2	34	18	5	5	2

Statistiques des moyennes obtenues à l'admissibilité à la session 2025

	Public	Privé
Moyenne du premier candidat admissible	16,23	10,26
Moyenne du dernier candidat admissible	8,86	8,48

Statistiques des moyennes obtenues à l'admission à la session 2025

	Public	Privé
Moyenne du premier candidat admis	16,45	12,24
Moyenne du dernier candidat admis	10,02	10,80

Épreuve d'admissibilité d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale de l'épreuve : 5 heures
- Coefficient 2

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).

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : [Lien vers le sujet 2025](#).

Le support de cette épreuve concerne l'unité de méthanisation située à Val de Briey (54).



- Vue du site -

L'étude est décomposée en quatre parties indépendantes permettant de répondre à des problématiques techniques des sciences industrielles de l'ingénieur :

Partie 1 : Comment procéder à l'introduction des substrats solides dans le digesteur ?

Partie 2 : Comment déterminer la consommation énergétique du système de brassage du digesteur ?

Partie 3 : Comment réduire la part d'autoconsommation de biogaz dans les digesteurs ?

Partie 4 : Concevoir une séquence pédagogique à partir d'une problématique industrielle de production biogaz.

C. Éléments de correction

Partie 1 Comment procéder à l'introduction des substrats solides dans le digesteur ?

1.1 Analyse des intrants

Question 1 : DR1

Approvisionnement annuel de l'unité de méthanisation de Val de Briey										
Substrats		Répartition des substrats	Quantité de matière brute	Teneur en matière Sèche	Taux de matière Volatile	Taux de biogaz	Production de biogaz	Potentiel méthanogène (PBM)	Production de biométhane (sans autoconsommation)	Répartition de la production de CH ₄ par substrat
		%	[tMB/an]	[%MS]	[%MV]	[Nm ³ Biogaz / tMB]	[Nm ³ Biogaz]	[Nm ³ CH ₄ / tMV]	[Nm ³ CH ₄]	%
Effluents d'élevage	Effluents d'élevage solides (fumier de bovin et équin)	57%	17 476	24%	81%	78,0	1 363 144	219	744 016	50%
	Effluents d'élevage liquides (lisier, purin, eau de lavage et jus de silos)	16%	4 906	4%	49%	12,5	61 320	293	28 174	2%
Matières végétales agricoles	Ensilage de céréales, maïs et paille	12%	3 679	36%	94%	193,5	711 925	302	375 982	25%
	Cultures intermédiaires à vocation énergétique (ensilage de seigle, intercultures)	15%	4 599	27%	87%	123,5	567 977	314	339 216	23%
Bilan	Substrats solides	84%	25 754	26,3%	83,9%	102,6	2 643 045	247,8	1 459 214	98%
	Substrats liquides	16%	4 906	4,0%	49,0%	12,5	61 320	293,0	28 174	2%
	Substrats	100%	30 660	22,7%	78,3%	88,2	2 704 365	255,1	1 487 388	100%

Les substrats d'origine végétale représentent 27% de la matière entrante et 48% du méthane produit car ils ont une forte teneur en matière sèche, sont riches en matière organique et disposent d'un potentiel méthanogène élevé.

La teneur en matière sèche des substrats solides (26,3%) est supérieure à la teneur en matière sèche (20%) acceptée dans le procédé de transformation par « voie liquide en infiniment mélangé » d'où la nécessité d'un prétraitement permettant de diluer la matière sèche avec une recirculation du digestat.

Question 2 :

D'après le tableau sur le DR1, 2 704 365 Nm³ Biogaz sont produits annuellement pour une production potentielle de 1 487 415 Nm³CH₄ (biométhane) soit un rapport de 0,55 Nm³Biogaz/Nm³CH₄.

Injection de biométhane sur le réseau de gaz = $\frac{2704365 \times 0,9 \times 0,55}{365 \times 24} = 152,8 \text{ Nm}^3\text{CH}_4 \cdot \text{h}^{-1}$

1.2 Introduction des substrats solides

Question 3 :

D'après le DR1, l'approvisionnement annuel des substrats solides est de 25 754 tonnes soit une ration quotidienne de 70,56 tonnes de matières brutes correspondant à un volume de 100,8 m³. Avec un volume de chargement de 103 m³, le modèle V100/400 permet un seul chargement quotidien.

1.3 Prétraitement des intrants solides

Question 4 :

Le temps de fonctionnement de la pompe de transfert pour la recirculation du digestat dans le digesteur n°1 est de 21 min sur un cycle de 58 min soit 36,2% du temps de cycle.

La pompe de transfert fonctionnant 55,4% du temps par jour, le temps de fonctionnement dédié à la recirculation du digestat dans le digesteur n°1 est égal à 55,4% x 36,2% x 24h = 20% x 24h = 4h 48min par jour (ou 4,8 h/j)

La pompe de l'alimentateur Prémix fonctionne pour les apports successifs dans les deux digesteurs selon le cycle de transfert. Le temps de fonctionnement de la pompe du Prémix dédié à l'apport dans le digesteur n°1 correspond à la moitié du temps de fonctionnement de la pompe soit $(40\% / 2) \times 24h = 20\% \times 24h = 4h 48min$ par jour.

Les deux pompes fonctionnant simultanément pour l'apport de la ration dans le digesteur n°1, il est donc normal qu'elles aient le même temps de fonctionnement.

Question 5 :

Calcul du débit Q_{v1} :

$$\text{Ration quotidienne de substrats solides par digesteur : } M_1 = \frac{84\% \times 84\,000}{2} = 35\,280 \text{ kg}$$

$$\text{Volume quotidien de substrats solides dans un digesteur : } V_1 = \frac{35\,280}{750} = 47 \text{ m}^3$$

$$Q_{v1} = \frac{47}{4,8} = 9,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Calcul du débit Q_{v2} :

$$\text{Volume quotidien de digestat recirculé dans un digesteur : } V_2 = 6,7\% \times 2090 = 140 \text{ m}^3$$

$$Q_{v2} = \frac{140}{4,8} = 29,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Calcul du débit Q_{v3} :

$$Q_{v3} = Q_{v1} + Q_{v2} = 39 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Question 6 :

$$\% MS = \frac{m_1 \times \% MS_1 + m_2 \times \% MS_2}{m_1 + m_2} = \frac{(42000 \times 0,84) \times 26,3\% + (2092 \times 0,067 \times 960) \times 8\%}{42000 \times 0,84 + (2092 \times 0,067 \times 960)} = 11,8\%$$

$$\rho_{mél} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{35\,280 + (960 \times 140)}{47 + 140} = 907 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Calcul de la température avec des capacités thermiques massiques équivalentes :

$$T_{mél} = \frac{m_1 \times T_1 + m_2 \times T_2}{m_1 + m_2} = \frac{35\,280 \times 34^\circ\text{C} + (140 \times 960) \times 40^\circ\text{C}}{35\,280 + (140 \times 960)} = 38,75^\circ\text{C}$$

Calcul de la température avec des capacités thermiques volumiques équivalentes :

$$T_{mél} = \frac{V_1 \times T_1 + V_2 \times T_2}{V_1 + V_2} = \frac{47 \times 34^\circ\text{C} + 140 \times 40^\circ\text{C}}{187} = 38,5^\circ\text{C}$$

Le digestat recirculé mélangé avec le substrat solide permet d'introduire dans les digesteurs une matière avec une teneur en matière sèche comprise entre 5 % et 20 % donc compatible avec le procédé « voie liquide en infiniment mélangé ».

1.4 Dimensionnement de la motopompe de l'alimentateur Prémix

Question 7 :

$$\text{Diamètre intérieur du tube : } D_{int} = 219,1 - (2 \times 3,76) = 211,58 \text{ mm}$$

$$\text{Section intérieure du tube : } S = \pi \times \frac{D_{int}^2}{4} = \pi \times \frac{(211,58 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,035,16 \text{ m}^2 = 351,6 \text{ cm}^2$$

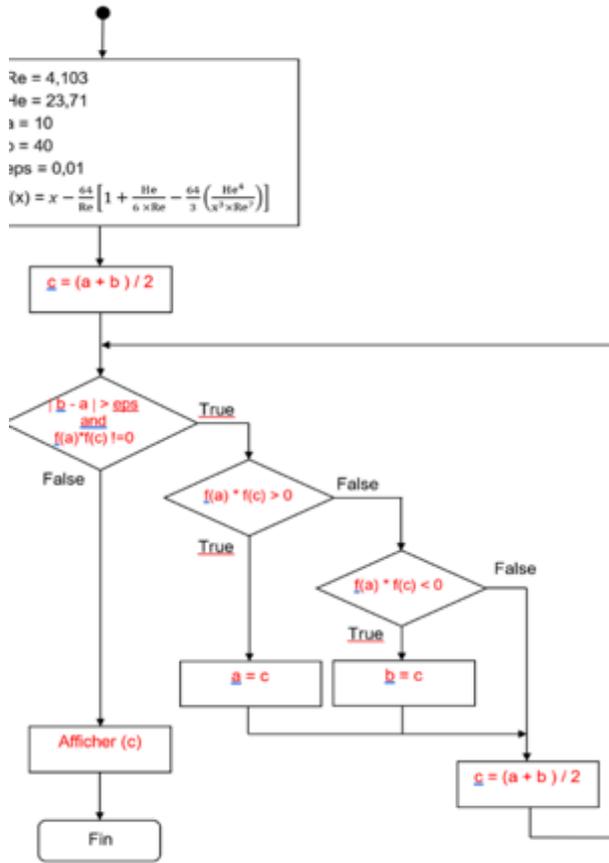
$$v_3 = \frac{Q_{v3}}{S} = \frac{39}{0,03516} = 0,308 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 8 :

$$\text{Viscosité apparente lue sur abaque : } \mu = 20 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\text{Contrainte de cisaillement lue sur abaque : } \tau = 230 \text{ Pa}$$

Question 9 : DR2A et DR2B



```

1 Re = 2,955
2 He = 23,35
3 def f(x):
4     return x-64/Re*(1+He/(6*Re)-64/3*(He**4/(Re**7*x**3)))
5 def dichotomie(f, a, b, eps):
6     while abs(b - a) > eps:
7         c = (a + b) / 2
8         if f(a) * f(c) <= 0:
9             b = c
10        else:
11            a = c
12    return (a + b) / 2
13 print(dichotomie(f, 20, 100, 0.01))

```

```

1 Re = 2,955
2 He = 23,35
3 a = 20
4 b = 100
5 eps = 0,01
6 def f(x):
7     return x-64/Re*(1+He/(6*Re)-64/3*(He**4/(Re**7*x**3)))
8 c = (a + b) / 2
9 while abs(b - a) > eps and f(a) * f(c) != 0:
10    if f(a) * f(c) > 0:
11        a = c
12    else:
13        if f(a) * f(c) < 0:
14            b = c
15    c = (a + b) / 2
16 print(c)

```

Question 10 :

Perte de charge linéique : $j = \Lambda \times \frac{\rho \times v^2}{2 \times D} = 49,6 \times \frac{907 \times 0,308^2}{2 \times 0,21158} = 10085 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$

Pertes de charge totale : $\Delta P_{\text{réseau}} = (j \cdot L) + \sum \left[\zeta \times \frac{\rho \times v^2}{2} \right]$

Avec : $L = 568 + 1946 + 1019 + 7535 + 6448 + 1531 + 1875 + 575 + 250 = 21,747 \text{ m}$

$\sum[\zeta] = 4 \times 0,3 + 2 \times 0,5 + 1,5 + 3 \times 1 = 6,7$

$\Delta P_{\text{réseau}} = \left(10085 \times 21,747 + 6,7 \times \frac{907 \times 0,308^2}{2} \right) = 219600 \text{ Pa}$

Question 11 :

$\Delta P_{\text{pompe}} = \Delta P_{\text{réseau}} + (P_2 - P_1) + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + \frac{\rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)}{2}$

$\Delta P_{\text{pompe}} = 219\,600 + (0 - 0) + 907 \times 9,81 \times (5,5 - (-1)) + 0$

$\Delta P_{\text{pompe}} = 277\,400 \text{ Pa} = 2,774 \text{ bars}$

Question 12 :

$$N_{\text{arbre_pompe}} = 180 \text{ tr.} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$P_{\text{arbre_pompe}} = 5\,500 \text{ W}$$

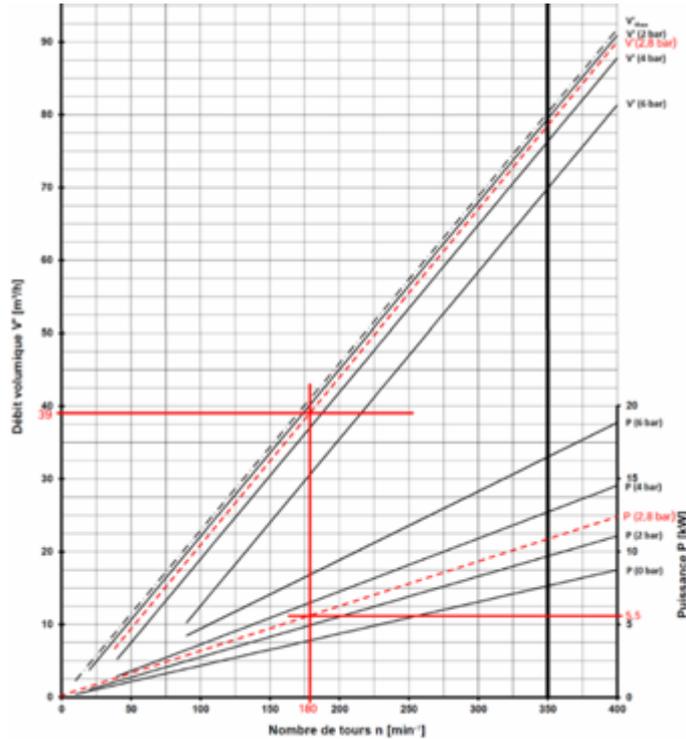
$$P_{\text{hydraulique}} = \Delta P_{\text{pompe}} [\text{Pa}] \times Q_{V3} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$P_{\text{hydraulique}} = 2,8 \cdot 10^5 \times \frac{39}{3600}$$

$$P_{\text{hydraulique}} = 3\,033 \text{ W}$$

Rendement de la pompe :

$$\eta_{\text{Pompe}} = \frac{3\,033}{5\,500} = 55\%$$



Question 13 :

Puissance nominale du moteur : $P_N = 15 \text{ kW}$

$$P_U = \frac{5500}{0,98} = 5\,612 \text{ W}$$

$$\text{Taux de charge du moteur} = \frac{5612}{15\,000} = 37,4\%$$

Rendement du moteur par lecture dans le tableau constructeur : $\eta_{1/2 \times P_N} = 0,923$

Rendement global de l'ensemble "moto-réducteur + pompe" :

$$\eta_{\text{Global}} = \eta_{1/2 \times P_N} \times \eta_{\text{Réducteur}} \times \eta_{\text{Pompe}} = 0,923 \times 0,98 \times 0,55 = 0,497$$

Question 14 : DR3

$$P_{\text{abs}} = \frac{P_{\text{hydraulique}}}{\eta_{\text{Global}}} = \frac{3033}{0,497} = 6\,103 \text{ W}$$

La pompe fonctionne 40% du temps.

$$\text{Énergie consommée} = 6103 \times 40\% \times 24 \times 365 = 21\,383 \text{ kWh}$$

La pompe de l'alimentateur Prémix est un petit consommateur car il représente seulement 1,55 % de l'énergie globale de l'installation.

Cette énergie n'est pas complètement perdue car, en plus de l'introduction de la matière solide par mélange au digestat recirculé, elle contribue au réchauffement de la matière en décomposition par son brassage (6,7 % du volume des digesteurs recirculé par jour).

Partie 2 Comment déterminer la consommation énergétique du système de brassage du digesteur ?

2.1 Dimensionnement de la motorisation

Question 15 :

$$\overrightarrow{V_{M \in 3/0}} = \left. \frac{d\overrightarrow{AM}}{dt} \right|_{R_0} = (a+y) \cdot \left. \frac{d\overrightarrow{y_1}}{dt} \right|_{R_0} = (a+y) \cdot \left(\left. \frac{d\overrightarrow{y_1}}{dt} \right|_{R_1} + \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{y_1} \right) = -\dot{\theta} \cdot (a+y) \cdot \overrightarrow{x_1}$$

Question 16 :

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = \overrightarrow{OM} \wedge \overrightarrow{dF_{digestat/plaque}}$$

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = y \cdot \overrightarrow{y_1} \wedge p(y) \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{dM_{O,digestat/plaque}} = -p(y) \cdot y \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

Question 17 :

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot (a+y)^2 \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (a^2 + y^2 + 2 \cdot a \cdot y) \cdot dy \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left[a^2 \cdot h + \frac{2 \cdot (h/2)^3}{3} \right] \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left[a^2 \cdot h + \frac{h^3}{12} \right] \cdot \overrightarrow{x_1}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot y \cdot (a+y)^2 \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (a^2 \cdot y + y^3 + 2 \cdot a \cdot y^2) \cdot dy \cdot \overrightarrow{z_0}$$

$$\overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \frac{a \cdot h^3}{6} \cdot \overrightarrow{z_0}$$

Question 18 :

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \overrightarrow{M_{O,digestat \rightarrow plaque}} + \overrightarrow{AO} \wedge \overrightarrow{F_{digestat \rightarrow plaque}}$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(\frac{-a \cdot h^3}{6} \cdot \overrightarrow{z_0} + a \cdot \overrightarrow{y_1} \wedge \left(a^2 \cdot h + \frac{h^3}{12} \right) \cdot \overrightarrow{x_1} \right)$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(\frac{-a \cdot h^3}{6} \cdot \overrightarrow{z_0} - \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{12} \right) \cdot \overrightarrow{z_0} \right)$$

$$\overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} = - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{4} \right) \cdot \overrightarrow{z_0}$$

Soit, pour les 4 plaques de l'arbre de brassage :

$$C_r = \left| 4 \cdot \overrightarrow{M_{A,digestat \rightarrow plaque}} \cdot \overrightarrow{z_0} \right| = 2 \cdot \rho \cdot C_x \cdot L \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \left(a^3 \cdot h + \frac{a \cdot h^3}{4} \right)$$

Question 19 :

On applique le théorème de l'énergie cinétique / théorème de l'énergie puissance à l'ensemble en mouvement noté Σ .

On nous donne l'inertie équivalente de l'ensemble en mouvement ramenée sur l'arbre de brassage.

D'où :
$$E_{c,\Sigma/Rg} = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \dot{\theta}^2$$

Calcul des puissances :

- Puissances intérieures

$P_{liaisons} = 0$ car on considère ici les liaisons parfaites

- Puissances extérieures

$P_{moteur} = C_e \cdot \dot{\theta}$ (prise en sortie du réducteur) avec $C_e = C_m \cdot \eta_r \cdot i_{eff}$

$P_{digestat/plaque} = -C_r \cdot \dot{\theta}$

En appliquant le TEC, on obtient : $J_{eq} \cdot \dot{\theta} \cdot \ddot{\theta} = C_e \cdot \dot{\theta} - C_r \cdot \dot{\theta}$

Donc, en simplifiant : $C_m = \frac{(J_{eq} \cdot \ddot{\theta} + C_r)}{\eta_r \times i_{eff}}$

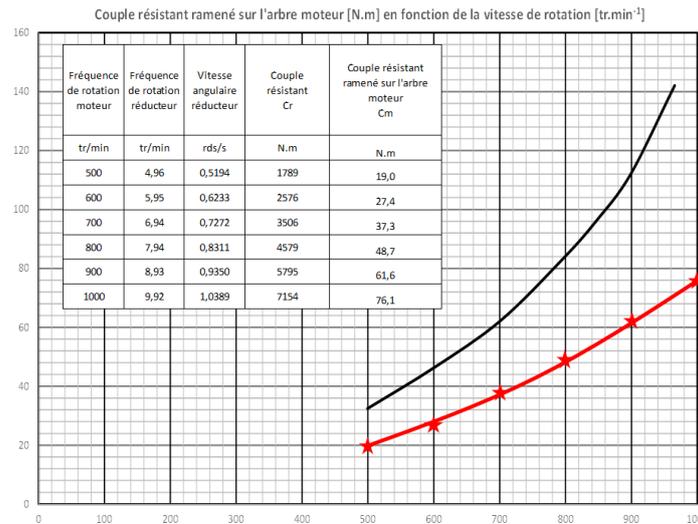
Question 20 : DR4

En se plaçant en régime permanent, on obtient : $C_m = \frac{C_r}{\eta_r \times i_{eff}}$

On calcule C_m pour différentes valeurs de $\dot{\theta}$ afin de comparer à la courbe expérimentale :

L'allure du couple moteur analytique similaire à celui du couple résistant mesuré ramené sur l'arbre moteur.

Les valeurs obtenues sont plus faibles. Cela peut s'expliquer par les différentes hypothèses effectuées lors cette étude (liaisons parfaites, pas de en compte de frottement visqueux, de prise en compte de la surface des en acier pour la force de trainée). dernière hypothèse étant la plus forte donnée la dimension des tubes en visibles sur le DT9.



est

de prise pas tubes Cette étant acier

Question 21 :

À la vitesse du moteur de 960 tr/min, le couple résistant ramené sur l'arbre du moteur est de 140 N.m pour une puissance utile de 14 074 W. Le moteur se trouve donc à la limite de sa puissance nominale (15 kW).

Le système de brassage ayant un profil de couple quadratique, la puissance évolue avec le cube de la vitesse. Tout dépassement du point de fonctionnement nominal se traduirait par une surcharge du moteur.

On peut supposer que le constructeur de l'installation limite volontairement la vitesse sachant que le couple résistant peut également augmenter selon la consistance de la matière brassée.

2.2 Bilan énergétique du système de brassage

Question 22 :

À 850 tr/min et 800 tr/min, le moteur ($P_N = 15\,000\text{ W}$) fonctionne autour de 50% de sa puissance nominale d'où un rendement proche 87% d'après le tableau constructeur.

$$\text{Puissance absorbée à 850 tr/min : } P_{\text{ABS}_850} = \frac{P_{U850}}{87\%} = \frac{8\,500}{87\%} = 9\,770\text{ W (taux de charge = 57\%)}$$

$$\text{Puissance absorbée à 800 tr/min : } P_{\text{ABS}_800} = \frac{P_{U800}}{87\%} = \frac{7\,000}{87\%} = 8\,046\text{ W (taux de charge = 47\%)}$$

$$\text{Puissance électrique horaire moyenne d'un agitateur = } \frac{P_{U_{\text{ABS}_{850}} \times 15} + P_{U_{\text{ABS}_{800}} \times 15}}{60} = 4\,454\text{ W}$$

$$\text{Puissance d'agitation = } \frac{4\,454 \times 2}{2\,090} = 4,26\text{ W} \cdot \text{m}^{-3} < 8\text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \rightarrow \text{la recommandation US-EPA est respectée}$$

Question 23 :

Consommation électrique annuelle d'un agitateur = $4\,454 \times 24 \times 365 = 39\,017\text{ kWh}$

Les quatre agitateurs disposés dans les deux digesteurs consomment $156\,000\text{ kWh}$ soit 11,3 % de l'énergie globale de l'installation.

Remarques complémentaires :

Cette énergie n'est pas perdue car elle contribue au réchauffement de la matière en décomposition par son brassage.

La puissance électrique absorbée par le moteur d'un agitateur à sa puissance nominale est de $16\,722\text{ W}$ (= $15\,000 / 0,897$)

En réduisant la vitesse de brassage de 15 à 20 %, la puissance électrique absorbée diminue de 42 % pour 850 tr/min ($N_{\text{arbre}} = 8,43\text{ tr/min}$) à 52 % pour 800 tr/min ($N_{\text{arbre}} = 7,94\text{ tr/min}$) et la puissance mécanique respectivement de 44 % à 53 %. Le variateur de vitesse permet d'une part de limiter la consommation d'énergie et d'autre part de réduire les contraintes mécaniques.

Partie 3 Comment réduire la part d'autoconsommation de biogaz dans les digesteurs ?

Question 24 :

$$R_{\text{THradier}} = \frac{e_{\text{béton}}}{S_{\text{radier}} \cdot \lambda_{\text{béton}}} + \frac{e_{\text{isolant}}}{S_{\text{radier}} \cdot \lambda_{\text{isolant}}}$$

$$R_{\text{THradier}} = \frac{0,15}{(\pi \times \frac{22^2}{4}) \times 1,4} + \frac{0,08}{(\pi \times \frac{22^2}{4}) \times 0,035} = 6,295 \cdot 10^{-3}\text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\phi_{\text{radier}} = \frac{d\theta}{R_{\text{THradier}}} = \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{sol}})}{R_{\text{THradier}}} = \frac{(40 - 8)}{6,295 \cdot 10^{-3}} = 5\,083\text{ W}$$

Question 25 :

$$\phi_{\text{parois}} = \frac{d\theta}{\sum r} = \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{ext}})}{\frac{\ln(\frac{x_2}{x_1})}{2\pi \times \lambda_{\text{béton}} \times h} + \frac{\ln(\frac{x_3}{x_2})}{2\pi \times \lambda_{\text{isolant}} \times h}} = 2\pi \times h \times \frac{(\theta_{\text{digestat}} - \theta_{\text{ext}})}{\frac{\ln(\frac{x_2}{x_1})}{\lambda_{\text{béton}}} + \frac{\ln(\frac{x_3}{x_2})}{\lambda_{\text{isolant}}}}$$

Avec : $x_1 = \frac{D_{\text{int}}}{2} = 11\text{ m}$ $x_2 = \frac{D_{\text{int}}}{2} + e_{\text{béton}} = 11,23\text{ m}$ $x_3 = x_2 + e_{\text{isolant}} = 11,33\text{ m}$

$$\phi_{\text{parois}} = 2\pi \times 6 \times \frac{(40 - (-15))}{\frac{\ln(\frac{11,23}{11})}{1,4} + \frac{\ln(\frac{11,33}{11,23})}{0,035}} = 7\,735\text{ W}$$

Question 26 :

$$\phi_{\text{matière}} = C_{m0} \times \Delta\theta \times Q_m = 3220 \times (40 - 38,5) \times 1,96 = 9\,467\text{ W par digesteur}$$

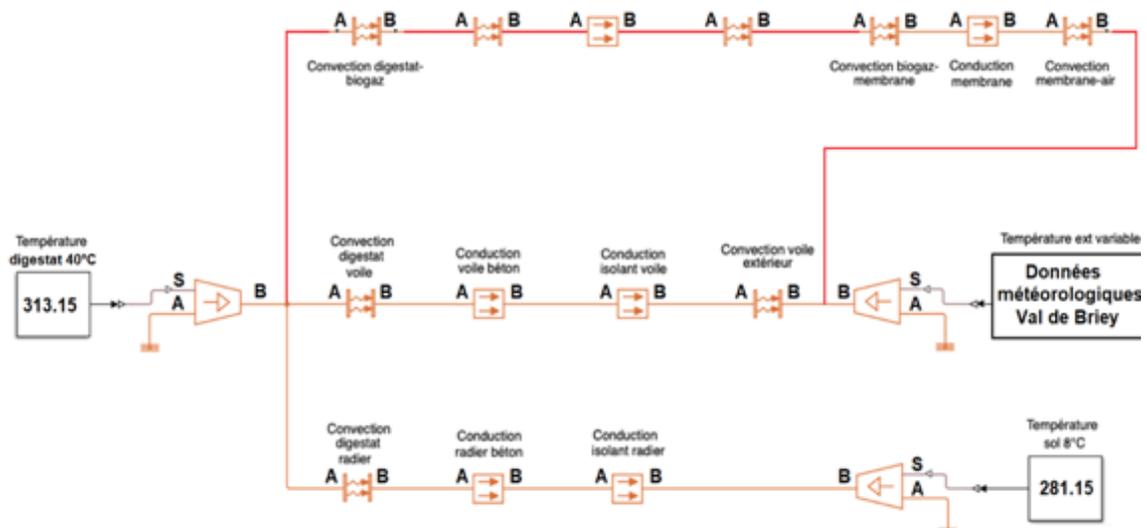
Question 27 :

Les courbes sont inversement symétriques car la puissance varie de manière inversement proportionnelle à la température extérieure.

Obtention du volume de biogaz autoconsommé :

1. Intégrer la puissance nécessaire par le temps pour obtenir la consommation d'énergie nécessaire au chauffage ($P \times t = \dots \text{ kWh}$),
2. Pondérer ce résultat par le rendement global de l'installation de chauffage des digesteurs ($R_g = 85 \%$) pour obtenir la consommation d'énergie du système de chauffage.
3. Convertir cette énergie du système de chauffage en Nm^3 à l'aide du PCI du Biogaz ($\text{PCI}_{\text{biogaz}} = 5,5 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^{-3}$) pour obtenir le volume de biogaz autoconsommé.

Question 28 :



Question 29 :

Volume de biogaz autoconsommé lu sur la courbe = $123\,000 \text{ Nm}^3$

Production annuelle de biogaz du site de méthanisation : $2\,704\,365 \text{ Nm}^3$

Proportion de biogaz autoconsommé = $\frac{123\,000}{2\,704\,365} = 4,5 \%$

Avec une autoconsommation de 4,5 %, l'exigence 1.3.4.1.1 fixant un « Objectif visé : 5 % d'autoconsommation du biogaz produit pour le chauffage du digesteur et du post-digesteur » est bien vérifiée.

Question 30 :

Calcul simplifié :

Efficacité énergétique du site = $(\text{Energie produite de biogaz} - \text{énergie perdue par autoconsommation} - \text{énergie électrique}) / \text{Energie produite de biogaz}$

Efficacité énergétique du site = $\frac{(2\,704\,365 - 123\,000) \times 5,5 - 1\,376\,109}{2\,704\,365 \times 5,5} = 86,2 \%$

Conclusion :

On observe une efficacité élevée pour un site de production d'énergie (en comparaison avec d'autres sites de production)

Calcul plus rigoureux (non attendu car des données non fournies) :

Efficacité énergétique du site = $\frac{\text{énergie valorisée du biométhane injecté} - \text{énergie électrique}}{\text{énergie produite de biogaz}}$

Avec :

Énergie valorisée du biométhane injecté = production de biogaz épurable X teneur de CH4 dans le biogaz X rendement épuratoire X PCI méthane / %CH4 dans le biométhane

Production de biogaz épurable = production de biogaz – biogaz autoconsommé – 4 % de biogaz détruit par torchère

$$= (2\,704\,365 - 123\,000) \times (1 - 4\%) = 2\,478\,110 \text{ N} \cdot \text{m}^3$$

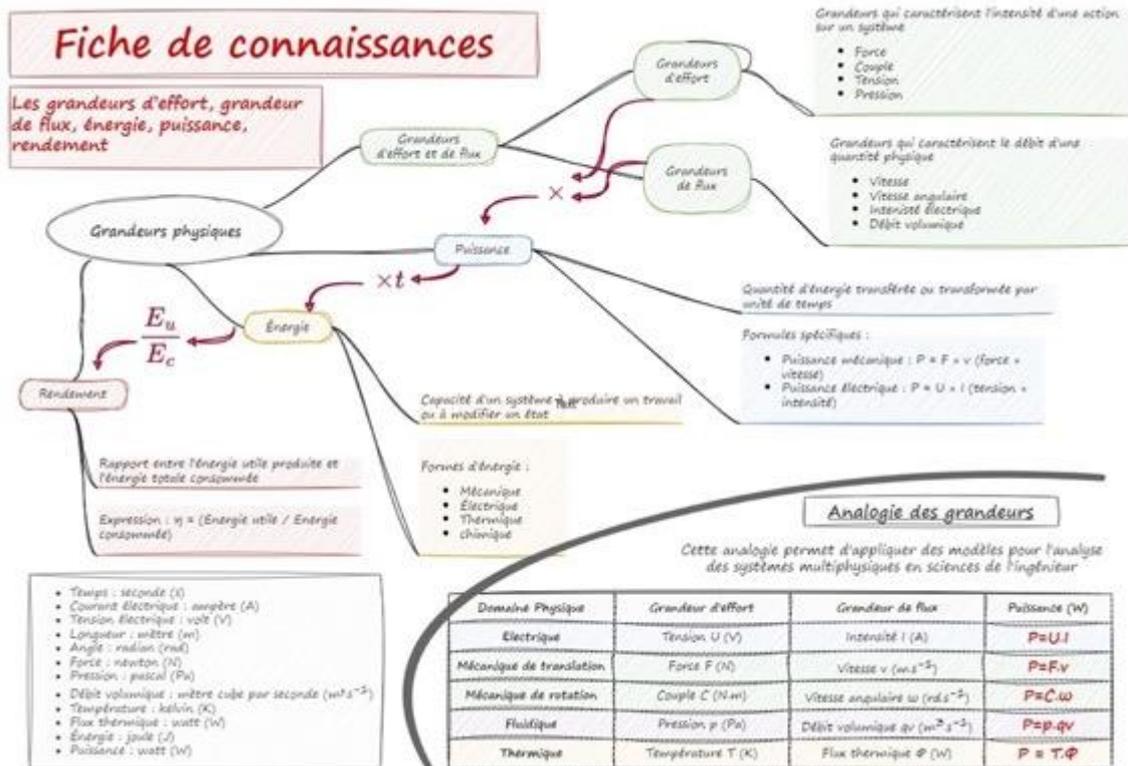
$$\text{Énergie valorisée du biométhane injecté} = \frac{2\,478\,110 \times 0,55 \times 99,2\% \times 9,96}{97,3\%} = 13\,840\,170 \text{ kWh PCI}$$

$$\text{Efficacité énergétique du site} = \frac{13\,840\,170 - 1\,376\,109}{2\,704\,365 \times 5,5} = 83,8\%$$

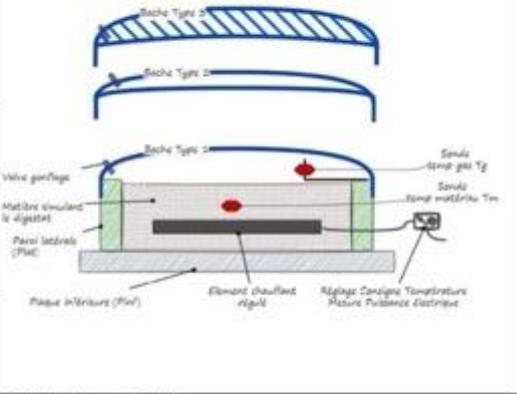
Partie 4 Concevoir une séquence pédagogique à partir d'une problématique industrielle de production biogaz

Question 31 :

Question 32 :



Question 33 :

<p>Identification du protocole Influence des caractéristiques de la bâche sur les performances thermiques du système</p>	<p>Schéma du dispositif expérimental</p> 	<p>Protocole expérimental</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Chauffer le matériau (équivalent digestat) à une température de 40°C 2. Stopper la chauffe 3. Mesurer les températures de gaz et matériau jusqu'à stabilisation 4. Effectuer le cycle pour chaque type de bâche.
<p>Problématique, Question scientifique Comment la résistance thermique de la bâche influe sur l'évolution des températures du gaz et du matériau ?</p>		
<p>Hypothèse Si la bâche est davantage isolante alors l'énergie consommée sera plus faible</p>		
<p>Paramètres variables Conductivité thermique bâche</p>		
<p>Paramètres contrôlés Température élément chauffant (Tc) Température extérieure</p>		
<p>Paramètres observés Temp gaz (Tg) Temp Matériau (Tm)</p>		
<p>Matériels Enceinte thermique Sondes de température Élément chauffant Différents types de bâche</p>	<p>Traitement des résultats Représenter les courbes de température (après conversion si nécessaire) des différentes bâches. Conclure sur l'hypothèse proposée</p>	

Question 34 :

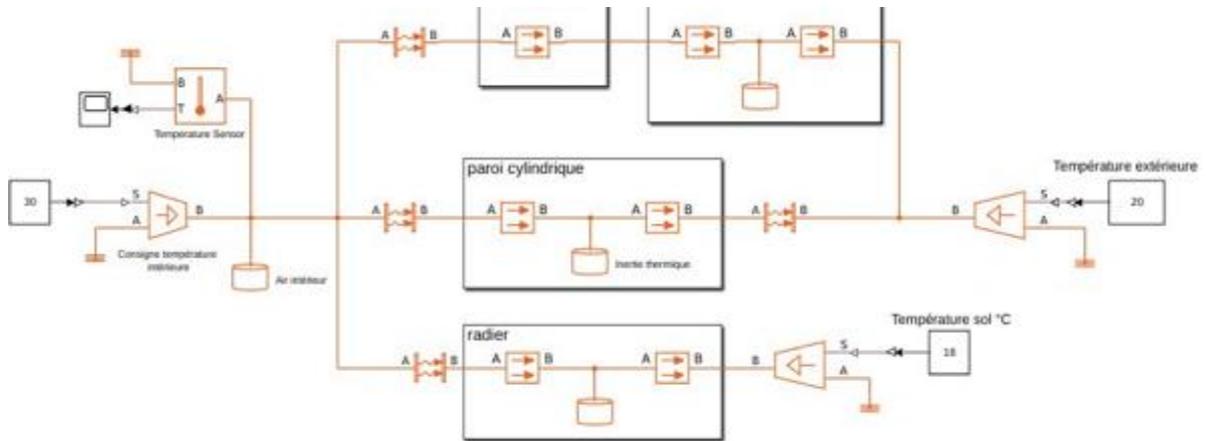
Compétences développées	Connaissances associées	Indicateurs (exemples)
Conduire des essais en toute sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni	Règle de raccordement des appareils de mesure et des capteurs	Les essais sont menés en toute sécurité en respectant le protocole.
Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	Gamme d'appareils de mesure et capteurs	Les appareils de mesure et capteurs sont choisis de manière pertinente au regard des grandeurs physiques à mesurer.
Identifier les erreurs de mesure		L'interprétation des résultats, prenant en compte les incertitudes, est cohérente et pertinente.
Rendre compte de résultats	Tableau, graphique, diaporama, carte mentale	<p>Les outils de représentation sont correctement décodés.</p> <p>La description des essais est compréhensible.</p> <p>Les résultats sont présentés et commentés de manière simple et rigoureuse.</p>

Question 35 :

Paramètres variables : Caractéristiques bâche

Paramètres contrôlés : Température éléments chauffant 40°C puis 0°C

Paramètres observés : température matériau (T_m) ; température gaz (T_g)



Méthodologie :

- modifier les paramètres internes et externes du modèle multiphysique afin qu'ils correspondent à l'expérimentation ;
- réaliser plusieurs expérimentation et simulation en faisant varier les paramètres souhaités ;
- comparer les résultats ;
- modifier le modèle multiphysique si besoin afin de réduire les écarts ;
- valider le modèle multiphysique ;
- modifier les paramètres du modèle multiphysique afin qu'ils correspondent au système réel ;
- réaliser plusieurs simulations ;
- analyser les résultats.

D. Commentaires du jury

L'étude est décomposée en quatre parties indépendantes permettant de répondre à des problématiques techniques des sciences industrielles de l'ingénieur :

Partie 1 : Comment procéder à l'introduction des substrats solides dans le digesteur ?

→ Problématiques transverses, d'ingénierie des constructions et d'ingénierie électrique

Partie 2 : Comment déterminer la consommation énergétique du système de brassage du digesteur ?

→ Problématiques d'ingénierie mécanique et d'ingénierie électrique

Partie 3 : Comment réduire la part d'autoconsommation de biogaz dans les digesteurs ?

→ Problématiques d'ingénierie des constructions

Partie 4 : Concevoir une séquence pédagogique à partir d'une problématique industrielle de production biogaz.

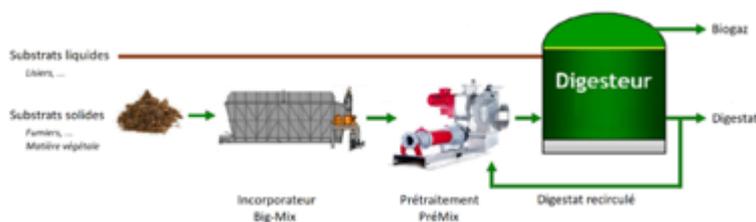
→ Partie pédagogique

Partie 1 : 14 questions

Cette partie a pour objectif de dimensionner les constituants et estimer la consommation énergétique du système mis en œuvre pour introduire la ration journalière des substrats solides dans les digesteurs.

Les différents points à traiter par les candidats sont :

- L'analyse des intrants ;
- L'introduction des substrats solides ;
- Le prétraitement des intrants solides ;
- Le dimensionnement de la pompe de l'alimentateur Prémix.



Remarques sur la partie 1 :

- Cette partie a été traitée par une grande majorité des candidats.
- Une lecture attentive du sujet était nécessaire pour bien appréhender le fonctionnement du procédé de méthanisation utilisé à Val de Briey.

Analyse des intrants :

- Le tableau d'approvisionnement annuel de l'unité de méthanisation a été complété par de nombreux candidats mais trop peu ont su analyser les données (potentiel méthanogène élevé des intrants solides, taux de matière sèche élevé par rapport au procédé « voie liquide en infiniment mélangé »)

Introduction des substrats solides :

- La majeure partie des candidats a réussi à calculer la ration quotidienne de substrats solides et choisir le modèle d'incorporateur BIG-Mix.

Prétraitement des intrants solides :

- La plupart des candidats a réussi à démontrer le temps de fonctionnement dédié à l'apport de la ration dans le digesteur 1 soit de la pompe de transfert, soit de la pompe Prémix mais rarement les deux.
- Malgré des calculs assez simples, une mauvaise prise en compte des données d'entrée a engendré de nombreuses erreurs de calcul des débits volumiques qv_1 , qv_2 et qv_3 au niveau de l'alimentateur Prémix. Le cumul des erreurs de calculs a rarement permis de conclure à la nécessité du prétraitement des intrants solides par recirculation du digestat vis-à-vis du procédé « voie liquide en infiniment mélangé ».

Dimensionnement de la pompe de l'alimentateur Prémix :

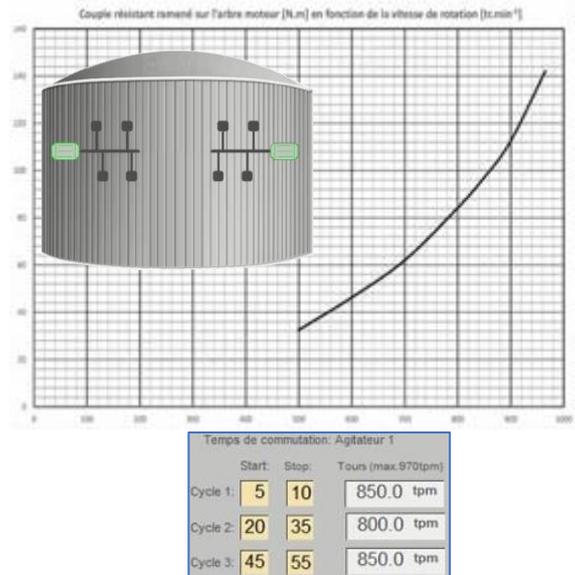
- Une grande partie des candidats a su compléter, au moins partiellement, la structure algorithmique de la fonction dichotomie pour la résolution de l'équation Buckingham-Reiner (coefficient de perte de charge). La résolution en langage Python a été très peu traitée.
- Très peu de candidats ont traité la question ou réussi les calculs de la perte de charge totale du réseau hydraulique et la pression nécessaire à la pompe. Les principales erreurs sont dues à une mauvaise prise en compte de la longueur du réseau hydraulique, des singularités et des hypothèses dans l'application de l'équation de Bernoulli.
- L'exploitation des abaques pour retrouver les caractéristiques mécaniques sur l'arbre de la pompe a été traitée et réussie par la plupart des candidats.
- Les calculs (puissance hydraulique, rendement de la pompe, taux de charge, rendement global) permettant d'aboutir à la consommation d'énergie électrique annuelle de la pompe de l'alimentateur Prémix n'ont malheureusement pas été concluants (plus de 80 % de questions non traitées ou de mauvaises réponses).

Partie 2 : 9 questions

Cette partie a pour objectif de procéder à la vérification du dimensionnement et d'estimer la consommation énergétique des agitateurs dans les digesteurs qui permettent d'homogénéiser la température et d'optimiser la production de biogaz.

Les différents points à traiter par les candidats sont :

- Le dimensionnement de la motorisation :
 - modélisation de l'effort et du moment de l'action mécanique du digestat exercé sur une plaque de l'arbre de brassage
 - expression du couple moteur
 - allure du couple moteur en régime permanent
- Le bilan énergétique du système de brassage :
 - puissance moyenne d'agitation absorbée
 - consommation électrique annuelle pour un agitateur



Remarques pour la partie 2 :

- 60 % des candidats n'ont pas traité cette partie ou bien ont mal répondu.

Dimensionnement de la motorisation de l'arbre de brassage :

- Très peu de candidats ont réussi cette sous-partie, très orientée « ingénierie mécanique », en raison des notions très théoriques (dérivée de vecteur, intégrales, changement de point d'un torseur) non-maîtrisées.
- La question 16 (expression du moment élémentaire) a été la mieux réussie par les candidats qui l'on traitée.

Bilan énergétique du système de brassage :

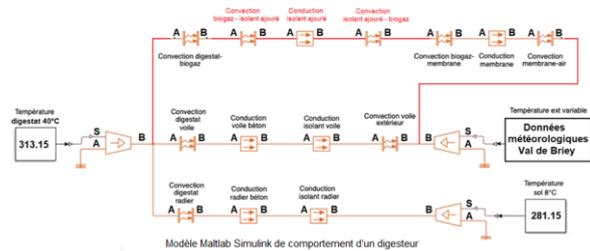
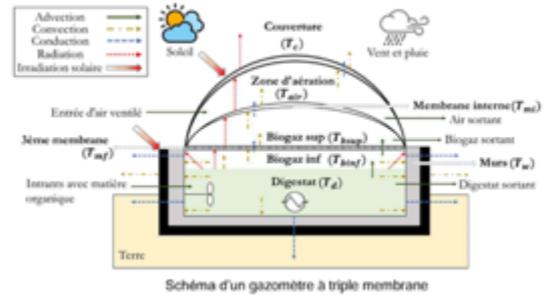
- Cette sous-partie a été davantage réussie par les candidats qui l'ont traitée.
- À la question 22, les candidats ont souvent calculé la puissance moyenne d'un agitateur sans tenir compte du rendement du moteur et/ou ont oublié de considérer les deux agitateurs par digesteur.

Partie 3 : 7 questions

L'objectif de cette partie est de réaliser le bilan thermique simplifié d'un digesteur afin d'en déduire, à l'aide d'un modèle multiphysique, la valeur d'autoconsommation de biogaz et d'estimer, au final, l'efficacité énergétique de l'installation.

Les différents points à traiter par les candidats sont :

- Déperditions thermiques par le radier et les parois d'un digesteur,
- Flux de chaleur pour réchauffer la matière organique introduite dans un digesteur,
- Prédétermination du volume de biogaz autoconsommé à partir du modèle multiphysique
- Intégration de l'isolant ajouré en partie supérieure des deux digesteurs dans le modèle Simscape (liens, blocs)
- Nouvelle proportion de biogaz autoconsommé avec l'ajout d'un isolant de 3 cm
- Efficacité énergétique du site de méthanisation



Remarques pour la partie 3 :

- La moitié des candidats a traité cette partie au moins partiellement. Parmi eux, la plupart n'a traité qu'une ou deux questions.
- Malgré les relations et les unités des grandeurs attendues fournies dans l'énoncé du sujet, trop peu de candidats ont réussi, au moins partiellement, à calculer les flux de chaleur perdus par le sol (11 %) et les parois (5 %).
- À peine 5 % des candidats ont su calculer le flux de chaleur nécessaire pour chauffer la matière organique introduite dans un digesteur.
- À la question 27, un quart des candidats a commenté les courbes (évolution annuelle de la température et de la puissance de chauffage) du modèle multiphysique du système complet. La proposition d'une méthode pour obtenir le biogaz autoconsommé a été plus compliquée.
- La question 29 (nouvelle proportion de biogaz autoconsommé) a été plutôt bien réussie par les 15 % de candidats qui l'ont traitée.

Partie 4 : 5 questions

L'objectif de cette partie consiste à exploiter la problématique industrielle de production biogaz dans le cadre d'une séquence pédagogique de niveau première en enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur, axée sur les grandeurs d'effort, grandeur de flux, énergie, puissance, rendement, ...

Les différents points à traiter par les candidats sont :

- Prompts soumis à l'intelligence artificielle,
- Élaboration d'une fiche « connaissances »,
- Élaboration d'un protocole expérimental,
- Indicateurs d'évaluation,
- Modèle multiphysique correspondant à l'expérimentation

Remarques pour la partie 4 :

- Cette partie a été plutôt bien réussie par plus de 60 % des candidats qui l'ont traitée au moins partiellement. De manière générale, cette partie a été déterminante sur les résultats des candidats qui l'ont abordée.
- Certains candidats se sont contentés de :
 - reformuler la question 31 pour proposer un ou deux prompts
 - recopier à l'identique les définitions données par l'intelligence artificielle (document DP2) pour l'élaboration de la fiche connaissance (question 32).
- Au moins 50% des candidats ont proposé un protocole expérimental (question 33) plutôt bien réussi dans l'ensemble.
- Moins de 40% des candidats ont proposé des indicateurs d'évaluation (question 34) en lien avec le protocole expérimental.
- Enfin, moins de 20% des candidats ont répondu à la question 35 sur le modèle multiphysique correspondant à l'expérimentation.

Remarques générales

Une lecture globale du sujet est à effectuer afin d'identifier les questions de spécialité et d'adapter la gestion du temps. Le jury encourage fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des sciences industrielles de l'ingénieur. Il est important que les candidats élargissent leurs compétences pour réussir correctement cette épreuve transversale.

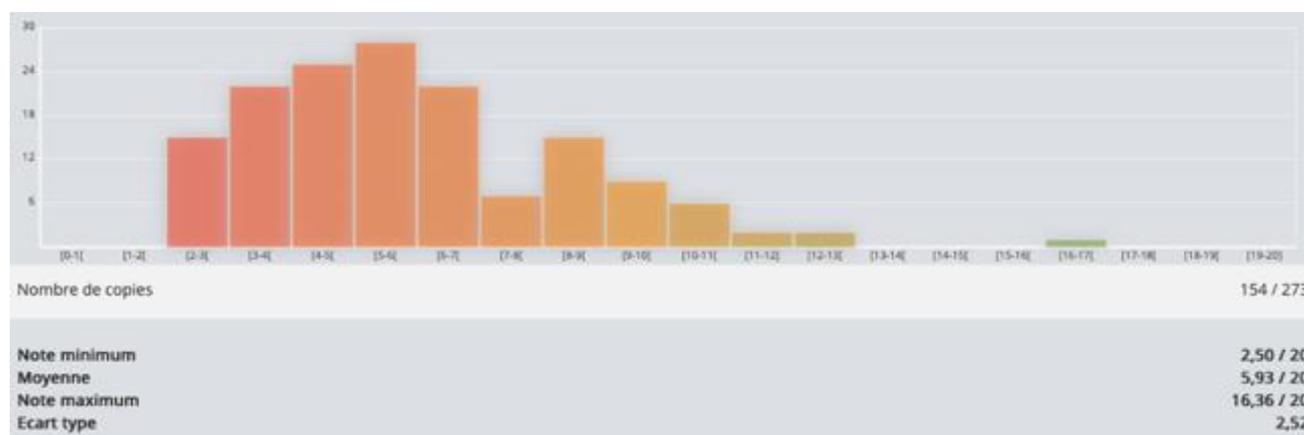
Qualité des copies

Il est demandé au candidat de soigner ses réponses manuscrites de manière à les rendre lisibles et exploitables en vue d'une correction. La présentation doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées et il n'est pas inutile de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. Il doit aussi respecter dans une mesure raisonnable les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer sera compréhensible. Au vu de certaines copies, il apparaît nécessaire de rappeler que « calculer » implique une application numérique avec l'unité appropriée.

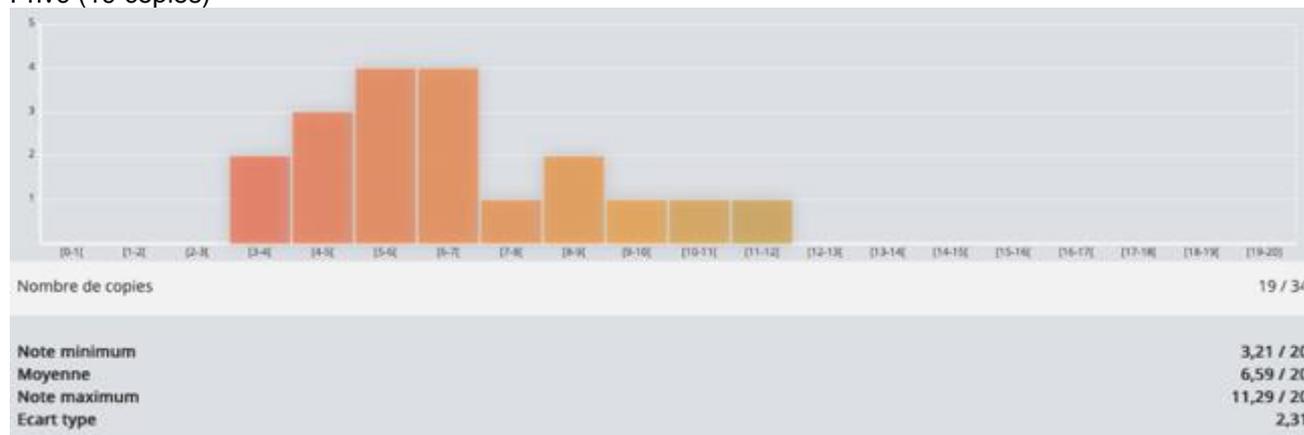
E. Résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve sont données ci-dessous.

Public (154 copies)



Privé (19 copies)



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

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale de l'épreuve : 4 heures
- Coefficient 1

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.

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : [lien vers le sujet 2025](#).

Le sujet portait sur l'étude de la chaîne de propulsion du dirigeable LCA60T de Flying Whales.



Ce système hors norme (200 m de long, 60 tonnes de charge utile, 4 MW) était le support de cinq parties abordant l'ensemble des domaines de l'ingénierie électrique (automatique, informatique appliquée, électronique, conversion d'énergie) :

- la partie A (12 %) présentait le contexte avec des questions sur l'aérostatique et le rayon d'action ;
- la partie B (18 %) traitait la problématique de l'asservissement de la position au-dessus d'un point fixe lors d'un chargement ;
- la partie C (18 %) s'intéressait à l'informatique embarquée du système de contrôle de vol ;
- la partie D (14 %) étudiait l'électronique de mise en forme du signal des sondes de températures ;
- la partie E (38 %) était centrée sur l'ensemble de la chaîne d'énergie : turbines, génératrices, batteries, onduleurs, moteurs.

C. Éléments de correction

Partie A. Portance aérostatique à l'hélium et rayon d'action

A.1. Portance aérostatique

Q1

Poids du volume d'air déplacé : $F_a = V_d \cdot \rho_{air} \cdot g$

Q2

Masse du dirigeable $m_d = m_{struct} + m_{chu} + m_{carb} + m_{air} + m_{He}$

Poids du dirigeable : $P_d = (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb} + m_{air} + m_{He}) \cdot g$

Q3

la poussée d'Archimède compense le poids du dirigeable.

PFS : Poids du dirigeable = Poussée d'Archimède

$$\begin{aligned}(m_{struct} + m_{chu} + m_{carb} + m_{air} + m_{He}) \cdot g &= V_d \cdot \rho_{air} \cdot g \\(m_{struct} + m_{chu} + m_{carb} + V_{air} \cdot \rho_{air} + V_{He} \cdot \rho_{He}) &= V_d \cdot \rho_{air} \\(m_{struct} + m_{chu} + m_{carb} + V_{air} \cdot \rho_{air} + V_{He} \cdot k \cdot \rho_{air}) &= V_d \cdot \rho_{air} \\V_{He} \cdot k \cdot \rho_{air} &= V_d \cdot \rho_{air} - V_{air} \cdot \rho_{air} - (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}) \\ \text{en remplaçant } V_{air} \text{ par } V_d - V_{He} & \\V_{He} \cdot k \cdot \rho_{air} &= V_{He} \cdot \rho_{air} - (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}) \\V_{He} \cdot (k-1) \cdot \rho_{air} &= - (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}) \\V_{He} &= (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}) / ((1-k) \cdot \rho_{air})\end{aligned}$$

Q4

$$m_{He} = k \cdot \rho_{air} \cdot V_{He} = k \cdot (m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}) / ((1-k)) = 0,138 / (1 - 0,138) \cdot 180000 = 28\,816 \text{ kg}$$

Cette relation est indépendante de la masse volumique de l'air, tant que le ratio entre les masses volumiques de l'hélium et l'air ne change pas (même température, même pression).

Q5

$$V_{He} = \frac{m_{struct} + m_{chu} + m_{carb}}{\rho_{air}(1-k)} = \frac{180000}{0,909(1-0,138)} = 229721 \text{ m}^3$$

Comparaison entre le volume max attribué à l'hélium (239 000 m³) et le volume calculé à

$$3\,000 \text{ m} \quad (229\,721 \text{ m}^3) : \frac{229721}{239000} = 96,1\%$$

Les cellules sont bien dimensionnées pour monter à 3 000 mètres.

On s'approche de l'altitude maximum.

A.2. Rayon d'action

Q6

La résistance aérodynamique (traînée) est compensée par la poussée des 12 hélices selon X.

$$F_{traînée} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot C_x \cdot S_{ref} \cdot v_{air}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,115 \cdot 0,035 \cdot 266000^{2/3} \cdot (100/3,6)^2 = 62\,272 \text{ N}$$

Pour une hélice, $F_{poussée}$ (Newton) = $F_{traînée} / 12 = 62\,272 / 12 = 5\,189 \text{ N}$

Puissance par hélice $P_{hélice} = F_{poussée} \cdot v_{air} = 5\,189 \cdot (100/3,6) = 144\,149 \text{ W}$

Q7

La puissance nominale de la turbine est sa puissance de sortie.
 Pelec par hélice = $144 \cdot 149 / (0,95 \cdot 0,75) = 202 \cdot 314 \text{ W}$
 Puissance nominale d'un TG : 1 000 kW pour alimenter 3 hélices
 Pelec par groupe = $3 \cdot 202 \cdot 314 \text{ W} = 606 \cdot 943 \text{ W}$
 Taux de charge = $606 \cdot 943 / 1 \cdot 000 \cdot 000 = 60,7 \%$

Q8

En une heure, énergie consommée pour un groupe TG.
 Énergie consommée = $607 \cdot 10^3 \cdot 3600 / 0,40 = 5 \cdot 462 \text{ MJ}$
 Énergie consommée par les 4 TG pour la propulsion : $4 \cdot 5462 = 21 \cdot 850 \text{ MJ}$
 Carburant consommé par heure = $21 \cdot 850 / 43 = 508 \text{ kg}$

Q9

Parcours de 1 000 km à 100 km/h : durée de 10 heures
 Consommation : $10 \cdot 508 = 5,08 \text{ tonnes}$ pour 1 000 km
 Le dirigeable emporte 10 t de carburant : il pourra donc parcourir les 1 000 km à condition que les autres missions (levage de charge...) ne consomment pas plus que 4,9 t.

Partie B. Automatique : Stabilisation de position

B.1. Modélisation

Q10

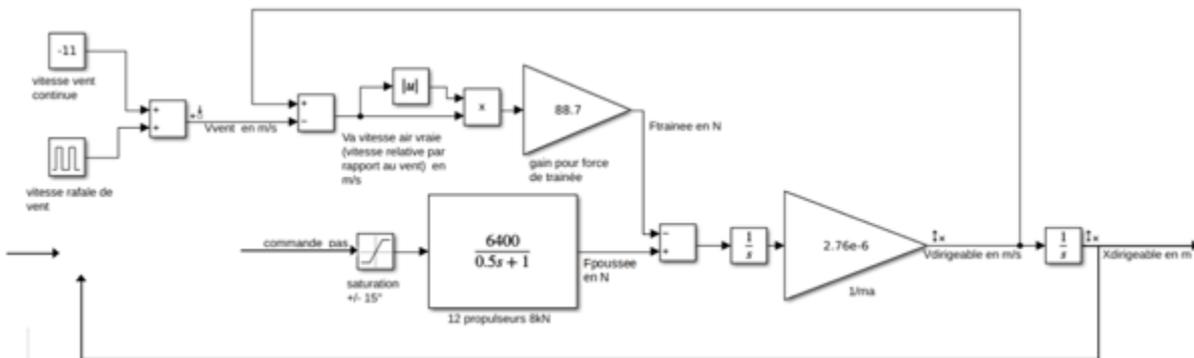
Statique : $12 \cdot 8 \cdot 000 / 15 = 6 \cdot 400 \text{ Newton/deg}$
 Dynamique : premier ordre de constante 0,5 s

$$\frac{\text{Poussée(Newton)}}{\text{pas(degés)}} = \frac{6400}{1 + 0,5p}$$

Q11

selon X : Force_12_hélices - Faérodyn = masse apparente x accélération
 Pour $v_a > 0$: $F_{pousee} - F_{trainee} = F_{pousee} - 88,7 \cdot (v - v_{vent})^2 = m_a \cdot \frac{dv}{dt}$
 Pour $v_a < 0$: $F_{pousee} + F_{trainee} = F_{pousee} + 88,7 \cdot (v - v_{vent})^2 = m_a \cdot \frac{dv}{dt}$

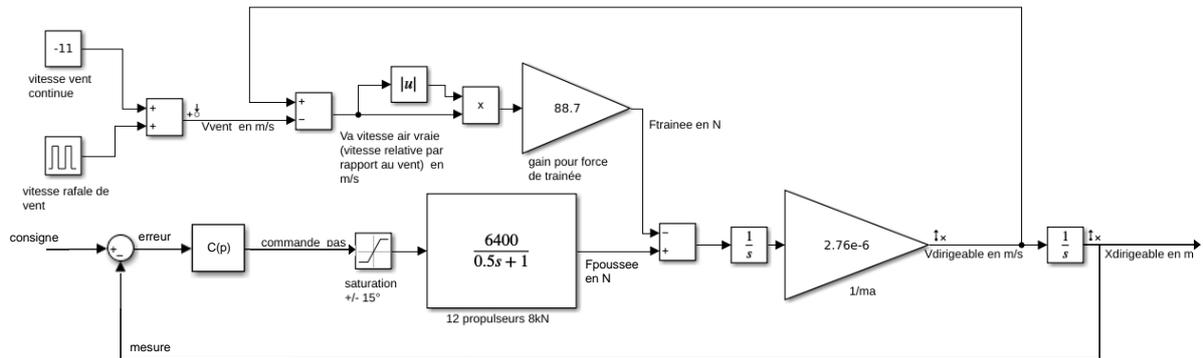
Q12



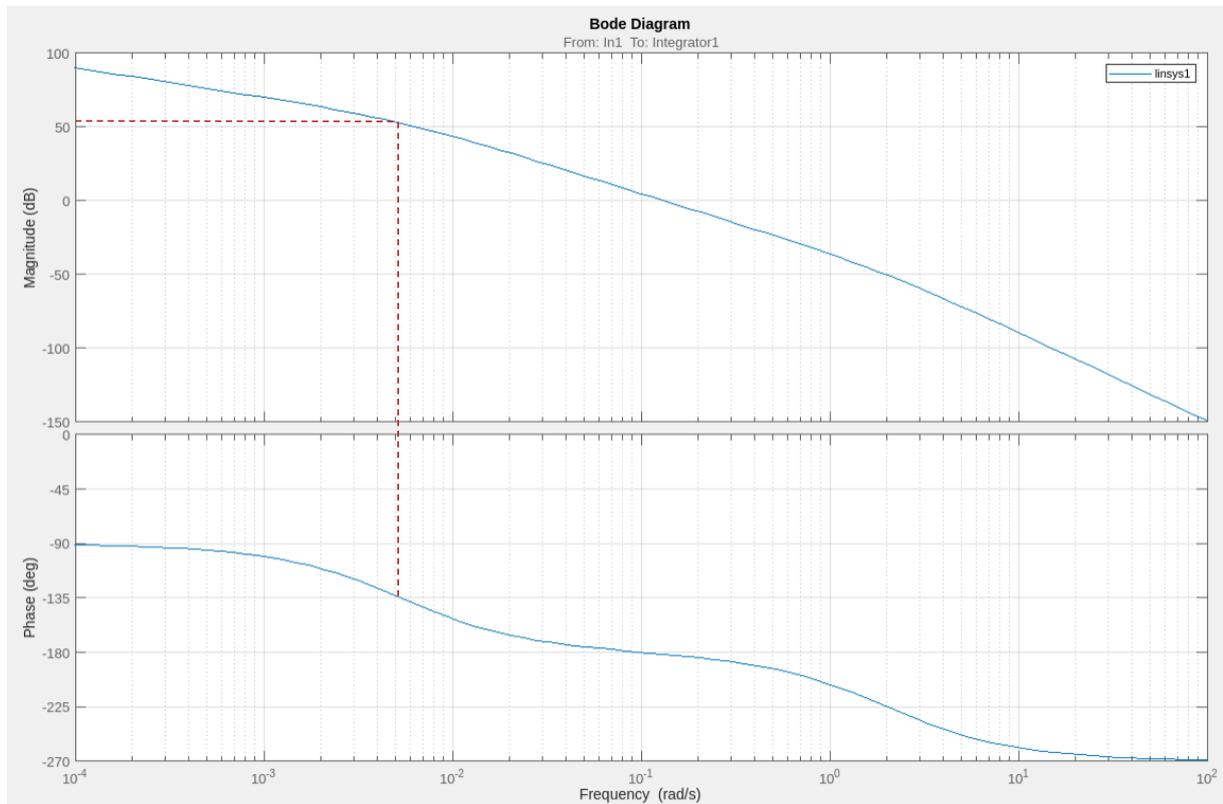
Gain pour force de traînée : 88,7
 Gain "12 propulseurs 8kN" : $\frac{6400}{1 + 0,5p}$
 Gain "1/ma" : $2,76 \cdot 10^{-6} = \frac{1}{1,25 \cdot 290000}$

B.2. Choix et calcul du correcteur

Q13



Q14 gain K_p du correcteur proportionnel



Marge de 45° : -53 dB donc on choisit le K_p suivant pour avoir une marge de phase à 45° de 0 dB : $K_p = 10^{-\frac{53}{20}} = 0,0022$

Q15

D'après la figure 5, l'erreur statique est de plus de 700 mètres, ce qui est loin des 10 m attendus du cahier des charges. Un correcteur PI permettra d'assurer la précision (gain statique infini).

Q16

$$C_{PI}(p) = K_p + \frac{K_I}{p} \text{ devient } C_{PI}(j\omega) = K_p \cdot \frac{1 + j\frac{\omega}{\omega_I}}{j\frac{\omega}{\omega_I}} \text{ avec } \omega_I = \frac{K_I}{K_p}$$

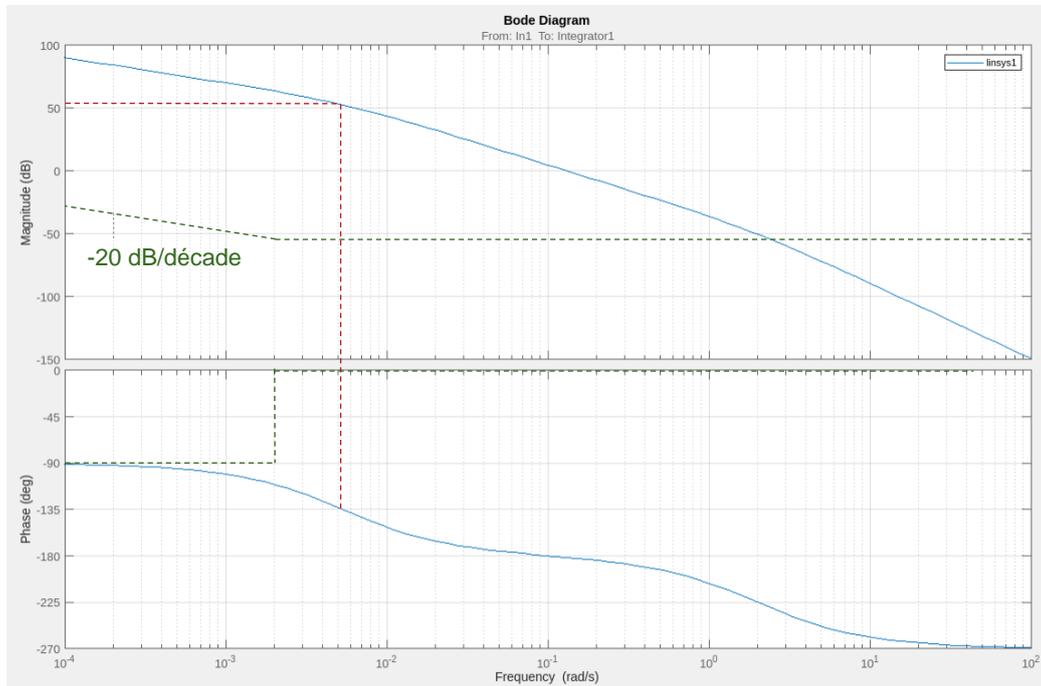
Q17

Tracés en vert. $\omega_1 = 2.10^{-3} \text{ rad.s}^{-1}$.

Apport du correcteur PI :

gain de -20dB/décade jusqu'à ω_1 , puis 0dB

déphasage de -90° jusqu'à $\omega_1/10$, puis de 0° après $10 \omega_1$



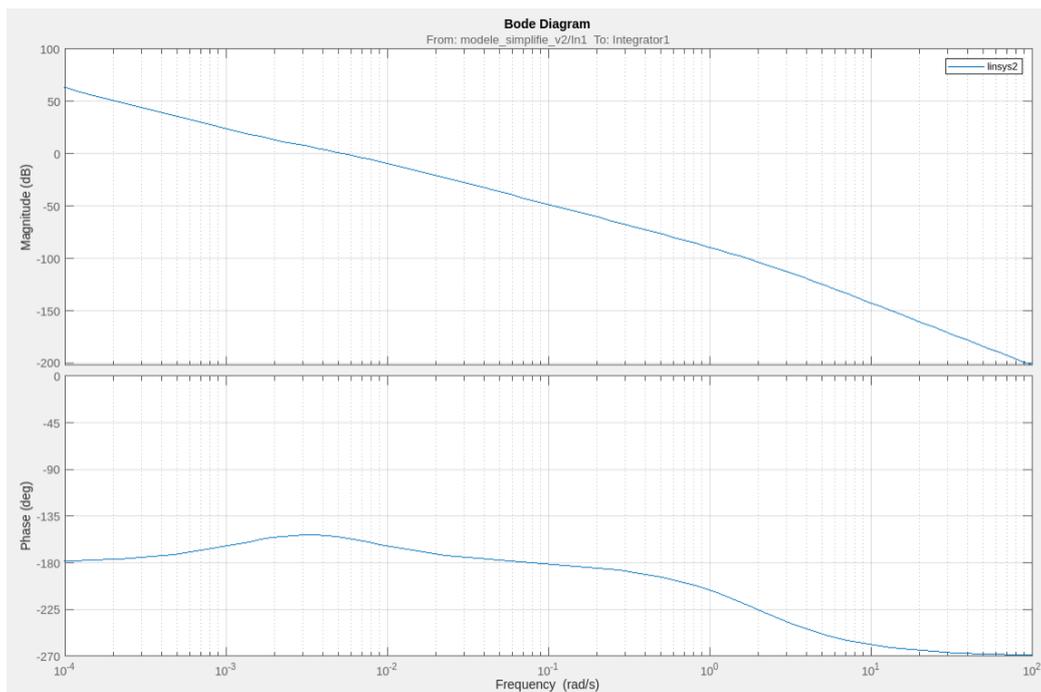
$$K_I = K_p * \omega_1 = 0,0022 * 2.10^{-3} = 6,6.10^{-6}$$

Les gains en dB s'additionnent et les phases s'additionnent.

Le gain réel est abaissé de 53 dB au-delà de ω_1 et la pente est augmentée avant.

On enlève 90° de phase avant ω_1 , rien au-delà.

Entre les deux, on passe par -45° à ω_1



Q18

Décalage de 250 m.

L'action D, en ajoutant de la stabilité, permet d'augmenter P et d'améliorer la réponse dynamique tout en conservant l'action I (celle-ci annule l'erreur statique).

Q19

Un correcteur dérivé pur amplifie les bruits haute fréquence (le gain du correcteur tend vers l'infini quand ω tend vers l'infini). Donc, pour ne pas amplifier les bruits HF, on rajoute un filtre passe-bas plus haut en fréquence ($\omega_{D2} \gg \omega_D$).

Q20

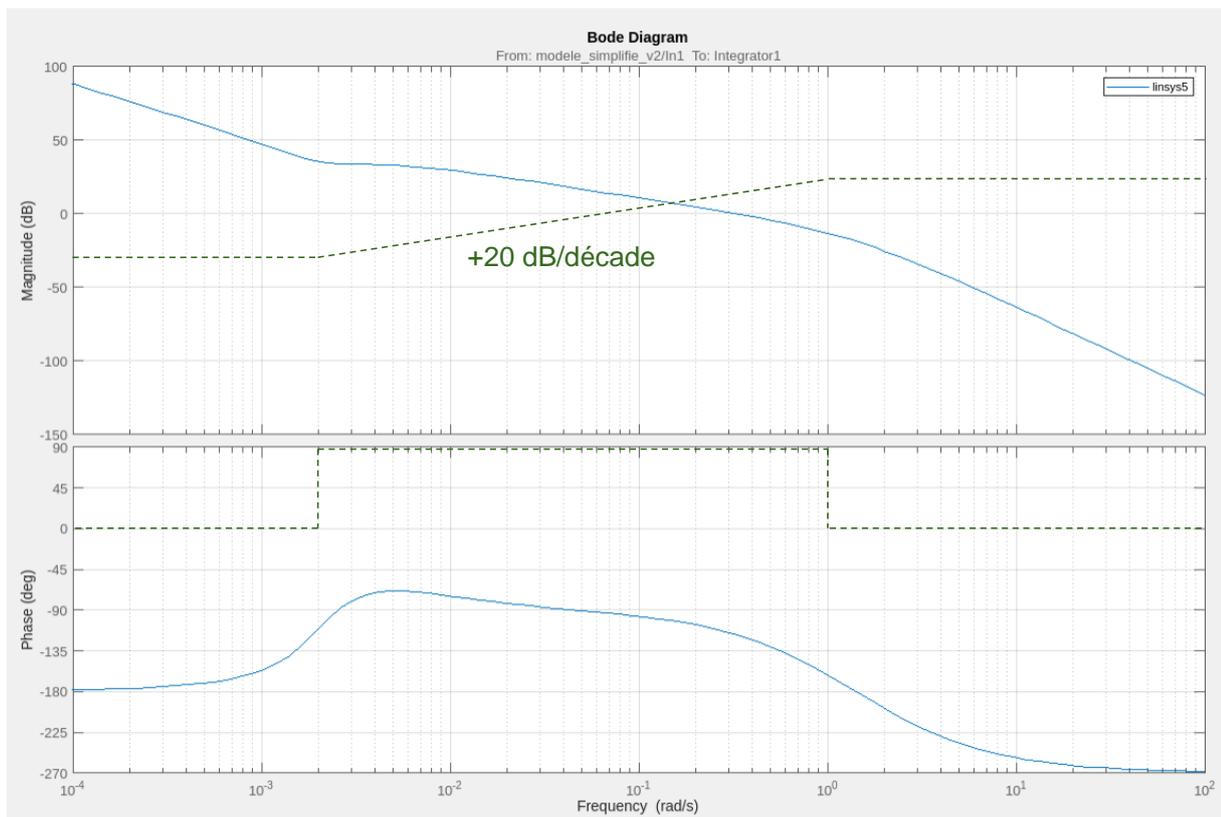
$$20 \log(K_p) = -28 \text{ dB}$$

$$20 \log(K_p \cdot \omega_{D2} / \omega_D) = +26 \text{ dB}$$

pour $\omega \ll \omega_D$, $C_{PD}(j.\omega) = K_p$ donc gain -28 dB et phase de 0°

pour $\omega_D \ll \omega \ll \omega_{D2}$ $C_{PD}(j.\omega) = K_p \cdot j.\omega / \omega_D$ donc pente de +20 dB/décade et phase de $+90^\circ$

pour $\omega_{D2} \ll \omega$ $C_{PD}(j.\omega) = K_p \cdot \omega_{D2} / \omega_D$ donc gain +26 dB et phase de 0°



$\omega_D = 2.10^{-3} \text{ rad.s}^{-1}$ permet d'ajouter de la phase dans la partie critique (gain > 0) et $\omega_{D2} = 1 \text{ rad.s}^{-1}$ apparaît après le passage du gain inférieur à zéro (donc en zone stable). A partir de cette fréquence, on limite l'amplification de l'erreur et donc on évite d'amplifier un éventuel bruit à « haute fréquence ».

L'ajout de la phase a permis de stabiliser le système et ainsi d'augmenter le gain qui passe de 0,002 à 0,04. On passe de -50 dB à 10⁻¹ rad/s à 0 dB.

Q21

À $t = 5 \text{ 000 s}$, la position dévie de -8 m à +3,5 m, donc reste dans la plage de +/- 10 m.

Partie C. Informatique embarquée

Q22

La redondance assure le bon fonctionnement en cas de défaillance d'un des éléments (un système de vote permet d'écartier les décisions de l'élément défaillant). Les systèmes issus de deux fabricants différents permettent de se prémunir d'un défaut de conception sur l'un des systèmes.

C.1. Bus de communication

Q23

colonne 2 du Document-Réponse DR4

Communication	Avec récepteur GNSS Q23	Avec centrale inertielle Q27	Avec capteur pression	Avec Contrôleur de vol Q29
	Série	I2C	SPI	ARINC 825 (CAN)
Débit	Un peu plus de 2 carreaux (1,05ms) pour 10 bits donc 9600 bit/s	10 périodes d'horloges sur un carreau de 100 µs => 100 kbit/s	1 Mbit/s	(Juste celui du champ d'arbitrage) 5 bits à 0 utilisent 2/5 donc 20µs => 4µs/bit débit = 250 kbit/s
Niveau(x) de tension 0 logique	0V	0V	0	CAN_High : 3,5V (ici 3,2 V) CAN_Low : 1,5V (ici 1,25V)
Niveau(x) de tension 1 logique	Entre 3 et 4V donc certainement : 3,3V	3,3V	3,3V	CAN_High : 2,5 V (ici, 2,25V) CAN_Low : 2,5 V (ici, 2,25V)
Signal asymétrique ou paire différentielle ?	asymétrique	asymétrique	asymétrique	Paire différentielle
Communication synchrone ou asynchrone ?	asynchrone (pas de signal d'horloge)	Synchrone (il y a un signal d'horloge)	synchrone	Asynchrone (avec resynchronisation sur les fronts...)
Communication Simplex / HalfDuplex / Full Duplex ?	La liaison série est full duplex Sur la fig 8, simplex (les signaux indiqués vont juste du récepteur vers le calculateur)	Half Duplex, le maître et l'esclave parlent tour à tour	Full duplex	C'est un bus, les nœuds se succèdent pour parler sur le bus, un à la fois. C'est donc une communication half duplex

Q24

En lisant de droite à gauche les bits du deuxième caractère, on obtient 0b0010 1100 soit 0x2C, le code ASCII de la virgule

Q25

1 caractère = 10 bits, 9 600 bit/s, donc 83 ms pour 80 caractères

Autre méthode :

Séquence « virgule 2 3 5 » ↔ 40 bits ↔ 4 200 µs pour 4 caractères donc 84 000 µs pour 80 caractères

Q26

C1 SCL

C2 SDA

Le maître est l'unité de calcul embarquée (Concentrateur 1, IMU1) et l'esclave est la centrale inertielle Bosch BNO055.

Q27

colonne 3 du Document-Réponse DR4 en question 23

Q28

Lecture de 6 octets à partir de l'adresse 0x0E, donc lecture des données du magnétomètre selon x, y et z.

Q29

voir tableau DR4 en question 23

Q30

$t = L/c = 1250 \text{ ns}$

durée d'un aller-retour : 2500 ns avec une marge de 20 % : 3000 ns => débit max = $1/3000e-9 = 333 \text{ kbit/s}$

Oui, c'est respecté.

Q31

Les capteurs sont dans l'ECU ou juste à côté, une communication simple, sans mise à niveau des signaux (et donc un composant externe, le transceiver) est suffisante. La communication entre les ECU doit parcourir de grandes longueurs, avec des perturbations électromagnétiques possibles. C'est pourquoi pour la communication inter ECU, on utilise un bus de terrain comme le bus CAN : les signaux différentiels sont robustes face aux perturbations électromagnétiques et les mécanismes de détection d'erreur (CRC en fin de trame notamment).

C.2. Calcul de l'orientation du dirigeable à partir de deux positions GNSS (avant et arrière).**Q32**

Le passage en radian des latitudes et longitudes n'est pas indispensable, atan2 travaillant sur le quotient de ses deux arguments.

Python

```
# Fonction calculant l'orientation du dirigeable à partir
# des valeurs renvoyées par les ECU NAV GNSS
def calcul_cap(pointAv, pointAr):
    lat1 = math.pi/180*pointAr.latitude
    lon1 = math.pi/180*pointAr.longitude
    lat2 = math.pi/180*pointAv.latitude
    lon2 = math.pi/180*pointAv.longitude
    cap = 90-180/3.14159*math.atan2((lat2-lat1),(lon2-lon1))
return cap
```

Langage C

```
// Fonction calculant l'orientation du dirigeable
double calcul_cap(Point_GNSS pointAv, Point_GNSS pointAr) {
    double lat1 = M_PI / 180 * pointAr.latitude;
    double lon1 = M_PI / 180 * pointAr.longitude;
    double lat2 = M_PI / 180 * pointAv.latitude;
    double lon2 = M_PI / 180 * pointAv.longitude;
    double cap = 90 - 180 / M_PI * atan2((lat2 - lat1), (lon2 - lon1));
    return cap;
}
```

Q33

Python

```

# Fonction calculant la position du centre du dirigeable à partir
# des valeurs renvoyées par les ECU NAV GNSS
def calcul_position(pointAv,pointAr):
    PointMilieu = Point_GNSS()
    PointMilieu.latitude = (pointAv.latitude + pointAr.latitude)/2
    PointMilieu.longitude = (pointAv.longitude + pointAr.longitude)/2
    PointMilieu.altitude = (pointAv.altitude + pointAr.altitude)/2 - 40
return PointMilieu

```

Langage C

```

// Fonction calculant la position du centre du dirigeable
Point_GNSS calcul_position(Point_GNSS pointAv, Point_GNSS pointAr) {
    Point_GNSS PointMilieu;
    PointMilieu.latitude = (pointAv.latitude + pointAr.latitude) / 2;
    PointMilieu.longitude = (pointAv.longitude + pointAr.longitude) / 2;
    PointMilieu.altitude = (pointAv.altitude + pointAr.altitude) / 2 - 40;
    return PointMilieu;
}

```

Partie D. Surveillance des cellules d'hélium

Q34 Linéarisation de la RTD

$$0^{\circ}\text{C} = a \cdot 100 + b \quad ; \quad 100^{\circ}\text{C} = a \cdot 138,5 + b$$

$$a = \frac{100}{38,5} = 2,60^{\circ}\text{C} \cdot \Omega^{-1} \quad ; \quad b = \frac{-100^2}{38,5} = -259,7^{\circ}\text{C}$$

Q35 Mesure de la RTD avec 1 mA

$$V1 = (RTD + R_{fil1} + R_{fil3}) \cdot I_{meas}$$

Erreur apportée par les fils de liaison

$$\text{à } 15^{\circ}\text{C}, V1 = \left(RTD(15^{\circ}\text{C}) + 2\rho \frac{L}{S} \right) I_{meas}$$

$$RTD(15^{\circ}\text{C}) = 100 + \frac{38,5}{100} \cdot 15$$

$$2\rho \frac{L}{S} = 2 \cdot 0,0174 \cdot \frac{40}{0,22} = 6,327\Omega = \frac{38,5}{100} \cdot 16,43^{\circ}\text{C}$$

L'erreur due aux fils de liaison est de 16,43 °C.

Q36 Compensation automatique des fils de liaison

Théorème de Millman : $V^- = (V1/100k + V_{meas}/100k)/(2/100k) = (V1 + V_{meas})/2$

$$V^+ = V2$$

$$V^+ = V^- \text{ donc } V2 = (V1 + V_{meas})/2$$

$$V1 = (RTD + 2 \cdot R_{fil}) \cdot I_{meas}$$

$$V2 = (RTD + R_{fil}) \cdot I_{meas}$$

$$V_{meas} = 2 V2 - V1$$

$$\text{donc } V_{meas} = RTD \cdot I_{meas}$$

Q37 Filtre passe-bas 1 : RC

Fonction de transfert, et avec un courant nul par V_s :

équation du pont diviseur RC : $V_s = V_e \cdot 1/C_p / (R + 1/C_p) = V_e \cdot 1/(1 + RCp)$

par identification $\omega_0 = 1/RC$

Q38 omega

En régime sinusoïdal, $T1(j\omega) = 1/(1 + j\omega/\omega_0)$

$$\|T1\| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

$R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 330 \text{ nF}$, d'où $RC = 33 \text{ ms}$ et $f_0 = 1/(2\pi RC) = 4,82 \text{ Hz}$

$G1dB = 20 \text{ Log}(\|T1\|) = -10 \text{ Log}(1 + (f/f_0)^2)$

à 5 Hz , $G1dB = -3,17 \text{ dB}$

à 400 Hz , $G1dB = -38,4 \text{ dB}$

Q39 Filtre passe-bas 2 : Sallen & Key

ALI parfait donc $V_B = V_s$

Millmann appliqué au nœud A :

$$V_A = (V_e/R + V_s/2C_p + V_s/R)/(1/R + 2C_p + 1/R) = (V_e + V_s(1+2RCp))/(2 + 2RCp)$$

Pont diviseur au nœud B :

$$V_B = V_A \cdot 1/C_p/(R+1/C_p) = V_A \cdot 1/(1 + RCp)$$

donc $V_A = V_s (1 + RCp)$

$$V_A = V_s (1 + RCp) = (V_e + V_s(1+2RCp))/(2 + 2RCp)$$

$$V_s/V_e = 1/(1+2RCp + 2(RCp)^2)$$

par identification,

$$2m/\omega_0 = 2RC$$

$$1/\omega_0^2 = 2R^2C^2, \text{ et } m = \text{racine}(2)/2$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot RC} = \frac{\sqrt{2}}{2 \cdot RC} \text{ et } m = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Q40 Gain en dB

$R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 220 \text{ nF}$, d'où $\omega_0 = 32,14 \text{ rad/s}$, et $f_0 = 5,11 \text{ Hz}$, avec $m = 0,707$

$$G1db = 20 \text{ Log}(\|T2\|) = -10 \text{ Log}((1 - (f/f_0)^2)^2 + 2(f/f_0)^2)$$

à 5 Hz , $G1db = -2,81 \text{ dB}$

à 400 Hz , $G1db = -75,7 \text{ dB}$

Q41 Conclusion

Le filtre passe-bas 2 est un filtre actif du deuxième ordre et apporte une atténuation supérieure à 60dB comme demandé, tout en préservant la bande passante à 3dB de 0 à 5 Hz.

Partie E. Production, distribution et conversion de l'énergie

E.1. Génération de l'électricité

Q42

$$1 \text{ MW} / 126 \text{ kg} = 7,936 \text{ kW/kg}$$

Q43

4 paires de pôles, 19 000 trs/min

Relation $N \text{ (trs/s)} = f/p$

$$19000/60 = f/4$$

$$f = 19000/15 = 1\,270 \text{ Hz}$$

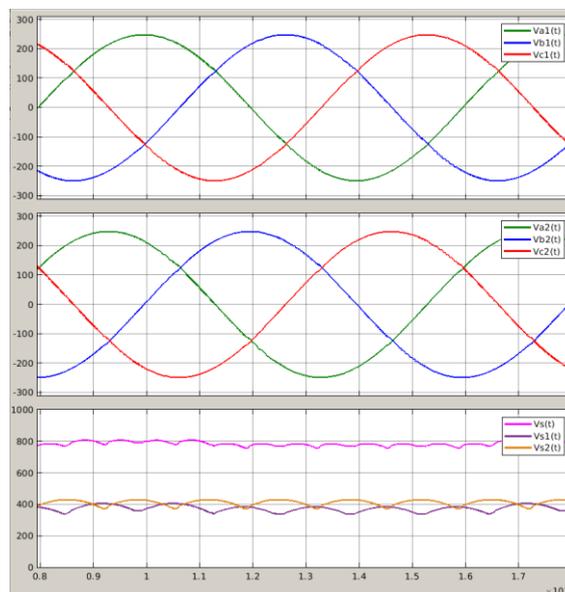
Q44

L'aimant permanent (inducteur 1) génère un champ tournant dans le stator triphasé 1. C'est une génératrice synchrone. Il apparaît alors des tensions triphasées aux bornes des enroulements. Le redresseur génère alors un courant continu alimentant la bobine d'excitation 2, fixe.

L'induit 2 tournant voit donc un champ tournant dans son référentiel et un système de tension triphasée apparaît à ses bornes. Le redresseur tournant génère alors, à partir de ces tensions, un courant continu alimentant l'enroulement Inducteur 3. Cette bobine alimentée par un courant continu et placée sur le rotor génère alors un champ magnétique tournant.

Pour couper la génération de puissance électrique, il suffit d'ouvrir le circuit de l'excitation de la bobine 2 (un seul contact mais du courant continu, plus difficile à couper) ou le circuit du stator 1 (il faut deux contacts mais le courant alternatif est plus simple à couper car passant périodiquement par 0).

Q45



Q46

Fonctionnement en mode dégradé, en cas de défaut sur une des phases (le défaut est moins impactant que sur un bobinage triphasé unique) et même en cas de défaut sur un enroulement complet (il ne reste alors que 400 VDC en sortie). Par ailleurs, les ondulations de tension sont plus faibles en sortie.

E.2. Dimensionnement des batteries

Q47

Énergie fournie : $(1,5 \cdot 800e3)/2 - (0,5 \cdot 800e3)/2 = 400 \text{ kJ} = 0,11 \text{ kWh}$

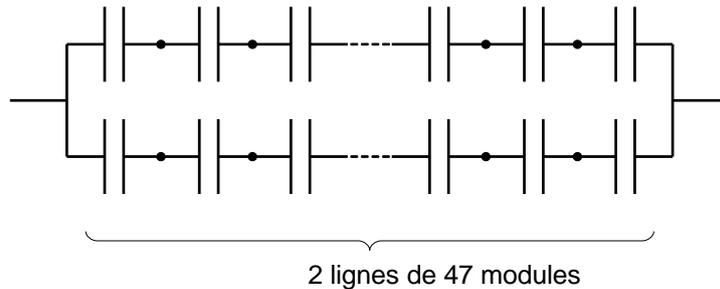
Puissance maximale fournie : 530 kW

Courant maximal fourni : 663 A.

Q48

Pour 800V, il faut 47 modules de tension nominale 17VDC en série.

Chaque module stockant 20 Wh, il faut 75 modules donc 2 lignes de 47 modules (soit 94 modules).



Masse de l'ensemble : 517 kg

Énergie totale stockée : 1,88 kWh

Le courant de pic est largement suffisant (2200 A par module donc par ligne)

La documentation limitant à 750V en série, il faudrait de plus ajouter un dispositif de régulation de la tension/charge par ensemble de 23 ou 24 supercondensateurs si cette solution était retenue.

Q49

2,4V par batteries donc il faut 334 batteries en série.

520W en puissance de sortie (pendant 10s, soit plus que nécessaire), donc il faut 1153 modules pour fournir la puissance.

Il faut donc 4 lignes de 334 batteries en série (soit 1336 modules)

Masse de l'ensemble : 200 kg

Énergie totale stockée : 9,3 kWh

Sur cette application, les batteries sont une solution plus pertinente.

E.3. Distribution de l'énergie

Q50

Arguments en faveur de l'aluminium par rapport au cuivre :

- plus léger de 30 %
- moins cher
- adapté aux grosses sections

Mais...

- moins bonne conductivité (plus grosse section pour la même résistance) 61 %
- monte moins haut en température
- prévoir adaptation à la jonction cuivre-alu

Q51

Courant permanent d'alimentation des groupes propulseurs 200 kW en 800 Vdc :

$$I = 200\,000/800 = 250 \text{ A}$$

coefficient de correction pour voisinage 0,7 : $I = 250/0,7 = 357 \text{ A}$

choisir parmi AWG 0 00 000 □ 325/370/430 A max donc choix Al#00

Référence du câble : ABS 0949 AD 00

Q52

Résistance à 20 °C : 0,43 ohm par km (DT10)

Correction pour 180 °C : $0,43 * (1 + 0,4/100 * (180-20)) = 0,7052 \text{ ohm /km}$

Pour une longueur de 2x105 m : $0,7052 * 2*105/1000 = 0,1481 \text{ ohm}$

Pour 250 A, la chute de tension totale est de $0,1481 * 250 = 37,0 \text{ V}$

soit $37,0/800 = 4,63 \%$

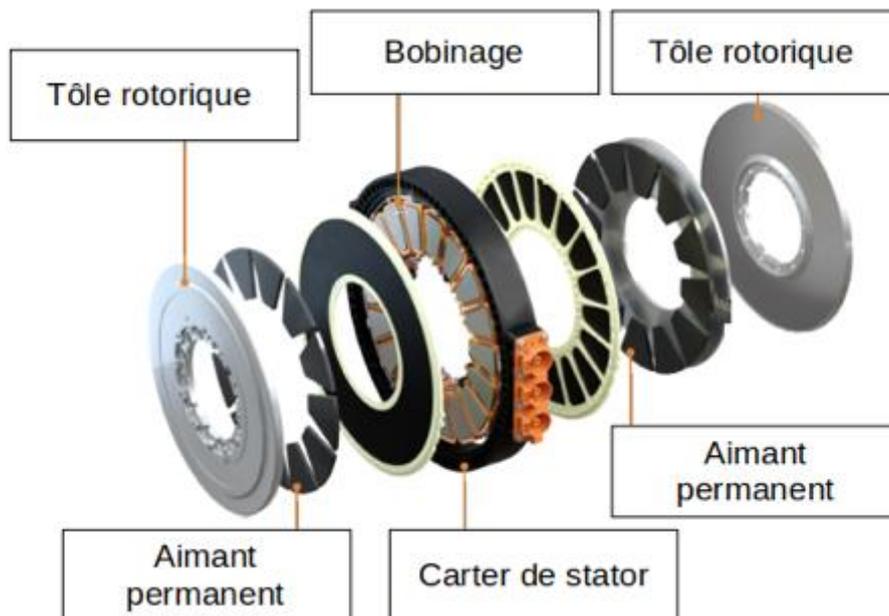
Typiquement une chute de tension de 5 % est acceptée.

E.4. Moteurs et réducteurs des propulseurs**Q53**

Petit et léger pour ses performances (grande densité de puissance).

Q5

Puissance massique : 24,9 kW/kg

Q55

La machine a 18 bobines statoriques et 12 aimants permanents, soit 6 paires de pôles.

Q56

$P = 200 \text{ kW}$ $N = 1200 \text{ tr.min}^{-1}$ donc $\Omega = 1200/60 * 2 * \pi = 126 \text{ rad.s}^{-1}$

Ainsi $T = 200.10^3/126 = 1590 \text{ N.m}$

Q57

rendement de 98 % pour N entre 4000 et 8000 tr.min-1 et couple < 90 N.m (pas de solution)

Donc, pour un rendement de 97 %, il faut tourner à N = 10000 tr.min-1 => rapport de réduction de 8,33 (25/3)

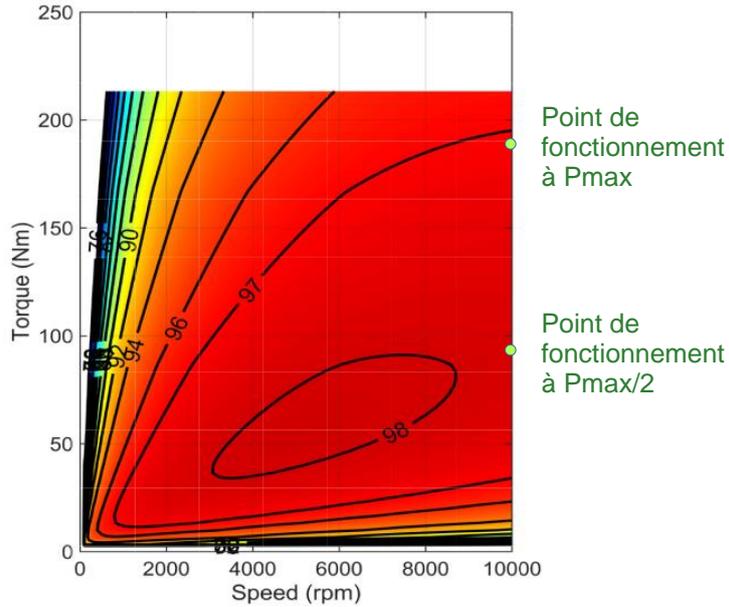
N = 10000 tr.min-1 et T = 1590/8,33 = 190 Nm

Q58

À puissance maximale : N = 10000 tr.min-1 et T = 1590/8,33 = 190 Nm

À puissance moyenne : N = 10000 tr.min-1 et T = 95 Nm (les hélices tournent à vitesse fixe, le pas change le couple)

Fig1. Efficiency map for D250 (1x3) machine only, using 800Vdc capable system.



Peak and Continuous Torque

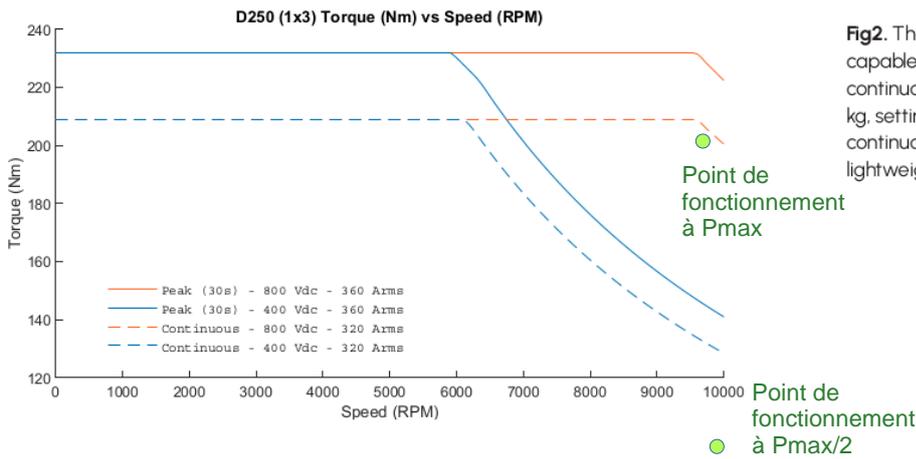


Fig2. The Evolto D250 (1x3) is capable of delivering a best-in-class continuous torque density of >25Nm/kg, setting a new benchmark in continuous torque delivery from a lightweight production intent design.

E.5. Variateurs des propulseurs

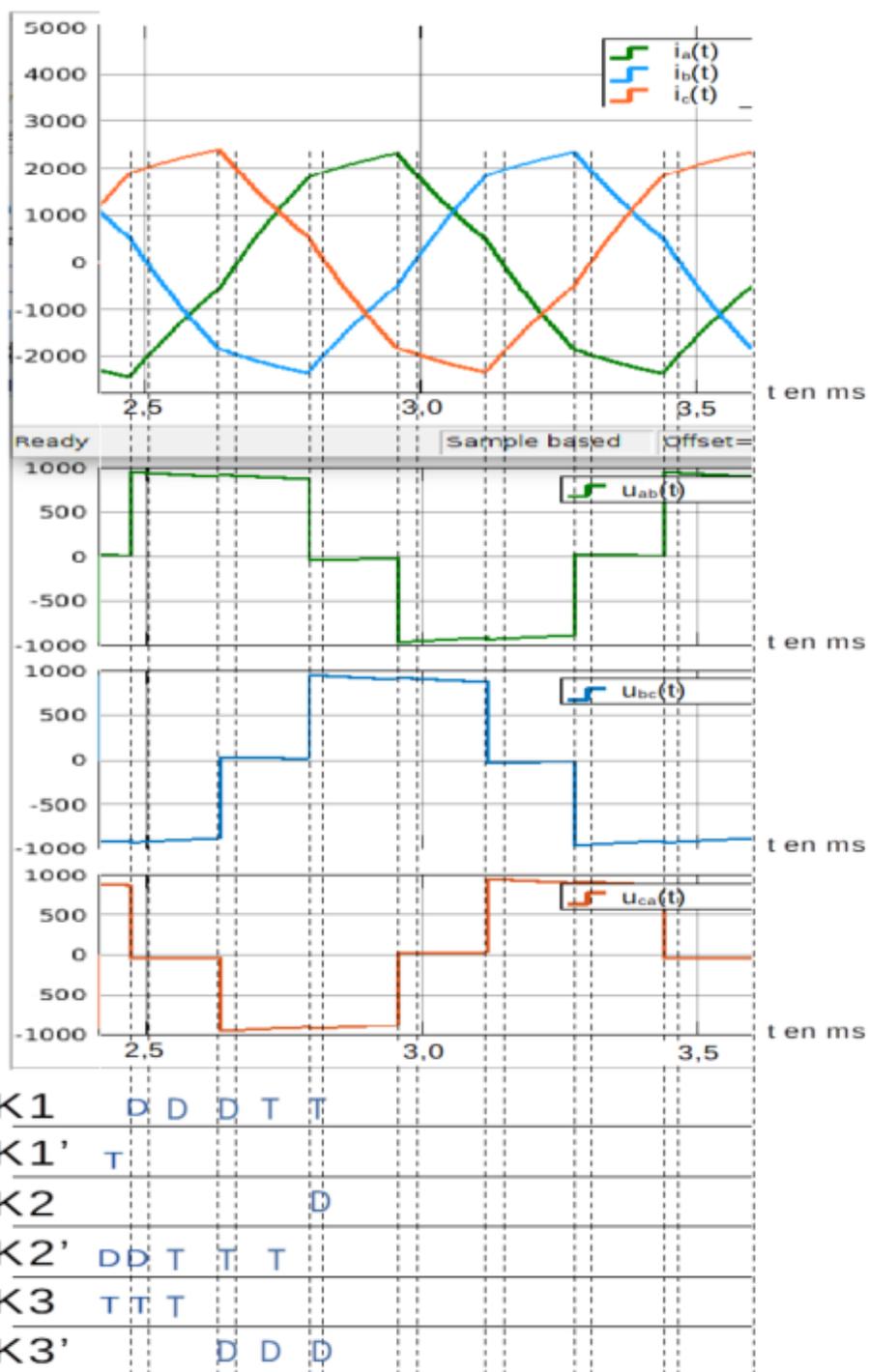
Q59

Commander les interrupteurs (les transistors MOS) et les protéger.

Q60

Capteur de courant, de tension et capteur de position

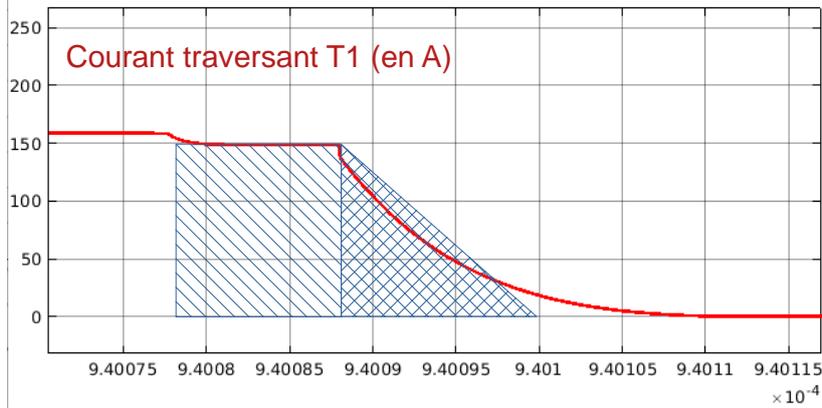
Q61



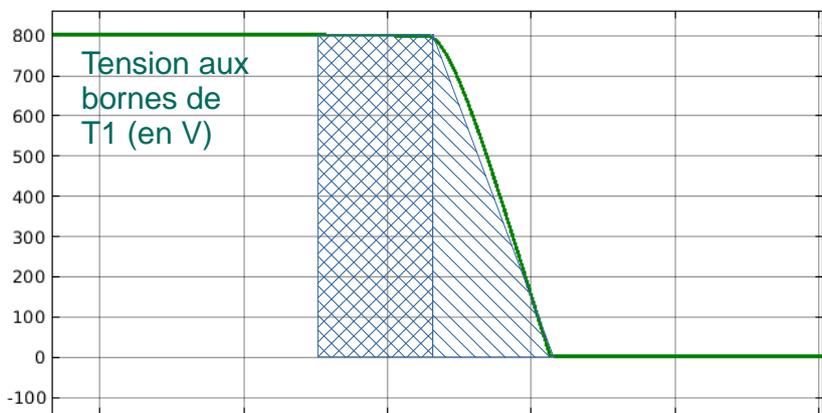
Q62



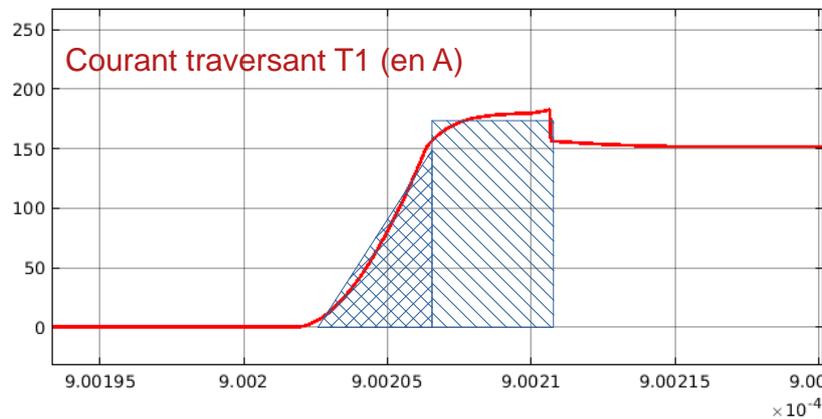
Amorçage / Blocage de T1
(rayer la mention inutile)



Energie dissipée =
 $(10 \cdot 10^{-9} \cdot 800 \cdot 150) / 2$
 +
 $(12 \cdot 10^{-9} \cdot 800 \cdot 150) / 2 =$
 1,3 mJ



Amorçage / Blocage de T1
(rayer la mention inutile)



Energie dissipée =
 $(4 \cdot 10^{-9} \cdot 800 \cdot 150) / 2$
 +
 $(4.5 \cdot 10^{-9} \cdot 800 \cdot 170) / 2 =$
 0,55 mJ

Q63

$$R_{DSON} = 0,75/150 = 5 \text{ m}\Omega$$

Q64**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
SIC MOSFET CHARACTERISTICS						
Zero Gate Voltage Drain Current	$V_{GS} = 0 \text{ V}, V_{DS} = 1200 \text{ V}$	I_{DSS}	–	–	300	μA
Drain–Source On Resistance	$V_{GS} = 18 \text{ V}, I_D = 200 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$	$R_{DS(ON)}$	–	3.19	5	$\text{m}\Omega$
	$V_{GS} = 18 \text{ V}, I_D = 200 \text{ A}, T_J = 125^\circ\text{C}$		–	5.25	–	
	$V_{GS} = 18 \text{ V}, I_D = 200 \text{ A}, T_J = 150^\circ\text{C}$		–	5.88	–	
Turn–on Delay Time	$T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_{DS} = 600 \text{ V}, I_D = 200 \text{ A}$ $V_{GS} = -5 \text{ V} / 18 \text{ V}, R_G = 1 \Omega$	$t_{d(on)}$	–	48	–	ns
Rise Time		t_r	–	15	–	
Turn–off Delay Time		$t_{d(off)}$	–	154	–	
Fall Time		t_f	–	15	–	
Turn–on Switching Loss per Pulse		E_{ON}	–	1.94	–	mJ
Turn off Switching Loss per Pulse		E_{OFF}	–	1.12	–	
Diode Forward Voltage	$I_D = 200 \text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$	V_{SD}	–	4.8	7.5	V
	$I_D = 200 \text{ A}, T_J = 125^\circ\text{C}$		–	4.5	–	
	$I_D = 200 \text{ A}, T_J = 150^\circ\text{C}$		–	4.4	–	

La résistance R_{DSON} mesurée en simulation (5m Ω) est cohérente avec les données du fabricant (3,19 à 5 m Ω). Il en est de même pour l'énergie perdue au blocage (1,3 mJ en simulation et $E_{OFF} = 1,12$ mJ sur la datasheet). Les pertes à l'amorçage ($E_{ON} = 1,94$ mJ sur la datasheet) sont sous-estimées par la simulation (0,55 mJ).

À 20 kHz, Énergie perdue sur une seconde (donc puissance) :

$$\text{Pertes par commutation} : f \cdot (E_{OFF} + E_{ON}) = 20 \cdot 10^3 \cdot (1,94 + 1,12) \cdot 10^{-3} = 61 \text{ W}$$

$$\text{Pertes par conduction} : 0,8 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 155^2 = 96 \text{ W}$$

$$\text{Puissance des pertes dans le transistor} : 157 \text{ W}$$

Q65

À 1 kHz, seules changent les pertes par commutation, 20 fois moins importantes :

$$\text{Pertes par commutation} : f \cdot (E_{OFF} + E_{ON}) = 1 \cdot 10^3 \cdot (1,94 + 1,12) \cdot 10^{-3} = 3 \text{ W}$$

$$\text{Donc Puissance des pertes dans le transistor} : 99 \text{ W}$$

Q66

$$\text{Pertes par commutation à 1kHz} : f \cdot (E_{OFF} + E_{ON}) = 1 \cdot 10^3 \cdot (28 + 34) \cdot 10^{-3} = 62 \text{ W}$$

$$\text{Pertes par commutation à 20kHz} : f \cdot (E_{OFF} + E_{ON}) = 20 \cdot 10^3 \cdot (28 + 34) \cdot 10^{-3} = 1,2 \text{ kW}$$

$$\text{Pertes par conduction} : 0,8 \cdot 150 \text{ A} \cdot 1,1\text{V} = 132 \text{ W}$$

Q67

En commutant à 20 kHz, on peut avoir une commande MLI, permettant de rapprocher la tension « moyenne » (à l'échelle de la MLI) d'une sinusoïde. Les courants sont plus sinusoïdaux, on évite les pertes liées aux harmoniques du courant et de la tension. Par ailleurs, en limitant l'intensité des harmoniques de tension et de courant, on limite les perturbations CEM.

D. Commentaires du jury

L'étude était décomposée en cinq parties indépendantes permettant d'aborder l'ensemble des champs disciplinaires de l'ingénierie électrique (automatique, informatique appliquée, électronique, conversion d'énergie), en plus d'une introduction faisant appel à la physique des sciences de l'ingénieur. Chaque partie commençait par des questions accessibles à tous les candidats. Il est souvent possible de faire une des premières questions sans avoir réussi la précédente.

Le candidat ne peut être spécialiste de l'ensemble des domaines mais les meilleures copies sont celles de candidats ayant abordé l'ensemble des parties et traité en profondeur au moins 50 % du sujet (la partie B et presque l'ensemble de la partie E ou les parties B/C/D).

De façon générale, tous les candidats à l'agrégation doivent rédiger une copie soignée en respectant la langue française. Ils doivent numéroter les questions selon l'ordre du sujet et mettre en évidence les résultats.

Lorsqu'une application numérique est requise, il faut d'abord effectuer le développement littéral, puis remplacer chaque terme par sa valeur numérique avant de donner le résultat final. Chaque application numérique doit inclure les unités correspondantes.

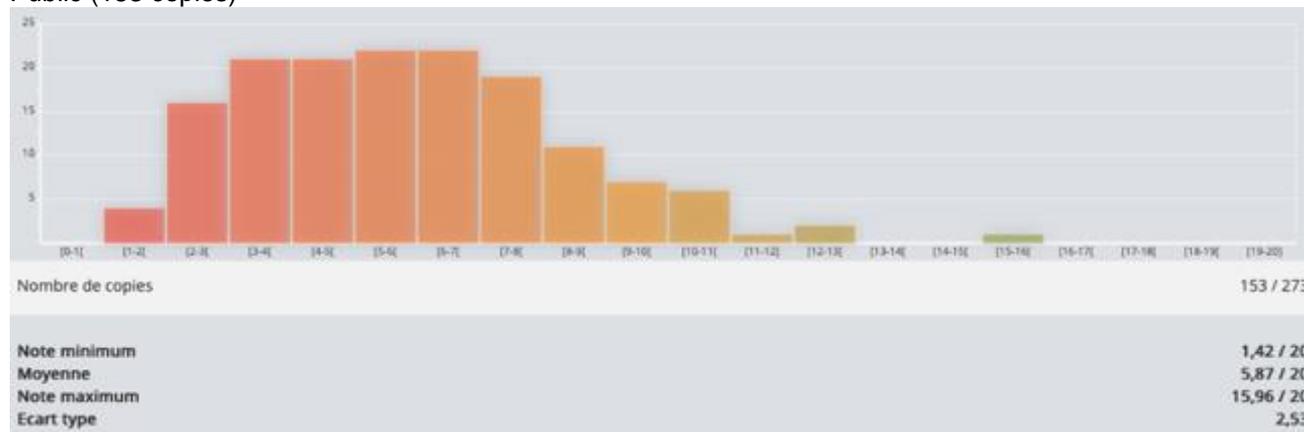
Quelques remarques associées à chaque partie :

- La partie A (aérostatique et rayon d'action) a été plutôt bien traitée. Le jury a regretté les difficultés de certains candidats à manier les unités (notamment la conversion $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- La partie B (asservissement de position) demandait la maîtrise des outils de base de l'automatique linéaire : modélisation d'un système, interprétation de diagramme de Bode en boucle ouverte et de réponses indicielles, tracé de diagrammes de Bode asymptotique, calcul de marge de phase, calculs autour de correcteurs P, PI, PID). Un travail de révision sérieux de l'automatique, domaine à l'interface des 2 options signal et énergie, aurait permis à nombre de candidats de faire mieux sur cette partie très classique.
- La partie C1 (informatique embarquée du système de contrôle de vol) étudiait successivement la liaison série, le bus I2C et le bus CAN-FD. Les calculs de durée de trame, de débit et les interprétations de chronogramme étaient accessibles aux non-spécialistes. Connaître les bus I2C et CAN est fortement recommandé pour les candidats inscrits dans l'option « systèmes d'information ».
- La partie C2 demandait la compréhension d'un code C ou python et l'écriture de 2 fonctions dans le langage choisi avec la manipulation de structures C ou objets python. Les candidats ayant traité cette partie ont pour la moitié très bien réussi. Il serait souhaitable que tous les candidats sachent programmer un minimum en C ou en python et puisse écrire quelques lignes de code comme demandé ici.
- La partie D (électronique de mise en forme du signal d'une sonde PT100) était un problème d'électronique classique avec amplification et filtrage. Une des premières questions était le calcul d'un filtre RC. 72 % des candidats ayant traité la question ont réussi... mais seulement 42 % des candidats ont traité cette question facile. Le peu de réponses justes sur le calcul du filtre de Sallen-Key (5 % des candidats), calcul très classique en électronique, souligne le manque de préparation d'une partie des candidats.
- La partie E (conversion d'énergie) a eu des résultats corrects sur les parties batteries (E2), moteur (E4) et distribution (E3). Les 2 parties un peu plus théoriques (étude de la génératrice E1 et étude de l'onduleur E5) ont eu moins de succès.

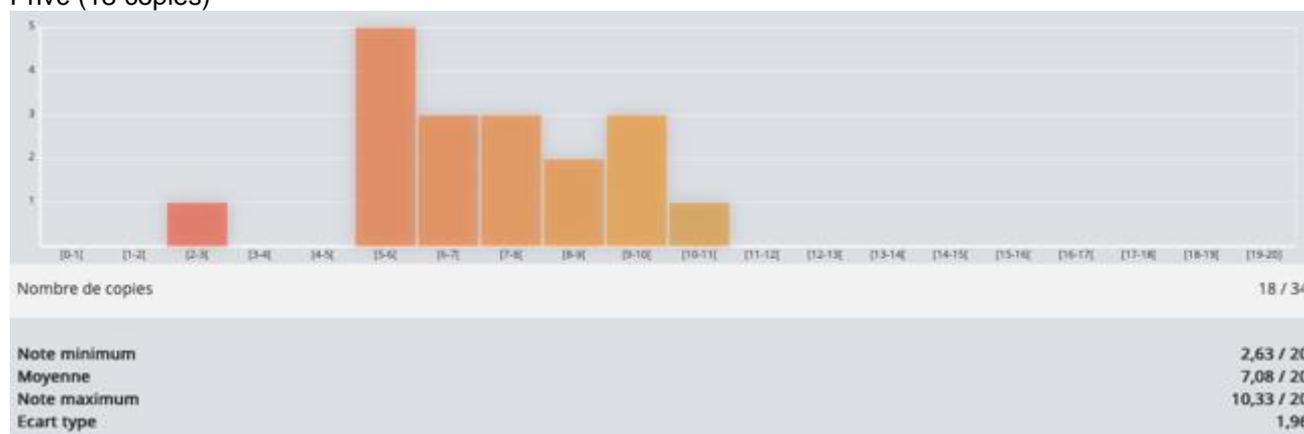
E. Résultats

Les statistiques générales pour cette épreuve sont données ci-dessous.

Public (153 copies)



Privé (18 copies)



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

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-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 première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

Le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi deux qui lui sont proposés : pour l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique : "systèmes d'information" ou "gestion de l'énergie".

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation.

La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements spécifiques liés à la spécialité du cycle terminal ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal " sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) " du lycée et à l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur, des programmes de CPGE ou des programmes de BTS et BUT relatifs aux champs couverts par l'option choisie.

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 afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- 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 des activités pratiques relatives à un système technique.

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.

B. Commentaires du jury

• Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve d'admission a pour objectif de vérifier la capacité du candidat à prendre en charge un système technique imposé et à développer des expérimentations ayant pour objectif la construction d'activités pédagogiques dans la section imposée par le sujet : STI2D, BTS (ET, CIEL ER et CIEL IR), CPGE ou BUT GEII.

Pour préparer cette épreuve, le jury recommande aux candidats qui n'exercent pas dans ces sections de se rapprocher des équipes qui y enseignent pour en maîtriser l'organisation (horaires, systèmes techniques utilisés, construction des séquences pédagogiques, modalités d'évaluation).

L'épreuve se décompose en trois phases distinctes et complémentaires :

- **Expérimentation (4h)**

Après avoir tiré au sort un sujet traitant d'une problématique liée à la spécialité choisie (gestion de l'énergie, GE ou systèmes d'information, SI), le candidat doit mener des investigations sur un objet technique imposé.

Le candidat est d'abord guidé, avec un sujet, pendant trois heures, afin de s'approprier le fonctionnement et la structure du système. Il est ensuite invité pendant l'heure suivante à poursuivre sa démarche d'investigation en explorant, s'il le souhaite, d'autres pistes d'exploitation. Afin d'anticiper l'élaboration d'une application pédagogique, il doit sauvegarder les résultats expérimentaux qui illustreront ses propositions.

Durant les trois premières heures, le candidat est suivi par les membres du jury qui le questionnent sur les protocoles expérimentaux qu'il met en œuvre, sur l'analyse des résultats obtenus et qui vérifient ses connaissances sur le thème abordé. Durant l'heure suivante, alors que le candidat doit commencer à construire ses activités pédagogiques au niveau imposé dans le sujet, les membres du jury lui apportent le soutien technique nécessaire à la mise en place des investigations qu'il souhaite réaliser.

- **Préparation de la production pédagogique (1h)**

Le candidat dispose d'une heure afin de préparer sa soutenance. Il a à disposition les documents qui lui étaient fournis lors des quatre heures d'activités pratiques et une clé USB où il a sauvegardé ses relevés expérimentaux. Il dispose d'un ordinateur équipé d'une suite bureautique classique.

- **Soutenance (1h)**

Le candidat doit présenter durant trente minutes maximum et devant une commission de jury la production pédagogique qu'il a élaborée. Trente minutes sont ensuite dédiées à l'entretien avec les membres du jury. Le candidat dispose d'un PC, d'un vidéoprojecteur et des supports numériques préparés lors des précédentes phases de cette épreuve.

• Remarques concernant la session 2025

Domaine d'activité « gestion de l'énergie »

Les supports proposés ont pour fil conducteur la performance énergétique. La modélisation ainsi que la simulation numérique tiennent une place importante dans tous les sujets proposés.

Les thématiques abordées portent sur les thématiques suivantes :

- la gestion des flux de ventilation ;
- la production d'énergie hydroélectrique ;
- la réversibilité de la chaîne d'énergie ;
- la qualité de l'énergie électrique ;
- les systèmes asservis et les modèles associés.

L'ensemble de ces thèmes et supports permettent d'évaluer un spectre étendu de compétences de l'ingénierie électrique.

Le jury a apprécié :

- la connaissance préalable des solutions d'optimisation énergétique, des problématiques liées aux harmoniques et au réglage des correcteurs ;
- de la part de plusieurs candidats, la mise en œuvre de protocoles expérimentaux pertinents et adaptés au problème posé ;
- l'autonomie de certains candidats dans l'utilisation des outils de simulation numérique et de modélisation multi-physique ;
- la maîtrise d'appareils de mesurage tels que l'analyseur de réseau d'énergie, oscilloscope numérique ;
- la capacité des candidats à rebondir suite aux aides ponctuelles apportées par le jury ;
- une exploitation pertinente des mesures obtenues.

Il faut remarquer toutefois que les bases scientifiques associées à l'électrotechnique ne sont pas toujours bien maîtrisées : décomposition en série de Fourier, notions autour des puissances entre autres. Trop de candidats ont rencontré des difficultés à s'approprier les modèles numériques proposés.

Le jury attend de la part des candidats une culture technologique solide.

Les meilleurs candidats ont été ceux qui ont su proposer un scénario pédagogique cohérent, réfléchi dès le début de la phase d'expérimentation et qui ont respecté un cahier des charges réaliste.

Domaine d'activité « systèmes d'information »

Les supports choisis dans le champ des systèmes de l'information, à la fois électronique et informatique, mettaient en œuvre des platines de prototypage rapide, des matériels, des systèmes et des logiciels permettant l'étude :

- des réseaux informatiques et de terrain ;
- de la transmission de données ;
- de la programmation en langage évolué des microcontrôleurs ;
- du câblage et de la caractérisation de fonctions analogiques, en simulation et en pratique.

Le jury a apprécié :

- la bonne volonté et l'intérêt des candidats pour les systèmes ;
- une capacité d'analyse satisfaisante permettant l'appropriation des concepts pour la plupart des candidats ;
- la bonne maîtrise des matériels de laboratoire (oscilloscope numérique moderne, GBF, analyseur de spectre) pour la plupart des candidats.

Une préparation préalable est indispensable dans les domaines suivants :

- l'utilisation des appareils d'instrumentation ;
- l'utilisation d'un logiciel de modélisation et simulation ;
- les langages de programmation (Python, C) : définition des variables, définition et appel des fonctions,...) et les outils de débogage ;
- les réseaux informatiques et des bus de communication (I2C, UART, SPI, CAN) ;
- les fonctions analogiques et numériques de la chaîne d'information : amplification, filtrage, modulation, correction numérique, traitement du signal entre autres.

Le jury regrette fortement que certains candidats ne sachent pas utiliser des fonctions usuelles de l'oscilloscope (synchronisation, mode AC/DC, déclenchement mono-coup...) ou ne possèdent des connaissances suffisantes sur les bus de communication courants (I2C et CAN).

Présentation de la production pédagogique (pour les deux domaines d'activités)

Le jury regrette qu'en majorité, les candidats n'utilisent pas les trente minutes mises à disposition pour la présentation de l'exploitation pédagogique.

Certains candidats se limitent à une description sommaire des activités expérimentales conduites en amont totalement décorrélée de l'exploitation pédagogique, alors qu'il est attendu qu'ils transfèrent ces différentes activités vers une séquence pédagogique au niveau imposé dans le sujet.

Les séquences pédagogiques sont présentées de façon superficielle.

Les modalités d'évaluation et de remédiation sont oubliées par la plupart des candidats.

Le jury conseille vivement aux candidats de s'approprier les différents référentiels ou programmes avant les épreuves.

Le jury a apprécié les prestations des candidats qui ont réellement exploité la phase expérimentale pour développer un projet pédagogique structuré comportant :

- un réinvestissement des résultats de mesures ou d'investigations spécifiques pour étayer la proposition pédagogique ;
- une description des intentions pédagogiques qui fasse apparaître les objectifs de formation en termes de compétences et de connaissances visées en lien avec les textes officiels ;
- la structure de la séquence pédagogique avec une estimation des volumes horaires des différentes séances ;
- un positionnement de la séance pédagogique dans la séquence et les prérequis attendus chez les élèves ;
- un choix justifié des stratégies pédagogiques mises en œuvre ;
- une description détaillée de la séance et de son pilotage, avec une description des activités à mener avec les étudiants ;
- une description des moyens mis en œuvre dans la classe pour conduire l'activité pratique proposée (organisation du groupe classe, mise en activité des élèves, matériel mis en œuvre, consignes données et résultats attendus, ...) ;
- des précisions sur les évaluations et les remédiations envisagées ;
- une réflexion sur la prise en compte des différents besoins des élèves au sein de la classe ;
- une conclusion.

Certains candidats ont judicieusement intégré à leur présentation pédagogique des relevés de mesures effectuées pendant les quatre heures d'activités pratiques.

Dans la phase de questionnement, le jury a particulièrement apprécié que les candidats justifient :

- les fondements scientifiques et technologiques en relation avec l'exploitation pédagogique proposée ;
- leurs choix et stratégies pédagogiques de manière claire et synthétique.

C. Résultats

	Public	Privé
Nb candidats présents	15	5
Note maximale	16,5	15
Note minimale	2	6,5
Moyenne	9,5	11,9
Écart-type	4,04	3,21

Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid98755/les-epreuves-de-l-agregation-interne-et-du-caerpa-section-sciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

Durée de la préparation : 1 heure

Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation n'excédant pas 30 minutes, entretien avec le jury : 30 minutes au maximum)

Coefficient 1

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un domaine 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 sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie. L'authenticité et l'actualité du support sont des éléments importants.

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre d'un enseignement.

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat justifiera le choix du support d'étude et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes.

Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et s'en faire préciser certains points.

Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation nationale. Les dossiers doivent être déposés au secrétariat du jury¹ cinq jours francs avant le début des épreuves d'admission.

B. Commentaires du jury

L'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et industriel et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes pour son enseignement. Le dossier doit mettre en évidence les compétences du candidat à

¹ Les dossiers ne sont plus déposés au secrétariat du jury mais transmis numériquement par l'application Cyclades.

transférer des données scientifiques et technologiques du milieu économique et industriel vers l'éducation nationale.

Le jury expertise ce dossier avant la soutenance du candidat.

La salle de l'épreuve est mise à disposition du candidat une heure avant le début de l'épreuve afin de préparer l'environnement de présentation. Les équipements mis à disposition sont : un poste informatique, un vidéoprojecteur, un tableau. Le candidat peut aussi utiliser son ordinateur portable personnel.

• **Constitution du dossier**

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique de la spécialité choisie. Son authenticité et son actualité sont des éléments incontournables qui devront s'appuyer sur des documents techniques de l'industrie, de bureau d'études, de concepteur... Le dossier préparé par le candidat ne doit pas dépasser quarante pages. Il est constitué des éléments définis ci-dessous.

Une partie dossier technique comprenant :

- une mise en évidence de l'intérêt du support au regard des enjeux sociétaux ;
- une description et un inventaire des fonctions du support d'étude justifiant sa capacité à répondre au besoin exprimé ;
- les représentations (graphiques, synoptiques) et documents techniques nécessaires à la compréhension du système technique, du contexte, des enjeux et des problématiques du client. Le cahier des charges comportant les performances attendues doit être présent ;
- l'étude d'une ou plusieurs problématiques mobilisant les connaissances scientifiques, technologiques et disciplinaires attendues d'un candidat à l'agrégation dans la spécialité choisie, s'articulant autour :
 - du développement scientifique et technique de haut niveau ;
 - de modélisation et/ou simulations lorsqu'elles sont utiles, les hypothèses devront être précisées ;
 - de mesures et d'expérimentations pertinentes effectuées sur le support ;
 - d'une validation des choix et/ou performances des principaux constituants du système ;
 - d'une analyse critique des solutions présentées.

Une partie dossier pédagogique comprenant :

- un inventaire des exploitations pédagogiques envisageables en lien avec les fonctions du support ;
- une description détaillée d'une exploitation pédagogique en lien avec une problématique étudiée.

• **Exposé et entretien**

En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, etc.), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve, ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier le fonctionnement et les évolutions potentielles.

L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité des problématiques choisies par le candidat, la capacité de ce dernier à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'elles suscitent et à en dégager les points remarquables et caractéristiques de l'option choisie. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur l'analyse scientifique et technologique développée ainsi que l'exploitation pédagogique envisagée.

La gestion du temps doit être respectée et judicieusement gérée pour présenter de façon équilibrée les aspects techniques et pédagogiques du support choisi.

Le jury conduit l'entretien dans l'objectif de vérifier que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat et se fait préciser certains points.

- **Critères d'évaluation**

Le jury évalue :

- l'authenticité et l'actualité du système choisi ;
- la justesse et le niveau des développements scientifiques et technologiques ;
- la mise en évidence de problématiques pertinentes ;
- la capacité du candidat à en faire une présentation construite, claire et objective ;
- l'identification, dans le système présenté, des points remarquables et transférables dans un enseignement ;
- la qualité des investigations conduites et la pertinence des exploitations pédagogiques retenues par rapport aux niveaux de formation choisis ;
- la description détaillée d'une exploitation pédagogique ;
- la pertinence des démarches pédagogiques choisies et présentées ;
- l'adaptation pédagogique des documents et la pertinence des outils utilisés par les élèves ;
- la mise en situation et le pilotage des activités dans la classe ;
- la qualité du dossier élaboré par le candidat.

- **Remarques concernant la session 2025**

Les points décrits ci-dessous ont été valorisés par le jury.

- Présentation :
 - la présentation est organisée, le candidat expose clairement son propos en s'adressant au jury de façon détachée vis-à-vis du texte ou du support de présentation ;
 - le niveau de langage et la présentation du candidat sont irréprochables.
- Partie dossier technique :
 - le dossier fait référence à un support industriel ou du domaine du grand public parfaitement maîtrisé et analysé. La complexité est suffisante pour envisager l'analyse scientifique et technologique au niveau du concours de l'agrégation ;
 - le candidat a rencontré les concepteurs ou les responsables techniques et a su identifier les problématiques technologiques réelles du support industriel ;
 - l'analyse du support a été conduite avec précision sans élément inutile. Elle est étayée de développements scientifiques et de modélisations et simulations numériques. Les choix technologiques sont analysés et discutés.
- Partie dossier pédagogique :
 - la cohérence du niveau d'enseignement proposé pour l'exploitation pédagogique avec le niveau scientifique des études développées dans le dossier ;
 - les problématiques étudiées et exploitées au niveau pédagogique sont en relation avec les éléments essentiels de l'analyse du support retenu ;
 - les objectifs pédagogiques sont explicités, organisés et font clairement apparaître les compétences visées ;
 - le dossier comporte une ou des séquences pédagogiques complètement développées (avec les documents à transmettre aux élèves, la préparation du professeur, les dossiers annexes) ;
 - la ou les séquences développées sont contextualisées au sein d'une progression annuelle ;
 - les objectifs, les contenus et les modalités des évaluations sont précisés ;
 - les stratégies pédagogiques sont clairement explicitées ;
 - le travail attendu des élèves est clairement présenté ;

- le candidat qui a expérimenté les propositions pédagogiques présentées, ou qui a rencontré des professeurs qui enseignent dans les classes retenues pour ces propositions.

Pour les candidats n'ayant pas correctement réussi cette épreuve, le jury a constaté les insuffisances détaillées ci-dessous :

- Partie dossier technique :
 - un niveau scientifique et technologique correspondant davantage à celui d'un CAPET que d'une agrégation ;
 - l'absence du cahier des charges industriel original ;
 - l'absence de données scientifiques et techniques liées au système ;
 - le choix d'un système déjà didactisé par une entreprise spécialisée alors qu'il est attendu du candidat qu'il effectue lui-même ce transfert du produit industrialisé vers une application pédagogique ;
 - la reprise d'une tâche développée par des lycéens en projet ou par des étudiants dans le cadre des épreuves professionnelles de synthèse ;
 - une étude technique réduite à une compilation de documents, ne proposant que peu d'analyses scientifiques et technologiques des solutions retenues par le concepteur ;
 - le manque d'analyse critique des performances et des écarts observés ;
 - l'obsolescence des systèmes choisis, ou des supports insuffisamment riches sur les plans scientifiques et technologiques ;
 - une présentation du système se limitant à une représentation SysML ;
 - l'absence de description fonctionnelle et/ou structurelle du support ;
 - une lisibilité insuffisante des documents fournis ;
 - un manque d'initiative et de curiosité scientifique ;
 - un manque de maîtrise des différents champs scientifiques et technologiques abordés ;
 - des études qui ne concernent que le champ technologique lié à l'option du concours alors que d'autres problématiques davantage transversales seraient intéressantes à développer ;
 - un manque d'analyse critique des performances du support au regard des problématiques étudiées, notamment en s'appuyant sur les valeurs de grandeurs mesurées ou obtenues à l'aide de simulations numériques.
- Partie dossier pédagogique :
 - une partie pédagogique réduite à quelques intentions « génériques » ne permettant pas d'explicitier de réels choix pédagogiques ;
 - une réflexion pédagogique succincte sur différentes applications pédagogiques possibles plutôt qu'une réflexion aboutie sur une seule séquence ;
 - les démarches d'élaboration des modèles de simulation largement décrits dans le dossier mais exploitées lors des développements pédagogiques ;
 - l'éloignement de l'exploitation pédagogique par rapport aux problématiques abordées avec le support industriel choisi.

Les candidats doivent apporter une attention particulière à la préparation de cette épreuve. L'élaboration d'un dossier répondant aux attentes du jury demande plusieurs mois. Elle doit donc être largement anticipée et ne peut pas être raisonnablement prévue entre les épreuves d'admissibilité et les épreuves d'admission.

C. Résultats

	Public	Privé
Nb candidats présents	15	5
Note maximale	19	18
Note minimale	2	7
Moyenne	9,63	10,8
Écart-type	4,79	4,32

Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité du candidat à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...);
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

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.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier. L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multi physiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Cette déontologie professionnelle suppose au moins l'appropriation par le candidat des ressources et textes suivants :

- les droits et obligations du fonctionnaire présentés sur le portail de la fonction publique : <https://www.fonction-publique.gouv.fr/droits-et-obligations>
- les articles L 111-1 à L 111-4 et l'article L 442-1 du [code de l'Education](#).
- le vade-mecum "la laïcité à l'École" : <https://eduscol.education.fr/1618/la-laicite-l-ecole>
- le vade-mecum "agir contre le racisme et l'antisémitisme" : <https://eduscol.education.fr/1720/agir-contre-le-racisme-et-l-antisemitisme>
- "Qu'est-ce que la laïcité ?" Une introduction par le Conseil des Sages de la laïcité - Janvier 2021. Téléchargeable sur <https://www.education.gouv.fr/le-conseil-des-sages-de-la-laicite-41537>
- le parcours magistère "faire vivre les valeurs de la République" : <https://magistere.education.fr/f959>
- "Que sont les principes républicains ?" Une contribution du Conseil des sages de la laïcité - Juin 2021. Téléchargeable sur <https://www.education.gouv.fr/le-conseil-des-sages-de-la-laicite-41537>
- "La République à l'École", Inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche »
- le site IH2EF : <https://www.ih2ef.gouv.fr/laicite-et-services-publics>