



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
ET DE LA JEUNESSE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du Jury

Concours : CAPET-CAFEP externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie mécanique

Session 2022

Rapport de jury présenté par : Pascale COSTA, Inspectrice Générale de l'Education nationale, du Sports et de la recherche.
Présidente du jury

Sommaire

Avant-propos	3
Remerciements	4
Résultats statistiques	5
Épreuve écrite disciplinaire.....	6
A. Présentation de l'épreuve	6
B. Sujet	6
C. Éléments de correction	7
D. Commentaires du jury	31
E. Résultats	33
Épreuve écrite disciplinaire appliquée.....	34
A. Présentation de l'épreuve	34
B. Sujet	34
C. Éléments de correction	35
D. Commentaires du jury	42
E. Résultats	44
Épreuve de leçon.....	45
A. Présentation de l'épreuve	45
B. Déroulement de l'épreuve	45
C. Commentaires du jury	48
D. Résultats	52
Épreuve d'entretien	53
A. Présentation de l'épreuve	53
B. Déroulement de l'épreuve	53
C. Commentaires du jury	54
D. Ressources mobilisables	56
E. Résultats	56

Avant-propos

À compter de la session 2022, les épreuves de ce concours sont modifiées :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid158866/epreuves-capet-externe-cafep-capet-sii.html>

Les attentes du concours du Capet et du Cafep de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) sont définies par l'arrêté du 25 janvier 2021 qui en fixe l'organisation. Les concours de recrutement d'enseignants n'ont pas pour seul objectif de valider les compétences scientifiques et technologiques des candidats ; ils doivent aussi valider les compétences professionnelles qui sont souhaitées par l'État employeur qui recrute des professeurs. L'excellence scientifique et la maîtrise disciplinaire sont indispensables pour présenter le concours, mais pour le réussir, les candidats doivent aussi faire preuve de qualités didactiques et pédagogiques et de bonnes aptitudes à communiquer.

Les deux épreuves d'admissibilité sont construites de manière à évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques : la première épreuve intitulée « épreuve disciplinaire » est spécifique à l'option choisie lors de l'inscription (option ingénierie des constructions, option ingénierie électrique, option ingénierie informatique et option ingénierie mécanique), la seconde intitulée « épreuve écrite disciplinaire appliquée » est commune aux quatre options.

Les deux épreuves d'admission sont complémentaires des épreuves d'admissibilité. La première épreuve, intitulée « leçon » est spécifique à l'option ; elle a pour objet la conception et l'animation d'une séance d'enseignement dans l'option choisie. Elle permet d'apprécier à la fois la maîtrise disciplinaire, la maîtrise de compétences pédagogiques et de compétences pratiques ainsi que la capacité du candidat à réfléchir aux enjeux scientifiques, technologiques, didactiques, épistémologiques, culturels et sociétaux que revêt l'enseignement du champ disciplinaire du concours. L'évaluation de cette épreuve s'appuie sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (publié au BOEN du 25 juillet 2013). La seconde épreuve, intitulée « entretien » porte sur la motivation du candidat et son aptitude à se projeter dans le métier de professeur au sein du service public de l'éducation ; sa définition est commune à l'ensemble des concours externe de recrutement d'enseignants.

Ces épreuves d'admission, dont le coefficient total est le double de celui des épreuves d'admissibilité, ont eu une influence significative sur le classement final.

Les candidats et leurs formateurs sont invités à lire avec application les commentaires et conseils donnés dans ce rapport et dans ceux des sessions antérieures afin de bien appréhender les compétences ciblées. La préparation à ces épreuves commence dès l'inscription au concours.

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

Dans toutes les épreuves, le jury attend des candidats une expression écrite et orale irréprochable. Le Capet/Cafep est un concours exigeant qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation exemplaires. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue adaptée aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

70 postes étaient proposés pour la session 2022 de ce concours externe public et 3 postes pour le privé. Il a été impossible de pourvoir tous les postes pour le public : seuls 38 candidats ont été admis. Deux candidats ont été admis sur liste complémentaire pour le privé.

Si globalement, les candidats présents à cette session d'admission étaient bien préparés, l'admission n'a pu être prononcée pour ceux dont les prestations n'ont pas donné la garantie qu'ils étaient aptes à embrasser la carrière de professeur de sciences industrielles de l'ingénieur. Cela est regrettable dans la mesure où les besoins dans les établissements scolaires sont importants.

Pour conclure cet avant-propos, le jury souhaite que ce rapport soit une aide efficace aux futurs candidats. Tous sont invités à se l'approprier par une lecture attentive.

Remerciements

Le lycée Roosevelt de Reims a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2022 des quatre options du Capet/Cafep externe section sciences industrielles de l'ingénieur.

Les membres du jury tiennent à remercier le proviseur du lycée et son adjointe, 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

CAPET externe public :

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	83	368	154	123	97	73
2020	85	253	121	105	85	64
2021	81	265	112	94	62	50
2022	70	189	79	65	51	38

CAFEP CAPET privé :

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	3	83	37	7	6	3
2020	4	61	26	9	9	4
2021	3	64	28	9	9	3
2022	3	55	26	9	7	3

* 2 candidat admis sur liste complémentaire

Statistiques obtenues à l'admissibilité et à l'admission à la session 2022 :

		CAPET (public)	CAFEP (privé)
Admissibilité	Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	16,45	16
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	5,61	12,05
	Moyenne des candidats non éliminés	10,03	10,46
	Moyenne des candidats admissibles	10,03	13,61
Admission	Moyenne obtenue par le premier candidat admis	17,69	17,36
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	8,08	15,64 (14,17 avec la liste complémentaire)
	Moyenne des candidats présents	10,79	14,96
	Moyenne des candidats admis	12,29	16,43 (14,45 avec la liste complémentaire)

Épreuve écrite disciplinaire

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures

Coefficient 2

L'épreuve, spécifique à l'option choisie, porte sur l'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.

Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable, à partir de l'exploitation d'un dossier technique remis par le jury, 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.

L'épreuve est notée sur 20. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire.

B. Sujet

L'utilisation des drones est aujourd'hui très répandue que ce soit pour des applications professionnelles ou ludiques. Afin d'élargir leur domaine d'application à des fonctions ou des environnements plus exigeants, la société DIODON basée à Toulouse a développé deux modèles innovants de drone gonflable étanche et tout-terrain. Le support de ce sujet d'admissibilité est le modèle HP30, un micro-drone d'un peu plus de 2 kg adapté aux missions de sécurité et d'inspection en environnement maritime ou lacustre.

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

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capet_externe/87/4/s2022_capet_externe_sii_mecanique_1_1424874.pdf



C. Éléments de correction

Question 1 – Masse m_s du drone complet.

La masse totale du drone résulte de la somme des masses de tous les éléments qui le composent.
D'où :

$$\begin{aligned} m_s &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \\ &= 1,2 + 0,2 + 0,8 + 0,3 \end{aligned}$$

Finalement :

$$\boxed{m_s = 2,3 \text{ kg}}$$

Question 2 – Détermination des coordonnées y_s et z_s .

Par définition du centre de masse, le point G_s est le barycentre des centres de masse pondérés (G_1, m_1) , (G_2, m_2) , (G_3, m_3) et (G_4, m_4) .

D'où pour tout point O :

$$(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \overrightarrow{OG_s} = m_1 \overrightarrow{OG_1} + m_2 \overrightarrow{OG_2} + m_3 \overrightarrow{OG_3} + m_4 \overrightarrow{OG_4}$$

En prenant $O = G_1$, on obtient :

$$\underbrace{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)}_{m_s} \overrightarrow{G_1 G_s} = m_2 \overrightarrow{G_1 G_2} + m_3 \overrightarrow{G_1 G_3} + m_4 \overrightarrow{G_1 G_4}$$

D'où :

$$\overrightarrow{G_1 G_s} = \frac{1}{m_s} (m_2 \overrightarrow{G_1 G_2} + m_3 \overrightarrow{G_1 G_3} + m_4 \overrightarrow{G_1 G_4}) \quad (1)$$

Par projection de la relation vectorielle (1) sur la direction \vec{y}_1 , on obtient :

$$\boxed{y_s = \frac{1}{m_s} (m_2 y_2 + m_3 y_3 + m_4 y_4)}$$

De même, par projection de la relation vectorielle (1) sur la direction \vec{z}_1 , on obtient :

$$\boxed{z_s = \frac{1}{m_s} (m_2 z_2 + m_3 z_3 + m_4 z_4)}$$

Application numérique :

$$\begin{pmatrix} y_2 = 0 \text{ mm} \\ y_3 = 0 \text{ mm} \\ y_4 = 0 \text{ mm} \end{pmatrix} \Rightarrow \boxed{y_s = 0 \text{ mm}} \quad \begin{pmatrix} z_2 = 30 \text{ mm} \\ z_3 = 30 \text{ mm} \\ z_4 = 40 \text{ mm} \end{pmatrix} \Rightarrow \boxed{z_s = +16,8 \text{ mm}}$$

Question 3 – Expression littérale et valeur numérique de x_s^* .

Par projection de la relation vectorielle (1) sur la direction \vec{x}_1 , on obtient :

$$x_s = \frac{1}{m_s} (m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4)$$

Pour respecter la condition d'équilibrage – G_s situé sur l'axe de lacet (G_1, \vec{z}_1) – il faut et il suffit que :

$$x_s = 0 \text{ mm} \quad y_s = 0 \text{ mm}$$

La seconde contrainte étant d'ors et déjà acquise, la position longitudinale de la batterie doit permettre de vérifier la première.

On doit donc avoir :

$$x_3 = x_3^* \Rightarrow x_s = 0$$

D'où :

$$0 = \frac{1}{m_s} (m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4)$$

On en déduit :

$$x_3^* = -\frac{m_2}{m_3} x_2 - \frac{m_4}{m_3} x_4$$

Application numérique :

$$x_3^* = -\frac{0,2}{0,8}(-260) - \frac{0,3}{0,8}(250) \Rightarrow x_3^* = -28,75 \text{ mm}$$

Question 4 – Amplitude de la variation de masse Δm_4 en fonction de l'amplitude de la variation de position de la batterie Δx .

Sur la courbe de la figure 1, on place les deux abscisses :

$$\delta x = -\frac{\Delta x}{2} = -5 \text{ mm} \quad \delta x = +\frac{\Delta x}{2} = +5 \text{ mm}$$

L'écart entre les deux ordonnées correspondantes fournit la valeur de Δm_4 demandée :

$$\Delta m_4 = 0,032 \text{ kg}$$

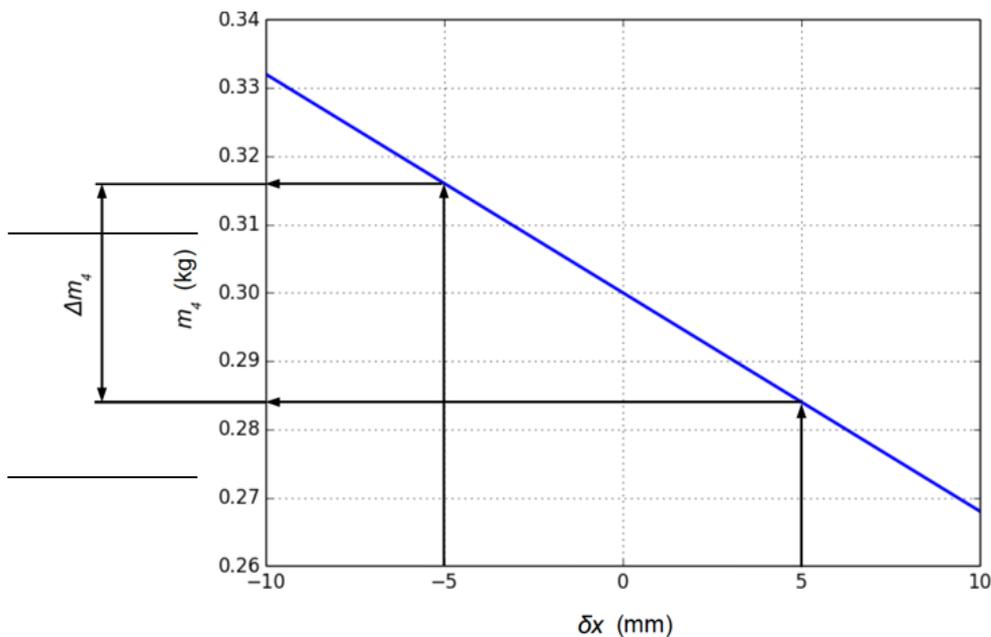


Figure 1 : relation entre la variation δx et la masse m_4 sous condition d'équilibrage

Conclusion : la masse de la charge utile peut varier de $\pm 0,016$ kg autour de la masse initiale de la caméra sans remettre en cause l'équilibrage.

En pourcentage, cela représente une variation de :

$$\pm \frac{0,016}{0,3} = \pm 5,3\%$$

L'écart calculé est suffisamment important pour considérer que le principe de la variation de la coordonnée x_3 présente un intérêt fonctionnel, à condition que sa mise en œuvre reste techniquement raisonnable. Toutefois, la plage de variation de $\pm 5,3\%$ offerte par la possibilité de moduler la position longitudinale de la batterie ne permet pas de couvrir la plage visée de $\pm 10\%$ indiquée dans l'exigence 1.2. Cette solution technique n'est donc pas complètement satisfaisante et doit être approfondie.

Question 5 – Justification de la forme en V de la structure gonflable.

La forme en V des flotteurs présente deux intérêts principaux :

- **surélever les moteurs et hélices** pour minimiser le risque de contact avec l'eau ;
- **minimiser l'effet d'adhérence** lorsque le drone décolle de l'eau.

Question 6 – Justification de l'expression de la poussée d'Archimède.

Par définition, la poussée d'Archimède s'oppose au poids du volume d'eau déplacé par le drone immergé. Sachant que ce volume est égal à V_{im} , sa masse est :

$$m_e = \rho_e V_{im}$$

D'où le poids du volume d'eau déplacé :

$$\vec{P}_e = m_e \vec{g} = -\rho_e V_{im} g \vec{z}_0$$

De :

$$\vec{P}_A = -\vec{P}_e$$

on déduit :

$$\boxed{\vec{P}_A = \rho_e V_{im} g \vec{z}_0}$$

Position du centre de poussée C : le drone est en équilibre par rapport au sol dont le référentiel associé est supposé galiléen. Il est soumis à l'action exclusive de deux glisseurs :

$$\left\{ T(Pes \rightarrow S) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Pes \rightarrow S) = -m_s g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\} \quad \left\{ T(Eau \rightarrow S) \right\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Eau \rightarrow S) = \rho_e V_{im} g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

L'application du *théorème du moment statique* en G_s se traduit par :

$$\vec{M}_{G_s}(Pes \rightarrow S) + \vec{M}_{G_s}(Eau \rightarrow S) = \vec{0}$$

Soit :

$$\vec{0} + \underbrace{\vec{M}_C(Eau \rightarrow S)}_{\vec{0}} + \overline{G_s C} \wedge \vec{R}(Eau \rightarrow S) = \vec{0}$$

On en déduit que $\overline{G_s C}$ est nécessairement colinéaire à $\vec{R}(Eau \rightarrow S) = \rho_e V_{im} g \vec{z}_0$.

Ainsi, $\overline{CG_s}$ est effectivement colinéaire à \vec{z}_0 .

Remarque : il est également possible d'arguer de l'équilibre du drone sous l'action exclusive de deux forces – son poids et la poussée d'Archimède – pour déduire que ces deux forces sont *directement* opposées, donc portées par le même support : la droite (CG_s) . Cette droite est donc elle-même de direction \vec{z}_0 .

Question 7 – Situation la plus défavorable pour la flottaison.

La situation la plus défavorable pour la flottaison est celle qui rapproche les moteurs de la surface de l'eau. Par conséquent, sachant qu'à l'équilibre la poussée d'Archimède $\vec{P}_A = \rho_e V_{im} g \vec{z}_0$ compense de toute façon le poids du drone, si la masse volumique de l'eau est minimisée, le volume immergé doit être supérieur. Cela amène le drone à être davantage enfoncé dans l'eau, ce qui n'est pas souhaitable par rapport au risque d'immersion des moteurs. On en déduit que **la situation la plus la plus défavorable pour la flottaison est celle où le drone est posé sur l'eau douce.**

Question 8 – Calcul du volume immergé puis de la hauteur immergée pour assurer l'équilibre dans l'eau douce du drone à vide.

On isole le drone à vide supposé en équilibre dans le référentiel galiléen associé au sol. Il est soumis aux actions mécaniques extérieures suivantes :

$$\{T(Pes \rightarrow 1)\}_G = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Pes \rightarrow 1) = -m_1 g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\} \quad \{T(Eau \rightarrow 1)\}_C = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Eau \rightarrow 1) = \rho_{ed} V_{im} g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

L'application du *théorème de la résultante statique* en projection sur \vec{z}_0 conduit à :

$$-m_1 g + \rho_{ed} V_{im} g = 0$$

D'où :

$$V_{im} = \frac{m_1}{\rho_{ed}}$$

Application numérique :

$$V_{im} = \frac{1,2}{985} = 1,218 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,218 \text{ dm}^3 = 1,218 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

Grâce à la figure 2, on en déduit la hauteur immergée correspondante :

$$h_{im} = 43 \text{ mm}$$

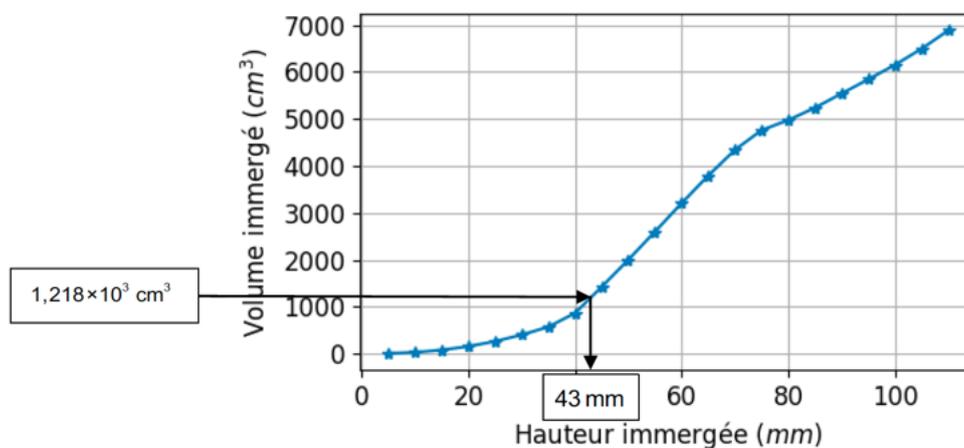


Figure 2 : volume immergé évalué à partir d'un modèle 3D

Question 9 – Calcul de la hauteur immergée maximale effective en toute condition de houle.

Pour limiter l'effet de la houle sur le risque d'immersion des moteurs, on choisit de réduire d'un tiers la hauteur immergée maximale. Ainsi, celle-ci passe de 100 mm à la valeur effective suivante :

$$h_{max} = 100 - \frac{100}{3} \Rightarrow h_{max} = 66,7 \text{ mm}$$

Question 10 – Masse du drone équipé correspondant à la hauteur immergée maximale effective.

Grâce à la figure 3, on déduit le volume immergé correspondant la hauteur immergée maximale effective déterminée à la question précédente :

$$(V_{im})_{max} = 4000 \text{ cm}^3 = 4000 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

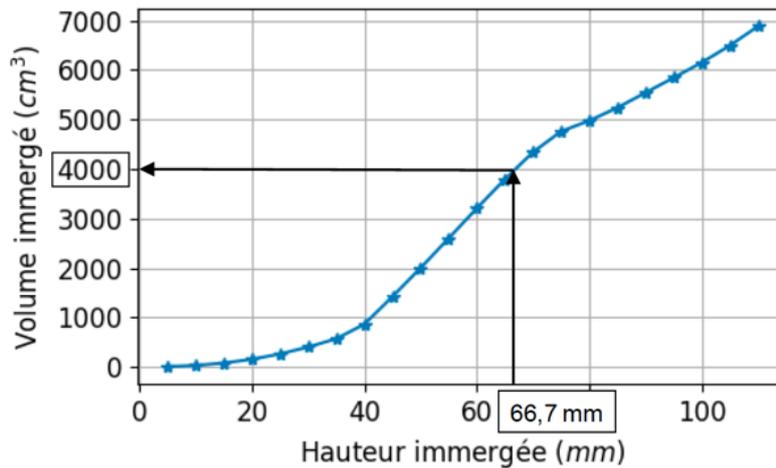


Figure 3 : volume immergé évalué à partir d'un modèle 3D

La masse maximale du drone $m_{S_{max}}$ assurant l'équilibre vérifie la relation du théorème de la résultante statique :

$$-m_{S_{max}}g + \rho_{ed}(V_{im})_{max}g = 0$$

Soit :

$$m_{S_{max}} = \rho_{ed}(V_{im})_{max}$$

Application numérique :

$$m_{S_{max}} = 985 \times 0,004 = 3,94 \text{ kg}$$

Question 11 – Valeur numérique de la masse maximale autorisée de la charge utile.

La masse maximale autorisée de la charge utile $m_{4_{max}}$ vérifie :

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_{4_{max}} = m_{S_{max}}$$

D'où :

$$m_{4_{max}} = m_{S_{max}} - m_1 - m_2 - m_3$$

Application numérique :

$$m_{4_{max}} = 3,94 - 1,2 - 0,2 - 0,8 \Rightarrow m_{4_{max}} = 1,74 \text{ kg}$$

Question 12 – Aspect prépondérant pour assurer le respect de l'exigence 1.2.

L'exigence 1.2 stipule que la charge utile a pour masse 300 g +/- 10% ; soit une masse maximale de 330 g. Cette valeur est largement inférieure à la masse maximale de la charge utile identifiée dans l'analyse des conditions de flottabilité. Par conséquent, c'est sur **l'équilibrage que repose essentiellement le respect de l'exigence 1.2.**

Question 13 – Expression en G_s du torseur $\{T(Air \rightarrow H_1)\}$.

D'après l'énoncé :

$$\{T(Air \rightarrow H_1)\}_{O_1} = \begin{Bmatrix} \vec{R}(Air \rightarrow H_1) \\ \vec{M}_{O_1}(Air \rightarrow H_1) \end{Bmatrix}_{O_1} = \begin{Bmatrix} T_1 \vec{z}_s \\ C_1 \vec{z}_s \end{Bmatrix}$$

Par la relation de transport des torseurs, on peut écrire que :

$$\{T(Air \rightarrow H_1)\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} \vec{R}(Air \rightarrow H_1) \\ \vec{M}_{G_s}(Air \rightarrow H_1) \end{Bmatrix}$$

avec :

$$\vec{M}_{G_s}(Air \rightarrow H_1) = \vec{M}_{O_1}(Air \rightarrow H_1) + \overrightarrow{G_s O_1} \wedge \vec{R}(Air \rightarrow H_1)$$

La figure 14 de l'énoncé permet d'identifier l'expression du vecteur $\overrightarrow{G_s O_1}$:

$$\vec{G}_s \vec{O}_1 = \frac{L_x}{2} \vec{x}_s + \frac{L_y}{2} \vec{y}_s + L_z \vec{z}_s$$

D'où :

$$\begin{aligned} \vec{M}_{G_s} (Air \rightarrow H_1) &= C_1 \vec{z} + \left(\frac{L_x}{2} \vec{x} + \frac{L_y}{2} \vec{y} + L_z \vec{z} \right) \wedge (T_1 \vec{z}) \\ &= C_1 \vec{z} - \frac{L_x}{2} T_1 \vec{y} + \frac{L_y}{2} T_1 \vec{x} \end{aligned}$$

Finalement :

$$\left\{ T(Air \rightarrow H_1) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} T_1 \vec{z} \\ \frac{L_y}{2} T_1 \vec{x} - \frac{L_x}{2} T_1 \vec{y} + C_1 \vec{z} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & \frac{L_y}{2} T_1 \\ 0 & -\frac{L_x}{2} T_1 \\ T_1 & C_1 \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Par extrapolation des résultats de la question précédente, sachant que :

$$\vec{G}_s \vec{O}_2 = \frac{L_x}{2} \vec{x}_s - \frac{L_y}{2} \vec{y}_s + L_z \vec{z}_s \quad \vec{G}_s \vec{O}_3 = -\frac{L_x}{2} \vec{x}_s + \frac{L_y}{2} \vec{y}_s + L_z \vec{z}_s \quad \vec{G}_s \vec{O}_4 = -\frac{L_x}{2} \vec{x}_s - \frac{L_y}{2} \vec{y}_s + L_z \vec{z}_s$$

on déduit :

$$\left\{ T(Air \rightarrow H_2) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} T_2 \vec{z}_s \\ -\frac{L_y}{2} T_2 \vec{x}_s - \frac{L_x}{2} T_2 \vec{y}_s + C_2 \vec{z}_s \end{array} \right\}$$

$$\left\{ T(Air \rightarrow H_3) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} T_3 \vec{z}_s \\ \frac{L_y}{2} T_3 \vec{x}_s + \frac{L_x}{2} T_3 \vec{y}_s + C_3 \vec{z}_s \end{array} \right\}$$

$$\left\{ T(Air \rightarrow H_4) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} T_4 \vec{z}_s \\ -\frac{L_y}{2} T_4 \vec{x}_s + \frac{L_x}{2} T_4 \vec{y}_s + C_4 \vec{z}_s \end{array} \right\}$$

Question 14 – Expression en G_s du torseur $\{T(Air \rightarrow H_k)\}$.

Puisque :

$$\{T(Air \rightarrow S)\} = \sum_{k=1}^4 \{T(Air \rightarrow H_k)\}$$

on obtient :

$$\{T(Air \rightarrow S)\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \vec{z}_s \\ \frac{L_y}{2} (T_1 - T_2 + T_3 - T_4) \vec{x}_s + \frac{L_x}{2} (-T_1 - T_2 + T_3 + T_4) \vec{y}_s + (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \vec{z}_s \end{array} \right\}$$

Par conséquent, le torseur $\{T(Air \rightarrow S)\}$ est bien sous la forme :

$$\left\{ T(Air \rightarrow S) \right\}_{G_s} = \left\{ \begin{array}{c} P \vec{z} \\ C_R \vec{x} + C_T \vec{y} + C_L \vec{z} \end{array} \right\}$$

avec :

$$P = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$$

$$C_R = \frac{L_y}{2}(T_1 - T_2 + T_3 - T_4)$$

$$C_T = \frac{L_x}{2}(-T_1 - T_2 + T_3 + T_4)$$

$$C_L = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

Question 15 – Représentation des actions mécaniques de l'air sur H_1 , H_3 et H_4 et expressions des composantes P , C_R , C_T et C_L .

Dans le cadre des hypothèses simplificatrices numéro 3 et numéro 4 de l'énoncé, les quatre moteurs tournent à la même vitesse. Par conséquent, les quatre hélices produisent toutes la même traction et les composantes de moment sont égales en norme pour les 4 hélices, négatives pour H_1 et H_4 , positives pour H_2 et H_3 :

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = K_T \omega_0^2 \quad C_1 = C_4 = -K_C \omega_0^2 \quad C_2 = C_3 = K_C \omega_0^2$$

D'où le tracé de la figure 4.

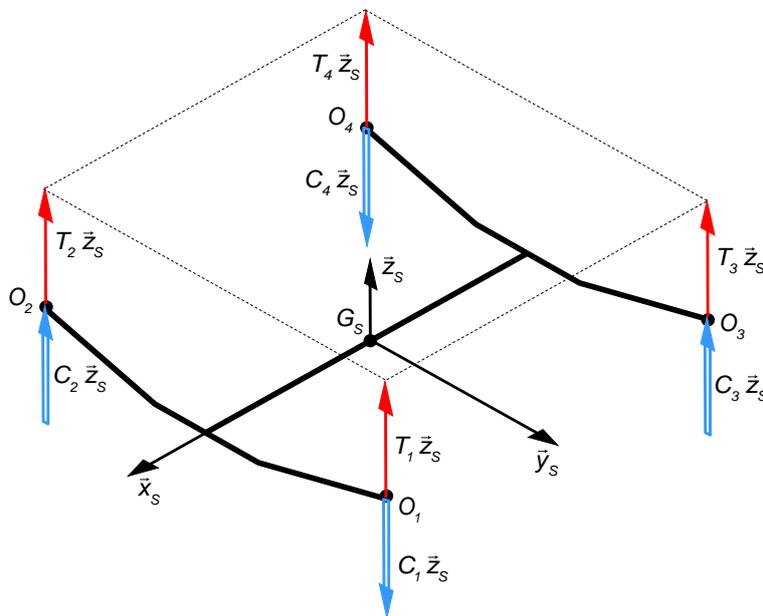


Figure 4 : représentation des actions mécaniques au niveau des hélices H_1 , H_3 et H_4

La seconde partie de la réponse à cette question peut s'appuyer sur le résultat de la question précédente ou procéder d'une approche plus intuitive sur la base de la représentation de la figure 4.

Ainsi, on obtient :

$$P = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 4 K_T \omega_0^2$$

$$C_R = 0 \quad C_T = 0 \quad C_L = 0$$

Question 16 – Représentation des actions mécaniques exercées par l'air sur les quatre hélices.

Dans le cadre de l'hypothèse 5 de l'énoncé, les quatre moteurs sont supposés pouvoir tourner à des vitesses différentes de manière à ce que l'action globale de l'air sur le drone soit telle que :

$$P > 0 \quad C_T = 0 \quad C_R = 0 \quad C_L > 0$$

Alors, les quatre tractions, qui sont telles que :

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 > 0$$

doivent en outre n'engendrer ni moment de tangage, ni moment de roulis. Pour ce faire, il est nécessaire qu'elles soient égales pour les hélices diamétralement opposées. Par voie de conséquence, les composantes de moment sont aussi égales pour les hélices diamétralement opposées, et d'après l'hypothèse 3, négatives pour H_1 et H_4 , positives pour H_2 et H_3 .

On en déduit le tracé de la figure 5.

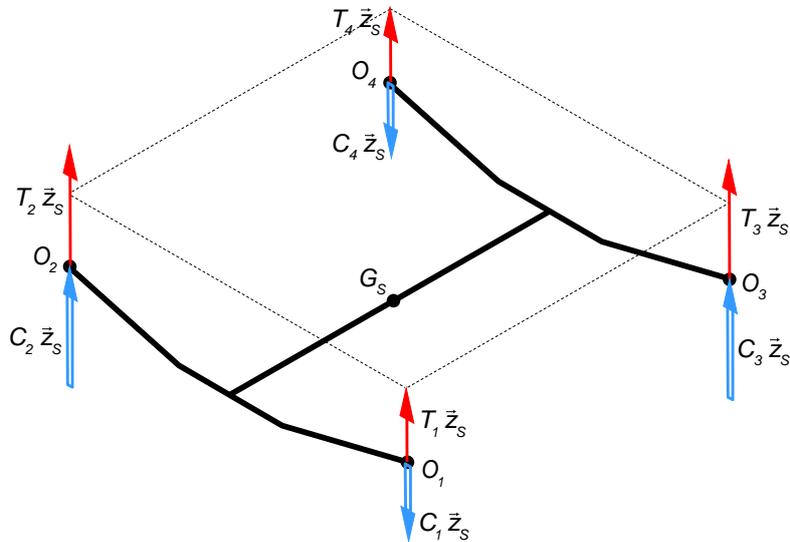


Figure 5 : représentation des actions mécaniques au niveau des quatre hélices

Question 17 – Nature du mouvement du drone et relations entre les quatre vitesses de rotation.

Sachant que le torseur de l'action motrice de l'air sur le drone est la forme :

$$\{T(Air \rightarrow S)\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} P \vec{z}_s \\ C_L \vec{z}_s \end{Bmatrix}$$

avec :

$$P > 0 \quad C_L > 0$$

on peut en conclure que le mouvement du drone sous le seul effet de cette action mécanique est un **mouvement hélicoïdal d'axe** ($G_s \vec{z}_s$).

Du tracé de la figure 5, on déduit que les hélices diagonalement opposées doivent tourner à la *même* vitesse.

Soit :

$$\boxed{\omega_1 = \omega_4} \quad \boxed{\omega_2 = \omega_3}$$

D'autre part, pour que le couple de lacet soit *strictement positif*, il faut que les hélices H_2, H_3 tournent plus vite (en valeur absolue) que les hélices H_1 et H_4 .

Soit :

$$\boxed{(|\omega_2| = |\omega_3|) > (\omega_1 = \omega_4)}$$

Question 18 – Principe fondamental de la statique pour établir l'expression littérale puis la valeur numérique de la traction T_0 assurant la pérennité du vol stationnaire.

L'application du théorème de la résultante statique au drone supposé en équilibre par rapport au sol permet d'écrire que :

$$\vec{R}(Air \rightarrow S) + \vec{R}(Pes \rightarrow S) = \vec{0}$$

Soit :

$$P \vec{z}_s - m_s g \vec{z}_o = \vec{0}$$

Puisqu'ici $\vec{z}_s = \vec{z}_0$, on obtient :

$$P - m_s g = 0$$

Soit :

$$P = m_s g$$

Les quatre hélices étant supposées tourner à la même vitesse, elles produisent toutes la même traction.
D'où :

$$P = 4 \times T_0$$

Soit :

$$T_0 = \frac{P}{4}$$

Finalement :

$$T_0 = \frac{m_s g}{4}$$

Application numérique :

$$T_0 = \frac{2,5 \times 9,81}{4} = 6,13 \text{ N}$$

Question 19 – Relation $\beta = f(\varphi, \theta)$.

Sachant que β est l'angle orienté du vecteur \vec{z}_0 vers le vecteur \vec{z}_s , on a :

$$\vec{z}_s \cdot \vec{z}_0 = \cos \beta$$

Par ailleurs :

$$\begin{aligned} \vec{z}_s &= \cos \varphi \vec{z}_\theta - \sin \varphi \vec{y}_\theta \\ &= \cos \varphi (\cos \theta \vec{z}_\psi + \sin \theta \vec{x}_\psi) - \sin \varphi \vec{y}_\psi \\ &= \cos \varphi \sin \theta \vec{x}_\psi - \sin \varphi \vec{y}_\psi + \cos \varphi \cos \theta \vec{z}_\psi \end{aligned}$$

Et :

$$\vec{z}_0 = \vec{z}_\psi$$

D'où :

$$\vec{z}_s \cdot \vec{z}_0 = (\cos \varphi \sin \theta \vec{x}_\psi - \sin \varphi \vec{y}_\psi + \cos \varphi \cos \theta \vec{z}_\psi) \cdot \vec{z}_\psi = \cos \varphi \cos \theta$$

Finalement, on a bien :

$$\cos \beta = \cos \varphi \cos \theta$$

Question 20 – Relation littérale entre la poussée P et l'angle d'inclinaison β .

Par application du théorème de la résultante dynamique au drone supposé en mouvement par rapport au sol galiléen, on peut écrire que :

$$\vec{R}(\text{Air} \rightarrow S) + \vec{R}(\text{Pes} \rightarrow S) = m_s \vec{\Gamma}(G_s/R_0)$$

Soit

$$P \vec{z}_s - m_s g \vec{z}_0 = m_s \vec{\Gamma}(G_s/R_0)$$

En projection sur \vec{z}_0 , on obtient : $(\vec{z}_s \cdot \vec{z}_0) - m_s g (\vec{z}_0 \cdot \vec{z}_0) = m_s \vec{\Gamma}(G_s/R_0) \cdot \vec{z}_0$

Or :

$$\vec{z}_s \cdot \vec{z}_0 = \cos \beta$$

Et :

$$\text{Vol à altitude constante} \Rightarrow \vec{\Gamma}(G_s/R_0) \cdot \vec{z}_0 = 0$$

D'où :

$$P \cos \beta - m_s g = 0$$

Finalement :

$$P = \frac{m_s g}{\cos \beta}$$

Question 21 – Poussée maximale P_{max} et valeur du coefficient de maximisation K_{max} .

De la question précédente, on déduit :

$$P_{max} = \frac{m_s g}{\cos \beta_{max}}$$

Application numérique : d'après l'exigence 1.1.2.2, on a :

$$\beta_{max} = 30 \text{ deg}$$

D'où :

$$P_{max} = \frac{2,5 \times 9,81}{\cos 30^\circ} = 28,32 \text{ N}$$

Dans le cadre de l'hypothèse 4 de l'énoncé qui stipule que les quatre hélices tournent à la même vitesse, la poussée est répartie équitablement entre elles. Par conséquent, la traction de chacune des hélices est égale au quart de la poussée.

D'où :

$$T_{max} = \frac{28,32}{4} = 7,08 \text{ N}$$

On en déduit la valeur numérique du coefficient de maximisation K_{max} :

$$K_{max} = \frac{T_{max}}{T_0} = \frac{7,08}{6,13}$$

Finalement, on obtient : $K_{max} = 1,15$

Dans la suite, l'énoncé impose : $K_{max} = 3$

Question 22 – Calcul de T_{max} .

En utilisant les valeurs fournies dans l'énoncé, on peut calculer la valeur numérique de T_{max} :

$$T_{max} = K_{max} \times T_0 = 3 \times 6 = 18 \text{ N}$$

Question 23 – Justification de la forme de la loi de traction fournie dans l'hypothèse 2 et valeur en unités SI du paramètre K_T de l'hélice 12x4.

Les courbes proposées ont toutes des allures de **parabole**. Par conséquent, une expression de forme quadratique :

$$T_k = K_T \omega_k^2$$

pour la loi de traction paraît tout à fait adaptée.

On en déduit que :

$$K_T = \frac{T_k}{\omega_k^2}$$

Pour l'hélice 12x4, on relève par exemple :

$$\omega_k = 12000 \text{ tr/min} \Rightarrow T_k = 34,7 \text{ N}$$

D'où :

$$K_T = \frac{34,7}{12000^2} \Rightarrow K_T = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ N/(t/min)}^2$$

En unités SI :

$$\omega_k = 12000 \times \frac{2\pi}{60} = 1257 \text{ rad/s}$$

D'où :

$$K_T = \frac{34,7}{1257^2} \Rightarrow K_T = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ N/(rad/s)}^2 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Question 24 – Sélection des hélices satisfaisant l'exigence 1.2.2.

On a déterminé T_{max} à la question 22 :

$$T_{max} = 18 \text{ N}$$

On souhaite que la poussée maximale du drone soit atteinte pour une vitesse de rotation au plus égale à 10000 tr/min.

Sur la figure 6, cette contrainte n'est vérifiée que par les hélices :

11x4 **12x4**

Sur la figure 7, cette contrainte n'est vérifiée, en plus de l'hélice 11x4 déjà citée, que par les hélices, soit :

11x5 **11x6**

Finalement, l'hélice retenue est celle de plus grand diamètre, favorisant un vol stable :

12x4

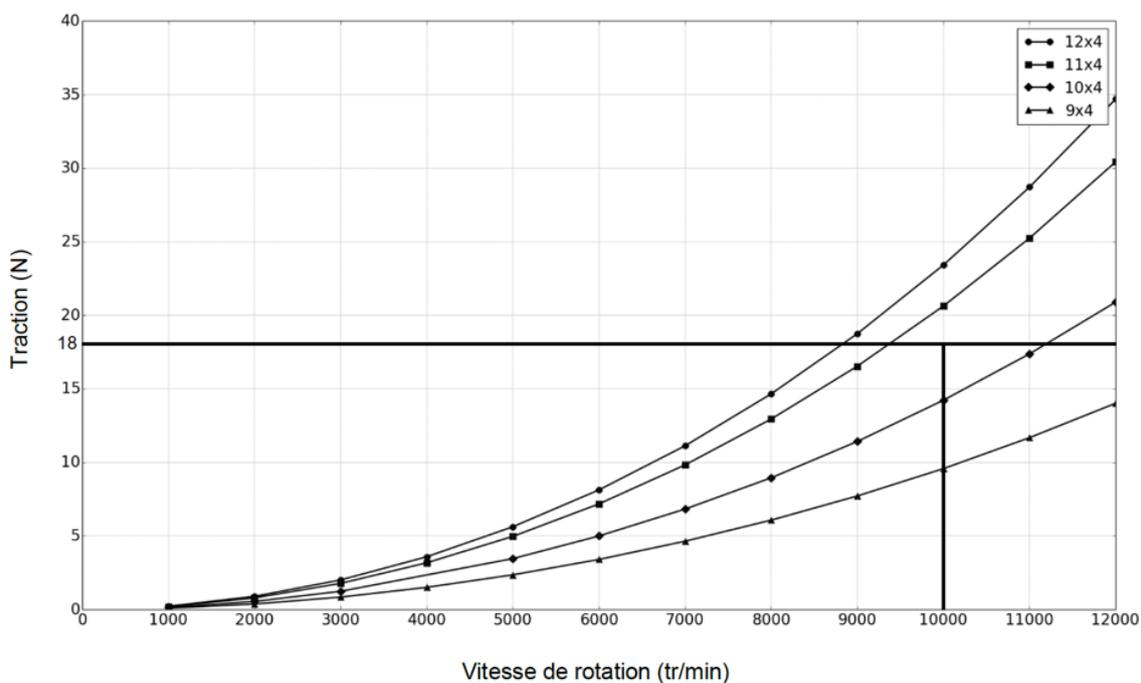


Figure 6 : influence du diamètre sur la loi de traction (source UIUC)

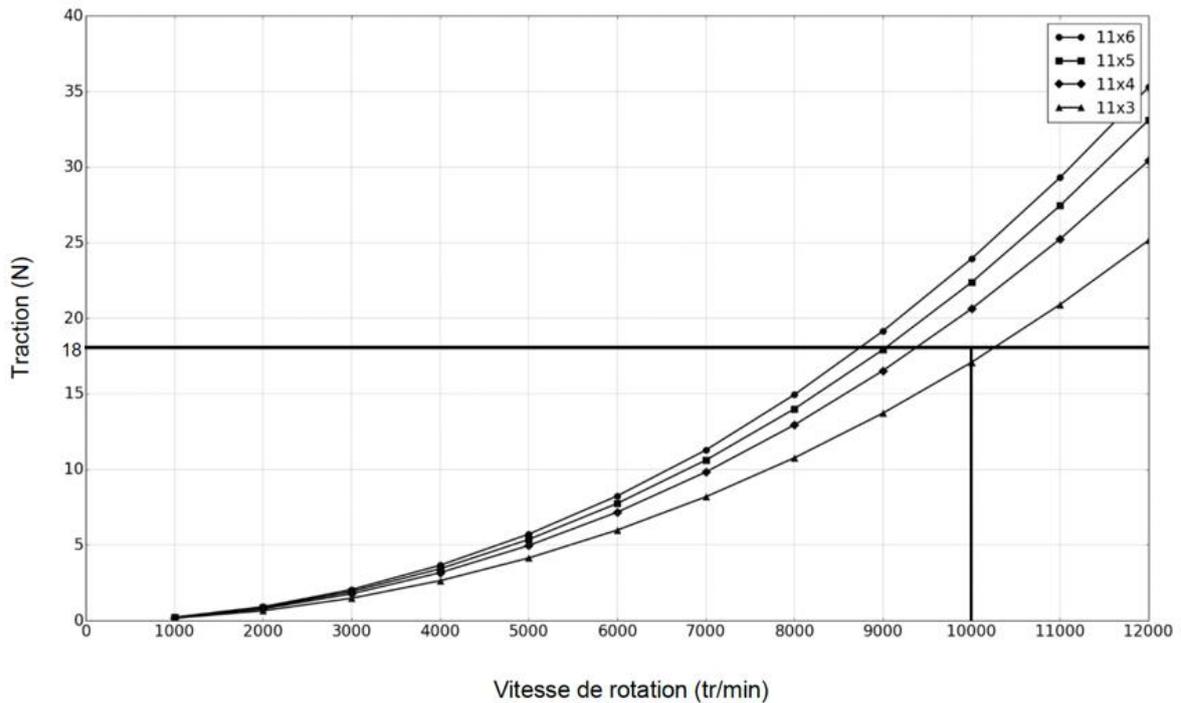


Figure 7 : influence du pas sur la loi de traction (source UIUC)

Question 25 – Expression du vecteur vitesse instantanée de rotation $\vec{\Omega}(B_S/B_0) = \vec{\Omega}(S/R_0)$.

Dans le cadre de l'hypothèse simplificatrice numéro 9 de l'énoncé, l'orientation de la base B_S par rapport à la base B_0 est caractérisée par un angle unique. D'où la figure 8.

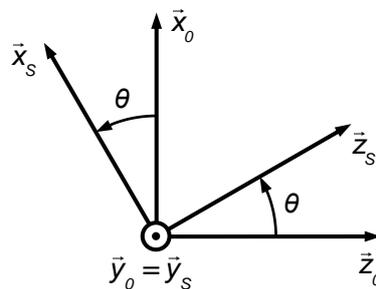


Figure 8 : changement de base simplifié

D'où :
$$\vec{\Omega}(B_S/B_0) = \dot{\theta} \vec{y}_S$$

Question 26 – Forme de la matrice d'inertie en G_S du drone S.

Le plan sagittal du drone – plan $(G_S, \vec{x}_S, \vec{z}_S)$ – est **plan de symétrie**. Par conséquent, les deux produits d'inertie P_{xy} et P_{yz} sont nuls.

D'où :

$$I(G_S, S) = \begin{bmatrix} I_x & 0 & -P_{xz} \\ 0 & I_y & 0 \\ -P_{xz} & 0 & I_z \end{bmatrix}_{(\vec{x}_S, \vec{y}_S, \vec{z}_S)}$$

Question 27 – Valeur relativement faible du produit d’inertie P_{xz} .

Deux arguments sont recevables :

- la forme générale du drone fait qu’il possède un quasi second plan de symétrie, si on fait abstraction de la caméra \rightarrow plan $(G_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)$;
- le drone est relativement peu haut par rapport à sa largeur et sa hauteur. Cette particularité conduit à considérer que, dans le calcul des termes inertiels de la matrice $I(G_s, S)$, on peut prendre $z \ll 0$.

D’où :

$$P_{xz} \approx 0$$

Finalement :

$$I(G_s, S) = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix}_{(\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)}$$

Question 28 – Expression dans la base $B_s(\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)$ du moment cinétique $\vec{\sigma}(G_s, S/R_0)$.

$$\vec{\sigma}(G_s, S/R_0) = I(G_s, S) \vec{\Omega}(S/R_0)$$

Soit :
$$\boxed{\vec{\sigma}(G_s, S/R_0) = I_y \dot{\theta} \bar{y}_s}$$

Question 29 – Expression dans la base $B_s(\bar{x}_s, \bar{y}_s, \bar{z}_s)$ du moment dynamique $\vec{\delta}(G_s, S/R_0)$.

$$\vec{\delta}(G_s, S/R_0) = \left(\frac{d}{dt} \vec{\sigma}(G_s, S/R_0) \right)_{B_0} = I_y \left(\ddot{\theta} \bar{y}_s + \dot{\theta} \left(\frac{d\bar{y}_s}{dt} \right)_{B_0} \right)$$

$$\left(\frac{d\bar{y}_s}{dt} \right)_{B_0} = \vec{\Omega}(B_s/B_0) \wedge \bar{y}_s = (\dot{\theta} \bar{y}_s) \wedge \bar{y}_s = \vec{0}$$

$$\boxed{\vec{\delta}(G_s, S/R_0) = I_y \ddot{\theta} \bar{y}_s}$$

Question 30 – Équation différentielle régissant l’angle $\theta(t)$ issue de l’application du théorème du moment dynamique au drone.

Dans le cadre de l’hypothèse 10 de l’énoncé, le drone n’est soumis qu’à l’action de la pesanteur et à l’action aérodynamique motrice simplifiée produite à travers la rotation des hélices :

$$\{T(Pes \rightarrow S)\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} -m_s g \bar{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \quad \{T(Air \rightarrow S)\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} \vec{R}(Air \rightarrow S) \\ \vec{M}_{G_s}(Air \rightarrow S) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \bar{z}_s \\ C_T \bar{y}_s \end{Bmatrix}_{G_s}$$

Par application du théorème du moment dynamique appliqué au drone supposé en mouvement par rapport au repère R_0 du référentiel galiléen associé au sol, on peut écrire que :

$$\vec{\delta}(G_s, S/R_0) = \underbrace{\vec{M}_{G_s}(Pes \rightarrow S) + \vec{M}_G(Air \rightarrow S)}$$

↳ Moment nul en θ_0 .

D’où le choix du point ω_0 comme point d’écriture du théorème du moment dynamique.

Par projection sur \bar{y}_s , on obtient :

$$\boxed{I_y \ddot{\theta}(t) = C_T(t)}$$

Question 31 – Justification de la forme du modèle dynamique d'orientation.

On a posé :

$$\omega_{\theta}(t) = \dot{\theta}(t)$$

D'où :

$$\ddot{\theta}(t) = \dot{\omega}_{\theta}(t)$$

Par conséquent :

$$I_y \ddot{\theta}(t) = C_T(t) \Leftrightarrow I_y \dot{\omega}_{\theta}(t) = C_T(t)$$

Le bloc 1 de la figure 19 de l'énoncé correspond donc à la relation :

$$\dot{\omega}_{\theta}(t) = \frac{1}{I_y} C_T(t)$$

Question 32 – Expressions littérales des vecteurs $\vec{V}(G_s/R_0)$ et $\vec{\Gamma}(G_s/R_0)$.

Dans le cadre de l'hypothèse simplificatrice numéro 9 de l'énoncé, on a :

$$\vec{O}_0 G_s = x(t) \vec{x}_0 + \cancel{y(t) \vec{y}_0} + z(t) \vec{z}_0$$

Par définition :

$$\vec{V}(G_s/R_0) = \left(\frac{d\vec{O}_0 G_s}{dt} \right)_{B_0}$$

D'où :

$$\vec{V}(G_s/R_0) = \dot{x}(t) \vec{x}_0 + \dot{z}(t) \vec{z}_0$$

Par ailleurs

$$\vec{\Gamma}(G_s/R_0) = \left(\frac{d\vec{V}(G_s/R_0)}{dt} \right)_{B_0}$$

D'où :

$$\vec{\Gamma}(G_s/R_0) = \ddot{x}(t) \vec{x}_0 + \ddot{z}(t) \vec{z}_0$$

Question 33 – Expression de $\vec{R}(\bar{S} \rightarrow S)$.

Par hypothèse, les seules actions extérieures prises en compte sont l'action de la pesanteur et l'action aérodynamique motrice simplifiée produite à travers la rotation des hélices :

$$\left\{ T(Pes \rightarrow S) \right\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} -m_s g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{Bmatrix} \quad \left\{ T(Air \rightarrow S) \right\}_{G_s} = \begin{Bmatrix} \vec{R}(Air \rightarrow S) \\ \vec{M}_{G_s}(Air \rightarrow S) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \vec{z}_s \\ C_T \vec{y}_s \end{Bmatrix}$$

$$\vec{R}(\bar{S} \rightarrow S) = -m_s g \vec{z}_0 + P \vec{z}_s$$

Puisqu'aucune base d'expression n'est précisée dans l'énoncé, cette expression est suffisante.

Si on projette néanmoins dans la base $B_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, on obtient :

$$\vec{R}(\bar{S} \rightarrow S) = P \sin \theta \vec{x}_0 + (P \cos \theta - m_s g) \vec{z}_0$$

Question 34 – Équations différentielles régissant les évolutions de $x(t)$ et $z(t)$.

L'application du théorème de la résultante dynamique au drone conduit à :

$$\vec{R}(\vec{S} \rightarrow \mathcal{S}) = m_s \vec{F}(G_s/R_0)$$

Soit :

$$-m_s g \vec{z}_0 + P \vec{z}_s = m_s (\ddot{x} \vec{x}_0 + \ddot{z} \vec{z}_0)$$

D'où les 2 équations scalaires obtenues par projection sur \vec{x}_0 et \vec{z}_0 :

$$P(\vec{z}_s \cdot \vec{x}_0) = m_s \ddot{x} \quad -m_s g + P(\vec{z}_s \cdot \vec{z}_0) = m_s \ddot{z}$$

Il est possible de calculer les deux produits scalaires à partir de l'annexe A ou, plus simplement, en dessinant une figure de changement de base adaptée au cas de l'hypothèse simplificatrice numéro 9 (voir figure 8).

D'où :

$$\vec{z}_s \cdot \vec{x}_0 = \sin\theta \quad \vec{z}_s \cdot \vec{z}_0 = \cos\theta$$

On en déduit :

$$\boxed{P \sin\theta = m_s \ddot{x}} \quad \boxed{-m_s g + P \cos\theta = m_s \ddot{z}}$$

Question 35 – Justification de la forme du modèle dynamique de translation.

On a posé :

$$v_x(t) = \dot{x}(t) \quad v_z(t) = \dot{z}(t)$$

D'où :

$$\dot{v}_x(t) = \ddot{x}(t) \quad \dot{v}_z(t) = \ddot{z}(t)$$

Par conséquent :

$$P(t) \sin\theta(t) = m_s \ddot{x}(t) \Leftrightarrow P(t) \sin\theta(t) = m_s \dot{v}_x(t)$$

$$-m_s g + P(t) \cos\theta(t) = m_s \ddot{z}(t) \Leftrightarrow -m_s g + P(t) \cos\theta(t) = m_s \dot{v}_z(t)$$

Les blocs 2 et 3 de la figure 20 de l'énoncé correspondent donc respectivement aux relations :

$$\boxed{\dot{v}_x(t) = \frac{P(t)}{m_s} \sin\theta(t)} \quad \boxed{\dot{v}_z(t) = -g + \frac{P(t)}{m_s} \cos\theta(t)}$$

Question 36 – Analyse des conditions de la première simulation.

Les conditions de la première simulation ne sont pas adéquates pour obtenir un vol en régime de croisière. En effet, d'après l'évolution de $z(t)$, **le drone atteint le sol au bout de 5,7 secondes environ.**

Question 37 – Analyse des conditions de la seconde simulation.

Les résultats de la seconde simulation montrent que le drone maintient durablement son altitude initiale (1 m) sur l'intervalle de simulation. Par ailleurs, l'évolution linéaire de $x(t)$ permet de conclure que :

- le drone a parcouru environ **1020 mètres** au terme des 100 secondes de simulation ;
- la vitesse de parcours est de l'ordre de **10,2 m/s**, soit **36,7 km/h**.

Question 38 – Valeurs numériques de θ_0^* (en degré) et ω_0^* (en tr/min).

On a :

$$v_0^* = 60 \text{ km/h} = 16,7 \text{ m/s}$$

De la courbe $v_0 = g(\omega_0)$ de la figure 9, on déduit :

$$\boxed{\omega_0^* = 10340 \text{ tr/min}}$$

Puis de la courbe $\theta_0 = f(\omega_0)$, on déduit :

$$\boxed{\theta_0^* = +21,8^\circ}$$

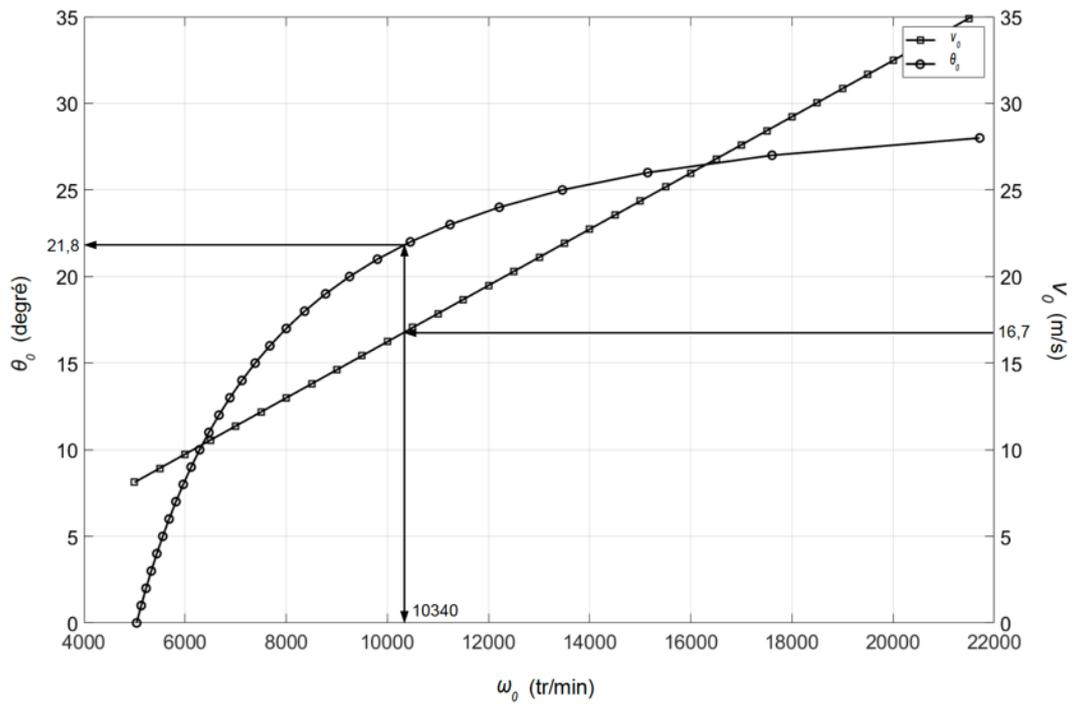


Figure 9 : conditions d'existence d'un vol en régime de croisière

Question 39 – Couple moteur C_m^* et puissance $P(M_k \rightarrow H_k / R_S)$.

Par construction sur la courbe $C_m = f(\omega_0)$ de la figure 10, on obtient :

$$\omega_0 = \omega_0^* = 10000 \text{ tr/min} \Rightarrow C_m^* = 0,37 \text{ N}\cdot\text{m}$$

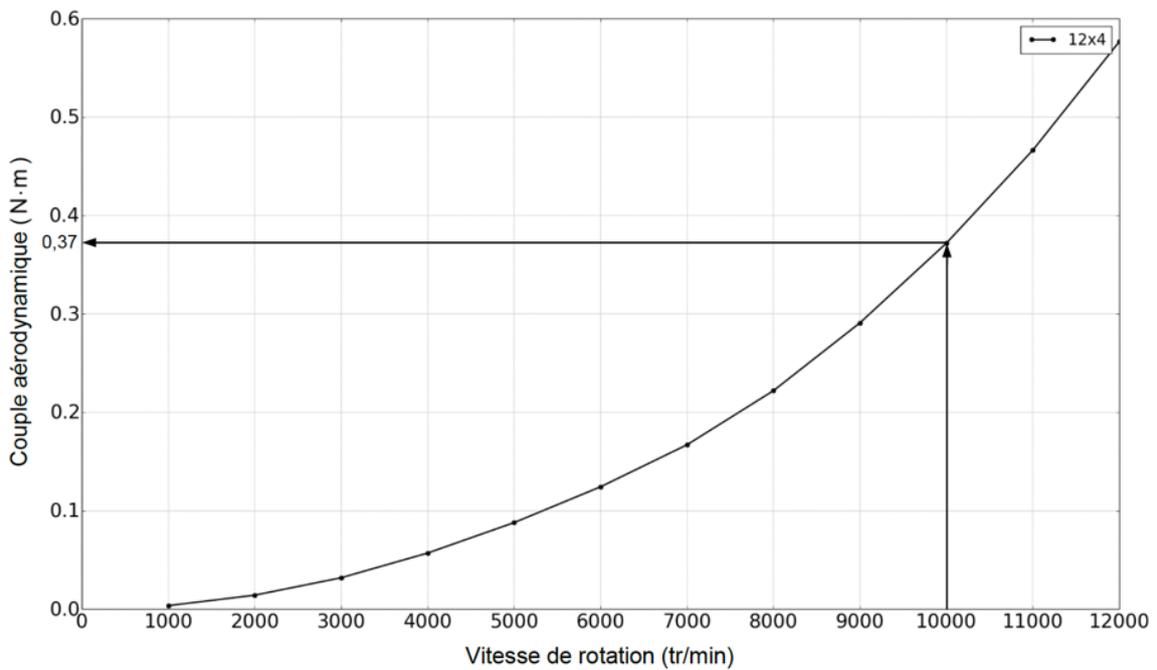


Figure 10 : couple aérodynamique d'une hélice 12x4 (source UIUC)

Par définition :

$$P(M_k \rightarrow H_k / R_s) = \left\{ T(M_k \rightarrow H_k) \right\} \otimes \left\{ V(H_k / R_s) \right\}$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \bar{R}(M_k \rightarrow H_k) \\ \bar{M}_{O_k}(M_k \rightarrow H_k) \end{array} \right\} \otimes \left\{ \begin{array}{l} \bar{\Omega}(H_k / R_s) \\ \bar{V}(O_k \in H_k / R_s) \end{array} \right\}$$

Soit :

$$P(M_k \rightarrow H_k / R_s) = \left\{ \begin{array}{l} \bar{R}(M_k \rightarrow H_k) \\ -\varepsilon_k \times C_m^* \bar{z} \end{array} \right\} \otimes \left\{ \begin{array}{l} -\varepsilon_k \omega_0^* \\ \bar{0} \end{array} \right\}$$

Finalement :

$$P(M_k \rightarrow H_k / R_s) = C_m^* \times \omega_0^*$$

Application numérique :

$$P(M_k \rightarrow H_k / R_s) = 0,37 \times 10000 \times \frac{2\pi}{60} \Rightarrow P(M_k \rightarrow H_k / R_s) = 387 \text{ W}$$

Question 40 – Puissance électrique P_e .

Par définition du rendement du moteur : $\eta = \frac{P(M_k \rightarrow H_k / R_s)}{P_e}$

D'où : $P_e = \frac{P(M_k \rightarrow H_k / R_s)}{\eta}$

Application numérique : $P_e = \frac{387}{0,8} \Rightarrow P_e = 484 \text{ W}$

Question 41 – Choix du moteur.

Dans le tableau fourni en annexe D de l'énoncé, on choisit le plus léger des moteurs dont la puissance est supérieure à 484 W.

Soit : **Modèle AT2814**

Ref	RPM/V	Stator	Stator	Shaft	Motor	Weight	No.of	Constant	Max	Max	Max
	(KV)	Dia	Length	Dia	Dimension	(g)	Cells	Current	Burst	Power	Thrust
		(mm)	(mm)	(mm)	(Dia x Len)		(LiPo)	[A]	Current	(watt)	(KG)
AT2216	1250	22	16	3	27.8x34	68	2-4S	27	40	450	1.2-1.5
AT2814	1000	28	14	4	35x36	103	3-6S	40	60	700	2-2.3
AT2820	830	28	20	5	35x42	132	3-6S	43	70	800	2.8-3.0
AT2826	550	28	26	5	35x48	169	6-10S	48	75	1000	3.2-3.5
AT2828	900	28	26	5	35x48	167	3-6S	53	75	880	3.2-3.5
AT3520	730	35	20	5	43x45	206	3-6S	60	85	1200	3.8-4.2
AT3522	880	35	20	5	43x45	207	3-6S	60	85	1300	3.8-4.2
AT3530	570	35	30	6	43x55	288	3-6S	65	90	1800	4.5-4.8
AT3540	700	35	30	6	43x55	289	3-6S	70	90	1900	4.5-4.8
AT4120	550	41	20	6	49.5x49	286	4-8S	70	90	2100	4.8-5
AT4130	275	41	30	6	49.5x59	387	6-10S	75	95	2800	5.5-6.3
AT5330	190	53	30	8	63x63	635	6-12S	80	120	4500	8.0-10.0
AT2202	2300	22	2	3	27x18	14	1S-3S	6	11	90	250-280G
AT2204	1850	22	4	3	27x20	20	1S-3S	7	14	120	320-350G
AT2206	1500	22	6	3	27x22	25	1S-3S	10	20	200	400-500G

Tableau 1 : caractéristiques des versions du moteur sélectionné (source *T-Motor*)

Question 42 – Expression du moment quadratique par rapport aux axes (G, \vec{y}) et (G, \vec{z}) d'une section tubulaire de rayon R et d'épaisseur e .

Pour un cylindre plein de rayon R , le moment quadratique I_{Gy} s'exprime par :

$$I_{Gy} = \int_{\text{Section}} y^2 dS$$

Pour un cylindre creux de rayon R , d'épaisseur e , en prenant :

$$dS = r dr d\theta$$

on obtient :

$$I_{Gy} = \int_{r=R-e}^R \int_{\theta=0}^{2\pi} r^3 \sin^2\theta dr d\theta = \frac{\pi(R^4 - (R-e)^4)}{4}$$

Pour des raisons de symétrie de la section, on généralise le résultat précédent au moment quadratique I_{Gz} . On retient finalement :

$$I_{Gy} = I_{Gz} = \frac{\pi(R^4 - (R-e)^4)}{4}$$

Question 43 – Contrainte prépondérante parmi σ_N^0 et σ_T^0 .

La contrainte tangentielle σ_T^0 est égale au double de la contrainte normale σ_N^0 . La contrainte prépondérante est donc :

$$\sigma_T^0 = \frac{\rho R}{e}$$

Il est alors possible de déterminer la valeur numérique de la pression maximale applicable à la poutre gonflable afin que la contrainte prépondérante ne dépasse pas la limite d'élasticité du tissu, c'est-à-dire respecte l'inégalité :

$$\sigma_T^0 \leq R_e$$

On en déduit :

$$\frac{\rho R}{e} \leq R_e$$

Soit :

$$\rho \leq \frac{e R_e}{R}$$

Finalement :

$$\rho_{max} = \frac{e R_e}{R}$$

Application numérique :

$$\rho_{max} = \frac{250 \cdot 10^{-6} \times 219 \cdot 10^6}{25 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \rho_{max} = 21,9 \text{ bars}$$

Conclusion : la pression maximale indiquée dans le cahier des charges est de 2,2 bars, laquelle est largement inférieure à la valeur maximale déterminée ci-dessus. **L'exigence 1.1.4. est respectée.**

Question 44 – Torseur des actions mécaniques de cohésion le long de la poutre soumise à l'action du vent. *A priori*, le torseur de cohésion est défini par :

$$\{T_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{R} \\ \vec{M}_G \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

La résultante est obtenue par :

$$\vec{R} = \int_{x_G}^L d\vec{F}_v(M) = \int_{x_G}^L \frac{1}{2} \rho_a C_y v^2 (2R dx) \vec{y}$$

Puisque cette résultante est manifestement colinéaire à \vec{y} , on en déduit :

$$\boxed{N=0} \quad \boxed{T_z=0}$$

En ce qui concerne le moment au centre G de la section droite, il est obtenu par :

$$\vec{M}_G = \int_{x_G}^L \vec{GM} \wedge d\vec{F}_v(M) = \int_{x_G}^L (x - x_G) \vec{x} \wedge \left(\frac{1}{2} \rho_a C_y v^2 (2R dx) \vec{y} \right) = \int_{x_G}^L (x - x_G) \rho_a C_y v^2 R dx \vec{z}$$

Puisque ce moment est colinéaire à \vec{z} , on en déduit :

$$\boxed{M_t=0} \quad \boxed{M_{fy}=0}$$

Ainsi, le torseur des actions mécaniques de cohésion est donc bien de la forme demandée :

$$\{T_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y(x_G) & 0 \\ 0 & M_{fz}(x_G) \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

On peut alors exprimer les deux composantes non nulles :

$$T_y(x_G) = \int_{x_G}^L \frac{1}{2} \rho_a C_y v^2 (2R dx)$$

Soit :

$$\boxed{T_y(x_G) = \rho_a C_y v^2 R (L - x_G)}$$

$$M_{fz}(x_G) = \int_{x_G}^L (x - x_G) \rho_a C_y v^2 R dx$$

Soit :

$$\boxed{M_{fz}(x_G) = \rho_a C_y v^2 R \left(\frac{L^2}{2} - Lx_G + \frac{x_G^2}{2} \right)}$$

Finalement :

$$\{T_{coh}\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ \rho_a C_y v^2 R (L - x_G) & 0 \\ 0 & \rho_a C_y v^2 R \left(\frac{L^2}{2} - Lx_G + \frac{x_G^2}{2} \right) \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Question 45 – Type(s) de sollicitation(s).

D'après la forme du torseur de cohésion, **la poutre est sollicitée en flexion simple.**

Question 46 – Abscisse x_G de la poutre pour laquelle le moment de flexion est maximal.

L'expression de la composante non nulle du moment de flexion établie à la question 44 est :

$$M_{fz}(x_G) = \rho_a C_y v^2 R \left(\frac{L^2}{2} - L x_G + \frac{x_G^2}{2} \right)$$

Soit :

$$M_{fz}(x_G) = \rho_a C_y v^2 \frac{R}{2} (L - x_G)^2$$

Ainsi on identifier que la valeur maximale est atteinte pour :

$$x_G = 0$$

c'est-à-dire **au niveau de l'encastrement**.

On en déduit que le moment de flexion maximal sous l'action du vent est :

$$M_{fz}(x_G) = \frac{1}{2} \rho_a C_y v^2 R L^2$$

Question 47 – Intérêt de la forme conique des bras gonflables choisie par le constructeur.

Lorsque la poutre est sollicitée par l'action du vent, la contrainte normale induite au droit d'un point d'ordonnée y de sa section droite d'abscisse x_G être égale à :

$$\sigma_N^{ext}(x_G) = - \frac{M_{fz}(x_G) y}{I_{Gz}}$$

Sachant que $M_{fz}(x_G)$ croît lorsque on se rapproche de la section d'encastrement, l'augmentation du moment quadratique I_{Gz} , réalisée à travers la forme conique des bras gonflables, permet de limiter l'accroissement des contraintes normales et donc le risque de plissement.

Question 48 – Répartition de la contrainte normale due à l'action du vent σ_N^{ext} .

Au droit d'un point d'ordonnée y de sa section droite d'abscisse x_G , la poutre sollicitée par l'action du vent a pour contrainte normale :

$$\sigma_N^{ext}(x_G) = - \frac{M_{fz}(x_G) y}{I_{Gz}}$$

Pour toute abscisse x_G donnée, le moment $M_{fz}(x_G)$ est positif ; le moment quadratique I_{Gz} est par définition également positif. Par conséquent, la contrainte $\sigma_N^{ext}(x_G)$ **varie linéairement en fonction de y** et on peut en déduire l'allure du tracé de la figure 11.

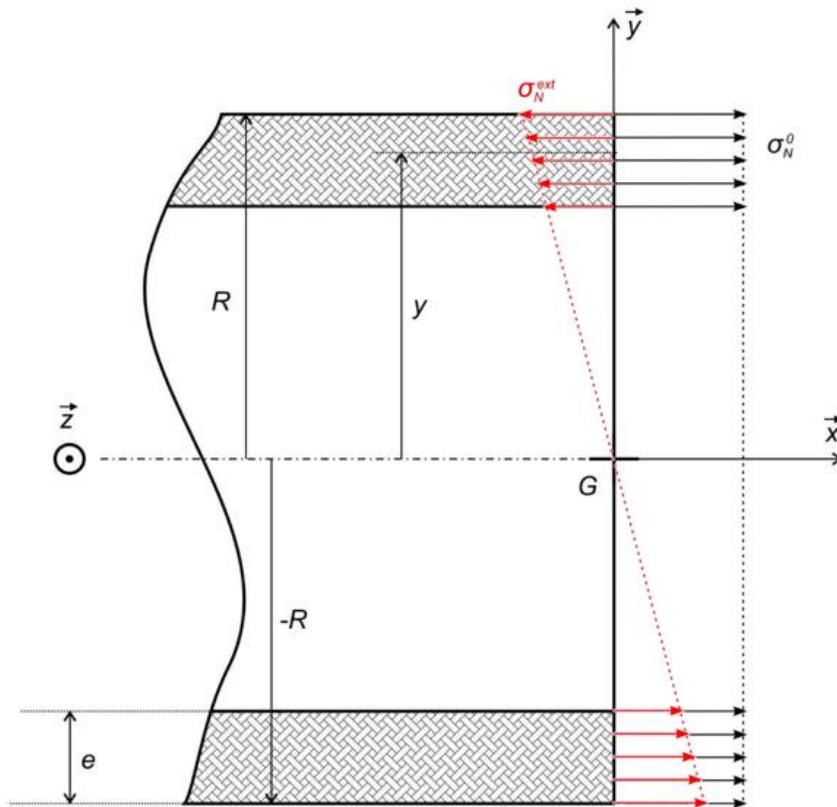


Figure 11 : répartition de la contrainte normale due à l'action du vent σ_N^{ext}

Question 49 – Apparition d'un pli dans la section droite.

L'apparition d'un pli se produit lorsque la contrainte normale totale $\sigma_N = \sigma_N^0 + \sigma_N^{ext}$ s'annule.

Or :

$$\sigma_N^0 > 0$$

De plus :

$$\sigma_N^{ext}(x_G) < -\frac{M_{fz}(x_G)y}{I_{Gz}}$$

Donc, pour $y > 0$:

$$\sigma_N^{ext}(x_G) < 0$$

L'annulation de σ_N se produit lorsque $|\sigma_N^{ext}(x_G)|$ est maximal, c'est-à-dire **au point de la section tel que $y = R$.**

En ce point, la valeur de la contrainte normale σ_N^{ext} est :

$$\sigma_N^{ext}(x_G) = -\frac{M_{fz}(x_G)R}{I_{Gz}}$$

Question 50 – Moment fléchissant à la limite du plissement.

La valeur du moment fléchissant $M_{fz}(x_G)$ à la limite du plissement, notée $M_{f\lim}$, est celle qui entraîne l'annulation de la contrainte normale.

Or :

$$\sigma_N^0 + \sigma_N^{ext} = 0 \Rightarrow \frac{pR}{2e} - \frac{M_{f\lim}R}{I_{Gz}} = 0$$

Finalement :

$$M_{f\lim} = \frac{pI_{Gz}}{2e}$$

Question 51 – Pression minimale permettant d'éviter le plissement des bras gonflables en vol.
La condition de non-plissement est :

$$M_{fz \text{ vent max}} < M_{f \text{ lim}}$$

avec :

$$M_{f \text{ lim}} = \frac{p I_{Gz}}{2 e}$$

La figure 12 (figure 32 de l'énoncé) représente l'évolution du moment $M_{f \text{ lim}}$ en fonction de la pression de gonflage. Cette figure fait également apparaître le seuil $M_{fz \text{ vent max}}$ en-dessous duquel $M_{f \text{ lim}}$ ne doit pas descendre sous peine d'apparition d'un pli.

Graphiquement, on identifie :

$$p_{\text{min}} = 0,3 \text{ bar}$$

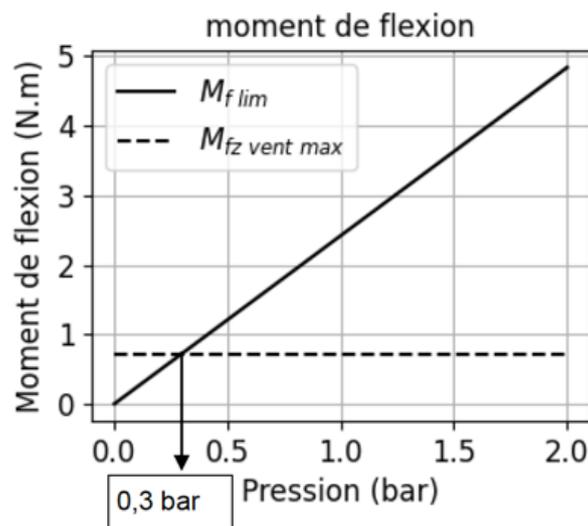


Figure 12 : moment $M_{f \text{ lim}}$ en fonction de la pression de gonflage

Conclusion : la pression $p=2\pm 10\%$ bars spécifiée dans le cahier des charges, est largement supérieure à la pression minimale permettant d'éviter le plissement.

Le bras ne devrait pas plier en fonctionnement normal sous l'effet du vent.

L'exigence 1.1.4 du cahier des charges pour la sollicitation étudiée est respectée.

Question 52 – Paramètre K_V du modèle AT2826.

D'après le tableau 2 fourni dans l'annexe D de l'énoncé, on identifie :

$$K_V = 550 \text{ t/min/V}$$

Ref	RPM/V	Stator	Stator	Shaft	Motor	Weight	No.of	Constant	Max	Max	Max
	(KV)	Dia	Length	Dia	Dimension	(g)	Cells	Current	Burst	Power	Thrust
		(mm)	(mm)	(mm)	(Dia x Len)		(LiPo)	[A]	(15s)[A]	(15s)	(KG)
AT2216	1250	22	16	3	27.8x34	68	2-4S	27	40	450	1.2-1.5
AT2814	1000	28	14	4	35x36	103	3-6S	40	60	700	2-2.3
AT2820	830	28	20	5	35x42	132	3-6S	43	70	800	2.8-3.0
AT2826	550	28	26	5	35x48	169	6-10S	48	75	1000	3.2-3.5
AT2828	900	28	26	5	35x48	167	3-6S	53	75	880	3.2-3.5
AT3520	730	35	20	5	43x45	206	3-6S	60	85	1200	3.8-4.2
AT3522	880	35	20	5	43x45	207	3-6S	60	85	1300	3.8-4.2
AT3530	570	35	30	6	43x55	288	3-6S	65	90	1800	4.5-4.8
AT3540	700	35	30	6	43x55	289	3-6S	70	90	1900	4.5-4.8
AT4120	550	41	20	6	49.5x49	286	4-8S	70	90	2100	4.8-5
AT4130	275	41	30	6	49.5x59	387	6-10S	75	95	2800	5.5-6.3
AT5330	190	53	30	8	63x63	635	6-12S	80	120	4500	8.0-10.0
AT2202	2300	22	2	3	27x18	14	1S-3S	6	11	90	250-280G
AT2204	1850	22	4	3	27x20	20	1S-3S	7	14	120	320-350G
AT2206	1500	22	6	3	27x22	25	1S-3S	10	20	200	400-500G

Tableau 2 : caractéristiques des versions du moteur sélectionné (source *T-Motor*)

Question 53 – Tension U_b .

Pour atteindre la vitesse de rotation maximale :

$$\omega_{max} = 20000 \text{ tr/min}$$

chaque moteur doit être soumis à une tension d'alimentation :

$$U_b = \frac{\omega_{max}}{K_v} = \frac{20000}{550} \Rightarrow \boxed{U_b = 36,4 \text{ V}}$$

Question 54 – Nombre de cellules nécessaires pour produire la tension U_b .

Chaque accumulateur élémentaire délivrant une tension de $U_{acc} = 3,7 \text{ V}$, on a :

$$N = \left\lceil \frac{U_b}{U_{acc}} \right\rceil + 1$$

Application numérique :

$$N = \left\lceil \frac{36,4}{3,7} \right\rceil + 1 = \lceil 9,84 \rceil + 1 \Rightarrow \boxed{N = 10}$$

Question 55 – Capacité de la batterie.

Pendant le vol de croisière nominal, la vitesse de rotation des hélices est :

$$\omega_o^* = 10000 \text{ tr/min}$$

D'où la tension d'alimentation U_b^* appliquée à chacun des quatre moteurs :

$$U_b^* = \frac{\omega_o^*}{K_v} = \frac{10000}{550} \Rightarrow U_b^* = 18,2 \text{ V}$$

Sachant que la puissance électrique nécessaire en entrée d'un moteur pour maintenir le vol de croisière nominal est :

$$P_e^* = 500 \text{ W}$$

on en déduit l'intensité correspondante que doit délivrer la batterie :

$$I_b^* = \frac{P_e^*}{U_b^*} = \frac{500}{18,2} \Rightarrow I_b^* = 27,5 \text{ A}$$

En tenant compte de la présence de quatre moteurs, on en déduit la capacité nécessaire de la batterie pour assurer un vol de croisière nominal de cinq minutes :

$$C_b = (27,5 \times 4) \times \frac{5}{60} \Rightarrow \boxed{C_b = 9,2 \text{ A}\cdot\text{h}}$$

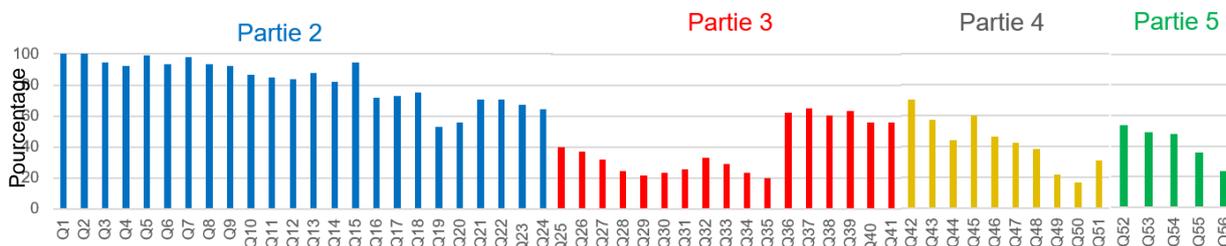
Question 56 – Démarche d'évaluation de la performance d'autonomie en vol stationnaire.

- 1- Évaluer la poussée requise en vol stationnaire.
- 2- Choisir un type d'hélice adapté.
- 3- Choisir un type de moteur adapté.
- 4- Évaluer la puissance motrice puis la puissance électrique requises ;
- 5- Pour une batterie de voltage et capacité donnés, déduire l'intensité à délivrer puis l'autonomie.

D. Commentaires du jury

1. Analyse globale des résultats

Malgré l'indépendance des différentes parties du sujet, on constate qu'il a été traité de manière linéaire. Ainsi l'ensemble des 56 questions a été abordé, mais avec des proportions sensiblement décroissantes (voir figure ci-dessous) sans réel rapport avec le niveau de difficulté des questions.



L'analyse des copies fait ressortir quatre catégories de niveau scientifique et technique :

- 25% des candidats ont un niveau satisfaisant (réponses correctes à la plupart des questions) ;
- 25% des candidats ont un niveau correct (maîtrise globale du programme, avec toutefois des lacunes) ;
- 25% des candidats ont un niveau fragile (nombreuses difficultés dans les questions abordées) ;
- 25% des candidats ont un niveau insuffisant (lacunes importantes sur les notions de base, absence de recul sur les calculs et les résultats obtenus, rédaction déficiente (orthographe, syntaxe), applications numériques erronées, problèmes d'unités, etc.).

2. Commentaires sur les réponses apportées

Partie 1 : présentation du support du sujet

Pas de question dans cette partie.

Partie 2 : évaluation des conditions assurant un niveau minimal de performance

La deuxième partie du sujet consiste à caractériser, en termes de répartition et de niveau, la masse embarquée du drone pour assurer à la fois l'équilibrage et la flottabilité du drone, et conduit au choix d'un type d'hélice.

Les questions 1 à 4 sont centrées sur des aspects liés à la notion de centre de masse. En tant qu'introduction au sujet, elles sont d'accès facile et ont été globalement bien traitées.

Les questions 5 à 12 sont consacrées à la statique des fluides. Elles ont été abordées par la plupart des candidats mais ont fait apparaître les premiers signes d'absence de rigueur dans le raisonnement. Les interprétations de courbes, données pour pallier l'impossibilité d'aller au bout des développements analytiques, n'ont pas toujours été menées avec le souci de la cohérence physique. Il est regrettable d'oublier que la mécanique, en tant que science physique au sens large, offre la possibilité d'analyser a posteriori une conclusion et de la confronter avec la plausibilité physique.

Les questions 13 à 22 proposent une analyse statique s'appuyant principalement sur l'outil de prédilection qu'est le torseur d'action mécanique. De fait, de nombreux candidats ne maîtrisent pas cet outil au niveau requis. Cela nuit à la rigueur des développements produits et, in fine, à la pertinence des résultats obtenus. Enfin les questions 23 et 24 consistent en une analyse de données techniques fournies. Elles pouvaient être traitées indépendamment des questions précédentes. Cette opportunité n'a pas toujours été saisie.

Partie 3 : Évaluation de la puissance motrice nécessaire

La troisième partie du sujet consiste à déterminer les caractéristiques d'un type de moteur capable d'entraîner les hélices en rotation et d'atteindre les performances visées. Pour ce faire, on développe un modèle analytique dont la résolution numérique permet de réaliser des simulations. Les résultats de ces dernières permettent d'opter pour un choix éclairé de motorisation.

Les questions 25 à 31 ont pour objectif d'établir un modèle dynamique d'orientation du drone. Pour en limiter la complexité, il a été choisi de restreindre le mouvement d'attitude du drone à une rotation autour d'un axe de direction fixe. De ce fait, les équations attendues sont de taille raisonnable. Quoiqu'il en soit, leur obtention requiert la rigueur nécessaire à toute mise en œuvre du PFD : choix du système isolé, bilan des actions extérieures, écriture du théorème du moment dynamique en un point judicieusement choisi, projection sur une direction pertinente. Toutes ces phases doivent nécessairement être maîtrisées par un candidat de spécialité *ingénierie mécanique*. Les questions 32 à 35, dans la continuité des questions précédentes, sont consacrées à l'aspect translation du modèle dynamique. Elles requièrent donc la même rigueur.

Globalement, ces 11 questions ont été mal traitées, beaucoup de candidats ne sachant pas mettre en œuvre méthodiquement le principe fondamental de la dynamique. 50% des candidats ont abordé les questions relatives à la dynamique d'orientation et seulement 33% ont abordé les questions relatives à la dynamique de translation. Il est par exemple surprenant de constater que l'établissement des expressions d'un vecteur vitesse et d'un vecteur accélération en coordonnées cartésiennes pose souvent problème.

La formulation d'état du modèle, évoquée à travers les questions 31 et 35, est une étape essentielle à la mise en œuvre des méthodes numériques permettant de résoudre le modèle dynamique et de procéder à des simulations. L'interprétation de celles-ci est l'objet des questions 36 à 39, indépendantes des questions liées à l'établissement du modèle proprement dit. Ainsi, l'analyse des résultats de simulations et le choix de la motorisation ont été plus largement abordés avec, dans l'ensemble, un certain succès. C'est positif.

Partie 4 : Évaluation de la rigidité de la structure gonflable

La quatrième partie du sujet consiste à analyser l'influence de la principale innovation du drone – sa structure gonflable – sur sa rigidité, dans des conditions météorologiques dégradées. Dans cette partie il s'agit d'étudier un bras gonflable, simplifié sous la forme d'une poutre tubulaire.

Les questions 42 et 43, assez largement abordées par les candidats, nécessitent peu de calculs et permettent de déterminer la pression maximale respectant la limite d'élasticité du tissu enveloppe.

Les questions 44 à 50 s'inscrivent dans le cadre de la résistance des matériaux, et plus précisément l'étude d'une poutre en flexion simple soumise à une répartition linéique de force homogène le long de la poutre. Le questionnement conduit à la caractérisation du phénomène de plissement. Trop souvent pénalisé par une confusion entre le centre de surface de la section droite et le point d'application de la force élémentaire du vent sur un élément de poutre, le calcul du moment fléchissant le long de la poutre n'a été mené à terme que par deux candidats.

La question 51 est une analyse de résultats de simulation permettant de conclure sur la problématique (déterminer la pression minimale qui permet d'éviter l'apparition d'un pli) ; il est regrettable qu'elle ne soit traitée que par 25% des candidats.

Globalement, dans cette partie aussi, on attend plus de rigueur dans la rédaction et la mise en œuvre des relations fondamentales de la résistance des matériaux dont beaucoup étaient données en annexe.

Partie 5 : Évaluation de la capacité de la batterie

La cinquième partie du sujet est consacrée à l'évaluation de la capacité de la batterie nécessaire à l'obtention des performances d'autonomie visées.

Les questions 52 à 55 s'appuient initialement sur une analyse de documentation technique. Puis, à partir de la puissance motrice nécessaire, on demande d'identifier le nombre d'accumulateurs nécessaires pour assurer une alimentation suffisante des moteurs lors d'une phase de forte sollicitation.

Enfin, on détermine la capacité de la batterie pour un type de vol et une durée donnés. Ces questions, qui ne requièrent que la mise en œuvre de calculs simples et un peu de bon sens, ont été trop peu abordées. Cela est peut être imputable au format de l'épreuve dont la durée, importante, nécessite une bonne dose d'énergie et une organisation du temps de composition non improvisée.

La dernière question est une synthèse de la démarche proposée à travers le sujet afin de vérifier l'autonomie du drone en vol stationnaire annoncée par le constructeur. Elle invite le candidat à prendre du recul et à avoir un regard global sur le cheminement proposé dans le sujet. Il est conseillé de prendre le temps de répondre à ce type de question qui met en lumière l'esprit de synthèse du candidat.

3. Conclusions et conseils aux candidats

Comme l'année précédente, le jury rappelle aux candidats quelques éléments de forme dont le respect est attendu de futurs enseignants. Ainsi, il est essentiel de soigner la présentation de la copie, l'orthographe, la précision des réponses et la qualité de la rédaction. En outre, les candidats doivent correctement numéroter leurs réponses en cohérence avec les numéros des questions du sujet ; en cas d'absence de réponse, il est vivement conseillé de l'indiquer explicitement. Le jury insiste également sur l'importance de la mise en valeur des résultats, en les encadrant par exemple. Du point de vue du fond, au-delà des aspects spécifiques au sujet, il est nécessaire de rappeler que la vérification de l'homogénéité des relations et des résultats proposés doit être systématique. En cas d'échec sur l'identification d'une erreur manifeste, il est conseillé de l'indiquer.

Les raisonnements doivent être menés de façon lisible et explicite de manière à faire ressortir la méthode utilisée. Les réponses qui se limitent à l'écriture du résultat sans explication ne sont pas valorisées. Enfin le jury invite les candidats à porter une attention particulière à la gestion du temps de composition, afin de répartir leurs efforts sur l'intégralité du sujet.

La maîtrise de tous ces points sera nécessaire aux candidats dans la pratique de leur futur métier d'enseignant pour exposer clairement les notions qu'ils auront à transmettre.

E. Résultats

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

	CAPET (public)	CAFEP (privé)
Nombre de copies	80	26
Moyenne	8,77	9,46
Note maximum	17,60	16,90
Écart type	4,18	3,86

Épreuve écrite disciplinaire appliquée

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures
Coefficient 2

L'épreuve, commune à toutes les options, porte sur l'analyse et l'exploitation pédagogique d'un système pluri-technologique. Elle invite le candidat à la conception d'une séquence d'enseignement, à partir d'une problématique et d'un cahier des charges.

L'épreuve permet de vérifier :

- que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système pluri-technologique des points de vue de la matière, de l'énergie et/ou de l'information, afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges ;
- qu'il est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation).

Les productions pédagogiques attendues sont relatives à une séquence d'enseignement portant sur les programmes de collège ou de lycée.

L'épreuve est notée sur 20. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire.

B. Sujet

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

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capet_externe/87/0/s2022_capet_externe_sii_2_1424870.pdf



Ce sujet met en situation un professeur, ou une professeure, de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) dans un lycée général et technologique. Une partie de son service est donnée dans une classe de première STI2D de 32 élèves en spécialités ingénierie et développement durable (I2D) et innovation technologique (IT).

La société Rotronics développe et commercialise des bancs d'essai à rouleaux : AutoScan Fi. Les concepteurs ont cherché à fournir à leurs clients un produit pouvant reproduire en atelier des conditions équivalentes à un contexte normal. L'intérêt est la reproductibilité du cycle. L'utilisateur va pouvoir modifier, comme il le souhaite, des paramètres ou des éléments de son véhicule et tester rapidement le gain de puissance ou l'évolution des émissions qu'il obtient.

Le banc est équipé de quatre rouleaux sur lesquels reposent les quatre roues du véhicule testé. Ces rouleaux sont raccordés deux à deux par un axe, à l'avant et à l'arrière. Ces axes qui tournent à la même vitesse sont mis en rotation par une courroie à tension réglable afin d'adapter l'écartement entre les rouleaux avant et arrière à la taille du véhicule étudié. Une machine électrique entraîne la courroie.

C. Éléments de correction

Question 1.

Objectifs de formation :

- O1 - Caractériser des produits ou des constituants privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable
- O5 – Imaginer une solution, répondre à un besoin
- O7 – Expérimenter et réaliser des prototypes ou des maquettes

Compétences :

- CO7.2 : Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit
- Identifier et justifier un problème technique à partir de l'analyse globale d'un produit (approche matière – énergie – information)
- CO1.1. Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable
- CO1.2. Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design
- Peuvent également être citées : CO3.1, CO3.2, CO3.4, CO4.1, CO4.2, CO5.3 pour le thème « 2. Approche fonctionnelle et structurelle des produits ».

Connaissance :

1.1.2 communication technique

Question 2. IT, niveau taxonomique 2

Question 3.

L'exigence 1.3 comporte 4 sous-exigence :

- - 1.3.1 : véhicule immobile pendant l'essai ;
- - 1.3.2 : vibrations et nuisances sonores limitées ;
- - 1.3.3 : arrêt du véhicule en moins d'une minute en cas de défaillance ;
- - 1.3.4 : extraction des gaz d'échappement.

Exemple de questionnement :

- 1- Lire le diagramme des exigences et citer les 4 exigences principales ;
- 2- Dire quels sont les points de vigilance pour la sécurité des utilisateurs ;
- 3- Sur la figure 2, relever les systèmes de sécurité mis en place.

Question 4. Une salle de classe ne devrait pas recevoir plus de 35dB < 60dB qui correspond à un bruit courant en ville.

Question 5. Ce sont les bruits d'une voiture ou d'un véhicule, donc bruit routier.

Question 6. Par lecture graphique : $R = 35\text{dB}$.

Intensité du son perçu : $I = 92 - 35 = 57\text{ dB}$.

57 dB est assez proche des 60 dB mesurés dans la salle. La différence peut venir d'une imperfection dans la cloison ou de la liaison avec le plafond ou d'un pont phonique (trou...)

Question 7. Il faut passer de 57 dB à 35 dB (ou de 60dB à 35 dB si les données expérimentales sont utilisées). Il faut donc réduire encore de $57 - 35 = 22\text{ dB}$ (ou 25dB). Sur la figure 21, avec carreaux de plâtre, seule la 3^e colonne (la plus performante) avec une atténuation de 26 dB permet d'atteindre l'objectif.

Question 8. L'isolation de la paroi ne suffit pas à freiner les bruits aériens si on ne tient pas compte des ponts acoustiques : trous, fourreaux électriques dans le mur, liaisons basse ou haute ; des bruits d'impacts par le sol...

Question 9. Exemple de problématique : comment choisir la bonne épaisseur d'un matériau isolant acoustique ?

Attendus : les élèves font l'essai avec 3 matériaux de même épaisseur et constatent des affaiblissements différents. Puis ils étudient 3 épaisseurs différentes d'un même matériau. Ils doivent en déduire que c'est la masse surfacique qui compte.

Question 10. $\omega_{\text{pneu}} = \omega_m \times \frac{\omega_e}{\omega_m} \times \frac{\omega_s}{\omega_e} \times \frac{\omega_{\text{pneu}}}{\omega_s} = \frac{N_m \times 2\pi}{60} \times 1 \times k_v \times k_p = 21,32 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Question 11. $\omega_r = \omega_{\text{pneu}} \times \frac{d_p}{d_r} = 23,76 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Question 12. $\|\vec{N}(\text{roul} \rightarrow \text{pneu})\| = \frac{\text{masse} \times g}{4} = 3,43 \text{ kN}$

Question 13. $\|\vec{T}(\text{roul} \rightarrow \text{pneu})\|_{\text{max}} = f_a \times N = 3,77 \text{ kN}$

Question 14. $P_{\text{roue}} = \eta \times P_m$

$F_{t\text{max}} \times V = \eta \times C_{\text{max}} \times \omega_m$ avec V la vitesse du point M : $V = \frac{d_p}{2} \times \omega_{\text{pneu}}$

$F_{t\text{max}} = \frac{2 \times \eta \times C_{\text{max}}}{d_p} \times \frac{\omega_m}{\omega_{\text{pneu}}}$

$\frac{\omega_m}{\omega_{\text{pneu}}} = \frac{1}{1 \times k_v \times k_p}$ (résultat obtenu à la question 10)

$F_{t\text{max}} = \frac{2 \times \eta \times C_{\text{max}}}{d_p} \times \frac{1}{1 \times k_v \times k_p}$

Question 15. $C_{\text{max}} = 350 \text{ N}\cdot\text{m}$

Rapport engagé	$F_{t\text{max}}$
1 ^{er}	12,34 kN
2 ^e	6,44 kN
3 ^e	4,05 kN
4 ^e	2,87 kN
5 ^e	2,34 kN
6 ^e	1,93 kN

Question 16. Pour garantir l'absence de glissement il faut engager le rapport 4, 5 ou 6.

Question 17. Il y a beaucoup de similitudes entre ce système didactisé et le banc. C'est une maquette simplifiée du système réel. L'objectif de cette partie, vérifier le non glissement entre les rouleaux et les pneus, semble délicat à mettre œuvre sur le système didactisé, il n'y a pas autant de capteurs. En revanche, il est possible de faire un bilan de puissance sur la chaîne de puissance.

Question 18. Exemple 1 : Mesure du rendement de la chaîne de puissance : On relève la puissance en sortie de batterie, mesure tension et courant. On relève la puissance dissipée par le frein, vitesse et couple. Pour le couple, on peut mesurer la force exercée par le patin de freinage et en déduire la force tangentielle et donc le couple. Enfin, on calcule le rendement de la chaîne pour la comparer avec le cahier des charges ou les données du constructeur du système.

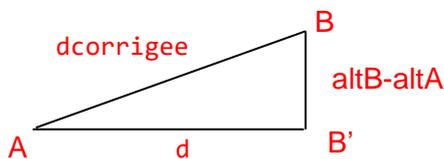
Exemple 2 : Analyse de la chaîne de puissance : Identifier les constituants de la chaîne de puissance dans un modèle multiphysique (Matlab ou Scilab). Modifier les valeurs des blocs du modèle en utilisant la documentation du constructeur des constituants (valeur de résistance, inductance, rapport de réduction...)

Question 19. Exemple 1 : Séquence 8 pour la compétence CO7.2 Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.

Exemple 2 : Séquence 7 pour la compétence CO6.2 Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multiphysique.

Question 20.

$$d = 6379137 * \text{acos}(\sin(\text{latA}) * \sin(\text{latB}) + \cos(\text{latA}) * \cos(\text{latB}) * \cos(\text{lonB} - \text{lonA}))$$



Question 21.

$$d_{\text{corrige}} = \sqrt{AB'^2 + BB'^2}$$

$$d_{\text{corrige}} = \sqrt{d^2 + (\text{altB} - \text{altA})^2}$$

$$d_{\text{corrige}} = \text{sqrt}(d^{**2} + (\text{altB} - \text{altA})^{**2})$$

Question 22.

$$\beta = \arctan\left(\frac{BB'}{AB'}\right) \quad \text{ou} \quad \beta = \arccos\left(\frac{AB'}{AB}\right)$$

$$\text{elevation} = \text{atan}((\text{altB} - \text{altA})/d) \quad \text{ou} \quad \text{elevation} = \text{acos}(d/d_{\text{corrige}})$$

Question 23. L'algorithmique et le python se limitent à un niveau taxonomique 2, soit la lecture.

- 1 : Identifier les lignes du code informatique correspondant au sous-programme « Calcul de distance et elevation entre 2 points » (ou un autre sous-programme)
- 2 : Donner le nom de la fonction associée au sous-programme « calcul de distance et elevation entre 2 points ».
- 3 : Donner le nom de la structure particulière présente dans le sous-programme « calcul des listes distance et elevation ».
- 4 : Identifier les lignes de code correspondant à la boucle dans le code python.
- 5 : Déterminer le nombre d'itérations de la boucle for.
- 6 : Donner le théorème mathématique utilisé pour calculer dcorrige
- 7 : Identifier les variables calculées par le sous-programme « Calcul de distance et elevation entre 2 points » (ou un autre sous-programme)
- 8 : Identifier les lignes de code informatique correspondant à la phase d'initialisation du sous-programme « Calcul des listes distance et elevation »
- 9 : Dans le programme principal de l'algorithme, comment peut-on identifier un sous-programme ? Quel mot clé en python permet de décrire ces sous-programmes ?

Question 24. Évaluation formative. Sous la forme d'une activité élève sur papier ou ordinateur avec intervention de l'enseignant pour aider les élèves.

Évaluation sommative possible à l'écrit mais moins pertinente

Question 25. Tension nominale = 192 V

Courant nominal = 19 A

Question 26. La vitesse de rotation du frein et le temps influence le couple de freinage. Ces deux paramètres peuvent être considérés comme des perturbations pour le contrôle du couple appliqué au véhicule. Il faut donc asservir cette grandeur.

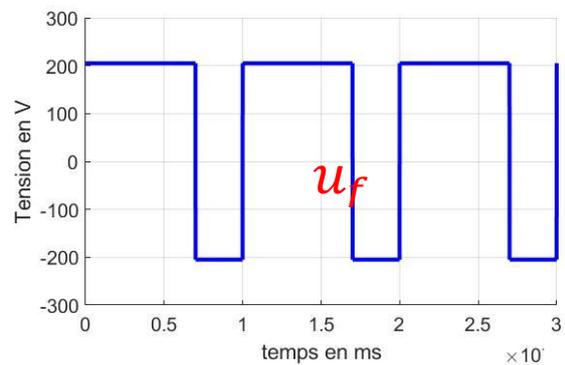
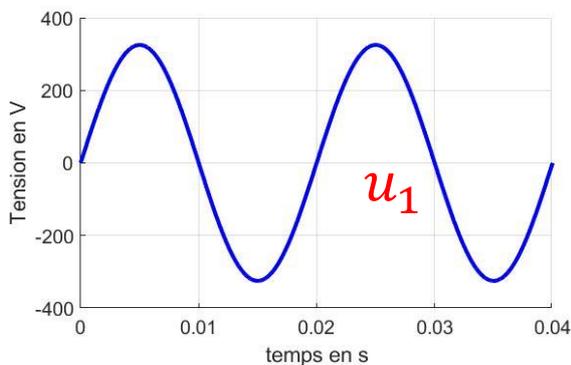
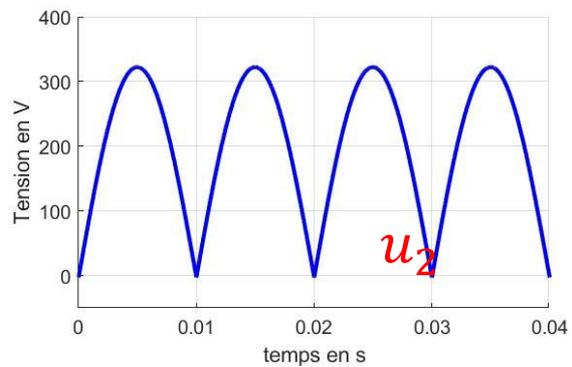
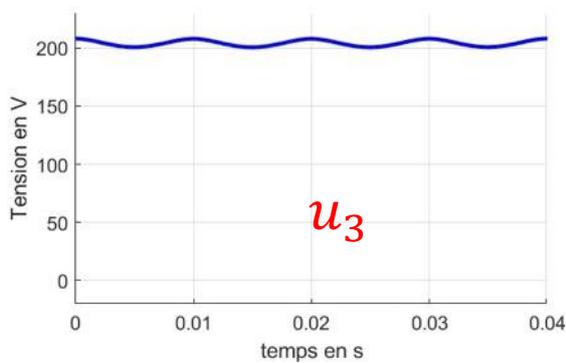
Question 27. La précision a été améliorée. Pour une consigne à 750 N·m, la valeur finale passe de 742 N·m à 749 N·m en augmentant le gain du correcteur.

Question 28. On attend une erreur statique nulle, ce correcteur avec ces réglages ne convient pas.

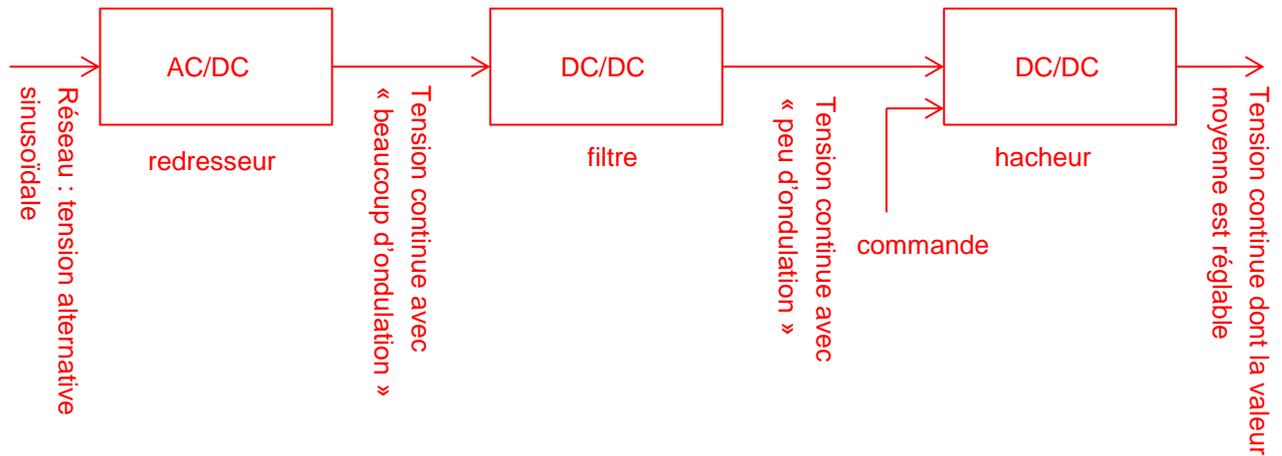
Question 29. La précision et la rapidité ont été améliorées. Les critères du cahier des charges sont respectés.

Question 30. Pour faire varier le couple, il faudra faire varier le courant, d'où la structure de hacheur. On a besoin d'inverser le courant pour démagnétiser, pour ce faire, il faudra inverser la tension d'alimentation. Il faut donc un hacheur réversible en tension et en courant, d'où le hacheur 4Q.

Question 31.



Question 32.



Question 33. Loi des mailles :

$$u_f(t) = L_f \times \frac{di_f(t)}{dt} + R_f \times i_f(t)$$

Question 34.

$$\langle u_f(t) \rangle = \langle L_f \times \frac{di_f(t)}{dt} + R_f \times i_f(t) \rangle$$

$$\langle u_f(t) \rangle = L_f \times \langle \frac{di_f(t)}{dt} \rangle + R_f \times \langle i_f(t) \rangle$$

$$\langle \frac{di_f(t)}{dt} \rangle = \frac{1}{T} \times \int_0^T \frac{di_f(t)}{dt} dt = \frac{1}{T} \times [i_f(t)]_0^T = \frac{1}{T} \times (i_f(T) - i_f(0))$$

$i_f(T) - i_f(0) = 0$ car $i_f(t)$ est périodique, ainsi :

$$\langle u_f(t) \rangle = R_f \times \langle i_f(t) \rangle$$

Question 35.

$$\langle u_f(t) \rangle = \frac{1}{T} \times \int_0^T u_f(t) dt = \frac{1}{T} \times (E \times \alpha \times T - E \times (1 - \alpha \times T)) = E \times (2 \times \alpha - 1)$$

Question 36.

$$\langle u_f(t) \rangle = E \times (2 \times \alpha - 1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\langle u_f(t) \rangle}{E} + 1 \right) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{192}{207} + 1 \right) = 0,96$$

Question 37. Le hacheur permet de couvrir toute la plage de tension jusqu'à la valeur nominale du frein, on contrôle donc le courant dans le frein et par conséquent le couple aussi.

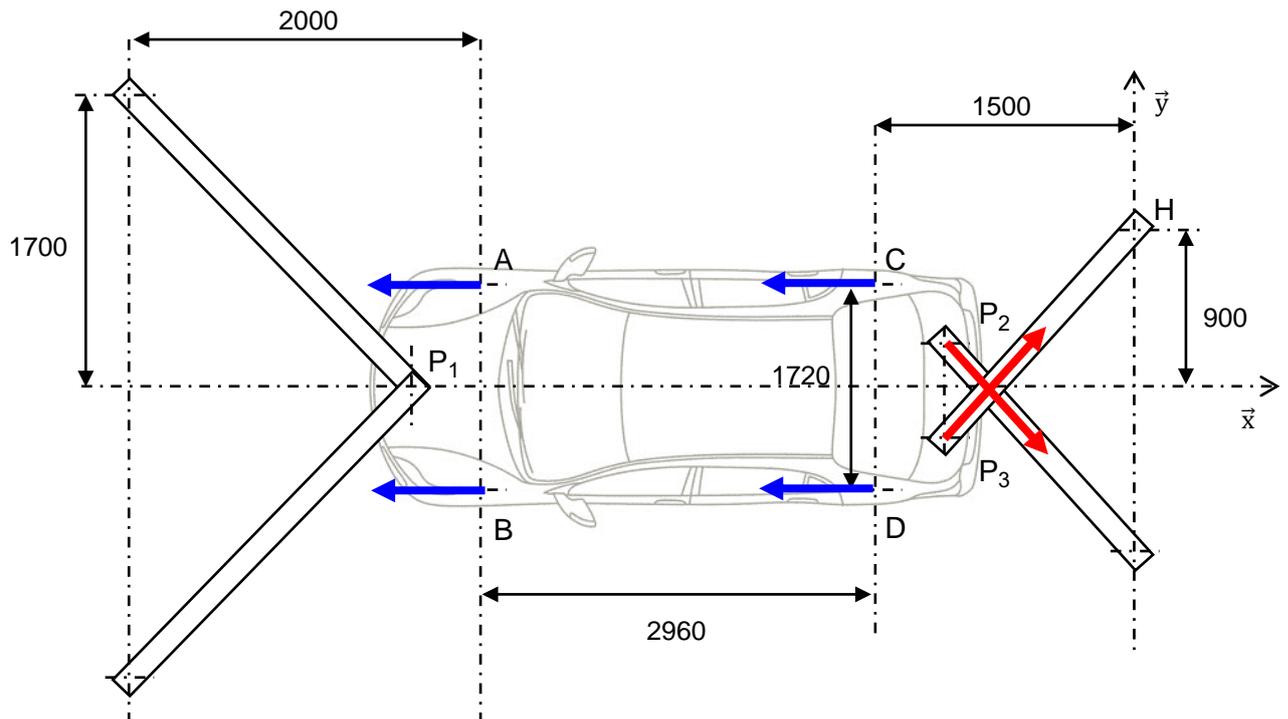
Ce contrôle se fait précisément et rapidement (réglage du correcteur), on peut donc imposer au véhicule une charge qui sera l'image d'un environnement réel ; une pente, une descente, du vent ...

Question 38. En phase d'accélération :

- L'action de la pesanteur sur le véhicule
- L'action des quatre rouleaux sur les roues
- L'action des sangles sur le véhicule

Les sangles souples ne peuvent travailler qu'en traction. Seules les sangles situées à l'arrière du véhicule sont donc sollicitées en phase d'accélération.

Question 39.



Question 40. Le problème est statiquement plan et symétrique.

Les sangles ne pouvant travailler en compression, seules les sangles arrière exercent une force ici. L'équation des résultantes sur \vec{x} s'écrit alors :

$$4 \times T(\text{roue} \rightarrow \text{rouleau}) - 2 \times F(\text{sangle} \rightarrow \text{véhicule}) \times \cos \alpha = 0$$

Où α est l'angle formé entre la sangle et l'axe \vec{x} . Une étude de la géométrie donne :

$$\tan \alpha = \frac{1250}{920}$$

Finalement :

$$F(\text{sangle} \rightarrow \text{véhicule}) = \frac{2 \times T(\text{roue} \rightarrow \text{rouleau})}{\cos\left(\arctan\left(\frac{1250}{920}\right)\right)} = 20,2 \text{ kN}$$

Question 41. La tension directe dans la sangle est de 2020 daN. Le système d'arrimage LC2500 présentant une tension maximale d'utilisation de 2500 daN est le plus adapté.

Question 42. O7 donne 6.2 « expérimentations et essais » niveau 3 sur « protocole d'essai et sécurité de mise en œuvre », mais lien nécessaire avec **3.2.3 Concept de résistance**.

Essais en I2D niveau 3

Question 43. Problématique : comment vérifier la résistance d'un matériau à la traction ?

On donne au groupe d'élèves une machine de traction et 3 éprouvettes de matériaux différents (exemple : alu, acier et plastique). Ils effectuent les essais normalisés en toute sécurité après en avoir défini le protocole. Ils tracent les courbes force/allongement et les comparent.

Question 44. Ce frein s'actionne (freine) lorsqu'il n'est pas alimenté. Il garantit la sécurité des utilisateurs lors d'une panne d'électricité.

Question 45. $dS = r \times dr \times d\theta$

Question 46. $d\vec{F}$ se décompose en un effort normal dN sur \vec{x} et un effort tangentiel dT s'opposant à la vitesse de glissement du disque par rapport garniture, c'est-à-dire porté par \vec{e}_θ .

Remarque : selon la garniture considérée, l'effort sur \vec{x} est positif ou négatif.

À la limite du glissement, les lois de Coulomb donne la relation : $dT = f_3 dN$.
Par ailleurs, p_x étant supposée constante, $dN = -p_x \times dS = -p_x \times r \times dr \times d\theta$

Alors : $d\vec{F} = dN \vec{x} - f_3 \times dN \vec{e}_\theta$

Question 47. En calculant l'intégrale donnée dans le sujet :

$$C_f = 2 \times f_3 \times p_x \times \int_{R_i}^{R_i+h} r^2 dr \times \int_{-\alpha}^{\alpha} d\theta = 2 \times f_3 \times p_x \times \frac{1}{3} \times [(R_i+h)^3 - R_i^3] \times 2 \times \alpha$$

$$C_f = \frac{4}{3} \times f_3 \times p_x \times [(R_i+h)^3 - R_i^3] \times \alpha$$

Question 48. En exploitant la formule donnée :

$$F_x = \frac{C_f}{\frac{4}{3} \times f_3 \times \frac{(R_i+h)^3 - R_i^3}{(R_i+h)^2 - R_i^2}} = \frac{3 \times 530 \times 10^3 \times ((180+45)^2 - 180^2)}{4 \times 0,5 \times ((180+45)^3 - 180^3)} = 2\ 600\ \text{N}$$

Question 49. Exemple parmi d'autres :

- 1- Expliquer le fonctionnement du frein lorsqu'il n'y a plus d'air sous pression.
- 2- Quelle est la liaison en O ?
- 3- Quelle est la liaison en A ?
- 4- Quelle est la liaison entre le piston et le cylindre ?
- 5- À combien de forces est soumise la pièce 2 ?
- 6- Que peut-on en déduire ?

Compétences : CO3.3 Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un produit ou d'un processus, CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit, CO5.7. Définir la structure matérielle, la constitution d'un produit en fonction des caractéristiques technico-économiques et environnementales attendues
On peut aussi citer le PFS (3.2.3 concept de résistance)

Question 50. $\vec{R}(\text{ressort} \rightarrow 1) = -k \times \lambda \vec{y}$

Question 51. Bilan des actions mécaniques extérieures :

- Action du ressort, de résultante : $\vec{R}(\text{ressort} \rightarrow 1) = -k \times \lambda \vec{y}$
- Action de 2 sur 1 transmise par la liaison sphère-plan, de résultante $\vec{R}(2 \rightarrow 1) = Y_{21} \vec{y}_2$
- Action de 0 sur 1 transmise par la liaison pivot-glissant, de résultante $\vec{R}(0 \rightarrow 1) = X_{01} \vec{x} + Z_{01} \vec{z}$

L'équation des résultantes sur \vec{y} donne :

$$-k \times \lambda + Y_{21} \times \cos \theta_{20} = 0$$

Finalement :

$$\vec{R}(2 \rightarrow 1) = \frac{k \times \lambda}{\cos \theta_{20}} \vec{y}_2$$

Question 52. Bilan des actions mécaniques extérieures (problème plan) :

- Action de 1 sur 2 transmise par la liaison sphère-plan, de résultante $\vec{R}(1 \rightarrow 2) = -\vec{R}(2 \rightarrow 1)$
- Action de 0 sur 1 transmise par la liaison pivot de résultante : $\vec{R}(0 \rightarrow 2) = X_{02} \vec{x} + Z_{02} \vec{z}$
- Action de la garniture sur 2, de résultante : $\vec{R}(\text{garniture} \rightarrow 2) = F_x \vec{x}$

Au point O, la liaison pivot de 0 sur 1 ne transmet pas de moment. On peut alors exploiter l'équation des moments en ce point pour trouver la relation recherchée.

$$\vec{R}(1 \rightarrow 2) \wedge \vec{AO} + \vec{R}(\text{garniture} \rightarrow 2) \wedge \vec{BO} = \vec{0}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \frac{k \times \lambda}{\cos \theta_{20}} \vec{y}_2 \wedge (-x_A \vec{x} - (y_A - \lambda) \vec{y}) + F_x \vec{x} \wedge (-x_B \vec{x}_2 + y_B \vec{y}_2) = \vec{0} \\ \Rightarrow & - \frac{k \times \lambda \times (x_A \times \cos \theta_{20} + (y_A - \lambda) \times \sin \theta_{20})}{\cos \theta_{20}} + F_x \times (-x_B \times \sin \theta_{20} + y_B \times \cos \theta_{20}) = 0 \\ \Rightarrow & F_x = \frac{k \times \lambda \times (x_A + (y_A - \lambda) \times \tan \theta_{20})}{-x_B \times \sin \theta_{20} + y_B \times \cos \theta_{20}} \end{aligned}$$

Question 53.

$$\begin{aligned} k &= \frac{-x_B \times \sin \theta_{20} + y_B \times \cos \theta_{20}}{\lambda \times (x_A + (y_A - \lambda) \times \tan \theta_{20})} \times F_x \\ k &= \frac{-87 \times \sin(13^\circ) + 54 \times \cos(13^\circ)}{10 \times (40 + (15 - 10) \times \tan(13^\circ))} \times 2600 = 209 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1} \end{aligned}$$

Question 54. Les principales exigences du diagramme sont respectées (frein à disque, frein à courant de Foucault, sangles, extraction des fumées, protection des parties tournantes...). Il faut veiller au bruit (bouchons d'oreille). Son prix en limite toutefois l'implantation.

Question 55. Utilisable avec des étudiants de BTS mais pas avec des lycéens : pilotage d'une voiture (permis), mise en place longue, certaines notions hors programme.

Mais en exploitation ponctuelles (TD, TP, devoirs, ...) ou en mini-projet peut être utile si lié à une visite du site par les élèves. Lien avec concours de voiture type F2000.

D. Commentaires du jury

Grâce aux six parties qui composent le sujet, les différents champs des sciences industrielles de l'ingénieur sont abordés. Le jury constate que les candidats ont trop tendance à traiter le sujet chronologiquement, à buter sur les questions qu'ils trouvent difficiles, et à ne pas avancer plus loin pour trouver des parties plus abordables.

Comme les élèves, ils doivent apprendre à lire tout le sujet pour repérer les parties « plus faciles » pour eux, d'autant plus qu'elles étaient toutes indépendantes les unes des autres.

Au niveau des résultats par parties, on constate que la valence des candidats est encore très visible, même si on peut déplorer que certains d'entre eux n'ont pas traité les parties pourtant en rapport direct avec elle.

Les questions pédagogiques sont bien abordées mais les réponses montrent une grande méconnaissance des programmes et des méthodes pédagogiques et didactiques usuelles. Ainsi, certains confondent IT et ITEC, ne connaissent pas la différence entre IT et I2D en première, confondent compétences et connaissances, ne connaissent pas la différence entre séquence et séance ou entre les différentes formes d'évaluation. Le fait que ces questions soient distillées au fil de l'eau n'a pas gêné les candidats mais au contraire leur a permis de contextualiser les notions abordées.

Partie 1. Mise en situation

Cette partie est constituée par trois questions pédagogiques, majoritairement bien traitée par les candidats, qui maîtrisent la lecture des diagrammes SYSML, mais pas forcément les programmes de STI2D.

Partie 2. Isolation acoustique des parois

Six questions à caractère essentiellement IC dont une pédagogique. Certains candidats IC ne l'ont pas abordée alors que cette partie était faisable même sans aucune connaissance spécifique, simplement avec du bon sens.

Partie 3. Vérification du bon déroulement d'un essai

Dix questions à caractère essentiellement « mécanique » dont trois pédagogiques. Les candidats IM s'en sortent mieux que les autres mais les résultats interpellent sur le niveau sur les fondamentaux des enseignements SII. De nombreux candidats ne sont pas capables d'établir une relation entre vitesses et rapport de réduction. Un manque de rigueur mathématiques est à déploré sur des calculs simples.

Partie 4. Cycle d'essais standardisé

4.1. Simulation d'un parcours

Cinq questions à caractère essentiellement « numérique » dont une pédagogique. Les relations trigonométriques et Pythagore dans un triangle rectangle sont moyennement maîtrisées par de nombreux candidats. De même alors que la syntaxe python est rappelée, les candidats ne complètent pas le programme informatique avec la bonne.

4.2. Création des conditions réelles de conduite

Treize questions à caractère essentiellement « énergie » dont une pédagogique. La tension aux bornes d'une inductance n'est pas connue, pire l'utilisation de la loi d'Ohm est complètement fautive avec des expressions non homogènes du type $u=(R+L)*i$ ou $u = R*L*i$. Sur les candidats IE, seuls 40% ont répondu correctement.

Partie 5. Sécurité des utilisateurs

5.1. Maintien à l'arrêt du véhicule pendant l'essai

Six questions à caractère essentiellement « mécanique de base » dont deux pédagogiques. Les questions de bon sens ne sont pas traitées. On demande d'effectuer un bilan des actions mécaniques extérieures, de nombreux candidats ne citent pas le poids ou un effort qu'ils représentent sur le document réponse de la question suivante.

5.2. Arrêt du système en urgence

Dix questions « M.E. » dont une pédagogique. En fin de sujet, peu de candidats les ont traités, y compris pour des questions de niveaux Terminale STI2D ou des questions de bon sens pur.

Partie 6. Conclusion

Les candidats qui sont arrivés au bout du sujet et ont traité la conclusion ont été plutôt bien récompensés et ont donné des réponses cohérentes à des questions de bon sens.

Le jury rappelle une nouvelle fois aux candidats l'importance de soigner la présentation de la copie, la qualité de la rédaction et la précision du vocabulaire. Le jury demande aux candidats de faire particulièrement attention au soin apporté et à la qualité de la rédaction. Les candidats doivent correctement repérer les questions et en cas d'absence de réponse, l'indiquer clairement sur la copie. Le jury conseille également de mettre les résultats en évidence, en les encadrant par exemple.

Il est important de connaître les unités des différentes grandeurs physiques pour avoir un regard critique sur l'homogénéité des relations et des résultats proposés. Le jury invite donc les candidats à traiter ces aspects avec plus de rigueur. Les résultats doivent être présentés sous forme littérale, et les applications numériques doivent aussi être réalisées avec rigueur avec un nombre significatif de chiffres après la virgule cohérent.

Les candidats doivent se présenter pour l'épreuve avec une calculatrice scientifique en état de marche. La rigueur mathématique fait partie des attendus des candidats aux concours de recrutement de professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur. Les grandeurs vectorielles ou scalaires doivent être clairement identifiées et la résolution d'équations mathématiques maîtrisée. Le jury recommande aux

candidats d'apporter un soin particulier aux questions de conclusion de chacune des parties. Les écarts évalués doivent être clairement mis en évidence et commentés. La validation des performances se fait de façon justifiée vis-à-vis des critères du cahier des charges et des travaux réalisés dans la partie concernée. Par ailleurs, une lecture attentive et complète du sujet est nécessaire pour permettre d'exploiter au mieux les documents ressources mis à disposition.

Le jury insiste sur le fait que pour traiter cette épreuve transversale, les candidats doivent avoir un minimum de connaissances et de culture scientifique dans plusieurs domaines. Bien qu'une évolution soit constatée, ce point reste primordial pour des enseignants destinés à l'enseignement technologique dans sa globalité. Le jury conseille donc aux futurs candidats de travailler dans ce sens.

Enfin, le candidat qui se présente à un concours pour être enseignant en SII doit avoir un minimum de connaissances pédagogiques propres au métier auquel il postule. Il se doit de connaître à minima la structure du baccalauréat technologique STI2D, la structure et le découpage de son programme, la différence entre les compétences, les connaissances et les objectifs... Il en va de même pour la technologie au collège ou la spécialité sciences de l'ingénieur pour le baccalauréat général.

E. Résultats

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

	CAPET (public)	CAFEP (privé)
Nombre de copies	79	26
Moyenne	8,89	9,95
Note maximum	15,60	15,30
Écart type	3,71	3,59

Épreuve de leçon

A. Présentation de l'épreuve

Durée des travaux pratiques encadrés : cinq heures

Durée de la présentation : trente minutes maximum

Durée de l'entretien : trente minutes maximum

Coefficient : 5

L'épreuve a pour objet la conception et l'animation d'une séance d'enseignement dans l'option choisie. Elle permet d'apprécier à la fois la maîtrise disciplinaire, la maîtrise de compétences pédagogiques et de compétences pratiques.

L'épreuve prend appui sur les investigations et analyses effectuées par le candidat pendant les cinq heures de travaux pratiques relatifs à une approche spécialisée d'un système pluri-technologique et comporte la présentation d'une séance d'enseignement suivi d'un entretien avec les membres du jury. L'exploitation pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements en collège, en lycée et aux sections de STS de la spécialité.

L'épreuve est notée sur 20. 10 points sont attribués à la partie liée aux travaux pratiques et 10 points à la partie liée à la soutenance. La note 0 à l'ensemble de l'épreuve est éliminatoire.

B. Déroulement de l'épreuve

• Organisation

Les deux parties, travaux pratiques et exploitation pédagogique, sont indépendantes et sont notées chacune sur dix points.

La séparation de l'évaluation des deux parties de l'épreuve permet de dissocier la réussite à la partie « travaux pratiques » de celle à la partie « exploitation pédagogique ».

Les supports utilisés, pour cette session, sont des systèmes pluri-technologiques actuels :

- robot haptique ;
- véhicule de mobilité urbaine.
- bras deux axes de contrôle par caméra ;
- robot collaboratif ;
- barrière de péage ;
- égreneur ;
- robot humanoïde ;
- système de caméra auto-suiveuse ;
- nacelle de prise de vue.

Les documents accompagnant le support fournissent une guidance qui permet aux candidats, qu'elle que soit leur connaissance du système de mobiliser leurs compétences scientifiques et pédagogiques. Chaque support conduit à une exploitation pédagogique, liée à l'option choisie, de niveau imposé en technologie au collège, en série STI2D (sciences et technologies de l'industrie et du développement durable), en spécialité sciences de l'ingénieur de la voie générale ou en STS de la spécialité.

Pour la partie travaux pratiques, les postes de travail sont équipés, selon la nécessité des activités proposées, des matériels usuels de mesure des grandeurs physiques (oscilloscopes numériques, multimètres, dynamomètres, tachymètres, cartes d'acquisition associées à un ordinateur...). Cette liste n'est pas exhaustive.

Le jury dispose d'une traçabilité des connexions sur le réseau permettant de suivre les sites consultés.

- **Travail demandé**

Rappel des attendus

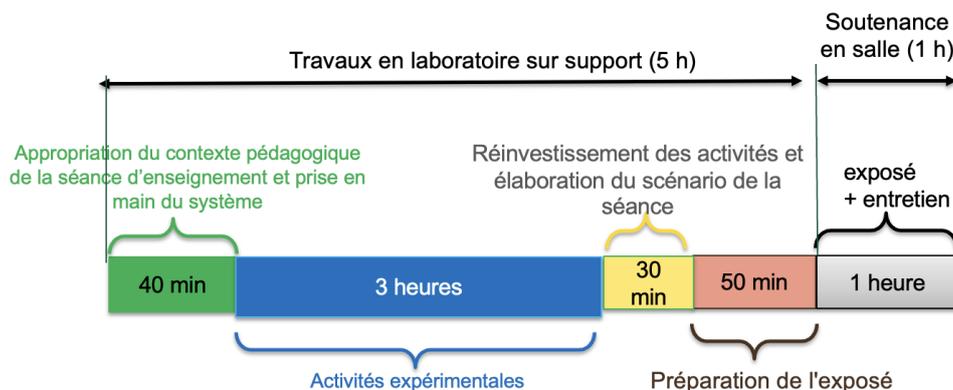
L'épreuve a pour objet la conception et l'animation d'une séance d'enseignement. La séance proposée prendra appui sur les investigations effectuées pendant la phase de travaux pratiques. Cette épreuve permet d'apprécier à la fois la maîtrise disciplinaire, la maîtrise de compétences pédagogiques et de compétences pratiques du candidat.

L'épreuve se déroule selon la chronologie suivante :

Travaux en laboratoire (5 heures) :

- Phase 1 : appropriation du contexte pédagogique de la séance d'enseignement et prise en main du système (40 minutes) ;
- Phase 2 : réalisation d'activités expérimentales (3 heures) ;
- Phase 3 : réinvestissement des activités et élaboration du scénario de la séance (30 minutes) ;
- Phase 4 : préparation de l'exposé (50 minutes).

Exposé (1 heure) : 30 minutes maximum de présentation, 30 minutes maximum d'entretien.



Phase 1 : Appropriation du contexte pédagogique de la séance d'enseignement et prise en main du système (40 minutes)

Appropriation du contexte pédagogique

La séance d'enseignement à présenter lors de l'exposé est une activité prévue pour une heure en classe entière. Elle doit être élaborée pour la série, le niveau et les objectifs de formation définis ci-dessous.

Les éléments suivants sont indiqués au candidat :

- Série : Technologie, STI2D, SI ou BTS (spécialité précisée selon le sujet)
- Niveau : classe concernée
- Période : période de l'année (début, milieu ou fin d'année)
- Compétences visées (il s'agit des compétences que la séance présentée par le candidat doit permettre de développer chez les élèves ; une à deux compétences sont imposées)
- Connaissances/savoirs associés (il s'agit des connaissances/savoirs associées aux compétences ; elles devront être développée(s) dans le cadre de la séance présentée par le candidat)

Prise en main du système et de son environnement

Il est mis à disposition du candidat :

- un espace numérique personnel accessible pendant les six heures de l'épreuve ;
- un ordinateur équipé des logiciels de bureautique et dédiés aux activités pratiques (avec accès à internet) ;
- un dossier « Documents candidats » comportant diverses ressources ;
- un système didactisé

Quelques manipulations sont proposées au candidat. Elles sont fortement guidées et doivent permettre une prise en main des matériels/logiciels mis à sa disposition pour réaliser les activités expérimentales suivantes.

Phase 2 : activités expérimentales (3 heures)

Dans cette phase 2, une succession d'activités expérimentales est proposée aux candidats. Ces activités permettent d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- concevoir un protocole expérimental ;
- mettre en œuvre un protocole expérimental ;
- réaliser une partie d'un programme ;
- réaliser le relevé de grandeurs physiques ;
- extraire des informations de documentations fournies ;
- analyser les relevés et en conclure quant à l'objectif (ce retour à l'objectif de l'activité est essentiel).

Phase 3 : réinvestissement des activités et élaboration du scénario de la séance (30 minutes)

La séance d'enseignement à présenter lors de l'exposé est une activité prévue en classe entière pour une durée d'une heure. Elle doit être élaborée pour la série, le niveau et les objectifs de formation définis en phase 1.

Le programme (ou le référentiel) de la classe concernée est mis à disposition du candidat.

À partir du contexte pédagogique imposée, il est demandé au candidat d'identifier parmi les activités expérimentales réalisées lors de la phase 2 celles qui pourraient être exploitées. Le candidat ayant toujours accès au matériel de travaux pratiques, des expérimentations complémentaires peuvent être réalisées.

Phase 4 : préparation de l'exposé (50 minutes)

Lors de cette phase, le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques.

Pour information, le candidat dispose lors de son exposé :

- de l'espace numérique personnel utilisé lors des phases précédentes ;
- d'un ordinateur équipé des logiciels de bureautique et d'un vidéoprojecteur ;
- d'un tableau blanc et de feutres.

La durée de la présentation devant la commission d'interrogation est de 30 minutes maximum.

Elle doit inclure une courte introduction explicitant :

- la description du contexte pédagogique de la séance (imposé en phase 1), une description succincte de l'articulation de la séance présentée avec les séances antérieures et postérieures ;
- la(les) problématique(s) éventuelle(s) permettant de contextualiser les activités proposées aux élèves ;
- le plan de la séance.

Les activités proposées aux élèves dans le cadre de la séance sont ensuite présentées et argumentées.

Il n'est pas attendu du candidat qu'il détaille lors de l'exposé la chronologie des activités expérimentales qu'il a conduites au laboratoire durant les trois heures qui y sont consacrées.

C. Commentaires du jury

1. Analyse globale des résultats

Le jury tient à souligner la qualité de préparation de la majorité des candidats. Néanmoins, les attendus de l'épreuve et les modalités de mise en œuvre décrits au JORF ne sont toujours pas connus de tous. Il s'avère extrêmement difficile de réussir les activités pratiques et l'exploitation pédagogiques si les objectifs spécifiques de ces deux parties de l'épreuve ne sont pas connus.

Les notions théoriques portant sur la didactique de la discipline et sur les différentes démarches pédagogiques associées sont régulièrement citées par les candidats. Elles sont rarement justifiées et parfois énoncées d'une façon inappropriée. Elles ne font que trop rarement l'objet d'une contextualisation ou d'une proposition concrète dans le cadre de la séance présentée lors de la leçon.

Une proportion notable de candidats ne connaît pas les grands éléments de la réforme du lycée. Les programmes de technologie au collège et de la série STI2D et de la spécialité sciences de l'ingénieur du lycée général et technologique ainsi que les documents ressources pour faire la classe sont parfois inconnus des candidats. Le jury a été également surpris que des candidats ne soient pas acculturés au socle commun de connaissances, de compétences et de culture ainsi qu'à l'évaluation par compétences.

Le nombre des exploitations pédagogiques portant sur le collège, la série STI2D, la spécialité SI ou les STS de la spécialité a été équilibré sur l'ensemble de la session ; les candidats doivent être en mesure de produire des séances sur tous les niveaux d'enseignement. Le jury rappelle que les exploitations pédagogiques doivent s'appuyer sur les programmes et référentiels en vigueur lors de la session du concours.

2. Commentaires et conseils aux candidats

Pour la partie travaux pratiques

Le manque de culture scientifique et technologique pénalise de nombreux candidats dans l'appropriation des supports pluri-technologiques. Il est impératif, pour réussir cette épreuve, de disposer de compétences et de connaissances scientifiques et technologiques avérées dans les trois domaines « matière – énergie – information ». Cette culture technologique ne se limite en aucun cas à un domaine disciplinaire unique lié à l'option choisi par le candidat. Les futurs professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur se doivent d'avoir une vision transversale et globale de leur discipline et de conduire une veille technologique régulière.

Les candidats les plus efficaces font preuve d'autonomie, d'esprit critique et d'écoute lors des travaux pratiques. Ils prennent des initiatives dans la conception de leur séance pédagogique et mettent à profit l'ensemble des ressources numériques mises à leur disposition.

Organisation à suivre lors de l'épreuve

Il convient de prendre connaissance du sujet avant de commencer les activités expérimentales, de lire les consignes et de ne pas se précipiter pour commencer les manipulations

Les candidats réalisent des activités expérimentales et analysent des résultats afin de conclure sur les problématiques du sujet. Ces manipulations, mesures et interprétations, sont réalisées au niveau de compétences d'un master première année.

Les candidats doivent penser à garder des traces numériques de leurs résultats et de leurs travaux afin de les réinvestir dans une séance adaptée au collège ou au lycée.

La connaissance préalable du système et des logiciels n'étant pas demandée, les membres de jury peuvent être sollicités par les candidats en cas de problème ou de difficultés liées à l'exploitation d'un logiciel ou d'un appareil de mesure spécifique. Plus généralement, le jury est présent pour accompagner les candidats dans leur démarche.

Aptitude à mener un protocole expérimental

Le jury a apprécié l'autonomie dans la manipulation des systèmes de certains candidats. La mise en œuvre des matériels de mesure et d'acquisition ne suscite pas de difficultés particulières. Cependant pour certains, les instruments de mesure de base ne sont pas suffisamment connus (nom, utilisation, symbole et unités des grandeurs physiques mesurées). Les membres du jury assurent l'accompagnement nécessaire afin que la spécificité d'un équipement ne constitue pas un obstacle à la réussite du candidat. On attend du candidat qu'il soit capable de proposer et de justifier des choix de protocoles expérimentaux.

Utilisation des modèles numériques

Globalement, les candidats utilisent correctement les modèles numériques fournis. Le jury note cependant que de nombreux candidats manquent de recul et d'esprit critique dans l'interprétation des résultats de la simulation numérique et dans l'analyse des hypothèses utilisées lors de l'élaboration du modèle. Il est attendu des candidats une analyse pertinente des écarts entre les résultats fournis par la modélisation, les mesures issues du système réel à partir d'expérimentations et/ou les performances attendues indiquées dans le cahier des charges.

Préparation de la séance

Le candidat doit bien identifier les activités réalisées qui pourraient être sollicitées lors de l'exposé, au niveau collège, en pré-bac ou en BTS. Cet inventaire doit l'amener à envisager les activités possibles à proposer dans la classe pour la séance et le niveau demandé. Les conclusions et les résultats de ces expérimentations pourront certainement être réutilisés lors de l'élaboration de la séance.

Il convient de transposer les activités demandées aux candidats lors des activités expérimentales dans un contexte de formation pour des élèves (ou étudiants) au regard de la commande pédagogique imposée dans le sujet. Le jury regrette que pour la plupart des candidats il n'est fait aucun retour sur les résultats obtenus à l'issue de la séance et les objectifs indiqués en début de séance. Le hors-sujet est encore malheureusement trop fréquent.

Pour l'exposé devant le jury

Les candidats inscrivent leur développement pédagogique dans un contexte pédagogique donné dans le sujet. La séance d'enseignement à présenter est une activité prévue en classe entière pour une durée d'une heure. Afin de bien préciser au jury les enjeux et les attendues de la séance, celle-ci doit être intégrée dans une séquence. Le candidat doit situer la séance dans une organisation temporelle, en précisant ce qui est fait avant et après. Il doit également expliciter la construction de la séance en s'appuyant sur tout ou partie des activités expérimentales réalisées auparavant et de leurs résultats. Le candidat est amené à préciser pour la séance décrite les prérequis, les objectifs (compétences à faire acquérir, capacités et connaissances attendues), l'organisation de la classe, les modalités pédagogiques (cours, activités dirigées, activités pratiques, projet), les stratégies pédagogiques (déductif, inductif, différenciation pédagogique, démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, pédagogie par projet, approche spiralaire...), les activités des élèves et les productions attendues. La description de la séance doit faire explicitement apparaître la prise en compte de la diversité des publics accueillis dans la classe. Il est attendu que le candidat précise la façon dont il compte animer la classe et mettre en synergie les élèves / étudiants en vue de la structuration des acquis.

Les phases de structuration des connaissances permettant la construction des connaissances des élèves et les différentes formes d'évaluations des élèves peuvent être des parties intégrantes de la séance.

Les différentes modalités d'enseignement (enseignement pratique interdisciplinaire, interdisciplinarité, concours scientifique et technique...) et les dispositifs d'accompagnement et de remédiation doivent être précisés.

Utilisation du numérique

Le jury conseille aux candidats de bien identifier les points de leur séance pédagogique pour lesquels l'usage du numérique apportera une réelle plus-value aux apprentissages des élèves. Le jury constate que peu de candidat propose une exploitation du numérique éducatif, à des fins d'animation de séance, de présentation, de travail collaboratif, d'outil relationnel entre le professeur et les élèves (type ENT par exemple d'entre eux proposent une séquence exploitant le numérique éducatif.

Réinvestissement des résultats de travaux pratiques

L'objectif attendu de la leçon est une exploitation pédagogique s'appuyant sur tout ou partie des activités pratiques réalisées et de leurs résultats et permettant aux apprenants de comprendre les concepts fondamentaux utilisés dans les compétences visées. Les activités expérimentales demandées dans la partie « travaux pratiques » sont d'un niveau supérieur à la séance demandée, il ne s'agit donc pas de faire, au travers de la séance pédagogique, un compte-rendu de l'activité pratique réalisée, mais de s'appuyer sur les expérimentations pour en extraire des données et des activités à proposer aux élèves. Cependant, une rapide présentation des objectifs et conclusions des expérimentations réalisées en TP en 1ère partie de l'épreuve, permettra au jury de mieux comprendre l'intégration de ceux-ci dans la séance. Il est apprécié de réaliser une présentation dynamique qui inclut des copies d'écran, des résultats de mesures, des éléments de cahier des charges ou d'analyse SysML, etc.

Le jury ne se satisfait en aucun cas d'une exploitation brute des activités proposées dans la première partie de l'épreuve.

Réalisme de l'organisation de la classe

Le jury attend des candidats qu'ils émettent des hypothèses réalistes sur les conditions d'enseignement. Leurs propositions doivent être pragmatiques afin que le jury puisse appréhender le scénario pédagogique envisagé (travail en "autobus", en ilot, en équipes, en binôme ou individuellement). Le candidat doit notamment préciser son rôle dans la conduite et l'animation de la séance.

Évaluation

Le processus retenu par le candidat pour l'évaluation des compétences doit être clairement décrit (évaluation diagnostique, formative, sommative, certificative, ...) et justifié. Les critères d'évaluation doivent être explicités. Les modalités et les outils doivent être précisés. Si des remédiations ou des différenciations pédagogiques sont envisagées, elles doivent être explicitées.

Trop souvent, les candidats se contentent d'évoquer les processus d'évaluation sans pouvoir en expliquer réellement le déroulement, les modalités et surtout l'objectif en termes d'acquisition des compétences par les élèves.

Présentation orale

Quelques candidats proposent des présentations (orales et écrites) très formatées, quelques fois hors du contexte des activités pratiques réalisées en amont, qui ne résistent pas aux questionnements du jury et mettent en évidence des lacunes.

Le jury note également que quelques candidats limitent leur présentation à un descriptif sommaire des activités sans expliciter et justifier clairement la démarche.

Le jury invite les candidats à, certes, maîtriser les attendus pédagogiques et didactiques de la discipline, mais surtout à être en capacité de les réinvestir de façon adaptée et pertinente. À titre d'exemples, les

termes « formatif », « sommatif », « inductif », ... doivent être utilisés à bon escient et dans un contexte adapté.

Enfin, le jury rappelle que le concours constitue la première étape de l'entrée dans le métier du professorat. Le candidat se doit donc d'adopter une posture et un positionnement exemplaires constitutifs de la mission d'enseignant. Le jury invite vivement les candidats à s'appropriier le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (arrêté du 1-7-2013 - J.O. du 18-7-2013).

Réactivité au questionnement

Le jury attend de la concision et de la précision ainsi qu'une honnêteté intellectuelle dans les réponses formulées. Les réponses au questionnement doivent laisser transparaître un positionnement adapté aux attentes de l'Institution et une réelle appropriation des valeurs de la République.

Le candidat se doit d'être réactif sans chercher à éluder les questions ou à noyer le propos dans un discours pédagogique non maîtrisé. Plus qu'une réponse exacte instantanée, le jury apprécie la capacité à argumenter, à expliquer et justifier une démarche ou un point de vue.

Qualité des documents de présentation et expression orale

Il est attendu des candidats une maîtrise des outils numériques pour l'enseignement afin de construire un document clair, lisible et adapté à la présentation de l'exposé.

Le jury est extrêmement attentif à la qualité de la syntaxe et de l'orthographe.

Les candidats s'expriment généralement correctement. La qualité de l'élocution et la clarté des propos sont indispensables aux métiers de l'enseignement.

Conseils aux candidats

Le jury conseille aux candidats de :

- s'approprier les programmes et référentiels des niveaux énoncés dans la définition de l'épreuve ainsi que les documents ressources associés ;
- prendre connaissance du socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- maîtriser les concepts fondamentaux de la spécialité choisie ;
- s'informer des pratiques pédagogiques et didactiques, des modalités de fonctionnement et de l'organisation des horaires de tous les niveaux d'enseignement que peuvent assurer les professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur ;
- se préparer à exploiter les résultats d'investigations et d'expérimentations en regard des contenus disciplinaires ;
- s'informer sur les modalités des épreuves d'examen auxquelles ils préparent leurs futurs élèves ;
- travailler sa posture et ses intonations et de rentrer en interaction avec le jury afin ne pas lire les documents projetés sans regarder le jury.

3. Conclusion

L'épreuve de leçon nécessite une préparation sérieuse et approfondie en amont de l'admissibilité. Cette préparation doit porter tout autant sur la partie « travaux pratiques » que sur la partie « exploitation pédagogique », car ces deux parties de l'épreuve sont complémentaires et indissociables. Les compétences nécessaires à la réussite de cette épreuve sont à acquérir et à développer notamment lors de stages en situation et de périodes d'observation ou d'enseignement. Elles sont complétées par une connaissance fine des programmes/référentiels et des documents ressources pour faire la classe. Le métier d'enseignant exige une exemplarité dans la tenue, dans la posture ainsi que dans le discours. L'épreuve de leçon permet la valorisation de ces qualités.

D. Résultats

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

	CAPET (public)	CAFEP (privé)
Moyenne	10,58	15,51
Note maximum	20	19
Note minimale	1,1	13,4
Écart type	5,1	2,2

Épreuve d'entretien

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 35 minutes
Coefficient 3

L'épreuve d'entretien avec le jury porte sur la motivation du candidat et son aptitude à se projeter dans le métier de professeur au sein du service public de l'éducation.

L'entretien comporte une première partie d'une durée de quinze minutes débutant par une présentation, d'une durée de cinq minutes maximum, par le candidat des éléments de son parcours et des expériences qui l'ont conduit à se présenter au concours en valorisant ses travaux de recherche, les enseignements suivis, les stages, l'engagement associatif ou les périodes de formation à l'étranger. Cette présentation donne lieu à un échange avec le jury.

La deuxième partie de l'épreuve, d'une durée de vingt minutes, doit permettre au jury, au travers de deux mises en situation professionnelle, l'une d'enseignement, la seconde en lien avec la vie scolaire, d'apprécier l'aptitude du candidat à :

- s'approprier les valeurs de la République, dont la laïcité, et les exigences du service public (droits et obligations du fonctionnaire dont la neutralité, lutte contre les discriminations et stéréotypes, promotion de l'égalité, notamment entre les filles et les garçons, etc.) ;
- faire connaître et faire partager ces valeurs et exigences.

Le candidat admissible transmet préalablement une fiche individuelle de renseignement établie sur le modèle figurant à l'annexe VI de l'arrêté du 25 janvier 2021 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement technique, selon les modalités définies dans l'arrêté d'ouverture.

L'épreuve est notée sur 20. La note 0 est éliminatoire.

B. Déroulement de l'épreuve

Pour des raisons d'équité, la durée des entretiens est fixe. Le jury veille à ce que les temps impartis soient respectés. Il convient aux candidats d'être vigilant quant à la durée de leurs réponses.

Le candidat ne dispose d'aucun document. Le jury n'intervient pas pendant les cinq minutes de présentation du candidat.

Le déroulé est rappelé ci-dessous :

15 minutes	5 minutes maximum	Présentation par le candidat des éléments de son parcours et des expériences qui l'ont conduit à se présenter au concours en valorisant notamment ses travaux de recherche, les enseignements suivis, les stages, l'engagement associatif ou les périodes de formation à l'étranger.
	10 minutes minimum	Échanges suite à la présentation
20 minutes (10 + 10 min)		Deux mises en situation professionnelle - d'enseignement - en lien avec la vie scolaire

Les mises en situation professionnelle sont définies par le jury en amont du passage des candidats. Une lecture de ces mises en situation professionnelle est réalisée par un des membres du jury.

C. Commentaires du jury

Cette épreuve est révélatrice de la posture professionnelle du candidat mais aussi de son éthique, sa déontologie et ses futurs réflexes professionnels. Elle sollicite, au-delà des aptitudes disciplinaires, les compétences professionnelles transversales essentielles à l'exercice du métier d'enseignant. De manière générale, les candidats ont bien appréhendé le format de cette nouvelle épreuve mais elle semble insuffisamment préparée pour un nombre significatif d'entre eux.

• **Présentation (1^{ère} partie)**

La présentation de cinq minutes par le candidat des éléments de son parcours et des expériences qui l'ont conduit à se présenter au concours en valorisant ses travaux de recherche, les enseignements suivis, les stages, l'engagement associatif ou les périodes de formation à l'étranger, a permis au jury de rapidement cerner sa personnalité, et de comprendre les motivations qui l'ont poussé à présenter le CAPET.

Cette première est primordiale pour la suite de l'entretien : le lien entre « devenir enseignant » et le parcours en amont doit être explicite. Il est intéressant de comprendre comment le projet de devenir enseignant s'est construit au fil du temps et pas uniquement sur une envie de transmettre. Même s'il est plus rassurant d'apprendre cette première phase par cœur, le jury apprécie la spontanéité des candidats. Or de nombreux candidats n'ont pas utilisé la totalité de ce temps, faute d'arguments.

La seconde phase de cette présentation a permis pendant dix minutes au jury de se faire préciser des points importants, notamment sur la connaissance du système éducatif français en général et sur les filières ou disciplines dans lesquelles le candidat est susceptible d'enseigner.

Le jury a apprécié :

- l'enthousiasme du candidat et le dynamisme du discours pour présenter son envie de devenir enseignant ;
- la capacité du candidat à se projeter dans la fonction en juxtaposant sa vision du métier d'enseignant (tenants et aboutissants des missions d'un enseignant) avec ses compétences acquises et transférables, l'idée étant « voici ce qui me laisse penser que je dispose des premiers outils nécessaires à une bonne prise de fonction » ;
- la mise en valeur des expériences multiples (animation, enseignement, différents métiers, ..) ;
- ses connaissances du milieu dans lequel il va évoluer, les principaux acteurs, le rôle et mission de chacun, les instances, leurs participants et les typologies des décisions ;
- les fiches individuelles de renseignements complétées avec les expériences d'enseignement et les expériences professionnelles dans le secteur industriel ;
- les candidats qui ne paraphrasent pas leur fiche individuelle de renseignements ;
- les candidats qui s'expriment clairement.

Afin de préparer au mieux cette introduction, le jury conseille aux candidats de connaître à minima :

- les différentes disciplines dans lesquelles il peut être appelé à enseigner, de la technologie au collège aux différents BTS associés à sa valence ;
- le fonctionnement de la technologie au collège, son programme, le socle commun, le travail en îlots, le diplôme national du brevet (DNB)...
- le fonctionnement actuel du lycée général et technologique, les enseignements de spécialité, le tronc commun, les programmes de sciences de l'ingénieur et de STI2D, les enseignements spécifiques de STI2D, la structure du baccalauréat et ses différentes épreuves...
- la structure d'un référentiel de BTS en général, les blocs de compétences, les activités professionnelles, les différentes épreuves d'examen...
- le fonctionnement d'un EPLE, son équipe de direction, la vie scolaire, les services sociaux et d'infirmerie, les différentes instances (conseil d'administration, conseil pédagogique, conseil d'enseignement, conseil de discipline...), le règlement intérieur...

- le référentiel de compétences des enseignants, le suivi de carrière...
- les valeurs de la République.

• **Mises en situation professionnelle (2ème partie)**

Le second temps, consacré à parts égales entre une question portant sur une situation en classe et une situation hors de la classe, a été riche de discussions souvent constructives. Le jury a constaté avec satisfaction que les situations professionnelles sont, dans l'ensemble, bien comprises par les candidats. Le traitement instantané du problème rencontré dans les différentes situations qu'elles soient de l'ordre de l'enseignement ou de la vie scolaire est bien appréhendé. Il est noté qu'il a été souvent plus aisé pour les candidats d'analyser la situation en classe que de se projeter dans une situation relevant de la vie scolaire. Les réponses apportées démontrent, pour la plupart, du bon sens et du pragmatisme des candidats.

Même lorsque le candidat ne connaissait pas le système éducatif, il a souvent pu apporter des pistes de solutions cohérentes. Les valeurs de la République sont largement respectées et citées par les candidats. Les personnes ressources au sein de l'établissement sont souvent bien identifiées (le chef d'établissement et son adjoint, le CPE, le DDFPT, le gestionnaire...) et les différentes instances sont plutôt connues. Cependant, les débats atteignent rapidement leur limite lorsque le candidat n'est pas à l'aise sur les points précédents. La méconnaissance du fonctionnement d'un collège ou d'un lycée devient rapidement rédhibitoire, malgré les relances bienveillantes du jury.

Le jury a apprécié les candidats qui :

- commencent par analyser les situations au lieu de proposer directement des solutions au problème posé à court terme ;
- envisagent, lors de leur analyse, plusieurs interprétations de la situation proposée ;
- prennent de la hauteur par rapport à la situation décrite, qui l'analysent selon les trois temporalités demandées (à court, moyen et long termes) ;
- identifient les valeurs et principes de la République, les droits et devoirs des fonctionnaires, sous-tendus aux situations étudiées ;
- s'appuient sur tous les leviers existants dans l'établissement pour prévenir les situations étudiées notamment en mettant en place des actions éducatives ;
- assument leurs missions d'éducation et place son action personnelle au sein de celle d'une communauté éducative élargie.

Le jury conseille aux candidats de :

- de s'approprier les attentes de l'épreuve lors de leur préparation au concours ;
- de s'approprier le fonctionnement d'un EPLE ainsi que le rôle des différentes instances ;
- de se référer aux personnes ressources de l'établissement susceptibles d'être sollicitées en fonction de la situation (psy-en, infirmier, assistant social, ...). Trop de candidats ne font appel qu'au CPE ou au chef d'établissement ;
- de penser également à solliciter des acteurs extérieurs à l'établissement (associations, experts, conseillers, partenaires économiques...), notamment pour les actions à moyen ou long terme ;
- de ne pas rester sur des réponses autocentrées mais de se placer dans le contexte d'un établissement scolaire ;
- même si le candidat peut faire référence à son expérience (de contractuel notamment), de prendre le recul nécessaire pour traiter la situation proposée dans le contexte décrit.

D. Ressources mobilisables

Le jury conseille aux candidats de s'approprier les informations données sur la nouvelle épreuve d'entretien (attendus, conseils et exemples de situations professionnelles) :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid159421/epreuve-entretien-avec-jury.html>

Pour construire ses réponses, le candidat fait appel à l'ensemble des expériences et des connaissances dont il dispose et qu'il mobilise avec pertinence, expériences et connaissances proprement disciplinaires ou participant d'une déontologie professionnelle.

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'Éducation](#).
- 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>

E. Résultats

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

	CAPET (public)	CAFEP (privé)
Moyenne	11,83	15,79
Note maximum	19,5	19,5
Note minimale	0	12
Écart type	4,8	2,8