



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Concours : Troisième concours du CAPET

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option ingénierie des constructions

Option ingénierie électrique

Option ingénierie informatique

Option ingénierie mécanique

Session 2022

Rapport de jury présenté par Régis RIGAUD, Inspecteur général de l'éducation, du sport et recherche,
président du jury

Sommaire

Avant-propos	3
Remerciements.....	5
Résultats statistiques	6
Résultats statistiques	7
Résultats statistiques	8
Résultats statistiques	9
Épreuve écrite disciplinaire (IC).....	10
A. Présentation de l'épreuve	10
B. Sujet	10
C. Éléments de correction	11
D. Commentaires du jury	18
E. Résultats	20
Épreuve écrite disciplinaire (IE).....	21
A. Présentation de l'épreuve	21
B. Sujet	21
C. Éléments de correction	22
D. Commentaires du jury	30
E. Résultats	31
Épreuve écrite disciplinaire (II)	32
A. Présentation de l'épreuve	32
B. Sujet	32
C. Éléments de correction	33
D. Commentaires du jury	48
E. Résultats	50
Épreuve écrite disciplinaire (IM)	51
A. Présentation de l'épreuve	51
B. Sujet	51
C. Éléments de correction	52
D. Commentaires du jury	76
E. Résultats	78
Épreuve de leçon.....	79
A. Présentation de l'épreuve	79
B. Déroulement de l'épreuve.....	79
C. Commentaires du jury	82
D. Résultats	86
Épreuve d'entretien	88
A. Présentation de l'épreuve	88
B. Déroulement de l'épreuve.....	88
C. Commentaires du jury	89
D. Ressources mobilisables	91
E. Résultats	91

Avant-propos

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

[Epreuves du troisième concours du Capet et du troisième Cafep-Capet section sciences industrielles de l'ingénieur - Devenir enseignant](#)

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.

L'épreuve d'admissibilité, 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). Elle est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques.

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, intitulé « 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 de l'épreuve 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.

IC : 5 postes étaient proposés pour la session 2022 de ce troisième concours. Tous les postes ont été pourvus.

IE : 10 postes étaient proposés pour la session 2022 de ce troisième concours. Il a été impossible de pourvoir tous les postes : seuls 7 candidats ont été admis.

II : 8 postes étaient proposés pour la session 2022 de ce troisième concours. Il a été impossible de pourvoir tous les postes : seuls 5 candidats ont été admis.

IM : 25 postes étaient proposés pour la session 2022 de ce troisième concours. Il a été impossible de pourvoir tous les postes : seuls 14 candidats ont été admis.

Si certains 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 troisième concours du Capet 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

Ingénierie des constructions

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	9	57	19	16	12	8
2020	8	37	17	9	Sans objet*	6
2021	8	54	21	13	9	5
2022	5	44	13	11	6	5

*Pas d'épreuve d'admission

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

Admissibilité	Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	12
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	6,5
	Moyenne des candidats non éliminés	8,95
	Moyenne des candidats admissibles	8,95
Admission	Moyenne obtenue par le premier candidat admis	13,78
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	9,61
	Moyenne des candidats présents	11,15
	Moyenne des candidats admis	12,03

Résultats statistiques

Ingénierie électrique

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	9	108	31	20	11	9
2020	76	9	25	18	Sans objet*	9
2021	9	77	33	22	12	9
2022	10	54	19	18	14	7

*Pas d'épreuve d'admission

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

Admissibilité	Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	12
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	5,5
	Moyenne des candidats non éliminés	8,51
	Moyenne des candidats admissibles	8,51
Admission	Moyenne obtenue par le premier candidat admis	12,83
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	8,96
	Moyenne des candidats présents	8,42
	Moyenne des candidats admis	10,86

Résultats statistiques

Ingénierie informatique

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	6	124	33	14	13	6*
2020	74	8	25	17	Sans objet**	7
2021	8	90	29	14	12	8
2022	8	55	18	17	9	5

*Liste complémentaire 5 candidats

**Pas d'épreuve d'admission

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

Admissibilité	Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	13,6
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	5,1
	Moyenne des candidats non éliminés	7,74
	Moyenne des candidats admissibles	7,74
Admission	Moyenne obtenue par le premier candidat admis	11,32
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	8,04
	Moyenne des candidats présents	8,26
	Moyenne des candidats admis	9,56

Résultats statistiques

Ingénierie mécanique

Session	Nombre de postes	Inscrits	Présents aux épreuves écrites	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
2019	19	136	46	35	31	19*
2020	90	18	49	36	Sans objet***	18**
2021	23	110	51	37	32	23
2022	25	68	34	22	19	14

*Liste complémentaire 2 candidats

**Liste complémentaire 3 candidats

***Pas d'épreuve d'admission

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

Admissibilité	Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	17,2
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	6,5
	Moyenne des candidats non éliminés	9,44
	Moyenne des candidats admissibles	9,44
Admission	Moyenne obtenue par le premier candidat admis	18,71
	Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	8,40
	Moyenne des candidats présents	10,31
	Moyenne des candidats admis	11,87

Épreuve écrite disciplinaire (IC)

Ingénierie des constructions

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures

Coefficient 4

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

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

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capet_externe/87/1/s2022_capet_externe_sii_construction_s_1_1424871.pdf

Présentation du support d'études **Création de bureaux et espaces détente pour LATÉCOÈRE** **(Toulouse)**

Latécoère est un équipementier spécialisé dans la conception et la fabrication d'aérostructures et de systèmes d'interconnexion. L'entreprise se distingue par sa capacité d'innovation et son dynamisme. Elle s'offre un nouveau siège social à Toulouse, à proximité du métro « Roseraie », livré en avril 2021.

Le projet se compose de deux bâtiments : une maison commune, destinée à la restauration et la détente du personnel, et un deuxième bâtiment accueillant les bureaux (Figure 1).

Figure 1 : Vue aérienne du projet



C. Éléments de correction

L'étude 1 permettait d'appréhender le projet d'un point de vue architectural en s'attachant au design des différents bâtiments et à leur ergonomie.

L'étude 2 permettait par une approche numérique (pré dimensionnement), de comprendre le choix du procédé de construction des soutènements de l'ouvrage.

L'étude 3 consistait à dimensionner une poutre continue en béton armé située au sous-sol du bâtiment de bureau.

L'étude 4 permettait de comparer une solution innovante de mur intérieur composé de parpaings remplis de mousse isolante, avec une solution plus classique d'isolation par l'intérieur, d'un point de vue économique, écologique et social.

Étude 1 : ÉTUDE ARCHITECTURALE DES BÂTIMENTS

Question 1

- Innovation : espaces de travail sur les terrasses au lieu des bureaux traditionnels.
- Dynamisme : mélange de matériaux (verre, aluminium et alucobond) qui changent de couleur en fonction de la lumière et de l'angle de l'observateur.

Question 2

Le noyau assure la rigidité de l'ouvrage. C'est une sorte de colonne vertébrale. À l'intérieur du noyau se trouvent les réseaux d'eau, d'électricité et les ascenseurs et escaliers. La structure porteuse concentrée dans le noyau est construite en béton armé. De ce noyau partent des poutres qui vont jusqu'aux façades et qui ont pour but de soutenir le plancher, et de rediriger les forces exercées par le vent vers le noyau.

Les objectifs : accroître la luminosité naturelle, répartir les flux des personnes, augmenter les surfaces d'usage et créer des espaces modulables dans le temps.

On retrouve généralement cette conception dans les gratte-ciels.

Question 3

Cercle de 1,50m de diamètre pour assurer les demi-tours en fauteuil roulant.

Passage des portes supérieurs à 80 cm.

Espace de 93 cm par 2,10m à proximité des WC pour positionner le fauteuil au plus près de la cuvette (minimum de 80 cm par 1,30m dans les normes).

Dimensions réglementaires de la pièce 150x210.

Question 4

Pas ou peu vis-à-vis pour garantir l'intimité des clients.

Vue dégagée sur les jardins

Exposition nord pour éviter les surchauffes en hiver. Production de chaleur humaine.

Accès facilité pour tous au RDC.

Évacuation rapide en cas d'incendie, important car la salle est grande.

Étude 2 : ÉTUDE GEOTECHNIQUE

Question 5

L'essai pressiométrique est un essai géotechnique in situ, dont le principe consiste à mesurer les déformations et la rupture du sol par l'intermédiaire d'une sonde gonflée à l'azote.

Cette sonde est dilatée radialement dans le sol, dans un forage réalisé préalablement. La relation entre la pression appliquée au sol et le volume de la sonde par augmentation successive de pression est alors déterminée. Les mesures sont effectuées pour chaque palier. Les paramètres mesurés sont la pression d'eau appliquée à la cellule de mesure de la sonde pressiométrique, la pression d'air appliquée aux cellules de garde de la sonde ainsi que le volume d'eau injecté dans celle-ci.

Les deux grandeurs déduites de l'essai pressiométrique sont P_{le}^* (Pression limite) qui correspond à la rupture du sol en place et EM (Module pressiométrique) lié à la compressibilité du sol.

Question 6

Le retrait-gonflement des argiles est lié aux variations de teneur en eau des terrains argileux. Ils se « rétractent » lors des périodes de sécheresse et gonflent lors des périodes de pluie. Ces variations sont lentes, mais peuvent atteindre une amplitude assez importante pouvant endommager les bâtiments.

Les effets et conséquences sont multiples : fissurations passant par les points de faiblesse tels que les ouvertures, décollements entre éléments jointifs, distorsion des portes et fenêtres, dislocation des dallages et des cloisons ou encore rupture de canalisations enterrées.

Question 7

La proximité des limites de propriété du terrain avec l'ouvrage, liées à la zone fortement urbanisée, imposent la réalisation d'un ouvrage de soutènement ancré dans les molasses altérées.

Les parois de pieux sécants sont constituées de pieux juxtaposés les uns aux autres. Les pieux sont réalisés avec un phasage dit primaire / secondaire. Les pieux primaires sont généralement réalisés avec un béton maigre non armé. Les pieux secondaires viennent remordre les pieux primaires et sont renforcés par des cages d'armatures ou des profilés en acier. Des tirants ou des butons peuvent créer des appuis de retenue intermédiaires, si besoin.

Les pieux sécants ont l'avantage de pouvoir être construits dans une grande variété de conditions de sol et très près de bâtiments adjacents. Ils offrent très peu de déformation et de tassement. Ils peuvent supporter des charges élevées. Ils offrent également moins de vibrations pendant la construction et de faibles nuisances sonores.

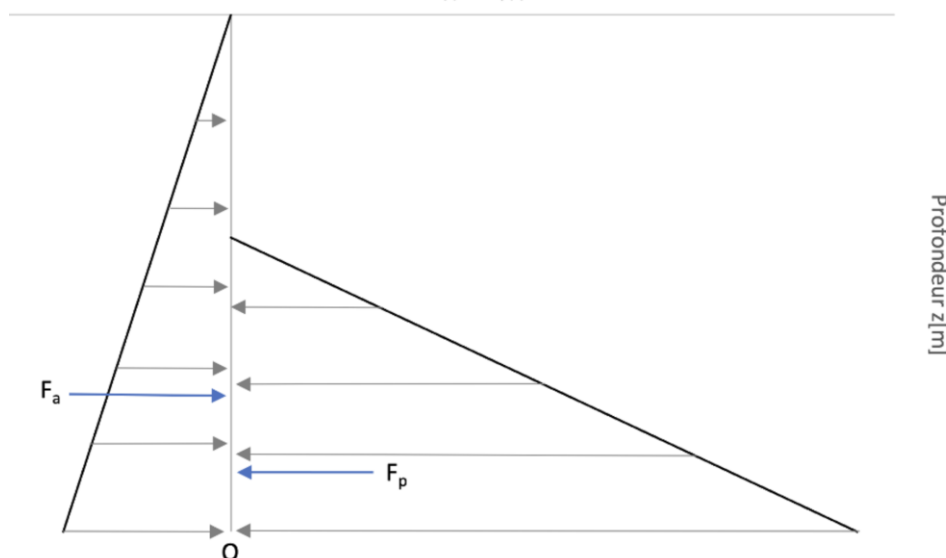
Question 8

$$\sigma_a = 0,35 \times 20 \times z \quad \text{et} \quad \sigma_p = \frac{5 \times 20 \times z'}{2}$$

$$\sigma_a = 7z \quad \text{et} \quad \sigma_p = 50z'$$

Question 9

Evolution des contraintes de poussée et de butée et forces résultantes
 résultantes
 Contrainte $\sigma_{a(z)}$ et $\sigma_{p(z)}$ [kPa]



La résultante se situe au tiers de la hauteur d'application des pressions de poussée et butée.

Question 10 :

	Force (kN)	Bras de levier (m)	$M_{F/0}$ (kN.m)
Poussée	$\sigma'_a = K_a \cdot \gamma_d \cdot (6,9 + x_0)$ et $F_a = \sigma'_a \cdot \frac{1}{2} (6,9 + x_0)$ d'où $F_a = 3,5 x_0^2 + 48,3 x_0 + 166,6$	$z_a = \frac{1}{3} (6,9 + x_0)$ $z_a = 2,3 + \frac{1}{3} x_0$	$F_a z_a = 1,2 x_0^3 + 24,2 x_0^2 + 166,6 x_0 + 383,3$
Butée	$\sigma'_p = \frac{K_p \cdot \gamma_d \cdot x_0}{F_{But}}$ et $F_p = \sigma'_p \cdot \frac{1}{2} \cdot x_0$ d'où $F_p = 25 x_0^2$	$z_p = \frac{1}{3} x_0$	$F_p z_p = 8,3 x_0^3$

$$D'où M_{F/0} = 0 \rightarrow F_a z_a - F_p z_p = 0 = -7,1 x_0^3 + 24,2 x_0^2 + 166,6 x_0 + 383,3$$

Question 11

$$x_0 = 7,55 \text{ m}$$

Soit x_1 la distance située entre le fond de fouille et la contrainte résultante nulle notée R, visible sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous.

Question 12

$$48,3 + 7 x_1 = 50 x_1$$

$$x_1 = 1,12 \text{ m}$$

Question 13

$$f = 8,8 \text{ m avec } x_1=1,12\text{m et } x_0=7,55\text{m}$$

La hauteur totale de la paroi est donc de $6,9+8,8=15,7\text{m}$.

Question 14

$$F_c = F_p - F_a$$

$$F_c = 25 x_0^2 - (3,5 x_0^2 + 48,3 x_0 + 166,6)$$

$$F_c = 694 \text{ kN}$$

Question 15

Les déplacements en tête de paroi sont très importants (2,137m) et donc non envisageable. La vérification en termes de moments n'était pas demandée ici.

Question 16

La paroi ne pouvant être autostable, il est nécessaire d'ajouter un appui supplémentaire. Les deux solutions envisageables sont un tirantage ou un butonnage. La construction se faisant en site urbanisé, la solution par tirant est difficilement envisageable, car les fondations diverses ou parking gêneraient leur implantation.

Étude 3 : DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRE EN BÉTON ARMÉ

Question 17

La modélisation d'une poutre continue permet de restituer les moments en travée afin de limiter leur valeur. Cela permet également d'augmenter la rigidité de l'élément et de diminuer les déformées.

Question 18

Justification du modèle :

Les appuis A et B représentent les poteaux (poutre en appui simple sur poteaux), l'appui C représente le voile, (poutre articulée avec le voile) ;

Chargement linéique dû au poids propre de la poutre et de la dalle du sous-sol ;

Chargement ponctuel dû à la poutre transversale ;

Dimensions du modèle qui correspondent aux portées utiles calculées à partir des dimensions du plan.

Justification des portées utiles :

$$l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$$

$$l_{effA-B} = 3,3 + 0,125 + 0,125 = 3,55 \text{ m}$$

$$l_{effB-C} = 7,3 + 0,125 + 0,1 = 7,53 \text{ m}$$

Question 19

$$L_i M_{i-1} + 2(L_i + L_{i+1}) M_i + L_{i+1} M_{i+1} = 6EI(\omega_{di}^0 - \omega_{gi}^0)$$

$$\omega_{di}^0 = \frac{-36,9 \times 7,53^3}{24EI} + \frac{-73,8 \times 5,74}{6EI \times 7,53} (7,53 - 5,74)(2 \times 7,53 - 5,74) = \frac{-812,9}{EI}$$

$$\omega_{gi}^0 = \frac{36,9 \times 3,55^3}{24EI} = \frac{68,8}{EI}$$

$$3,55 \times 0 + 2(3,55 + 7,53) \times M_i + 7,53 \times 0 = 6EI\left(\frac{-812,9}{EI} - \frac{68,8}{EI}\right)$$

$$M_i = \frac{6 \times (-812,9 - 68,8)}{2(3,55 + 7,53)} = -238,7 \text{ kN.m}$$

Question 20

En isolant la première travée AB, on trouve :

$$Z_A = -1,75 \text{ kN}$$

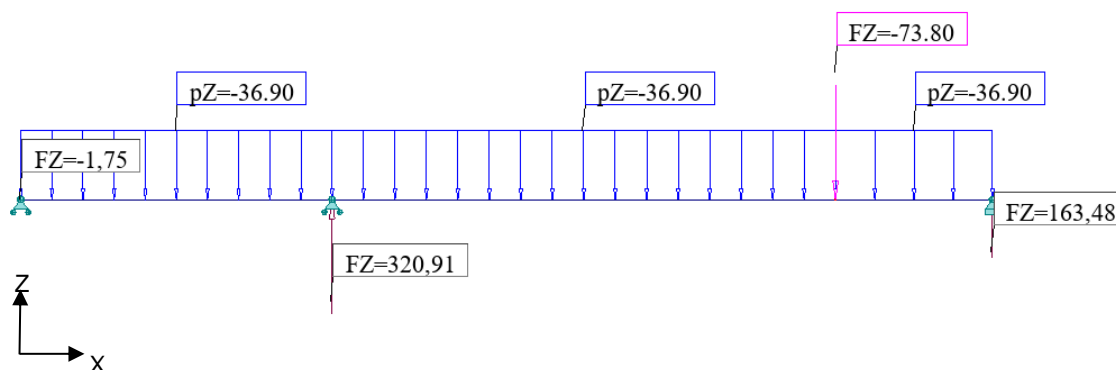
$$Z_{B1} = 132,74 \text{ kN}$$

Puis, la seconde travée BC :

$$Z_{B2} = 188,17 \text{ kN}$$

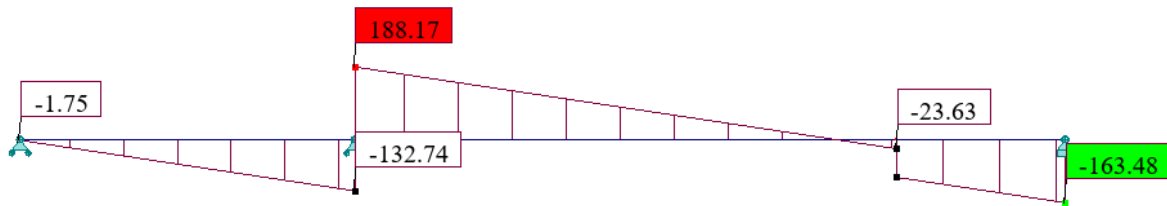
$$Z_C = 163,48 \text{ kN}$$

À l'aide du principe de superposition on trouve alors :

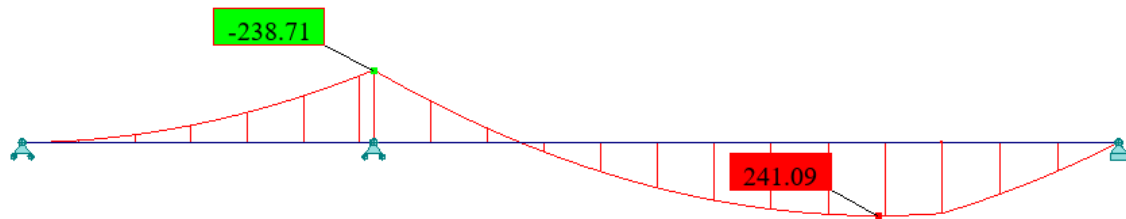


Question 21

Effort tranchant V(x)



Moment fléchissant M(x)



Question 22

$$\mu_u = 0,087$$

$$\alpha_u = 0,114$$

$$z_u = 0,601$$

$$A_s = 9,22 \text{ cm}^2 ; A_{smin} = 3,33 \text{ cm}^2 ; A_{smax} = 98 \text{ cm}^2$$

$$\text{D'où } A_{smin} < A_s < A_{smax}$$

Choix d'acier possible min: 6 HA14

Question 23

Proposition de croquis avec 2 lits de HA14.

Rôles des armatures représentées :

- armatures longitudinales pour reprendre les moments fléchissant maximum à l/2 ;
- armatures transversales pour reprendre les efforts tranchants maximum au niveau des appuis ;
- armatures de chapeau pour équilibrer les moments occasionnant des fissures en partie supérieure.

Étude 4 : ÉTUDE THERMIQUE/ENVIRONNEMENTALE

Question 24

- Prise en compte de l'impact environnemental des matériaux utilisés dans la construction (impact carbone particulièrement)
- Dépenses énergétiques nulles, au lieu des 50 kWh.m⁻².an⁻¹ de la RT 2012.

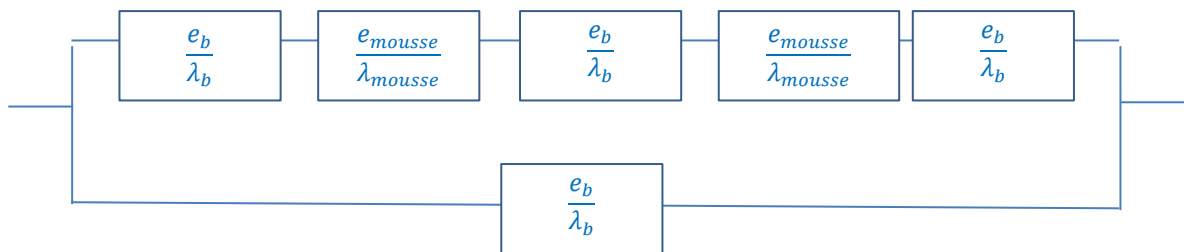
Question 25

On remplit les vides d'air par de la mousse isolante. On évite ainsi les phénomènes de convection à l'intérieur du parpaing. La résistance thermique globale est donc augmentée ce qui permet de réduire l'épaisseur d'isolant intérieur ou extérieur. De plus, on améliore l'étanchéité du parpaing.

Question 26

2 branches en parallèle :

- Branche 1 : $R_{bm} = 3 \cdot \frac{e_b}{\lambda_b} + 2 \cdot \frac{e_{mousse}}{\lambda_{mousse}} = 3 \cdot \frac{0,018}{0,952} + 2 \cdot \frac{0,072}{0,044} = 3,330 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Branche 2 : $R_b = \frac{e_b}{\lambda_b} = \frac{0,198}{0,952} = 0,208 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



Question 27

Dimensions totales du parpaing : 598mmx 198mm=118404 mm²

- béton seul (18x198x4+15x198x2) =20196 soit 17%
- [mousse+ béton] ((156x2+184)x198)=98208 soit 83%

$$\frac{S_{totale}}{R_{parpaing}} = \frac{S_b}{R_b} + \frac{S_{bm}}{R_{bm}} \text{ donc } \frac{1}{R_{parpaing}} = \frac{0,17}{R_b} + \frac{0,83}{R_{bm}}$$

$$R_{parpaing} = 1,07 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

Question 28 :

$R_{airium} - R_{parpaing \text{ classique}} = 1,07 - 0,23 = 0,84 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ donc avec un isolant de $\lambda = 0,04 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, on gagne une épaisseur de 3,4cm d'isolant.

Question 29

	Airium	BBM béton+ isolant type laine de bois
Cout de mise en œuvre €	40	60,0
Cout de fabrication €	16	18,4
Coût total €	56	78,4

Question 30

D'après le DT 14 : « Assurer la fonction de mur porteur (structure et clos) sur 1m² de paroi, tout en assurant une isolation thermique (résistance thermique de 1 K.m².W⁻¹) pendant 100 ans. ».

Question 31

Pour comparer les solutions, celles-ci doivent avoir la même unité fonctionnelle. Ainsi, on cherche à comparer la solution airium seule ayant une durée de vie de 100 ans et une résistance thermique de $1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$, avec une solution de parpaing et isolant type laine de bois, pour la même durée de vie et la même résistance thermique.

L'unité fonctionnelle pour l'isolant extraite du DT 14 est la suivante :

« Réaliser une fonction d'isolation thermique sur 1 m^2 de paroi en assurant la résistance thermique de $2,75 \text{ K.m}^2.\text{W}^{-1}$ pour une application d'isolation des murs par l'intérieur pendant 50 ans. »

isolant type laine de bois	agent polluant de référence	total
Réchauffement clim	kgCO2	7
Appauvrissement couche d'ozone	kg CFC -11	0,00000077
Pollutions de l'eau	m3	14
Pollution de l'air	m3	1059
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable	MJ	143
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	MJ	133

La durée de vie de l'isolant est de 50 ans. Il faudra donc multiplier son impact environnemental par 2 pour assurer l'utilisation sur 100 ans. Au niveau de sa performance, on cherche à obtenir une résistance thermique de $0,84 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ et non $2,75 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$. Il faut donc diviser la valeur de chaque impact par $2,75/0,84$. Le tableau suivant récapitule les valeurs d'impacts environnementaux pour l'isolant utilisé avec un parpaing classique pour obtenir la résistance équivalente du parpaing airium de $1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.

Isolant type laine de bois	Agent polluant de référence	Total
Réchauffement clim	kgCO2	4,28
Appauvrissement couche d'ozone	kg CFC -11	0,00000047
Pollutions de l'eau	m ³	8,55
Pollution de l'air	m ³	646,95
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	MJ	81,25

À ces impacts, on ajoute l'impact de la solution airium et on obtient les résultats suivants :

	Airium	Parpaing+isolant
Réchauffement clim	14,5	14,20
Appauvrissement couche d'ozone	0,00000173	0,00000147
Pollutions de l'eau	22,5	10,9
Pollution de l'air	1190	1583,0
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	189	218,3

Question 32

2 critères sont en faveur de la solution Airium et les 3 autres en faveur de la solution parpaing et isolant. Selon ces 5 critères, la solution airium ne semble pas meilleure que la solution parpaing isolant. MAIS, seuls 5 critères ont été étudiés ici alors qu'il faudrait en étudier bien d'autres pour pouvoir réellement conclure. De plus, chacun des critères peuvent être « pondérés » ce qui rend l'étude beaucoup plus complexe, avec une conclusion peu évidente.

Question 33

Une démarche développement s'articule autour de trois grands piliers : écologique, économique et social. D'un point de vue environnemental, impossible de privilégier une solution plutôt que l'autre. D'un point de vue économique, la solution airium est plus intéressante. D'un point de vue social, la solution airium est également plus intéressante car les quantités d'isolant à mettre en œuvre sont moins importante et donc plus facilement manipulable.

D. Commentaires du jury

Étude 1

L'étude 1, portant sur les aspects architecturaux, avait pour but de se familiariser avec le support. Elle a été globalement bien traitée par l'ensemble des candidats. Néanmoins, la plupart des candidats ignore ce que représente le « noyau » d'un bâtiment et ses avantages.

Le jury constate un nombre important de réponses erronées à des questions de simple "bon sens".

Étude 2

L'étude 2, consistait à analyser le modèle géologique de terrain retenu d'après la synthèse des essais et sondages. Cette partie, basée en partie sur les connaissances des candidats a correctement été traitée, bien que certains ne savent pas identifier les résultats d'un essai pressiométrique.

Déterminer la hauteur de fiche de la paroi de pieux sécants a posé problème à la plupart des candidats, surtout d'un point de vue calculatoire. Très peu de candidats aboutissent à des résultats d'une part, et sont capables d'en faire la synthèse d'autre part.

Les résultats de simulation fournis ont correctement été interprétés dans l'ensemble.

Étude 3

L'étude 3, très classique en ingénierie des constructions, portait sur le dimensionnement d'une poutre continue en béton armé et l'élaboration d'un plan de ferrailage. La justification du modèle avec calcul de la portée utile a bien été traitée dans l'ensemble. Cependant la partie RDM et le tracé des diagrammes a posé beaucoup de problèmes aux candidats.

La partie réalisation des plans de ferrailage a été plutôt bien abordée.

Le jury déplore que des questions aussi basiques que l'application du PFS aient aussi mal été traitées voire non traitées.

Étude 4

L'analogie électrique du modèle thermique parpaing a été souvent mal réalisée par les candidats, avec des confusions entre résistances en série et en parallèle. La modélisation d'un système prenant une place importante dans le programme de STI2D ou SI, il est donc important d'être capable de répondre à ce type de questions.

La notion d'unité fonctionnelle est mal maîtrisée pour la plupart des candidats et sa manipulation dans la question 32 n'a été traitée correctement par aucun candidat. Le calcul d'impacts environnementaux est désormais central dans la construction des bâtiments avec l'entrée en vigueur de la RE 2020.

Conclusion

Répartition de la difficulté dans le sujet. Le sujet était composé de questions de niveaux de difficultés croissants. Pour information, le sujet comportait des questions de niveau baccalauréat (36%, recherche d'information), de niveau BTS (43%, application) et de niveau bac+5 (21%, analyse, synthèse)

Les questions de niveau baccalauréat sur la recherche d'informations ont été globalement et heureusement toutes traitées correctement. Les candidats ont une maîtrise globale des unités.

Cependant, le jury regrette que les questions demandant des connaissances théoriques de bases spécifiques au domaine de la construction, ont souvent été mal voire non traitées.

Conseils aux candidats :

Il est important, dès la réception du sujet, d'en faire une lecture rapide mais complète, annexes comprises, afin d'appréhender le questionnement dans son ensemble et de localiser les éléments de réponse fournis. La difficulté du questionnement est souvent progressive au sein de chaque partie. De nombreuses questions permettent d'engranger des points, les candidats doivent les repérer et les traiter en priorité, pour ensuite se concentrer sur les autres questions qui nécessitent des développements plus longs.

S'ils souhaitent aborder sereinement un sujet de concours dans ce domaine de l'ingénierie des constructions, les candidats doivent impérativement parfaire leurs connaissances en particulier dans les domaines de :

- l'environnement (unité fonctionnelle, fiches de déclaration environnementales et sanitaires, calcul d'impacts environnementaux ...)
- la géotechnique (essais sur les sols, calcul des contraintes de poussée/butée et leur résultante, fondations profondes et superficielles ...)
- la mécanique des structures (descente de charges, dimensionnement et vérifications des structures porteuses en béton armé, bois ou construction métallique), de la résistance des matériaux (modélisation, calcul des efforts de cohésion, de flèche, de moment quadratique, de contraintes normales ...)
- la thermique (calcul de résistances thermiques, modèle de résistances en parallèle ou série, calcul de puissance thermique, efficacité énergétique d'un échangeur, rendement ...)
- l'acoustique (temps de réverbération, niveau sonore, formule de Sabine ...).

Par ailleurs, le jury tient à rappeler que les réponses sans justification ne sont pas recevables. Un soin particulier doit être apporté quant à la forme de la copie ; aussi bien en termes de lisibilité et de qualité linguistique que d'identification des réponses. Les candidats doivent en effet 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.

Le jury conseille aux candidats d'apporter un soin particulier aux questions de conclusion ou de synthèse de chacune des parties.

E. Résultats

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

	CAPET 3 ^e concours
Nombre de copies	13
Moyenne	8,14
Note maximum	12,5
Écart type	2,76

Épreuve écrite disciplinaire (IE)

Ingénierie électrique

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures

Coefficient 4

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.

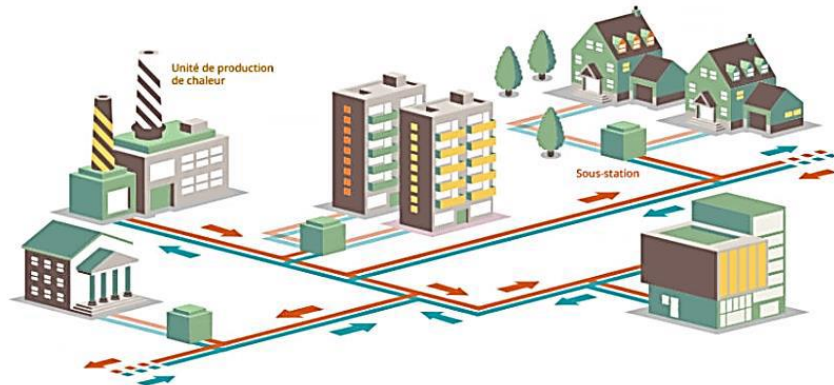
L'épreuve est notée sur 20. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire.

B. Sujet

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

https://media.devenirensignant.gouv.fr/file/capet_externe/87/2/s2022_capet_externe_sii_energie_1_1424872.pdf

Le sujet se base sur l'étude du principe d'un réseau de chaleur urbain permettant le chauffage collectif à l'échelle d'une grande ville européenne ou d'un quartier.



C. Éléments de correction

Question 1 :

Sources d'énergie renouvelables	Disponibilité dans la durée	Emission à effet de serre	Stratégie d'approvisionnement national
Biomasse Hydraulique Eolienne Solaire Géothermique	Presque infinie ou tout au moins disponible en quantité largement supérieure aux stocks fossiles. <i>(150 ans charbon / 60 ans gaz / uranium / 50 ans pétrole).</i>	Peu ou pas lors de l'utilisation. <i>(Augmentation de la température moyenne dans le monde de 0.85°C en seulement 100 ans entraînant de forts dérèglements climatiques).</i>	En croissance régulière depuis plusieurs années, les énergies renouvelables représentent 13,1 % de la consommation d'énergie primaire et 19,1 % de la consommation finale brute d'énergie en France en 2020. La France importe : 98,5% de son pétrole 98% de son gaz 100% de son charbon 100% de son uranium

Question 2 :

Pour assurer tous les besoins d'un pays (transports, habitat, industrie, agriculture), il faut un « bouquet » d'énergies primaires.

Le mix énergétique définit la répartition des différentes sources d'énergie primaire (nucléaire, charbon, pétrole, éolien, etc.) utilisées pour produire une énergie bien définie comme l'électricité. La part de chaque source d'énergie primaire est exprimée en pourcentage (%).

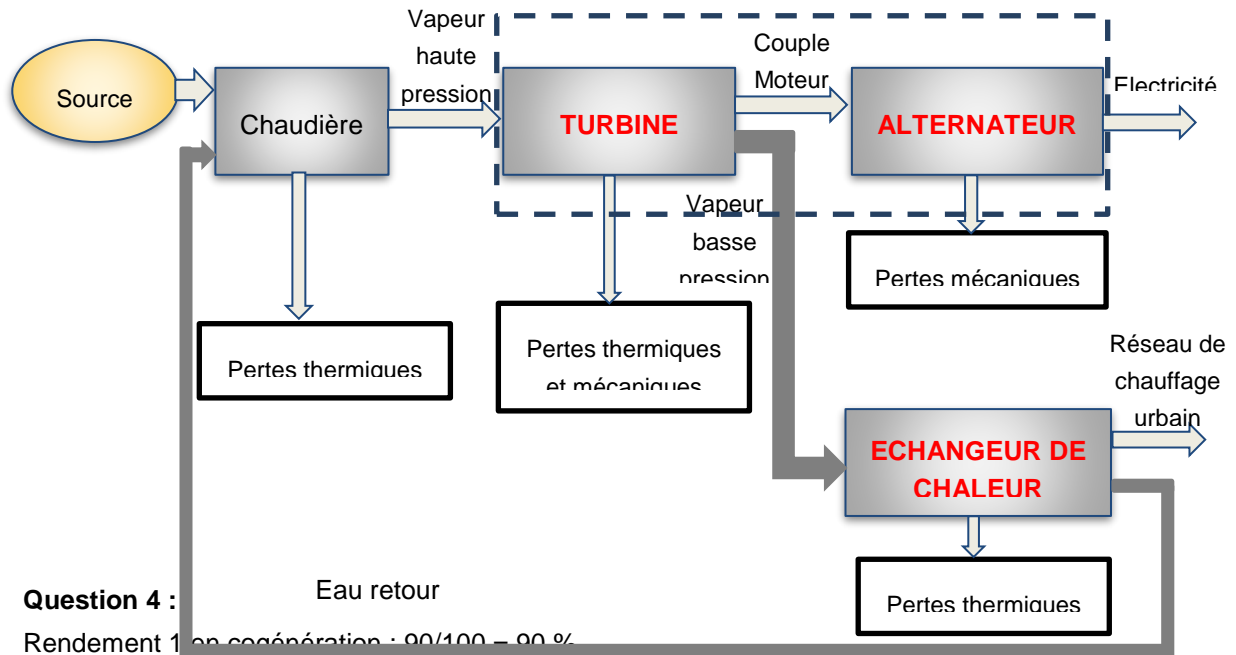
Le mix énergétique, ou bouquet énergétique, peut être défini à différentes échelles : mondiale, nationale, régionale ou locale. Sa composition est liée à de nombreux facteurs, comme la croissance démographique de la zone ciblée, sa situation économique et sociale, son accès aux ressources primaires, etc.

Quel mix énergétique en France pour l'avenir ? Le plan climat.

Dans cette logique de miser sur des énergies d'avenir comme le solaire produit à partir de panneaux photovoltaïques plutôt que sur les énergies qui ont rythmé sa consommation passée, le gouvernement français a présenté une loi de transition énergétique en 2015. Celle-ci stipule que **la France se donne comme objectif de diviser par deux la consommation totale d'énergie du pays d'ici à 2050, de faire passer de 75 à 50 % la part d'électricité tirée du nucléaire d'ici à 2025 et d'augmenter dans le même temps la part des énergies renouvelables (éolien, biogaz, hydraulique, géothermie, etc.) à 32 %. Tout cela sans oublier de diminuer de 30 % le recours aux énergies fossiles en 2030.**

Grâce à cette transition énergétique, l'Hexagone pourrait bien aller jusqu'à s'affranchir de la fission nucléaire et des énergies fossiles, dans son mix énergétique dès le milieu du siècle. En effet, un scénario dévoilé en début d'année 2017 par l'association négaWatt, pilotée par une vingtaine d'experts indépendants, projette la mise en place d'un bouquet énergétique 100 % renouvelable à l'horizon 2050 pour la France. Tout reste à faire, mais cela montre en tout cas bien le fait que le territoire français se tourne de plus en plus vers les énergies vertes.

Question 3 :



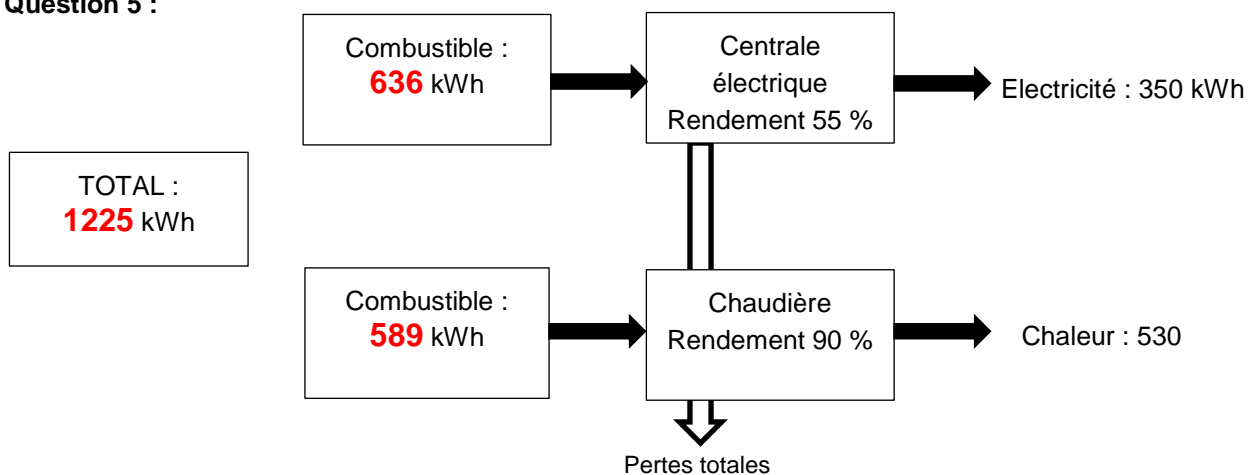
Question 4 :

Rendement 1 en cogénération : $90/100 = 90\%$

Rendement 2 classique : $90/160 = 56\%$

Une centrale en cogénération offre un rendement supérieur à une centrale classique.

Question 5 :



Economie d'énergie primaire : $1225 - 1000 = 225 \text{ kWhp}$

Exprimée par rapport à la consommation totale d'énergie primaire : $\frac{1225 - 1000}{1225} = 18\%$

Exprimée par rapport à la consommation d'énergie primaire nécessaire pour la production d'électricité par une centrale TGV (turbine gaz vapeur) : $\frac{1225 - 1000}{636} = 35\%$

$(1225 - 1000) / 636 = 35\%$

Question 6 :

Turbine à combustion : $(1225 \times 0,486) = 595,35 \text{ kg de CO}_2$

Groupe de co-génération : $(1000 \times 0,352) = 352 \text{ kg de CO}_2$

Pour 350 kWh d'électricité produite : Economie : $595,35 - 352 = 243,35 \text{ kg de CO}_2$

Pour la production de 1MWh d'énergie produite par l'unité de cogénération l'économie en CO₂ est de : $1000 \times \frac{243,35}{880} = 276,53 \text{ kg de CO}_2/\text{MWh}$

Question 7 :

Cela correspond au meilleur choix car il y a :

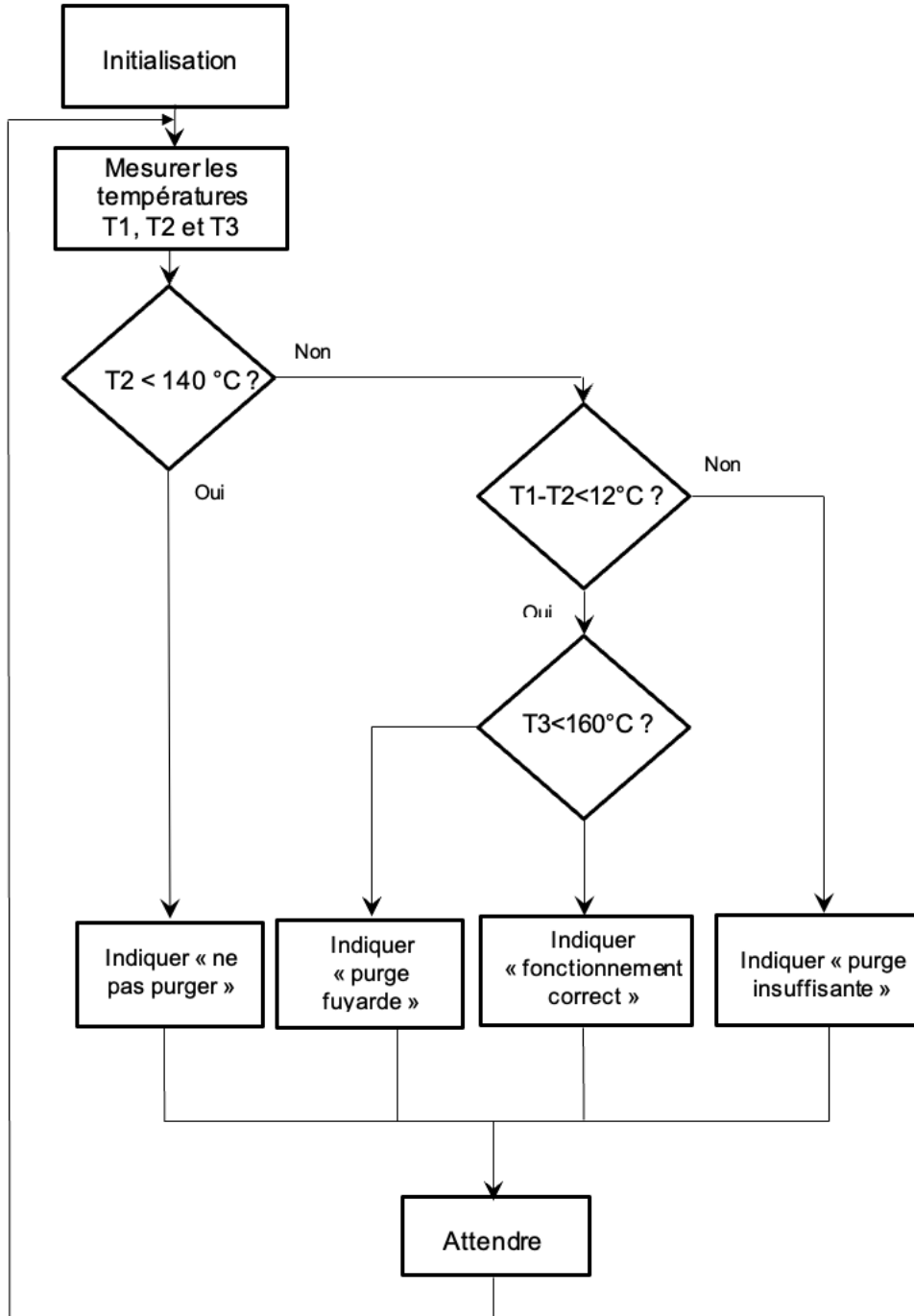
- un meilleur rendement,
- moins de consommation d'énergie primaire,
- moins de pollution.

Question 8 :

$$P_s = \left(\frac{T_s}{100}\right)^4 \text{ soit } T_s = 100 \cdot \sqrt[4]{P_s} .$$

Avec $P_s = 12$ bars, on a $T_s = 186,12^\circ\text{C}$. Cela correspond à l'abaque qui indique une température de $187,96^\circ\text{C}$.

Question 9 :



Question 10 :

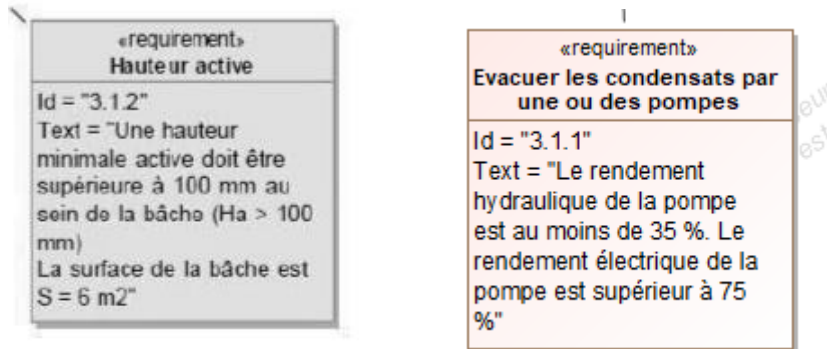
$$Q_P \times (T_{SAT} - T_M) + Q_R \times (T_R - T_M) = 0$$
$$\frac{Q_R}{Q_P} = \frac{(T_M - T_{SAT})}{(T_R - T_M)} = \frac{95 - 192}{65 - 95} = 3,23$$

Question 11 :

$$Q_m = 4 \cdot H_a \cdot S \cdot n$$

- $H_a = Q_m / 4 \cdot S \cdot n = 150 \text{ mm}$
- Rendement hydraulique = $(11,2 \times 36) / (367 \times 2,8) = 39,2 \%$
- Rendement électrique = $P_u / P_a = (2,2 / 2,8) = 78 \%$

Question 12 :



$H_a > 100 \text{ mm}$

Rendement hydraulique $> 35 \%$

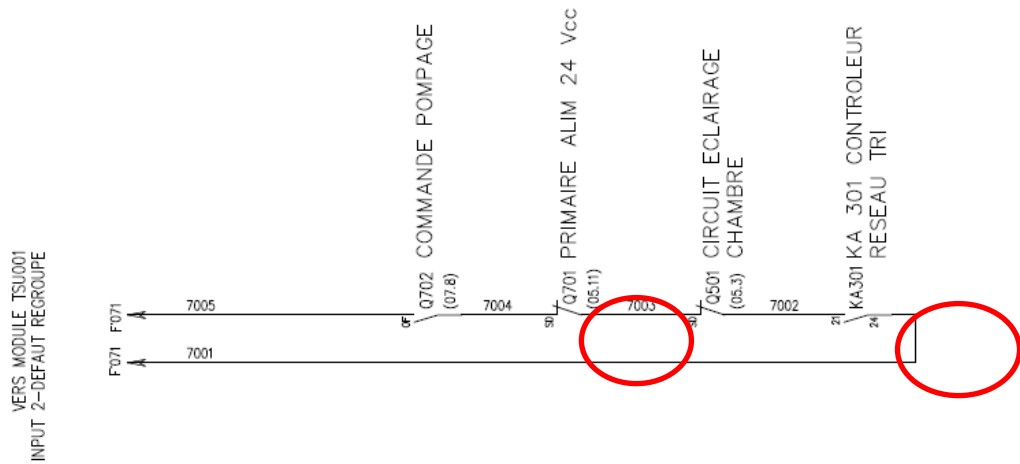
Rendement électrique $> 75 \%$

D'après le diagramme sysml, les exigences sont respectées.

Question 13 :

- Dans la solution conventionnelle, il est noté sur la documentation technique que la solution conventionnelle comporte un disjoncteur, un contacteur et un relais de protection. Avec le Tesys U, tout est en un (démarrateur contrôleur), les fonctions présentes sont Protection magnétique, commande, surveillance d'état et protection thermique.
- Le module LUCA12BL car la tension de commande est 400 V, le courant circulant dans le moteur est bien inférieur à 12A et BL pour une alimentation continue de 24 V (voir schéma électrique).
- Le module TesysBL est U Lub 12 est configuré en mode Arrêt Standard car l'arrêt du moteur est géré à distance depuis un automate programmable en fonction des capteurs transmis.
- Le RM17 TG est un relais de contrôle de réseaux triphasés. Il surveille sur les réseaux triphasés l'ordre des phases L1, L2 et L3 ainsi que l'absence d'une ou plusieurs phases.

Question 14 :



Question 15 :

Si un défaut est signalé par le contrôleur du réseau RM17 TG alors le contact KA301 se ferme et signale un défaut au TRT 200. Un prolongement trop long de ce défaut et les eaux sont évacuées vers les égouts avec la surveillance de la température de l'eau qui doit être inférieure à 30°C.

Question 16 :

D'après la documentation technique, le numéro de série est codé sur 48 bits (plus 2 familles : 18B20 et 18S20) donc $2^{48} = 2,81 \times 10^{14}$ par famille mais la température est la grandeur physique la plus mesurée au monde. Le CRC est utilisé pour vérifier l'intégrité lors de l'envoi de l'identifiant (numéro de série et famille). Le composant fait partie de la famille DS18B20 (code family 28 dans la documentation).

Question 17 :

La variable Temp prend la valeur 0x0336 soit en binaire 0000 0011 0011 0110 ou 822 (en décimale). Il s'agit d'un décalage à gauche de l'octet 1 puis un OU logique avec l'octet 0. L'opération informatique est une concaténation. La température est codée sur 12 bits (byte 4 = 7F) et dans la documentation technique

Figure 8. Configuration Register

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
0	0	9	93.75ms	($t_{CONV}/8$)
0	1	10	187.5ms	($t_{CONV}/4$)
1	0	11	375ms	($t_{CONV}/2$)
1	1	12	750ms	(t_{CONV})

La valeur de la température est de $822/16 = 51,375^\circ\text{C}$ ou 0000 0011 0011 0110 correspond à 0 pour le bit de signe (donc température positive) puis

$2^5 \times 1 + 2^4 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 1 + 2^{-2} \times 1 + 2^{-3} \times 1 = 32 + 16 + 2 + 1 + 0,25 + 0,125 = 51,375$ (nombre dyadique d'où la division par 16).

Le technicien peut intervenir en toute sécurité car la température est inférieure à 60°C. L'intervention devra par contre être très rapide (électronique modulaire).

Question 18 :

```
SELECT PostePurge.NomPostePurge, CapteurTemperatureDS1820.NomCapteur,
CapteurTemperatureDS1820.Date_mesures, CapteurTemperatureDS1820.Localisation,
CapteurTemperatureDS1820.ValeurTempérature
FROM CapteurTemperatureDS1820 INNER JOIN PostePurge ON
CapteurTemperatureDS1820.Identifiant = PostePurge.Id_capteurs
WHERE (((PostePurge.NomPostePurge) = " PstPurge102") AND
((CapteurTemperatureDS1820.Date_mesures)='2021-03-23'));
```

Question 19 :

	Module Peltier	Turbine-Alternateur	Panneaux photovoltaïques
Avantages	Pas de pièces tournantes. Energie disponible.	Puissance Supérieure aux autres solutions	Puissance importante. Renouvelable.
Inconvénients	Pas de grosses puissances.	Nécessité d'un alternateur et donc de pièces tournantes.	Ensoleillement minimal. Installation extérieure peu pratique. Encombrant. Risque de vol

Question 20 :

L'effet voulu dans l'application est l'effet SEEBECK car il est important de fournir une énergie électrique à partir de différence de température.

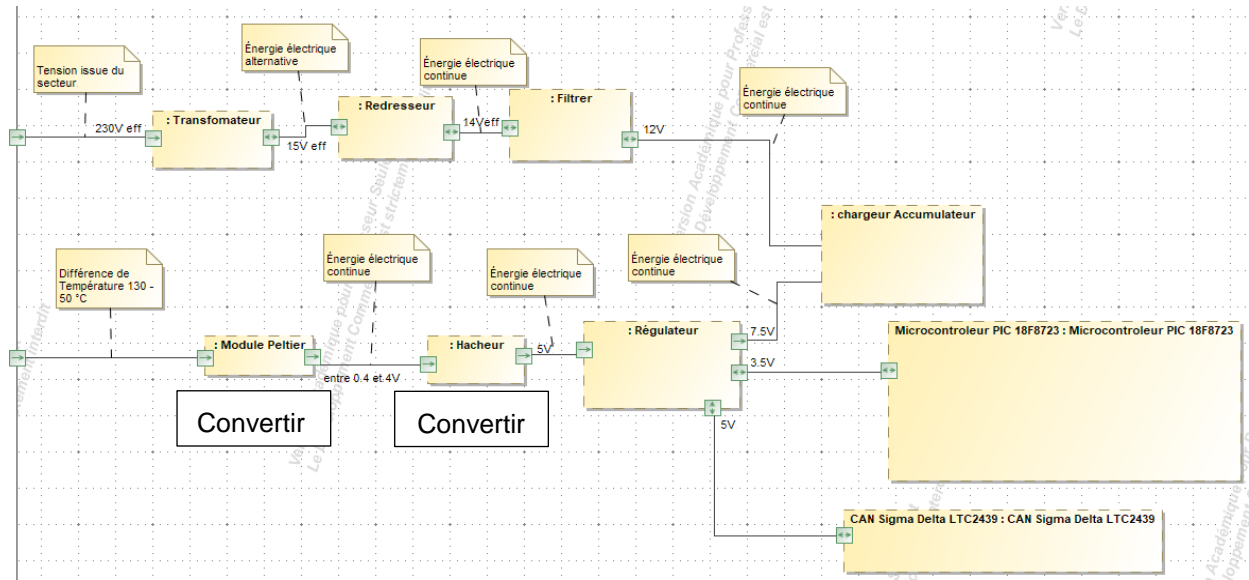
La tension sur la documentation technique du module Peltier est de 1,8 V pour une différence de température de $130 - 50 = 80^\circ\text{C}$. Le courant débité sera de 0,65 A. D'où une puissance utile de 1,17 W ($0,65 \times 1,8$).

Le courant débité sera suffisant pour recharger les accumulateurs (150 mAh)

Question 21 :

D'un point de vue fonctionnel, c'est un convertisseur d'énergie électrique DC-DC. Il est qualifié de hacheur parallèle ou survolteur.

Question 22 :



Question 23 :

Sur la structure, 1 seul CAN (Convertisseur Analogique Numérique) est représenté et 16 entrées sont possibles (AN0 à AN15). Les entrées de sélection sont nommées CHS3 : CHS0. Cette structure est appelée multiplexage (4 entrées de sélection donc $2^4 = 16$ entrées possibles). C'est un convertisseur 12 bits.

Question 24 :

- Les paramètres surveillés sont :
- ADC0 : Surveille la tension aux bornes des accumulateurs
 - ADC1 : Surveille le courant de charge des accumulateurs
 - ADC2 : Surveille la tension du module Peltier

$$\text{Quantum} = \frac{v_{REF+} - v_{REF-}}{2^{12} - 1} = \frac{3,5 - 0}{4095} = 0,85 \text{ mV / LSB}$$

Si $U_{PELTIER} = 2V$ d'où la tension appliquée sur ADC2 = $2/2 = 1V$ (pont diviseur avec R_4 et R_5) d'où $N = \frac{1}{q} = \frac{4095}{3,5} = 1170$

$ADC2 = 175 * \frac{3,5}{4095} = 0,15 V$ soit la tension aux bornes du Module Peltier $0,15 * 2 = 0,3V$ donc inférieure au 0,4V minimum imposé sur le diagramme des exigences.

Question 25 :

U - 0	U - 0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
-	-	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO-DONE	ADON
0	0	0	0	1	0	1	1
Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit 0

L'entrée ADC2 est appliquée sur l'entrée AN2 donc CHS3 : CHS0 = 0010. ADON doit être à 1 pour que le CAN soit activé et GO/DONE pendant la conversion est à 1. ADCON0 = 0000 1011 soit 0x0B

Question 26 :

Lorsque les accumulateurs sont en charge, le courant de charge circule de la borne + vers la borne - des accumulateurs. R0 est une résistance de shunt. On récupère une tension image du courant de charge.

Question 27 :

Lorsque les accumulateurs sont en charge, le courant de charge circule de la borne + vers la borne - des accumulateurs. La diode est ainsi bloquée. Lorsque les accumulateurs débitent vers le système le courant change de sens induisant une tension négative qui peut être nuisible pour l'entrée du CAN. La diode devient ainsi passante ($V_{AK} > 0,6V$). La tension ainsi appliquée sur l'entrée du CAN et ne pourra dépasser $-0,6V$.

Question 28 :

La bande de fréquence utilisée pour le LoraWan en Europe est 868 MHz.

Question 29 :

$$R_b = \frac{SF * BW * CR}{2^{SF}}$$
$$R_b = \frac{12 * 125 * 1000 * 4/5}{2^{12}} = 293 \text{ bits/s}$$

C'est une valeur faible qui permet d'obtenir des dépenses d'énergie faible lors d'envoi de données. Il est parfait pour des applications pour des systèmes peu rapides (IOT)

Question 30 :

Pour calculer la valeur à la sortie du CAN, on se sert de $T_x = 12,176 \text{ ms} = \frac{4096 - N}{4096} * T_s$ avec $T_s = 2^{12}/125$ kHz (durée d'un symbole).

$$\text{Donc } N = \left(1 - \frac{T_x * BW}{2^{12}}\right) * 2^{12} = \left(1 - \frac{12,176 * 10^{-3} * 125 * 10^3}{4096}\right) * 4096 = 2574$$

$$\text{Quantum} = \frac{v_{REF+} - v_{REF-}}{2^{12} - 1} = \frac{3,5 - 0}{4095} = 0,85 \text{ mV / LSB}$$

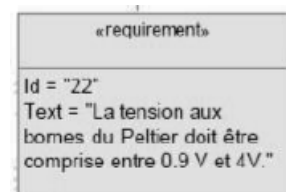
Donc U_{ADC} (tension appliquée sur le CAN) = $\frac{2574 * 3,5}{4095} = 2,2 \text{ V}$ soit la tension aux bornes du module Peltier de 4,4 V ($2,2 * 2$ en tenant compte du pont diviseur).

Question 31 :

Server	@192.168.1.10 :1880
Topic	Surveillance/PostePurge/102/TensionPeltier
QoS	2
Output	auto-detect (string or buffer)
Name	Name

Question 32 :

Oui elle est compatible car elle doit être comprise entre 4 V et 0,9 V (diagramme sysml)



D. Commentaires du jury

Présentation du sujet

Le sujet se base sur l'étude du principe d'un réseau de chaleur urbain permettant le chauffage collectif à l'échelle d'une grande ville européenne ou d'un quartier. La problématique est de réaliser la production et le transport de la vapeur au sein d'un réseau de chaleur en toute sécurité tout en respectant les engagements du plan Climat. Les questions sont réparties en cinq parties indépendantes.

La première partie consiste à déterminer comment améliorer le rendement de production d'énergie en comparant les rendements avec une centrale en cogénération après avoir dressé un rapide bilan sur la nécessité de choix des énergies renouvelables. Les parties suivantes permettent de déterminer comment transporter la chaleur en toute sécurité en réduisant les pertes thermiques. Ce transport s'accompagne d'une surveillance et d'une maintenance des postes de purges qui nécessitent l'intervention en toute sécurité d'un technicien de maintenance. Il faudra alors alimenter en énergie électrique ces systèmes de surveillance dans les postes de purge afin de permettre une purge correcte et un envoi des données sur les paramètres du réseau en minimisant la consommation de l'énergie électrique.

Analyse des résultats

Grâce aux cinq parties qui composent le sujet, les différents champs des sciences industrielles de l'ingénieur sont abordés. Le jury constate que la plupart des candidats abordent les différentes parties de manière linéaire. La longueur du sujet permettait à tous les candidats de traiter toutes les parties dans l'ordre de leur choix. Le jury regrette qu'aucun candidat n'ait abordé toutes les parties. Les sujets sont construits pour permettre une entrée progressive dans les problématiques traitées. Le fait de ne pas savoir répondre à une question ne remet pas en cause la possibilité de répondre aux questions suivantes de cette même partie.

De nombreuses réponses n'ont pas été justifiées ou reprennent sans aucune explication des données issues de documentations techniques fournies. Le jury regrette qu'une part importante de candidat ne semble pas maîtriser les bases fondamentales de l'ingénierie électrique et de la programmation. L'exploitation de documents techniques pour la réalisation de schémas électriques est attendu d'un candidat au CAPET.

Il est attendu d'un candidat au CAPET une rédaction claire et organisée. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'on souhaite détailler un raisonnement scientifique. De trop nombreuses copies sont présentées de manière non satisfaisante. Les candidats doivent impérativement faire des efforts pour proposer une copie propre et lisible.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

La première partie a été correctement traitée par environ la moitié des candidats.

La seconde partie a été globalement bien traitée par une part importante de candidats. La lecture des diagrammes SYSML et l'utilisation de formules fournies sont globalement maîtrisées. Une part importante de candidats ne parvient toutefois pas à calculer un rendement électrique, notion pourtant fondamentale pour cette spécialité du CAPET. Le jury regrette également le faible nombre de candidats qui apportent des justifications aux calculs effectués. La mise en concordance des différents documents constructeurs et des schémas électriques n'a pas été réussie pour une part importante des candidats. La lecture et la réalisation de schémas électriques est un attendu fondamental d'un candidat au CAPET.

La troisième partie a été globalement réussie par les candidats qui l'ont traitée. Le jury déplore néanmoins la méconnaissance de notions élémentaires de nombreux candidats. Peu de candidats sont capables de définir le rôle du CRC. Le micro-python tout comme les requêtes SQL ne sont pas maîtrisés.

Le jury invite les candidats à acquérir ces notions incontournables dans la pratique de leur futur métier d'enseignant.

La quatrième partie n'a été traitée que par peu de candidats. Le jury constate que la lecture de courbes et le calcul de grandeurs électriques élémentaires sont bien maîtrisées par les candidats ayant abordé cette partie. Le jury regrette toutefois qu'une part importante de candidats ne parviennent pas à caractériser des constituants électriques ou à identifier le rôle de ces constituants dans une chaîne de puissance. Le jury constate également qu'un nombre significatif de candidats ne parvient pas à appréhender ni le fonctionnement d'un convertisseur analogique numérique ni le rôle des composants électroniques qui y sont associés. Une maîtrise de ces concepts fondamentaux de l'ingénierie électrique est attendue d'un candidat au CAPET.

La dernière partie portait sur l'étude d'un système de transmission des données de surveillance. Les premières questions abordaient de la lecture de documents ainsi que des applications numériques. Ces questions ont été globalement bien réussies par les candidats les ayant traitées. Le jury regrette que le décodage du symbole n'ait été traité que par un nombre restreint de candidats. Le jury recommande aux futurs candidats d'acquérir une connaissance des technologies liées à l'internet des objets, domaine qu'ils devront aborder dans la pratique de leur futur métier d'enseignant.

E. Résultats

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

	CAPET 3 ^e concours
Nombre de copies	19
Moyenne	8,11
Note maximum	12,4
Écart type	2,68

Épreuve écrite disciplinaire (II)

Ingénierie informatique

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures

Coefficient 4

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

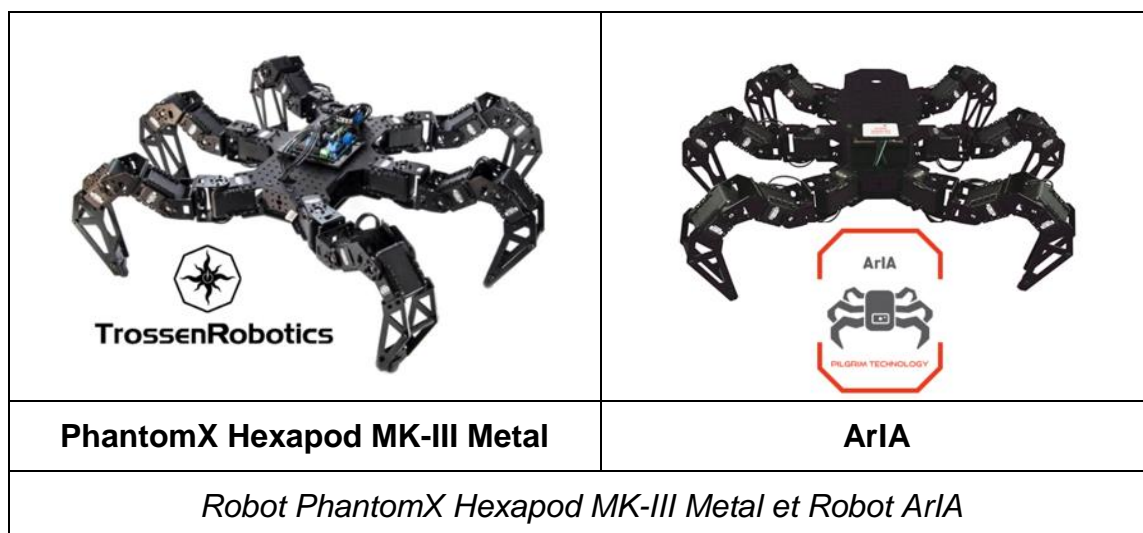
Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capet_externe/87/3/s2022_capet_externe_sii_informatique_1_1424873.pdf

Le support de l'étude est un hexapode destiné à la surveillance des lieux difficiles d'accès. Il s'agit d'un système développé et proposé par la société Pilgrim Technology (spécialiste de l'inspection industrielle) de nom « AriA ». <https://www.pilgrim-technology.com/portfolios/aria/>

Une vidéo est disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=T4GkABeRdXc>

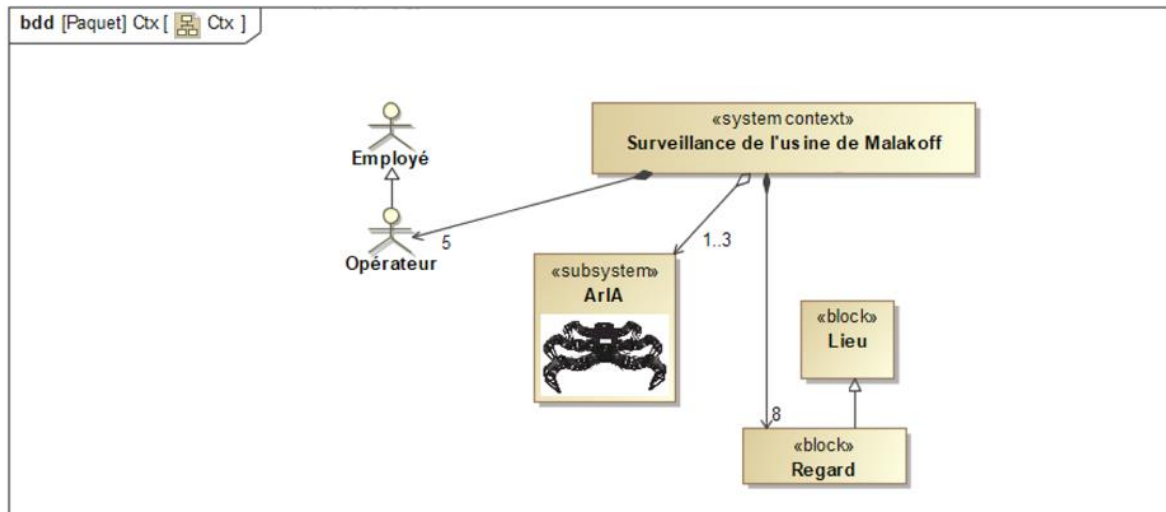
Ce support provient d'une structure Open Source développée par la société Trossen Robotics disponible à l'adresse suivante : <https://www.trossenrobotics.com/phantomx-ax-hexapod.aspx>



Le sujet proposé aux candidats consiste principalement à étudier le remplacement de la carte de commande originale de type Arduino par une carte de commande de type Raspberry Pi afin de coller au plus près au prototype de la société Pilgrim Technology et sa carte Nvidia Jetson TX1.

C. Éléments de correction

Question 1



Question 2

La première flèche entre *Surveillance de l'usine de Malakoff* et *Regard de visualisation* est une relation de composition, cela signifie que la durée de vie de la Surveillance de l'usine et de la présence des regards de visualisation est identique.

La seconde flèche entre *Surveillance de l'usine de Malakoff* et *Aria* est une relation d'agrégation, cela signifie que la durée de vie entre ces deux éléments n'est pas identique ; en effet, dans le projet, la solution actuelle de surveillance est faite à partir de Robots Aria mais cette solution peut être amenée à évoluer et à être remplacée, soit par l'utilisation d'autres robots, soit par une autre solution de surveillance.

La troisième flèche entre *Employé* et *Opérateur* est une relation de dérivation / spécialisation, cela signifie que l'opérateur est un employé plus spécialisé. Il a toutes les qualifications de l'employé mais il possède en plus les qualifications de l'opérateur de surveillance.

Question 3

Les robots Aria, équipés de caméra ou de caméra thermique, sont capables de se déplacer dans des endroits difficiles d'accès. Il est possible de reprendre la main pour une approche fine à partir d'un joystick, ce qui permet aux opérateurs de surveiller l'usine en direct. Des caméras peuvent également faire ce travail de surveillance mais elles n'ont pas la possibilité de se déplacer. Il faudrait alors les motoriser pour permettre une vue plus large. Il faut cependant être certain de couvrir la totalité du lieu à surveiller.

Question 4

La notion d'Open source dans ce cas de figure signifie que le robot Hexapod développé par la société Trossen Robotics est totalement ouvert et qu'aucune partie n'est volontairement dissimulée ou protégée par un brevet. Les plans sont fournis et le code de fonctionnement est disponible et documenté.

Question 5

Il y a plusieurs méthodes pour répondre à cette question.

Une méthode par simple règle de trois : $412 \times 150 / 512 = 120,7^\circ$ et $612 \times 150 / 512 = 179,3^\circ$

Le débattement est donc de $58,59^\circ$ proche de 60° .

Une seconde méthode en utilisant la résolution proposée dans la documentation : $412 \times 0,29 = 119,5^\circ$

Et $612 \times 0,29 = 177,48^\circ$

Le débattement est alors de 58° , voisin de 60° .

Il est à noter que la résolution proposée par la documentation est arrondie car la résolution est en fait plus proche de 0,293, ce qui rapproche des résultats de la première méthode.

Question 6

Communication asynchrone (pas de fil d'horloge et pas de transmission auto porteuse d'horloge), half duplex car communication bidirectionnelle mais un seul fil de transmission.

Question 7

Sur la première copie d'écran, on transforme l'ID Usine (c'est-à-dire l'ID 1 en ID 5). On vient donc de reprogrammer le servo-moteur pour qu'il serve de Tibia dans la patte de référence.

Sur la seconde copie d'écran, on vérifie que la programmation précédente s'est correctement déroulée en demandant le contenu du registre contenant le nouvel ID grâce à la commande Read. (Il est amusant de devoir le demander avec le nouvel ID !) Le résultat est affiché dans la quatrième trame visible sur la figure.

En résumé, on reprogramme l'ID 1 en ID 5 et on vérifie que la reprogrammation s'est bien déroulée.

Question 8

Dans les deux cas, il s'agit du checksum. Ils se calculent sur les données « aléatoires » de la trame, c'est-à-dire en excluant les octets d'entête.

On obtient : $0x01 + 0x04 + 0x03 + 0x03 + 0x05 = 0x10$ donc $\text{NOT}(0x10) = 0xEF$

On obtient : $0x05 + 0x03 + 0x00 + 0x05 = 0x0D$ donc $\text{NOT}(0x0D) = 0xF2$

Question 9

Il faut reprogrammer un nouveau servo-moteur avec l'ID 3. On procède par analogie avec la trame présentée sur le document technique.

On obtient : la trame suivante :

Entête : $0xFF ; 0xFF$

Champs de données :

$0x01$: ID du servo-moteur ;

$0x04$: Nombre d'octets à suivre, lui y compris, sans compter le checksum ;

$0x03$: Opération d'écriture (write) ;

$0x03$: Registre d'adresse 3 correspondant au registre d'ID ;

$0x03$: Valeur de la donnée soit la valeur 3 car on veut reparamétrer le servo-moteur d'ID 1 avec la valeur 3 ;

Calcul du checksum : $0x01 + 0x04 + 0x03 + 0x03 + 0x03 = 0x0E$ donc $\text{NOT}(0x0E) = 0xF1$

La seconde trame est celle du résultat de la demande Read, elle doit renvoyer le contenu du registre contenant le numéro de l'ID, c'est-à-dire 3.

Soit au final : $0xFF ; 0xFF ; 0x01 ; 0x04 ; 0x03 ; 0x03 ; 0x03 ; 0xF1$

Entête : $0xFF ; 0xFF$

Champs de données :

$0x03$: ID du servo-moteur ;

$0x03$: Nombre d'octets à suivre, lui y compris, sans compter le checksum ;

$0x00$: Donnée non significative car réponse à une demande de lecture

$0x03$: Valeur de la donnée retournée (donc valeur 3 car la demande était la lecture du registre d'ID).

Calcul du checksum : $0x03 + 0x03 + 0x00 + 0x03 = 0x09$ donc $\text{NOT}(0x09) = 0xF6$

Header		ID	Len	I/E	Param		Cksm
FF	FF	01	04	03	03	03	F1

Header		ID	Len	I/E	Pa...	Cksm
FF	FF	03	03	00	03	F6

Question 10

Ce type de câblage en réseau permet de s'affranchir d'un câblage en étoile et donc d'un point principal disposant de 18 départs vers les servo-moteurs. Il facilite ainsi grandement le câblage vers les parties les plus éloignées du robot.

L'inconvénient majeur réside dans la fiabilité, en effet si un servo-moteur ou un câble n'est plus fonctionnel, il risque d'entraîner la perte de communication vers les servo-moteurs situés en aval de ce dernier.

Question 11

On a sur la trame :

Entête : 0xFF ; 0xFF Pas porteur d'information

Champs de données :

ID : 0xFE ; C'est-à-dire 254 en décimal : ID de broadcast : On s'adresse à tous les servos-moteurs ;

LEN : 0x05 : La taille des données après cette information est de 5 octets ;

I/E : 0x03 : Opération d'écriture (code de Write) ;

Adresse : 0x1E ; C'est-à-dire 30 en décimal : Registre de mise en position du servo-moteur ;

Data : 0x0002 donc 0x0200 (car little endian), c'est-à-dire 512 en décimal sur un total de 1024 positions (centrage du servo-moteur) ;

Calcul du checksum : $0xFE + 0x05 + 0x03 + 0x1E + 0x00 + 0x02 = 0x116$ réduit à $0x16$ donc $NOT(0x16) = 0xD9$.

30	Goal Position
----	---------------

Pour conclure, on demande un centrage de tous les servo-moteurs.

Question 12

La communication est de type Asynchrone 8 bits, 1 stop bit et pas de parité. Il y a nécessairement un bit de start dans ce type de transmission donc si on rajoute le bit de start, il y a alors 10 bits transmis au total pour la transmission d'un octet. La trame totale nécessite 9 octets soit 90 bits. La vitesse d'émission est de 1 000 000 bits par seconde. On obtient donc une durée de trame de 90 µs.

La trame se compose de deux octets header qui ne sont pas porteurs d'information et d'un checksum qui ne comporte pas d'information utile.

Les informations utiles se limitent à l'ID, la longueur, l'opération d'écriture, l'adresse et la donnée, soit un ensemble de 6 octets. On a donc 48 bits utiles sur un total de 90, soit un rapport de 53,3 %.

Question 13

L'architecture complète est basée sur une carte Raspberry Pi 3 qui dispose de plusieurs ports USB. Un des ports USB est relié au Convertisseur U2D2 qui permet le début du chainage vers les concentrateurs (Hub). Sur le principe de la patte de référence, les trois servo-moteurs des différentes pattes sont montés en Daisy Chain afin de minimiser le câblage. Tous les servo-moteurs peuvent ainsi être pilotés par rapport au logiciel fourni par la société ROBOTIS, ce qui permet d'une part de les tester individuellement et d'autre part de les tester collectivement par l'utilisation de commande de Broadcast. Le robot dispose donc de toute l'architecture matérielle permettant la programmation de ses déplacements à partir d'une commande numérique.

Question 14

```
CDCGestionPortSerieStaticOnly  
opérations  
+ouverturePortSerie() : int  
+fermeturePortSerie( serialPort : int ) : void  
+ecriturePortSerie( serialPort : int, msg : string ) : void
```

Les traits de soulignement indiquent que les méthodes sont statiques et les caractères + indiquent que les méthodes sont publiques.

Question 15

Ouverture du port :

```
int hPortSerie = CDcGestionPortSerieStaticOnly::ouverturePortSerie ();
```

Fermeture du port :

```
CDcGestionPortSerieStaticOnly::fermeturePortSerie (hPortSerie);
```

Question 16

Le second paramètre est une adresse, en l'occurrence, l'adresse de msg[i], la taille de msg[i] est égale à 1, donc le cœur de la boucle écrit un seul caractère à chaque fois. Cela est confirmé par le nombre de fois où la boucle s'exécute. (string::size() et string::length() de l'espace de nom std fonctionnent de la même manière et retournent la longueur de la chaîne.)

Question 17

On obtient alors :

```
class CDJServo {  
private :  
    int mID;  
    int mPortSerie;  
    int mPositionCentraleAbsolue = 512;  
    float mPositionCentraleAngulaire = 150;  
    float mPositionMinimaleAngulaire = 0;  
    float mPositionMaximaleAngulaire = 300;  
  
public :  
    CDJServo (int ID = -1, int portSerie = -1) {  
        this->mID = ID;  
        this->mPortSerie = portSerie;  
        this->setPourcentageVitesse(15); //15 % de la vitesse maximale  
    }  
  
    void setPositionAbsolue (int positionAbsolue);  
    void setPositionAngulaire (float positionAngulaire);  
    void setPourcentageVitesse (float pourcentageVitesse = 10.0);  
  
private :  
    char calculChecksum (std::string msg);  
};
```

Question 18

Une fonction Template représente un patron de fonction. Cette fonction sera créée par le compilateur lors de son appel qui se fera nécessairement avec un type de paramètre connu par ce dernier et indiqué par la lettre T, qui suit le mot clé typename, dans l'entête de la fonction.

L'objectif de la fonction binary_repr() est de retourner une chaîne de caractères contenant les valeurs des bits qui représentent la donnée T donc de retourner l'équivalent binaire de la donnée T, ce qui permet de mettre au point la fonction de calcul du checksum pour la trame.

Question 19

On obtient :

Valeur de i	Caractère courant	Somme courante	Somme courante (entier)
0	0000 0001	0000 0001	1
1	0000 0101	0000 0110	6
2	0000 0011	0000 1001	9
3	0000 1100	0001 0101	21
4	0110 0100	0111 1001	121
5	1010 1010	0010 0011	35
Somme finale complétée		Somme finale complétée (entier)	
1101 1100		220	

La valeur obtenue est 1101 1100 soit 0xDC, ce qui est bien la valeur indiquée par la documentation.

Question 20

Attention, le document DR3 fait référence, dans son titre, à la méthode setPositionAbsolue() à la place de la méthode setPositionAngulaire(). Il s'agit d'une coquille dans le sujet.

```
void CDJServo::setPositionAngulaire (float positionAngulaire) {
    int positionAbsolue;
    if (positionAngulaire > this->mPositionMaximaleAngulaire)
        positionAbsolue = this->mPositionCentraleAbsolue;
    else if (positionAngulaire < this->mPositionMinimaleAngulaire)
        positionAbsolue = this->mPositionCentraleAbsolue;
    else
        positionAbsolue = int(positionAngulaire*1023/300);
    this->setPositionAbsolue(positionAbsolue);
}
```

On peut accepter 1024 et on peut ne pas écrire **this ->** dans le déclenchement de la méthode setPositionAbsolue().

Question 21

```
class IDJVerification {
public :
    virtual void verificationIdentification (void) = 0; // Méthode virtuelle pure
    virtual void verificationMouvement (void) = 0; // Méthode virtuelle pure
};
```

Pour la représentation UML, il faut retenir que la représentation normalisée est de type lollypop. On peut admettre :



Dans la représentation de droite, il faut remarquer le rond vert représentant la notation lollypop ou notation sucette.

Question 22

```
void CDJServo::verificationMouvement (void) {
    this->setPositionAngulaire(this->mPositionCentraleAngulaire); //On place le servo en position
centrale soit 150°
    sleep(1); // pas nécessaire mais préférable
    for (int i = 0; i < 2; i++) {
        this->setPositionAngulaire(this->mPositionCentraleAngulaire + 20); // On fait un débattement
de +20°
        sleep(1);
        this->setPositionAngulaire(this->mPositionCentraleAngulaire - 20); // On fait un débattement de
-20°
        sleep(1);
    }
    this->setPositionAngulaire(this->mPositionCentraleAngulaire); // On le replace en position
centrale soit 150°
}
```

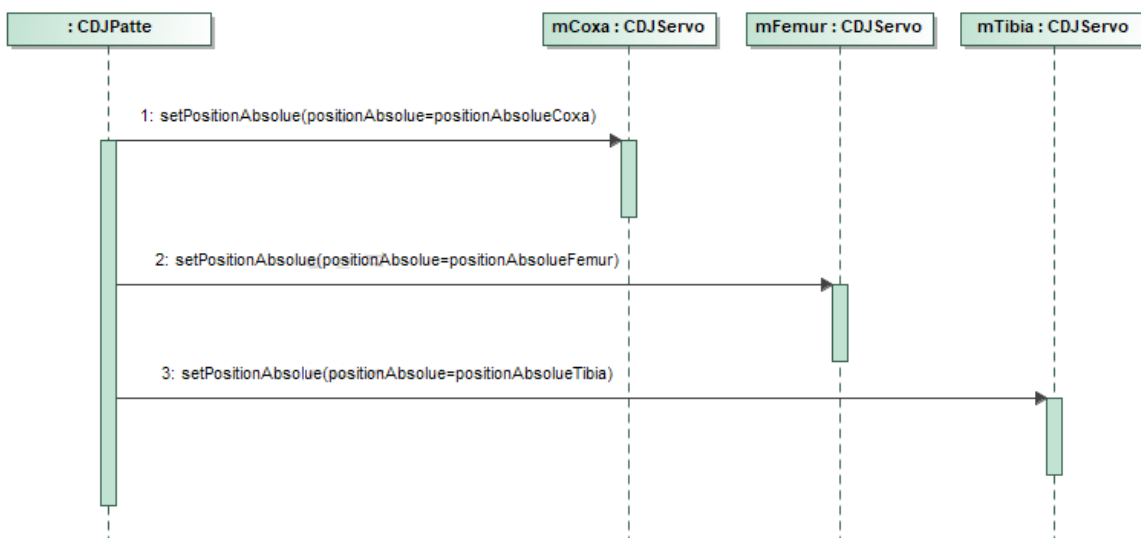
Question 23

Le passage par référence permet de créer un alias pour le servo moteur, il évite la redéfinition d'un nouveau servo-moteur. Il est possible d'utiliser un pointeur sur un objet de la classe CDJServo, soit CDJServo * ptCoxa par exemple mais le code des méthodes dépend alors de ce choix. Compte tenu du choix mis en place, le corps du constructeur est :

```
CDJPatte::CDJPatte (CDJServo& coxa, CDJServo& femur, CDJServo& tibia) {
this->mCoxa = coxa;
this->mFemur = femur;
this->mTibia = tibia;
}
```

Question 24

Attention : Dans le sujet, sur la figure 15, il y avait une inversion entre mFemur::CDJServo et mTibia::CDJServo. Il faut lire le diagramme de séquence, reproduit ci-dessous.



```
void CDJPatte::setPositionAbsolue (int positionAbsolueCoxa, int positionAbsolueFemur, int
positionAbsolueTibia) {
    this->mCoxa.setPositionAbsolue(positionAbsolueCoxa);
    this->mFemur.setPositionAbsolue(positionAbsolueFemur);
    this->mTibia.setPositionAbsolue(positionAbsolueTibia);
}
```

Question 25

La méthode **setPositionAngulaire()** de la classe **CDJPatte** a pour objectif de placer les trois articulations de la patte dans une position angulaire donnée. Elle attend trois angles (dans l'ordre coxa, fémur et tibia) et après vérification de la validité de ces angles (sur le même principe que la méthode **setPositionAngulaire()** de la classe **CDJServo**, elle génère les trois positions absolues avant de déclencher la méthode **setPositionAbsolue()** de sa propre classe.

Question 26

```
void CDJPatte::verificationMouvement (void) {
    this->mCoxa.CDJServo::verificationMouvement();
    this->mFemur.CDJServo::verificationMouvement();
    this->mTibia.CDJServo::verificationMouvement();
}
```

Question 27

```
void CDJHexapode::equilibreHautRepos (void) {

    this->mPatteBabordProue.setPositionAngulaire(150+20,150-41,150+77);
    this->mPatteTribordProue.setPositionAngulaire(150-20,150+41,150-77);

    this->mPatteBabordPoupe.setPositionAngulaire(150-20,150-41,150+77);
    this->mPatteTribordPoupe.setPositionAngulaire(150+20,150+41,150-77);

                this->mPatteBabordCentre.setPositionAngulaire(150,150-41,150+77);
                this->mPatteTribordCentre.setPositionAngulaire(150,150+41,150-77);
}
```

Question 28

On obtient :

```
this->mPatteBabordProue.CDJPatte::verificationMouvement();
```

Question 29

La durée de la vérification d'un seul servo-moteur est de 4 secondes. La durée de vérification d'une patte est de 12 secondes car il y a trois servo-moteurs par patte. La durée de vérification de l'hexapode est donc de 72 secondes car il y a six pattes.

Question 30

On peut utiliser un pattern (modèle de développement) issu du **GoF** (Gang of Four) et dans ce cas le modèle dit du Singleton. La classe **CDJHexapode** peut alors devenir la classe **CDJHexapodeSingleton**.

Question 31

La partie précédente avait montré que l'architecture matérielle permettait de programmer le robot de manière totalement numérique (exigence 1.1.1.R). Cette partie indique que chaque servo-moteur peut être piloté aussi bien indépendamment que comme étant membre d'une patte et plus généralement de l'hexapode dans sa totalité. On dispose des classes **CDJServo**, **CDJPatte** et **CDJHexapode**, chacune d'entre elles spécialisée à son niveau. Un modèle cinématique inverse permet de déterminer les valeurs angulaires de tous les servo-moteurs pour réaliser les différents mouvements. La démarche est totalement objet (exigence 1.2) minimisant les modifications à mettre en place en cas de modification de l'architecture matérielle.

Question 32

Le port utilisé est le port 8080.

Question 33

En appelant le fichier de cette manière qui correspond au nom par défaut, l'opérateur n'aura qu'à entrer l'adresse du serveur dans l'URL de son navigateur sans spécifier de nom particulier supplémentaire.

Question 34

L'attribut « id » est unique et permet d'identifier la balise alors que « class » peut être commun à plusieurs balises. L'attribut « id » est identifiable grâce au symbole # alors que « class » commence par un point.

Question 35

```
article {  
    display : flex;  
    flex-direction : column;  
    align-items : center;  
}
```

Question 36

```
header>img {  
    width : 250px;  
}
```

Question 37

```
@media only screen and (max-width: 900px) {  
    section {  
        display: grid;  
        grid-template-columns: auto;  
    }  
    header>img {  
        width: 180px;  
    }  
}
```

Question 38

Appui sur Play → videoCamera()
Appui sur Stop → imageVideo()
Appui sur Photo → prendrePhoto()

Question 39

« let » permet de déclarer une variable sans besoin de l'initialiser. (Sa portée est limitée à celle du bloc courant.)

« const » permet de déclarer une constante et doit être initialisé. (Sa portée est aussi limitée à celle du bloc courant.)

Question 40

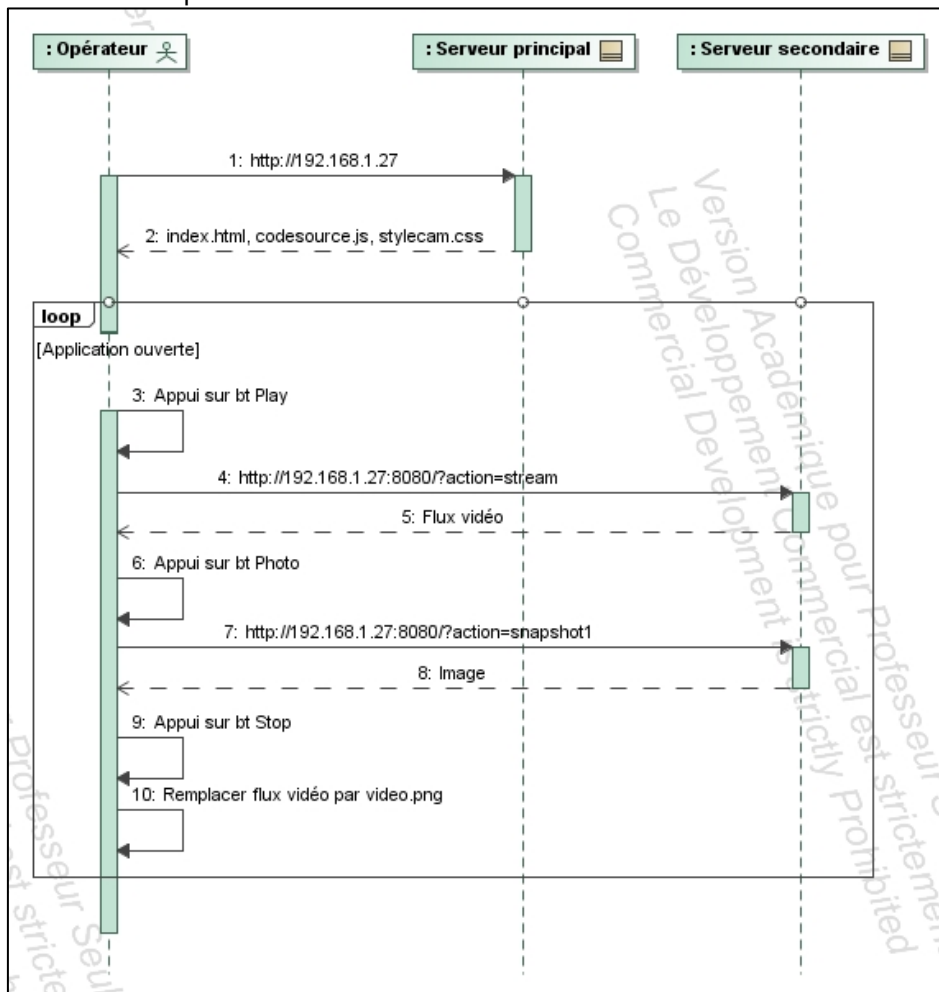
```
function imageVideo() {  
    imgVideo.src = "images/accueil.png";  
}
```


Question 41

```
function prendrePhoto() {  
    const photo = document.querySelector("#idphoto");  
  
    if (imgVideo.src == urlCourante+"/images/accueil.png"){  
        alert("pas de flux vidéo");  
    }  
    else {  
  
        const canvasPhoto = document.createElement("canvas");  
        const ctx = canvasPhoto.getContext('2d');  
        const newText = document.createElement("p");  
        newText.innerHTML = "Photo "+cptPhotos;  
        photo.appendChild(canvasPhoto);  
        ctx.drawImage(imgVideo, 0, 0, 250, 150);  
        photo.appendChild(newText);  
        cptPhotos +=1;  
    }  
}
```

Question 42

Les différentes possibilités permettent d'afficher le flux vidéo, de prendre des photos, et de stopper l'affichage du flux vidéo en le remplaçant par une image par défaut. Elles correspondent aux critères de l'exigence de 1.4 et de sa précision 1.4.R.



Question 43

L'utilisation du terme **this** comme second paramètre représente l'objet lui-même sur lequel s'applique la méthode, en l'occurrence l'objet, instance de la classe CDcJoystickEvenement. Cet objet n'est constitué que d'un seul attribut de type structurée js_event qui sera renseigné par cette fonction puisqu'on lui passe son adresse. L'utilisation de (***this**) dans le contenu de la fonction **sizeof()** permet d'obtenir le nombre d'octets à lire.

L'appel de cette méthode met donc à jour le contenu de l'attribut privé mEvenement de type **js_event** et retourne 0 s'il n'y a pas d'erreur.

Question 44

```
while (hEvent.lectureEvenement(hJoystick) == 0) {
    switch (hEvent.getEvenement().type) {

        case JS_EVENT_BUTTON :

//Gestion équilibre Haut Maximal et équilibre Haut Repos
            if ((hEvent.getEvenement().number == 4 ) && (hEvent.getEvenement().value == 1)) {
                hexapode.equilibreHautMaximal();
            }
            if ((hEvent.getEvenement().number == 5) && (hEvent.getEvenement().value == 1)) {
                hexapode.equilibreHautRepos();
            }
            break;

        default :
            /* Ignore init events. */
            break;
    }
}
```

Question 45

Il s'agit d'un modèle permettant la communication inter processus (IPC - Inter Process Communication) afin de permettre à divers processus de communiquer aussi bien sur une même machine qu'à travers un réseau TCP/IP.

Question 46

La fonction bind(), qui signifie lier, permet de lier le socket que l'on a créé précédemment grâce à la fonction socket() à un point de communication défini par une adresse et un port.

Question 47

L'adresse IP de communication est l'adresse locale 127.0.0.1. Elle permet la communication au sein de l'hexapode, on aurait pu remplacer cette adresse IP par localhost.

Question 48

```
<?php
// Réception de la chaine de caractères
switch ($_POST['cmd']) {

    case "forward":
        $data = 0;
        break;

    case "left":
        $data = 3;
```

```

        break;

    case "stop":
        $data = 5;
        break;

    case "right":
        $data = 1;
        break;

    case "backward":
        $data = 2;
        break;

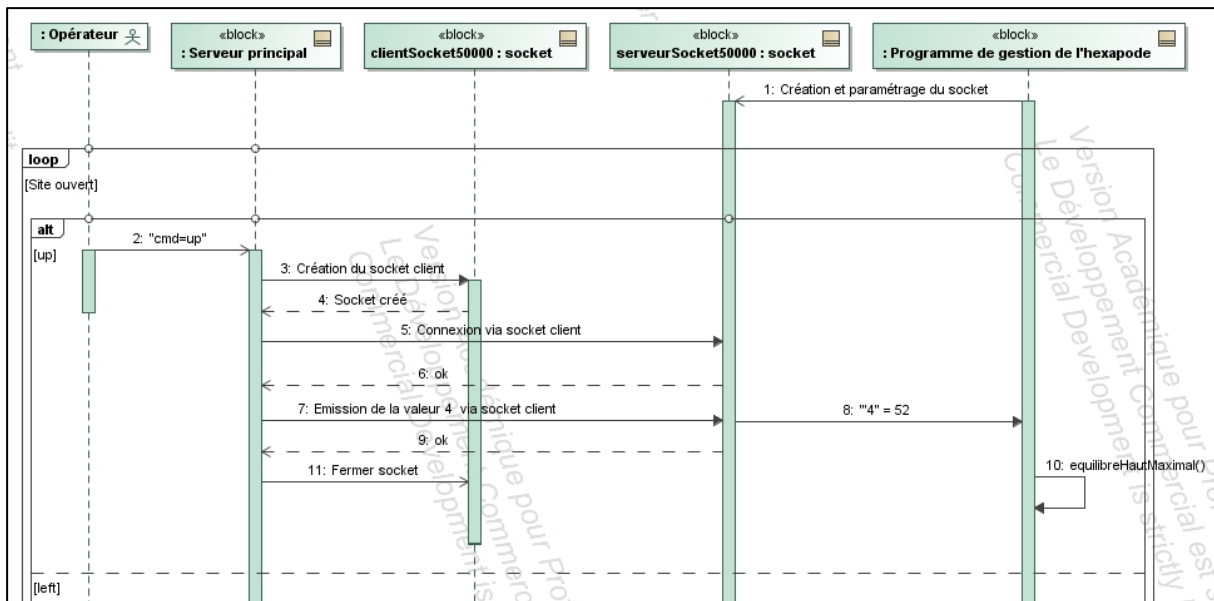
    case "up":
        $data = 4;
        break;

    case "down":
        $data = 6;
        break;

    default:
        $data = "A";
        break;
};

```

Question 49



Question 50

Les deux solutions permettent de garantir le pilotage dans tous les cas de figure mais l'exigence 1.3 n'est pas respectée. En effet l'interface Web est fonctionnelle et correspond à la réalisation de l'exigence 1.3.1 et à sa précision 1.3.1.R. Le joystick est fonctionnel et sa mise en œuvre correspond à l'exigence 1.3.2 et à sa précision 1.3.2.R.

Cependant l'exigence 1.3 n'est pas satisfaite car les deux méthodes de pilotage, en l'état actuel du développement de la solution logicielle, sont mutuellement exclusives car les deux utilisent une boucle d'attente. La première attend une information par socket, la seconde un évènement par joystick.

La réalisation de l'exigence 1.3 requiert la modification de la prise en compte des événements du joystick.

Une solution possible consiste à mettre en place, pour le joystick, une solution à base de client-serveur en reprenant le serveur du programme principal et en créant un client qui attend les événements joystick et les émet, après traitement via les sockets vers le serveur.

Question 51

La première ligne de commande permet grâce à la commande `add-apt-repository` d'ajouter le nom du dépôt dans les dépôts connus par aptitude. Pour cela, il faut se placer en super utilisateur (`sudo`) et le mot de passe du compte est demandé. Le sélecteur `-y` permet simplement de passer la commande sans que celle-ci ne demande de confirmation. Le terme `ppa` indique par ailleurs Personal Package Archives.

La seconde ligne de commande permet de mettre à jour l'ensemble des informations relatives aux versions des fichiers disponibles dans les dépôts et présentes sur la machine Linux.

La troisième ligne de commande permet d'installer le paquet (le logiciel) `sqlitebrowser` sans demander la confirmation grâce à `-y`.

Question 52

```
mkdir -m777 pourSQLite  
ls -l  
cd pourSQLite
```

La seconde ligne de commande affiche : `drwxrwxrwx 2 XXX XXX 4096 nov. 6 14 :45 pourSQLite`

Les trois informations `rwx`, indiquent bien que tous les utilisateurs disposent de toutes les permissions.

Le premier groupe `rwx` indique les permissions pour le possesseur du fichier (user permissions).

Le second groupe `rwx` indique les permissions pour les membres du groupe (group permissions).

Le troisième groupe `rwx` indique les permissions pour tout le monde (les utilisateurs qui ne sont pas présents dans les deux premières catégories) (other permissions).

Une autre solution consiste à créer le répertoire sans s'occuper de manière spécifique des permissions et de modifier ces dernières grâce à la commande `chmod`.

```
mkdir pourSQLite  
chmod -R 777 pourSQLite  
ls -l  
cd pourSQLite
```

Question 53

```
wget -c https://www.sqlite.org/src/file/ext/misc/fileio.c -O fileio.c
```

On peut accepter l'utilisation de `wget` sans les deux spécificateurs

```
wget https://www.sqlite.org/src/file/ext/misc/fileio.c
```

On peut également utiliser `curl`.

Question 54

```
sudo apt-get install libsqlite3-dev
```

Question 55

Il s'agit d'un fichier d'extension `so`, créé avec l'option `shared`, c'est-à-dire une librairie liée dynamiquement (équivalent des DLL en Windows).

Question 56

Si on lit le schéma Entités - Associations à partir de l'entité Lieu, cela signifie : Un lieu est inspecté par 0 à N RobotAria(s), cela indique qu'un lieu peut n'avoir jamais été inspecté par un robot.

Question 57

Si on conserve ce couple comme clé primaire, il n'est pas possible de « conserver » l'enregistrement d'une nouvelle inspection. En effet, un même regard peut être inspecté plusieurs fois par le même robot (à des dates différentes) et l'intérêt est de conserver une trace de cette inspection dans la base de données. La clé primaire ID_I permettra d'identifier cette « mission » de surveillance pour ce regard, ce qui ne serait pas possible avec le couple ID_R, ID_L

Question 58

BLOB : Binary Large Object. Il s'agit de données (larges) sauveées sous la forme d'une seule entité dans un système de base de données. Le type de données est habituellement des images, de l'audio ou des fichiers multimédias.

Avantages : la base de données dispose de toutes les données. Inconvénients : sa taille devient importante.

Une autre solution est de stocker uniquement le lien vers un répertoire et un nom de fichier (dans notre cas de type image).

Question 59

Requêtes initiales produites par l'outil MOCODO	Modification de la requête de création de la table INSPECTER
<pre>CREATE TABLE "ROBOTARIA" ("ID_R" INTEGER, "dateMiseEnService" REAL, "photoRobot" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_R")); CREATE TABLE "INSPECTER" ("ID_R" INTEGER, "ID_L" INTEGER, "ID_I" VARCHAR(42), "dateInspection" REAL, "photoLieu" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_R", "ID_L"), FOREIGN KEY ("ID_R") REFERENCES "ROBOTARIA" ("ID_R"), FOREIGN KEY ("ID_L") REFERENCES "LIEU" ("ID_L")); CREATE TABLE "LIEU" ("ID_L" INTEGER, "codeBarres" INTEGER, "photoInitialeLieu" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_L"));</pre>	<pre>CREATE TABLE "ROBOTARIA" ("ID_R" INTEGER, "dateMiseEnService" REAL, "photoRobot" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_R")); CREATE TABLE "INSPECTER" ("ID_R" INTEGER, "ID_L" INTEGER, "ID_I" INTEGER, "dateInspection" REAL, "photoLieu" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_I"), FOREIGN KEY ("ID_R") REFERENCES "ROBOTARIA" ("ID_R"), FOREIGN KEY ("ID_L") REFERENCES "LIEU" ("ID_L")); CREATE TABLE "LIEU" ("ID_L" INTEGER, "codeBarres" INTEGER, "photoInitialeLieu" BLOB, PRIMARY KEY ("ID_L"));</pre>

Question 60

```
SELECT codeBarres FROM LIEU
WHERE ID_L = 106 ;
```

L'objectif est d'obtenir le code-barres du regard 106 dans le second entrepôt sur le site de Malakoff. Elle retourne donc 51 02 106 1.

Question 61

```
SELECT Count (*) AS "Nombre de regards" FROM LIEU ;
Ou (sans l'alias)
SELECT Count (*) FROM LIEU ;
```

La requête doit retourner le nombre 8, correspondant au nombre de regards sur le site de Malakoff.

Question 62

```
INSERT INTO ROBOTARIA
(ID_R, dateMiseEnService, photoRobot)
VALUES (001, JULIANDAY('2018-06-14'), NULL);
```

Question 63

```
UPDATE ROBOTARIA
SET photoRobot = readfile('Aria001.png')
WHERE ID_R = 001
```

Question 64

```
INSERT INTO INSPECTER
(ID_R, ID_L, ID_I, dateInspection, photoLieu)
VALUES (001, 106, 63, JULIANDAY('2018-06-18 16:02:00'), NULL);
```

On accepte :

```
JULIANDAY('2018-06-18 16:02:00.00') et JULIANDAY('2018-06-18 16:00')
```

Question 65

```
SELECT DATE(INSPECTER.dateInspection), TIME(INSPECTER.dateInspection),
ROBOTARIA.ID_R, INSPECTER.ID_I FROM INSPECTER
JOIN LIEU ON LIEU.ID_L = INSPECTER.ID_L
JOIN ROBOTARIA ON ROBOTARIA.ID_R = INSPECTER.ID_R
WHERE LIEU.ID_L = 106
ORDER BY DATE(INSPECTER.dateInspection) DESC
```

Question 66

Le choix d'un outil de conception rapide des tables à partir d'un schéma Entités - Associations est pertinent, cela permet d'obtenir rapidement un ensemble fonctionnel. Le choix de SQLite est également pertinent car il s'agit d'un outil gratuit multiplateforme. Le choix d'intégrer directement les images sous la forme de fichier BLOB présente des avantages certains mais crée rapidement une base de données de taille importante. Le calendrier Julien est bien adapté aux dates et l'ensemble satisfait l'exigence 1.5 ainsi que l'exigence 1.5.1.

Question 67

La première permet d'autoriser le chargement des extensions et la seconde procède au chargement de l'extension fileio.dll (sous Machine Windows) ou fileio.so sous machine Linux qui permet d'utiliser les fonctions **readfile()** et **writefile()** sur les fichiers de type BLOB.

Question 68

```
def affichageModeConsole (resultatRequete):
# Information sur le type de données de resultatRequete
    print (type (resultatRequete))
    print (type (resultatRequete[0]))

    print ('Solution 1') # Utilisation d'un itérateur sur la liste de tuple
    for ligne in resultatRequete: # chaque ligne est un tuple
        print (ligne)

    print ('Solution 2')
    for i in range (0, len (resultatRequete)):
        print (resultatRequete[i])
```

Cette fonction n'est pas adaptée à l'affichage des données de type BLOB (ou même des dates au calendrier Julien) car il faut encore interpréter les données brutes.

Question 69

```
def affichageModeConsolePhotoUnique(imageTEMP):
    try :
        hImage = im.open(imageTEMP) # Ouverture du fichier que l'on vient de charger
    except :
        hImage = im.open("notFound.png")
    hImage.show()
```

Si le fichier n'existe pas, la fonction **open()** lève une exception, il est alors simple d'attraper cette dernière (**catch**) pour ouvrir et afficher une autre image ; en particulier l'image '**notFound.png**'.

Question 70

Il est évident que la manipulation d'une base de données n'est pas adaptée à des opérateurs ne maîtrisant pas le langage SQL. Une première approche sous la forme d'un mode console est possible et satisfait en partie l'exigence 1.5.2. Cependant une interface complète sous forme graphique permettant de gérer les images est nécessaire. Il reste ainsi à développer cette dernière partie à partir d'une librairie graphique comme Tkinter par exemple si l'apport d'une base de données s'avère pertinent à l'usage dans le cadre de la surveillance de l'usine de Malakoff.

Question 71

Le choix d'une solution Open Source pour l'Hexapode permet de réaliser rapidement un prototype fonctionnel et donc in fine de minimiser les coûts de développement. Il faut bien entendu adapter le robot aux différentes contraintes mécaniques et en particulier au couple nécessaire compte tenu des différentes missions que ce dernier est amené à réaliser. Cette adaptation passe nécessairement par la requalification des servo-moteurs.

Le choix d'une solution à base de carte de développement rapide de type Raspberry sous RASPBIAN permet de profiter de toute la connaissance de la communauté et autorise une large utilisation des langages et des services disponibles sur ce type d'environnement. Elle permet entre-autres de faire tourner le serveur Web embarqué à partir d'une solution Apache et le développement du programme en CPP.

La mise en place d'un programme natif utilisant la démarche Orienté Objet permet de faire rapidement évoluer ce dernier une fois les couches basses écrites. Cette approche permet aussi une réutilisation et une évolution du code source avec des modifications moins importantes dans le cas de l'évolution de la solution mécanique.

Les contraintes de pilotage sont prises en compte et permettent de faire fonctionner l'hexapode en présence d'un réseau informatique fonctionnel auquel il est connecté en permanence avec un retour caméra. En cas de défaillance du réseau une solution par Joystick USB sans fil est également possible, ce qui introduit bien entendu une sécurité dans le fonctionnement. Il faut noter qu'en l'état les deux

solutions étudiées restent mutuellement exclusives et qu'un travail de développement est encore nécessaire.

La mise en place d'une base de données introduisant nativement la sauvegarde des photos semble pertinente. Elle doit permettre un archivage des missions et faciliter à terme la maintenance du site car elle permet une étude dans le temps de l'évolution du lieu à surveiller et en particulier de l'état de la vis. Il est évident que la manipulation d'une base de données n'est pas adaptée à des opérateurs ne maîtrisant pas le langage SQL et qu'une interface complète sous forme graphique permettant de gérer les images est nécessaire. Il reste ainsi à développer cette dernière partie si l'apport d'une base de données s'avère réellement pertinent à l'usage dans le cadre de la surveillance de l'usine de Malakoff.

D. Commentaires du jury

Partie 1 : Mise en situation et contexte de l'étude

Partie traitée par 98,4% des candidats.

Cette première partie présente le système dans son contexte en utilisant le modèle SysML (diagramme de contexte, cas d'utilisation). On demande aux candidats de compléter un diagramme et d'en expliquer les relations. Le système, simple, et ses avantages d'utilisation sont bien compris mais une bonne moitié des candidats ne maîtrise pas suffisamment l'outil SysML et particulièrement le vocabulaire associé, ce qui ne permet pas de répondre strictement aux questions.

Partie 2 : Architecture matérielle de l'hexapode

Partie traitée par 100% des candidats.

Cette partie aborde les aspects matériels du système et notamment le fonctionnement particulier des servomoteurs Dynamixel AX12 en mode chaînage (Daisy-Chain). Le sujet propose aux candidats d'analyser la trame dans le but de commander chaque articulation de l'hexapode. L'étude a été plutôt bien abordée, la plupart des candidats arrive à extraire les informations pertinentes issues d'un document technique.

Partie 3 : Architecture logicielle de l'hexapode

Partie traitée par 100% des candidats.

Dans cette partie, les candidats abordent la programmation orientée objet en langage C++ en utilisant une démarche de conception objet et le langage UML. Le sujet s'attache à montrer comment concevoir les différentes classes responsables de chacun des mouvements, du plus élémentaire ; le déplacement d'une articulation au plus complexe, le déplacement de l'hexapode dans son ensemble.

36% des candidats ont bien répondu aux attentes du jury mais 20% ont aussi démontré qu'ils ne maîtrisaient pas du tout ce langage. Là aussi, les particularités du modèle UML (Soulignement des méthodes statiques, signes pour « privé ou public », symboles d'une interface) ne sont pas toujours acquises. La connaissance de la notion de patrons de fonctions (ou de classe) est assez mal acquise par une grande majorité de candidats.

Partie 4 : Création du serveur Web

Partie traitée par 92% des candidats.

On mesure ici la capacité du candidat à mobiliser ses connaissances sur les langages Web (HTML, CSS et JavaScript). Le but de cette partie est de réaliser une interface web permettant à, partir d'un touchpad de diriger l'hexapode tout en ayant un retour caméra. La plupart des candidats appréhende correctement les langages HTML et CSS mais une bonne partie n'a pas traité la partie relative à la mise en œuvre en JavaScript. En conclusion de cette partie, le sujet demande de compléter un diagramme de séquence en lien avec l'utilisateur, le serveur web (principal) et le serveur vidéo (secondaire). Cette question n'a été traitée que par très peu de candidats.

Partie 5 : Pilotage de l'hexapode

Partie traitée par 67% des candidats.

Dans cette partie, on propose aux candidats deux méthodes différentes pour piloter l'hexapode : par la page web ou en manipulant un Joystick. Cette étude fait le lien entre le programme de bas niveau écrit en C++ et le langage web en JavaScript et PHP. On utilise un Socket comme support de communication. Cette partie est dans l'ensemble plutôt bien traitée par un quart des candidats. Les difficultés sont toutefois liées à la méconnaissance des langages utilisés où pourtant, aucune expertise n'était requise. Sur la conclusion, les candidats répondent souvent que la solution mise en œuvre est satisfaisante et manquent de sens critique.

Partie 6 : Création et exploitation d'une base de données

Partie traitée par 67% des candidats.

Cette partie aborde les aspects relatifs à un Système de Gestion de Base de Données mais aussi sa mise en place dans un environnement Linux. Il aborde la création de la base et sa gestion.

Les commandes liées au Shell linux sont soit particulièrement bien traitées, soit très mal abordées par les candidats. Des faiblesses importantes sont constatées dans la construction des requêtes en langage SQL, requêtes qui par ailleurs n'étaient pas très délicates mais abordaient les notions de SELECT, INSERT et UPDATE. Les notions, même simples d'algèbre relationnel, ne sont pas connues.

Partie 7 : Interface de gestion de la base de données

Partie traitée par 48% des candidats.

Cette dernière partie valide les connaissances du candidat sur le langage Python avec la mise en œuvre d'un programme de type console pour échanger avec la base de données. Le jury constate cette partie est assez peu traitée dans son ensemble. La conclusion demandait de prendre un peu de recul et d'être un peu critique sur la solution adoptée. Dans l'ensemble cette conclusion a été assez mal abordée.

Synthèse sur l'étude

Partie traitée par 26% des candidats.

La plupart des candidats n'est pas allé jusqu'à compléter l'ensemble des parties et ont ainsi négligé d'aborder la synthèse de l'étude.

Conclusion

- Concernant la prise de connaissance du sujet :

Il est important, dès la réception du sujet, d'en faire une lecture rapide mais complète afin d'appréhender le questionnement dans son ensemble et de localiser les éléments de réponse fournis.

- Concernant le questionnement de connaissances générales :

Le sujet aborde plusieurs langages de programmation, C++, HTML, CSS, JavaScript, PHP et Python utilisés dans le milieu scolaire et industriel. Il n'est pas demandé d'être expert dans ces différents langages mais plutôt de savoir s'adapter au contexte proposé, les bases restant exigibles.

Des connaissances plus approfondies sont également demandées par le jury sur l'aspect modélisation, SysML et UML.

Certaines réponses sont hors sujet et/ou complètement incohérentes. Attention aux unités !

Les candidats doivent également fournir un effort dans la rédaction des réponses, parfois très peu illisibles ou bien truffées de fautes d'orthographe ou grammaticales.

E. Résultats

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

	CAPET 3 ^e concours
Nombre de copies	18
Moyenne	7,57
Note maximum	16,1
Écart type	2,93

Épreuve écrite disciplinaire (IM)

Ingénierie mécanique

A. Présentation de l'épreuve

Durée : 5 heures

Coefficient 4

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.devenirensignant.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_3^* .

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 :

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

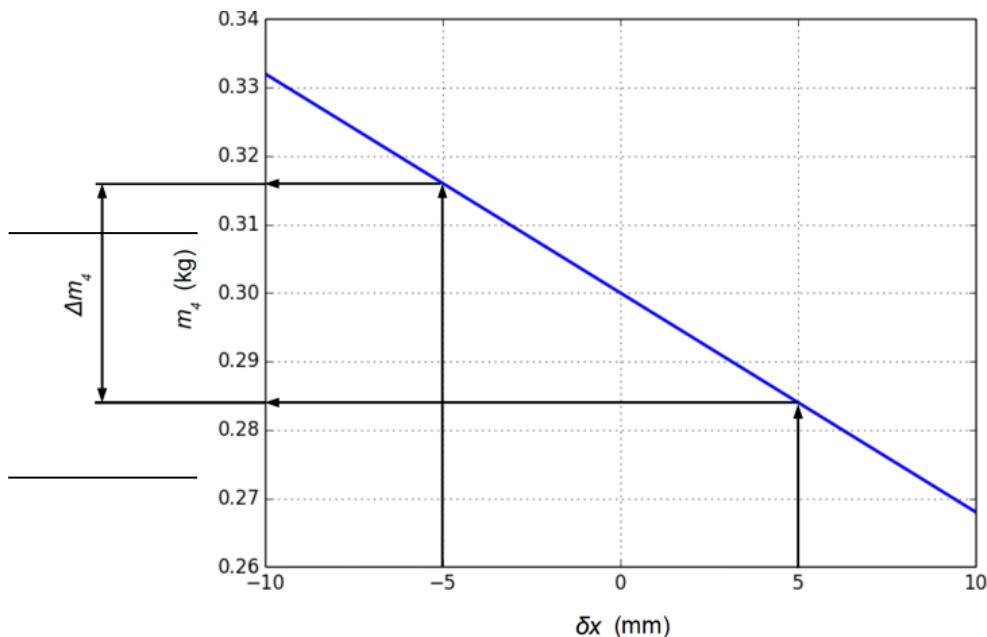


Figure 1 : relation entre la variation δx et la masse m_4 sous condition d'équilibrage

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 :

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

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 :

$$\{T(Pes \rightarrow 1)\}_{G_1} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Pes \rightarrow 1) = -m_1 g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\} \quad \{T(Eau \rightarrow 1)\}_c = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(Eau \rightarrow 1) = \rho_{ed} V_{im} g \vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}$$

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 :

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

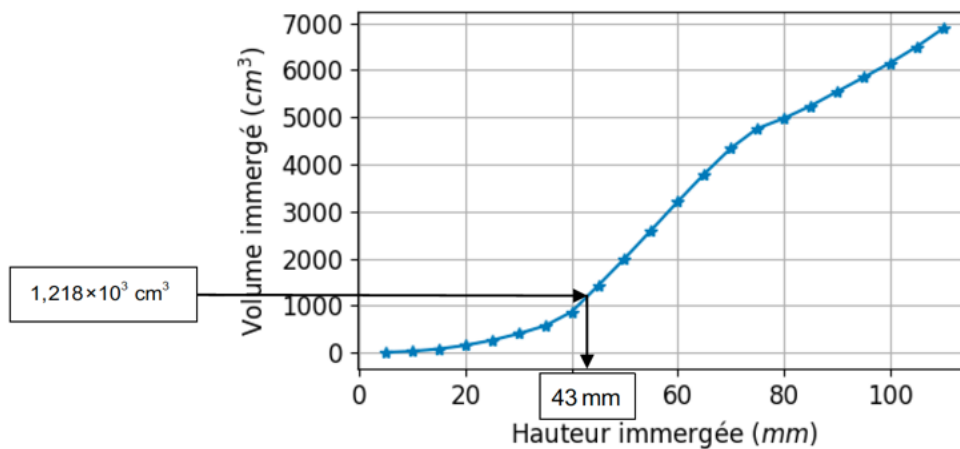


Figure 2 : volume immergé évalué à partir d'un modèle 3D

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 :

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

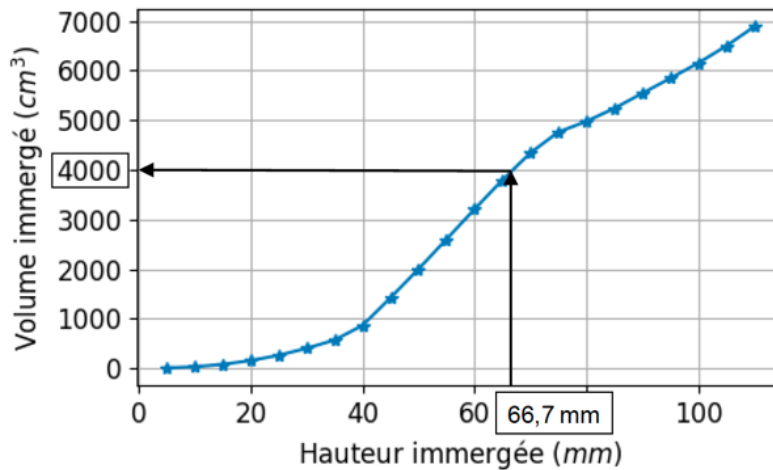


Figure 3 : volume immergé évalué à partir d'un modèle 3D

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

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

Soit :

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

Application numérique :

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

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

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

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_{4max} = m_{Smax}$$

D'où :

$$m_{4max} = m_{Smax} - m_1 - m_2 - m_3$$

Application numérique :

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

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 :

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

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

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

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 $\overrightarrow{G_s O_1}$:

$$\overline{G_s O_1} = \frac{L_x}{2} \bar{x}_s + \frac{L_y}{2} \bar{y}_s + L_z \bar{z}_s$$

D'où :

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

Finalement :

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

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

$$\overline{G_s O_2} = \frac{L_x}{2} \bar{x}_s - \frac{L_y}{2} \bar{y}_s + L_z \bar{z}_s \quad \overline{G_s O_3} = -\frac{L_x}{2} \bar{x}_s + \frac{L_y}{2} \bar{y}_s + L_z \bar{z}_s \quad \overline{G_s O_4} = -\frac{L_x}{2} \bar{x}_s - \frac{L_y}{2} \bar{y}_s + L_z \bar{z}_s$$

on déduit :

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

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

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

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 :

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

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

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

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.

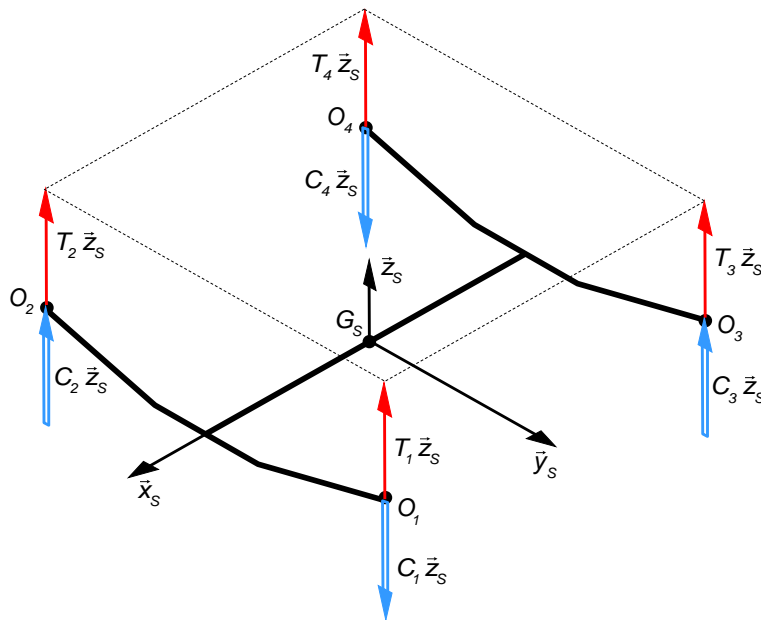


Figure 4 : représentation des actions mécaniques au niveau des hélices H_1 , H_3 et H_4

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 :

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

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

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.

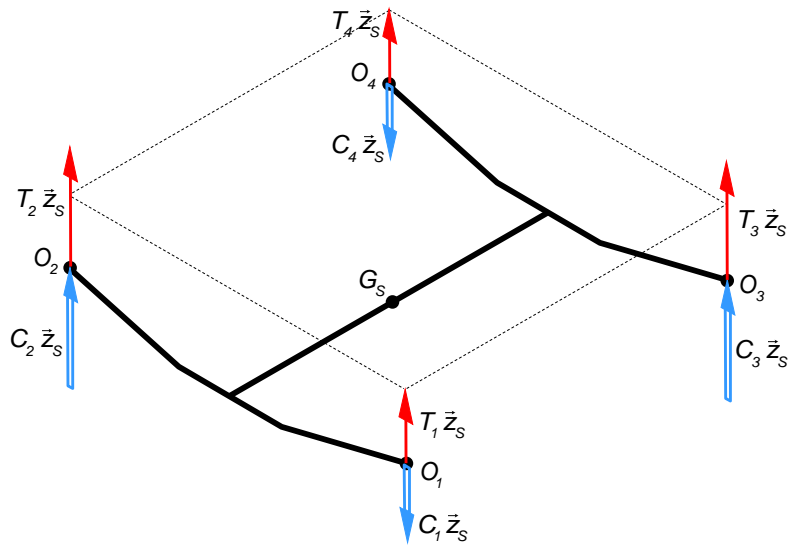


Figure 5 : représentation des actions mécaniques au niveau des quatre hélices

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 :

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

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 :

$$P \vec{z}_s - m_s g \vec{z}_0 = \vec{0}$$

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 :

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

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

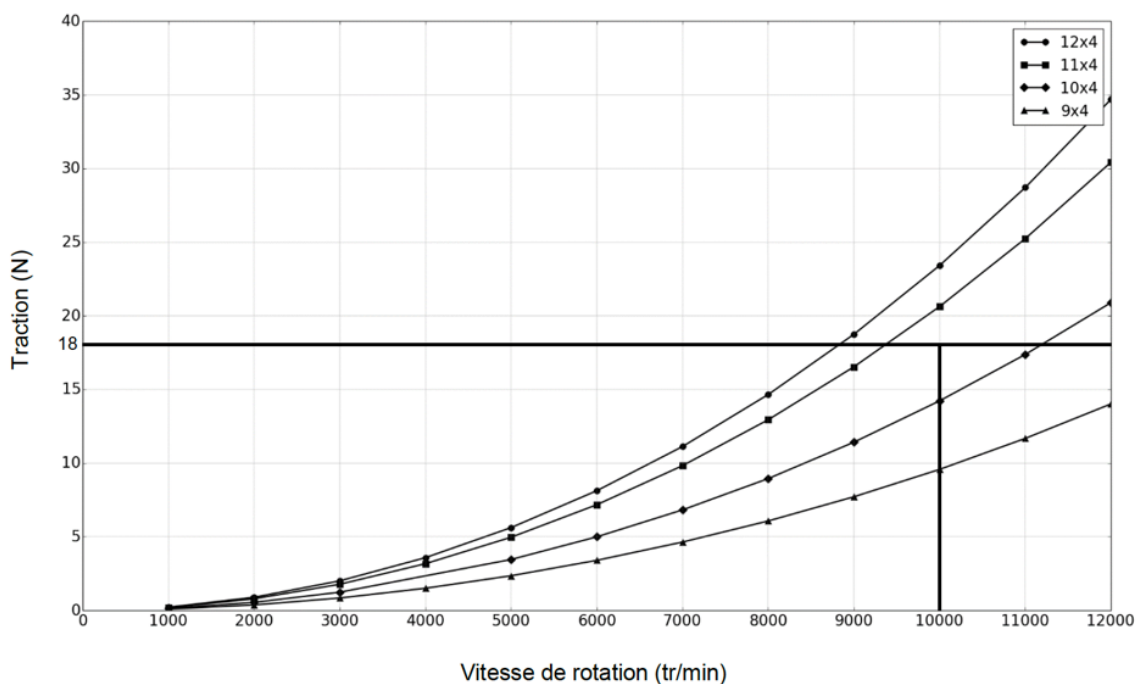


Figure 6 : influence du diamètre sur la loi de traction (source *UIUC*)

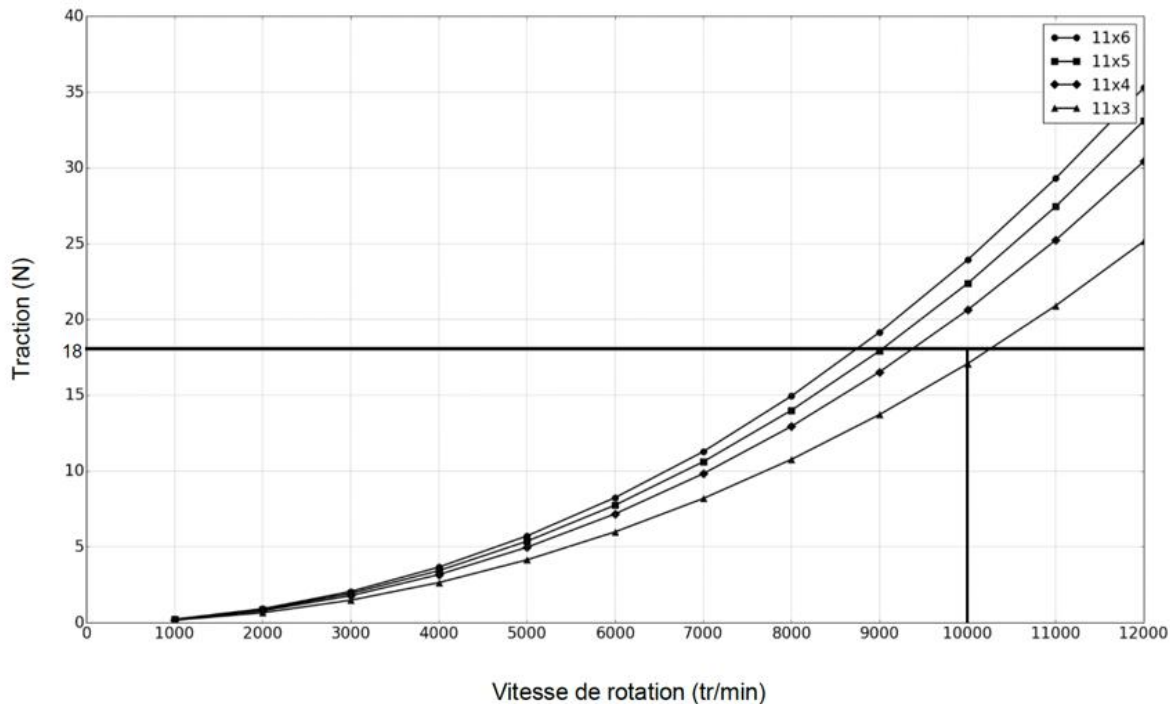


Figure 7 : influence du pas sur la loi de traction (source UIUC)

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

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.

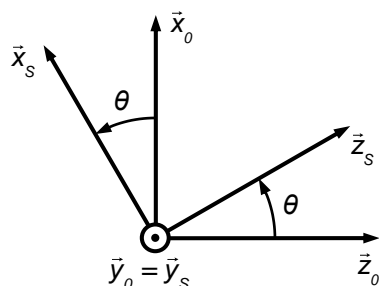


Figure 8 : changement de base simplifié

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 $(G_s, \vec{y}_s, \vec{z}_s)$;
- 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 :

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

Question 28 – Expression dans la base $B_s(\vec{x}_s, \vec{y}_s, \vec{z}_s)$ 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 :
$$\boxed{\vec{\sigma}(G_s, S/R_0) = I_y \dot{\theta} \vec{y}_s}$$

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

$$\begin{aligned} \vec{\delta}(G_s, S/R_0) &= \left(\frac{d}{dt} \vec{\sigma}(G_s, S/R_0) \right)_{B_0} = I_y \left(\ddot{\theta} \vec{y}_s + \dot{\theta} \left(\frac{d\vec{y}_s}{dt} \right)_{B_0} \right) \\ \left(\frac{d\vec{y}_s}{dt} \right)_{B_0} &= \vec{\Omega}(B_s/B_0) \wedge \vec{y}_s = (\dot{\theta} \vec{y}_s) \wedge \vec{y}_s = \vec{0} \end{aligned}$$

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

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 :

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

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 \vec{y}_s , on obtient :

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

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 $\vec{F}(G_s/R_0)$.

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

$$\vec{O_0 G_s} = x(t)\vec{x}_0 + y(t)\vec{y}_0 + z(t)\vec{z}_0$$

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

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

D'où :

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

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 :

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

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_o^* (en degré) et ω_o^* (en tr/min).

On a :

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

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

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

Puis de la courbe $\theta_o = f(\omega_o)$, on déduit :

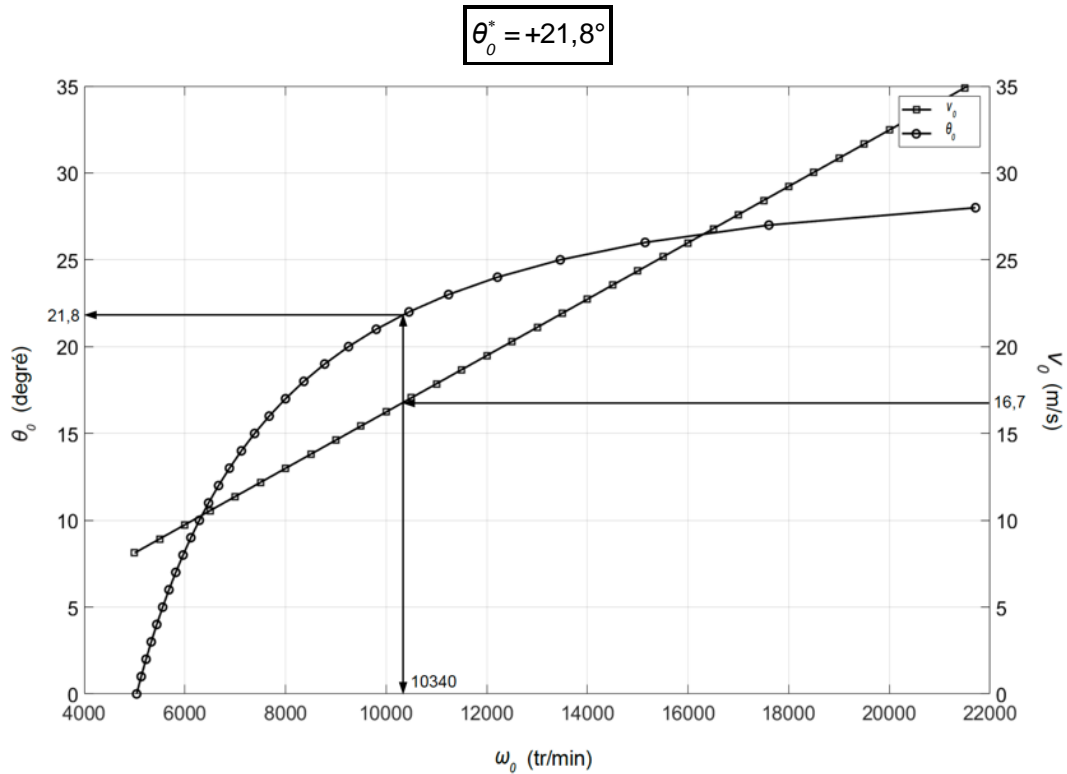


Figure 9 : conditions d'existence d'un vol en régime de croisière

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 :

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

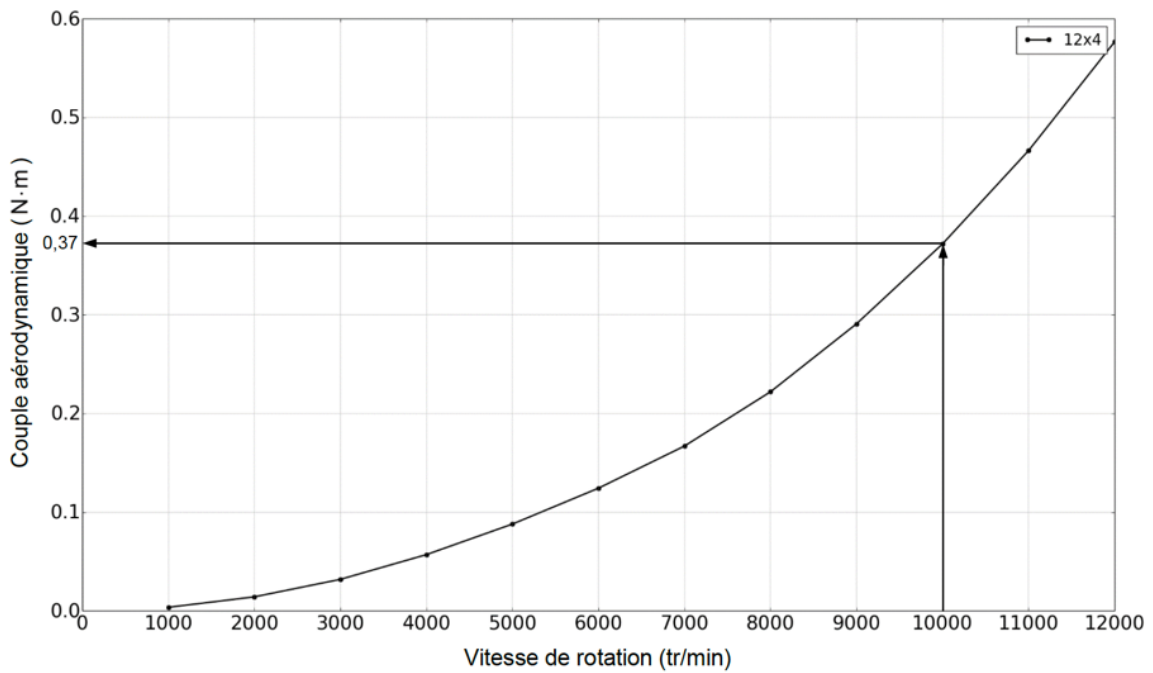


Figure 10 : couple aérodynamique d'une hélice 12×4 (source UIUC)

Par définition :

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

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

Soit :

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

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]	(15s)[A]	(watt) (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 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 :

$$\sigma_T^0 = \frac{pR}{e}$$

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 :

$$\frac{pR}{e} \leq R_e$$

Soit :

$$p \leq \frac{eR_e}{R}$$

Finalement :

$$p_{max} = \frac{eR_e}{R}$$

Application numérique :

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

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.

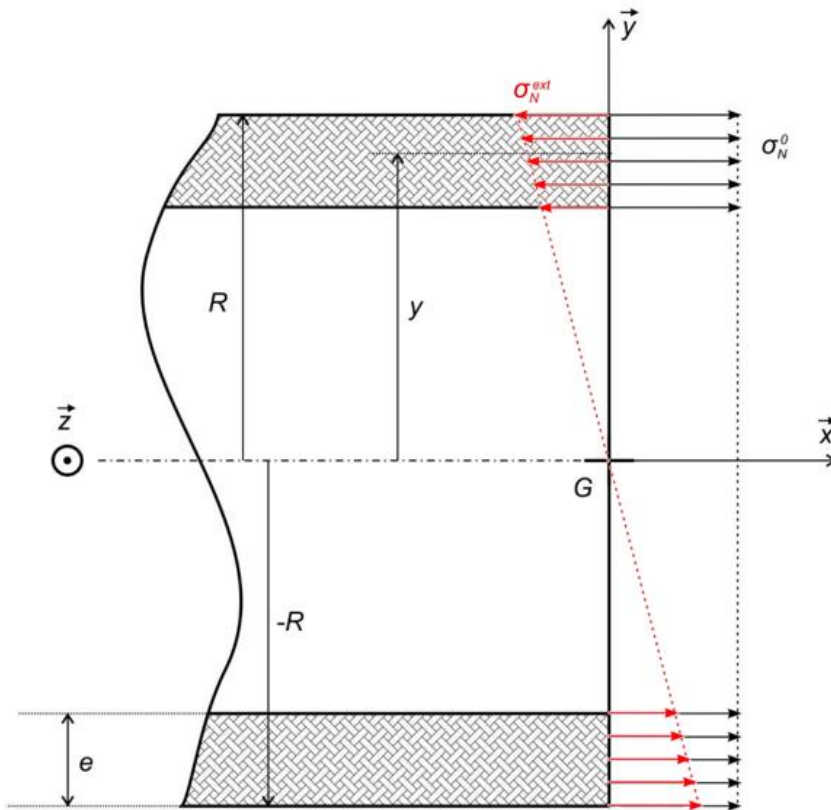


Figure 11 : répartition de la contrainte normale due à l'action du vent σ_N^{ext}

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 :

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

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 :

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

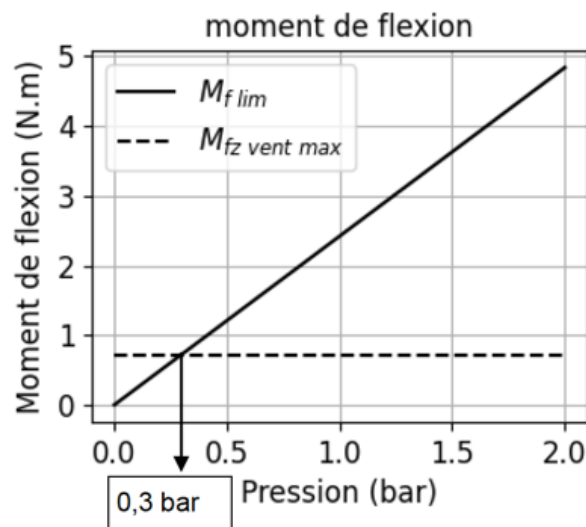


Figure 12 : moment $M_{f \text{ lim}}$ en fonction de la pression de gonflage

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 :

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

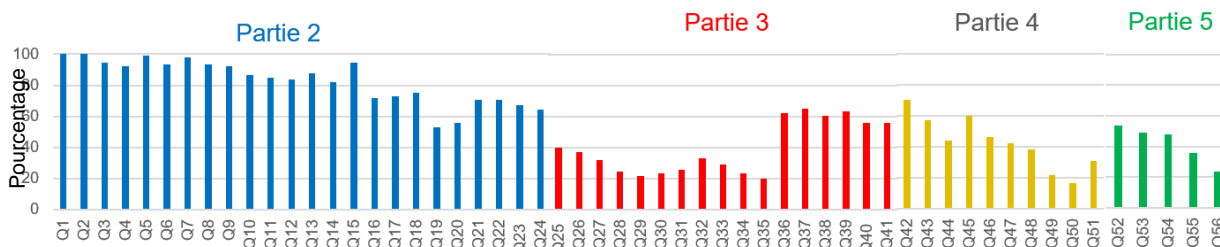
Question 56 – Démarche d'évaluation de la performance d'autonomie en vol stationnaire.

- 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 3 ^e concours
Nombre de copies	34
Moyenne	7,07
Note maximum	18
Écart type	3,92

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 :

IC

- banc de simulation de séisme ;
- système de ventilation double flux ;
- pompe à chaleur ;
- banc d'essai de flexion.

IE

- banc de simulation de séisme ;
- système de ventilation double flux ;
- pompe à chaleur
- robot collaboratif ;
- barrière de péage ;
- égreneur.

II

- robot haptique ;
- véhicule de mobilité urbaine ;
- bras deux axes de contrôle par caméra ;
- robot humanoïde ;

- système de caméra auto-suiveuse ;
- nacelle de prise de vue.

IM

- 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

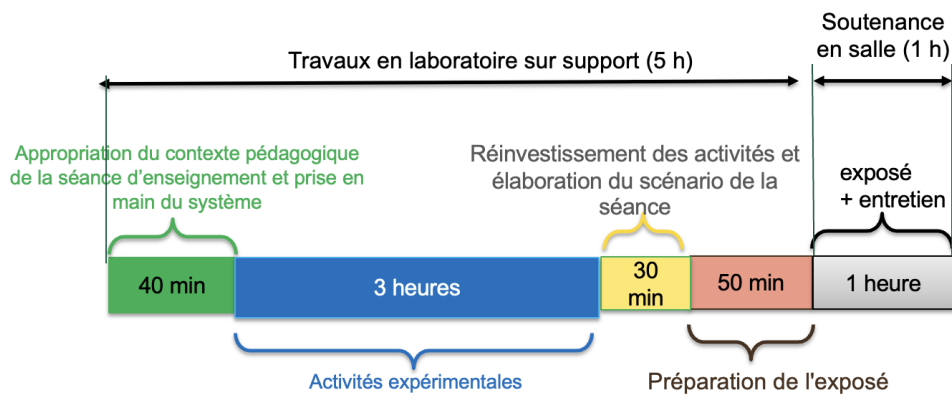
L'épreuve a pour objet la conception et l'animation d'une séance d'enseignement. La séance proposée prendra appui sur les investigations effectuées pendant la phase de travaux pratiques. Cette épreuve permet d'apprécier à la fois la maîtrise disciplinaire, la maîtrise de compétences pédagogiques et de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

IC

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	10,92
Note maximum	17
Note minimale	4
Écart type	5,7

IE

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	7,68
Note maximum	13,5
Note minimale	1
Écart type	3,5

II

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	7,78
Note maximum	12,2
Note minimale	3,8
Écart type	2,9

IM

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	10,36
Note maximum	20
Note minimale	2,8
Écart type	5,3

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'appropriier 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.

IC

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	13,89
Note maximum	18
Note minimale	2,6
Écart type	4,5

IE

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	9,64
Note maximum	14,5
Note minimale	3
Écart type	3,7

II

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	9,06
Note maximum	14
Note minimale	3,5
Écart type	3,8

IM

	CAPET 3 ^e concours
Moyenne	11,13
Note maximum	20
Note minimale	1
Écart type	5,6