



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : AGREGATION EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie informatique

Session 2022

Rapport de jury présenté par : Alix Munier Kordon, professeur des universités
Présidente du jury

Sommaire

Avant-propos.....	1
Remerciements.....	2
Résultats statistiques.....	3
Épreuve d'admissibilité de sciences industrielles de l'ingénieur.....	5
A. Présentation de l'épreuve.....	5 B.
Sujet.....	5 C.
Éléments de correction.....	6 D.
Commentaires du jury.....	17
E. Résultats.....	22
Épreuve d'admissibilité de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....	23
A. Présentation de l'épreuve.....	23 B.
Sujet.....	23 C.
Éléments de correction.....	24 D.
Commentaires du jury.....	36
E. Résultats.....	37
Épreuve d'admissibilité de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	39
A. Présentation de l'épreuve.....	39 B.
Sujet.....	39 C.
Éléments de correction.....	40 D.
Commentaires du jury.....	57
E. Résultats.....	59
Épreuve d'admission d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.....	61
A. Présentation de l'épreuve.....	61 B.
Commentaires du jury.....	63 C.
Résultats.....	68
D. Exemple de sujet.....	69
Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique.....	75
A. Présentation de l'épreuve.....	75 B.
Commentaires du jury.....	77 C.
Résultats.....	79
D. Exemple de sujet.....	81
Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel.....	91
A. Présentation de l'épreuve.....	91 B.
Commentaires du jury.....	92
C. Résultats.....	94
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République.....	95

Avant-propos

Le concours 2022 était la sixième édition de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de l'option « ingénierie informatique ». Ce rapport est dans la continuité de ceux des sessions précédentes.

L'ingénierie informatique appliquée aux systèmes analyse et résout des problèmes scientifiques et technologiques communs à l'informatique générale et spécifiques à l'informatique embarquée (software et hardware). Ces problèmes s'inspirent de défis sociétaux liés à l'utilisation massive d'objets connectés (IoT) à faibles empreintes. Les spécificités et contraintes sont nombreuses et variées en fonction des applications comme le temps réel, la miniaturisation, l'autonomie et la consommation énergétiques, les interfaces homme-machine, la numérisation de grandeurs analogues à des grandeurs physiques (capteurs), le traitement de la data, les réseaux informatiques et de télécommunication, la cyber sécurité, la fiabilité, la sûreté de fonctionnement, etc.

Les attentes du concours de l'agrégation SII sont définies par l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation. Les concours de recrutement d'enseignants n'ont pas pour seul objectif de valider les compétences scientifiques et technologiques des candidats ; ils doivent aussi valider les compétences professionnelles qui sont souhaitées par l'État employeur qui recrute des professeurs. L'excellence scientifique et la maîtrise disciplinaire sont indispensables pour présenter le concours, mais pour le réussir, les candidats doivent aussi faire preuve de qualités didactiques et pédagogiques et de bonnes aptitudes à communiquer.

Les trois épreuves d'admissibilité sont construites de manière à évaluer un spectre large de compétences scientifiques et technologiques ; la première épreuve est commune aux quatre options de l'agrégation SII, les deux autres spécifiques à l'option.

Les trois épreuves d'admission sont complémentaires des épreuves d'admissibilité ; la première épreuve d'admission est commune aux quatre options, les deux autres spécifiques à l'option. Elles permettent l'évaluation des compétences pédagogiques des futurs professeurs et s'appuient sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation (publié au BOEN du 25 juillet 2013). Elles comportent un entretien avec le jury qui permet d'évaluer la capacité du candidat à s'exprimer avec clarté et précision, à réfléchir aux enjeux scientifiques, technologiques, didactiques, épistémologiques, culturels et sociétaux que revêt l'enseignement du champ disciplinaire du concours. Ces épreuves d'admission, dont le coefficient total est le double de celui des épreuves d'admissibilité, ont 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 les1 compétences ciblées. La préparation à ces épreuves commence dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique à partir d'activités expérimentales ne s'improvise pas et nécessite une préparation rigoureuse. De même, la qualité du dossier dépend de la pertinence du choix du support. Elle impose aux futurs professeurs de s'engager, dès le début de leur carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise et de la recherche.

Ces épreuves permettent *« également d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République »*. Les thématiques de la laïcité et de la citoyenneté trouvent toute leur place lors des entretiens avec le jury ; en effet, la mission première que fixe la Nation à ses enseignants est de transmettre et faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République ainsi que l'ensemble des dispositions de la charte de la laïcité.

Pour cette sixième session, 15 postes sont ouverts pour l'agrégation sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie informatique. Parmi les 150 inscrits, 63 candidats ont été présents aux trois épreuves d'admissibilité. Le nombre d'inscrits a connu cette année une baisse significative. Une raison possible pourrait être la création de l'agrégation d'Informatique qui a pu drainer une partie des candidats. Cependant, ce nombre reste important au regard du nombre de places ouvertes au concours.

Cette session s'est révélée être, comme les précédentes, d'un très bon niveau. Les candidats ont su démontrer un sens de la pédagogie et une posture professionnelle compatibles avec l'exercice des missions d'enseignant ; le jury les en félicite.

L'agrégation est un concours prestigieux de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables.

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 La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission de cette session 2022 des quatre options de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur.

Le jury s'est déroulé dans des conditions très particulières cette année compte tenu du décès accidentel pendant l'année scolaire d'un collègue membre du jury. Ce dernier était très investi dans la préparation du concours et son absence a été une épreuve pour tous les collègues qui ont eu la chance de travailler avec lui.

Nous avons également regretté l'absence du directeur délégué aux formations du lycée La Martinière en arrêt pour longue maladie. Nous remercions chaleureusement la personne qui l'a remplacé à ce poste et qui nous a permis d'organiser au mieux l'ensemble des épreuves d'admission.

Les membres du jury tiennent à remercier le proviseur du lycée, 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 malgré la canicule.

Résultats statistiques

Session	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux épreuves d'admission	Admis
2017	264	15	106	35	33	15
2018	280	12	105	28	23	12
2019	240	14	104	35	31	15*
2020	202	15	82	28	25	15
2021	210	15	92	36	33	15
2022	150	15	63	31	27	15+2 LC**

* un candidat a été inscrit sur liste complémentaire

** deux candidats ont été inscrits sur liste complémentaire

Statistiques des notes obtenues à l'admissibilité à la session 2022

Moyenne obtenue par le premier candidat admissible	16,8
Moyenne obtenue par le dernier candidat admissible	8,06
Moyenne des candidats présents	7,85
Moyenne des candidats admissibles	11,17
Écart-type des candidats présents	3,86
Écart-type des candidats admissibles	2,55

Statistiques des notes obtenues à l'admission à la session 2022

Moyenne obtenue par le premier candidat admis	16
Moyenne obtenue par le dernier candidat admis	10,10
Moyenne des candidats présents	10,72
Moyenne des candidats admis	12,56
Écart-type des candidats présents	2,5
Écart-type des candidats admis	1,9

Épreuve commune d'admissibilité

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est commune à toutes les options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session, quelle que soit l'option choisie.

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

B. Sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :
https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/07/3/s2022_agreg_externer_sii_1_1425073.pdf

Ce sujet porte sur la construction d'un habitat social dans la ville de Nantes par impression 3D multimatériaux. Cette impression 3D est réalisée à l'aide d'un dispositif de fabrication additive robotisée conçue et brevetée par la société Batiprint3D(TM) et par l'Université de Nantes. Cette technologie innovante a été mise en œuvre pour la première fois lors de la construction d'un prototype de maison nommée « Yhnova(TM) ».



Maison « Yhnova(TM) » terminée

C. Éléments de correction

Partie 1 :

Question 1 : Les deux couches extérieures de PU servent de coffrage dans un premier temps puis assurent l'isolation thermique du mur une fois la construction terminée. La mousse est bien « à fonctionnalité évolutive ».

Question 2 : On divise les 51 m linéaire par 4 m soit 13 stations. Il y a en réalité 18 stations de travail, d'une part pour permettre un recouvrement entre les stations de travail et d'autre part pour tenir compte des ouvertures de la maison.

Question 3 : 3 piliers du développement durable : enjeu social, enjeu économique et enjeu environnemental. Les avantages sont les suivants :

Enjeu social : permet, grâce à des coûts moindres, de construire des maisons individuelles pour de l'habitat social

Enjeu économique : chantier plus court en temps avec retour sur investissement d'un point de vue énergétique sur le long terme

Enjeu environnemental : possibilité de maximiser la surface habitable sans enlever la végétation existante, amélioration de l'isolation thermique, impact carbone réduit

Partie 2 :

$$e = 2.e_s + 2 \cdot \frac{e_{\max} - e_s}{2} + e_b = e_{\max} + e_s + e_b = 340 \text{ mm}$$

Question 4 : On a : il faut donc positionner une épaisseur de béton auto plaçant de :

$$e_b = e - e_{\max} - e_s$$

$$e_b = e - e_{\max} - e_s = 340 - 110 - 80 = 150 \text{ mm.}$$

Enfin on a : $e = d + 2 \cdot \frac{e_s}{2} \rightarrow d = e - e_s = 340 - 80 = 260 \text{ mm}$

Les cornières sont placées à 260 mm l'une de l'autre.

Question 5 : Une vitesse d'avance de $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ permet d'obtenir une épaisseur e_s de 80 mm avec une épaisseur $e_{\max} = 80 + 15 + 15 = 110 \text{ mm}$.

Question 6 : Pour le tronçon numéro 2 étudié on est à $h = 3,34 \text{ m}$ et $L = 3,6 \text{ m}$.

On a $n = \frac{h_{\min i}}{h_s} = \frac{3,34}{0,054} = 61,85$ soit 62 couches de polyuréthane à déposer.

Avec une vitesse d'avance de $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, il faut 18 secondes pour faire un cordon de 3,6 m soit un temps de coulée de $2 \times 18 \times 62 = 2232$ secondes soit 37 minutes et 12 secondes pour les 2 parois polyuréthane du tronçon numéro 2.

Question 7 : La classe S5 de béton auto plaçant est choisie car on doit aller remplir tous les espaces internes à la mousse qu'il faut absolument bien remplir pour que les qualités de solidité du mur

persistent.

Avantages : Absence de vibration pour sa mise en place, facilité et rapidité de la mise en œuvre, amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonores, excellent remplissage des coffrages, béton de qualité et surface plane, régulière, possibilité de bétonner des formes complexes

Inconvénients : Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire et le prix est plus élevé suite aux adjuvants hyper plastifiants.

Question 8 : En remplissant en une seule fois $h_r = h$, la pression hydrostatique est maximale en pied

$$\text{de mur } (z = 0) \rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h$$

$P_{\max i} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h = 2500 \times 10 \times 3,34 = 83500 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2} > 50 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2} \rightarrow$ le mur ne résiste pas à la pression hydrostatique.

Question 9 : Modèle local : sur chaque élément de surface $dS = dy \cdot dz$ situé autour d'un point M de la paroi s'exerce un effort élémentaire $dF_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = p(M) \cdot x \cdot dy \cdot dz$. Le point M est tel que

$$\vec{OM} = y \cdot \vec{y} + z \cdot \vec{z} \text{ avec } y \in \left[-\frac{L}{2}, \frac{L}{2}\right] \text{ et } z \in [0, h]$$

. Les lois de l'hydrostatique permettent d'écrire

$$p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h - z)$$

où $\rho_{\text{béton}}$ est la masse volumique du béton ($\rho_{\text{béton}} =$

2500 kg·m⁻³), g est l'accélération de la pesanteur

($g \approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) et h la hauteur de béton ($h = 3,34 \text{ m}$).

$$\text{Modèle global : } \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int_{(S)} dF_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \\ \vec{M}_{B(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} \vec{BM} \wedge dF_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \end{array} \right\} \text{ où B est un point}$$

quelconque.

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int_{(S)} dF_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \int_{(S)} \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot x \cdot dy \cdot dz$$

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot x \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} dy$$

$$\vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot x \cdot \left[h_r \cdot z - \frac{z^2}{2} \right]_0^{h_r} \cdot L \rightarrow \vec{R}_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{h_r^2}{2} \cdot L \cdot \vec{x}$$

Question 10 : Le point pour lequel le moment résultant est nul est dans le plan (O, \vec{x}, \vec{y}) . Calcul du moment résultant pour un point Q appartenant au plan (O, \vec{x}, \vec{y}) :

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} \vec{QM} \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot x \cdot dy \cdot dz$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} (\vec{QO} + \vec{OM}) \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot x \cdot dy \cdot dz$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} (-z_Q \cdot \vec{z} + y \cdot \vec{y} + z \cdot \vec{z}) \wedge \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot x \cdot dy \cdot dz$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \int_{(S)} (-\rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot y \cdot z \cdot dy \cdot dz + \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h_r - z) \cdot (z - z_Q) \cdot y \cdot dy \cdot dz)$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = -\rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot z_Q \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} y \cdot dy + \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot y \cdot \int_0^{h_r} (h_r - z) \cdot (z - z_Q) \cdot dz \cdot \int_{-L/2}^{L/2} y \cdot dy$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot y \cdot \int_0^{h_r} (h_r \cdot z - h_r \cdot z_Q - z^2 + z \cdot z_Q) \cdot dz$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot y \cdot \left[h_r \cdot \frac{z^2}{2} - h_r \cdot z_Q \cdot z - \frac{z^3}{3} + \frac{z^2}{2} \cdot z_Q \right]_0^{h_r}$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_r^3}{2} - h_r^2 \cdot z_Q - \frac{h_r^3}{3} + \frac{h_r^2}{2} \cdot z_Q \right) \cdot \vec{y}$$

$$\vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot L \cdot \left(\frac{h_r^3}{6} - \frac{h_r^2}{2} \cdot z_Q \right) \cdot \vec{y} \rightarrow \vec{M}_{Q(\text{béton} \rightarrow \text{paroi})} = 0 \text{ pour } z_Q = \frac{h_r}{3}$$

Question 11 : Portion 1 $z_M \in [0, z_Q]$: On a $\{ \tau_{\text{cohésion}} \} = \{ F_{\text{ext, supprimée}} \}$

Effort tranchant : $T_x = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}$

Moment de flexion : $M_{fy} = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot (z_Q - z)$

avec :

Question 12 : Equation de la déformée : $E.I_Y \cdot \frac{d^2\lambda_1}{dz^2} = R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot (z_Q - z)$

$$E.I_Y \cdot \frac{d\lambda_1}{dz} = -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q - z)^2 + C_1$$

$$E.I_Y \cdot \lambda_1 = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q - z)^3 + C_1 \cdot z + C_2$$

Question 13 : Portion 2 $z_M \in [z_Q, z_A]$: On a $\{\tau_{\text{cohésion}}\} = \{\mathbf{F}_{\text{ext, supprimée}}\}$ avec :

Effort tranchant : $T_x = 0$

Moment de flexion : $M_{fy} = 0$

Equation de la déformée : $E.I_Y \cdot \frac{d^2\lambda_2}{dz^2} = 0 \rightarrow E.I_Y \cdot \frac{d\lambda_2}{dz} = C_3 \rightarrow E.I_Y \cdot \lambda_2 = C_3 \cdot z + C_4$

Conditions limites :

$$z = 0 \rightarrow \lambda_1 = 0 \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = 0$$

$$z = z_Q \rightarrow \frac{d\lambda_1}{dz} = \frac{d\lambda_2}{dz} \text{ et } \lambda_1 = \lambda_2$$

Calcul des constantes d'intégration :

$$z = 0 \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = 0 \rightarrow -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2 + C_1 = 0 \rightarrow C_1 = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2$$

$$z = 0 \text{ et } \lambda_1 = 0 \rightarrow \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3 + C_2 = 0 \rightarrow C_2 = -\frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3$$

$$z = z_Q \text{ et } \frac{d\lambda_1}{dz} = \frac{d\lambda_2}{dz} \rightarrow C_3 = C_1$$

$$z = z_Q \text{ et } \lambda_1 = \lambda_2 \rightarrow C_1 \cdot z_Q + C_2 = C_3 \cdot z_Q + C_4 \rightarrow C_4 = C_2$$

Question 14 : Flèche en A : $E.I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{2} \cdot (z_Q)^2 \cdot h - \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}}}{6} \cdot (z_Q)^3$

$$E.I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3 \cdot h - z_Q)$$

Question 15 : AN de : $E.I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3 \cdot h - z_Q)$

$$R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{h_r^2}{2} \cdot L \text{ (question 9) et } h_r = 3 \cdot z_Q \text{ (question 10).}$$

(question 11) avec

$$R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot \frac{9 \cdot z_Q^2}{2} \cdot L = 2500 \times 10 \times \frac{9 \cdot z_Q^2}{2} \times 3,6 = 405000 \cdot z_Q^2$$

$$7 \cdot 10^6 \times 0,156 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^{-2} = \frac{405000 \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3 \times 3,34 - z_Q)$$

Par dichotomie (ou à la machine à calculer) on trouve $z_Q = 0,094$ m afin d'obtenir une flèche de 5 cm en bout de mur. $z_Q = 0,094$ m \rightarrow $h_r = 0,284$ m.

Pour $h_r = 0,284$, la pression hydrostatique est maximale en pied de mur ($z = 0$)

$$\rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h_r = 2500 \times 10 \times 0,284 = 7100$$

conditions à la pression hydrostatique.

$N \cdot m^{-2} < 50 \text{ kN} \cdot m^{-2} \rightarrow$ le mur résiste dans ces

Question 16 : Graphiquement on voit que la loi $U_1 = f(T)$ est linéaire. On lit 48 mV pour 1200 °C. La

penste de la droite vaut $K_{th} = \frac{48}{1200} = 0,04 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ (c'est la sensibilité du capteur).

Question 17 : Graphiquement on lit : $N_{(10)} = 290$ soit $U_4 = \frac{290 \times 5}{1024} = 1,41 \text{ V}$
 $\rightarrow U_1 = 1,41 \text{ mV}$ (amplification de 1000)

$\rightarrow T^\circ\text{C} = \frac{1,41}{0,04} = 35,25 \text{ }^\circ\text{C} < 50^\circ\text{C}$ du cahier des charges \rightarrow pas de problème lié à l'hydratation du ciment.

Question 18 : E23 : Ajout couche PU mur intérieur

E25 : Temporisation pour ajout entretoises

E27 : Remplissage béton

Condition 1 : $n_{strate} = 6$

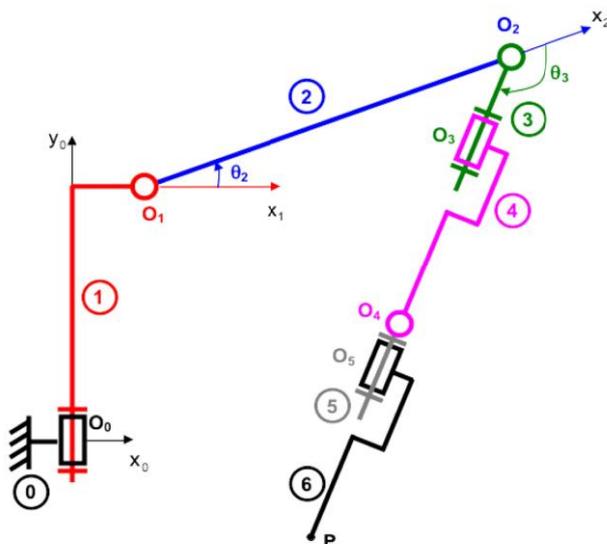
Condition 2 : $n_{strate} < 6$ ou $n_{strate} \neq 6$

E24 : Ajout couche PU mur extérieur

entry / $n_{strate} = n_{strate} + 1$ **Partie**

3 :

Question 19 :



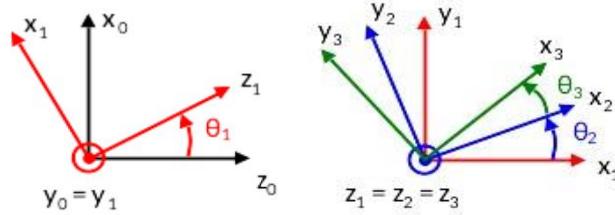
Question 20 : On veut trouver h_0 tel que $\overline{OP} \cdot y_0 = 0,2 \text{ m}$

$$\overline{OP} \cdot y_0 = h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_2) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2$$

AN : $h_0 = -0,55 - 0,825 \cdot \sin(20) - (0,2 + 0,425 + 0,11 + 0,39) \cdot \sin(20 - 132,2) + 0,2$

$h_0 = 0,4094 \text{ m}$.

Question 21 : Modèle géométrique direct :



$$\overrightarrow{OP} = d_c \cdot \overrightarrow{x_0} + 0,2 \cdot \overrightarrow{y_0} + d_c \cdot \tan \theta_1 \cdot \overrightarrow{z_0} = \overrightarrow{OO_0} + \overrightarrow{O_0O_1} + \overrightarrow{O_1O_2} + \overrightarrow{O_2P}$$

$$\overrightarrow{OP} = h_0 \cdot \overrightarrow{y_0} + a_1 \cdot \overrightarrow{x_1} + b_1 \cdot \overrightarrow{y_0} + a_2 \cdot \overrightarrow{x_2} + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \overrightarrow{x_3}$$

$$\overrightarrow{OP} = h_0 \cdot \overrightarrow{y_0} + b_1 \cdot \overrightarrow{y_0} + a_1 \cdot \overrightarrow{x_1} + a_2 \cdot (\cos \theta_2 \cdot \overrightarrow{x_1} + \sin \theta_2 \cdot \overrightarrow{y_1}) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \overrightarrow{x_1} + \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \overrightarrow{y_1})$$

$$\overrightarrow{OP} = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \overrightarrow{x_1} + (h_0 + b_1) \cdot \overrightarrow{y_0} + (a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \overrightarrow{y_1}$$

$$\begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 \\ -(a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) = d_c \cdot \frac{\tan \theta_1}{\sin \theta_1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 & (1) \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 & (2) \\ a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = -\frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 & (3) \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OP} = \begin{cases} (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \cos \theta_1 = d_c \\ h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 \\ -(a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \sin \theta_1 = d_c \cdot \tan \theta_1 \end{cases}$$

→

→

Sur ce problème θ_1 est imposé et comme la 3^{ème} équation du système ci-dessus est linéairement dépendante de la 1^{ère} équation, on peut alors substituer dans le système cette 3^{ème} équation par la 1^{ère} équation pour la résolution à venir.

$$\rightarrow \begin{cases} a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \\ a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 - h_0 - b_1 \\ a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = \frac{d_c}{\cos \theta_1} - a_1 \end{cases}$$

Question 22 : Dans le triangle OEA rectangle en E on a $\theta_1 = -\arctan \frac{1,8}{0,5} = -74,5^\circ$ et après AN on obtient si on ne conserve finalement que les équations (1) et (2) de la question précédente :

$$\begin{cases} 0,825 \cdot \cos \theta_2 + 1,125 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) = 1,72 \\ 0,825 \cdot \sin \theta_2 + 1,125 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = -0,76 \end{cases}$$

→ ce qui donne bien le système de 2 équations demandé.

Question 23 : $\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = \frac{d}{dt} \overrightarrow{O_0 P} \Big|_0 = \frac{d}{dt} a_1 \cdot \vec{x}_1 + b_1 \cdot \vec{y}_1 + a_2 \cdot \vec{x}_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \vec{x}_3 \Big|_0$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = -a_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \vec{z}_1 + a_2 \cdot \frac{d}{dt} \vec{x}_2 \Big|_0 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \frac{d}{dt} \vec{x}_3 \Big|_0$$

avec $\frac{d}{dt} \vec{x}_2 \Big|_0 = \frac{d}{dt} \vec{x}_2 \Big|_2 + \overrightarrow{\Omega_{2/0}} \wedge \vec{x}_2 = (\dot{\theta}_1 \cdot \vec{y}_1 + \dot{\theta}_2 \cdot \vec{z}_2) \wedge \vec{x}_2 = -\dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_2 \cdot \vec{z}_1 + \dot{\theta}_2 \cdot \vec{y}_2$

et $\frac{d}{dt} \vec{x}_3 \Big|_0 = \frac{d}{dt} \vec{x}_3 \Big|_3 + \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \vec{x}_3 = (\dot{\theta}_1 \cdot \vec{y}_1 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \vec{z}_3) \wedge \vec{x}_3 = -\dot{\theta}_1 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \vec{z}_1 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \vec{y}_3$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} = -(a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \vec{z}_1 + a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{y}_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \vec{y}_3$$

Question 24 : La vitesse d'avance s'écrit : $V_A = \overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\vec{z}_0) = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\vec{z}_0) = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \vec{z}_1 \cdot \vec{z}_0 - a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \vec{y}_2 \cdot \vec{z}_0 - (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \vec{y}_3 \cdot \vec{z}_0$$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\vec{z}_0) = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 - a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \theta_1 - (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin \theta_1$$

$$\overrightarrow{V_{P \in 6/0}} \cdot (-\vec{z}_0) = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \dot{\theta}_1 \cdot \cos \theta_1 - (a_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \sin \theta_1$$

Question 25 : On a $10^\circ \cdot \text{s}^{-1} \ll 200^\circ \cdot \text{s}^{-1}$. En supposant que les amplitudes et vitesses angulaires des autres axes sont dans le même ordre de grandeur, on peut conclure que le robot est largement capable d'assurer cinématiquement la vitesse de dépose du cordon de PU.

Question 26 : Le cas le plus pénalisant est lorsque le bras est à l'horizontale. On suppose par ailleurs qu'il n'y a aucun aspect dissipatif dans cette portion de chaîne mécanique.

On isole l'ensemble 2+3+4+5+6 et on applique le PFS. TMS en O_1 suivant l'axe Z_1

$$C_{12} = m_2 \cdot g \cdot \frac{a_2}{2} + m_3 \cdot (a_2 + \frac{a_3}{2}) + m_4 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + \frac{a_4}{2}) + m_5 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + a_4 + \frac{a_5}{2}) + m_6 \cdot g \cdot (a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + \frac{a_6}{2})$$

AN :

$$C_{12} = 10 \times (70 \cdot \frac{0,825}{2} + 20 \cdot (0,825 + \frac{0,2}{2}) + 30 \cdot (0,825 + 0,2 + \frac{0,425}{2}) + 10 \cdot (0,825 + 0,2 + 0,425 + \frac{0,11}{2}) + 50 \cdot (0,825 + 0,2 + 0,425 + 0,11 + \frac{0,39}{2})) = 1873 \text{ N.m}$$

$$C_{m12} = C_{12} \times r = \frac{1873}{100} = 18,7 \text{ N.m}$$

Question 27 : Précision angulaire coté moteur : $\frac{360^\circ}{2^{10}} = 3,5 \cdot 10^{-1} \text{ }^\circ \cdot \text{impulsion}^{-1}$
 Donc coté bras : précision = $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ \cdot \text{impulsion}^{-1}$

En bout de bras (longueur 2,1 m) : précision = $3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 2,1 = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Largement suffisant pour la précision nécessaire pour couler le béton auto plaçant ou la mousse expansive (expansion pas toujours extrêmement régulière).

Question 28 : On obtient $\omega_m = \frac{\omega}{p}$ et donc pour la vitesse maximale de $349 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ correspondant à une vitesse de $200^\circ \cdot \text{s}^{-1}$, on obtient sachant que $p = 4$: $f_{\max} = 222 \text{ Hz}$

Question 29 : On écrit d'abord la loi des mailles : $\underline{V} = \underline{R} \cdot \underline{I} + j \cdot \underline{X} \cdot \underline{I} + \underline{E}$

Diagramme de Fresnel : triangle rectangle pour $\psi = 0$. $V = \sqrt{(E + R \cdot I)^2 + (X \cdot I)^2}$

Le réglage de l'angle à 0 permet d'obtenir le couple maximal et de limiter la valeur du courant dans les bobinages.

Question 30 : Valeur du courant : $C_{em} = K_T \cdot I$ donc $I = \frac{C_{em}}{K_T} = \frac{20}{2,4} = 8,33$

Pour déterminer la tension, il faut connaître E , ω et ω_m : A

Le bras a une vitesse de $1^\circ \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow$ le moteur a donc une vitesse de $100^\circ \cdot \text{s}^{-1}$ soit $1,745 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et une pulsation $\omega = 4 \times 1,745 = 6,98$

$$E = K_E \cdot \omega_m = 0,8 \times 1,745 = 1,4 \text{ V} \quad \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\rightarrow V = \sqrt{(E + R \cdot I)^2 + (X \cdot I)^2} = \sqrt{(1,4 + 0,25 \times 8,33)^2 + (1,15 \cdot 10^{-3} \times 6,98 \times 8,33)^2} = 3,48 \text{ V}$$

On a donc un courant sinusoïdal avec une valeur $I_{\max} = 8,33 \cdot \sqrt{2} = 11,8$

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 0,9 \text{ s.}$$

A et une période

Question 31 : Le moteur est donc capable de respecter les contraintes de couple et de vitesse pour diriger convenablement la tête de dépose dans cette application à vitesse lente.

Question 32 : Le lidar tourne dans le sens horaire.

$$d = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \text{ avec } c \text{ célérité de la lumière } 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\frac{2 \cdot d}{c}$$

On obtient alors $\Delta t = \frac{2 \cdot d}{c}$, soit $\Delta t = 38,9 \text{ ns}$.

Question 33 : On transmet $5 \times (1+8+1) = 50$ bits en $435 \mu\text{s}$ environ d'où un débit de $114942 \text{ bits} \cdot \text{s}^{-1}$ environ aux erreurs de lecture près débit normalisé de la transmission : $115\,200 \text{ bits} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 34 : Pour la 1^{ère} mesure :

$$\text{angle} = 0010\ 0000\ 0010\ 010 = 4114, \text{ d'où } \theta_1 = \frac{4114}{64} \text{ soit } \theta_1 = 64,28125^\circ$$

$$\text{distance} = 0000\ 0010\ 0100\ 1010 = 586, \text{ d'où } d_1 = \frac{586}{4} \text{ soit } d_1 =$$

146,5 mm

Question 35 : Pour la 2^{ème} mesure :

$$\text{angle}_q6 = 0010\ 0000\ 1011\ 010 = 4186, \text{ d'où } \theta_2 = \frac{4186}{64}$$

On en déduit que le lidar a fait 1,125° en 500 μs. soit $\theta_2 = 65,40625^\circ$

Donc le temps mis par le LIDAR pour faire un tour est de $\frac{360}{1,125} \times 500 \cdot 10^{-6} = 160 \cdot 10^{-3} = 160 \text{ ms},$

soit une fréquence de $\frac{1}{0,16}$

$375 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1} = 2250^\circ \cdot \text{s}^{-1} = 6,25 \text{ Hz}$ correspondant à une vitesse de rotation de $6,25 \text{ tours} \cdot \text{s}^{-1} =$

Le lidar permet donc de connaître l'emplacement exact de l'AVG par rapport aux mires et de corriger éventuellement le programme de déplacement des buses.

Partie 4 :

Question 36 : La température ne dépend pas de y et z. On considère les symétries. On travaille avec un mur « infini ».

Question 37 : On a $R_{\text{béton}} = \frac{e_b}{\lambda_{\text{béton}} \cdot S_{\text{mur}}}$ et $R_{\text{pu}} = \frac{e_s}{\lambda_{\text{pu}} \cdot S_{\text{mur}}}$

Les couches de matériaux sont en série $R_{\text{mur}} = R_{\text{béton}} + 2.R_{\text{pu}} = \frac{e_b}{\lambda_{\text{béton}} \cdot S_{\text{mur}}} + 2 \cdot \frac{e_s}{\lambda_{\text{pu}} \cdot S_{\text{mur}}}$

AN : $R_{\text{mur}} = \frac{0,15}{1,65 \times 3,6 \times 2,5} + 2 \cdot \frac{0,08}{0,025 \times 3,6 \times 2,5} = 0,72 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$

$\lambda_{\text{mur}} = \frac{e}{R_{\text{mur}} \cdot S_{\text{mur}}} \rightarrow \lambda_{\text{mur}} = \frac{0,31}{0,72 \times 3,6 \times 2,5} = 0,048 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Question 38 : En régime stationnaire on a : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

$\text{div}(\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(T)) = \lambda_{\text{mur}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$

On intègre 2 fois : $\frac{\partial T}{\partial x} = a$ et $T = a \cdot x + b$

Conditions initiales : $x = 0 \rightarrow T = T_{\text{int}}$ et $x = e \rightarrow T = T_{\text{ext}}$

$\rightarrow x = 0 \rightarrow b = T_{\text{int}}$

$\rightarrow x = e \rightarrow T_{\text{ext}} = a \cdot e + T_{\text{int}} \rightarrow a = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e}$

\rightarrow Le champ de température en régime stationnaire est de la forme : $T = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e} \cdot x + T_{\text{int}}$

Question 39 : $\phi = \int_S -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}}(T) \cdot d\vec{S} \cdot \vec{x} \rightarrow \phi = -\lambda_{\text{mur}} \cdot \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e} \cdot S_{\text{mur}}$

Avec $T_{\text{ext}} - T_{\text{int}} < 0$ le flux va de l'intérieur vers l'extérieur, cela correspond bien à une dispersion vers l'extérieur.

AN : $\phi = -0,048 \cdot \frac{273,15 - 293,15}{0,31} \times 3,6 \times 2,5 = 27,9 \text{ W}]$

soit $3,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} < 4,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ Ce qui fait un flux thermique 33% plus faible que la valeur minimale imposée.

Question 40 : Sur le modèle multiphysique le flux est de 26,75 W, l'écart est du à la prise en compte de la convection au niveau entre l'air et les murs intérieurs et extérieurs.

Question 41 : Pour $L = 3,6 \text{ m}$, on a d'après la simulation 26,75 W de déperditions, il faudrait donc à priori un apport de chauffage de 26,75 W. Pour les 51 m linéaires, il faudrait donc une puissance de

chauffe de $26,75 \times \frac{51}{3,6} \approx 379 \text{ W}$.

L'approche est relativement limitée car dans la maison, les déperditions plus importantes auront lieu au niveau des ouvrants et de la toiture en fonction des matériaux et des ponts thermiques. Le renouvellement d'air peut également influencer mais une VMC double flux pourra limiter ces pertes.

Question 42 : $\Delta x = \frac{e}{N+1}$ et $x_i = i \cdot \Delta x$

$\Delta x = \frac{e_s}{8} = 10 \text{ mm}$ pour discrétiser le polyuréthane en 8 pas d'espace.

Question 43 : L'équation de la chaleur discrétisée est $\frac{T_{i+1}^k + T_{i-1}^k - 2.T_i^k}{(\Delta x)^2} = \frac{\rho.C}{\lambda} \cdot \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t}$

$$\rightarrow \frac{\lambda.\Delta t}{\rho.C.(\Delta x)^2} \cdot (T_{i+1}^k + T_{i-1}^k - 2.T_i^k) = T_i^{k+1} - T_i^k$$

$$\rightarrow r.T_{i+1}^k + r.T_{i-1}^k - 2.r.T_i^k = T_i^{k+1} - T_i^k \text{ si on pose } r = \frac{\lambda.\Delta t}{\rho.C.(\Delta x)^2}$$

$$\rightarrow T_i^{k+1} = r.T_{i+1}^k + r.T_{i-1}^k + (1 - 2.r).T_i^k$$

Cette expression n'est valide que si T_i^k existe $\rightarrow (1 \leq i \leq N)$.

T_0^k et T_{N+1}^k correspondent aux conditions limites : $T_0^k = T_{int}$ et $T_{N+1}^k = T_{ext}$

Question 44 : Le schéma numérique converge si $r = \frac{\lambda.\Delta t}{\rho.C.(\Delta x)^2} \leq 0,5 \rightarrow \Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho.C.(\Delta x)^2}{\lambda}$

Dans le cas du polyuréthane : $\Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho_{pu}.C_{pu}.(\Delta x)^2}{\lambda_{pu}} = 0,5 \cdot \frac{40 \times 1760 \times 0,008^2}{0,025} = 90,1 \text{ s}$

Dans le cas du béton : $\Delta t \leq 0,5 \cdot \frac{\rho_{béton}.C_{béton}.(\Delta x)^2}{\lambda_{béton}} = 0,5 \cdot \frac{2500 \times 880 \times 0,008^2}{1,65} = 42,6 \text{ s}$

En discrétisant les $5 \times 24 \times 3600$ s de temps simulation en 14400 pas de temps on a

$$\Delta t = \frac{5 \times 24 \times 3600}{14400} = 30 \text{ s} < 66,7 \text{ s} \rightarrow \text{il y aura convergence.}$$

Question 45 et question 46 :

```

...
27 def schema_explicite(Nd,M,Tint,Text,r):
28 # Initialisation du tableau T
29 T=zeros((Nd,M))
30 # Conditions initiales et limites
31 for x in range(0,Nd):
32     T[x][0]=Tint
33     for t in range(0,M):
34         T[0][t]=Tint
35         T[Nd-1][t]=Text
36
37 # Schéma numérique explicite
38 for k in range(0,M-1): # boucle discrétisation temporelle
39     for i in range(1,Nd-1): # boucle discrétisation spatiale
40         T[i][k+1]=T[i][k]+r*T[i+1][k]-2*r*T[i][k]+r*T[i-1][k]
41 return T
...

```

Question 47 : Les performances de la maison avec murs différents sont en moyenne 5% au dessus de celle de la maison Yhnova^(TM). Elle se comporte plutôt bien vis à vis de la RT2012 même si l'amélioration de la performance du Tic est en dessous des 2 autres.

	Maison Yhnova ^(TM)	Maison murs différents	RT2012
Bbio ([1])	-43% / RT2012	+5% / Yhnova	60
Cep (kWhép.m ⁻² .an ⁻¹)	-34% / RT2012	+5% / Yhnova	50
Tic (°C)	-8% / RT2012	+5% / Yhnova	31,8

Partie 5 :

Question 48 : Le robot respecte bien l'ensemble des exigences imposées :

- assurer les performances géométriques et cinématiques attendues lors de la dépose du matériau (exigence 1.2.1) ;
- système robotisé choisi est capable de supporter le surplus de masse amené par la tête de dépose placée en bout de bras afin de valider l'exigence 1.2.2 ;

- peut se repérer dans l'espace (exigence 1.1.1).

Limite : la hauteur puisque le bras a une longueur maximale dépliée et il faut une intervention humaine pour changer de buse.

Pour améliorer le temps avoir peut-être deux têtes simultanées sur 2 bras plutôt qu'un bras avec tête interchangeable et avoir une plus grande longueur de bras disponible.

Question 49 : Afin de respecter la topologie et la nature environnante, la forme de la maison s'adapte aux emplacements des arbres et à la topologie du terrain, ce qui permet de gagner des m² par rapport à une construction plus classique. En gérant convenablement l'inclinaison des ouvertures par rapport aux constructions voisines, on peut facilement limiter le vis-à-vis. On limitera l'impact environnemental puisqu'on garde la végétation, que le chantier sera beaucoup plus court avec peu de déchets et moins de nuisances sonores pour le voisinage. De plus la qualité de l'isolation permettra au bailleur social un gain économique important sur le long terme.

D. Commentaires du jury

Cette épreuve, d'une durée de 6 heures, coefficient 1, est commune aux quatre options. Les candidats composent dans les mêmes conditions, sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié, « cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique automatique. »

1. Présentation générale du sujet

Ce sujet porte sur la construction d'un habitat social dans la ville de Nantes par impression 3D multimatériaux. Cette impression 3D est réalisée à l'aide d'un dispositif de fabrication additive robotisée conçue et brevetée par la société Batiprint3D^(TM) et par l'Université de Nantes. Cette technologie innovante a été mise en œuvre pour la première fois lors de la construction d'un prototype de maison nommée «Yhnova^(TM)».

Le sujet se focalise principalement sur les murs de la maison et le robot d'impression 3D utilisé pour les élévations des murs de la maison. Les différentes parties proposent de vérifier plusieurs des exigences du cahier des charges de la maison et du robot d'impression :

- exigence 1.20.3.1 « utiliser une technique d'impression multi-matériaux à fonctionnalité évolutive » ;
- exigence 1.20.3.1.1 « élever avec précision les murs » ;
- exigence 100.10 « respecter la réglementation thermique RT2012 » ;
- exigence 100.20 « respecter les caractéristiques dimensionnelles » ;
- exigence 100.3.1 « respecter les caractéristiques d'une strate en mousse » ;
- exigence 100.30.2 « respecter les caractéristiques du béton autoplaçant » ;
- exigence 1.2 « déplacer les buses de dépose de la mousse ou du béton pour suivre une trajectoire définie » ;
- exigence 1.1.1 « se repérer dans l'espace avec précision ».

Bien que les 5 parties du sujet soient indépendantes, il était conseillé de traiter ce sujet dans l'ordre.

L'objectif de la partie 1 est d'analyser l'environnement de l'étude et de mettre en évidence l'intérêt d'une technique d'impression à fonctionnalité évolutive sur ce projet de construction afin de valider l'exigence 1.20.3.1.

Les objectifs de la partie 2 sont :

- de valider le principe de fabrication retenu pour l'élévation des murs (exigences 1.20.3.1.1 « élever avec précision les murs », 100.20 « respecter les caractéristiques dimensionnelles » et 100.20.1 « respecter les caractéristiques liées à la fabrication du mur ») ;
- de définir les conditions de mise en œuvre à imposer lors des phases opérationnelles sur le chantier (exigences 100.30.2 « respecter les caractéristiques du béton autoplaçant » et 100.30.1 « respecter les caractéristiques d'une strate en mousse PU »).

Les objectifs de la partie 3 sont, pour une station de travail de la maison (station n°2) :

- de vérifier que le système robotisé permet d'assurer les performances géométriques et cinématiques attendues lors de la dépose du matériau (exigence 1.2.1) ;
- de vérifier que la motorisation du système robotisé choisi est capable de supporter le surplus de masse amené par la tête de dépose placée en bout de bras afin de valider l'exigence 1.2.2 ;
- de vérifier que le robot peut se repérer dans l'espace (exigence 1.1.1).

Les objectifs de la partie 4 sont :

- de mettre en place les modèles permettant d'évaluer les pertes thermiques sur les murs ;
- de valider le choix d'isolation et le principe de fabrication innovant des murs ;
- de valider finalement les performances thermiques globales de la maison vis-à-vis de la Réglementation Thermique 2012 (exigence 100.10)

Enfin l'objectif de la partie 5 était de conclure en effectuant une synthèse sur le travail réalisé.

2. Analyse globale des résultats

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- la première partie d'ordre général était accessible à l'ensemble des candidats. Elle a d'ailleurs été abordée par tous des candidats mais seulement 48 % d'entre eux l'ont traitée correctement ;
- la deuxième partie a été abordée par tous les candidats. Elle a été traitée correctement par 65 % des candidats et très bien traitée par 17% des candidats ;
- la troisième partie a été abordée par 97% des candidats. Elle a été traitée correctement par 48 % des candidats mais aucun candidat ne l'a très bien traitée ;
- la quatrième partie a été abordée par 74% des candidats. Elle a été traitée correctement par 48 % des candidats et très bien traitée par 15% des candidats ;
- la cinquième et dernière partie a été abordée par 50% des candidats et 20 % d'entre eux l'ont traitée correctement.

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder chacune des parties. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection. Le jury ne peut qu'encourager les futurs candidats à s'orienter encore plus vers cette transversalité technologique qui fait la particularité des futurs enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur.

3. Analyse des résultats par questions, commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats Partie 1 :

Question 1 : Question abordée par tous les candidats. 29% des candidats n'ont cependant pas bien compris la notion de fonctionnalité évolutive des parois en mousse PU, elles servent de coffrage dans un premier temps puis assurent l'isolation thermique du mur une fois la construction terminée.

Question 2 : Question abordée par tous les candidats. La question a été globalement bien traitée même si quelques candidats n'ont pas bien expliqué la notion de recouvrement entre les stations de travail.

Question 3 : Question abordée par tous les candidats. 50% des candidats ne maîtrisent cependant pas les piliers du développement durable, concept pourtant essentiel dans l'enseignement en baccalauréat technologique STI2D.

Partie 2 :

Question 4 : Question abordée par tous les candidats et très bien traitée par 70% d'entre eux. Le jury encourage les candidats à effectuer les applications numériques lorsqu'elles sont demandées afin d'obtenir l'intégralité des points.

Question 5 : Question abordée par tous les candidats et très bien traitée par 76% d'entre eux. Il fallait être vigilant car il convenait de vérifier la vitesse d'avance vis-à-vis de l'épaisseur e_s mais aussi de l'épaisseur des 2 bourrelets.

Question 6 : Question abordée par tous les candidats. 30% des candidats ont mal estimé le temps de fabrication des murs notamment en ne tenant compte que d'une seule paroi en PU au lieu de 2.

Question 7 : Question abordée par 95% des candidats et 74% d'entre eux l'ont bien traité. Il est cependant conseillé d'être synthétique sur ce type de question et d'éviter de rédiger de trop longs argumentaires.

Question 8 : Question abordée par 90% des candidats et 78% d'entre eux ont bien traité cette question.

Questions 9 et 10: Questions abordées par 66% des candidats mais seulement 30% d'entre eux ont bien traité ces questions. Il est regrettable que de nombreux candidats ne sachent pas mettre en œuvre convenablement un calcul intégral et que la construction d'un modèle global d'action mécanique à partir d'un modèle local ne soit pas maîtrisée. Le jury rappelle aussi aux candidats de vérifier l'homogénéité des expressions proposées.

Questions 11 à 15 : Questions abordées par seulement 20% des candidats mais la majorité de ces candidats a plutôt bien mené toute l'étude de résistance des matériaux et a pu définir les bonnes conditions de réalisation du mur.

Questions 16 et 17 : Questions abordées par 90% des candidats et bien traitées pour 90% d'entre eux. Il est rappelé que le résultat d'une application numérique doit toujours être présentée avec ses unités.

Question 18 : Question abordée par 86% des candidats et bien traitée pour 81% d'entre eux. Le diagramme d'état est un outil bien compris par les candidats.

Partie 3 :

Questions 19 : Question abordée par 70% des candidats et bien traitée pour 57% d'entre eux. Il est rappelé au candidat qu'un schéma cinématique est un outil de communication utilisant des symboles normalisés et qu'il doit être réalisé avec soin et en couleurs.

Questions 20 à 25 : Questions abordées par 30% des candidats et bien traitées pour 25% d'entre eux. Il convient de rappeler aux candidats qu'il faut être rigoureux avec les objets mathématiques utilisés en mécanique du solide indéformable (torseur, vecteur, scalaire, projection dans une base, ...). Il est aussi rappelé de clairement dissocier applications numériques et expressions littérales.

Question 26 : Question abordée par 45% des candidats et bien traitée pour 40% d'entre eux. La configuration la plus pénalisante a été bien identifiée mais la mise en équation a été moins réussie.

Question 27 : Question abordée par 47% des candidats et bien traitée pour 10% d'entre eux. La précision angulaire coté moteur a été bien trouvée mais le réducteur a été trop souvent oublié pour obtenir la précision en bout de bras.

Questions 28 à 31 : Questions abordées par 40% des candidats et bien traitées pour 30% d'entre eux. La mise en équation très classique de la machine synchrone n'est pas toujours bien maîtrisée.

Question 32 à 35 : Ces questions plus colorées Ingénierie Informatique ont été abordées par 85% des candidats et bien traitées pour 60% d'entre eux. Les erreurs sont principalement dues à une mauvaise lecture initiale des trames.

Partie 4 :

Question 36 : Question abordée par 64% des candidats et bien traitée pour 64% d'entre eux. Le jury rappelle qu'il faut être clair et précis lorsqu'il s'agit de formuler des hypothèses lors d'une phase de modélisation.

Questions 37 à 41 : Questions abordées par 50% des candidats et bien traitées pour 60% d'entre eux. L'étude en régime stationnaire a globalement été bien conduite par les candidats l'ayant traitée. Le jury rappelle de nouveau aux candidats de vérifier l'homogénéité des expressions proposées.

Question 42 à 46 : Ces questions plus colorées Ingénierie Informatique n'ont été abordées que par 45% des candidats mais elles ont été bien traitées pour 70% d'entre eux.

Question 47 : Question abordée par 45% des candidats et bien traitée pour 50% d'entre eux. Le jury rappelle qu'il faut être synthétique sur ce type de question et d'éviter de rédiger de trop longs argumentaires. Il est aussi indispensable de quantifier des écarts avec des valeurs chiffrées.

Partie 5 :

Question 48 et 49 : Questions abordées par 40% des candidats et bien traitées pour 50% d'entre eux. Le jury rappelle une dernière fois qu'il faut être synthétique sur ce type de question et d'éviter de rédiger de trop longs argumentaires. Les copies faisaient une synthèse de qualité suite à un travail conséquent dans les parties précédentes ont été valorisées

Conseils aux futurs candidats

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont fait l'effort d'aborder de façon conséquente chacune des parties. Le jury encourage fortement les candidats à traiter toutes les parties du sujet et à montrer qu'ils maîtrisent l'ensemble des domaines des Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Les résultats démontrent que ceux qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et sélectionnent les questions relatives aux différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, car la note finale se trouve alors fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours et d'acquérir l'ensemble des corpus des compétences et des connaissances associées aux disciplines qui constituent les sciences industrielles de l'ingénieur.

Les candidats doivent également s'attacher à utiliser leurs connaissances universitaires afin de résoudre des problématiques techniques associées à des systèmes industriels. Les plus efficaces ont su ne pas perdre de vue que les analyses, les justifications et les choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. Il doit aussi respecter les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible. Le jury ne peut valoriser une justification qui se limite à une suite de mots clés juxtaposés.

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

Le jury souligne enfin la grande qualité d'expression constatée dans certaines copies, rédigées avec soin et un souci de clarté.

Réussir cette épreuve demande :

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

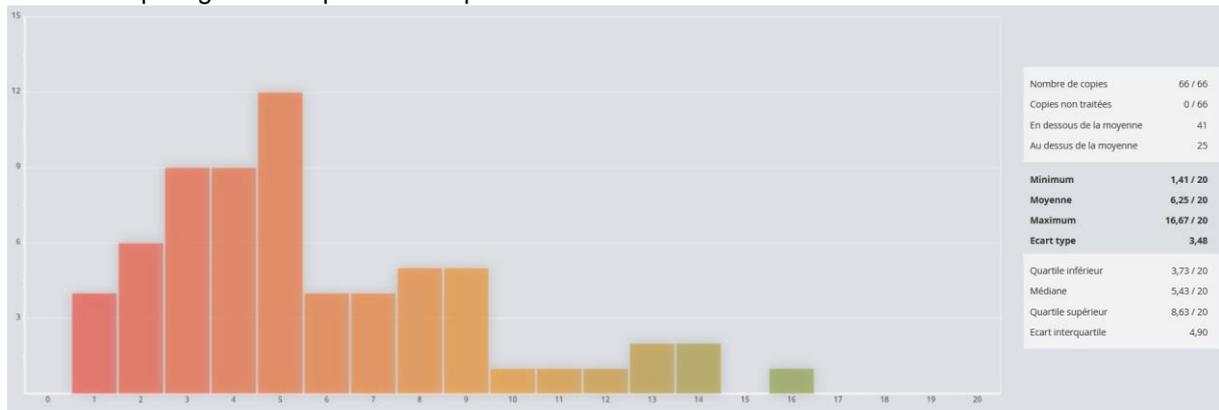
4. Conclusion

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

Les auteurs remercient la société Batiprint3D pour l'ensemble des données communiquées et les précieux conseils apportés pour proposer une analyse conforme aux problématiques industrielles.

E. Résultats

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



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

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

B. Sujet

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

https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/agregation-externe-sii-2022-option-sii-etingenierie-informatique-epreuve-de

C. Éléments de correction

Question 1

```
def f(x, z): [a,b,c]=z
return (a*(1-np.exp(-(c-x)/b)))
```

Question 2

```
residual = self.get_residual()
```

Question 3

```
rmse = np.sqrt(1/(np.len(residual))*np.sum(residual **
```

```
2))
```

Question 4

```
zhat = z.copy()
zhat[i] += delta
R = self._calculate_residual(zhat) difference
= (R - R0) / delta J.append(difference)
```

Question 5

- Initialisation de la valeur de l'erreur quadratique moyenne à l'infini afin de rentrer dans la boucle.
- Boucle sur le nombre d'itérations maximum. Sortie de boucle si les tests de convergence sont vérifiés.
- Mise à jour des coefficients à chaque itération avec le calcul $z^{(k+1)}=z^{(k)} - \text{avec } \nabla g(z^{(k)})=J^T r$ et pseudo_inverse qui détermine $\text{pinv}(z.T@z)@z.T$.
- Calcul de la différence par rapport au pas précédent. Un des critères d'arrêt est que cette différence soit faible.
- L'autre critère est que l'erreur devienne suffisamment petite.

Question 6

Le premier critère de convergence est basé sur le calcul de la différence de l'erreur par rapport au pas précédent. Si cette différence est faible, on considère que l'on a convergé. L'autre critère étant que l'erreur devienne suffisamment petite.

La simplification de $S(z)$ se justifie dans une situation où les résidus sont petits.

L'algorithme peut ne pas converger si le point de départ est choisi trop loin de la solution.

Lorsque les résidus sont grands au point de la solution, l'approximation de la matrice des dérivées secondes peut s'avérer insuffisante, avec comme conséquence soit une convergence très lente, soit pas de convergence.

Lorsque la méthode de Gauss-Newton échoue, la méthode de Levenberg-Marquardt constitue une alternative intéressante. Dans cette méthode on approche la matrice $S(x)$ par une matrice diagonale.

Question 7

$$\frac{d\omega_c}{dt} = \frac{1}{J_c} \left(\eta_m \frac{R_m}{c_a T_a} (u_c - k_e \omega_c) - \frac{1}{\omega_c \eta_c} \left[\left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] W_c \right)$$

$$= \frac{1}{J_c} \left(\eta_m \frac{R_m}{c_a T_a} (u_c - k_e \omega_c) - \frac{1}{\omega_c \eta_c} \left[\left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] W_c \right)$$

b) d'après (1) $= a * 1 - e$

$$W_c = b * \ln \left(\frac{1 - p_c}{a \cdot p_a} \right) + c$$

$$\frac{d\omega_c}{dt} = \frac{1}{J_c} \left(\eta_m \frac{R_m}{c_a T_a} (u_c - k_e \omega_c) - \frac{1}{\omega_c \eta_c} \left[\left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \left[b * \ln \left(\frac{1 - p_c}{a \cdot p_a} \right) + c \right] \right)$$

Question 8

$$\delta \dot{\omega}_{c0} = \frac{1}{J_c} \eta_m \frac{k_c}{R_m} \delta u_{c0} + \left(\frac{-1}{J_c} \eta_m \frac{k_c}{R_m} k_e + \frac{c_a T_a}{\omega_{c0}^2 \eta_c} \left[\left(\frac{p_{c0}}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \left[b * \ln \left(\frac{1 - p_{c0}}{a \cdot p_a} \right) + c \right] \right) \delta \omega_{c0} - \frac{c_a T_a}{\omega_{c0} \eta_c} \left(\left[\frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{1}{p_a} \left(\frac{p_c}{p_a} \right)^{\frac{-1}{\gamma}} \right] \left[b * \ln \left(\frac{1 - p_{c0}}{a \cdot p_a} \right) + c \right] + \left[\left(\frac{p_{c0}}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \left[\frac{b * -1}{1 - p_{c0}} \right] \right) \delta p_{c0}$$

Question 9

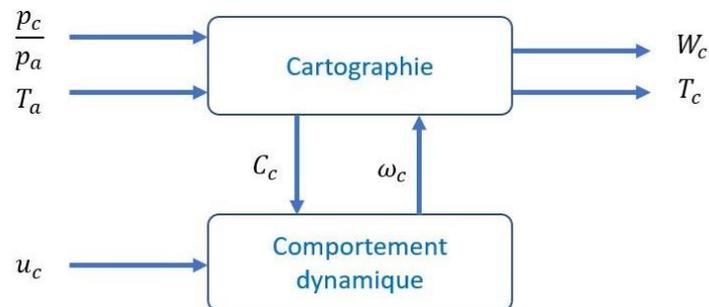


Figure 1 - Diagramme de définition du compresseur.

Question 10

>>> A

```
.shape,Bu.shape,Bi.shape,Cy.shape,Dyu.shape,Dyi.shape,Cz.shape,Dzu.shape,Dzi.sh
a pe ((8, 8), (8, 1), (8, 1), (3, 8), (3, 1), (3, 1), (2, 8), (2, 1), (2, 1))
```

Question 11

$$Tailletotale=(8*8+8+8+3*8+3+3+2*8+2+2)*8=1040octets$$

La taille des données peut être critique pour des microcontrôleurs de faible capacité. Le microcontrôleur AT89C51 ne dispose pas d'une RAM suffisante. Le problème serait différent sur un système embarqué permettant d'accueillir un interpréteur Python. Dans ce cas en utilisant MicroPython on peut utiliser un microcontrôleur STM32.

Question 12 def

```
CalculerBCD(Bu,Bi,Cy,Dyu,Dyi,Cz,Dzu,Dzi):
```

```
B=np.zeros((8,2))
C=np.zeros((5,8))
D=np.zeros((5,2))
```

```
B[:,0]=Bu[:,0]
B[:,1]=Bi[:,0]
C[0:3,:]=Cy[:,:]
C[3:5,:]=Cz[:,:]
D[0:3,0]=Dyu[:,0]
D[0:3,1]=Dyi[:,0]
D[3:5,0]=Dzu[:,0]
```

```
D[3:5,1]=Dzi[:,0]
```

```
return(B,C,D)
```

Question 13

```
def IniT(t0,tmax,h):
n=int(tmax/h+1)
Liste_T=[]
for i
in range(n):
ti=i*h
Liste_T.append(ti)
return(Liste_T)
```

Question 14

```
def IniU(deltaIp,t1,tmax,h):
n=int(tmax/h+1)
ListeDeltaU=[]
for
i in range(n):
ti=i*h
if ti>t1:
ListeDeltaU.append([0,deltaIp])
else:
ListeDeltaU.append([0,0])
return(ListeDeltaU)
```

Question 15

D'après (3) et en utilisant le schéma d'Euler explicite :

$$\frac{\Delta X_{k+1} - \Delta X_k}{h} = A \Delta X_k + B \Delta U_k$$

$$\Delta Y_k = C \Delta X_k + D \Delta U_k$$

Soit

$$\Delta X_{k+1} = (h \cdot A + Id) \Delta X_k + h \cdot B \Delta U_k$$

$$\Delta Y_k = C \Delta X_k + D \Delta U_k$$

Par identification $E = (h \cdot A + Id)$ et $F = h \cdot B$ **def**

```
CalculerEF(A,B,T):
    E=matrice_I+np.dot(A,T)
    F= np.dot(B,T)
return (E,F)
```

Question 16

```
def simulation1(A,B,C,D,ListeDeltaU,h,n):
matrice_I=np.zeros((8,8))    for i in
range(8):    matrice_I[i,i]=1.
E,F=CalculerEF(A,B,h)
    ListeDeltaX=[]
    ListeDeltaY=[]
    DeltaX=np.zeros((8))
    DeltaY=np.zeros((5))
    DeltaU=np.zeros((2))
for i in range(n):
    DeltaU>ListeDeltaU[i]
    DeltaY=np.dot(C,DeltaX)+np.dot(D,DeltaU)
    DeltaX=np.dot(E,DeltaX)+np.dot(F,DeltaU)
    ListeDeltaX.append(DeltaX)
    ListeDeltaY.append(DeltaY)
return (ListeDeltaX,ListeDeltaY)
```

Question 17

L'intensité entraîne une variation de la puissance et du ratio d'oxygène. Cette variation est caractéristique d'un fonctionnement en boucle ouverte avec une perturbation en intensité.

Question 18

Les matrices sont identiques sauf les trois suivantes : B_i^{\square} , D_{zi}^{\square} et D_{yi}^{\square} .

Soit f la fonction d'origine telle que $B_i = \frac{\partial f}{\partial I_p}$ comme u dépend maintenant de I_p par f_c il faut recalculer la dérivée partielle.

$$\text{En effet } B_i' = \left(\frac{\partial f}{\partial I_p} + \frac{\partial f}{\partial u} \frac{\partial f_c}{\partial I_p} \right) \Bigg|_{\delta x_0, \delta u_{c0}, \delta I_{p0}} = B_i + \left(B_u \frac{\partial f_c}{\partial I_p} \right) \Bigg|_{\delta x_0, \delta u_{c0}, \delta I_{p0}}$$

De même pour D_{zi}^{\square} et D_{yi}^{\square} .

Question 19

Avec la boucle d'anticipation, une fois stabilisé l'objectif est bien atteint en terme de puissance et de taux d'oxygène qui reviennent à 0 (valeur de l'objectif de variation par rapport au point de fonctionnement) . Cependant la suralimentation en O2 est à minimiser, car elle demande une consommation de puissance inutile.

Question 20

```
def CalculP(Q,R,Cz,A,Bu):
    Cz2=np.zeros((1,8))
    Cz2[0,:]=Cz[1,:]
    Qx=np.dot(np.transpose(Cz2),np.dot(Q,Cz2))
    return(scipy.linalg.solve_continuous_are(A,Bu,Qx,R))
```

```
Q= np.array([[10000.]])
R=np.zeros((1,1))
R[0,0]=1.
P=CalculP(Q,R,Cz,A,Bu)
```

Question 21

La valeur de δx_d peut être déterminée en résolvant le système matriciel obtenu en régime permanent :

$$0=A\delta x_d+B_u\delta u_d+B_i\delta I_p \quad (1)$$

$$0=C_{z[1,:]}\delta x_d+D_{zu[1,0]}\delta u_d+D_{zi[1,0]}\delta I_p \quad (2)$$

Soit

$$\begin{bmatrix} A & B_u \\ C_{z[1,:]} & D_{zu[1,0]}\delta u_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_d \\ \delta u_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_i \\ D_{zi[1,0]} \end{bmatrix} \delta I_p = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

```
def assemblage(A,Bu,Bi,Cz,Dzu,Dzi):
    H=np.zeros((8+1,8+1))
    H[0:8,0:8]=A[:, :]
    H[8,0:8]=Cz[1,:]
    H[0:8,8]=Bu[0:8,0]

    G=np.zeros((8+1,1))
    G[0:8,0]=Bi[:,0]
    G[8,0]=Dzi[1,0]
    return(H,G)
```

Question 22 def

```
simulationLQR(A,Bu,Bi,Cy,Dyu,Dyi,Cz,Dzu,Dzi,LDelta_U,h,n):
```

```
LDeltaY=[]
DeltaU=np.zeros((2))
DeltaX=np.zeros((8))
DeltaY=np.zeros((5))
B,C,D=CalculerBCD(Bu,Bi,Cy,Dyu,Dyi,Cz,Dzu,Dzi)
E,F=CalculerEF(A,B,h)
H,G=assemblage(A,Bu,Bi,Cz,Dzu,Dzi)
Q=np.array([[10000.]])
```

```

R=np.zeros((1,1))
R[0,0]=1.
P=CalculPl(Q,R,Cz,A,Bu)

for i in range(len(Liste_T)):
    DeltaU[0]= LDelta_U[i][0]
    DeltaU[1]= LDelta_U[i][1]
    xd=np.zeros((1,8))
    xd[0,:]=np.linalg.solve(H,-G*DeltaU[1])[0:8,0]
    K1=np.dot(np.linalg.inv(R),np.dot(np.transpose(Bu),P))
    DeltaUd=-np.dot(K1,np.transpose(DeltaX-xd[0]))
    DeltaU[0]=DeltaU[0]+DeltaUd[0]
    DeltaY=np.dot(C,DeltaX)+np.dot(D,DeltaU)
    DeltaX=np.dot(E,DeltaX)+np.dot(F,DeltaU)
    LDeltaY.append(DeltaY)

return(LDeltaY)

```

Question 23

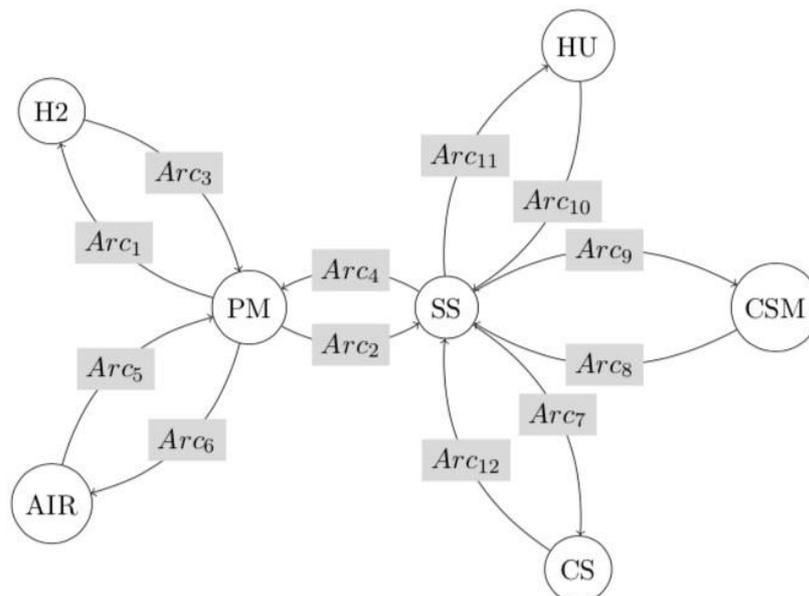
La réponse à une impulsion d'intensité est plus rapide que précédemment. Après une chute initiale du taux d'oxygène qui n'a pas pu être évité (contrôleur causal), le système revient beaucoup plus rapidement vers l'objectif fixé. Ceci dépend fortement du réglage de Q_x .

Question 24

La liste des processus avec leur période est la suivante :

Acronyme	Nom complet	Période
PM	PowerModuleManagement	30
AIR	AirBlock	60
H2	RegulationH2Circuit	100
CS	CoolingSystemBlock	50
CSM	CellStatusMonitoring	100
HU	Humidifier	100
SS	SystemSupervisor	20

Question 25



Question 26

Le sommet sortant de l'arc `Arc_5` est `PM`
Le sommet entrant de l'arc `Arc_5` est `AIR`

Question 27

```
def ConstruitSommetsGraphe(root):
    GrapheSDF=nx.DiGraph()
    for child in root:
        GrapheSDF.add_node(child.get("acronyme"), periode=child.get("periode"))
    return GrapheSDF
```

On rajoute $|V|$ sommets, et chaque rajout est en $\Theta(1)$. La complexité de la fonction est donc en $\Theta(|V|)$.

Question 28

On obtient $ArcIn = (('Arc_1', 'PM'), ('Arc_2', 'PM'), ('Arc_6', 'PM'), ('Arc_5', 'AIR'), ('Arc_3', 'H2'), ('Arc_{12}', 'CS'), ('Arc_8', 'CSM'), ('Arc_{10}', 'PSS'), ('Arc_4', 'SS'), ('Arc_7', 'SS'), ('Arc_9', 'SS'), ('Arc_{11}', 'SS'))$
 $ArcOut = (('Arc_3', 'PM'), ('Arc_4', 'PM'), ('Arc_5', 'PM'), ('Arc_6', 'AIR'), ('Arc_1', 'H2'), ('Arc_7', 'CS'), ('Arc_9', 'CSM'), ('Arc_{11}', 'PSS'), ('Arc_8', 'PSS'), ('Arc_2', 'SS'), ('Arc_{12}', 'SS'), ('Arc_{10}', 'SS'))$

Question 29

```
def ConstruitListeArcs(root):
    ArcsIn=[]
    ArcsOut=[]
    for child in root:
        for demiArc in child:
            if demiArc.get("acces")=="write":
                ArcsIn.append((demiArc.get("name"),child.get("acronyme")))
            else:
                ArcsOut.append((demiArc.get("name"),child.get("acronyme")))
    return ArcsIn,ArcsOut
```

Chaque sommet est associé à une exécution de la boucle externe, et chaque arc est rajouté exactement 2 fois. Si on considère que les rajouts en fin de liste sont en $\Theta(1)$, la complexité est en $\Theta(\max(|V|, |E|))$.

Question 30

```
def ConstruitArcs(mySDF, root):
    L1,L2=ConstruitListeArcs(root)
    LL1=sorted(L1)
    LL2=sorted(L2)
    for i in range(len(LL1)):
        mySDF.add_edge(LL1[i][1],LL2[i][1],nomArc=LL1[i][0])
```

La complexité de la fonction est en $\mathcal{O}(|E| \log |E|)$.

La construction des arcs est en $\Theta(\max(|V|, |E|))$. Le tri des deux listes d'arcs est en $\mathcal{O}(|E| \log |E|)$. Le parcours des deux listes et la génération des arcs est en $\Theta(|E|)$. On en déduit que la complexité globale est en $\mathcal{O}(|E| \log |E|)$.

Question 31

1. D'après la définition, pour tout $\nu \in \mathbb{N}^*$, $\mathcal{S}_1(\nu) = T_1 \times \nu = 30 \times \nu$ et $\mathcal{S}_2(\nu) = T_2 \times \nu = 20 \times \nu$.
2. Les exécutions $\langle 2, 1 \rangle$ et $\langle 2, 2 \rangle$ sont respectivement exécutées aux instants 0 et 2, il n'y a donc pas de dépendance. Pour les autres exécutions, $\langle 1, 1 \rangle \rightarrow \langle 2, 3 \rangle$, $\langle 1, 2 \rangle \rightarrow \langle 2, 4 \rangle$, $\langle 1, 2 \rangle \rightarrow \langle 2, 5 \rangle$, $\langle 1, 3 \rangle \rightarrow \langle 2, 6 \rangle$ et $\langle 1, 4 \rangle \rightarrow \langle 2, 7 \rangle$.

Question 32

1. Soit le couple $(\nu_i, \nu_j) \in D_e$. L'exécution $\langle j, \nu_j \rangle$ démarre à la fin de l'exécution de $\langle i, \nu_i \rangle$ ou après, donc $\mathcal{S}(\nu_i) + T_i \leq \mathcal{S}(\nu_j)$. D'autre part, l'exécution de $\langle i, \nu_i + 1 \rangle$ se termine strictement après le démarrage de $\langle j, \nu_j \rangle$, donc $\mathcal{S}(\nu_j) < \mathcal{S}(\nu_i + 1) + T_i$. On obtient ainsi la double inégalité.
2. En remplaçant \mathcal{S} par sa valeur dans les deux inégalités, on obtient $T_i \nu_i \leq T_j \nu_j - T_j$ et $T_j \nu_j - T_j \leq T_i \nu_i + T_i$, et donc $0 \leq T_j \nu_j - T_i \nu_i - T_j < T_i$, ce qui correspond à la double inégalité demandée.
3. On obtient les inégalités $2 \leq 2\nu_2 - 3\nu_1 < 5$.
 - $(1, 3) \in D_e$ car $6 - 3 = 3 \in \{2, \dots, 4\}$;
 - $(2, 4) \in D_e$ car $8 - 6 = 2 \in \{2, \dots, 4\}$;
 - $(2, 5) \in D_e$ car $10 - 6 = 4 \in \{2, \dots, 4\}$;
 - $(3, 6) \in D_e$ car $12 - 9 = 3 \in \{2, \dots, 4\}$;
 - $(4, 7) \in D_e$ car $14 - 12 = 2 \in \{2, \dots, 4\}$.

Question 33

1. Par définition de n_i et n_j , $T_j(\nu_j + pn_j) - T_i(\nu_i + pn_i) = T_j \nu_j - T_i \nu_i + p(T_j n_j - T_i n_i)$. Or, $T_i n_i = K_{ij} = T_j n_j$, donc $T_i n_i - T_j n_j = K_{ij} - K_{ij} = 0$ et le résultat est démontré.
2. Si $(\nu_i, \nu_j) \in D_e$, alors d'après la question précédente, $T_j \leq T_j \nu_j - T_i \nu_i < T_i + T_j$. Or, d'après la sous-question précédente, $T_j(\nu_j + pn_j) - T_i(\nu_i + pn_i) = T_j \nu_j - T_i \nu_i$, on en déduit donc que $(\nu_i + p \times n_i, \nu_j + p \times n_j) \in D_e$. La réciproque se démontre de manière similaire.
3. D'après la sous-question précédente, comme $\underline{D}_e \subseteq D_e$, $D'_e \subseteq D_e$. Soit maintenant un couple $(\nu_i, \nu_j) \in D_e$, alors il existe les entiers relatifs p et p' tels que $(\nu_i + pn_i, \nu_j + pn_j) \in \{1, \dots, n_i\} \times \mathbb{Z}$ et $(\nu_i + p'n_i, \nu_j + p'n_j) \in \mathbb{Z} \times \{1, \dots, n_j\}$. Si $p \geq p'$, $\nu_j + pn_j \geq n_j$ et $(\nu_i + pn_i, \nu_j + pn_j) \in \{1, \dots, n_i\} \times \mathbb{N}^*$, donc $(\nu_i + pn_i, \nu_j + pn_j) \in \underline{D}_e$ et donc $(\nu_i, \nu_j) \in D'_e$. De même, si $p < p'$, $\nu_i + p'n_i > n_i$ et $(\nu_i + p'n_i, \nu_j + p'n_j) \in \mathbb{N}^* \times \{1, \dots, n_j\}$, donc $(\nu_i + p'n_i, \nu_j + p'n_j) \in \underline{D}_e$ et donc $(\nu_i, \nu_j) \in D'_e$.
4. Par définition, $K_{12} = \text{ppcm}(30, 20) = 60$, $n_1 = \frac{60}{30} = 2$ et $n_2 = \frac{60}{20} = 3$. De plus, $\underline{D}_e = \{(1, 3), (2, 4), (2, 5)\}$, donc $D_e = \{(1 + 2p, 3 + 3p), p \in \mathbb{N}\} \cup \{(2 + 2p, 4 + 3p), p \in \mathbb{N}\} \cup \{(2 + 2p, 5 + 3p), p \in \mathbb{N}\}$.

Question 34

1. Pour tout couple d'entiers $(\nu_1, \nu_2) \in (\mathbb{N} - \{0\})^2$, $\mathcal{S}_1(\nu_1) = 30(\nu_1 - 1)$ et $\mathcal{S}_2(\nu_2) = 20(\nu_2 - 1)$, ainsi $\delta_e(\nu_1, \nu_2) = \mathcal{S}_2(\nu_2) - (\mathcal{S}_1(\nu_1) + T_1) = 20\nu_2 - 30\nu_1 - 20$.
2. Si maintenant $(\nu_1, \nu_2) \in D_e$, $2 \leq 2\nu_2 - 3\nu_1 < 5$. Alors, $\widehat{\delta}_e = \max_{(\nu_1, \nu_2) \in D_e} (20\nu_2 - 30\nu_1) - 20$. Or, pour le couple d'entiers $(\nu_1, \nu_2) = (2, 5)$, $20\nu_2 - 30\nu_1 = 100 - 60 = 40$, donc $\widehat{\delta}_e = 40 - 20 = 20$.

Question 35

D.

1. $ax_n - by_n = ax_0 + anb + by_0 - bna = ax_0 + by_0 = 1$.
2. Par définition, $\widehat{\delta}_e = \max_{(\nu_1, \nu_2) \in D_e} (\mathcal{S}_j(\nu_j) - (\mathcal{S}_i(\nu_i) + T_i)) = \max_{(\nu_1, \nu_2) \in D_e} (T_j \nu_j - T_i \nu_i - T_j)$.

Or, par définition de D_e , $T_j \nu_j - T_i \nu_i - T_j \in \{0, \dots, T_i - \text{pgcd}(T_i, T_j)\}$, on en déduit que $\widehat{\delta}_e \in \{0, \dots, T_i - \text{pgcd}(T_i, T_j)\}$.

3. Pour démontrer que $\widehat{\delta}_e = T_i - \text{pgcd}(T_i, T_j)$, il suffit de démontrer que l'équation

$$T_j \nu_j - T_i \nu_i = T_i + T_j - \text{pgcd}(T_i, T_j)$$

possède au moins une solution avec $(\nu_i, \nu_j) \in \mathbb{N}^* \times \mathbb{N}^*$. Cette équation est équivalente à

$$\frac{T_j}{\text{pgcd}(T_i, T_j)}(\nu_j - 1) - \frac{T_i}{\text{pgcd}(T_i, T_j)}(\nu_i - 1) = 1.$$

En posant $a = \frac{T_j}{\text{pgcd}(T_i, T_j)}$ et $b = \frac{T_i}{\text{pgcd}(T_i, T_j)}$, on observe que a et b sont des entiers non nuls premiers entre eux. D'après la sous-question 1, l'équation $ax - by = 1$ possède une infinité de solutions. A partir d'un certain rang de n' , pour tout $n \geq n'$, $x_n \geq 0$ et $y_n \geq 0$. On en déduit que l'équation initiale possède au moins une solution, ce qui démontre le résultat demandé.

E. Question 36

1. On obtient les valeurs δ^* suivantes sur les arcs du SDF correspondant à la pile à combustible.

Acronyme de l'arc	δ_e
Arc_1	20
Arc_2	20
Arc_3	90
Arc_4	10
Arc_5	30
Arc_6	0
Arc_7	10
Arc_8	80
Arc_9	10
Arc_10	80
Arc_11	0
Arc_12	40

On obtient $\delta^*(G) = 90$.

```
def CalculDureeDeVie(mySDF):
    deltaEtoile = 0
    for e in list(mySDF.edges):
        Ti=int(mySDF.nodes[e[0]]['periode'])
        Tj=int(mySDF.nodes[e[1]]['periode'])
        delta = Ti-np.gcd(Ti,Tj)
        if (deltaEtoile < delta):
            deltaEtoile = delta
    return deltaEtoile
```

3. La boucle for est exécutée sur l'ensemble des arcs. Chaque exécution de la boucle est en $\Theta(1)$. On en déduit que la complexité de la fonction est en $\Theta(m)$, où m est le nombre d'arcs du SDF.

Question 37

1. On observe que $\langle 1, 4 \rangle \rightarrow \langle 2, 7 \rangle$. En effet, $2.7 - 3.4 = 2 \in \{2, \dots, 4\}$;
2. On a également $\langle 2, 7 \rangle \rightarrow \langle 3, 4 \rangle$. L'équation associée à l'arc $(2, 3)$ est $5 \leq 5\nu_3 - 2\nu_2 < 7$, et $5\nu_3 - 2\nu_2 = 5.4 - 2.7 = 6 \in \{5, 6\}$, et donc $\langle 2, 7 \rangle \rightarrow \langle 3, 4 \rangle$.

Question 38

1. Par définition, $\mathcal{L}_\mu(\nu_1, \nu_k) = \mathcal{S}_{u_k}(\nu_k) + T_{u_k} - (\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1})$. Or, $\mathcal{S}_{u_k}(\nu_k) + T_{u_k} = T_{u_k} \cdot \nu_k$ et $\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1} = T_{u_1} \cdot \nu_1$, on obtient alors le résultat.
2. $\mathcal{L}_\mu(2, 3) = 50.3 - 30.2 = 90$ et $\mathcal{L}_\mu(4, 4) = 50.4 - 30.4 = 200 - 120 = 80$. Ces valeurs sont différentes.

Question 39

1. D'après la question précédente, $\mathcal{L}_\mu(\nu_1, \nu_2) = T_{u_2}\nu_2 - T_{u_1}\nu_1$. D'autre part, $\delta_{e_1}(\nu_1, \nu_2) = \mathcal{S}_{u_2}(\nu_2) - (\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1}) = T_{u_2}(\nu_2 - 1) - T_{u_1}\nu_1$. Donc, on a bien égalité.
2. Par définition, $\mathcal{L}_{\mu_k}(\nu_1, \nu_k) = \mathcal{S}_{u_k}(\nu_k) + T_{u_k} - (\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1})$.
Ainsi, $\mathcal{L}_{\mu_k}(\nu_1, \nu_k) = \mathcal{S}_{u_k}(\nu_k) + T_{u_k} - (\mathcal{S}_{u_{k-1}}(\nu_{k-1}) + T_{u_{k-1}}) + \mathcal{S}_{u_{k-1}}(\nu_{k-1}) + T_{u_{k-1}} - (\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1})$. Or, $\delta_{e_{k-1}}(\nu_{k-1}, \nu_k) = \mathcal{S}_{u_k}(\nu_k) - (\mathcal{S}_{u_{k-1}}(\nu_{k-1}) + T_{u_{k-1}})$ et $\mathcal{L}_{\mu_{k-1}}(\nu_1, \nu_{k-1}) = \mathcal{S}_{u_{k-1}}(\nu_{k-1}) + T_{u_{k-1}} - (\mathcal{S}_{u_1}(\nu_1) + T_{u_1})$, on obtient donc l'égalité requise.
3. Par substitution, on obtient $v_\alpha = w_\alpha + v_{\alpha-1} = w_\alpha + w_{\alpha-1} + v_{\alpha-2} = \sum_{\beta=2}^{\alpha} w_\beta$.
4. On peut identifier les suites v et w en posant $w_\alpha = T_{u_\alpha} + \delta_{e_{\alpha-1}}(\nu_{\alpha-1}, \nu_\alpha)$ pour $\alpha \in \{2, \dots, k\}$ et $v_\alpha = \mathcal{L}_{\mu_\alpha}(\nu_1, \nu_\alpha)$. D'après la question précédente, on a alors l'égalité demandée.

Question 40

1. Par définition de $\widehat{\delta}$, pour tout couple $(\nu_{\alpha-1}, \nu_\alpha) \in D_{e_{\alpha-1}}$, $\delta_{e_{\alpha-1}}(\nu_{\alpha-1}, \nu_\alpha) \leq \widehat{\delta}_{e_{\alpha-1}}$. Donc, pour $(\nu_1, \nu_k) \in D_\mu$, $\mathcal{L}_\mu(\nu_1, \nu_k) \leq \sum_{\alpha=2}^k T_{u_\alpha} + \sum_{\alpha=2}^k \widehat{\delta}_{e_{\alpha-1}}$. Par définition de $\widehat{\mathcal{L}}$, on obtient l'inégalité demandée.
2. D'après la question 2 de la partie 3, $\widehat{\delta}_{e_{\alpha-1}} = T_{u_{\alpha-1}} - \text{pgcd}(T_{u_{\alpha-1}}, T_{u_\alpha})$. L'inégalité demandée suit.
3. On obtient $\widehat{\mathcal{L}}_\mu \leq (T_2 + T_1 - \text{pgcd}(T_1, T_2)) + (T_3 + T_2 - \text{pgcd}(T_2, T_3)) = (30 + 20 - 10) + (20 + 50 - 10) = 100$.

Question 41

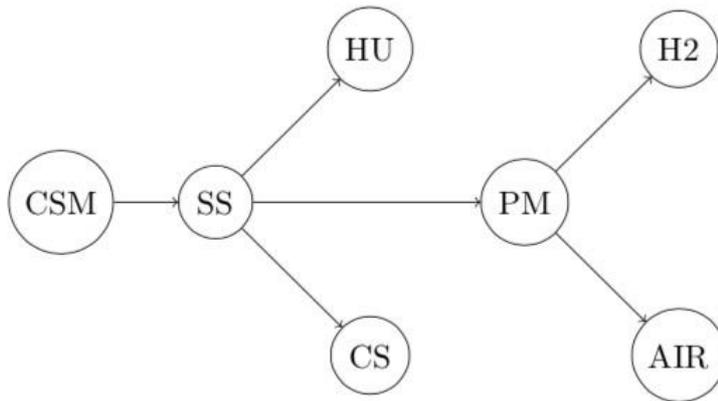
1. Si G est fortement connexe, soit s un sommet quelconque. Pour tout sommet $u \in V^2$, il existe un chemin de s à u , donc s est une source. Ainsi, tous les sommets sont des sources.
2. Le SDF mySDF est fortement connexe, donc tous ses sommets sont des sources.

Question 42

1. Le graphe G'' possède des valuations négatives, on ne peut donc pas utiliser l'algorithme de Dijkstra
2. Pour la fonction `ConstruitGSeconde`, il manque `np.gcd(Ti, Tj) - Ti - Tj`.
Pour la fonction `CalculBorneLatence`, il manque `(-1) * ValeurI`.

Question 43

1.



G' est sans circuit (c'est même une arborescence). Il a pour source $s = CSMS$.

2.

Arc $e = (i, j)$	$v'(e)$
(CSM,SS)	100
(SS,HU)	100
(SS,CS)	60
(SS,PM)	40
(PM,AIR)	60
(PM,H2)	120

3. Une borne supérieure de la latence last-to-first est donnée par la valeur d'un plus long chemin du graphe G' valué par $v(e)$. On obtient ainsi la valeur 260 en considérant le chemin $CSM, SS, PM, H2$.
4. Le temps maximum de transmission d'un commande du CSM prend un temps borné par 260ms. Cette borne est obtenue le long du chemin critique pour atteindre $H2$.

F. Commentaires du jury et résultats

Ce sujet était composé de quatre parties.

Parties 1 et 2 :

La première partie portait sur la modélisation du compresseur d'une pile à combustible dans le but de contrôler l'alimentation en air du système tout en réduisant les pertes énergétiques. Le but de la seconde partie était de déterminer la commande qui permet de fournir le flux suffisant pour assurer des réponses rapides du système tout en minimisant la consommation d'énergie auxiliaire.

Les deux premières parties ont été abordées par respectivement 98 et 94 pourcent des candidats.

La première partie a été plutôt réussie par la majorité des candidats. Les premières questions étaient élémentaires, et portaient sur la compréhension de codes. Cependant, la question 6 sur l'analyse critique d'un algorithme n'a été abordée que par les deux-tiers des candidats et les réponses étaient souvent incomplètes. La question 8, qui portait sur la linéarisation d'une fonction autour d'un point n'a été traitée que par un-tiers des candidats.

La seconde partie était plus difficile. Les questions 20, 21 et 22 ont été mal traitées par l'ensemble des candidats.

Parties 3 et 4 :

Les deux parties suivantes (trois et quatre) étaient indépendantes des deux premières. Le point de départ de ces deux parties est la modélisation des transferts de données entre les différents éléments composants par un *Synchronous DataFlow Graph* (SDF en abrégé). Leur but est alors de développer des algorithmes efficaces pour évaluer à la fois la durée de vie des valeurs échangées et le temps de réaction du système, la latence *last-to-first*.

La partie trois est composée de deux sous-parties. La première traite de la récupération du SDF depuis un fichier xml en utilisant l'API Python `xml.etree.ElementTree`. Toute la gestion des graphes est réalisée par l'API Python `NetworkX`. La seconde permet de démontrer que, lorsque deux composants s'échangent des données, les numéros d'exécutions du composant lecteur et écrivain vérifient une double inégalité ; ainsi, l'ensemble des communications sont déterministes et caractérisées à l'avance.

La quatrième partie est également composée de deux sous-parties qui s'appuient sur l'équation démontrée en partie trois. Le but de la première est de concevoir un algorithme efficace pour calculer la durée de vie maximale d'une valeur échangée. La seconde traite de la conception d'un algorithme efficace pour évaluer une borne supérieure du temps de réaction du système.

Les parties trois et quatre ont été traitées respectivement par respectivement 91 et 65 pourcent des candidats.

La première sous-partie de la partie trois a été bien réussie. La majorité des candidats a pu interpréter le fichier xml, et construire le SDF en utilisant correctement les primitives Python qui leur ont été données. La seconde sous-partie nécessitait un raisonnement sur les entiers et des développements mathématiques simples : elle a été bien réussie par environ un tiers des candidats.

La quatrième partie s'appuyait sur les résultats de la partie précédente, et a été assez peu abordée. Ainsi, 10 pourcent des candidats ont eu la moyenne.

Conseils aux candidats :

L'évaluation de la complexité de boucles (imbriquées ou non) a souvent été traitée de manière très approximative par les candidats et devrait être revue plus précisément.

Résultats :

La moyenne de l'épreuve est de 8,35/20 avec un écart type de 4,5. La Figure 1 présente le nombre de copies par intervalle de notes pour l'intégralité de l'épreuve. On note que 37 pourcent des copies ont la moyenne.

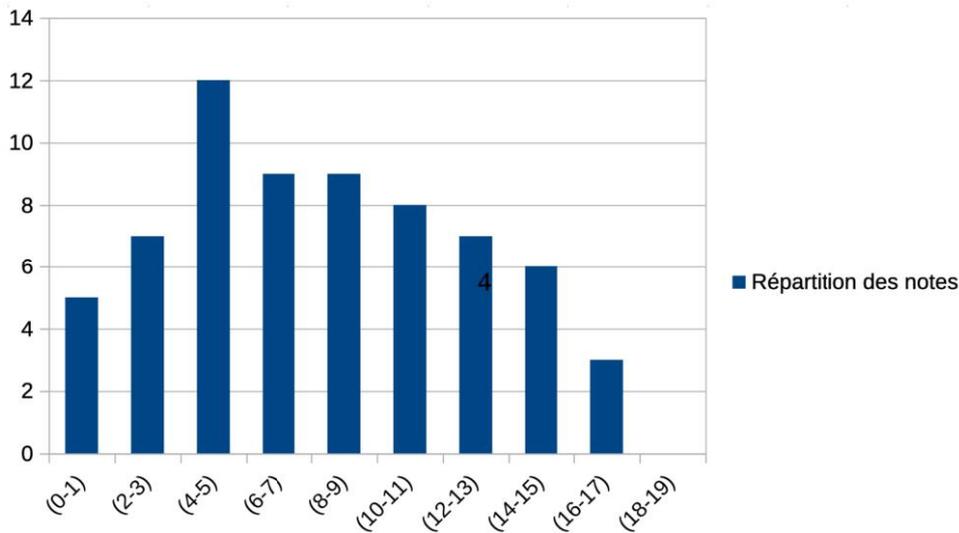


Figure 2: Nombre de copies par intervalle de notes ramenées sur 20 pour l'épreuve

La Figure 2 présente le nombre de copies par intervalle de notes pour les parties 1&2 et 3&4. On observe que les deux premières parties ont été mieux réussies que les deux suivantes. D'autre part, la moyenne et l'écart type des parties 1&2 prises ensemble sont respectivement de 8,97/20 et 4,9. La moyenne et l'écart type des parties 3&4 prises ensemble sont respectivement de 7,75/20 et 4,53.

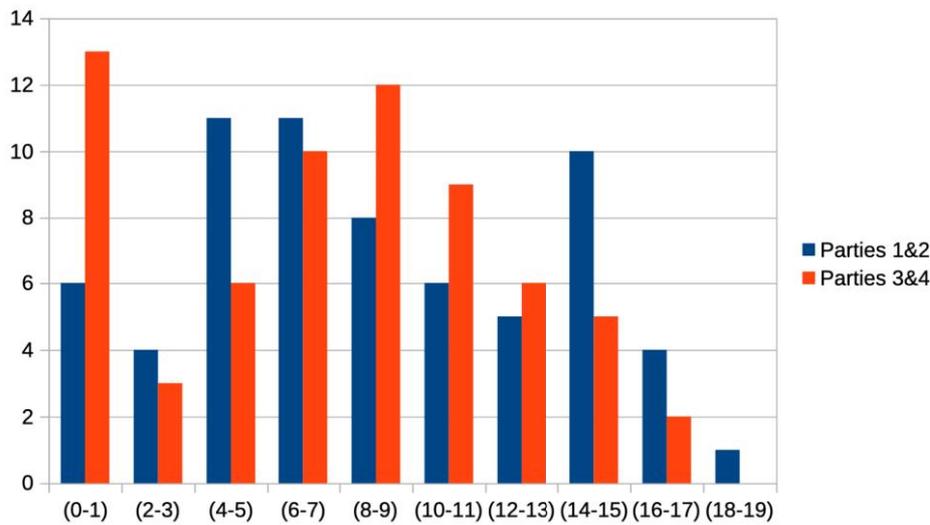


Figure 3: Nombre de copies par intervalle de notes ramenées sur 20 pour les parties 1&2 et 3&4

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

A. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour proposer ou justifier des solutions de conception et d'industrialisation d'un système technique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie.

B. Sujet

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

https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/agregation-externe-sii-2022-option-sii-etingenierie-informatique-epreuve-de-0

C. Éléments de corrections

PARTIE 1 : LOCALISATION DES VISITEURS

Q1. Cadre réglementaire pour la collecte de données anonymes

Après déclaration auprès de la CNIL, les collectes anonymes d'informations sont autorisées. Elles permettent d'exploiter des données sans porter atteinte à la vie privée des personnes.

En ce qui concerne la création d'une expérience personnalisée, le client doit avoir le contrôle sur ses données (lecture, modification et suppression).

Sous-partie 1.1. Observation des bornes Wi-Fi à proximité

Q2. Justification SSID unique et informations point d'accès

Facilité d'utilisation pour le visiteur (une seule demande de connexion). Le champ BSSID contient l'adresse MAC du point d'accès, identifiant normalement unique sur un réseau.

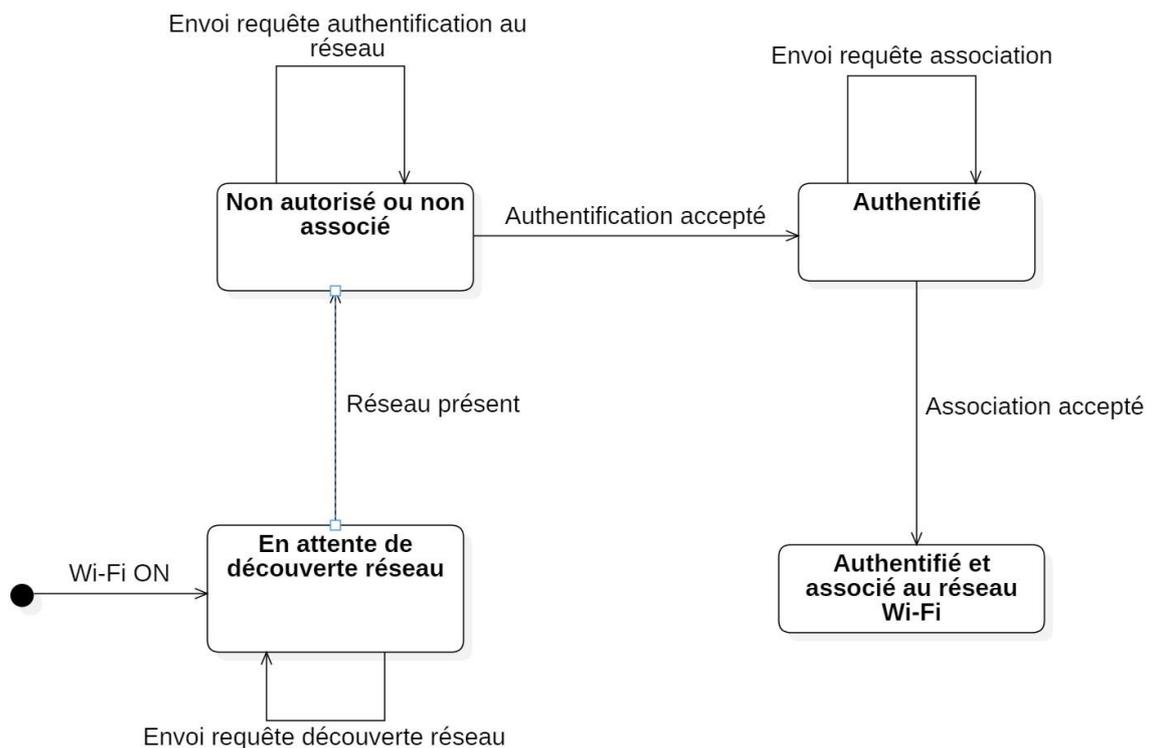
Q3. Informations pour le calcul de position, autorisation et critique de la solution

En se basant sur le BSSID (identifiant unique) et le niveau de réception (RSSI), l'application peut déterminer la distance relative par rapport aux différents points d'accès (dont les positions sont connues) et peut estimer la position du terminal du visiteur dans le musée.

La position d'un visiteur est une information personnelle, qu'il doit spécifiquement autoriser à obtenir.

En intérieur, l'atténuation du signal dépend de la distance mais aussi des caractéristiques géométriques et des matériaux des objets/murs. L'estimation obtenue ne sera pas très précise.

Q4. Machine d'états du processus de connexion Wi-Fi



Q5. Protocoles d'authentification et connexion sécurisée

La première étape concerne l'authentification bas niveau 802.11. Lors de la demande d'association, le type de chiffrement est transmis. Une fois associé, une deuxième étape d'authentification WPA/WPA2 ou 802.X est nécessaire afin que la station mobile et le point d'accès puissent s'échanger des données. Ces authentifications utilisent le principe de chiffrement symétrique (AES).

Q6. Faisabilité de la localisation

La localisation ponctuelle est également possible du point de vue du réseau en appliquant le même procédé de mesure de l'atténuation pour trianguler. En effet, si les bornes communiquent entre elles, elles peuvent trianguler un terminal.

Mais la génération d'une nouvelle adresse MAC à chaque nouvelle association rend difficile la localisation d'un terminal pendant une longue période.

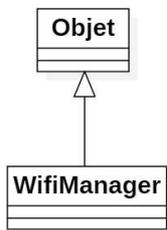
Q7. Programme Java d'obtention du niveau de réception

```
WifiInfo wifiInfo = wifiManager.getConnectionInfo();  
int rssi = wifiInfo.getRssi();
```

Q8. Opération réalisée et diagramme de classe

C'est une opération de conversion explicite (« explicit cast ») d'un objet de la classe source « Objet » vers un objet de la classe destination « WifiManager ». Ceci est possible lorsque la classe source est une classe mère de la classe destination.

Le diagramme de classes contient donc une relation d'héritage :



Q9. Estimation de la précision

Au point A, le terminal reçoit les bornes 1 et 2 avec une qualité moyenne et probablement la borne 3 avec une qualité très mauvaise. La précision de cette localisation est mauvaise, le visiteur est localisé dans le quart « haut-gauche » de la salle.

Au point B, le terminal est situé à proximité immédiate de la borne 2, le visiteur est situé avec précision dans un rayon très proche de cette borne 2.

Au point C, le terminal reçoit les bornes 1, 2 avec une qualité moyenne, la borne 3 a un niveau de réception bon. Le visiteur est forcément situé dans la salle de droite, plutôt dans son quart « bas-gauche ».

Au point D, le terminal reçoit la borne 3 avec une qualité mauvaise et les bornes 1 et 2 avec une qualité très mauvaise seulement. Le visiteur est localisé avec une mauvaise précision, il pourrait tout autant être situé en bas à droite de cette même salle.

Sous-partie 1.2. Analyse automatisée de la vidéosurveillance

Q10. Type de données de la matrice des déplacements

La taille de la fenêtre des déplacements est de 128 pixels en largeur par 96 pixels en hauteur. Les déplacements maximums sont donc de +/-127 pixels et +/-95 pixels.
Les déplacements sont donc codés sur 1 octet signé (de -128 à +127).

Q11. Occupation mémoire et relations

Il y a 12 288 cases de 2 octets, soit un poids total de 24 576 octets.

$$i=96 \times c + l$$

$$c = \frac{i}{96} \text{ (division entière) } 96$$

$$l = i \% 96 \text{ (reste de la division entière)}$$

Q12. Fonction de coloriage

```

Fonction coloriage(// colorie un objet de voisin en voisin
  Depl est un vecteur de 12288 n-uplets (x,y),
  Obj est un vecteur de 12288 couleurs, j est le
  point de départ du coloriage, Coul est la
  couleur de remplissage de l'objet)
  // coloriage de la case courante
  Obj(j) Coul
  (x,y) Depl(j)
  // x correspond au déplacement horizontal de la case courante
  // y correspond au déplacement vertical de la case courante
  Si (j >= 96) // la case de gauche existe
    (xg,yg) Depl( j - 96 )
    // si non colorié et même déplacement
    Si (x = xg et y = yg et Obj(j - 96) = 0)
      // récursivité vers la gauche
    coloriage(Depl,Obj,j - 96,Coul)
  Fin Si
  Fin Si
  // coloriage vers la droite non-détaillé, semblable à la gauche
  Si( (j % 96) != 95 ) // la case du dessous existe
    (xb,yb) Depl( j + 1 )
    // si non colorié et même déplacement
    Si(x = xb et y = yb et Obj(j + 1) = 0 )
      // récursivité vers le bas
    coloriage(Depl,Obj,j+1,Coul)
  Fin Si
  Fin Si
  // coloriage vers le haut non-détaillé, semblable au bas
Fin Fonction

```

Q13. Fonction principale

Depl est un vecteur de 12288 n-uplets (x,y)
Res est un vecteur de 12288 couleurs, tout initialisé à 0, à calculer
Coul est un entier, initialisé à 0, à calculer

Pour **i=0** jusqu'à 12287 avec un pas de 1,

```

(x, y) Depl(i)
Si( ((x!=0) ou (y !=0)) et (Res(i)=0) )
  // non colorié encore et déplacement est non-nul
  CouL CouL + 1 // allocation d'une nouvelle couleur
  // appel de la fonction de coloriage
coloriage(Depl, Res, i, CouL)
Fin si
Fin pour

```

Q14. Appels récursifs et complexité

Soit un objet non colorié de hauteur $N_l = 15$ pixels et de largeur $N_c = 5$ pixels situé dans le tableau de déplacements **Depl**.

Le point d'entrée de l'algorithme correspond au pixel situé en haut à gauche de l'objet non colorié.

Pour une itération de la boucle FOR du programme d'appel de la fonction « coloriage », les pixels identiques étant adjacents, les appels récursifs permettent :

- de se déplacer d'un pas de 1 pixel de gauche à droite tant que le pixel rencontré est identique et non colorié. Le nombre d'appels est égal à N_c ;
- de se déplacer une fois en dessous du pixel situé au bout à droite d'une ligne de pixels identiques ;
- de se déplacer d'un pas de 1 pixel de droite à gauche tant que le pixel rencontré est identique et non colorié. Le nombre d'appels est égal à N_c ;
- les étapes précédentes sont répétées sur toute la hauteur N_l de l'objet.

Le coût total est égal à :

$$\text{Coût} = N_l \times N_c = 15 \times 5 = 75$$

Soit une complexité de la fonction de coloriage de :

$$O(N_l \times N_c)$$

Si N objets différents mais de tailles identiques se trouvent dans le tableau des déplacements, la complexité devient :

$$O(N \times N_l \times N_c)$$

Q15. Limite de l'algorithme de coloriage

Dans un même objet, les parties ne sont pas à la même vitesse de translation.

Pour un visiteur, le nombre d'objets détectés pourra être au maximum de 5 : 2 bras, 2 jambes et le tronc.

Cette limitation peut être contournée en autorisant une petite variation autour du déplacement apparent moyen d'un objet.

Les visiteurs immobiles ne seront pas détectés par cet algorithme. Le point de départ de l'algorithme peut être la matrice coloriée précédente sur laquelle les deltas de mouvement sont appliqués pour neutraliser les nouveaux éléments immobiles et colorier les nouveaux éléments couverts par un même objet. **Q16.**

Estimation de la validité de chaque objet

Res est un vecteur de 12288 couleurs (entier), déjà calculées

Sx est un vecteur d'entiers (somme des positions x pour chaque objet)

Sy est un vecteur d'entiers (somme des positions y pour chaque objet)

N est un vecteur d'entiers (nombre d'éléments pour chaque objet)
Sx, Sy, N, V sont initialisés à zéro, à calculer

```
Pour i=0 jusqu'à 12287 avec un pas de 1,
  (x,y) Coord(i) // calcul coordonnée de l'élément courant
  Sx(Res(i)) += x;
  Sy(Res(i)) += y;
  N(Res(i)) += 1;
Fin pour
```

Mx, My sont des vecteurs de flottants
V est un vecteur de booléens (validité pour chaque objet)
 Pour i=0 jusqu'à 255 avec un pas de 1,

```
V(i) = N(i) >= 30;
Si( V(i) )
  Mx(i) = Sx(i) / N(i)
  My(i) = Sy(i) / N(i)
Fin si
```

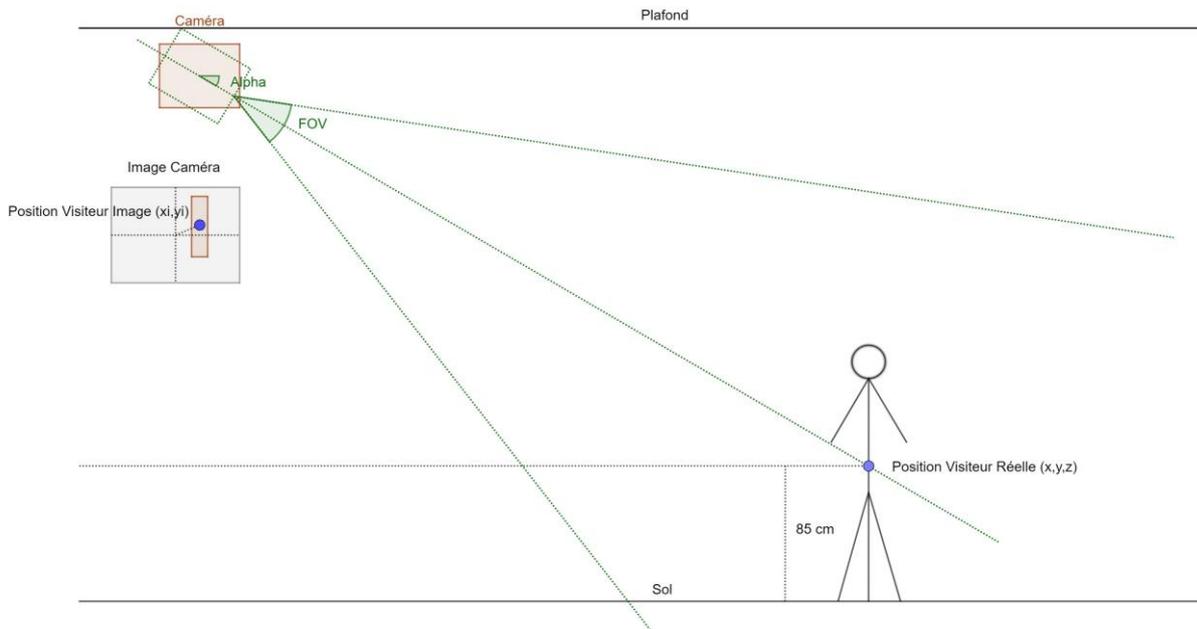
Fin pour

Q17. Schéma de la scène et condition d'existence d'une position réelle dans l'image caméra

A partir du descriptif de la scène et en choisissant le modèle « pinhole » d'une caméra (lentille mince), l'angle de vue de la caméra (FOV : Field Of View) est défini par l'orientation de cette dernière selon les angles de tangage (Alpha), de roulis (Beta) et de lacet (Gamma).

Ce modèle ne tient pas compte du phénomène de distorsion dans le cas d'une lentille réelle.

L'analyse est réduite à l'influence de l'angle de tangage sur la détection effective d'un visiteur. La même analyse peut être conduite pour les autres angles.



La détection d'un visiteur est effective lorsque le visiteur est situé dans le champ de vision de la caméra. La position de ce champ de vision dépend des angles de rotation de la caméra.

La position réelle du visiteur est calculée en utilisant la matrice de projection composée des matrices de rotation associées à chaque angle.

Q18. Linéarité du modèle

Ce modèle est non linéaire puisqu'il fait intervenir les fonctions cosinus et sinus des angles de rotation de la caméra. Une erreur sur la valeur d'un angle pourra produire une erreur amplifiée sur la position du visiteur dans l'image.

Une solution permettant de résoudre ce problème est de réaliser l'acquisition de plusieurs couples de valeurs « position du visiteur dans l'image, position réelle du visiteur » afin de paramétrer la matrice de projection.

Q19. Amélioration de l'algorithme de coloriage

Ajouter un algorithme de reconnaissance des visiteurs afin de tracer leur position dans les différents flux vidéo.

Sous-partie 1.3. Recouplement des observations

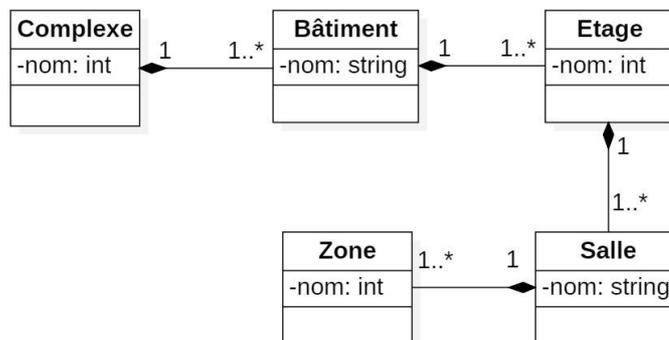
Q20. Faisabilité technique

La localisation par le Wi-Fi est peu précise spatialement par rapport à la localisation liée à la vidéosurveillance. Cependant le suivi par Wi-Fi est plus stable sur une plus longue période que le suivi vidéo.

Les deux méthodes sont incomplètes, certains visiteurs ne sont pas vus ou visiteurs trop proches dans l'approche par vidéo. Techniquement les deux sources ne sont pas suffisamment cohérentes et complètes pour imaginer un regroupement des informations.

PARTIE 2. STOCKAGE DES INFORMATIONS

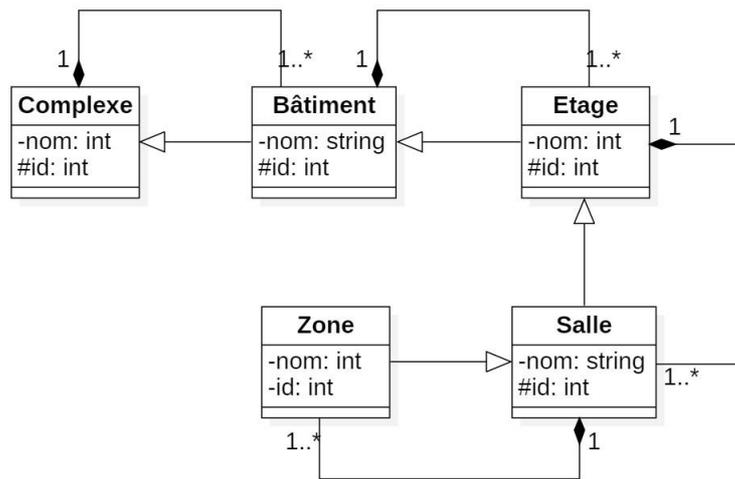
Q21. Diagramme de classes



Q22. Ajout de l'identifiant et du lien de parenté

L'ajout de l'attribut « id » dans chaque classe permet d'identifier de façon unique un élément du musée.

Les liens d'héritage permettent à une classe fille d'hériter de l'attribut « id » qui devient dans ce cas une clé étrangère.



Q23. Création des tables

```

CREATE TABLE complexe (
    identifiant int AUTO_INCREMENT,
    nom tinyint NOT NULL,
    PRIMARY KEY (identifiant));

CREATE TABLE batiment (
    identifiant int AUTO_INCREMENT,
    nom CHAR(1) NOT NULL,
    parent int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (identifiant),
    CONSTRAINT FOREIGN KEY (parent) REFERENCES complexe
(identifiant)
    ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE);

CREATE TABLE etage (
    identifiant int AUTO_INCREMENT,
    nom tinyint NOT NULL,
    parent int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (identifiant),
    CONSTRAINT FOREIGN KEY (parent) REFERENCES batiment
(identifiant)
    ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE);

CREATE TABLE salle (
    identifiant int AUTO_INCREMENT,
    nom char(1) NOT NULL,
    parent int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (identifiant),
    CONSTRAINT FOREIGN KEY (parent) REFERENCES etage
(identifiant)
    ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE);

CREATE TABLE zone(

```

```

        identifiant int AUTO_INCREMENT,
nom tinyint NOT NULL,          parent
int NOT NULL,
        PRIMARY KEY (identifiant),
        CONSTRAINT FOREIGN KEY (parent) REFERENCES salle
(identifiant)
        ON DELETE CASCADE ON UPDATE CASCADE);

```

Q24. Insertion dans table « localisation » et liste de tous les visiteurs

```
INSERT INTO localisation (visiteur, zone) VALUES (1368356, 1745);
```

```

SELECT localisation.visiteur
FROM localisation, zone, salle
WHERE (localisation.zone = zone.identifiant)
      AND (zone.parent = salle.identifiant)
      AND (salle.parent = 10)
      AND (localisation.instant >= "2021-09-10
11:00:00")
      AND (localisation.instant <= "2021-09-10
12:00:00");

```

Ou bien :

```

SELECT localisation.visiteur
FROM
    localisation JOIN zone ON zone.identifiant =
localisation.zone
                    JOIN salle ON salle.identifiant =
zone.parent
                    JOIN etage ON etage.identifiant =
salle.parent
WHERE (etage.identifiant = 10)
      AND (localisation.instant >= "2021-09-10 11:00:00")
      AND (localisation.instant <= "2021-09-10 12:00:00");

```

Q25. Paramétrages possibles

Les éléments essentiels sont :

Figure 1 INVOKER

- avantage : l'intégralité des accès à la base est exécutée en tant qu'utilisateur courant ;
- inconvénients : risque que l'utilisation de la vue échoue si l'utilisateur n'a pas aussi accès SELECT aux tables utilisées pour créer la vue.

Figure 2 DEFINER

- avantage : donne l'accès à la vue sans donner l'accès SELECT utilisées pour construire la vue ;
- inconvénient : la surface d'attaque est potentiellement plus grande puisque du code est exécuté à un moment sous le nom d'un autre utilisateur (ayant plus de droits).

Q26. Vue « details_localisation » et liste des visiteurs présents

```
CREATE VIEW details_localisation
  (identifiant, instant, visiteur, zone, salle, etage, batiment,
  complexe)AS
SELECT localisation.identifiant,
localisation.instant,localisation.visiteur,localisation.zone,
salle.identifiant, etage.identifiant,batiment.identifiant,
batiment.parent
  FROM localisation, zone, salle, etage, batiment
  WHERE (localisation.zone = zone.identifiant)
        AND(zone.parent = salle.identifiant)
        AND(salle.parent = etage.identifiant)
        AND(etage.parent = batiment.identifiant);
```

Ou bien :

```
CREATE VIEW details_localisation
  (identifiant, instant, visiteur, zone, salle, etage, batiment,
  complexe)AS
  SELECT localisation.identifiant,localisation.instant,
localisation.visiteur,localisation.zone,
salle.identifiant,          etage.identifiant,
batiment.identifiant, batiment.parent
  FROM localisation JOIN  zone ON localisation.zone =
zone.identifiant
                        JOIN salle ON zone.parent =
salle.identifiant
                        JOIN etage ON salle.parent =
etage.identifiant
                        JOIN batiment ON etage.parent =
batiment.idetifiant
```

Puis :

```
SELECT identifiant
  FROM details_localisation
  WHERE etage = 10
        AND (instant >= "2021-09-10 11:00:00")
        AND (instant <= "2021-09-10 12:00:00");
```

Q27. Vue « resume_localisation »

```
CREATE VIEW resume_localisation
  (instant_entree, instant_sortie, visiteur, zone,
  salle,etage,batiment,complexe) AS
SELECT MIN(localisation.instant), MAX(localisation.instant),
localisation.visiteur,localisation.zone, salle.identifiant,
etage.identifiant, batiment.identifiant,batiment.parent
  FROM localisation, zone, salle, etage, batiment
  WHERE (localisation.zone = zone.identifiant)
        AND (zone.parent = salle.identifiant)
        AND (salle.parent = etage.identifiant)
        AND (etage.parent = batiment.identifiant)
```

```
GROUP BY localisation.visiteur,localisation.zone;
```

Ou bien :

```
CREATE VIEW resume_location
(instant_entree, instant_sortie, visiteur, zone,
salle, etage, batiment, complexe) AS
SELECT MIN(instant), MAX(instant), visiteur, zone, salle, etage,
batiment, complexe)
from details_location GROUP BY visiteur, zone.identifiant
```

Q28. Nombre d'enregistrements

1 million de visiteurs x 5 h x 3600 / 10 = 1,8 milliards d'enregistrements par an.

Pour les améliorations :

Comme les journées sont disjointes du point de vue des visites, on peut résumer chaque journée, et supprimer ensuite les enregistrements de la journée précédente.

Ainsi, chaque fois un lot sera constitué de : $1.8e9 / 260$ (jours) = 70 millions d'enregistrements (seulement).

C'est mieux aussi pour le stockage. Éventuellement, ce principe peut être appliqué à l'échelle de la semaine plutôt que de la journée.

PARTIE 3. ANALYSE DES TRAJECTOIRES

Q29. Type de variable « seconds », tableau statique et dynamique

Dans une journée il y a 86400 secondes. Le type « seconds » est un entier signé stocké sur au moins 35 bits, les bornes de ce type vont de -17179869184 à +17179869183, couvrant largement la valeur de l'intervalle de -86400 à +86400.

- `std::array` : tableau de taille fixe ;
- `std::vector` : tableau de taille variable.

Q30. Déclaration des structures « presence » et « trace »

```
typedef struct
{   int Z;   int S;   int E;
  int B;   int C;   seconds
  tstart;   seconds   tend;
  vector<annotation>   A;   }
presence;   typedef
vector<presence> trace;
```

Q31. Empreintes mémoires

Hypothèses :

- liste des annotations vide ;
- taille d'un entier = 4 octets sur une architecture 64 bits, pas de padding pour aligner en mémoire les attributs d'une structure, seconds est un entier sur 64 bits ;
- un tableau dynamique est représenté par sa capacité (entier sur 64 bits), sa taille effective (entier sur 64 bits) et une référence vers le tableau alloué (64 bits).

$\text{taille}(\text{presence}) = 5 \cdot 4 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 8 = 60$ octets

$\text{taille}(\text{trace}) = 3 \cdot 8$ octets = 24 octets

ou

$\text{taille}(\text{trace}) = 3 \cdot 8$ octets + $\text{taille}(\text{presence}) = 84$ octets

Sous-partie 3.1. Cohérence des traces

Q32. Type de passage de paramètres

Cet opérateur définit le paramètre « *t* » comme une référence. La fonction « *corrige_trace* » modifie la valeur de la variable passée en paramètre.

Q33. Fonction « *corrige_trace* »

On utilise favorablement les itérateurs associés aux structures de données de la STL.

```
// t représente la trace à vérifier/corriger
// la fonction n'a volontairement pas de valeur de retour
void corrige_trace(trace& t)
{
    // t[i] ou *it permet d'accéder à une présence
    // t[i].tstart ou it->tstart pour accéder aux champs d'une
    présence
    // les éventuels indices sont à déclarer avec le type « size_t »
    // les éventuels itérateurs sont à déclarer avec le type « auto »
    for(auto it0 = t.begin(), auto it1 = it0 + 1; it0 !=
t.end(); it0++)
    {
        auto Itt1 = itt0 + 1;    if(it0-
>tend > it1->tstart)    it0->tend
= it1->tstart;
    }
}
```

Les solutions avec le formalisme tableau sont recevables.

Q34. Fonction « *interpole_trace* »

```

// pour une zone donnée
// renvoie la salle S, l'étage E, le bâtiment B et le complexe C
void details_zone(int Z, int& S, int& E, int& B, int& C);
// renvoie la liste de zones à interpoler entre les zones données
// cette liste est vide si les zones Z1 et Z2 sont adjacentes
vector<int> interpole_zone(int Z1, int Z2);
trace interpole_trace(const trace t)
{
    // cette trace vide est à compléter avec les éléments de t,
    trace resultat; // éventuellement intercalés d'éléments interpolés
    // t[i] ou *it permet d'accéder à une présence
    // t[i].Z ou it->Z pour accéder aux champs d'une présence
    // les éventuels indices sont à déclarer avec le type « size_t »
    // les éventuels itérateurs sont à déclarer avec le type « auto »
    auto it0 = t.begin();
    auto it1 = it0 + 1;
    // la première présence est toujours ajoutée au résultat
    resultat.push_back(*it0);
    for(;it1 != t.end(); it0++, it1++)
    {
        vector<int> Z = interpole_zone(it0->Z,it1->Z);
        // si aucune zone à interpoler
        if(Z.size() != 0)
        {
            // interpolation du temps dans chaque zone
            seconds tdelta = (it1->tstart - it0->tend) / Z.size();
            seconds tstart = it0->tend; // temps de début
            // pour tous les éléments du vecteur Z
            for(auto itz=Z.begin(); itz != Z.end(); itz++)
            {
                presence p; // champs non-initialisés sauf A vide
                p.Z = *itz;
                // récupération des détails de la zone
                details_zone(p.Z, p.S, p.E, p.B, p.C);
                // interpolation du temps d'entrée
                p.tstart = tstart;
                // interpolation du temps de sortie
                tstart += tdelta;
                p.tend = tstart;
                // ajout de la présence interpolée
                resultat.push_back(p);
            }
        }
        // ajout de la présence suivante
        resultat.push_back(*it1);
    }
    return resultat;
}

```

Sous-partie 3.2. Exploitation directe des données Q35.

Fonction « temps_moyen_visiteur »

```

seconds temps_moyen_visiteur(vector<trace> trajectoires)
{

```

```

    seconds moyenne = static_cast<seconds>(0);
seconds tps = static_cast<seconds>(0);
for(auto itt0 = trajectoires.begin(); itt0 !=
trajectoires.end(); itt0++)
    {
        trace t = *itt0;
        tps = t[t.size()-1].tend - t[0].tstart;
        moyenne += tps;
    }
moyenne = static_cast<seconds>(moyenne / trajectoires.size());
return(moyenne);
}

```

Q36. Réduction du temps d'exécution

Les données sont chargées dans l'espace mémoire accessible pour l'application courante, le plus simple est de créer plusieurs threads d'exécution dans cette application et d'exécuter un ou plusieurs traitements dans chaque thread.

Il est également possible de passer par plusieurs applications partageant le même espace mémoire.

Q37. Linéarité et complexité

En dénombrant les éléments du musée :

- N_c : le nombre de complexes ;
- N_b : le nombre de bâtiments ;
- N_e : le nombre d'étages ;
- N_s : le nombre de salles ;
- N_z : le nombre de zones ;

La somme totale des éléments est égale à :

$$K=N_c+N_b+N_e+N_s+N_z$$

Par ailleurs, les visites sont caractérisées par :

- M : nombre de traces
- N : nombre de présences

L'algorithme « naïf » consiste à rechercher dans chaque trace et dans chaque présence le temps cumulé de visite et le nombre de visiteurs pour chaque élément du musée.

La complexité est égale alors à :

$$C_{naïf}=O(K \times M \times N)$$

L'algorithme n'est pas optimisé car dans son implémentation il s'agit d'imbriquer 3 boucles FOR.

L'utilisation de tableaux associatifs permet de réduire le nombre de boucles à 2.

Q38. Dysfonctionnement de l'algorithme des cumuls

Le fonctionnement du programme du DT6 est le suivant :

- Le tableau « trajectoires » contient l'ensemble des traces des visiteurs ;
- Le tableau « tcumul » est un tableau utilisé comme un tableau associatif (les indices correspondent aux clés) du temps de cumul de chaque étage ;
- Le tableau « vcumul » est un tableau utilisé comme un tableau associatif (les indices correspondent aux clés) du nombre de visite de chaque étage ;
- Une première boucle FOR indexe chaque trace dans le tableau « trajectoires » ;
- Une deuxième boucle FOR imbriquée indexe chaque présence dans chaque trace ; - Le cumul du temps consiste à accumuler le temps de visite associé au numéro de l'étage ; - Le cumul des visites consiste à incrémenter un compteur associé au numéro de l'étage.

La dernière instruction induit une erreur car elle incrémente le compteur des visites lorsqu'un même visiteur est présent dans plusieurs salles ou zones d'un même étage.

```
vcumul[p.E] += 1
```

Q39. Dysfonctionnement du programme principal

Lors de l'appel de la fonction, le paramètre « trajectoires » est passé par copie de sa valeur pendant toute la durée d'exécution de la fonction. C'est-à-dire que tous les éléments du tableau « traj » sont copiés dans un nouveau tableau « trajectoires », très volumineux en mémoire.

Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de passer l'adresse du tableau « traj » à la fonction en utilisant soit l'opérateur de référence « & », soit l'opérateur de déréférencement « * ».

Solution avec opérateur de référence :

```
void occupation_etage(vector<trace>& trajectoires,  
vector<seconds>& tcumul, vector<int>& vcumul) ...  
occupation_etage(traj, t, v);
```

Solution avec opérateur de déréférencement (dans ce cas il faut modifier l'opérateur « . » en opérateur « -> » dans la fonction):

```
void occupation_etage (vector<trace>* trajectoires,
vector<seconds>& tcumul, vector<int>& vcumul) ...
occupation_etage (&traj, t, v);
```

Le mot clé « const » appliqué à un paramètre fictif, rend ce dernier non modifiable par une fonction ou une méthode. A tester.

Sous-partie 3.3 Exploration des données et prospective

Q40. Relation de corrélation, unité et nombre de calculs

Pour une même zone i , deux visiteurs A et B occupent cette dernière durant :

- t_{delta} pour A noté : $t_{\text{delta}A}$

- t_{delta} pour B noté : $t_{\text{delta}B}$

La corrélation de l'occupation de l'ensemble des zones par les deux visiteurs est donnée par :

$$C_{\text{empreinte}A, \text{empreinte}B} = \sum_{i \in [1, nb_{\text{zones}}]} t_{\text{delta}A_i} \times t_{\text{delta}B_i}$$

Ce coefficient est homogène à des $[s^2]$.

Pour une zone donnée et N visiteurs, le nombre de calculs est égal au nombre de combinaisons des visiteurs 2 à 2, soit :

$$N_{\text{combinaison}} = N \times \frac{(N-1)}{2}$$

Soit pour M zones :

$$N_{\text{calculs}} = M \times N \times \frac{(N-1)}{2}$$

Q41. Faisabilité du calcul et simplification

En considérant :

- $N = 1\,000\,000$; -
 $M = 250$.

Le nombre de calculs est égal à 125 000 milliards. En considérant le coût de 10 nanosecondes pour l'opération élémentaire de multiplication sur les flottants, la durée totale du calcul est égale à 347 heures.

Cette durée n'est pas acceptable.

Il sera nécessaire de réduire le nombre de calculs en choisissant uniquement les zones les plus fréquentées.

Q42. Fonction « meilleur_profil »

```
int meilleur_profil(empreinte &visiteur, vector<empreinte>
    &profils)
{
    int maxCorrelation = 0;
    int correlation = 0;
    size_t indexMax = 0;
    size_t j;
    empreinte profil0 = profils.at(0);
    //Calcul de la corrélation avec le premier profil
    for(size_t i = 0; i < NB_ZONES; i++)
    {
        maxCorrelation += visiteur.at(i) * profil0.at(i);
    }
    for(unsigned int i = 1; i < profils.size() ; i++)
    {
        correlation = 0;
    profil0 = profils.at(i);
        //Calcul de la corrélation avec les profils suivants
        for(j = 0; j < NB_ZONES; j++)
        {
            correlation += visiteur.at(j) * profil0.at(j);
        }
        //Si corrélation courante supérieure à la précédente
        if(correlation > maxCorrelation)
        {
            //Alors corrélation courante devient corrélation max
            maxCorrelation = correlation;
            indexMax = j;
        }
    }
    return(maxCorrelation);
}
```

Q43. Conclusion sur l'étude des trajectoires

L'exploration des données est optimale lorsqu'une grande partie des trajectoires est complète car les calculs statistiques (nombre de visiteurs/zone, meilleur profil) sont d'autant plus précis.

Les fonctions « corrige_trace » et « interpole_trace » sont utilisées pour résoudre le problème de manque de données et de cohérence des temps.

La méthode « interpole_trace » ne traite pas tous les types de trajectoire et la durée par zone calculée est imprécise.

Cependant des améliorations sont possibles :

- Compléter les trajectoires en fonction de profils similaires complètes (reconnaissance de profils par machine learning) ;
- Compléter les trajectoires en fonction des chemins possibles dans le musée ;

D. Commentaires du jury et résultats

Ce sujet était composé de trois parties indépendantes.

La première partie proposait tout d'abord aux candidats d'estimer la faisabilité de la localisation des visiteurs en exploitant les caractéristiques du réseau Wi-Fi dans le contexte de la protection des données personnelles.

Les candidats étaient amenés à exploiter la documentation technique du protocole Wi-Fi ainsi que la documentation des classes JAVA permettant l'accès aux caractéristiques du réseau sans fil.

Puis, une étude de localisation par l'exploitation des flux vidéo du système de vidéosurveillance était proposée. Le principe algorithmique des « motion vectors » était présenté et les candidats étaient guidés pour compléter l'algorithme sous la forme de pseudo-code. Un calcul de coût et de complexité permettait de caractériser cet algorithme.

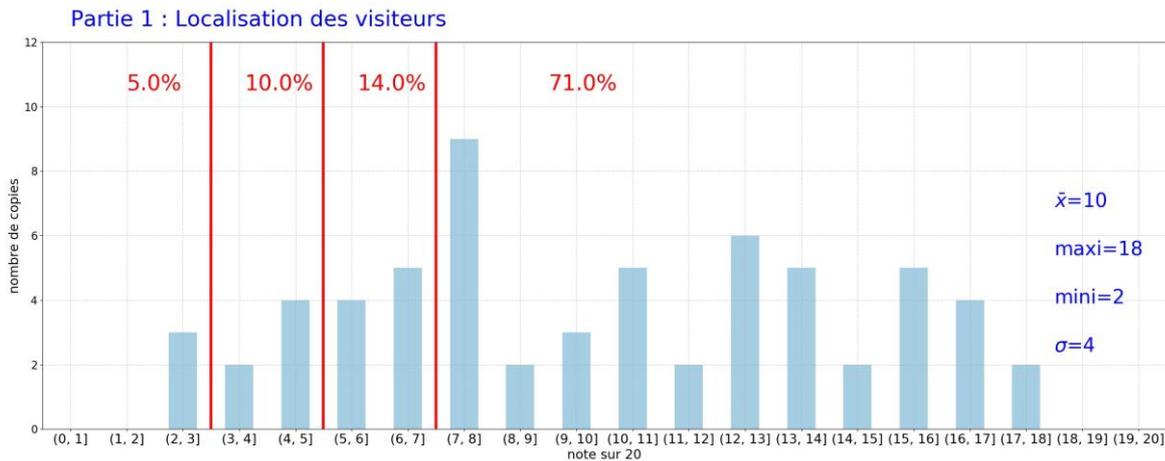
L'objectif de cette partie était de vérifier la maîtrise des candidats quant à l'exploitation d'une documentation technique d'un protocole réseau et les concepts de base du traitement d'image.

De nombreux candidats ont su exploiter la documentation technique du protocole WiFi.

Des réponses bien rédigées avec du détail et de la réflexion.

De nombreux candidats ont proposé des algorithmes cohérents. Les calculs de coût et de complexité étaient également convenables pour les meilleurs candidats.

Cependant, en ce qui concerne la localisation des visiteurs à l'intérieur du musée, plusieurs candidats ont évoqué l'utilisation du GPS, pourtant non mentionné dans le sujet, et pratiquement impossible en mode *indoor*.



Dans la deuxième partie, les candidats étaient amenés à modéliser les données de localisation des visiteurs sous la forme d'une base de données relationnelles.

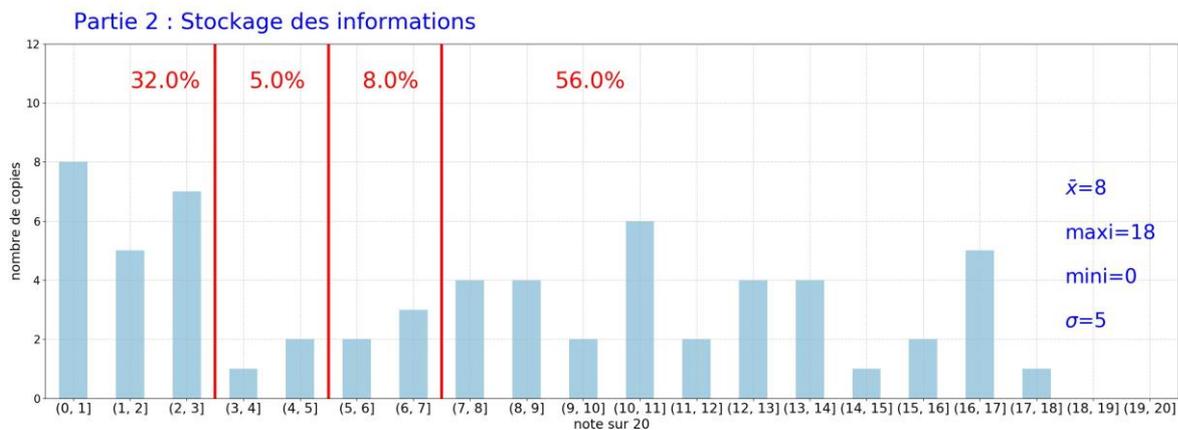
A partir d'un memento sur les requêtes SQL, les candidats étaient amenés à écrire des requêtes de création de tables, de vues, de sélection, de projection, de jointures et d'insertion.

L'objectif de cette partie était de vérifier la maîtrise des candidats dans la conception d'une base de données et dans l'écriture des requêtes SQL.

Certains candidats ont su produire convenablement des diagrammes UML en faisant apparaître les relations de composition, d'agrégation et d'héritage en cohérence avec le modèle relationnel.

De nombreux candidats ont su exploiter l'aide concernant les requêtes SQL.

On note parfois une syntaxe SQL très approximative démontrant une méconnaissance des règles d'utilisation de la syntaxe d'une grammaire.



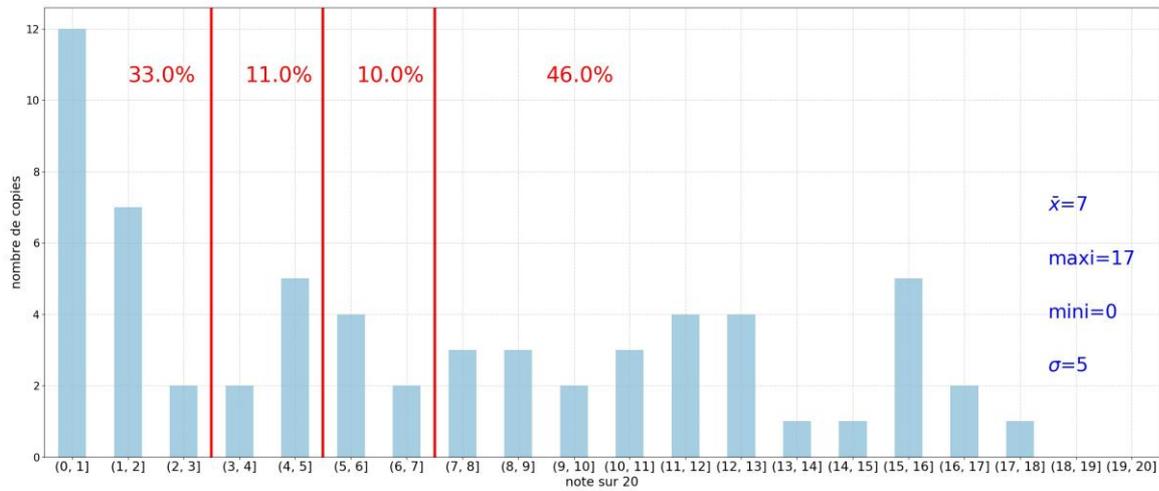
Dans la troisième partie, les candidats étaient guidés pour concevoir les programmes C++ permettant de produire les données de parcours de chaque visiteur. Dans ces programmes il s'agissait d'implémenter des algorithmes de somme, de moyenne, d'interpolation, de corrélation et de recherche de maximum sur des structures de données dynamiques du type tableaux et listes.

L'objectif de cette partie était de vérifier la maîtrise des candidats à exploiter la documentation technique du langage de programmation C++ avec ses structures de données dynamique et les itérateurs associés dans le but de traduire en programmes les principes algorithmiques présentés dans le sujet.

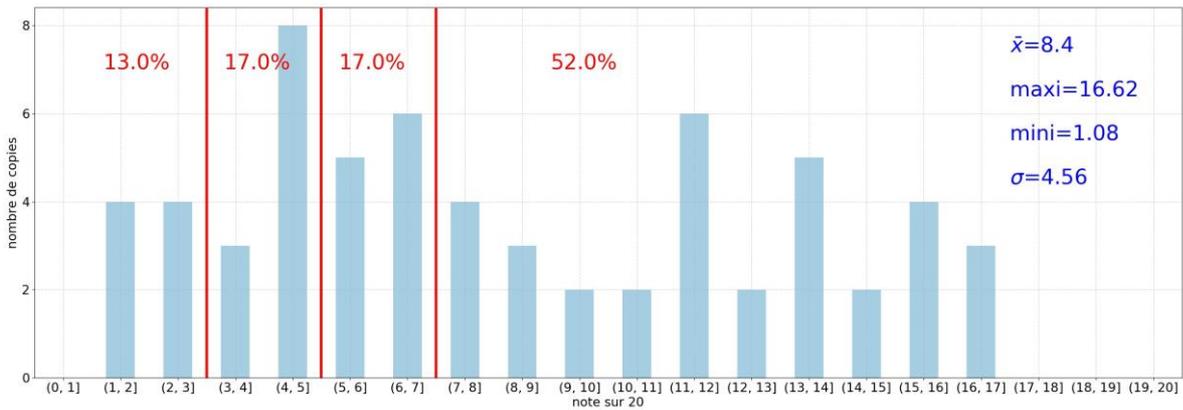
La documentation technique des éléments du langage C++ a été bien exploitée.

Les structures dynamiques et les boucles imbriquées sont maîtrisées pour un tiers des candidats.
 Un bon tiers des candidats n'a pas obtenu plus de 3/20 dans cette partie.

Partie 3 : Analyse des trajectoires



Résultats



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

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence <http://www.devenirensignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-sectionsciences-industrielles-de-l-ingenieur.html>

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

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

Le candidat est amené au cours de cette épreuve à élaborer **une séquence pédagogique dont le contexte est imposé**. Il doit notamment y intégrer le développement d'une séance à caractère expérimental. Elle sera construite autour d'activités pratiques proposées par le candidat, sur un support didactique imposé.

Pour la session 2022, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), de l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur du cycle terminal sciences de l'ingénieur de la voie générale du lycée ainsi que celui des classes préparatoires aux grandes écoles.

Le support didactique fourni est un système pluri technique qui permet une analyse systémique globale.

Au cours de l'entretien, le candidat est conduit à préciser certains points de sa présentation. Il est amené à expliquer et justifier les choix didactique et pédagogique qu'il a opérés notamment dans l'élaboration de la séquence de formation présentée ainsi que pour les contenus de la séance à caractère expérimental conçue. **Déroulement de l'épreuve**

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs compétences pour s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable d'élaborer une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique.

Le titre d'une séquence pédagogique étant imposé, le candidat doit d'abord préparer la trame détaillée de celle-ci en respectant le niveau de formation visé et les effectifs de la classe. Il doit ensuite répondre à une problématique technique et scientifique comprenant des activités pratiques. Le candidat prépare enfin une séance à caractère expérimental s'inscrivant dans la séquence imposée, **les activités expérimentales proposées doivent être différentes de celles déjà effectuées pour répondre à la problématique technique et scientifique et être adaptées au niveau du sujet**.

Les compétences attendues par le jury sont pédagogiques, comportementales et scientifiques.

Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- concevoir, organiser et décrire une séquence dans un contexte pédagogique imposé ;
- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- savoir mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie.

L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases :

Première phase – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée = 4h00)

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 compte quatre parties.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

 **Première partie (durée : 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée** Pour cette première partie, le candidat doit concevoir et proposer une séquence de formation parmi deux qui lui sont proposées. Pour chacune d'entre elles, le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre d'une des deux séquences imposées ;
- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression didactique liée à la formation visée ;
- du programme du niveau de formation visé ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

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

Deuxième partie (durée : 0h30) – Prise en main du support

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

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

Pour cette partie, le candidat doit répondre aux activités à caractère expérimental proposées afin de résoudre la problématique technique et scientifique, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation. L'exploitation des résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques...), la mise en évidence des écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et la

proposition de solutions pour les réduire doivent permettre d'apporter une réponse aux problèmes posés.

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

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

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

Pendant toute la durée de cette phase, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat doit donc entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séance. Les examinateurs n'évaluent pas durant cette partie et sont disponibles en tant qu'assistant technique.

Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée = 1h00)

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent en complétant son support de présentation numérique. Le candidat n'a plus accès au matériel de travaux pratiques, c'est-à-dire, ni au système, ni aux modèles associés, ni aux logiciels de simulation, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors de la phase précédente qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée = 1h00)

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury.

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury.

L'exposé doit comporter :

- la description du contexte pédagogique imposé ;
- la présentation de ses réflexions pédagogiques et la justification de ses choix de modalités pédagogiques ;
- la présentation de la trame de la séquence pédagogique en y intégrant l'évaluation ;
- la présentation des savoir-faire et savoirs à transmettre dans chaque séance ;
- la justification de la pertinence du support didactisé dans un contexte pédagogique (durée maximale 5 minutes) ;
- la démarche mise en œuvre dans la séance à caractère expérimental ;
- la présentation d'une ou des activités que devraient mener les élèves durant la séance d'activités à caractère expérimental ;
- la présentation de la valeur ajoutée pédagogique dans la formation de la séance proposée.

Il est à noter que durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est absolument pas attendu des candidats qu'ils présentent à nouveau les résultats aux activités menées dans le cadre des deuxième et troisième temps de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà conduit à une évaluation par le jury en salle de TP. Seule est attendue la présentation des activités envisagées de faire réaliser aux élèves lors de la séance à caractère expérimentale incluse dans la séquence pédagogique exposée. Néanmoins les résultats expérimentaux ou de simulation numérique peuvent être utilisés afin d'illustrer la séquence ou la séance expérimentale.

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée maximale de 30 minutes.

Le jury est amené à interroger les candidats, afin d'apprécier leur connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, sur la manière dont ils envisagent d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, ou bien sur leur positionnement vis-à-vis d'une équipe pédagogique.

Au cours de l'entretien, les candidats sont amenés à :

- préciser certains points de leurs présentations ;
- expliciter et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'ils ont opérés.

Utilisation des logiciels pendant l'interrogation :

Aucun prérequis ne peut être exigé du candidat concernant l'utilisation d'un logiciel. Les consignes d'utilisation sont indiquées dans le sujet ou fournies oralement. Les modeleurs volumiques ne sont pas utilisés comme outil de conception de formes mais comme un outil de lecture de documents.

Les supports retenus lors de la session 2022 sont les suivants :

- Control'X ;
- volet roulant ;
- système de travelling ;
- robot à câbles ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- robot haptique ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ; • imprimante 3D.

Ces supports permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental ;
- identification des comportements de constituants ou d'un système ;
- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'information ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithmes simples ou de quelques lignes de programmes simples (en langage python, arduino, etc) ;
- recalage d'un modèle multiphysique ou non ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;

- simulation et prédiction de performance ; –
évaluation des écarts.

B. Commentaires du jury

- **Analyse des résultats**

Les candidats préparés mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils réalisent durant la 4^{ème} partie de la première phase. Les prérequis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats produisent généralement une présentation orale de qualité. La conduite des expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique est traitée par la majorité des candidats.

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la 3^{ème} partie de la première phase sont souvent reprises dans la séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

- **Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats**

Phase 1 : première partie - réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences visées sont peu ciblées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec la thématique proposée. Elle doit faire apparaître les prérequis, les compétences et connaissances associées, le positionnement temporel, le déroulement des différentes séances la constituant et l'évaluation adéquate.

Depuis cette session, il est proposé au candidat le choix entre deux séquences pédagogiques associant des compétences différentes d'un même niveau. Cette possibilité laissée au candidat a été bien appréhendée. Pour la majorité des sujets, l'une et l'autre des propositions ont été traitées. Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Le jury ne peut se satisfaire d'un exposé de pédagogie formel ou d'une récitation d'un extrait de programme. Il souhaite qu'il soit fait preuve d'imagination et de créativité dans le contenu pédagogique présenté afin de susciter l'intérêt et la motivation des élèves.

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le

niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

Phase 1 : deuxième partie - prise en main du support

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'appropriier le support du travail pratique et la problématique technique et scientifique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé.

Phase 1 : troisième partie - expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée

Pour cette phase, le jury tient à porter à l'attention des candidats les points suivants :

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralité permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes d'énergie et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnologique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;
- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modeleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

Lors des activités pratiques, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;

- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

Le jury précise que les supports de travaux pratiques sont principalement issus des laboratoires SI, STI2D, CPGE et couvrent l'ensemble des champs disciplinaires transversaux des sciences industrielles de l'ingénieur.

Phase 2 - élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

Phase 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti de 30 minutes pour la présentation. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- expliciter les connaissances et les compétences visées par la séquence ;
- décrire le déroulement de la séquence ;
- situer la séance expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- expliciter les connaissances et compétences visées dans la séance ;
- présenter la pertinence du système pour les activités pratiques de la séance ;
- définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ainsi que les résultats attendus ;
- justifier les choix pédagogiques retenus ;
- présenter les moyens de l'évaluation des connaissances et compétences acquises par les élèves ou étudiants.

Il n'est pas attendu des candidats la présentation exhaustive des activités réalisées lors de la première phase de cette épreuve, déjà évaluées en phase 1.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;

- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

Le jury conseille, aux candidats qui n'en auraient pas eu la possibilité au cours de leur formation, de prendre contact avec un établissement scolaire dispensant les filières de formation visées par le concours et de s'y déplacer afin de prendre connaissance des réalités matérielles, humaines et organisationnelles du terrain.

Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle. Les contenus scientifiques des séquences doivent être maîtrisés par les candidats, l'accès à Internet est toujours possible sur des sites publics.

Le jury a apprécié la numérotation des pages lors de la présentation orale, lui permettant ainsi un retour rapide sur les éléments de présentation. Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés, elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

• Conclusion

La session 2022 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10/20. L'écart-type est 4,6. La meilleure note est 20/20. Et la plus faible est 2/20. La moyenne des candidats admis est de 13,1.

z

D. Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

Étude d'un robot haptique

Phase 1 – Conception et organisation d’une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)

Partie 1.1 – Conception de l’architecture de la séquence de formation imposée (0h45)

Objectifs : s’appropriier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l’architecture de la séquence de formation.

Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

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

	Choix 1	Choix 2
Titre de la séquence	Vérifier les performances cinématiques d’un système	Régler la partie commande d’un système
Niveau de formation visé	CPGE – filière scientifique – voie PTSI	CPGE – filière scientifique – voie PT
Supports pédagogiques	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l’ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : <ul style="list-style-type: none">- berceur pour bébé ; - suspension de moto BMW 1100- robot cueilleur de fruits (MaxPid) ; RS type « paralever » ;- barrière automatique de parking; - plateforme 6 axes ;- pilote hydraulique de bateau ; - portail automatisé ;- drone I2C ; - COMAX.	
Effectif	classe de 48 élèves, groupe à effectif réduit de 24 élèves	
Volume horaire	8,5 heures hebdomadaires (2 h cours + 4 h TD + 2,5 h TP)	

Les documents suivants sont fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

- le programme du niveau de formation visé (fichier *Programme PTSI-PT.pdf*) ;
- une proposition de liste de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier *Progression didactique PTSI-PT.xlsx*).

Production attendue

Une architecture de séquence pédagogique doit être proposée en s’assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, ...), leurs coordinations et leurs organisations.

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

Objectifs : découvrir le robot haptique, support de l’épreuve de travaux pratiques et présenter de manière appropriée une analyse externe et interne (partielle) du système.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- un robot Falcon autonome qui permet de découvrir les fonctionnalités du produit ;
- un robot didactisé avec pied à coulisse numérique et capteur d’effort, contraint à fonctionner suivant un seul axe, qui permet d’étudier son comportement ;
- une carte électronique de commande et d’acquisition des signaux programmable Arduino Mega.

Les matériels suivants sont disponibles dans le laboratoire
: - un oscilloscope avec sondes ; - un jeu de masses.

Un dossier ressource est fourni sous forme papier. Il comprend la définition du contexte d'utilisation du robot haptique.

Un dossier technique sous forme papier fournit les éléments suivants :

- les différentes données constructeurs utiles pour les études à mener ;
- les explications relatives à la maquette numérique CAO fournie, au format Solidworks, et son exploitation à l'aide de Méca3D ;
- les éléments utiles pour la programmation de la carte Arduino Mega et l'exploitation des résultats.

Prendre connaissance du document « Le domaine de l'haptique » du dossier ressource.

Activité 1 En manipulant le système « robot haptique » avec l'application « Falcon tutorial » sur le bureau du poste informatique noté PC LOCAL et à l'aide des dossiers technique et ressource, effectuer une mise en fonctionnement du robot. Compléter le tableau du document réponse DR1.

Prendre connaissance du document Interface « Falcon Test » page 6 du dossier technique.

Activité 2 Lancer l'application « Falcon test » sur le bureau du PC LOCAL. Manipuler la poignée d'avant en arrière et observer les informations « position sensors ». Depuis l'interface, tester les voyants. Compléter le document réponse DR2 en indiquant la nature de l'information portée par les signaux encadrés sur le diagramme des blocs internes.

Pour la suite de l'épreuve, les manipulations seront effectuées sur le banc du robot haptique didactisé, connecté au poste noté PC RESEAU.

Dans le cas d'un fonctionnement en mode télé robotique, le robot esclave doit être asservi en position. L'expérience se limite à un mouvement à une seule mobilité, les trois bras ayant alors le même mouvement (même commande moteur).

Activité 3 Suivre le protocole 1 (cf. page 8 du dossier technique) permettant, à l'aide du logiciel de pilotage Falcon-piloter (raccourci présent sur le bureau du poste noté PC RESEAU), d'acquérir la position du bras. Lancer une acquisition (appui sur le bouton « départ ») pour un échelon d'amplitude 400, avec un réglage de $K_p = 5$. Commenter les performances temporelles du système au regard du contexte en mode télé opération.

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

Problématique technique et scientifique : Comment un robot haptique permet-il à un utilisateur d'interagir avec un environnement virtuel ?

Mise en évidence de la fonction haptique

Activité 4 En suivant le protocole 2 du document technique (cf. page 9), après avoir téléversé le programme « Commande_moteur_position_poignee.ino » dans la carte Arduino Mega, et vérifié dans les outils que la carte Arduino Mega et le port adéquat ont été sélectionnés, réaliser une série d'essais permettant de ressentir l'effet haptique programmé. Décrire cet effet haptique programmé.

Activité 5 Tracer à l'aide d'Excel (en utilisant les protocoles 2bis et 3 du dossier technique pages 9 et 10) la commande_moteur en fonction de la position de la poignée. Observer et proposer un modèle de comportement de cette loi de commande.

Un listing du programme « Commande_moteur_position_poignee.ino » se situe dans le dossier technique, page 15.

Activité 6 Identifier certaines parties du programme :

- reconnaître la déclaration des différents ports de la carte d'acquisition-commande ;
- retrouver la loi de commande des moteurs ;
- expliquer chacun des termes de la commande moteur en lien avec votre ressenti haptique précédent.

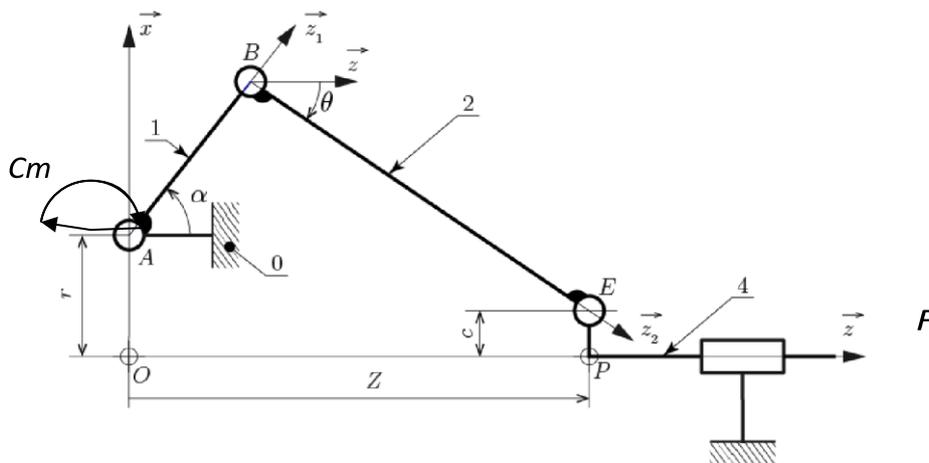
Prendre connaissance de l'annexe 12 « Brochage des sorties des codeurs sur la carte de mesure » page 20 du document technique.

Activité 7 À l'aide de la page 21 du document technique, visualiser à l'oscilloscope les signaux du codeur 1. En vous appuyant sur le programme Arduino fourni et sur vos oscillogrammes, expliquer la méthode de mesure de position.

Activité 8 Proposer à l'examineur une modification du programme Arduino permettant de réaliser une butée franche à partir de la position 300 des encodeurs (cf. p7 du dossier technique). Une fois le programme validé, téléverser et tester. Commenter le comportement obtenu et proposer d'éventuelles améliorations.

Identification de la loi de comportement en effort

Dans cette section, l'objectif est de relier l'effort F appliqué sur la poignée au couple Cm imposé par chaque moteur et à l'angle α des bras des moteurs. Le cas d'étude correspond à un couple moteur identique sur les 3 moteurs. L'angle α est introduit sur la figure ci-dessous :



Activité 9 Suivre le protocole 4 (cf. page 11 du document technique). L'étude se focalise sur un des trois parallélogrammes déformables. Situer l'un d'entre eux sur le graphe des liaisons. Mettre en relation le modèle des liaisons mécaniques de la figure page 2 du document technique avec les solutions constructives sur l'objet réel d'une part, et avec le modèle Méca3d d'autre part. Justifier les adaptations qui ont été nécessaires au niveau du modèle renseigné dans Méca3d.

Activité 10 À l'aide du protocole 5 (cf. page 12 du document technique), réaliser une simulation permettant d'obtenir, sur un débattement imposé au niveau du bras moteur de 93° , l'effort théorique en fonction du couple moteur. Le couple moteur choisi correspondra à une intensité identique de 470 mA pour chacun des 3 moteurs (cf. dossier technique page 5). Tracer dans Excel la loi de comportement théorique : $F_{th} = f(\alpha)$.

Activité 11 En suivant le protocole 2 du document technique, téléverser le programme « mesure_commande_moteur_lmot_encodeur1_F_z.ino » dans la carte Arduino Mega. Ce programme permet de mesurer l'intensité I_{mot} des courants dans les moteurs, la force F de poussée du bras, une image de l'angle α et la position du bras z pour une visualisation sur le moniteur série.

Solliciter le capteur d'effort à l'aide des masses marquées (cf. page 22 du document technique). Analyser le résultat obtenu au regard du programme Arduino.

Activité 12 Au vu des mesures récupérables par le fichier téléversé et à l'aide des données techniques fabricant, expliquer comment obtenir le couple moteur C_m et la valeur de position angulaire α du bras moteur.

Activité 13 Proposer un protocole de mesure utilisant le banc, permettant de tracer la caractéristique liant l'effort F au couple moteur C_m pour différentes positions α du bras moteur. Réaliser ces mesures pour le couple moteur défini à l'activité 10.

Activité 14 Tracer sous Excel la loi de comportement expérimentale $F_{exp} = f(\alpha)$. Comparer ce tracé avec la courbe issue de la simulation Meca3D. Conclure vis-à-vis des performances affichées dans les documents constructeurs.

Synthèse

Dans le cas général, le robot n'est pas contraint à un seul déplacement suivant z , mais possède trois degrés de liberté.

Activité 15 Proposer sous une forme simplifiée un algorithme généralisant le fonctionnement du bras haptique dans le cas d'un usage suivant les 3 degrés de liberté.

Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

Production attendue

Une séance à caractère expérimental pertinente doit être proposée après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;

- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Les éléments suivants sont fournis pour mener cette partie :

- Le robot haptique Falcon didactisé ;
- Les interfaces Falcon de pilotage et d'acquisition ;
- Les différents fichiers Arduino utilisés au cours de l'épreuve ;
- Un fichier Arduino supplémentaire « mesures globales » permettant de réaliser toutes les mesures en même temps ;
- Un oscilloscope avec son matériel de câblage ;
- Une carte interface permettant la mesure des signaux des codeurs.

Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

Production attendue

Un document numérique doit être réalisé afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;
- présenter la séance à caractère expérimental.

Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)

Épreuve d'admission d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

A. Présentation de l'épreuve

T exte de référence <http://www.devenirensignant.gouv.fr/cid98734/les-epreuves-de-l-agregation-externe-section-sciencesindustrielles-de-l-ingenieur.html>

- Durée totale : 6 heures (activités pratiques : 4 heures, préparation de l'exposé : 1 heure, exposé : 30 minutes maximum, entretien : 30 minutes maximum)
- Coefficient 2

10 points sont attribués à la première partie liée aux activités pratiques et 10 points à la seconde partie liée à la leçon.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques de spécialité du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" du lycée et des programmes de BTS et DUT des champs couverts par l'option choisie.

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

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

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

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

Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve comporte trois phases.

Phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4h00)

Cette phase, d'une durée totale de 4 heures, se déroule en trois parties dans le laboratoire où sont mis à disposition, les différents supports techniques qui permettent à chaque candidat de proposer une séquence pédagogique. Cette dernière s'appuie sur les activités pratiques réalisées par le candidat.

Première partie (durée ≈ 0h30)

Dans cette partie de prise en main du système, les études et activités proposées au candidat ont pour objectif de faciliter la compréhension de l'architecture globale du système et de son fonctionnement. À la fin de cette première partie, le jury s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de l'activité pratique ainsi que la problématique proposée.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Dans cette partie d'approfondissement, le candidat doit suivre les études et les activités proposées permettant de répondre à la problématique de l'activité pratique. Cette partie doit permettre au candidat, par la mobilisation de compétences et de connaissances caractéristiques du niveau de l'agrégation, de développer/intégrer des modules logiciels, d'intégrer du code, de debugger un programme, de résoudre les problèmes posés, puis d'en exploiter les résultats obtenus (modèles, représentation UML/SysML, algorithmes, jeu de tests, interface graphique, résultats numériques, etc...).

Troisième partie (durée ≈ 1h30)

Dans cette partie, le candidat dispose librement du support de TP pour préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique. En s'appuyant sur les développements, les investigations et les analyses effectués durant les deux premières parties ou d'autres éléments qu'il a la possibilité de concevoir, le candidat doit proposer un ou plusieurs protocoles expérimentaux lui permettant de répondre à la fois à la problématique scientifique et à la problématique pédagogique.

Cette phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel se trouve le support de TP utilisé.

L'exploitation pédagogique est relative à l'enseignement spécifique du cycle terminal :

- en lycée, de la voie technologique sciences et technologies de l'industrie et du développement durable de la spécialité système d'information et numérique (STI2D SIN) ;
- en post bac, des programmes du BTS systèmes numériques (options : informatique et réseaux, électronique et communication) et des DUT génie électrique et informatique industrielle, réseaux et télécommunication et informatique relatifs aux champs couverts par l'option ingénierie informatique.

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

Phase 2 – préparation de la présentation (durée 1h00)

Durant cette phase d'une heure, le candidat s'appuie sur la trame de la séquence qu'il a construite dans la troisième partie de la phase 1 et prépare l'intervention qu'il fera devant le jury. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet doté des logiciels courants de bureautique et de tous les résultats de mesures, analyses ou investigations issus de la phase 1.

Phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1h00)

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

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à présenter :

- le système (durée maximale 5 minutes) ;
- une synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase de l'activité pratique (durée maximale 5 minutes) ;
- son exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes). Au

cours de l'entretien, le candidat est amené à :

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et pédagogique.

Pour la présentation devant le jury, les candidats ont à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique doté des logiciels courants de bureautique, connecté à Internet et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2, stockés dans l'espace qui leur est dédié. **Systèmes proposés**

Pour la session 2022, les systèmes proposés sont les suivants :

- Drone instrumenté communicant ;
- Objets connectés ;

- Réception et traitement de données issues de modules météorologiques ;
- Robot pédagogique 4 axes ;
- Système de contrôle d'accès RFID ;
- Détection et localisation de tumeurs cérébrales par traitement d'image IRM.

Ces études permettent aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à un haut niveau scientifique associées aux tâches suivantes :

- modélisation de systèmes (UML/SYSML ...) ;
- analyse critique et validation de modèles (de calcul, de données, de logiciels, d'échange) et proposition de modifications ;
- programmation en langages C/C++, Java, Python, SQL ;
- déverminage de programmes et traces des variables ;
- configuration, déploiement et test de réseaux informatiques ;
- intégration et utilisation de bibliothèques logicielles (traitement d'images, interface graphique, protocoles réseaux, base de données ...) ;
- développement d'algorithmes spécifiques et prise en compte de leurs performances.

B. Commentaires du jury

Compétences attendues par le jury

Lors de cette épreuve d'activités pratiques, le jury évalue chez les candidats les compétences suivantes :

- faire preuve d'ingénierie pédagogique en élaborant une séance d'activités pratiques dans une séquence pédagogique cohérente, inscrite dans une progression pédagogique ;
- proposer des activités pratiques ou des modélisations nouvelles, adaptées au niveau imposé et aux objectifs de formation ;
- s'approprier un support, un environnement de développement, un système d'exploitation ; – s'approprier la problématique associée ;
- élaborer, conduire et justifier un algorithme, un développement et/ou un protocole de test ;
- exploiter et analyser des résultats de tests ;
- élaborer, justifier, analyser de manière critique un modèle ;
- évoluer en autonomie en mobilisant toutes ses connaissances et ses compétences ;
- présenter oralement ses travaux avec clarté, précision et rigueur ;
- être réactif et pertinent dans les réponses aux questions posées par les membres du jury.

Analyse des résultats

Concernant la phase 1, le jury considère que les candidats répondent favorablement aux attentes quant à leur capacité :

- à suivre des protocoles de tests en utilisant des logiciels variés et/ou en exécutant des programmes (console, analyseur de trames, debugger) ;
- à écrire du code dans des langages variés (appel de fonctions, utilisation de classes) ;

Cependant, le jury a constaté durant cette phase 1, les difficultés des candidats quant à leur capacité :

- à analyser le système d'un point de vue de l'architecture logicielle et de l'infrastructure informatique ;
- à explorer rapidement les différentes parties d'un logiciel selon des méthodes de recherche intégrées dans de nombreux environnement de développement et de systèmes d'exploitation ;
- à concevoir et réaliser de nouveaux développements pour leur séquence pédagogique.

Concernant la phase 3, la prestation orale des candidats lors de la présentation des travaux devant le jury se révèle souvent incomplète et/ou inconsistante pour les raisons suivantes :

- la présentation du système est souvent insuffisante et les représentations UML/SysML ne sont pas proposées ;
- l'analyse des résultats expérimentaux est trop souvent superficielle ;
- les temps de présentation préconisés ne sont pas toujours respectés (système, résultats expérimentaux, exploitation pédagogique) et les 30 minutes ne sont pas utilisées ;
- le choix des savoirs des séquences pédagogiques est très souvent cohérent mais le découpage en séances permettant d'évaluer les savoir-faire de manière progressive n'est pas maîtrisé ou proposé ;
- certains candidats présentent des activités « élèves » sans rapport avec les compétences visées ;
- l'exploitation pédagogique envisagée se limite trop souvent à proposer une séquence pédagogique incluant la seule activité de travaux pratiques conduite précédemment au laboratoire ;
- les moyens à mettre en œuvre compte tenu du nombre d'élèves ou d'étudiants présents dans la section considérée ne sont pas discutés et ne permettent pas de vérifier le réalisme de la solution pédagogique ;
- l'exploitation pédagogique n'utilise pas de manière pertinente le support proposé en travaux pratiques ou un autre support représentant des solutions techniques similaires, ce qui ne permet pas au jury d'apprécier la capacité du candidat à créer du contenu pédagogique à partir de systèmes réels ou didactiques ;
- le positionnement de la séquence pédagogique dans une progression pédagogique est très rarement proposé.

Conseils du jury

Pour réussir au mieux ces deux phases, le jury invite les candidats à maîtriser parfaitement l'utilisation des systèmes d'exploitation largement utilisés en ingénierie informatique (Windows, Linux, systèmes temps réel), les logiciels courants de bureautique (suite logicielle de conception de document, utilitaires classiques de capture d'écran), les concepts de la programmation objet, leur modélisation en UML et leur implémentation dans les trois langages de programmation que sont le C++, Java et Python. Les futurs candidats doivent garder à l'esprit que cette agrégation demande des qualités dépassant largement le simple exercice de programmation.

Le jury conseille aux candidats d'étudier par exemple les logiciels de contrôle commande moderne qui sont très souvent construits en couches partant du bas niveau (capteur, microcontrôleur) jusqu'aux applications de haut niveau (contrôle d'une trajectoire, interface homme-machine) en passant par des couches intermédiaires (drivers, système de messagerie, gestionnaire de tâches). Dans ces systèmes, les concepts de la programmation orientée objet sont utilisés afin de procurer à la solution informatique des caractéristiques pertinentes pour le domaine de l'ingénierie informatique.

Le jury attend que les candidats mettent à profit le temps dont ils disposent durant la troisième partie de la phase 1 (1h30) pour conduire d'autres développements (exemples de manipulations réalisées par les étudiants) que ceux demandés précédemment, sur lesquels ils pourront s'appuyer pour proposer ensuite une exploitation pédagogique originale et personnelle.

Contrairement à la première épreuve d'admission relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique, le jury de la seconde épreuve d'admission relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique rappelle que le candidat doit présenter le système étudié, les expérimentations effectuées et les résultats obtenus. Le jury cherche à évaluer la clarté d'expression, les facultés du candidat à s'approprier, à synthétiser et à restituer avec précision et rigueur les contenus techniques et scientifiques exploités lors de la première partie.

Le jury rappelle qu'il s'agit pour le candidat de présenter une séquence pédagogique inscrite dans une progression pédagogique. Dans cette séquence, doit apparaître de façon précise un ou plusieurs points caractéristiques des séances de formation proposées. L'ensemble doit prendre appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives au support proposé, en tenant compte du niveau de la formation visée et en adaptant l'exploitation du support à celui-ci.

Le jury rappelle que la conception d'une séquence pédagogique visant des savoir-faire et des savoirs doit suivre une méthodologie dont les étapes peuvent être les suivantes :

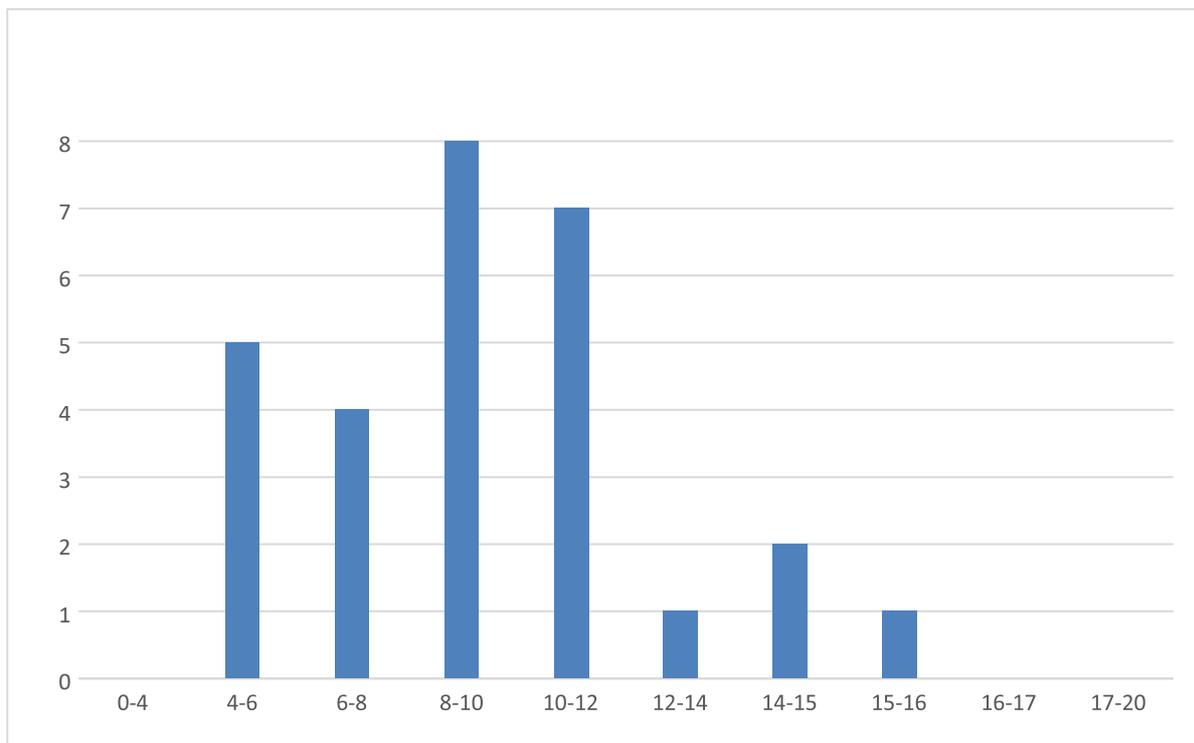
- le choix de l'objectif pédagogique qui doit s'appuyer sur un support technique représentatif des sciences de l'ingénieur. Ce dernier est imposé par le sujet de TP ;
- le choix des compétences visées par le candidat. Il n'est pas nécessaire de choisir l'ensemble des compétences définies dans le sujet de TP ;
- le choix des savoir-faire définis pour la ou les compétences choisies. L'attestation de la construction d'une compétence est obtenue en validant l'acquisition de tous les savoir-faire. Des indicateurs observables doivent permettre de les évaluer précisément ;
- le choix des savoirs associés aux savoir-faire (à positionner en prérequis, au lancement, en ressource durant les séances ou bien en synthèse) ;
- et enfin la répartition des savoir-faire et des savoirs dans chaque séance.

Le jury conseille aux candidats de préparer la partie pédagogique en utilisant les référentiels des diplômes cités dans cette épreuve.

Le jury incite également les candidats à l'agrégation à pousser la porte des lycées et des IUT ainsi que des INSPÉ ou des ENS, afin d'obtenir de la part d'enseignants de terrain ou formateurs, un maximum d'informations d'ordre pédagogique leur permettant de préparer au mieux cette épreuve.

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9,4/20. L'écart-type est de 3. La meilleure note est 15/20 et la plus faible est 4.7/20.



D. Exemple de sujet

MISE EN SITUATION

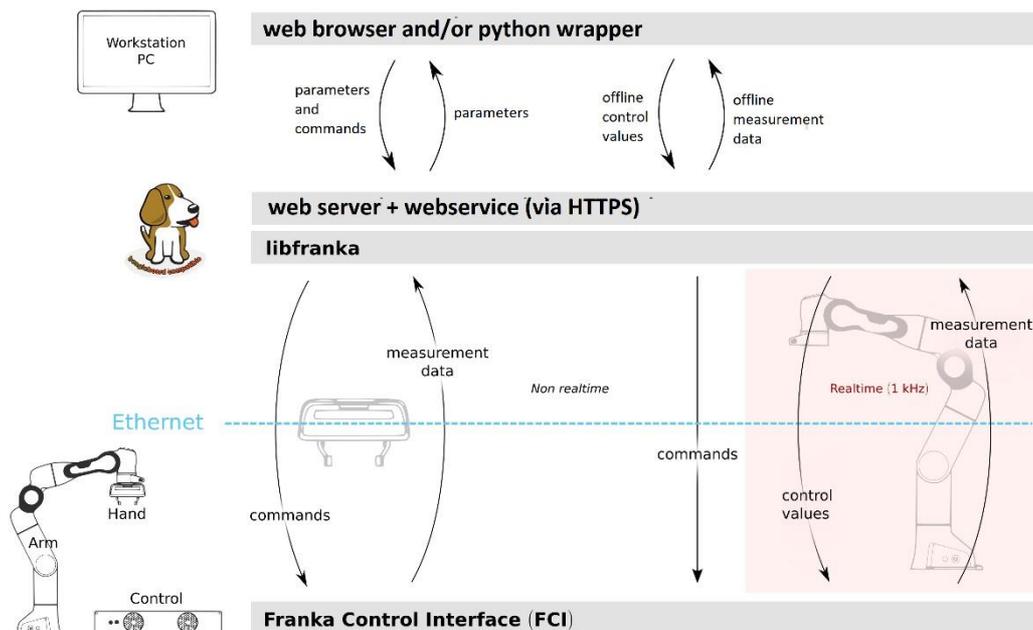
Les robots industriels sont des dispositifs automatisés présents dans des chaînes d'assemblage, d'analyse, de manutention... Leur rapidité, leur précision et leur force les rendent incontournables pour l'exécution de tâches répétitives. Ce sont des systèmes industriels complets couplant une partie mécanique, instrumentée avec de nombreux capteurs (positions, efforts...) et actionnée par plusieurs moteurs électriques. Ces moteurs sont pilotés par une application informatique distribuée assurant la précision et la rapidité des déplacements commandés par l'utilisateur.

Le système étudié est un robot industriel Franka-Emika Panda, dimensionné pour la manutention de petites pièces (<3kg) avec précision (<0.1mm). Le système industriel comprend le bras robotique ainsi que le rack de pilotage.

Dans le cadre des travaux pratiques dans l'enseignement, cet ensemble industriel est couplé à une carte de commande « temps-réel » et à un PC « grand-public ». La structure de l'application étudiée est la suivante :

- l'utilisateur utilise un navigateur web et/ou des scripts Python pour régler les paramètres et déclencher les différents déplacements ;
- la carte de commande « temps-réel » expose sous la forme d'un service web toutes les commandes utilisées par l'utilisateur. Celles-ci sont implémentées grâce à des échanges bouclés « temps réel » avec le robot ;
- le rack de commande du robot envoie à une fréquence de 1 kHz l'état complet du robot (couples, vitesses, positions, efforts mesurés...) et reçoit les commandes en positions/vitesses/couples calculées par la carte de commande « temps-réel » dans le système de coordonnées cartésien ou dans le système de coordonnées articulaires du robot. Ces commandes sont vérifiées pour valider les contraintes maximales exigées par le robot.

La figure suivante résume la structure principale de cette application :



PREMIÈRE PHASE : PREMIÈRE PARTIE (DURÉE ≈ 0H30)

Remarque : cette partie propose trois manipulations guidées dont la seule fin est de prendre en main le support et les outils logiciels. L'analyse des résultats est proposée dans la seconde partie.

Première activité (durée ≈ 0h15)

Objectifs : lancer une application dans un terminal dans l'environnement graphique Windows et Linux, identifier la structure du réseau

Sous Windows, démarrer l'application « Invite de commandes » (disponible dans le menu Windows) puis exécuter la commande « ipconfig », dans les résultats obtenus :

- identifier les paramètres du réseau (adresse IP et masque) connectant le PC au réseau de l'établissement,
- identifier les paramètres du réseau connectant le PC à la carte de commande « temp-réel » (ce réseau IP est émulé sur la liaison USB).

Sous Windows, démarrer l'application « putty » (disponible sur le bureau) :

- se connecter au serveur SSH « 192.168.7.2 » (adresse de la carte de commande),
- le nom d'utilisateur est « agregation » et le mot de passe « agregation »,
- la commande à exécuter est « ifconfig »
- dans les résultats obtenus, retrouver les paramètres du réseau connectant la carte de commande au PC,
- dans les résultats obtenus, retrouver les paramètres du réseau connectant la carte de commande au robot.

1-Dessiner la topologie du réseau. Déterminer si le PC peut communiquer directement avec le robot (l'établissement de la connexion n'est pas demandé).

L'application à exécuter est le fichier « /home/agreg/controller/bin/controller ». 2-Grâce à la commande « sudo », exécuter l'application serveur.

Un mémo d'utilisation de la console Linux est disponible en annexe en fin du sujet.

Laisser le terminal Putty ouvert et l'application active pour la suite des expérimentations.

Deuxième activité (durée ≈ 0h15)

Objectifs : découvrir l'interface web de commande haut niveau du robot à disposition pour le TP.

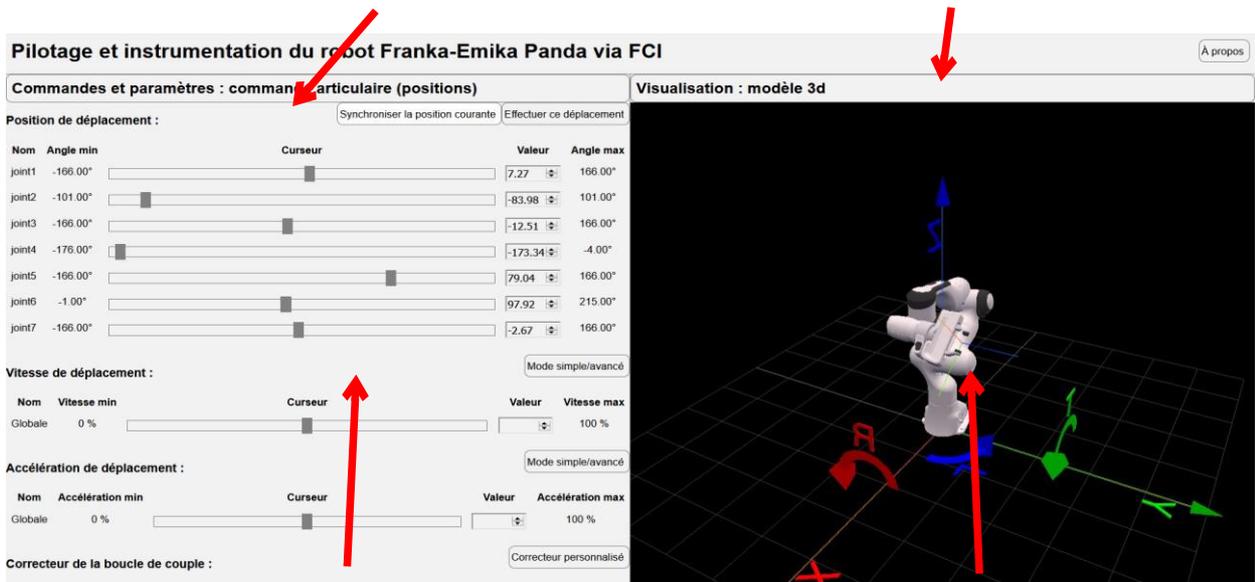
La carte BeagleBone Black intègre un serveur web NGINX à l'adresse <https://192.168.7.2/> proposant un serveur de fichiers et un proxy transparent vers le service web. Ce lien est à ouvrir dans un navigateur web (Firefox ou Chrome ou Edge).

La fenêtre du navigateur est scindée en deux parties :

- la colonne de gauche liste les commandes et paramètres disponibles,
- la colonne de droite affiche les données issues de l'état du robot.

Sélection de la colonne de gauche

Sélection de la colonne de gauche



Colonne de gauche

Colonne de droite

Les couleurs à la base et sur le poignet du robot indiquent son état d'exécution :

white	Interactive	safe interact on with Panda is possible
blue	Activated	at enter on: Panda is enabled for motion and could start any moment
green	Automatic execution	Panda is carrying out an automatic program and is moving independently
yellow	Locked	Panda is locked mechanically or cannot be used
pink	Conflict	Panda is receiving conflicting enable signals
red	Error	an error has occurred

Lorsque les lumières de sa base sont jaunes, la commande pour débloquer les freins du robot est présente dans la page « Système » de la colonne de gauche (utiliser le bouton de sélection pour activer la page « Système »).

Lorsque les lumières de sa base sont bleues, le robot est activé, celui-ci peut être désactivé en enfonçant le bouton « coup de poing noir ».

Le robot peut être guidé manuellement lorsque les lumières de sa base sont « blanches » : saisir la poignée



à l'aide des deux boutons de guidage manuel « Enabling Button » et « Guiding Button ».

La position géométrique de la pince dans le repère cartésien peut être visualisée depuis la colonne de gauche dans la page « commande cartésienne (positions) ».

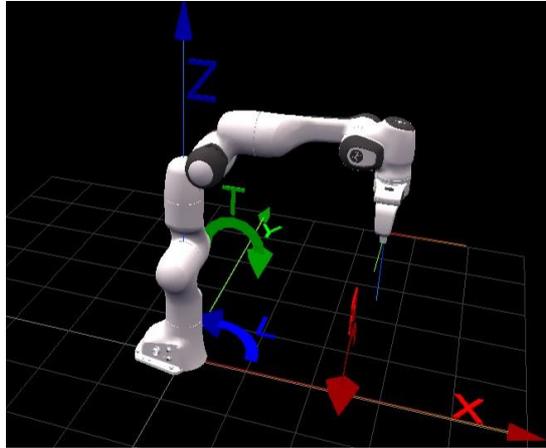
Commandes et paramètres : commande cartésienne (positions)

Position de déplacement dans le repère du robot :

Synchroniser la position courante

Effectuer ce déplacement

3-A l'aide du déplacement guidé à la main, vérifier le système de coordonnées utilisé par le robot. Identifier les six degrés de liberté du mouvement mécanique de la pince du robot (X/Y/Z/Roulis/Tangage/Lacet). Finalement placer le robot approximativement dans la position suivante :



Les positions des articulations du robot peuvent être visualisées (et déplacées) depuis la colonne de gauche dans la page « commande **articulaire** (positions) ».

Commandes et paramètres : commande articulaire (positions)

Position de déplacement :

Synchroniser la position courante

Effectuer ce déplacement

4-Relever les positions angulaires des 7 articulations du robot. Modifier ces 7 positions angulaires pour obtenir la configuration suivante :

joint1	joint2	joint3	joint4	joint5	joint6	joint7
0°	0°	0°	-90°	0°	90°	45°

Cliquer sur le bouton « Effectuer ce déplacement » en haut de la colonne de gauche. Le déplacement est effectué lors de la pression sur la poignée d'activation :

PREMIÈRE PHASE : DEUXIÈME PARTIE (DURÉE ≈ 2H00)

Remarque : cette partie propose un certain nombre de pistes de réflexion permettant d'élaborer une démarche d'analyse scientifique et technique. Lors de la présentation orale, les réponses apportées ne doivent pas (nécessairement) se faire suivant l'ordre indiqué dans le sujet mais suivant un plan personnel.

Première étude (durée ≈ 40 minutes)

Objectif : analyser et piloter le fonctionnement d'un service web

Le navigateur web communique avec le serveur web hébergé sur la carte de commande avec de nombreuses requêtes envoyées via le protocole HTTPS.

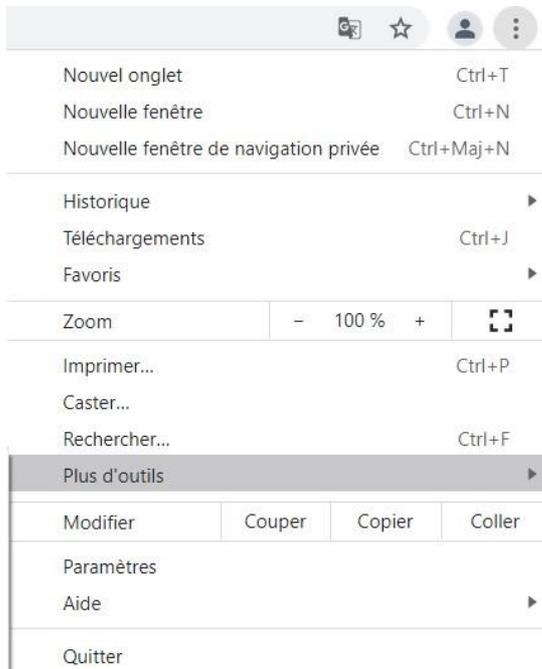
Les navigateurs web « modernes » fournissent des outils de développement pour analyser toutes les actions réalisées par une page :

Dans Firefox



Puis « Outils de développement web »

Dans Chrome



Puis « Outils de développement » Dans la barre en haut de la fenêtre de débogage, cliquer sur l'onglet « Network » ou « Réseau ». Puis dans la fenêtre principale du navigateur, sélectionner « Commande articulaire (positions) » dans la colonne de gauche.

Cette action de l'utilisateur a déclenché l'envoi de trois requêtes vers le serveur web hébergé par la carte de commande.

5-Observer les URL de ces trois requêtes, observer les données envoyées par le navigateur vers le serveur et les données répondues par le serveur vers le navigateur. Décrire le format des données répondues par le serveur. En ouvrant un nouvel onglet dans le navigateur, vérifier l'obtention des mêmes résultats en utilisant les mêmes URL. Décrire les grandeurs répondues par le serveur. Préciser les unités angulaires utilisées lors de ces transferts.

La liste des requêtes disponibles pour ce service web est disponible dans sa documentation en ligne à l'adresse <https://192.168.7.2/stream/query?help>

6-Effectuer un déplacement angulaire du robot depuis l'interface web. Observer et décrire les requêtes observées. En couplant ces résultats avec la question précédente, en déduire le format générique des requêtes pour lire ou écrire des paramètres dans le service web.

Le PC dispose de l'environnement de développement Python « Spyder » ainsi que de la bibliothèque « requests ». Ci-dessous un exemple d'utilisation de cette bibliothèque :

```
import requests;
r = requests.get("request URL here",verify=False)
a = r.json()
a.get("parameter name here")
```

7-D'après la documentation en ligne de cette bibliothèque, expliquer l'intérêt du paramètre « verify=False » pour l'exécution de cette requête vers le serveur 192.168.7.2.

8-En Python, assembler les différentes requêtes successives pour obtenir le déplacement articulaire vers la position :

Joint 1	Joint 2	Joint 3	Joint 4	Joint 5	Joint 6	Joint 7
0°	0°	0°	-90°	0°	+90°	+45°

9-Compléter le programme précédent pour obtenir 3 aller-retours entre la position précédente (position 1) et la position 2 en coordonnées articulaires :

Joint 1	Joint 2	Joint 3	Joint 4	Joint 5	Joint 6	Joint 7
45°	-2.03°	0°	-164.51°	0°	+162.47°	-45°
45°	-2.03°	0°	-164.51°	0°	+162.47°	-45°

Deuxième étude (durée ≈ 20 minutes)

Objectif : déploiement de l'application sur le système, ajustement des privilèges utilisateur

L'application s'exécute actuellement sur le système avec les privilèges « super-utilisateur » (root). Dans le but de limiter les accès, il est nécessaire d'exécuter cette application en tant qu'utilisateur « agregation ». Dans l'environnement Unix (et Linux), les droits des utilisateurs sont gérés comme étant des appartenances à des groupes.

10-Dans le terminal putty, vérifier l'impossibilité d'exécuter l'application en tant qu'utilisateur « agregation » (sans la commande « sudo »).

Cette application nécessite une priorité d'exécution « temps-réel » sur un noyau « temps-réel », ce niveau de priorité est paramétré dans le fichier « /etc/security/limits.conf ». Dans ce fichier, les lignes commençant par le caractère « # » sont des commentaires.

11-Visualiser le contenu de ce fichier. Relever les niveaux maximaux de priorité « priority » et « rtprio » paramétrés dans ce fichier. Identifier le domaine de ces niveaux de priorité.

12-En vous aidant du guide d'utilisation de la console en annexe à ce sujet, ajuster les droits de l'utilisateur « agregation » afin que les applications qu'il exécute puissent obtenir le niveau de priorité maximal défini. Vérifier la prise en compte des modifications en exécutant l'application à nouveau.

Cette application requiert l'accès en lecture et en écriture aux « sockets » présents dans le répertoire « /var/www/socket/ ».

13-Vérifier le groupe nécessaire à l'ouverture de ces fichiers. Ajuster les droits de l'utilisateur « agregation » en conséquence. Vérifier la prise en compte des modifications en exécutant l'application à nouveau. Vérifier la fonctionnalité complète de l'application en se connectant sur le serveur web à l'adresse <https://192.168.7.2/>.

Troisième étude (durée ≈ 60 minutes)

Objectif : implémenter le programme de contrôle nécessaire à l'application d'un effort vertical de 5 N vers le bas dans le domaine cartésien

Le robot Panda possède sept articulations sous la forme de liaisons pivots commandées. Ces actionneurs ainsi que leur disposition mécanique autorisent l'application d'efforts maîtrisés dans toutes les directions.

Les couples commandés aux sept actionneurs peuvent être calculés automatiquement dans la boucle de contrôle en fonction de la position des sept actionneurs. Le robot utilise exclusivement des unités du système international et compense automatiquement le couple lié aux poids de ses différentes pièces.

Les calculs nécessaires au contrôle devront être rapides : le robot envoie toutes les 1 ms la position de toutes les articulations et attend en retour les valeurs des couples à appliquer dans un délai de 300 μ s. Ce délai maximal comprend :

- les transferts aller/retour sur le réseau Ethernet Gigabit entre le robot et la carte de contrôle ;
- le temps de calcul par le programme exécuté sur la carte de contrôle.

Une attention particulière doit être portée à l'optimisation du temps d'exécution du code. Lors de son exécution dans la boucle de contrôle, celui-ci ne pourra pas afficher de données dans la console par exemple. Les affichages seront néanmoins possibles lors de la mise au point et des tests unitaires des différentes fonctions.

Un recueil des relations mécaniques utiles à la résolution de ce problème est disponible en annexe.

En utilisant l'interface web du robot, le déplacer dans la position articulaire suivante :

Joint 1	Joint 2	Joint 3	Joint 4	Joint 5	Joint 6	Joint 7
0°	20,76°	0°	-151,26°	0°	172,02°	45°

Dans le repère du robot, l'objectif de cette partie est d'appliquer un effort vertical orienté vers le bas de 5 N à l'extrémité de l'actionneur.

14-A l'aide des repères d'orientation placés sur le robot, évaluer sommairement le couple nécessaire à l'application de cet effort à l'extrémité de l'actionneur : négatif, nul ou positif.

Le fichier « /home/agregation/efforts/efforts.cpp » contient le code à compléter pour répondre aux questions suivantes. Ce fichier source peut être compilé grâce à la commande « make ». L'application peut être exécutée grâce à la commande « ./efforts ».

15-Compléter le programme fourni pour afficher (comme un vecteur) le contenu de la matrice de transformation homogène de la base de l'actionneur. Extraire spécifiquement de cette matrice de transformation homogène les coordonnées cartésiennes de l'origine de la pince. Vérifier la cohérence de cette position par des considérations géométriques sur le robot.

L'algorithme de calcul des couples articulaires requiert la détermination de toutes les positions cartésiennes de tous les actionneurs du robot. Ces positions dans le repère cartésien peuvent être déterminées grâce aux positions articulaires $q_0q_1\dots q_6$. En robotique, cela revient à calculer le modèle cinématique direct :

- le repère mécanique du bâti est une matrice de transformation homogène « identité » de dimension 4x4 ;
- la matrice de transformation homogène du premier segment du robot est obtenue par une translation fixe puis une rotation variable selon l'axe \vec{z} de l'angle q_0 ;

- la matrice de transformation homogène du second segment du robot est obtenue à partir de la matrice de transformation homogène du premier segment par une translation fixe, puis une rotation fixe selon l'axe \vec{x} puis une rotation variable selon l'axe \vec{z} de l'angle q_1 ;
- et ainsi de suite pour toutes les articulations.

Les fonctions de translation « translate » et de rotation selon l'axe \vec{z} « rotateZ » sont fournies.

15-Implémenter la fonction de rotation selon l'axe \vec{x} « rotateX », les opérations peuvent être fortement simplifiées en tenant compte des éléments nuls des différentes matrices.

Le tableau ci-dessous, issu de la documentation du fabricant, exprime dans l'ordre de gauche à droite les rotations fixes, translations fixes et rotations variables nécessaires, pour l'obtention des matrices de transformation de chaque articulation :

Repère	Translation fixe selon \vec{x} (en m)	Translation fixe selon \vec{y} (en m)	Rotation fixe selon \vec{x} (en rad)	Rotation variable selon \vec{z} (en rad)
Articulation 1	0	0,333	0	q_0
Articulation2	0	0	$-\pi/2$	q_1
Articulation3	0	0,316	$\pi/2$	q_2
Articulation4	0,0825	0	$\pi/2$	q_3
Articulation5	-0,0825	0,384	$-\pi/2$	q_4
Articulation6	0	0	$\pi/2$	q_5
Articulation7	0,088	0	$\pi/2$	q_6

La figure suivante illustre le positionnement des repères des 7 articulations sur le robot conformément à ce tableau.

16-Dans la fonction « computeTorques », appeler successivement les fonctions disponibles pour obtenir la position de chaque articulation. Afficher les positions obtenues et vérifier leur cohérence par des considérations géométriques sur le robot.

Chaîne cinématique du robot Panda (source: documentation Franka-Emika)

Le couple C_i nécessaire pour chaque articulation i peut être calculé à partir de l'effort final requis \vec{F} à la position de l'actionneur \vec{OP} , de la position \vec{OA}_i et de l'orientation \vec{R}_i de chaque articulation grâce à la relation vectorielle :

$$C = \begin{bmatrix} x_f & y_f & z_f \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} x_{ri} \\ y_{ri} \\ z_{ri} \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} x_p - x_{ai} \\ y_p - y_{ai} \\ z_p - z_{ai} \end{bmatrix} \right) \text{ (explications en annexes)}$$

17-Implémenter ces relations au fur-et-à-mesure des calculs dans la fonction « computeTorques ». Afficher le couple calculé pour chaque articulation. Vérifier la cohérence de ces résultats avec les considérations réalisées dans la question 14.

La dernière étape est de tester le code dans la boucle de contrôle du robot. Il faut pour cela désactiver toutes les sorties vers la console qui ont permis la mise au point du code. Puis, dans le code fourni (fin de la fonction « main »), activer l'appel à la fonction robot.control.

18-Recompiler l'application et vérifier expérimentalement les résultats obtenus.

Épreuve d'admission de soutenance d'un dossier industriel

A. Présentation de l'épreuve

Texte de référence

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

- Durée de la préparation des moyens de l'exposé : 30 minutes
- Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum, entretien avec le jury : 30 minutes)
- Coefficient 2

L'épreuve consiste en la soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique réalisé par le candidat dans un des domaines de l'option préparée, suivie d'un entretien.

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en cycle terminal du lycée, en classes préparatoires aux grandes écoles, en sections de techniciens supérieurs et instituts universitaires de technologie.

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système technique dont la dominante est choisie par le candidat. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs.

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

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

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

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

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

B. Commentaires du jury

Au préalable, le jury souhaite souligner :

- qu'il est incompréhensible que quelques dossiers puissent être hors du périmètre de l'ingénierie informatique ou à sa marge ce qui est fortement pénalisant ; faut-il rappeler que

le candidat doit réaliser un dossier technique et scientifique où la part d'ingénierie informatique est prépondérante ?

- que le candidat doit s'appuyer sur des éléments authentiques du système présenté pour fonder ses développements scientifiques, technologiques et pédagogiques ;
- que le candidat doit énoncer clairement la ou les problématiques traitées ;
- qu'il est conseillé de prendre connaissance du référentiel de compétences des métiers du professorat et de l'éducation.

Il est rappelé que cette épreuve a pour objectif de mesurer l'aptitude du candidat à trouver « les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement ». Pour les candidats qui se représentent au concours, il est conseillé d'étoffer significativement leurs développements ou de renouveler lesdits supports.

Les candidats n'ont pas à présenter leur parcours professionnel lors de cette épreuve.

• Principaux conseils

L'épreuve de dossier nécessite anticipation, développements et préparation spécifique :

- le dossier réalisé par le candidat est relatif à un système authentique et actuel d'un domaine significatif de l'ingénierie informatique en sciences industrielles de l'ingénieur en lien avec des enjeux sociétaux. Les systèmes novateurs sont appréciés. Les éléments fournis doivent permettre d'attester de l'implication et des apports personnels ;
- la ou les problématiques scientifiques et/ou technologiques liées au système sont à exprimer avec clarté et précision ;
- il est attendu du candidat un développement scientifique et technologique, personnel, d'ingénierie informatique, référencé dans le dossier. Il sera traité à un niveau master 2 avec une démarche et des fondements scientifiques (théories, publications référencées, brevets, ...). La modélisation, l'implémentation, la programmation, l'architecture des systèmes, la communication (réseaux, IoT, IHM, IA, ...), sont des éléments essentiels de l'ingénierie informatique. Il est attendu du candidat qu'il utilise les outils « métiers » de l'ingénierie informatique adaptés aux problèmes traités ;
- il est attendu du candidat une analyse critique (qualitative, quantitative), une prise de recul, et des éléments de réponse et d'amélioration en rapport avec la problématique initiale annoncée ;
- une simple analyse d'un produit est hors sujet ;
- un partenariat réel avec l'entreprise est demandé. En retour, les études et expertises conduites par le candidat sont communiquées à l'entreprise en vue d'une valorisation. Les éléments témoignant des échanges entre le ou la candidate et l'entreprise sont un gage d'authenticité. Il est souhaitable, dans la mesure du possible, qu'un accord de confidentialité soit signé entre les parties prenantes en vue de protéger les intérêts réciproques. En cas de confidentialité réclamée, il est impératif de la mentionner clairement dans le dossier ;
- les exploitations pédagogiques proposées doivent être en cohérence avec le système support, la problématique, et les développements scientifiques et technologiques.
- l'exploitation pédagogique doit être développée en précisant les référentiels ou programmes choisis au regard de la spécialité ingénierie informatique, les compétences et connaissances associées et l'organisation matérielle des activités d'enseignement. Des propositions

d'exploitation pédagogique dans une perspective d'activités pluritechnologiques ou interdisciplinaires sont appréciées ;

- au moins une activité sera développée en cohérence avec le référentiel ou programme ciblé, et située dans une progression pédagogique sur un temps plus long. Les documents élèves de cette activité sont à présenter. Une attention particulière sur les stratégies pédagogiques est attendue ;
- il est attendu la mise en place de modalités d'évaluation des compétences argumentées prenant en compte la diversité des élèves et l'inclusion scolaire ;
- l'innovation pédagogique utilisant des outils numériques « métiers » et connexes est appréciée s'ils apportent une valeur ajoutée pédagogique ;
- les séquences proposées doivent s'inscrire dans une progression générale formalisée ;
- le développement pédagogique est l'occasion de mettre en évidence comment faire partager les valeurs de la république aux élèves.

• Réalisation du dossier

La forme et la qualité de réalisation du dossier montrent que le candidat a réfléchi à la teneur du message qu'il souhaite communiquer aux membres du jury. Pour cela :

- les éléments figurant dans la clé USB doivent être cités dans le corps du texte du dossier chaque fois que nécessaire et référencés dans une annexe. Il est conseillé de distinguer les fichiers des parties scientifique/technologique et pédagogique en deux sous-répertoires différents ;
- les règles de citation des sources (des tables, illustrations, articles, références ...) doivent être respectées ;
- le dossier doit comporter un titre, un sommaire, une conclusion et être paginé. Les tableaux, graphiques et annexes doivent être correctement référencés et récapitulés dans des tables dédiées ;
- le dossier ne doit en aucun cas être un manuel d'utilisation ou une documentation commerciale ;
- le dossier doit être rédigé dans une langue Française soignée en tenant compte des règles grammaticales et orthographiques ;
- les développements et résultats des expérimentations et mesures réalisées doivent être référencés dans le dossier et présents en annexes ;
- le dossier doit résulter d'un travail personnel du candidat. Le jury qui a étudié l'ensemble des dossiers au préalable utilise des moyens informatiques de détection de plagiat ;
- les dossiers doivent être parvenus au secrétariat du jury cinq jours ouvrés avant le début des épreuves d'admission.

• Présentation orale

Durant les 30 minutes de l'exposé, le candidat doit mettre en valeur ses qualités de communicant pour expliquer ses choix, ses démarches et ses analyses, dans le champ de l'ingénierie informatique. Le jury veillera à ce que le candidat ne dépasse pas les 30 minutes autorisées. L'échange avec le jury permet d'approfondir certains points présentés dans le dossier ou durant l'exposé. Cet échange porte tant sur les développements scientifiques et technologiques que sur les propositions d'exploitation pédagogique qui en découlent. Le choix des éléments présentés à l'oral est important. Le candidat peut utiliser tout support permettant d'attester des réalisations (vidéo de présentation ou lien vers des démonstrations). Les documents vidéoprojetés doivent être lisibles. Il est conseillé de numéroter les diapositives pour faciliter les échanges avec les membres du jury.

Le jury élargit son questionnement pour vérifier que le candidat a entrepris une réelle réflexion sur :

- les finalités de l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur, ses interactions avec d'autres disciplines et les démarches pédagogiques ;
- les compétences (référentiel métier) qu'un enseignant doit développer ainsi que sur les missions qui lui sont confiées ;
- les situations au cours desquelles, en tant qu'agent du service public d'éducation, il est en position de faire partager les valeurs et les principes de la République.

C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9,1. L'écart-type est de 4 . La meilleure note est 16,5/20 et la plus faible est 2/20. La moyenne des candidats admis est de 11,4/20.

Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

« Lors des épreuves d'admission, outre les interrogations relatives aux sujets et à la discipline, le jury pose les questions qu'il juge utiles lui permettant d'apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à prendre en compte dans le cadre de son enseignement la construction des apprentissages des élèves et leurs besoins, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier, à en connaître de façon réfléchie le contexte, les différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société) et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

Le jury peut, à cet effet, prendre appui sur le référentiel des compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation fixé par l'arrêté du 1^{er} juillet 2013. »

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

Le candidat doit prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multi-physiques participent à cet objectif ;

- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

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

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

- les droits et obligations du fonctionnaire présentés sur le portail de la fonction publique (<https://www.fonction-publique.gouv.fr/droits-et-obligations>) ;
- les articles L 111-1 à L 111-4 et l'article L 442-1 du code de l'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 ? », Conseil des sages de la laïcité, janvier 2020 (<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>) ;
- « L'idée républicaine aujourd'hui », Conseil des sages de la laïcité ;
- « 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>).