



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : agrégation interne et CAER-agrégation

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions

Session 2024

Rapport de jury présenté par : Monsieur Vincent MONTREUIL, inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche

Table des matières

Résultats statistiques de la session 2024	3
Avant-propos	4
Épreuves d'admissibilité	5
I. Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique	5
II. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	25
Épreuves d'admission	53
III. Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique	53
IV. Épreuve sur dossier	60

Ce rapport est rédigé sous la responsabilité du président du jury.

Le lycée Pierre Joël Bonté à Riom a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2024 de l'agrégation interne section sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie des constructions, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 15 au 18 avril 2024. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à madame la proviseure de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Résultats statistiques de la session 2024

Pour le concours de l'agrégation

Inscrits	Nombre de postes	Présents à l'ensemble des épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents à l'ensemble des épreuves	Admis
130	7	71	15	15	7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible					13,29
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible					9,96
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis					14,98
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis					10,15

Pour le concours CAER-agrégation

Inscrits	Nombre de postes	Présents à l'ensemble des épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents à l'ensemble des épreuves	Admis
12	1	6	2	2}	1
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible					10,6
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible					10,25
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis					9,32
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis					9,32

Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier les candidats capables d'enseigner les Sciences Industrielles de l'Ingénieur et notamment l'ingénierie des constructions à un haut niveau de compétences scientifiques, technologiques et pédagogiques. Les épreuves proposées aux candidats permettent de révéler leur potentiel d'adaptabilité, leur capacité à faire évoluer leurs pratiques pédagogiques et à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution.

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

Sur le plan professionnel, le jury recrute des enseignants en pleine maîtrise du vocabulaire technique courant de l'acte de construire. Les principales démarches de conception mais aussi de réalisation des ouvrages, et d'organisation de chantier, doivent être connues. Les principaux outils doivent être identifiés ainsi que leurs potentialités professionnelles et pédagogiques.

La maîtrise d'un logiciel ou appareil donné n'est pas demandée, mais il est fortement recommandé de s'entraîner à manipuler des outils variés du professionnel de l'ingénierie des constructions et des outils du professeur (modeleurs, simulateurs, appareils de mesures...).

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

Le jury attend des candidats, dans toutes les épreuves, une expression écrite et orale de qualité. L'agrégation interne est un concours de recrutement de professeurs qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue adaptée aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de la catégorie A de la fonction publique.

Le présent rapport participe à la préparation des candidats pour la session 2024 du concours. Les conseils prodigués constituent une aide précieuse et le jury encourage vivement les candidats à les prendre en compte dans le cadre d'une préparation soutenue et continue.

Le président du jury de l'agrégation SII option Ingénierie des constructions

Épreuves d'admissibilité

I. Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique

Présentation de l'épreuve

- Durée : 5 heures
- Coefficient : 2

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

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

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

Résultats

Agrégation interne	
Moyenne	7,9
Note minimale	3,8
Note maximale	14,04
Ecart type	2,3

CAER-agrégation	
Moyenne	7,9
Note minimale	5,91
Note maximale	11,2
Ecart type	2,3

Présentation du sujet

L'étude proposée dans le cadre de l'épreuve porte sur la Couverture du cours Philippe CHARTIER du site Roland-Garros à Paris. Livrée à l'été 2020 pour la Fédération française de tennis (FFT), la couverture composée de 11 ailes et dont la particularité est d'être rétractable permet désormais d'accueillir 150 000 visiteurs supplémentaires à chaque tournoi sur des plages horaires élargies.

L'étude est composée de trois parties :

- la partie 1 qui porte sur le déplacement des ailes qui doit se faire simultanément afin d'obtenir un effet de dilatation en un temps de déploiement maximal imposé.

- la partie 2 qui vise à calculer toutes les charges qui s'appliquent sur un bogie en vue du choix du moteur.
- la partie 3 qui porte sur le choix d'un motoréducteur pour une aile, et la définition du type de commande pour obtenir le mouvement de déploiement souhaité et sécurisé.

Dans la partie 1, il s'agissait de tracer les profils de vitesse et d'accélération de deux ailes pour valider l'effet de déploiement.

Dans la partie 2, les candidats devaient calculer la combinaison des charges en incluant la dimension climatique (calcul de la charge de neige et report de l'ensemble des charges sur le bogie).

Dans la partie 3, il s'agissait de vérifier les caractéristiques d'un motoréducteur choisi, et de trouver une solution de commande permettant la synchronisation des bogies.

Éléments de correction

Partie 1 - Déploiement de la couverture

Q1 - Déterminer les déplacements totaux que doivent effectuer les ailes 1 et 10 pendant la durée t_3 (notés $d_{3,a1}$ et $d_{3,a10}$) entre les configurations pliées et dépliées présentées sur le document **DT3**.

$$d_{3,a1} = 91300 - 29000 = 62300 \text{ mm}$$

$$d_{3,a10} = 9130 - 2900 = 6230 \text{ mm}$$

Q2 - Déterminer pour chaque aile sa vitesse lors de la phase à vitesse constante (notées respectivement v_{a1} et v_{a10}). **Tracer** les profils de vitesse pour les ailes 1 et 10 en fonction du temps sur le diagramme vitesse du document réponse **DR1** (les valeurs en ordonnée seront à préciser).

$$v_{a1(m.s^{-1})} = \frac{d_{3,a1}}{900 - 10} = \frac{62300}{890} = 70 \text{ mm} \cdot s^{-1} = 0,070 \text{ m} \cdot s^{-1}$$

$$v_{a10(m.s^{-1})} = \frac{d_{3,a10}}{900 - 10} = \frac{6230}{890} = 7 \text{ mm} \cdot s^{-1} = 0,007 \text{ m} \cdot s^{-1}$$

Voir profil de vitesse sur DR1

Q3 - Calculer les valeurs numériques des constantes A et B en unités SI.

$$v_{an(m.s^{-1})} = A \cdot n + B$$

$$v_{an(m.s^{-1})} = -0,007 \cdot n + 0,077$$

Q4 - Déterminer les vitesses angulaires du pignon de l'aile 1 et 10. En considérant le couple nécessaire constant, **justifier** l'utilisation de trois motoréducteurs différents pour le déplacement des ailes.

$$\omega_{an(rad.s^{-1})} = \frac{2 \times v_{an}}{D_{pc}} \quad \text{avec} \quad D_{pc(m)} = 0,318 \text{ m}$$

$$\omega_{a1(rad.s^{-1})} = \frac{2 \times 0,07}{0,318} = 0,44 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

$$\omega_{a10} (\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}) = \frac{2 \times 0,007}{0,318} = 0,044 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

En considérant que le déploiement des ailes nécessite un couple constant, la puissance des moteurs est optimisée en fonction des vitesses de déplacement des ailes.

Moteur 11 kW / 4 pôles (1500 tr·min⁻¹) avec une réduction de 283 dispose d'un couple 19820 Nm

Moteur 3 kW / 6 pôles (1000 tr·min⁻¹) avec une réduction de 334 dispose d'un couple 17507 Nm

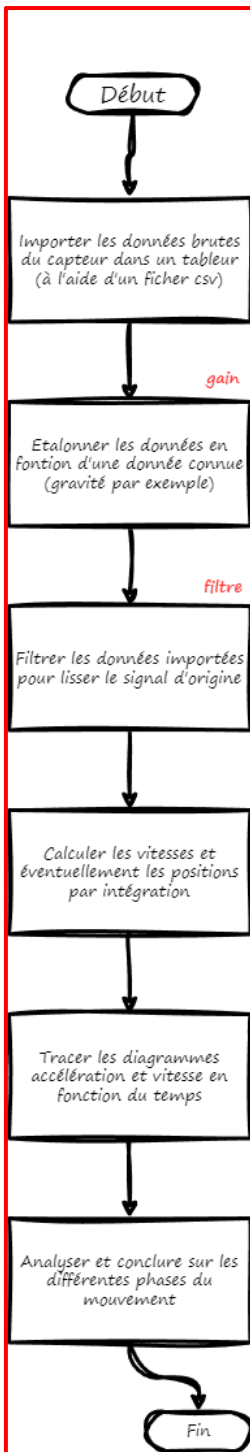
Moteur 2,2 kW / 6 pôles (1000 tr·min⁻¹) avec une réduction de 898 dispose d'un couple 18926 Nm

On observe que les vitesses en sortie des réducteurs sont toujours supérieures à la vitesse de rotation des pignons. Associés à des variateurs de vitesses, ces moto-réducteurs pourront fournir ce couple aux vitesses attendues

Q5 - Proposer une fiche méthodologique (format recto A4) à destination des élèves permettant de tracer les profils de position, de vitesse et d'accélération à partir de résultats expérimentaux et d'identifier le type de mouvement.

fiche méthodologique

Comment tracer les profils de position, vitesse et accélération à partir de résultats expérimentaux ?



- Utiliser par exemple la moyenne des mesures de l'accélération verticale qui doit être égale à la pesanteur ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$) quand l'objet est immobile
- Utiliser le gain pour déterminer les accélérations des autres axes
- Exprimer les données en unité SI

$$\text{moy}_z \times \text{gain} = 9,81$$

- Filtrer les données (Moyenne mobile, filtre de kalman, filtre passe-bas, ...)

- En tenant compte des conditions initiales, calculer les vitesses instantanées

$$V_{t+dt} = a \cdot dt + V_t$$

Trajectoires

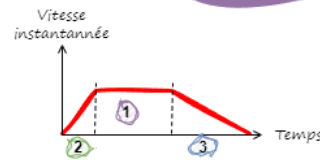
rectiligne



curviligne



circulaire



- mouvement uniforme : la vitesse instantanée est constante, l'accélération instantanée est nulle (1)
- mouvement accéléré : la vitesse instantanée augmente, l'accélération instantanée est positive (2)
- mouvement retardé ou ralenti : la vitesse instantanée diminue, l'accélération instantanée est négative (3)

Mouvements

Partie 2 - Détermination des charges appliquées sur un bogie

2.1 - Charges de neige appliquées au système

Q6 - Calculer la charge de neige surfacique S appliquée à la couverture, puis la charge de neige ponctuelle S_p appliquée au point A à l'aide du formulaire donné sur le **DT7**.

Zone A1 $\rightarrow S_k = 0,45 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$

Charge de neige surfacique : $S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \times 1 \times 1 \times 0,45 = \mathbf{0,36 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}}$

Surface totale de neige sur l'aile $S = 1166,7 \text{ m}^2 \rightarrow$ Surface de neige sur une $\frac{1}{2}$ aile = $583,35 \text{ m}^2$

Charge ponctuelle de la neige sur une $\frac{1}{2}$ aile : $S_p = 583,35 \times 0,36 = \mathbf{210 \text{ kN}}$

Q7 - Calculer la charge de l'accumulation de neige S_a dans le chéneau en $\text{kN}\cdot\text{ml}^{-1}$, puis en kN appliquée sur le bogie.

Charge d'accumulation de neige dans le chéneau = $2 \cdot 0,74 = \mathbf{1,48 \text{ kN}\cdot\text{ml}^{-1}}$

Charge d'accumulation appliquée sur le bogie = $1,48 \cdot$ Longueur de la $\frac{1}{2}$ aile
= $1,48 \cdot 50,8 = \mathbf{75,2 \text{ kN}}$

Q8 - Conclure et justifier sur la valeur de la charge à retenir.

Pour la suite, on retiendra uniquement la charge de neige ponctuelle S_p ($= 210 \text{ kN}$) qui est supérieure à la charge de l'accumulation de neige S_a ($= 75,2 \text{ kN}$).

2.2 - Descente de charge sur bogie

Q9 - Calculer le moment engendré par la charge de neige ponctuelle S_p au point **D**.

$$\left| \overrightarrow{M_{y/D}} \right| = S_p \times 1,55 = - 210 \times 1,55 = - 325,5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Q10 - Déterminer l'expression littéral du torseur d'action mécanique du vent sur la $\frac{1}{2}$ aile au point **D**. **Réaliser** l'application numérique.

Torseur pour la charge de vent (pression)

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2 aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & M_y \\ F_z & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -297,7 + F_x \times 0,72 - F_z \times 0,146 \\ -139,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2 aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -297,7 + (-116,7 \times 0,72 - (-139,4 \times 0,146)) \\ -139,4 & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2 aile}\}_{/D} = \begin{Bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & M_y \\ F_z & 0 \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} -\mathbf{116,7} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{361,4} \\ -\mathbf{139,4} & \mathbf{0} \end{Bmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Q11 - Calculer, à l'aide du formulaire du **DT8**, pour la combinaison de charges à l'ELU (STR) en Vent dominant-Pression les efforts F_x , F_z et M_y appliqués au point **D**. **Conclure** sur les valeurs F_x , F_z et M_y à retenir.

D'après le DT8, les valeurs F_x , F_z et M_y les plus défavorables sont celles avec le vent dominant en pression :

$$F_x = 1,1 \cdot 1,35 \cdot 0 + 1,1 \cdot 1,5 \cdot (-116,7) + 1,1 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0 + 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0$$

$$F_x = -192,56 \text{ kN}$$

$$F_z = 1,1 \cdot 1,35 \cdot (-1439 - 60 - 43) + 1,1 \cdot 1,5 \cdot (-139,4) + 1,1 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot (-210) + 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0$$

$$F_z = -2693,13 \text{ kN}$$

$$M_{y/D} = 1,1 \cdot 1,35 \cdot (-1439 - 81 + 72) + 1,1 \cdot 1,5 \cdot (-361,4) + 1,1 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot (-325,5) + 1,1 \cdot 1,1 \cdot (-200)$$

$$M_{y/D} = -3257,13 \text{ kNm}$$

Q12 - À partir de la description de la séquence pédagogique du DP1 et en complétant le DR2, proposer des indicateurs permettant l'évaluation du niveau d'acquisition des compétences ciblées, les modalités d'évaluation utilisées et les descripteurs pour identifier le niveau d'acquisition atteint. **Justifier** les réponses.

Voir DR2

Partie 3 - Choix du motoréducteur et logique de commande

3.1 - Vérification de la puissance motrice nécessaire

Q13 - Déterminer le lien entre la vitesse de translation de l'ensemble E notée v_E et la vitesse de rotation des moteurs notée ω_m en fonction de D_{pc} et k .

Pour le système pignon crémaillère : $v_E = \frac{D_{pc}}{2} \omega_r$

Pour le réducteur : $k = \frac{\omega_r}{\omega_m}$

Donc

$$v_E = \frac{D_{pc}}{2} k \omega_m$$

$$\Leftrightarrow \omega_m = \frac{2}{D_{pc} k} v_E$$

Q14 - Déterminer la masse équivalente notée m_{eq} de l'ensemble E dans son mouvement de translation en fonction de m_e , m_m , m_{gp} , j_m , j_{gp} , k , d_{gp} et D_{pc} . **Effectuer** l'application numérique.

$$E_{c E/0} = E_{c aile+2bogies /0} + 6E_{c gp/0} + 4 E_{c mot/0} = \frac{1}{2} m_{eq} v_E^2$$

$$- E_{c aile+2bogies /0} = \frac{1}{2} m_e v_E^2$$

$$- E_{c gp} = \frac{1}{2} m_{gp} v_E^2 + \frac{1}{2} j_{gp} \omega_{gp}^2 = \frac{1}{2} m_{gp} v_E^2 + \frac{1}{2} j_{gp} \left(\frac{v_E}{d_{gp}/2} \right)^2$$

$$- E_{c\text{ mot}/0} = \frac{1}{2} m_m v_E^2 + \frac{1}{2} j_m \omega_m^2 = \frac{1}{2} m_m v_E^2 + \frac{1}{2} j_m \left(\frac{2 v_E}{D_{pc} k} \right)^2$$

Ainsi

$$E_{c\text{ E}/0} = \frac{1}{2} \left(m_e + 6 m_{gp} + \frac{24 \cdot j_{gp}}{d_{gp}^2} + 4 m_m + \frac{16 \cdot j_m}{(D_{pc} \cdot k)^2} \right) v_E^2$$

Par identification on a donc :

$$m_{eq} = m_e + 6 m_{gp} + \frac{24 \cdot j_{gp}}{d_{gp}^2} + 4 m_m + \frac{16 \cdot j_m}{(D_{pc} \cdot k)^2}$$

AN :

$$m_{eq} = 739,3 T$$

Q15 - Exprimer, en justifiant, la puissance des actions mécaniques extérieures sur l'ensemble E dans son mouvement par rapport à R_0 . **Exprimer** ensuite en justifiant la puissance des actions mécaniques intérieures.

Puissances extérieures :

- $P_{pes \rightarrow E+gp} = 0$ car la pesanteur est orthogonale au mouvement de translation de l'ensemble
- $P_{v \rightarrow E} = -F_v \cdot v_E$
- $P_{rail \rightarrow gp} = 0$ car hypothèse de roulement sans glissement
- $P_{cremaillere \rightarrow pignon} = 0$ car hypothèse de roulement sans glissement

Donc

$$P_{ext \rightarrow E/0} = -F_v \cdot v_E$$

Puissances intérieures :

- $P_{liaisons\ pivot} = 0$ car hypothèse de liaisons parfaites
- $P_{mot} = 4 C_m \cdot \omega_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc}$ car il y a 4 moteurs dans l'ensemble isolé

Donc

$$P_{int} = 4 C_m \cdot \omega_m \cdot \eta_r \cdot \eta_{pc}$$

$$P_{int} = 4 C_m \cdot \omega_m$$

vrai aussi car $\eta_r = \eta_{pc} =$

1

Q16 - Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble E dans son mouvement par rapport à R_0 afin de déterminer le couple moteur nécessaire.

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble E dans son mouvement par rapport à R_0 :

$$\frac{dE_{c\text{ S}/0}}{dt} = P_{int(S)} + P_{ext \rightarrow S/0} + P_{dissipée}$$

Ici $P_{dissipée} = 0$ car le rendement du système est pris égale à 1 : $\eta_{total} = \eta_r \cdot \eta_{pc} = 1$

$$\frac{d\left(\frac{1}{2} m_{eq} v_E^2\right)}{dt} = 4C_m \cdot \omega_m - F_v \cdot v_E$$

$$\Leftrightarrow m_{eq} v_E \dot{v}_E = 4C_m \cdot \frac{2}{D_{pc}k} v_E - F_v \cdot v_E$$

$$\Leftrightarrow C_m = \frac{m_{eq} \cdot \dot{v}_E + F_v}{\frac{8}{D_{pc}k}} = \frac{m_{eq} \cdot \dot{\omega}_m \frac{D_{pc}k}{2} + F_v}{\frac{8}{D_{pc}k}}$$

Q17 - Tracer le profil du couple moteur délivré par un moteur à partir du profil de vitesse angulaire ($\omega_m(t)$) fourni sur le **DR3**. **Calculer** la valeur du couple moteur maximal et nominal nécessaire pour un moteur de l'aile 1. **Conclure** sur le choix du moteur retenu (alimenté en 400 V) pour cette aile présenté **DT12**.

- Lors de la phase à vitesse constante, $\dot{\omega}_m = 0$:

$$C_{m, nom} = \frac{F_v D_{pc}k}{8} = \frac{386 \cdot 10^3 \cdot 0,318}{8 \times 283} = 54,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Or d'après la documentation du moteur fournie dans le DT12, « Rated Torque » = $72,3 \text{ N} \cdot \text{m}$ qui est supérieur au $54,2 \text{ N} \cdot \text{m}$ nécessaire.

- Lors de la phase d'accélération :

L'ensemble E passe de $v_E = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $0,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en 10 s,

donc ω_m de $0 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ à $\omega_m = \frac{2}{D_{pc}k} = \frac{2 \times 283}{0,318} = 124,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ (donné sur le graphique DR3).

Ainsi :

$$\dot{\omega}_m = \frac{124,6 - 0}{10 - 0} = 12,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Donc

$$\Leftrightarrow C_{m, max} = \frac{m_{eq} \cdot \dot{\omega}_m \frac{D_{pc}k}{2} + F_v}{\frac{8}{D_{pc}k}} = \frac{740 \cdot 10^3 \cdot 12,5 \cdot \frac{0,318}{2 \times 283} + 386 \cdot 10^3}{\frac{8 \times 283}{0,318}} = 54,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Or d'après la documentation du moteur fournie dans le DT12, « Starting torque » = $209,67 \text{ N} \cdot \text{m}$ qui est largement supérieur au $54,9 \text{ N} \cdot \text{m}$ nécessaire.

- Lors de la phase de décélération : $\dot{\omega}_m = -12,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Donc

$$\Leftrightarrow C_{m, \min} = \frac{-740 \cdot 10^3 \cdot 12,5 \cdot \frac{0,318}{2 \times 283} + 386 \cdot 10^3}{\frac{8 \times 283}{0,318}} = 53,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Le choix de ce moteur est donc validé. Cf. tracé sur DR3.

3.2 Asservissement des moteurs

3.2.1 Gestion du problème d'angle de crabe maximum (Id9)

Q18 - Déterminer l'équation logique de la variable Alarm définie au **DT13**. **Justifier** la valeur de 57,2958 de la constante utilisée dans ce modèle

$$\text{Alarm} = [|Angle_crab(^{\circ})| > 1^{\circ}] \cdot \overline{Stop_LAx_Angr_Crabe}$$

$$\text{Avec} \quad Angle_crab(^{\circ}) = \text{artan} \left(\frac{PositionEst - PositionOuest}{Distance_rails} \right) \times 57,2958$$

Le coefficient 57,2958 permet de convertir l'angle de radian en degré

Q19 - Déterminer les valeurs en millimètre des positions données par les deux codeurs.

Résultats corrects obtenus en tenant compte du bit de parité :

Codeur Est : 011301₍₁₆₎ soit 0000 0000 1000 1001 1000 0000₍₂₎ (1 parité)

Codeur Ouest : 0125C4₍₁₆₎ soit 0000 0000 1001 0010 1110 0010₍₂₎ (0 parité)

Position donnée par le codeur Est :

Position Est = 35200 mm

Position donnée par le codeur Ouest :

Position Ouest = 37602 mm

Q20 - Déterminer la valeur de Angle_Crab. **En déduire** la valeur de Alarm et **indiquer** si le défaut « mise en crabe » est présent.

Ecart de position = 35200 – 37602 = 2402 mm = 2,4 m

$$Angle_crab = \text{artan} \left(\frac{2,4}{101,6} \right) \times 57,2958 = 1,35^{\circ}$$

L'angle étant supérieur à 1°, le bit « Alarm » est actif. D'après l'équation logique, le défaut « mise en crabe » est présent.

3.2.1.1 Mise en place du modèle d'asservissement

Q21 - Compléter le schéma bloc fourni sur le document réponse **DR4** à partir des données ci-dessus et de l'équation obtenue par le théorème de l'énergie cinétique donnée en partie 3.1.

À partir de l'équation trouvé question17 :

$$C_m = \frac{m_{eq} \cdot \dot{\omega}_m \frac{D_{pc} \cdot k}{2} + F_v}{\frac{8}{D_{pc} \cdot k}} = \frac{m_{eq} \cdot \dot{v}_E + F_v}{\frac{8}{D_{pc} \cdot k}}$$

On exprime cette équation dans le domaine de Laplace sous conditions de Heaviside :

$$C_m(p) = \frac{m_{eq} \cdot D_{pc} \cdot k}{8} p V_E(p) + \frac{D_{pc} \cdot k}{8} F_v(p)$$

$$V_E(p) = \left(C_m(p) \frac{8}{D_{pc} \cdot k} - F_v(p) \right) \frac{1}{m_{eq} p}$$

Grace à l'équation trouvée question 14 (et rappelée ici dans l'énoncé) : $\omega_m = \frac{2}{D_{pc} k} v_E$ qui devient dans le domaine de Laplace :

$$\Omega_m(p) = \frac{2}{D_{pc} k} V_E(p)$$

Ainsi, il est possible de compléter le schéma bloc fourni DR4 :

3.2.1.2 Étude des performances de la boucle de vitesse non corrigée

Q22 - Déduire l'erreur statique relative de vitesse dans les cas avec et sans perturbation. **Conclure** quant au respect de l'exigence Id 8 (Erreur en régime permanent).

L'erreur statique est définie comme :

$$e_r = \lim_{t \rightarrow +\infty} (v_c(t) - v_e(t))$$

Graphiquement, on peut lire :

- Sans perturbation $e_r = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, la vitesse est égale à la consigne en régime permanent
- Avec perturbation $e_r = 0,07 - 0,055 = 0,015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Soit une erreur relative $e_{r\%} = \frac{0,015}{0,07} \cdot 100 = 21,4 \%$

Conclusion :

D'après le cahier des charges, l'exigence 8 spécifie que l'erreur en régime permanent pour une perturbation constante doit être nulle. Cette exigence n'est donc pas vérifiée pour le système sans correction car l'erreur statique n'est pas nulle pour une entrée en échelon.

Q23 - Démontrer que dans ces conditions, l'exigence Id9 (Angle de mise en crabe maximum) n'est pas respectée.

Dans ces conditions, en régime permanent, durant la phase à vitesse constante, on a une différence de vitesse de $0,015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ entre le côté EST et le côté OUEST de l'aile. L'exigence Id 9 impose un écart maximum entre les 2 côtés de l'aile de $1,77 \text{ m}$.

$$t = \frac{d}{v} = \frac{1,77}{0,015} = 118 \text{ s} = 1 \text{ min } 58 \text{ s}$$

Cet écart maximum est atteint en seulement 118 s de phase à vitesse constante, or cette phase dure 880 s, le critère ne sera donc pas respecté sur toute la durée du mouvement. L'exigence Id9 n'est donc pas respectée pour un système non corrigé.

3.2.1.3 Étude des performances de la boucle de vitesse corrigée

Q24 - Justifier le choix de ce correcteur au regard des résultats de simulation sur le modèle corrigé.

- Grâce au correcteur proportionnel intégral, l'erreur statique dans le cas d'un système avec perturbation s'annule. Cela se justifie par le fait qu'on ajoute une intégration en amont d'une perturbation constante.

Donc, le système n'est plus sensible aux perturbations, l'exigence 8 est validée.

- On voit néanmoins apparaître un dépassement. Cependant, celui-ci n'est que sur une courte durée, ainsi, le côté de l'aile n'excède pas $1,77\text{ m}$ de l'autre. Pour une valeur maximale de dépassement de $0,008\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, pendant une durée d'environ 4 s :

$$d = v \cdot t = 0,008 \cdot 4 = 0,032\text{ m}$$

L'exigence Id9 est donc respectée.

Q25 - Justifier dans le cas de ce modèle complet, que la correction proposée précédemment ne suffit pas et qu'il est nécessaire de mettre en place une solution de synchronisation pour le déplacement des deux côtés d'une aile entre les positions repliée et dépliée et ainsi valider Id9.

A la fin des 15 min de déplacement, l'écart entre les 2 bogies EST et OUEST, pour le modèle enrichi est de $62,4 - 59,3 = 3,1\text{ m} > 1,77\text{ m}$.

L'exigence Id9 n'est donc pas respectée, il est donc nécessaire de mettre en place un système de synchronisation pour le déplacement des 2 côtés de l'aile.

3.2.1.4 Étude de la boucle de vitesse optimisée

Q26 - Justifier que le schéma de synchronisation proposé permet de corriger correctement le système en cas d'écart entre la vitesse de consigne et les vitesses réelles côté EST et côté OUEST d'une aile.

L'aile côté EST est asservi comme étudié précédemment à partir de l'écart entre la consigne $v_c(t)$ et la vitesse réelle $v_{e1}(t)$.

L'aile côté OUEST est asservi de la même manière, on ajoute à l'écart ($\varepsilon_2 = v_c(t) - v_{e2}(t)$) la différence de vitesse réelle entre les 2 côtés de l'aile ($v_{e1}(t) - v_{e2}(t)$).

Dans le second comparateur sur l'aile OUEST :

- Si ($v_{e1}(t) = v_{e2}(t)$), alors on n'ajoute rien à ε_2 .
- Si ($v_{e1}(t) > v_{e2}(t)$) (côté EST en avance), alors on ajoute la différence de vitesse ($v_{e1}(t) - v_{e2}(t) > 0$) à $v_{e2}(t)$ pour que le côté OUEST accélère.
- Si ($v_{e1}(t) < v_{e2}(t)$), (côté OUEST en avance) alors on ajoute la différence de vitesse ($v_{e1}(t) - v_{e2}(t) < 0$) à $v_{e2}(t)$ pour que le côté OUEST ralentisse.

3.2.2 Gestion et contrôle de la distance entre les ailes (Id10)

Q27 - Tracer les cônes délimitant les zones d'alarme et d'arrêt sur le document DR5.

Voir DR5

Q28 - Sur le modèle multiphysique du **DR6** permettant de simuler les positions des ailes 1 et 2 en fonction du temps, **identifier** les domaines physiques mécanique et électrique et **compléter** la nature des variables de flux et d'efforts.

Voir DR6

Q29 - **Interpréter** l'allure de la courbe de position de l'aile 1. **Relever** graphiquement la distance entre les deux ailes à l'instant $t = 800$ s, **en déduire** graphiquement sur le **DR5** dans quelle configuration se trouve le système à cet instant t .

La position de référence « 0 » sur le graphique correspond à la position repliée de l'aile 2. En effet, la position finale de l'aile 1 au bout de 900 s (15 minutes) semble correspondre à 65200 mm ($= 91300 - 29000 + 2900$) en référence à la position repliée de l'aile 2.

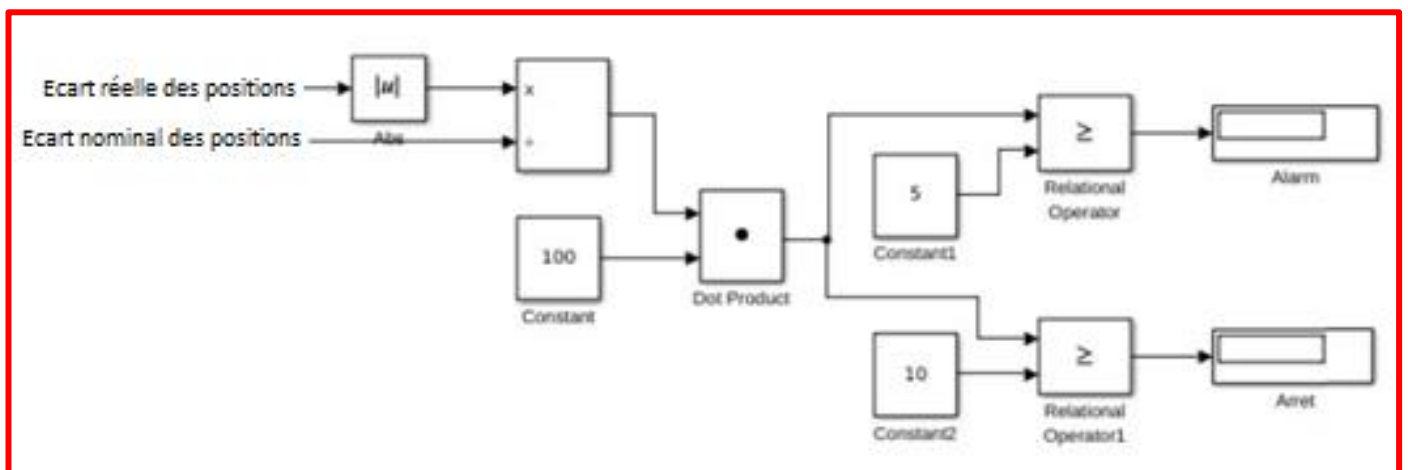
Il s'agit donc bien d'une position relative par rapport à la position repliée de l'aile 2 et non la position par rapport à la position de l'aile 11 qui est fixe.

D'après le modèle multiphysique, le déplacement de l'aile 1 est le déplacement nominal et celui de l'aile 2 le déplacement perturbé.

Ainsi, l'écart réel entre les deux ailes à l'instant 800s est de 7820 mm ($= 57820 - 50000$).

Graphiquement sur le DR5, le système se trouve en situation d'alarme.

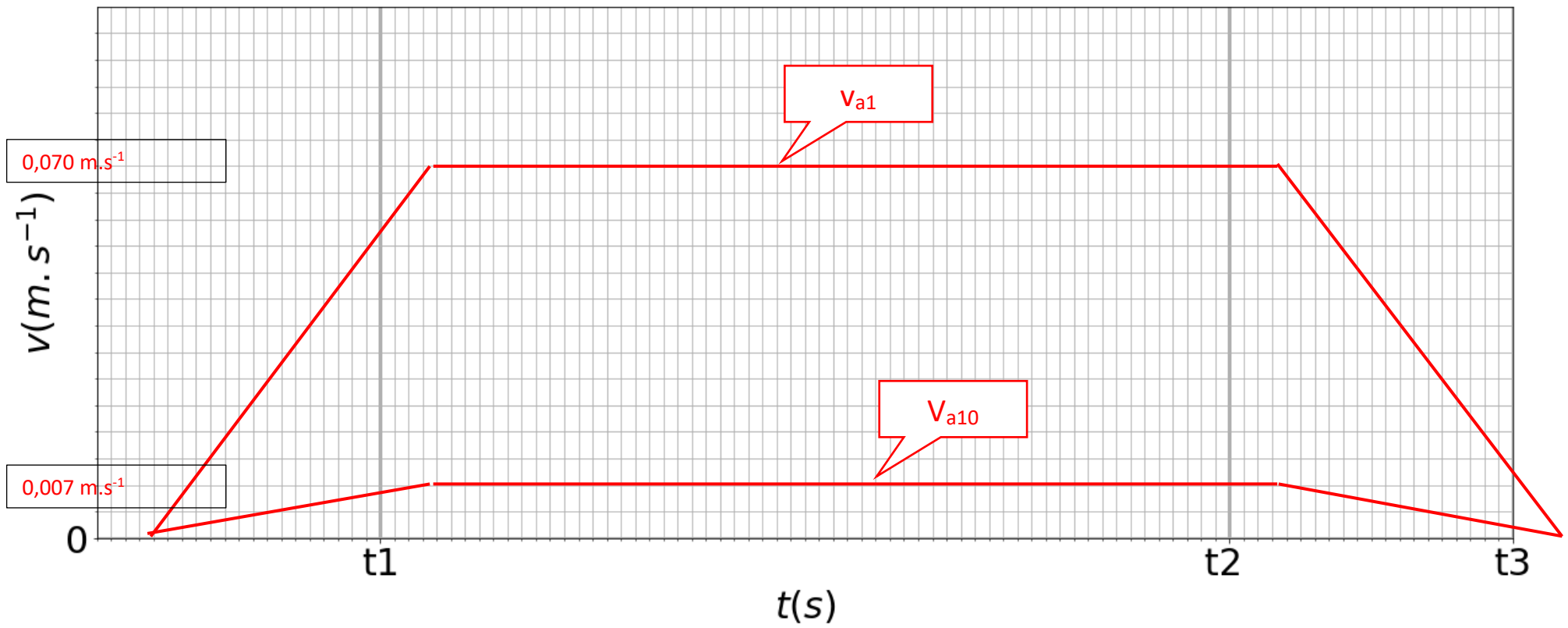
Q30 - **Compléter** le modèle du **DR6** pour permettre l'activation d'une alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance simulée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites (blocs « Alarm » et Arret » à l'état 1).



Q31 - Le modèle multiphysique **DR6** étant utilisé pour une séquence pédagogique, en complétant le **DR7**, **proposer** une expérimentation permettant de valider le modèle.

Voir DR7

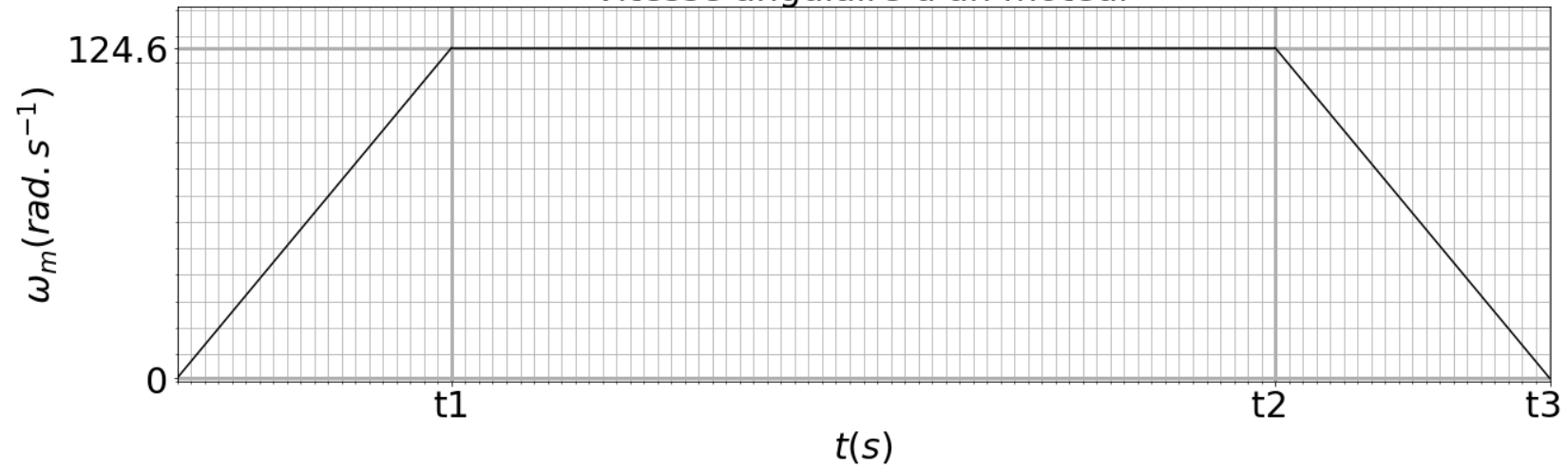
Vitesse aile 1 et aile 10



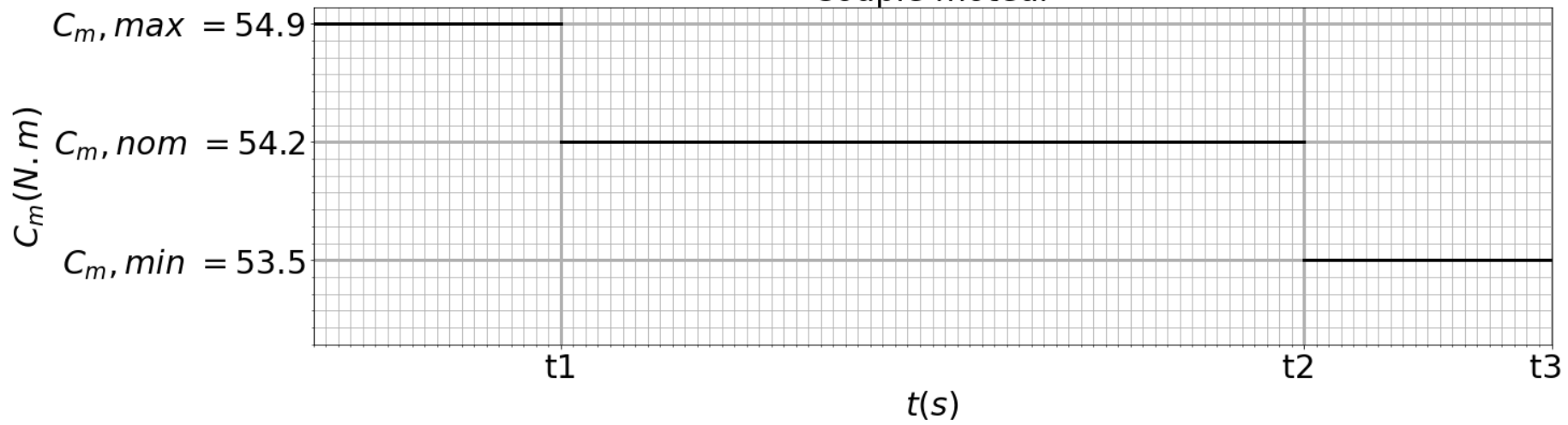
DR2 – Evaluation des compétences – Exemples de réponses possibles

Compétences	Indicateurs d'évaluation	Modalités d'évaluation au sein de la séquence	Niveaux d'appréciation		
			Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
CO1.2 : justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design	La solution choisie est justifiée du point de vue des notions de confort, d'efficacité et de sécurité dans les relations Homme - produit, Homme – système.	Lors de l'étude de dossier, au fil de l'eau : l'élève complète le diagramme d'exigences en associant une solution technique à une contrainte d'ergonomie et de design.	L'élève associe correctement quelques contraintes simples avec la solution technique correspondante.		L'élève associe correctement toutes les fonctions avec la solution technique correspondante et argumente à partir des différentes contraintes.
CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques	La solution technique pour chaque fonction est identifiée.	Lors de l'étude de dossier, au fil de l'eau : l'élève complète le diagramme d'exigences en associant une solution technique à une fonction. ET Lors d'une évaluation sommative à partir d'un cahier des charges similaire.	L'élève associe correctement quelques fonctions simples avec la solution technique correspondante.		L'élève associe correctement toutes les fonctions avec la solution technique correspondante et sait expliquer pourquoi.
CO5.5 : Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue	La démarche de créativité mise en œuvre pour rechercher des solutions est présentée. Le choix de la solution (logiciels, matériaux, constituants) retenue est argumenté au regard des performances attendues.	Lors de l'étude de dossier l'élève sous la forme d'une carte mentale proposent des solutions pour répondre au cahier des charges. Il s'appuie sur une méthode rationnelle.	L'élève propose des solutions sans lien avec le problème technique.	L'élève propose quelques idées pertinentes de manière aléatoire sans les argumenter.	L'élève fait preuve de méthodologie pour trouver des solutions pertinentes au regard du cahier des charges. L'élève argumente de manière pertinente les solutions qu'il propose.
CO6.1 : expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit	Le modèle multiphysique est expliqué de manière globale. Les différents éléments du modèle multiphysique sont explicités.	Lors de l'activité « partie 2 : mobilité » : l'élève structure le modèle à partir de blocs donnés, il renomme et paramètre les blocs par rapport à l'élément qu'il représente et lance la simulation. ET Lors d'une évaluation sommative à partir d'un modèle légèrement différent pour lequel il faut identifier des éléments en lien avec le système.	L'élève utilise le modèle et obtient des résultats mais les interprètes mal. L'élève confond les différents éléments.	L'élève utilise le modèle et interprète correctement les résultats obtenus sans faire le lien avec le réel. L'élève identifie quelques éléments du modèle mais il reste des confusions.	L'élève explique clairement ce que représente le modèle, les paramètres externes et interprète correctement les résultats attendus. L'élève identifie tous les éléments du modèle et sait expliquer leur rôle.
CO7.1 : Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial	Les moyens mobilisés pour la réalisation du prototype sont adaptés. Le prototype réalisé permet de valider les performances attendues.	Lors de l'activité pratique, au fil de l'eau : soit dans la « partie 1 : structure » si le prototype est prévu après la recherche de solutions, soit dans la « partie 2 : mobilité ».	L'élève a su rassemblé une partie des éléments nécessaires à la réalisation du prototype. L'élève a réalisé un prototype fonctionnel mais ne fait pas le lien avec les attendus du cahier des charges.	L'élève a réalisé une partie du prototype attendu.	L'élève a rassemblé de manière autonome l'ensemble des éléments nécessaire à la réalisation du prototype. L'élève a réalisé le prototype complet et valide les performances du cahier des charges.

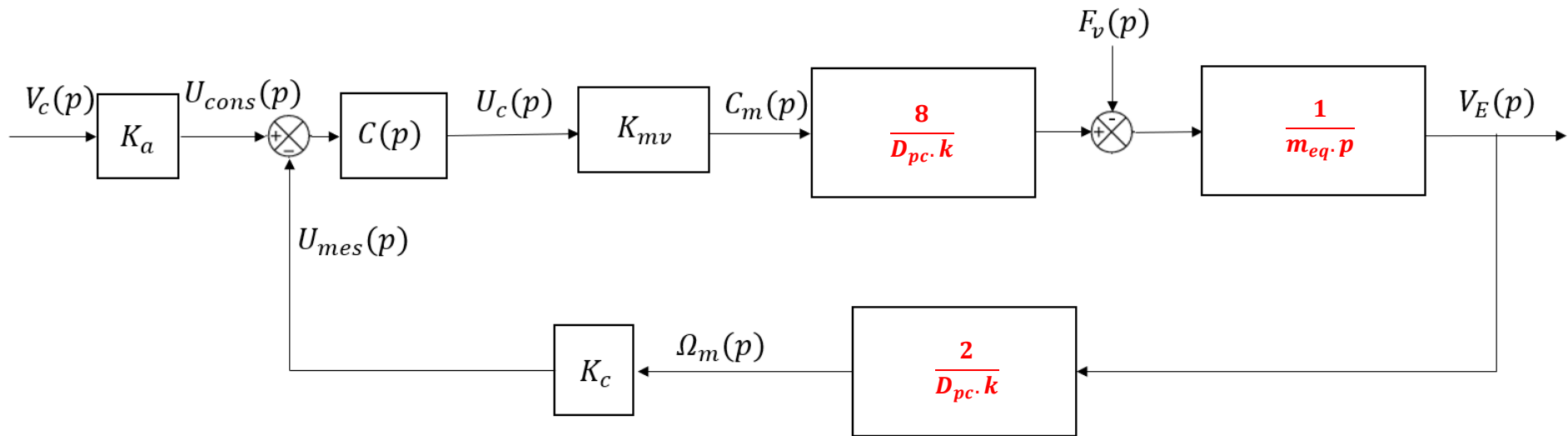
Vitesse angulaire d'un moteur



Couple moteur

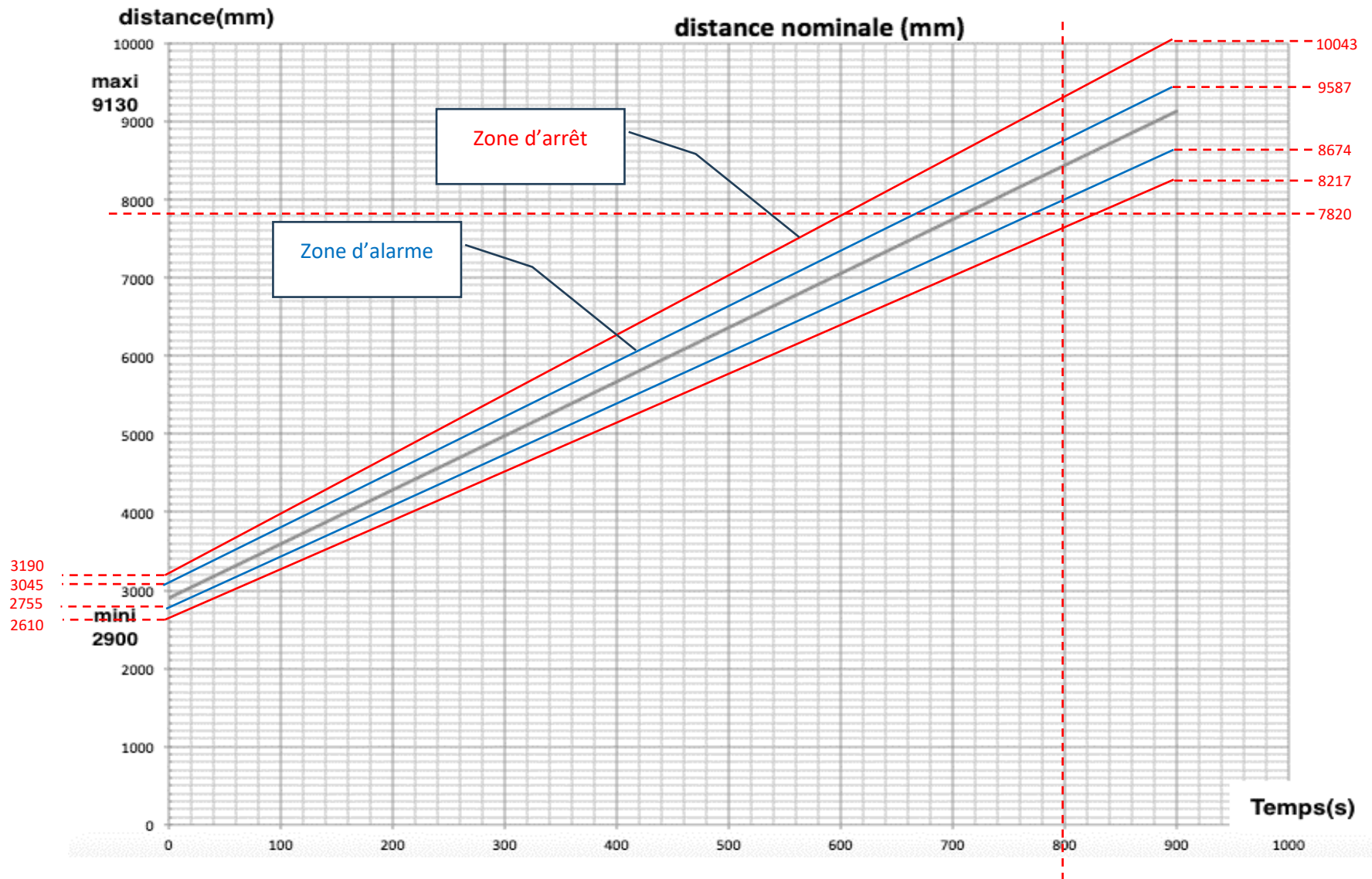


DR4 – Schéma-bloc de la commande d'un moteur

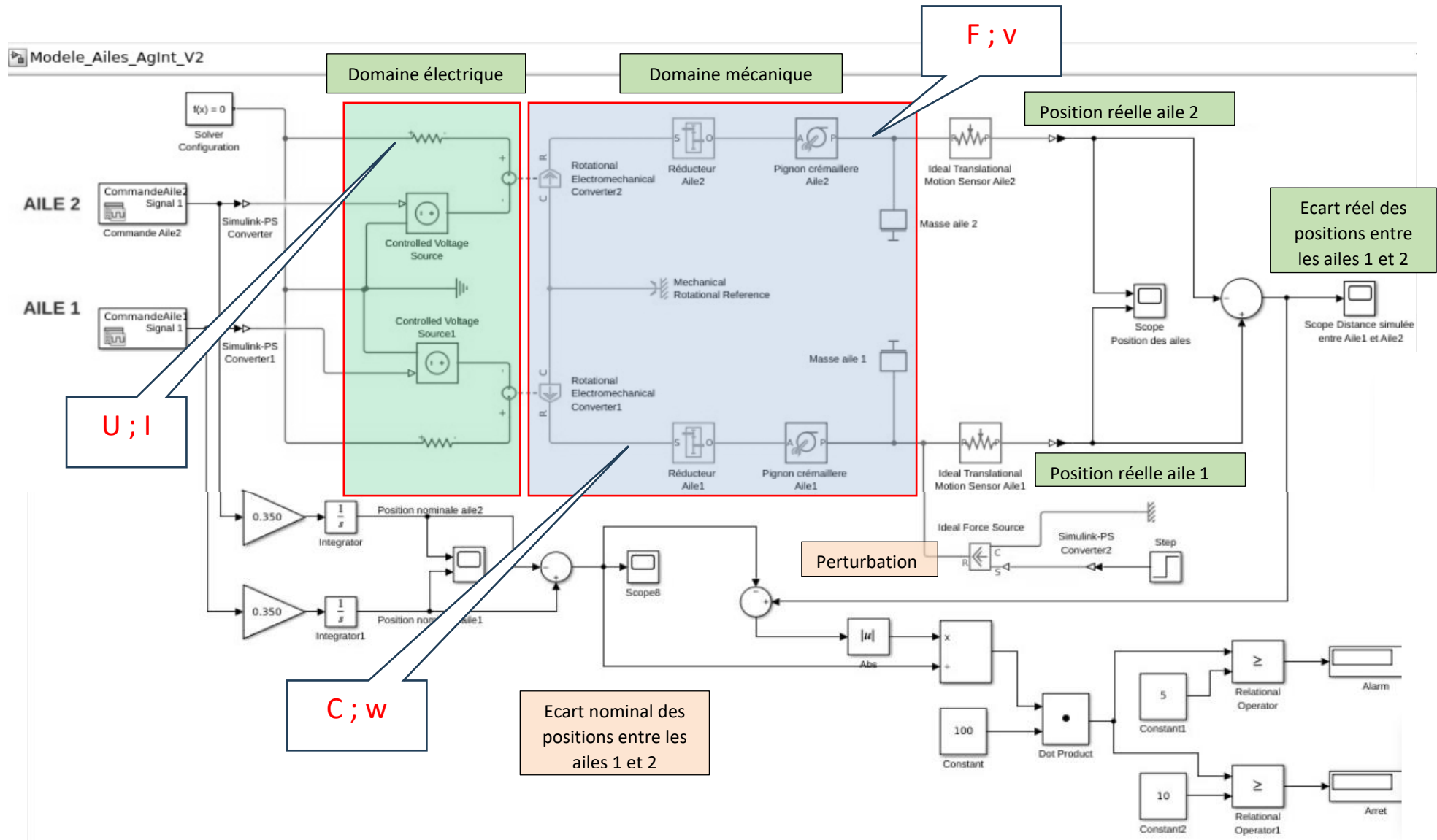


DR5 – Gestion et contrôle de la distance entre les ailes

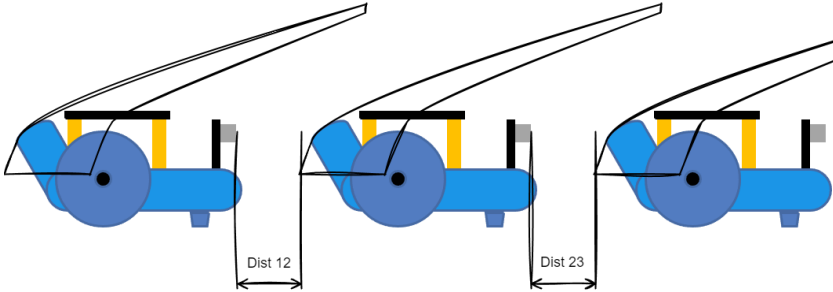
Les phases d'accélération et de décélération sont négligées.



DR6 – Modèle multiphysique d'un bogie



DR7 – Définition du protocole d'essais

<p>Identification du protocole Gestion de la distance entre 2 ailes</p>	<p>Schéma du dispositif expérimental</p>	<p>Protocole expérimental</p>
<p>Problématique, Question scientifique Comment déclencher une alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance réelle mesurée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites ?</p>		<p>1. Étape 1 Implémenter les 3 programmes dans chaque robots (vitesses de déplacement différentes, temps de déplacement identique, mesure des distances, ...) contenant l'algorithme de l'alerte</p> <p>2. Étape 2 Lancer l'expérimentation sans perturbation, exporter les distances mesurées en fonction du temps</p> <p>3. Étape 3 Lancer l'expérimentation avec une perturbation sur le robot central, vérifier le bon déclenchement de l'alerte, exporter les distances mesurée en fonction du temps</p>
<p>Hypothèse Le modèle ou algorithme proposé permettra de comparer la distance réelle et la distance nominale afin de déclencher l'alerte.</p>		
<p>Paramètres variables Vitesse de l'aile 2</p>		
<p>Paramètres contrôlés Vitesse de l'aile 1 Vitesse de l'aile 3</p>		
<p>Paramètres observés Distance entre aile 1 et aile 2 Distance entre aile 2 et aile 3</p>		
<p>Matériels 3 robots programmables</p>	<p>Traitement des résultats L'analyse des résultats et l'observation de l'expérimentation ont mis en évidence le bon déclenchement de l'alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance réelle mesurée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites</p>	

Commentaires du jury

Le sujet est structurellement long. Les questions pédagogiques sont intégrées dans les parties scientifiques afin de permettre un meilleur traitement de celles-ci. Les candidats ayant traité les questions d'ordre pédagogique l'ont fait de manière peu satisfaisante. Il est rappelé que ces questions représentent une part importante de l'ensemble de la note et des exigences pour une agrégation interne. Par exemple pour la partie trois, 64 candidats sur 80 n'ont pas abordé la question d'ordre pédagogique. Cela met en évidence une certaine négligence de la pédagogie par bon nombre de candidats.

Les trois parties sont indépendantes. Alors que l'ensemble du sujet est conçu pour être abordable, quel que soit l'option de l'agrégation, le jury regrette que la partie trois ait été délaissée par un bon nombre de candidats de l'option IC. Toutes les questions ont été traitées correctement par au moins un candidat.

Cette épreuve, commune aux trois options de l'agrégation interne SII, a pour objectif d'évaluer les compétences globales en ingénierie. Les notions abordées dans le sujet constituent des fondamentaux. Pour bien se préparer, il est important que les candidats maîtrisent ces fondamentaux, quel que soit leur champ d'expertise : mécanique, énergie, information, matériaux et organisation.

Il est rappelé aux candidats que le langage SysML est un outil de description et permet entre autres de comprendre rapidement le support d'étude. À ce titre il est nécessaire de le maîtriser.

Les questions concernant les calculs de vitesse et d'accélération des ailes de la première partie ont globalement bien été traitées par les candidats. Dans la deuxième partie, les charges de neige ont été correctement calculées, en revanche la combinaison de charge n'a pas été traitée correctement. Seuls quelques candidats se sont pleinement investis sur la troisième partie.

Il est noté également que les quelques réponses pédagogiques ne correspondent pas aux attentes : le jury constate une méconnaissance des candidats du contenu demandé dans une fiche méthodologique ; le jury constate également des lacunes sur les notions d'indicateurs, critères et modalités d'évaluation d'une séquence pédagogique.

Enfin, il est rappelé que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication. Encore cette année de trop nombreuses copies sont quasiment illisibles ou remplies de fautes d'orthographe, et comportent également un manque de rigueur significatif dans la rédaction des opérations mathématiques.

II. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Présentation de l'épreuve

- Durée : 4 heures
- Coefficient : 1

L'épreuve est spécifique à l'option choisie.

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

Résultats

Agrégation interne	
Moyenne	7,7
Note minimale	4,46
Note maximale	15,41
Ecart type	2,3

CAER-agrégation	
Moyenne	7,7
Note minimale	5,34
Note maximale	11,77
Ecart type	2,3

Présentation du sujet

L'épreuve prend appui sur l'observatoire du Maïdo qui est situé à l'île de La Réunion. Situé au cœur du parc national classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. Il accueille de nombreux instruments, équipements de surveillances et des équipes de chercheurs. Dans ce contexte les solutions architecturales et constructives sont fortement contraintes.

Le sujet est composé de 3 parties complètement indépendantes, à l'intérieur desquelles de nombreuses questions sont indépendantes.

Partie 1 : Analyse contextuelle

Il s'agit de cerner le caractère HQE du bâtiment.

Partie 2 : étude structurelle de l'espace Lidars et bilan carbone

L'objectif de cette partie est de vérifier la possibilité de réduire l'impact environnemental de l'observatoire en changeant le procédé de construction de la superstructure. Les études proposées portent sur l'étude d'une poutre en béton armé, puis d'une variante de la superstructure en ossature bois et d'une variante en ossature métallique, elles se soldent par un bilan carbone permettant la comparaison de ce point de vue des trois solutions constructives.

Partie 3 : étude du confort thermique

Les objectifs de cette partie sont de justifier l'architecture des éléments matériels qui concourent à assurer le confort thermique au sein de l'observatoire, à dimensionner, à caractériser et à déterminer leurs performances.

Les études visent à caractériser le plancher chauffant pour le chauffage des locaux, une modélisation est proposée en plusieurs sous-études afin de vérifier la conformité de la température au sol. Enfin une étude de la régulation de température est menée sur un modèle comportemental de type électrocinétique du bâtiment.

Éléments de correction

OBSERVATOIRE DU MAÏDO SUR L'ÎLE DE LA REUNION

PARTIE 1 : ANALYSE CONTEXTUELLE

Q1- Définir ce qu'est la démarche HQE dans un projet de construction ou de réhabilitation (objectifs, cibles, niveau de performance, engagements, etc).

La Démarche HQE a pour objectif d'améliorer la Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB) sur l'ensemble de leur cycle de vie. Elle concerne la durée de vie des bâtiments depuis leur programmation jusqu'à leur démolition. Ainsi, ces bâtiments utilisent des solutions innovantes et des technologies respectueuses de l'environnement afin de :

- réduire son empreinte écologique,
- minimiser sa consommation d'énergie (électricité et eau),
- optimiser l'utilisation des ressources naturelles,
- offrir un cadre de vie sain et confortable pour ses occupants.

Depuis 2004, il existe une certification « NF Ouvrage Démarche HQE ». Celle-ci n'est pas obligatoire mais elle permet d'exposer la qualité environnementale d'un bâtiment (bureaux, commerces, maisons individuelles, équipements sportifs, logements collectifs...).

Les 14 cibles de la Démarche HQE sont regroupées en 4 thèmes :

•Cibles d'éco-construction	•Cibles d'éco-gestion	•Cibles de confort	•Cibles de santé
<ul style="list-style-type: none"> •C1- Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat •C2- Choix intégré des procédés et des produits de construction •C3- Chantier à faible nuisance 	<ul style="list-style-type: none"> •C4- Gestion de l'énergie •C5- Gestion de l'eau •C6- Gestion des déchets d'activités •C7- Gestion de l'entretien et de la maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> •C8- Confort hygrothermique •C9- Confort acoustique •C10- Confort visuel •C11- Confort olfactif 	<ul style="list-style-type: none"> •C12- Conditions sanitaires des espaces •C13- Qualité de l'air •C14- Qualité de l'eau

Q2- Indiquer les exigences requises pour qu'un projet obtienne la certification HQE.

Pour obtenir la certification HQE, le bâtiment doit atteindre au minimum :

- 7 cibles au niveau de base,

- 4 cibles supplémentaires (soit 11 cibles) au niveau performant,
- 3 cibles supplémentaires (soit 14 cibles) au niveau très performant.

La certification est régie par le code de la construction. Seuls les organismes agréés par le Cofrac (Comité français d'accréditation) peuvent la délivrer.

- **Certivéa** : pour les bâtiments tertiaires, l'aménagement et les infrastructures.
- **Cerqual Qualitel Certification** : pour les maisons individuelles et les logements collectifs.

Q3- Au vu de la localisation de l'observatoire du Maïdo, **citer** les cibles HQE qui doivent être privilégiées.

Le projet est situé en plein cœur du Parc National de l'île de la Réunion. Cette zone est classée patrimoine mondial de l'UNESCO et compte une faune et une flore exceptionnelles et protégées.

Au vu de sa localisation, on doit réduire au maximum l'impact environnemental en phase chantier et utiliser au mieux les ressources naturelles disponibles sur site, afin de limiter les impacts liés au transport.

Les cibles à privilégier sont les suivantes :

- en phase chantier : C2- Choix intégré des procédés et des produits de construction / C3- Chantier à faible nuisance (en termes de déchets, de pollution et de bruits),
- en phase d'exploitation : C4- Gestion de l'énergie (projet isolé) / C5- Gestion de l'eau (récupération d'eau pluviale) / C6- Gestion des déchets d'activités / C8- Confort hygrothermique (projet en altitude).

PARTIE 2 : ÉTUDE STRUCTURELLE DE L'ESPACE LIDARS ET BILAN CARBONE

Étude 2-1 –Étude de la poutre continue -2- en béton armé

Q4- Préciser les impacts environnementaux, en phase chantier, du choix du béton armé comme procédé de construction.

L'observatoire du Maïdo est situé en plein cœur du Parc National de la Réunion. Ce site est classé patrimoine mondial de l'UNESCO et compte une faune et une flore exceptionnelles et protégées.

Le choix du béton armé comme procédé de construction a un impact environnemental assez important en phase de chantier :

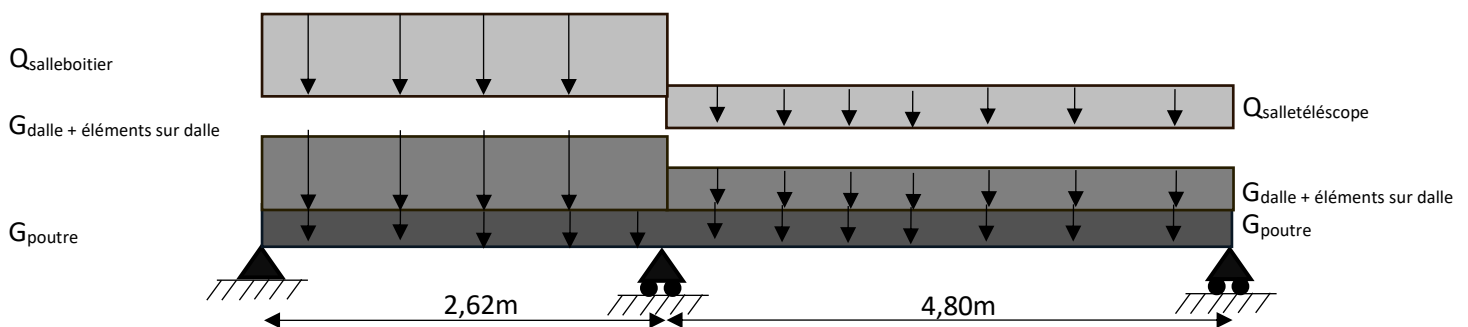
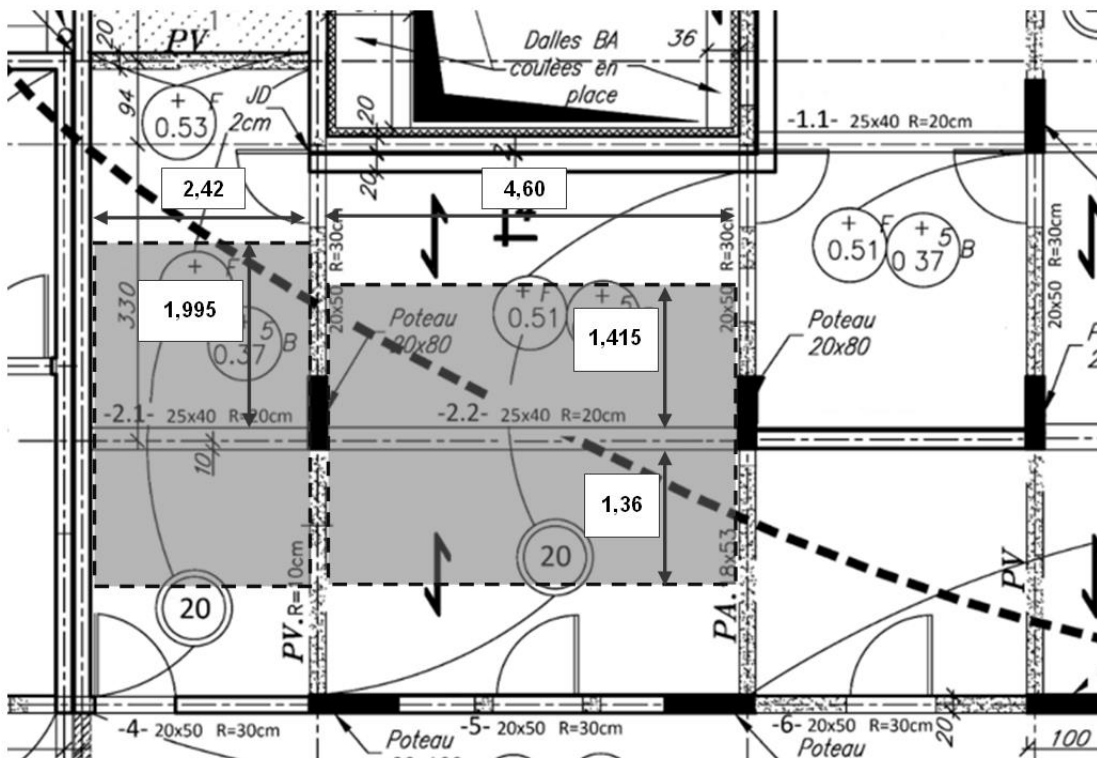
- pollution des sols par les laitances, les huiles de décoffrage, le nettoyage des matériels de peinture, de bétonnage, etc. Il sera nécessaire de mettre en place des bassins de décantation, mais pour cela une plus grande surface de sol devra être terrassée (perte de biodiversité),
- pollution de l'air par les poussières de béton (sciage et ponçage des ouvrages en béton), poussières provenant des nombreuses rotations de camion malaxeur,
- gestion complexe de l'eau. Le site n'étant pas raccordé au réseau de distribution d'eau, des camions citernes seront nécessaires pour alimenter le chantier. Les rotations de ces derniers, vont augmenter la pollution de l'air en poussière.

Q5- À partir des documents techniques DT01, DT02 et DT03, **repérer et coter** sur le document réponse DR1 la surface de reprise de la poutre continue -2- (file B'). **Proposer** un schéma mécanique de cette poutre continue en y indiquant, la nature des appuis, les portées utiles de calcul, la nature des actions mécaniques à prendre en compte sans les quantifier.

Calcul des portées utiles :

- $L_{eff} (2-1) = 2,42 + \min\left(\frac{0,2}{2}; \frac{0,4}{2}\right) + \min\left(\frac{0,2}{2}; \frac{0,4}{2}\right) = 2,62 \text{ m}$
- $L_{eff} (2-2) = 4,60 + \min\left(\frac{0,2}{2}; \frac{0,4}{2}\right) + \min\left(\frac{0,2}{2}; \frac{0,4}{2}\right) = 4,80 \text{ m}$

Pour la poutre 2-1, dalle portée sur 2 appuis (solution adoptée par le bureau d'études). Solution dalle portée sur 4 appuis également acceptée.



Q6- Déterminer les charges permanentes linéiques G reprises par la poutre continue -2-, pour la travée -2.2-. Les charges des niveaux supérieurs seront reprises par les porteurs verticaux (voir documents techniques DT01 et DT02).

$$G_{\text{dalle}} = 0,20 \times 25 \times 3,025 = 15,13 \text{ kN/m}$$

$$G_{\text{complexe chauffant}} = 0,15 \times 3,025 = 0,45 \text{ kN/m}$$

$$G_{\text{chape}} = 0,05 \times 20 \times 3,025 = 3,03 \text{ kN/m}$$

$$G_{\text{colle + carrelage}} = 0,30 \times 3,025 = 0,91 \text{ kN/m}$$

$$G_{\text{retombée poutre}} = 0,25 \times 0,20 \times 25 = 1,25 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{G = 20,77 \text{ kN/m}}$$

Q7- Déterminer les charges d'exploitation linéiques Q reprises par la poutre continue -2-, pour la travée -2.2-. Les charges des niveaux supérieurs seront reprises par les porteurs verticaux (voir documents techniques DT01 et DT02).

$$\text{Charge d'exploitation : salle télescope } Q = 750 \text{ daN/m}^2$$

$$Q = 7,5 \times 3,025$$

$$\mathbf{Q = 22,69 \text{ kN/m}}$$

Q8- Déterminer les actions dimensionnantes à l'ELS et à l'ELU, pour la travée -2.2-, notées respectivement P_{ELS} et P_{ELU} (charges linéiques en $\text{daN}\cdot\text{m}^{-1}$).

$$P_{\text{ELS}} = G + Q$$

$$\mathbf{P_{\text{ELS}} = 43,46 \text{ kN/m}}$$

$$P_{\text{ELU}} = 1,35 G + 1,5 Q$$

$$\mathbf{P_{\text{ELU}} = 62,07 \text{ kN/m}}$$

Q9- À l'aide du document technique DT04 repérer les valeurs des moments fléchissants maximales à l'ELU pour la travée -2.2- et sur l'appui file 19. À partir de la méthode de dimensionnement EC2 simplifiée fournie dans le document technique DT05, **calculer** les sections d'armatures longitudinales à mettre en place pour la travée -2.2- et sur l'appui file 19.

Appui file 19

$$M_{\text{max}} = -85 \text{ kN/m}$$

$$\mu_u = \frac{85 \cdot 10^6}{250 \cdot 360^2 \cdot 16,67} = 0,1574$$

$$\mu_u \leq 0,3717 \text{ pas d'armature comprimée}$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,1574}) = 0,2153$$

$$z_u = 0,36 \times (1 - 0,4 \times 0,2153) = 0,3290 \text{ m}$$

Travée 2-2

$$M_{\text{max}} = 125 \text{ kN/m}$$

$$\mu_u = \frac{125 \cdot 10^6}{250 \cdot 360^2 \cdot 16,67} = 0,2314$$

$$\mu_u \leq 0,3717 \text{ pas d'armature comprimée}$$

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,2314}) = 0,3338$$

$$z_u = 0,36 \times (1 - 0,4 \times 0,3338) = 0,3119 \text{ m}$$

$$A_{s1} = \frac{0,8 * 0,2153 * 2500 * 360 * 16,67}{434,78} = 594,3 \text{ mm}^2$$

$$= 5,94 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{0,8 * 0,3338 * 250 * 360 * 16,67}{434,78} = 921,5 \text{ mm}^2$$

$$= 9,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{85 * 10^6}{329 * 434,78} = 594,2 \text{ mm}^2 = 5,94 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{125 * 10^6}{312 * 434,78} = 922,3 \text{ mm}^2 = 9,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = \max \left[0,26 * \frac{2,6}{500} * 25 * 36 ; 0,0013 * 25 * 36 \right] = 1,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{smax} = 0,04 * 25 * 40 = 40 \text{ cm}^2$$

Q10- À l'aide du document technique DT05 (tableau de section d'acier HA), **déterminer** les armatures longitudinales à mettre en place au niveau de la travée -2.2- et sur l'appui file 19 et **tracer** ces dernières sur le document réponse DR2 (schéma de principe de ferrailage). Le diamètre de barre utilisé ne doit pas excéder du HA16.

Appui file 19

$$A_{s1} = 6,00 \text{ cm}^2 \text{ sur 1 lit}$$

Choix : 3HA16

$$A_{sréelle} = 6,03 \text{ cm}^2$$

Travée 2-2

$$A_{s1} = 9,50 \text{ cm}^2 \text{ sur 2 lits}$$

Choix des armatures : 5HA16

$$A_{sréelle} = 10,05 \text{ cm}^2$$

Voir le schéma de principe de ferrailage sur le document réponse DR2.

Q11- À l'aide du document technique DT04 et du document réponse DR2, **expliquer** les différences d'espacement dans la répartition des cadres et épingles le long de la poutre continue -2-. **Préciser** les désordres qui vont être évités dans la poutre grâce au positionnement de ces armatures transversales. **Préciser** les impacts sur le ferrailage de la poutre si l'on passe d'un béton C25/30 à un béton C40/50.

Les armatures transversales (cadres, étriers) sont disposées en fonction de la valeur de l'effort tranchant le long de la poutre. Plus l'effort tranchant est important plus les armatures transversales sont rapprochées.

Ces armatures vont limiter les fissures à 45° (bielles de compression), renforcement de la poutre vis-à-vis des efforts de cisaillement dans la poutre.

Q12- À l'aide du document réponse DR2, au niveau de la coupe A-A, **calculer** la valeur $d_{réelle}$. **Comparer** $d_{réelle}$ à la valeur forfaitaire $d=0,9 \cdot h$. **Conclure**.

Au niveau de la coupe A-A : armatures longitudinales : 3 HA 12

$$d_{réelle} = 400 - 40 - 8 \cdot \frac{12}{2} = 346 \text{ mm}$$

$$d_{forfaitaire} = 0,9 * 400 = 360 \text{ mm}$$

$$d_{réelle} < d_{forfaitaire}$$

Étude 2-2 : Étude d'une variante de la superstructure en ossature bois

Q13- Expliquer le mode de fabrication des poutres en lamellé collé. **Indiquer** les bénéfices structurels de cette technique. **Expliquer** les différences entre les deux classifications de bois lamellé collé notées GLxhx et GLxhc (composition, classe mécanique du bois utilisé, ...).

Le bois lamellé collé est une technique qui consiste à superposer des lamelles de bois et à les coller en elles sous pression. L'avantage principal par rapport au bois massif est que l'on peut réaliser des pièces de très grandes portées, flexibles grâce à leur faible épaisseur. Ce qui rend possible des structures de morphologies très variées, telles que les structures en arc ou en coque.

Les essences les plus couramment utilisées sont le sapin, l'épicéa, le pin sylvestre, le Douglas et le Mélèze.

Les poutres en lamellé collé peuvent être composées de lamelle de bois massif de classes mécaniques identiques Lamellé Collé homogène GLxxh, soit de lamelle de bois massif de classes mécaniques différentes Lamellé Collé panaché GLxxc.

Q14- Sur le document réponse DR3, **réaliser** l'étude de la poutre continue -2- (poutre la plus sollicitée de dimensions 250x400 mm), pour la solution en cryptoméria. **Vérifier** les critères de résistance en flexion simple, de cisaillement et de flèche (voir document technique DT06).

Voir la vérification sur le document réponse DR3.

Q15- En utilisant le tableau ci-dessous ainsi que les résultats du document réponse DR3, **comparer** la solution bois massif à la solution bois lamellé collé et **opérer** un choix argumenté.

Solution bois lamellé collé :

Vérification de la résistance à la flexion :

$$\frac{\sigma_{md}}{f_{m,d}} = \frac{12,08}{17,23} = 0,70 < 1, \text{ la condition de flexion est vérifiée.}$$

Vérification de la résistance au cisaillement :

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{1,49}{1,97} = 0,75 < 1, \text{ la condition de cisaillement est vérifiée.}$$

Vérification de la flèche :

- $W_{inst(Q)} \leq W_{lim,inst(Q)}$

5,9 ≤ 15,33mm Vérifiée

- $W_{net,fin} \leq W_{lim,net,fin}$

11,7 ≤ 23mm Vérifiée

- $W_{fin} \leq W_{lim,fin}$

11,7 ≤ 36,8mm Vérifiée

La solution en bois lamellé collé vérifie toutes les conditions de résistance à la flexion et au cisaillement et de flèche. Le bois lamellé collé pourra être utilisé comme procédé de construction.

Étude 2-3 : Étude d'une variante de la superstructure ossature métallique

Q16- Définir les pressions de vent les plus défavorables W^+ (toiture en appui) et W^- (toiture en soulèvement) à prendre en considération lors du dimensionnement de la toiture (voir figure 11).

Toiture en soulèvement : cas de charge $W_o^+ = -227 \text{ daN/m}^2$

Toiture en appui : cas de charge $W_o^+ = 152 \text{ daN/m}^2$

Q17- À l'aide du document technique DT07, **définir** les combinaisons d'actions les plus défavorables à l'ELS et à l'ELU. À l'aide des données sur les charges permanentes et du tableau 1, **calculer** la charge totale maximale descendante, ainsi que la charge totale maximale ascendante (en daN·m⁻²) de la toiture.

Pour les toitures de type H, il n'est pas nécessaire d'appliquer les charges d'exploitation combinées aux charges dues à la neige et/ou au vent.

$$G = G_{\text{bac acier}} + G_{\text{isolant}} + G_{\text{étanchéité}} = 42 \text{ daN/m}^2$$

$$W_{\text{soulèvement}} = W^- = -227 \text{ daN/m}^2$$

$$W_{\text{appui}} = W^+ = 152 \text{ daN/m}^2$$

ELU :

- Toiture en soulèvement : $G + 1,5 W^- = -298,5 \text{ daN/m}^2$
- Toiture en appui : $1,35 G + 1,5 W^+ = 284,7 \text{ daN/m}^2$

ELS :

- Toiture en soulèvement : $G + W^- = -185 \text{ daN/m}^2$
- Toiture en appui : $G + W^+ = 194 \text{ daN/m}^2$

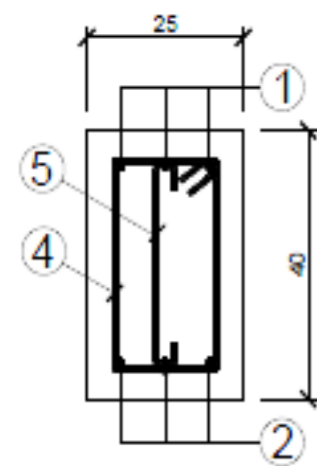
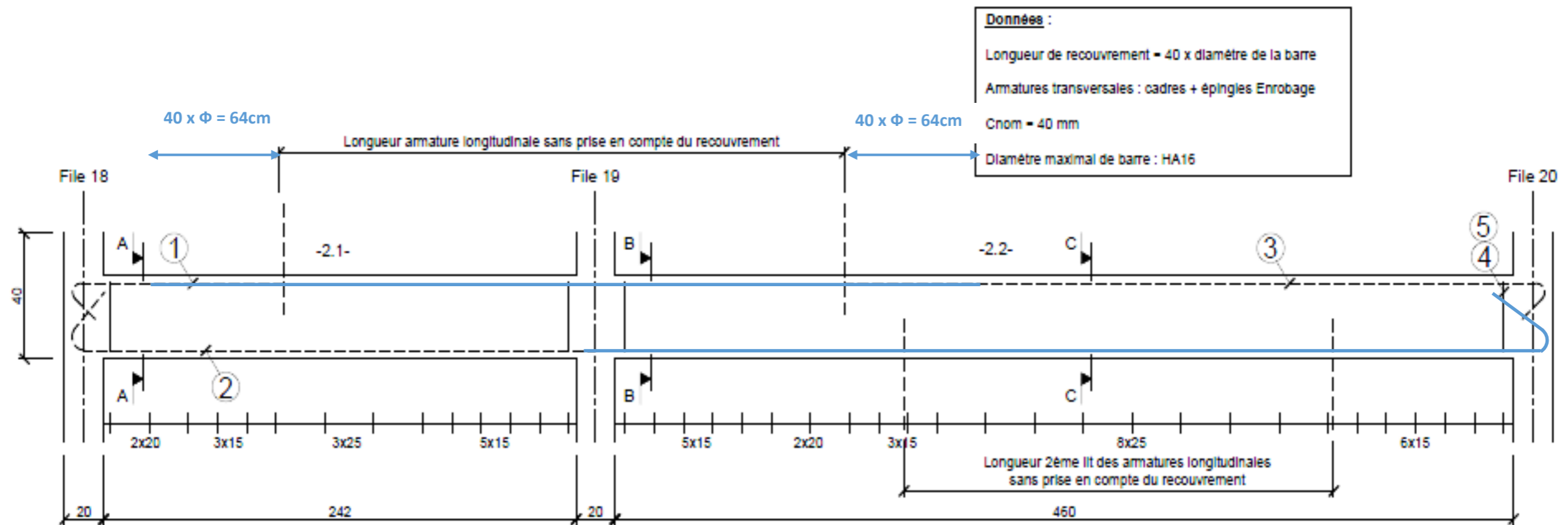
Q18- Sur les trois vues du document réponse DR4 (plan de toiture, façade ouest et façade est), **proposer** un système de contreventement à mettre en place et **surligner** les éléments de structure qui participent au cheminement des efforts de vent, pour un vent sud.

Voir document réponse DR4.

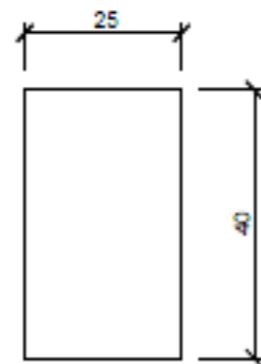
Étude 2-4 : Bilan carbone

Q19- Sur le document réponse DR5, **calculer** le bilan carbone simplifié pour la solution bois et **opérer** un choix argumenté entre les trois procédés de construction.

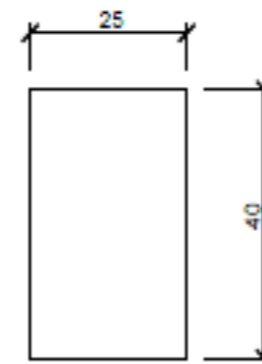
Voir la vérification sur le document réponse DR5.



Coupe A-A / Echelle $\frac{1}{10}$



Coupe B-B / Echelle $\frac{1}{10}$



Coupe C-C / Echelle $\frac{1}{10}$

Repérage armature	Nombre d'élément et type de barre	Façonnage armature
①	3 HA12	
②	3 HA12	
③	3 HA12	
④	39 HA8	
⑤	39 HA8	

DR3 : VÉRIFICATION DE LA POUTRE -2- (VARIANTE BOIS MASSIF)

Classe de service = 2 (Milieu abrité, taux d'humidité de l'air < 85%)

Classe de durée de charge : permanente

Poutre en bois massif : cryptoméria

Bois local : Cryptoméria

Classe : C18

$f_{m,k} = 18$ MPa

$f_{v,k} = 2,4$ MPa

$E_{o,mean} = 8\,900$ MPa

$\rho = 380$ kg/m³

$M_{u,max} = 80,94$ kN.m	$W_{inst}(Q) = 7,6$ mm
$V_{u,max} = 96,38$ kN	$W_{inst} = 9,1$ mm
$l = 4,60$ m	$W_{creep} = 5,7$ mm

DETAILLER LES CALCULS

Vérification de la contrainte normale :

Calcul de $\sigma_{m,d}$:

$$\sigma_{m,d} = \frac{80,94 \cdot 10^6}{\frac{250 \cdot 400^3}{12}} \times \frac{400}{2} = 12,14 \text{ MPa}$$

Calcul de $f_{m,d}$:

$$f_{m,d} = 1 \times 0,60 \times \frac{18}{1,30} = 8,30 \text{ MPa}$$

Justification :

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 1,46 > 1, \text{ la condition de flexion n'est pas vérifiée.}$$

Vérification de la contrainte de cisaillement :

Calcul de τ_d :

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{96,38 \cdot 10^3}{250 \cdot 400} = 1,44 \text{ MPa}$$

Calcul de $f_{v,d}$:

$$f_{v,d} = 0,6 \times \frac{2,4}{1,30} = 1,11 \text{ MPa}$$

Justification :

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 1,29 > 1, \text{ la condition de cisaillement n'est pas vérifiée.}$$

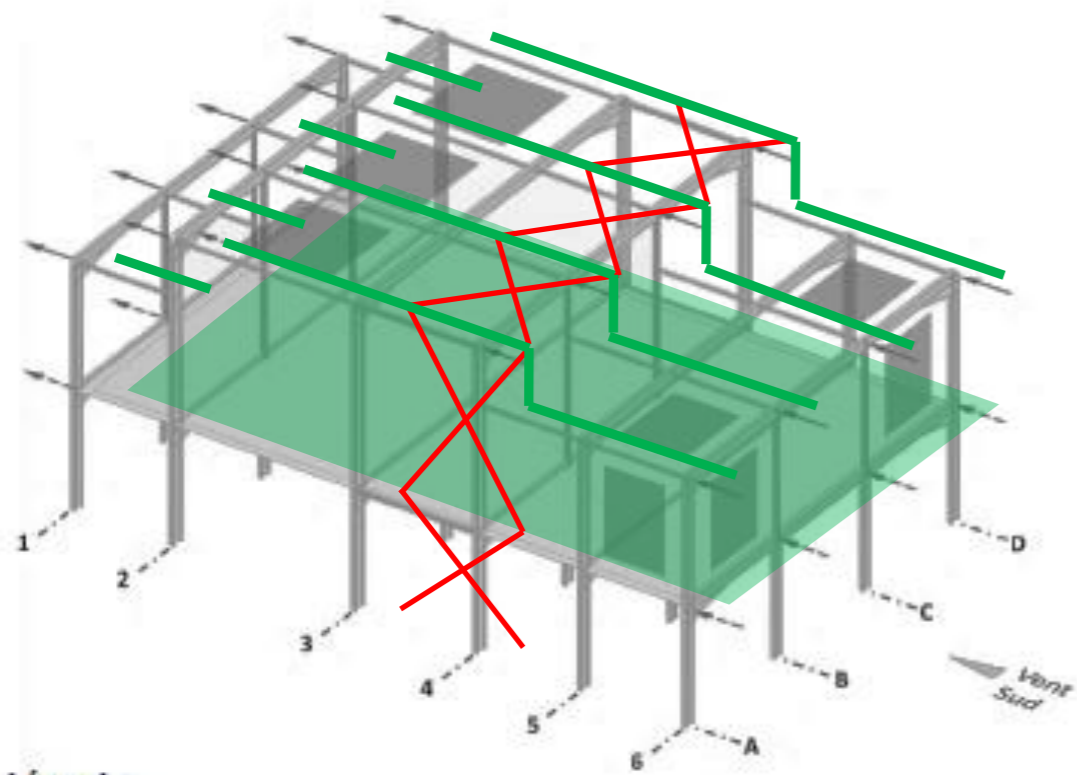
Vérification des flèches :

- $W_{inst}(Q) \leq W_{lim,inst}(Q)$
 $7,6 \leq \frac{4600}{300} = 15,33$ mm Vérifiée
- $W_{net,fin} \leq W_{lim,net,fin}$
 $14,8 \leq \frac{4600}{200} = 23$ mm Vérifiée
- $W_{fin} \leq W_{lim,fin}$
 $14,8 \leq \frac{4600}{125} = 36,8$ mm Vérifiée

Conclusion sur la vérification de la poutre en bois massif (cryptoméria) :

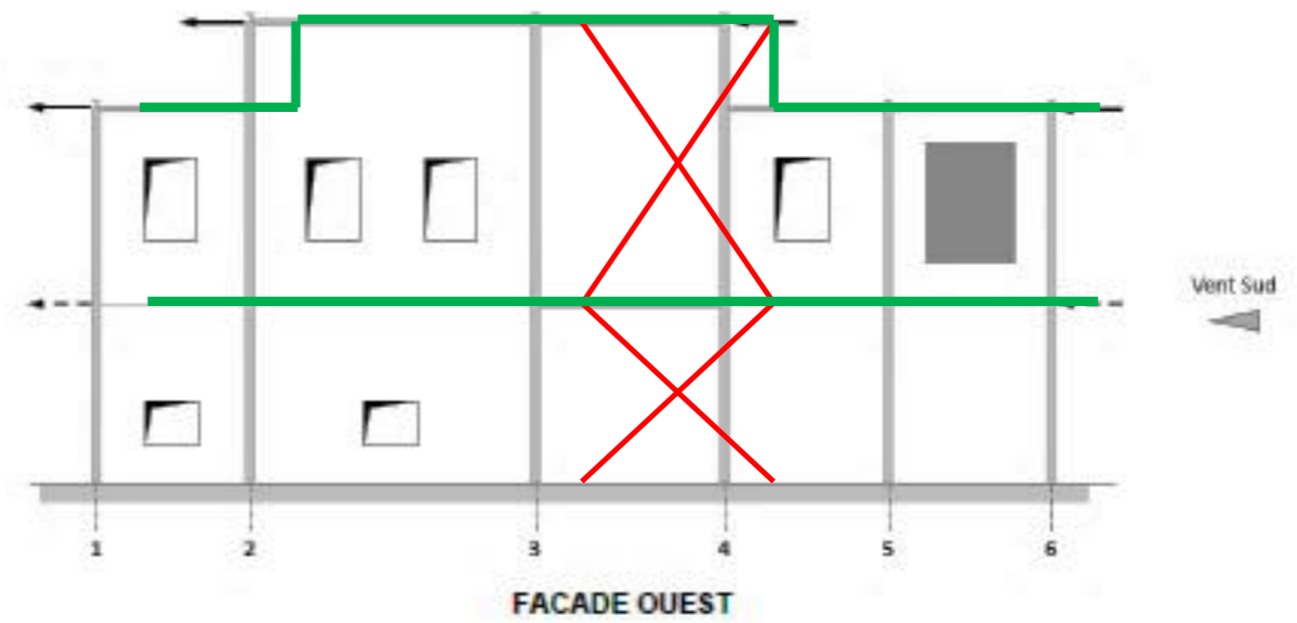
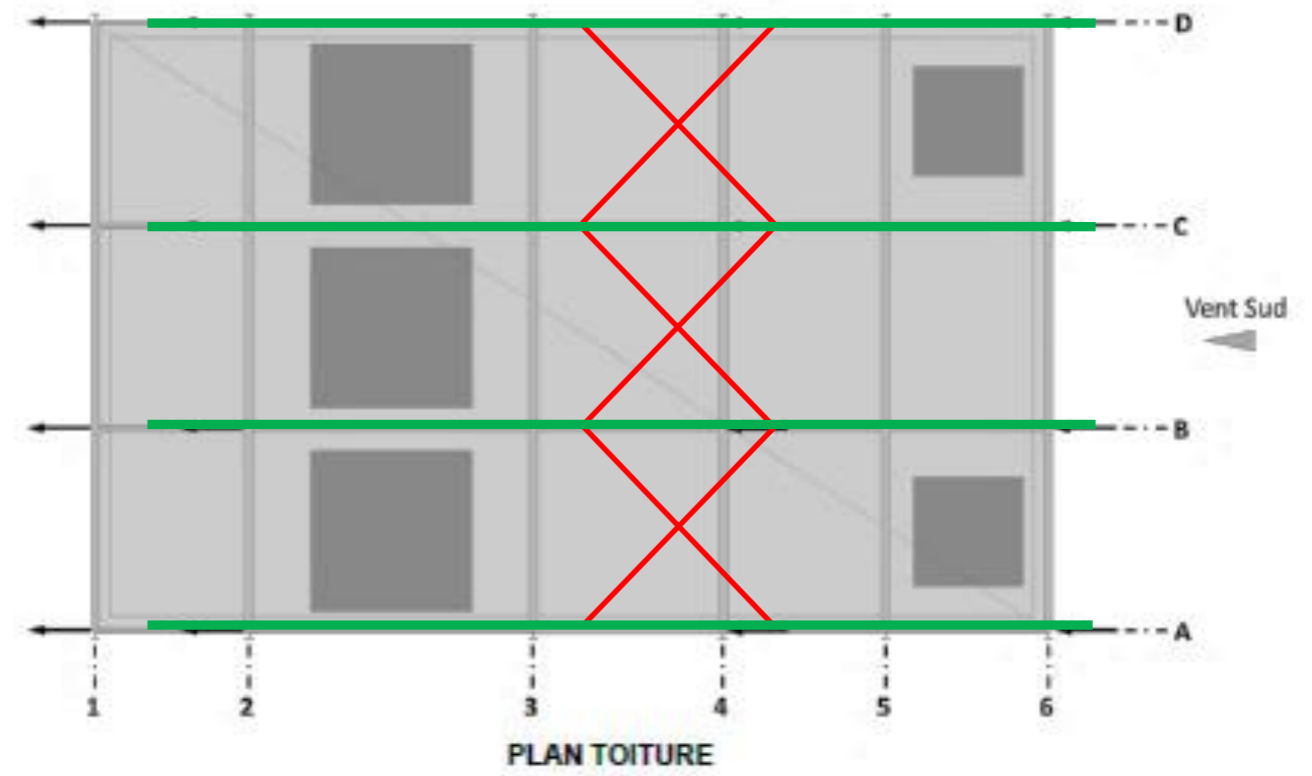
Pour la solution en bois massif cryptoméria, les conditions de flèche sont vérifiées, mais les résistances à la flexion et au cisaillement ne sont pas vérifiées. Le cryptoméria ne pourra pas être utilisé.

DR4 : SYSTÈME DE CONTREVENTEMENT



Légende :

- Emplacement des menuiseries extérieures
- Emplacement des trappes pour les visées lidars et télescopes
- Efforts de vent ramenés sur les butons
- Efforts de vent ramenés sur le plancher (diaphragme bac acier collaborant)



DR5 : BILAN CARBONE SIMPLIFIÉ

DONNEES DE L'ADEME (DOM)		
Solution béton armé	Solution acier	Solution bois
Béton = 250 kgCO2 éq/tonne Acier (recyclé 100%) = 870 kgCO2 éq/tonne	Béton = 250 kgCO2 éq/tonne Acier (recyclé 100%) = 870 kgCO2 éq/tonne	Bois = -300 kgCO2 éq/tonne
Provenance du ciment : Afrique du Sud Distance estimée : 3 000 km Provenance des granulats : Ile de la Réunion Provenance des aciers : Afrique du Sud Distance estimée : 3 000 km Transport maritime (matériaux) 17,5 gCO2 éq/t.km	Provenance du ciment : Afrique du Sud Distance estimée : 3 000 km Provenance des granulats : Ile de la Réunion Provenance des aciers : Afrique du Sud Distance estimée : 3 000 km Transport maritime (matériaux) 17,5 gCO2 éq/t.km	Provenance du bois : Europe Distance estimée : 19 250 km Transport maritime (matériaux) 17,5 gCO2 éq/t.km
Transport routier de la centrale à béton localisée dans la ville du Port jusqu'au chantier au Maïdo. Camion toupie (26T PTAC, 13,8T) Camion plateau (26T PTAC, 11,6T) À vide : 1,36 kgCO2 éq/km En charge : 1,96 kgCO2 éq/km	Transport routier du site portuaire localisée dans la ville du Port jusqu'au chantier au Maïdo. Camion plateau (26T PTAC, 11,6T) À vide : 1,36 kgCO2 éq/km En charge : 1,96 kgCO2 éq/km	Transport routier du site portuaire localisée dans la ville du Port jusqu'au chantier au Maïdo. Camion plateau (26T PTAC, 11,6T) À vide : 1,36 kgCO2 éq/km En charge : 1,96 kgCO2 éq/km

Matériaux :	Matériaux :	Matériaux :
Béton : 720 tonnes 180 tCO2 éq Acier (armatures) : 18,85 tonnes 16,40 tCO2 éq	Béton : 36,65 tonnes (Plancher collaborant) 9,16 tCO2 éq Acier (armatures) : 27,45 tonnes 23,88 tCO2 éq	Bois : 13,25 tonnes Matériau bois = 300x 13,25 = -3,975 téqCO2
<u>Transport maritime :</u> Ciment : 101,5 tonnes 5,32 tCO2 éq Acier : 18,85 tonnes 0,99 tCO2 éq	<u>Transport maritime :</u> Ciment : 5,15 tonnes 0,27 tCO2 éq Acier : 27,45 tonnes 1,44 tCO2 éq	<u>Transport maritime :</u> Bois : 13,25 tonnes Transport maritime = 19250 x 13,25 x 17,5 = 4,464téqCO2
<u>Transport routier :</u> Béton : 2 360 km aller en charge et 2 360 km retour à vide) À vide : 3,21 tCO2 éq En charge : 4,63 tCO2 éq Acier : 240 km aller en charge et 240 km retour à vide) A vide : 0,33 tCO2 éq En charge : 0,47 tCO2 éq	<u>Transport routier :</u> Béton : 240 km aller en charge et 240 km retour à vide A vide : 0,33 tCO2 éq En charge : 0,47 tCO2 éq Acier : 400 km aller en charge et 400 km retour à vide A vide : 0,55 tCO2 éq En charge : 0,80 tCO2 éq	<u>Transport routier :</u> Bois : 480 km aller en charge et 480 km retour à vide Transport routier À vide = 480 x 1,36 = 0,653 téqCO2 En charge = 480 x 1,96 = 0,941 téqCO2
TOTAL POUR LA SOLUTION BETON ARME : 211,4 tCO2 éq	TOTAL POUR LA SOLUTION OSSATURE MÉTALLIQUE : 36,9 tCO2 éq	TOTAL POUR LA SOLUTION OSSATURE BOIS : 2,083 téqCO2

Partie 3 : gestion du confort thermique de l'observatoire du Maïdo

Étude 3-1 : analyse de l'architecture matérielle

Q20-Identifier en les nommant et en précisant leurs rôles les éléments C1, C2 du document technique DT08. **Expliquer** le rôle de la pompe à chaleur (PAC) dans cette configuration. **Préciser** comment est montée la vanne trois voies de réglage de la puissance au niveau de C1 et C2.

C1 symbolise le plancher chauffant émetteur de chaleur, la V3V est montée en mélange sur le départ. Le débit est constant, pour faire varier la puissance de l'émetteur il convient de faire varier la température aux bornes de l'émetteur.

C2 représente la batterie chaude de la CTA. La vanne V3V est montée en décharge inversée, pour régler la puissance de la batterie, on fait varier le débit à température constante.

La PAC dans cette configuration permet de garantir le régime de température d'eau à tout moment de l'année et ce, même en absence d'ensoleillement.

Q21- En considérant les pertes thermiques nulles, **exprimer** puis **calculer** l'énergie stockée dans les ballons.

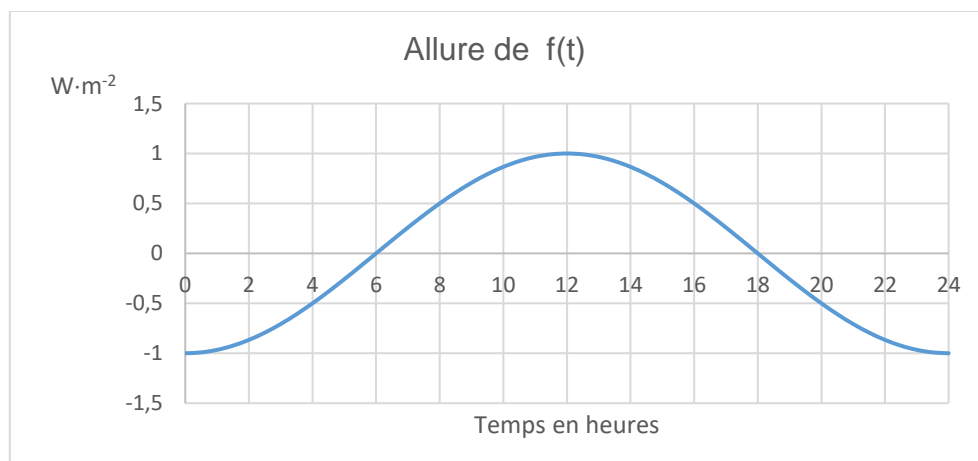
L'hypothèse des pertes nulles revient à considérer que toute l'eau des ballons est à la température de retour de l'installation et que l'on parvient à charger la totalité des ballons à la température de sortie des capteurs.

$Q = M \cdot C(T_{EC} - T_{SC})$; AN : $Q = 6000 \cdot 4180 \cdot (60 - 30)$ soit une énergie stockée sous forme de chaleur de 752 400 kJ.

Étude 3-2 : étude de l'énergie produite par les capteurs solaires

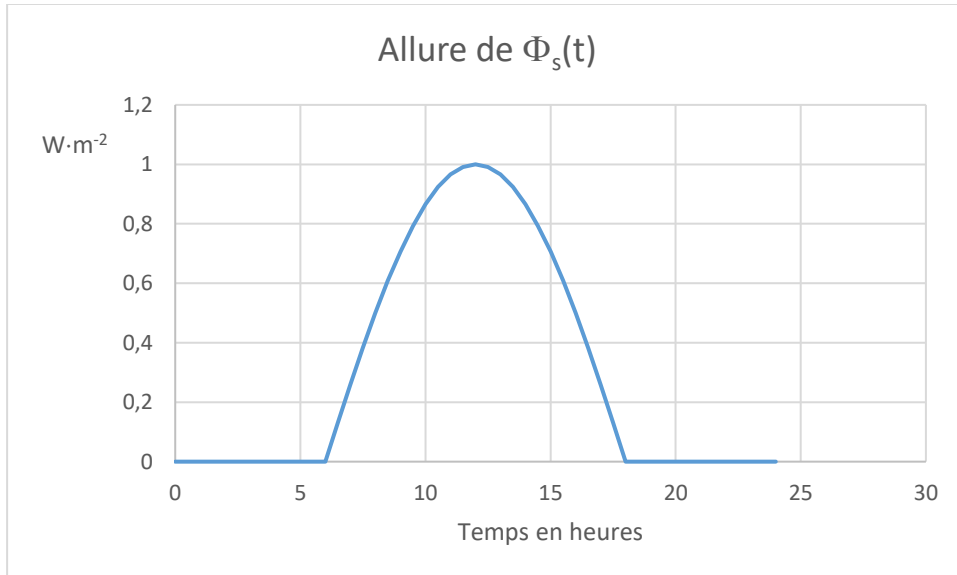
Q22- On note T_j la durée du jour en heures. **Exprimer** puis calculer ω_j et ψ pour la course du soleil d'équinoxe (voir document technique DT09). **Représenter** l'allure de $\Phi_s(t)$.

La course du soleil à l'équinoxe produit une fonction sinusoïdale positive entre 6h et 18h. On a consigné ci-après l'allure de $f(t)$ pour une amplitude unitaire.



La pulsation journalière est donnée par : $\omega_j = \frac{\pi}{T_j}$ où ω_j est exprimée en $\text{rad} \cdot \text{h}^{-1}$ et $\psi = \omega_j \cdot 6$. AN :

$$T_j = 12 \text{ h}; \quad \omega_j = \frac{\pi}{12} \text{ rad} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{et} \quad \psi = \frac{\pi}{2} \text{ rad}.$$



Q23-Exprimer l'énergie journalière W_j reçue puis en déduire Φ_M sachant que W_j cumulée au pas horaire est estimée à $5\,500 \text{ Wh} \cdot \text{j}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

L'énergie cumulée sur une journée correspond à l'aire sous la courbe de $\Phi_s(t)$.

$$W_j = \int_6^{18} \Phi_M \cdot \sin(\omega_j t - \psi) \cdot dt \quad , \text{ soit} \quad W_j = \frac{-\Phi_M}{\omega_j} [\cos(\omega_j t - \psi)]_6^{18} = \frac{2\Phi_M}{\omega_j}.$$

$$\text{Il en résulte} \quad \Phi_M = \frac{W_j \cdot \omega_j}{2} \quad . \text{ AN :} \quad \Phi_M = \frac{5500 \cdot \frac{\pi}{12}}{2} \quad \text{soit} \quad \Phi_M = 720 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Q24-En déduire l'énergie journalière utile W_u fournie par les capteurs, puis **conclure**.

L'énergie utile surfacique fournie est donnée par : $W_u = \eta \cdot W_j$

$$W_u = \left(\eta_0 - a_1 \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right)^2 \right) \cdot W_j \quad , \text{ avec} \quad T_m = \frac{T_{\text{EC}} + T_{\text{EF}}}{2} = \frac{60 + 30}{2} = 45 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\text{AN :} \quad W_u = \left(0,75 - 1,25 \left(\frac{45 - 12}{600} \right) - 0,0094 \cdot 600 \cdot \left(\frac{45 - 12}{600} \right)^2 \right) \cdot 5500$$

$W_u = 3653 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}$, pour une surface de 100 m^2 on a donc $W_u = 365,3 \text{ kWh}$. Le besoin est de $39\,000 \text{ kWh}$ ce qui équivaut à 107 jours d'ensoleillement dans les conditions et les hypothèses de l'étude. Si on se base sur l'énergie surfacique annuelle disponible les capteurs sont en mesure de fournir $92\,986 \text{ kWh}$ ce qui couvre largement le besoin.

Néanmoins, il faudra affiner l'étude avec des logiciels de simulation qui prennent en compte les conditions météorologiques variables en vérifiant le taux de couverture solaire dans les conditions les plus défavorables.

Q25-Exprimer puis **calculer** la température de stagnation. **Exprimer** puis **calculer** le seuil de démarrage des capteurs (G minimal) avec une température moyenne du capteur de $120 \text{ }^\circ\text{C}$. **Conclure** sur les problèmes générés dans ces conditions de fonctionnement ainsi que sur les solutions techniques envisageables pour y remédier.

En situation de stagnation il n'y a pas de consommation d'eau, cela équivaut à un rendement qui est nul.

$$0 = \eta_0 - a_1 \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right)^2$$

Cette équation est de la forme $-a_2 \cdot G \cdot X^2 - a_1 X + \eta_0 = 0$.

$$\Delta = (-a_1)^2 - 4(-a_2 G) \quad \text{soit deux solutions :} \quad X_{(1,2)} = \frac{a_1 \pm \sqrt{\Delta}}{2(-a_2 G)}$$

On obtient : $T_{m(1,2)} = GX_{(1,2)} + T_{\text{ext}}$. Seule la solution positive est à retenir dans notre cas, on aboutit à $T_m = 174 \text{ }^\circ\text{C}$.

La température est très élevée au-delà du point d'ébullition du fluide. On peut mettre sous pression les circuits, ou des circuits de recirculation du fluide, voire une évacuation du circuit. L'eau glycolé ne peut être utilisée dans notre cas car sa température d'ébullition est dépassée.

Le seuil de démarrage du capteur est la valeur d'irradiance pour laquelle le rendement devient positif, soit $\eta \geq 0$.

$$\eta_0 - a_1 \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{T_m - T_{\text{ext}}}{G} \right)^2 \geq 0$$

$$G \geq \frac{a_1(T_m - T_{\text{ext}}) + a_2(T_m - T_{\text{ext}})^2}{\eta_0} \quad \text{Soit un seuil de démarrage à } G_{\text{mini}} = 326,19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Les valeurs d'irradiance calculées sont supérieures au seuil démarrage, donc les capteurs sont en mesure de produire.

Q26-Préciser l'expression du coefficient de diffusivité a . **Mener** une analyse dimensionnelle pour préciser son unité. **Simplifier** l'équation de la chaleur dans le cas du régime permanent en tenant compte des hypothèses.

$$a = \frac{\lambda}{\delta \cdot C_T} \quad \text{l'analyse dimensionnelle donne :} \quad [a] = \frac{[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]}{[kg \cdot m^{-3}] \cdot [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]}, \text{ après simplification on obtient : } [a] = [m^2 \cdot s^{-1}].$$

Le régime permanent induit $\frac{dT}{dt} = 0$, par ailleurs la température est indépendante de z et de θ , ce qui aboutit à $\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0$.

D'où : $a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$.

Q27-Exprimer $\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right)$. **Montrer** que $T(r) = A \cdot \ln r + B$ où A et B sont deux constantes à exprimer en fonction des données du problème.

$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = \frac{dT}{dr} + r \frac{d^2 T}{dr^2}$, en reprenant l'équation de la chaleur on a :

$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$, donc $r \frac{dT}{dr} = A$ où A est une constante.

Soit en prenant la primitive, on a $T(r) = A \cdot \ln(r) + B$. Pour déterminer A et B, il faut tenir comptes des conditions aux limites de r, ce qui se traduit par : $T(r_2) = A \cdot \ln r_2 + B$ et $T(r_1) = A \cdot \ln r_1 + B$. En

$$A = \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

faisant la soustraction de ces deux dernières équations on exprime $B = T_1 \cdot \ln r_2 - T_2 \cdot \ln r_1$.

Q28-Exprimer le flux total à travers une surface engendrée par le rayon r. **Exprimer** puis **calculer** la résistance thermique R_{th} due à la conduction de la chaleur dans ce cylindre creux pour un mètre linéaire du tube. On considère que $\lambda_T = 0,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Le module de la densité de flux est donné par : $\varphi_r = \lambda_T \cdot \frac{dT}{dr} = \lambda_T \cdot \frac{A}{r}$ soit $\phi = \iint_S \varphi(r) \cdot dS$, avec $dS = r d\theta \cdot dz$.

$$\phi = \int_0^{L_T} \int_0^{2\pi} \lambda_T \cdot A \cdot d\theta \cdot dz \quad , \text{ il vient :} \quad \phi = 2\pi L_T \cdot \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

La résistance thermique est définie par

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\phi} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \lambda_T \cdot L_T}$$

$$R_{th} = 101,5 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Étude 3-4 : étude de la conduction dans la chape de béton

Q29-Exprimer la masse dm de l'élément de longueur dz et de section A . **Exprimer** alors l'énergie stockée ϕ_{st} dans cet élément de masse dm en fonction de C_z et de dT . En déduire ϕ_{st} .

La masse $dm = \rho \cdot A \cdot dz$, l'énergie en Joules est donnée par $\phi_{st} = dm \cdot C_z \cdot dT$ et le flux en Watt

est donné par
$$\phi_{st} = dm \cdot C_z \cdot \frac{dT}{dt}$$

Q30-Rappeler la loi de Fourier en z et $z+dz$. **Écrire** le bilan thermique de ce système puis en déduire l'équation de la chaleur dans notre cas.

$$\phi(z) = -\lambda_z \cdot A \cdot \left. \frac{dT}{dz} \right|_z \quad \text{et} \quad \phi(z+dz) = -\lambda_z \cdot A \cdot \left. \frac{dT}{dz} \right|_{z+dz}$$

le bilan s'écrit : $\phi(z) = \phi_{st} + \phi(z+dz)$,

$$\phi_{st} = \rho \cdot C_z \cdot A \cdot dz \cdot dT = \phi(z) - \phi(z+dz) = -\frac{\partial \phi(z)}{\partial z} dz$$

On obtient :
$$\rho \cdot C_z \cdot \frac{dT}{dt} = -\lambda \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{dT}{dz} \right), \text{ soit } \rho \cdot C_z \cdot \frac{dT(z,t)}{dt} = \lambda_z \frac{d^2 T(z,t)}{dz^2}$$

Q31- On se place en régime stationnaire. **En déduire** l'expression de $\frac{\partial T(z)}{\partial z}$. Pour un mur simple en régime permanent, **exprimer** la température en fonction de z , on notera T_{1c} et T_{2c} la température en $z = 0$ et $z = e_b$. **En déduire** l'expression de la résistance thermique surfacique R_{thc} de la chape de béton. **Calculer** la résistance thermique surfacique à la propagation de la chaleur par conduction dans la chape de béton.

En régime permanent la température ne dépend pas du temps donc
$$\frac{\partial T(z)}{\partial t} = 0$$

Ce qui conduit à
$$\frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} = 0, \text{ on en déduit } \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} = H$$
 ou H est une constante. En prenant la primitive on obtient : $T(z) = H \cdot z + F$ avec F une autre constante.

$$T(z) = \frac{T_{2c} - T_{1c}}{e_b} \cdot z + T_{1c} \quad \phi = -\lambda_z \cdot \frac{dT}{dz}$$

. La densité de flux est donnée par :

$$\phi = \lambda \frac{T_{1c} - T_{2c}}{e_b} = \frac{\Delta T}{R_{thc}}, \quad R_{th} = \frac{e_b}{\lambda_z}$$

$$R_{thc} = \frac{35 \cdot 10^{-2}}{1,8} = 194,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{K}$$

Q32 - En partant de la température du fluide, **établir** le schéma thermique équivalent en faisant apparaître la résistance surfacique de la chape de béton R_{thc} , la résistance surfacique du revêtement de sol R_{rev} et la résistance surfacique de convection interne dans le tube R_{hc} . **Exprimer** puis **calculer** respectivement la température T_{PT} et la température de surface du revêtement T_{srev} en considérant une température ambiante $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, puis **conclure**.

$$\text{On a : } \varphi_{cv} = h_i \cdot (T_{srev} - \theta_a) \text{ donc } T_{srev} = 23,44 \text{ }^\circ\text{C}. \quad T_{PT} = \varphi_{cv} (R_{thc} + R_{rev}) + T_{srev}$$

$$T_{PT} = 36 \text{ }^\circ\text{C}.$$

On peut conclure que dans ces conditions la température de la surface de revêtement est inférieure à $28 \text{ }^\circ\text{C}$, donc elle est conforme au DTU 65.14. Il faudra cependant à veiller au réglage de la puissance des boucles.

Étude 3-5 : détermination du débit maximal à imposer dans le tube le plus long

Q33-Établir le bilan du flux de chaleur dans un élément de longueur dx du tube.

$$\frac{Q_i}{3600} \cdot C_E \cdot dT = H_{CF} \cdot 2\pi \cdot r \cdot dx \cdot (T_{PT} - T)$$

, où r est le rayon interne.

Q34-En déduire l'expression du débit Q_i de l'eau dans le tube, puis le **calculer**. On prend comme valeur du coefficient de convection interne forcée entre le fluide et la paroi $H_{CF} = 12 \text{ W} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. **Exprimer** puis **calculer** la puissance maximale à délivrer sur cette boucle.

$$\frac{dT}{T_{PT} - T} = \frac{3600 \cdot h \cdot 2\pi \cdot r \cdot dx}{C \cdot Q_i}$$

, en faisant une intégration à variable séparée on obtient :

$$\int_{T_{EFT}}^{T_{SFT}} \frac{1}{T_{PT} - T} \cdot dT = \int_0^{L_T} \frac{3600 \cdot H_{CF} \cdot 2\pi \cdot r}{C_E \cdot Q_i} \cdot dx \quad [-\ln(T_{PT} - T)]_{T_{EFT}}^{T_{SFT}} = \left[\frac{3600 \cdot H_{CF} \cdot 2\pi \cdot r}{C_E \cdot Q_i} \right]_0^{L_T}$$

, soit :

$$Q_i = \frac{3600 \cdot H_{CF} \cdot 2\pi \cdot r \cdot L_T}{C_E} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{T_{PT} - T_{EFT}}{T_{PT} - T_{SFT}}\right)}$$

On trouve $Q_i = 87 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. On calcule la puissance

maximale à délivrer par la relation $\phi = \frac{Q_i}{3600} \cdot C_E \cdot (T_{EFT} - T_{SFT})$, on trouve 808 W sur cette boucle.

On pourra vérifier par la méthode de la différence de température logarithmique moyenne :

$$\Delta TLM = \frac{\Delta TE - \Delta TS}{\ln\left(\frac{\Delta TE}{\Delta TS}\right)}$$

$\phi = H_{CF} \cdot \pi D \cdot L_t \cdot \Delta TLM$ où avec :

$\Delta TS = T_{PT} - T_{SFT}$ et $\Delta TE = T_{PT} - T_{EFT}$ avec D le diamètre interne égale à 16 mm.

On trouve : $\phi = 808 \text{ W}$.

Étude 3-6 : contrôle de la température au sein de l'observatoire

Q35- Écrire ces équations dans le domaine de Laplace puis montrer que :

$$\theta_a(p) = \left[R_{eq2} \cdot \Phi_{ch}(p) + \frac{R_{eq2}}{R_e} \theta_e(p) + \frac{R_{eq2}}{R_i} \theta_s(p) \right] \cdot \frac{1}{1 + R_{eq2} C_i p}, \text{ avec } R_{eq2} = \left(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_i} \right)^{-1}$$

$$\Phi_{ch}(p) = \Phi_{ci}(p) + \Phi_i(p) + \Phi_{e1}(p), \text{ (eq1)}.$$

$$C_i \cdot p \cdot \theta_a(p) = \Phi_{ci}(p), \text{ (eq2)}.$$

$$\Phi_{e1}(p) = \frac{\theta_a(p) - \theta_e(p)}{R_e}, \text{ (eq3)}.$$

$$\Phi_i(p) = \frac{\theta_a(p) - \theta_s(p)}{R_i}, \text{ (eq4)}.$$

$$C_s \cdot p \cdot \theta_s(p) = \Phi_{cs}(p), \text{ (eq5)}.$$

$$\Phi_{e2}(p) = \frac{\theta_e(p) - \theta_s(p)}{R_s}, \text{ (eq6)}.$$

$$\Phi_i(p) + \Phi_{e2}(p) = \Phi_{cs}(p). \text{ (eq7)}.$$

De eq2 on exprime $\theta_a(p)$, puis on remplace dans cette équation $\Phi_{ci}(p)$ qu'on aura exprimé à partir de eq1.

$$\theta_a(p) = \frac{\Phi_{ch}(p) - \Phi_i(p) - \Phi_{e1}(p)}{C_i \cdot p} \quad , \text{ on remplace alors eq}_3 \text{ et eq}_4 \text{ dans cette dernière relation.}$$

$$\theta_a(p) = \frac{\Phi_{ch}(p)}{C_i \cdot p} - \frac{\theta_a(p) - \theta_s(p)}{R_i \cdot C_i \cdot p} - \frac{\theta_a(p) - \theta_e(p)}{R_e \cdot C_i \cdot p}$$

$$\theta_a(p) \cdot \left(1 + \frac{1}{R_i \cdot C_i \cdot p} + \frac{1}{R_e \cdot C_i \cdot p}\right) = \frac{\Phi_{ch}(p)}{C_i \cdot p} + \frac{\theta_s(p)}{R_i \cdot C_i \cdot p} + \frac{\theta_e(p)}{R_e \cdot C_i \cdot p}$$

$$\theta_a(p) \cdot \left(1 + \frac{1}{C_i \cdot p} \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_e}\right)\right) = \frac{1}{C_i \cdot p} \left(\Phi_{ch}(p) + \frac{\theta_s(p)}{R_i} + \frac{\theta_e(p)}{R_e}\right)$$

$$\theta_a(p) \cdot \left(\frac{1 + C_i \cdot p \cdot R_{eq2}}{C_i \cdot p \cdot R_{eq2}}\right) = \frac{1}{C_i \cdot p} \cdot \left(\Phi_{ch}(p) + \frac{\theta_s(p)}{R_i} + \frac{\theta_e(p)}{R_e}\right)$$

On obtient bien au final :

$$\theta_a(p) = \left[R_{eq2} \cdot \Phi_{ch}(p) + \frac{R_{eq2}}{R_e} \theta_e(p) + \frac{R_{eq2}}{R_i} \theta_s(p) \right] \cdot \frac{1}{1 + R_{eq2} C_i p} \quad , \text{ avec } R_{eq2} = \left(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_i}\right)^{-1}$$

Q36- Après avoir identifié $H_1(p)$, $H_2(p)$ et K_i pour $i = 1$ à 5 , **compléter** les documents réponses DR6 et DR7 en précisant l'expression des différentes fonctions de transfert.

Voir DR6 et DR7.

La lecture du schéma-bloc conduit à la relation suivante :

$$\theta_a(p) = [K_1 \cdot \Phi_{ch}(p) + K_2 \cdot \theta_e(p) + K_5 \cdot \theta_s(p)] \cdot H_1(p) \quad , \text{ cette dernière est à rapprocher de}$$

$$\theta_a(p) = \left[R_{eq2} \cdot \Phi_{ch}(p) + \frac{R_{eq2}}{R_e} \theta_e(p) + \frac{R_{eq2}}{R_i} \theta_s(p) \right] \cdot \frac{1}{1 + R_{eq2} C_i p} \quad . \text{ Par identification il vient :}$$

$$K_1 = R_{eq2} \quad , \quad K_2 = \frac{R_{eq2}}{R_e} \quad , \quad K_5 = \frac{R_{eq2}}{R_i} \quad \text{ et } \quad H_1(p) = \frac{1}{1 + R_{eq2} C_i p}$$

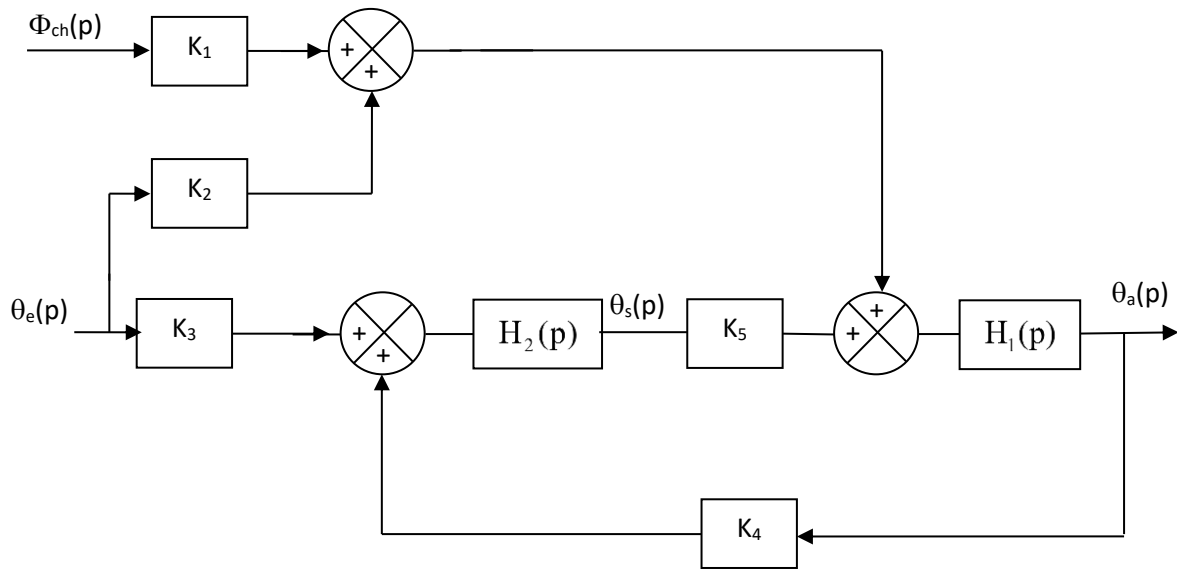
La lecture du schéma-blocs donne :

$$\theta_s(p) = [K_4 \cdot \theta_a(p) + K_3 \cdot \theta_e(p)] \cdot H_2(p) \quad , \text{ à rapprocher de l'équation :}$$

$$\theta_s(p) = \left[\frac{R_{eq1}}{R_i} \theta_a(p) + \frac{R_{eq1}}{R_s} \theta_e(p) \right] \cdot \frac{1}{1 + R_{eq1} C_s p} \quad , \text{ par identification on obtient : } K_4 = \frac{R_{eq1}}{R_i}$$

$$K_3 = \frac{R_{eq1}}{R_s} \quad \text{ et } \quad H_2(p) = \frac{1}{1 + R_{eq1} C_s p}$$

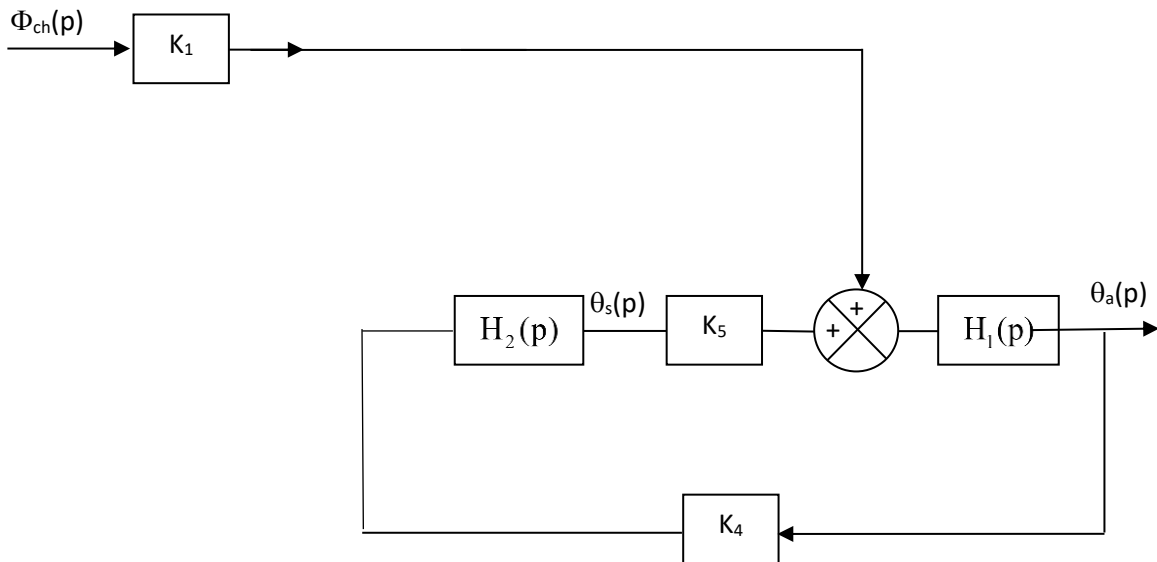
Le couplage des deux schémas-blocs de DR6 et DR7 conduit au schéma-blocs suivant :



Q37- Montrer que : $T_1(p) = K_2 + K_3 K_5 H_2(p)$ et $T_2(p) = \frac{H_1(p)}{1 - K_4 K_5 H_1(p) H_2(p)}$.

Le système étant linéaire on peut écrire $\theta_e(p) = 0$ et exprimer $\theta_a(p)$ puis faire $\Phi_{ch}(p) = 0$ et exprimer $\theta_a(p)$ (Théorème de superposition).

Pour $\theta_e(p) = 0$, on a :



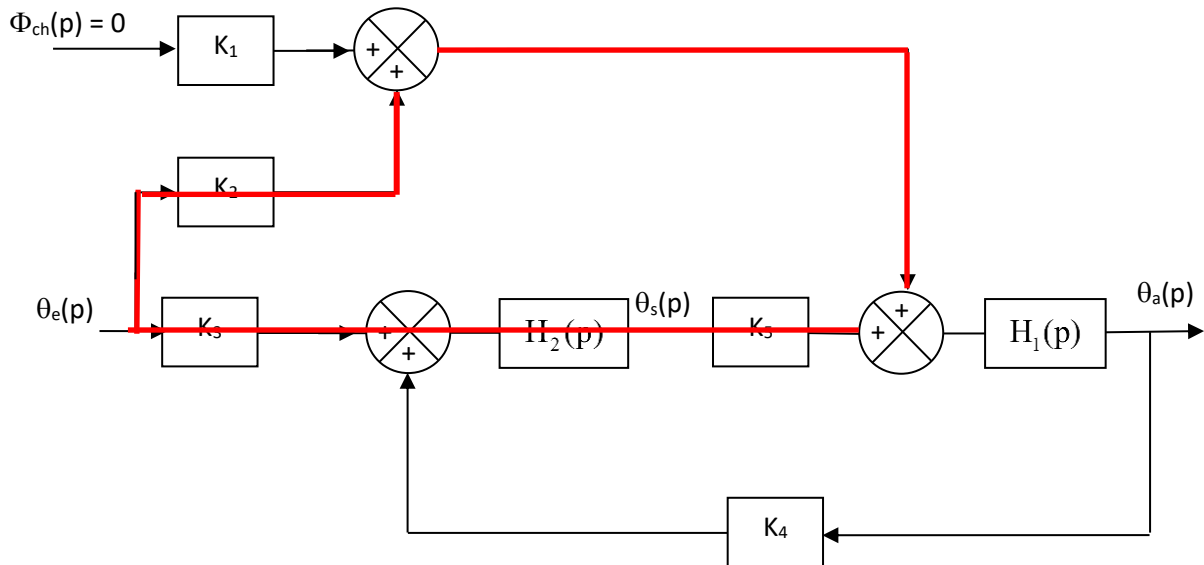
Nous avons un schéma-blocs qui fait apparaître une chaîne directe $H_1(p)$ et une chaîne de retour avec en cascade K_4 , $H_2(p)$ et K_5 . La rétroaction est positive.

L'entrée principale étant $K_1 \cdot \Phi_{ch}(p)$.

$$\theta_a(p) = \frac{H_1(p)}{1 - K_4 \cdot K_5 \cdot H_1(p) \cdot H_2(p)} \cdot K_1 \cdot \Phi_{ch}(p)$$

On a donc :

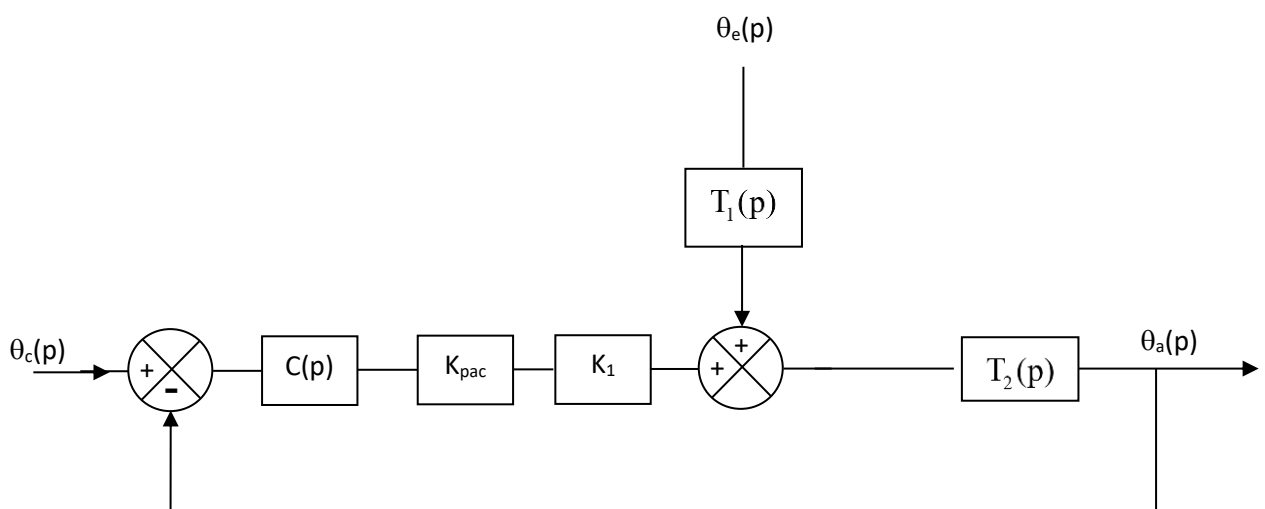
Pour $\Phi_{ch}(p) = 0$ on a le schéma-blocs suivant :



On a : $\theta_a(p) = [K_2 \cdot \theta_e(p) + K_5 \cdot H_2(p) \cdot (K_3 \theta_e(p) + K_4 \cdot \theta_a(p))] \cdot H_1(p)$, on aboutit à :

$$\theta_a(p) = [(K_2 + K_3 K_5 H_2(p))] \cdot \frac{H_1(p)}{1 - K_4 K_5 H_1(p) H_2(p)} \cdot \theta_e(p)$$

, on identifie en s'appuyant sur le schéma global suivant :



On identifie :

$$T_1(p) = K_2 + K_3 K_5 H_2(p) \quad \text{et} \quad T_2(p) = \frac{H_1(p)}{1 - K_4 K_5 H_1(p) H_2(p)}$$

Q38- Montrer que la signature énergétique en statique (pour θ_a constant soit $p = 0$) du bâtiment en chauffage est du type : $\Phi_{ch} = \alpha + \beta \cdot \theta_e$. **Préciser** les expressions des coefficients α et β en fonction de

K_i pour i de 1 à 5. **Calculer** ces coefficients avec $K_1 = \frac{10^{-3}}{3}$; $K_2 = \frac{1}{3}$; $K_3 = \frac{1}{5}$; $K_4 = \frac{4}{5}$ et $K_5 = \frac{2}{3}$.

Vérifier à l'aide du schéma du modèle électrique en régime permanent que $\Phi_{ch} = 7\text{kW}$ pour $\theta_a = 20$ °C et $\theta_e = 15$ °C.

$$\theta_a = \frac{K_1}{1 - K_4 \cdot K_5} \cdot \Phi_{ch} + (K_2 + K_3 K_5) \cdot \frac{1}{1 - K_4 K_5} \cdot \theta_e \quad \text{car} \quad H_1(0) = H_2(0) = 1$$

Donc
$$\Phi_{ch} = \frac{1 - K_4 \cdot K_5}{K_1} \theta_a - \frac{K_2 + K_3 K_5}{K_1} \cdot \theta_e$$
, comme θ_a est constante alors :

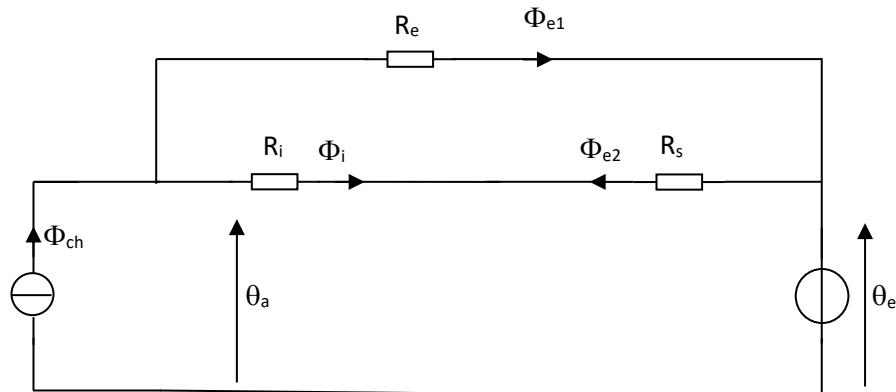
$$\Phi_{ch} = \alpha + \beta \cdot \theta_e, \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{1 - K_4 \cdot K_5}{K_1} \quad \text{et} \quad \beta = -\frac{K_2 + K_3 K_5}{K_1}$$

$$\alpha = \frac{1 - \frac{4}{5} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{10^{-3}}{3}} = 28 \cdot 10^3 \text{ W} \quad \beta = -\frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{5} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{10^{-3}}{3}} = -\frac{7}{5} \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

AN : et .

On peut vérifier que
$$\Phi_{ch} = 28000 - \frac{7000}{5} \cdot 15 = 7000 \text{ W}$$

En régime permanent, les grandeurs deviennent indépendantes du temps. On aboutit au schéma suivant :



$$\Phi_{ch} = (\theta_a - \theta_e) \cdot \left(\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_i + R_s} \right) \quad \Phi_{ch} = (20 - 15) \cdot \left(\frac{1}{1000 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{(500 + 2000) \cdot 10^{-6}} \right)$$

, en AN :
, soit $\Phi_{ch} = 7000 \text{ W}$.

Q39-Donner en statique la variation de la température de sortie pour une variation de type échelon unitaire pour les deux correcteurs dans les deux modes de fonctionnement. **Conclure**.

$$C(p) = K_{pi} \left(1 + \frac{1}{\tau_i p} \right)$$

$C(p) = K_p$ et . Pour le correcteur proportionnel on obtient :

$$\lim_{p \rightarrow 0} [p \cdot \theta_a(p)] = p \cdot \left[\frac{T_2(p) \cdot T_1(p)}{1 + C(p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} \cdot \frac{1}{p} + \frac{C(p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)}{1 + C(p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} \cdot \frac{1}{p} \right]$$

$$\theta_a = \frac{T_2(0) \cdot T_1(0)}{1 + K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(0)} + \frac{K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(0)}{1 + K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(0)}, \text{ avec } T_1(0) = K_2 + K_3 K_5 H_2(0) \text{ et}$$

$$T_2(0) = \frac{H_1(0)}{1 - K_4 K_5 H_1(0) H_2(0)}$$

$$\theta_a = \frac{K_2 + K_3 \cdot K_5}{1 - K_4 \cdot K_5 + K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1} \neq 0$$

Vis-à-vis de la perturbation extérieure : et vis-à-vis de la consigne

$$\theta_a = \frac{K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1}{1 - K_4 \cdot K_5 + K_p \cdot K_{pac} \cdot K_1} \neq 1$$

La correction proportionnelle n'est pas satisfaisante car la température ambiante n'est pas égale à la consigne. De surcroît, la perturbation affecte la température ambiante.

Avec le correcteur proportionnel intégrale (PI) on a :

$$\lim_{p \rightarrow 0} [p \cdot \theta_a(p)] = p \cdot \left[\frac{T_2(p) \cdot T_1(p)}{1 + K_{pi} \frac{(1 + \tau_i \cdot p)}{\tau_i \cdot p} \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} \cdot \frac{1}{p} + \frac{K_{pi} \frac{(1 + \tau_i \cdot p)}{\tau_i \cdot p} \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)}{1 + K_{pi} \frac{(1 + \tau_i \cdot p)}{\tau_i \cdot p} \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} \cdot \frac{1}{p} \right]$$

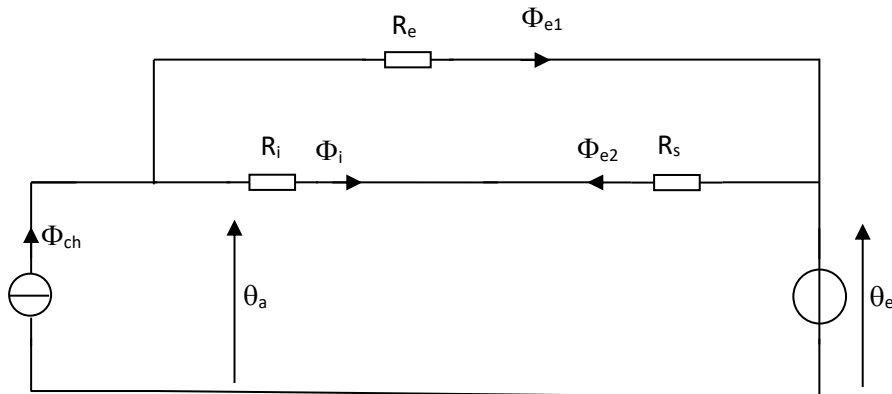
$$\lim_{p \rightarrow 0} [p \cdot \theta_a(p)] = \left[\frac{\tau_i \cdot p \cdot T_2(p) \cdot T_1(p)}{\tau_i \cdot p + K_{pi} \cdot (1 + \tau_i \cdot p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} + \frac{K_{pi} \cdot (1 + \tau_i \cdot p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)}{\tau_i \cdot p + K_{pi} \cdot (1 + \tau_i \cdot p) \cdot K_{pac} \cdot K_1 \cdot T_2(p)} \right]$$

En appliquant $p = 0$, on obtient : $\theta_a = 0 + 1$.

Pour une variation de type échelon unitaire on peut conclure que la température ambiante n'est plus affectée par la température extérieure et qu'elle est égale à la température de consigne.

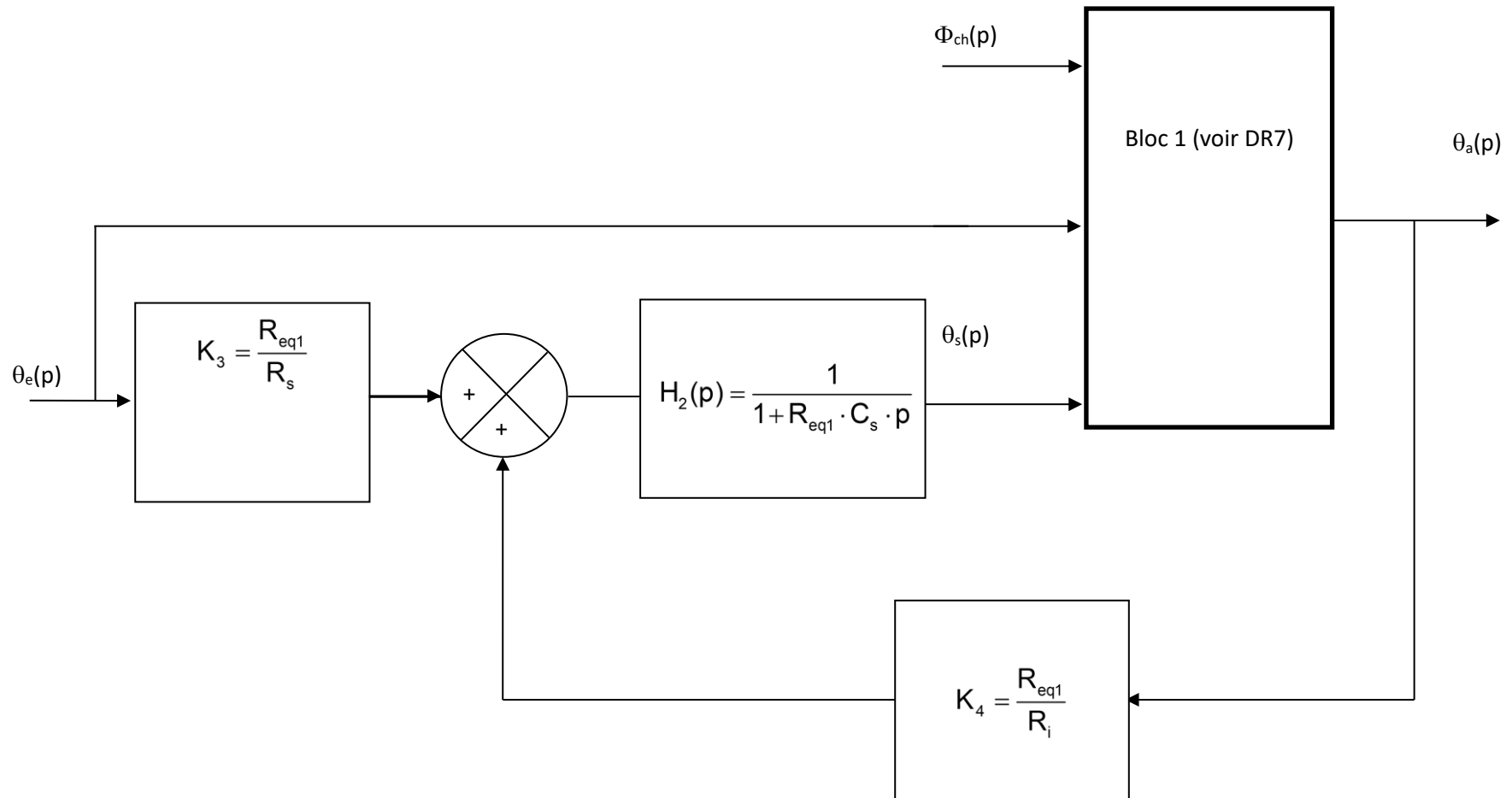
Q40-Préciser le type d'excitation à laquelle le bâtiment est confronté. **Analyser** les performances de la régulation en précisant en particulier le type de correcteur implanté. **Justifier** les valeurs du flux de chauffage en régime statique.

Le bâtiment fait face à une perturbation de type échelon. Avant la variation de la perturbation le régime établi est caractérisé par une puissance de chauffe de 7 kW conforme à ce qu'on a trouvé et l'écart de température entre la température intérieure et extérieure est de 5 degrés.

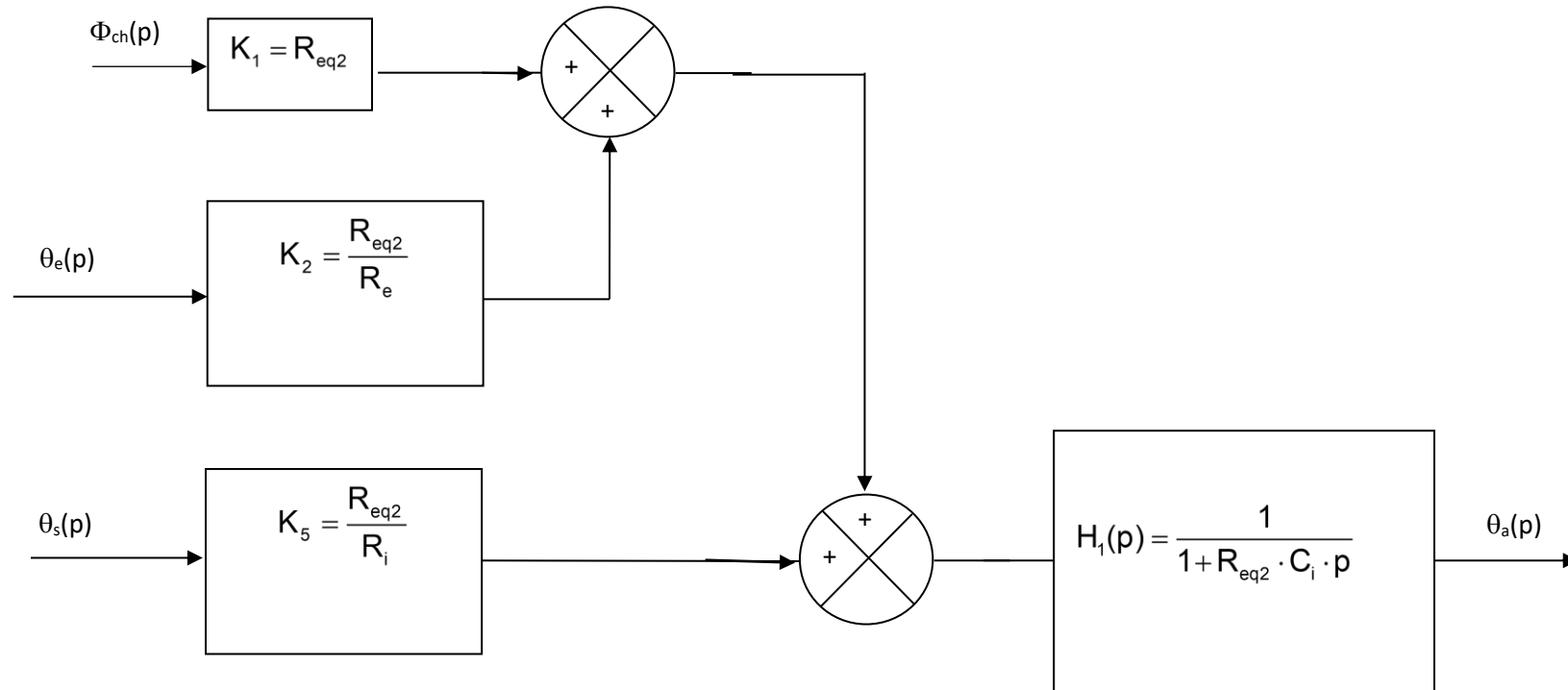


Après l'excitation, le régime permanent est stable et la température finale est identique à la consigne. Le système est immunisé vis-à-vis de ce type de perturbation. Le correcteur est un correcteur proportionnel intégral.

DR6 : SCHÉMA-BLOCS DE L'ENSEMBLE



DR7 : SCHÉMA DÉTAILLÉ DU BLOC 1



Commentaires du jury

Le sujet permet aux candidats de s'exprimer dans les deux champs que sont l'énergétique et la construction. Cette structuration du sujet ne doit pas laisser croire qu'il existe une forte dichotomie entre les deux. En effet le candidat tout en étant dans sa spécialité doit être en mesure de répondre à des questions de l'autre spécialité. En ce sens, les questions sont de difficultés graduelles.

Le questionnement est construit de manière à conduire le candidat avec des étapes de réinitialisation et des réponses intermédiaires. Le jury recommande au candidat d'être attentif à ces résultats intermédiaires qui repositionnent le questionnement, et qui brisent l'interdépendance des questions, afin de permettre de formuler des conclusions même partielles, eu égard aux objectifs des études proposées.

Les parties énergétiques et structures sont équilibrées et ont le même poids dans l'évaluation.

Le jury a constaté chez certains candidats des difficultés à réinvestir leurs connaissances et compétences dans un contexte donné. Il s'agit d'appréhender les solutions dans les spécificités du support étudié.

De nombreux candidats éprouvent encore des grandes difficultés avec les outils des mathématiques dédiés aux sciences industrielles de l'ingénieur. Le jury recommande avant de se livrer à une préparation purement disciplinaire, de travailler à la maîtrise des outils des mathématiques.

Les modèles étudiés servent les objectifs visés par chaque étude dans un souci de simplification, mais aussi de faisabilité à l'écrit. Cette préoccupation ne doit pas occulter pour autant les hypothèses, les limites de ces modèles. Lorsque des calculs à la main deviennent fastidieux, des simulations sont conduites et les résultats sont donnés. Les candidats doivent être en mesure d'analyser ces derniers avec un esprit critique.

Enfin, le jury apprécie la rigueur dans les calculs, dans la précision des unités, dans l'exactitude de la terminologie employée, dans l'usage d'une orthographe et d'une grammaire appropriées.

Épreuves d'admission

III. Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique

Présentation de l'épreuve

- Durée : 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.

Pour l'option Ingénierie des constructions, le candidat détermine, au moment de l'inscription, un domaine d'activité parmi deux qui lui sont proposés : « constructions » ou « énergétique ». Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité de l'agrégation.

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

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

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

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

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

Cette épreuve comporte trois phases :

- phase 1 - mise en œuvre des équipements du laboratoire et exploitation pédagogique (durée 4h)
- phase 2 - préparation de la présentation (durée 1h)
- phase 3 - présentation des travaux devant un jury (durée 1h)

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée (conformément à la circulaire n°99-186). Durant toute cette épreuve les candidats ont accès à Internet.

Phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire

Cette première phase d'une durée totale de 4h se décompose en trois parties. Dans cette phase, les candidats ont à leur disposition les différents supports étudiés, qu'ils utiliseront pour proposer une séquence pédagogique. L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées.

Phase 1 - Première partie – Contexte et potentiels pédagogiques (durée 1h)

Le candidat doit prendre connaissance du dossier support, des matériels ou équipements proposés, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation, et de l'objectif pédagogique fixé dans le sujet. Il doit également identifier les potentialités pédagogiques des différentes ressources proposées.

Phase 1 - Deuxième partie – Construction pédagogique (durée 1h)

Pour cette partie, le candidat doit concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et identifier les compétences associées. Il établit une liste d'expérimentations à réaliser dans le cadre de la séance pratique s'intégrant dans cette séquence.

Phase 1 - Troisième partie - Expérimentation (durée 2h)

Le candidat prépare puis mène ses expérimentations, essais, ou ceux proposés par le jury. Il réalise les mesures et observations, exploite les ressources logicielles le cas échéant. Il exploite ensuite les résultats obtenus : il les traite (calculs, représentations graphiques...), analyse leur justesse, leur fiabilité, etc. Il conclut enfin obligatoirement sur les forces et faiblesses des expérimentations menées et formule des conclusions.

La phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel figurent des supports d'expérimentation. Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet. Tout ou partie des manipulations se déroulent en présence de l'examineur auprès de qui le candidat justifie et discute les essais et expérimentations menées ainsi que les résultats obtenus.

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

Le candidat prépare l'intervention qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat n'a plus accès aux matériels, bancs et simulations. Il dispose d'un poste informatique relié à Internet doté des logiciels courants de bureautique. Il dispose des résultats obtenus lors de la phase 1 qu'il aura stockés dans un espace qui lui est dédié.

Il finalise la présentation de sa séquence pédagogique et détaille un ou plusieurs points-clefs des séances de formation. La présentation prend notamment appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques. Les activités des élèves pendant la séance pratique sont développées, ainsi que les modes d'évaluation et de suivi des élèves au cours de la séance et de la séquence. Le candidat doit veiller à identifier des possibilités de différenciation de l'enseignement visant à s'adapter aux différents niveaux des élèves.

Phase 3 – présentation des travaux devant le jury

Cette phase se déroule dans la salle d'exposé devant le jury. L'exposé oral d'une durée maximale de 30 minutes comporte :

- la présentation du contexte (objectif pédagogique et ressources disponibles) ;
- une présentation de la réflexion et de la stratégie pédagogique conduite ;
- le compte-rendu des manipulations effectuées et l'analyse des résultats obtenus dans la deuxième partie de la première phase des activités pratiques ;
- l'exploitation pédagogique proposée ;
- une conclusion.

L'entretien avec le jury a une durée maximale de 30 minutes. Les questions posées par le jury visent à amener le candidat à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations/données/résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa séquence de formation, à décrire et à situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

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

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

Le travail et les activités imposés aux candidats dans les différentes phases de l'épreuve sont précisés ci-après. Les candidats sont évalués au regard de ces attentes.

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve	
PHASE 1 <i>(4h)</i>	Partie 1 <i>(1h)</i>	I. CONTEXTE IMPOSE	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury	
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles	
		II. POTENTIELS PÉDAGOGIQUES	Analyser et présenter les potentialités pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation, résultats d'essai...)	
		<i>Point avec l'examineur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>		
	Partie 2 <i>(1h min)</i>	III. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE	Preciser les compétences à développer dans la séquence	
			Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation	
			Définir une ébauche de trame de séquence pédagogique	
			Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance pour un groupe classe de 15 élèves	
			Proposer des expérimentations pratiques et informatiques permettant de contrôler la validité des résultats d'essai et de simulation fournis pour le support pédagogique imposé	
			<i>Point avec l'examineur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation</i>	
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique	
			<i>Valider avec l'examineur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite</i>	

	Partie 3 <i>(2h max)</i>	IV. EXPÉRIMENTATIONS	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre précisément: définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer,...
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)
		V. CONCLUSION	Analyser les résultats obtenus, les valider (échelle, fiabilité ...)
			Valider les ressources fournies ainsi que l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses
<i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>			
PHASE 2 <i>(1h)</i>	Préparation de la présentation	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)	
PHASE 3 <i>(1h)</i>	Exposé et entretien	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles	
		Présenter les réflexions, stratégies pédagogiques, choix effectués	
		Décrire et analyser les expérimentations effectuées	
		Présenter la trame de séquence envisagée, son positionnement dans la formation.	
		Présenter la séance, les activités des élèves pour un groupe classe	
		Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe	
		Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves	
		Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves	
		Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...)	

Plusieurs autres critères d'évaluation sont également pris en compte par le jury :

- produire un discours clair, précis et rigoureux, également dans la discipline ;
- être pertinent et réactif aux questions posées dans tous les domaines ;
- dégager l'essentiel et donner du sens à la pédagogie de la discipline ;
- captiver l'auditoire.

Les séquences pédagogiques demandées étaient imposées pour les formations suivantes :

- Baccalauréats STI2D et spécialité SI du baccalauréat général
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- BUT :
 - o Génie Civil Construction Durable ;
 - o Métiers de la transition et de l'efficacité énergétique.
- BTS :
 - o Architectures en Métal : conception et réalisation ;
 - o Bâtiment ;
 - o Enveloppes du Bâtiment : conception et réalisation ;
 - o Étude et Réalisation des Agencements ;
 - o Finition Aménagement des Bâtiments, Conception et Réalisation ;
 - o Fluides Énergies Domotique : options A, B et C ;

- Management Économique de la Construction ;
- Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique ;
- Systèmes Constructifs Bois et Habitat ;
- Travaux Publics.

Pour la session 2024, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issues de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses ;
- logiciels courants de bureautique ;
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...) ;
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM de bâtiment ou de travaux publics, simulation thermique dynamique ;
- banc d'essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- banc d'essai en acoustique ;
- banc d'essai de structures;
- banc d'essai du matériau béton ;
- banc d'essai du matériau bois ;
- banc d'essai du matériau acier ;
- pompe à chaleur ;
- chaudière granulés bois ;
- système de production d'eau chaude sanitaire
- simulation thermique dynamique ;
- matériels de topographie (niveaux, théodolites, tachéomètres, GPS, scanner 3D ...)

Résultats

Agrégation interne et CAER	
Moyenne	8,67
Note minimale	3,62
Note maximale	18,83
Ecart type	3,77

35 % des notes sont supérieures à 10/20.

Observations et commentaires sur la session 2024

Le jury a encore constaté cette année que certaines recommandations ont bien été prises en compte par les candidats, notamment :

- la démonstration d'une rigueur scientifique adapté au niveau attendu du concours de l'agrégation ;
- la capacité à exploiter des matériels et logiciels divers.

Toutefois, certains candidats se sont encore écartés des attentes de l'épreuve et n'ont pas présenté une partie des analyses (potentiels pédagogiques et résultats des expérimentations) pourtant imposées par les sujets et attendus par le jury.

La construction pédagogique de certaines propositions de séquences ou séances pédagogiques présentent trop de compétences, sans identifier les prioritaires. En fonction des objectifs visés et des prérequis envisagés, certaines compétences sont entretenues ou approfondies, alors que de nouvelles compétences peuvent être abordées, découvertes et mises en œuvre.

La manipulation de matériels ou de logiciels est encore parfois réalisée sans suffisamment comprendre l'objet de cette manipulation. Des résultats de mesure ou de simulation sont encore présentés sans que certains candidats comprennent réellement le fonctionnement du système ou de l'objet mesuré ou simulé.

Les candidats ont cette année bien respecté la consigne de durée de l'exposé sans chercher à meubler ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé.

Lors de l'exposé et de l'entretien, le jury est particulièrement attentif aux propositions qui s'inspirent d'une pédagogie innovante, particulièrement dans le domaine de la différenciation pédagogique en fonction du niveau et/ou de l'origine scolaire des étudiants.

Conseil aux futurs candidats

À l'issue de la session 2024, le jury attire particulièrement l'attention des futurs candidats sur les points suivants :

- le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un compte-rendu de laboratoire ; elle soumet aux candidats une problématique pédagogique d'enseignement représentative de l'activité professionnelle quotidienne des professeurs, basée sur la préparation d'une séquence et séance de cours mettant en œuvre des manipulations expérimentales et l'exploitation de ressources didactiques, y compris numériques ;
- pour la première phase, les candidats doivent veiller à équilibrer le temps consacré à l'expérimentation et celui consacré à la conception de leur séquence pédagogique ;
- pour la troisième phase, les candidats disposent d'un temps de parole de 30 minutes maximum. Le jury regrette une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas suffisamment le temps qui leur est accordé ;
- s'il n'est pas demandé en phase 2 un travail parfaite finalisation de fiches séquences ou séances le candidat doit quand même exploiter au mieux les outils numériques fournis. Le contexte n'est pas celui d'une leçon faite devant des élèves ;
- on constate trop souvent un déséquilibre entre la présentation des résultats expérimentaux, parfois trop détaillée, et leur exploitation pédagogique qui reste trop peu développée (pas de support formalisé, idées trop générales, pas d'application concrète ...) ;
- l'exploitation pédagogique est l'objectif principal de cette épreuve. Elle reste trop succincte chez certains candidats. Les candidats doivent s'attacher :
 - à préciser l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
 - à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison d'activités diverses, études de cas, projets ...) en détaillant notamment l'organisation pratique en présence d'élèves ou d'étudiants ;
 - à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
 - à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation.
- le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;

- les candidats doivent pouvoir expliciter la priorisation de certains objectifs, proposer une stratégie de développement progressif des compétences, et proposer des modalités explicites de suivi des progrès des élèves ;
- **les candidats doivent pouvoir proposer une autre organisation pédagogique que le traditionnel « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants ». Les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC ...) et autres activités pédagogiques doivent être exploitées au service de la réussite des élèves ;**
- **les candidats doivent proposer des stratégies ou moyens minimaux de différenciation des apprentissages permettant de s'adapter aux besoins ou parcours des élèves ;**
- les candidats doivent pouvoir proposer d'autres modalités d'évaluation que le simple compte-rendu de TP noté et l'évaluation finale sur table ;
- les fonctionnalités de base des logiciels tableurs (tracé de courbe notamment) doivent être maîtrisés ;
- la maîtrise d'un logiciel BIM particulier n'est pas imposée mais les candidats doivent pouvoir mettre en œuvre certaines fonctionnalités élémentaires rencontrées sur ce type d'outil numérique rencontré pendant l'épreuve (modélisation d'un composant, visualisation d'une maquette 3D, réalisation d'une analyse...) en exploitant les assistances proposées pendant l'épreuve (tutoriels, démonstration et assistance du jury ...) ;
- les compétences scientifiques, technologiques, professionnelles et pédagogiques des candidats doivent être suffisamment élevées pour accéder au grade de professeur agrégé ;
- les bases des principaux enseignements étudiés lors de cette épreuve doivent être connus (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...).

IV.Épreuve sur dossier

Présentation de l'épreuve

- 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 pluritechnologique 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, il est attendu du candidat qu'il justifie le choix du support d'études et les investigations conduites qui pourraient, selon lui, donner lieu à des exploitations pertinentes.

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

Les éléments constitutifs du dossier sont précisés par note publiée sur le site internet du ministère chargé de l'Éducation. Les dossiers doivent être déposés sur une plateforme numérique dédiée selon un calendrier indiqué après les épreuves d'admissibilité.

Résultats

Agrégation interne et CAER	
Moyenne	8,7
Note minimale	1,7
Note maximale	15,6
Ecart type	5,7

40 % des notes sont supérieurs à 10/20.

Commentaires et conseils aux futurs candidats

Le support d'étude et l'élaboration du dossier

Le support du dossier, issu du milieu professionnel, doit être en lien avec les activités de l'ingénierie des constructions. Le jury attend une présentation argumentée, claire et concise sur le choix du support. Lors de cette session, la présentation des dossiers a été d'une qualité très variable. Le jury regrette le choix de certains dossiers qui commencent à dater. Une réalisation récente est attendue pour permettre de proposer des problématiques sociétales et des solutions techniques actuelles en lien avec les règles ou normes en vigueur. Aucun modèle type n'est attendu du jury dans la structuration de la soutenance, cette liberté doit permettre au candidat de montrer ses capacités de synthèse et d'organisation des informations.

Le candidat, choisissant le thème de son dossier, doit maîtriser le cadre réglementaire associé. Dans le même esprit, il est évident que le choix des illustrations techniques présentées doit être réfléchi. Toute illustration peut amener un questionnement de la part des membres du jury sur des connaissances associées aux programmes dans lesquelles elles s'inscrivent. Les aspects technologiques ne sont pas toujours maîtrisés par les candidats, alors même qu'ils choisissent des plans ou extrait de plans pour illustrer des points techniques. Dès lors, le risque est important de ne pas pouvoir justifier oralement tout ou partie des aspects techniques présentés.

Enfin, l'épreuve sur dossier ne doit pas consister à présenter seulement un système industriel ou constructif. Le jury attend des candidats le développement d'études techniques et scientifiques consistant à résoudre une problématique technique réelle et à mener une analyse critique des éléments de solutions apportés. La présentation de systèmes « clés en main » qui ne seraient pas placés au sein d'un projet de construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage ne convient pas à l'intitulé de cette agrégation « ingénierie des constructions ».

Voici quelques conseils pour la rédaction du dossier écrit :

- le dossier commence par une page de garde contenant, entre autres, un titre, le nom du candidat et son numéro d'inscription ;
- le numéro d'inscription du candidat est rappelé en pied de page ;
- un sommaire et une pagination associée sont présents au début du dossier ;
- les plans de l'ouvrage support du dossier (propres et cotés) sont placés en annexe ;
- le plan du dossier peut avantageusement dégager trois parties :
 - la première partie contextualise et justifie l'intérêt du dossier support choisi ;
 - la seconde partie développe les aspects techniques et scientifiques. Une problématique technique globale doit être posée avant tout développement scientifique ;
 - une troisième partie explique les potentialités pédagogiques du dossier tant au niveau STI2D que STS et IUT, en veillant à ce que la spécialité soit une de celles potentiellement enseignées par un agrégé SII en ingénierie des constructions. Une exploitation pédagogique au choix du candidat doit être plus particulièrement détaillée.

Le candidat doit préciser les contacts professionnels qu'il a développés grâce à ce travail.

Le choix des problématiques

Les problématiques doivent être définies en lien avec les enjeux sociétaux actuels et les situations pédagogiques développées. Le jury conseille aux candidats :

- de s'assurer de l'existence d'une problématique technique réelle dans le cadre d'un partenariat avec une entreprise ;
- de vérifier les potentialités du support au regard des développements scientifiques, technologiques et pédagogiques possibles ;
- de s'assurer que cette problématique permet des développements scientifiques et technologiques adaptés au niveau de l'agrégation (une analyse simpliste est un écueil à éviter) ;
- de conserver un regard critique par rapport au travail réalisé en lien avec l'entreprise ;
- pour ceux qui souhaitent présenter à nouveau un dossier élaboré lors d'une précédente session, de continuer à faire vivre le partenariat engagé, de faire évoluer le dossier et de prendre en compte les échanges avec le jury lors des entretiens précédents.

Les développements scientifiques et techniques

Le jury regrette chez certains candidats la pauvreté et l'absence de justesse des développements scientifiques et technologiques au niveau de l'agrégation. Les hypothèses d'études et de modélisation ne sont pas clairement définies, ce qui conduit parfois à des incohérences d'analyse. Le jury a constaté la présence de dossiers sans aucun apport scientifique ni technologique. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante. De même, un travail ne s'appuyant pas sur un ouvrage concret est « hors sujet ». La modélisation mobilisant le BIM (Building Information Model) est vivement encouragée. Les candidats doivent veiller à proposer des dossiers dont les ressources et informations obtenues en entreprise sont suffisamment riches pour justifier les calculs et les solutions technologiques choisies.

Le jury conseille au candidat :

- de rechercher un support récent et attrayant dès la décision d'inscription au concours ;
- de choisir un support dont l'authenticité et l'actualité sont des éléments décisifs. Il se caractérise par une compétitivité reconnue, par la modernité de sa conception ;
- d'utiliser une ou plusieurs problématiques techniques pour guider l'étude répondant à un cahier des charges précisé et explicite. L'expérience montre que sans problématique technique, il est difficile d'éviter l'écueil de la validation de l'existant ;
- de rechercher une pertinence et une authenticité des problèmes posés ;
- de mettre en œuvre de manière lisible les méthodes de résolution de problème et les outils associés. Il est utile de rappeler que les outils numériques ne doivent pas être utilisés comme des « boîtes noires ». Les hypothèses posées sont claires et les calculs sont pertinents au regard de la problématique à résoudre. Le modèle retenu doit être présenté au jury pour justifier les calculs menés. Des outils numériques peuvent avantageusement être utilisés, mais ne peuvent se substituer totalement à une véritable analyse ;
- d'utiliser des schémas et ne pas se limiter à des photos annotées et légendées ou à une description textuelle ;
- de justifier les modèles d'étude, les solutions technologiques retenues et les méthodologies utilisées : le développement des calculs associés au cours de l'exposé doit être réduit aux étapes essentielles ;
- de s'appuyer sur une maquette numérique, permettant l'utilisation d'outils de simulation de comportement pour la partie étudiée ;
- de prendre un soin particulier à l'orthographe et aux conventions typographiques (notamment à l'écriture des unités de mesure).

L'aspect pédagogique

Les exploitations pédagogiques ainsi que les thèmes développés doivent montrer l'intérêt du support choisi. Le candidat doit proposer une séquence pédagogique en lien avec les formations de l'ingénierie des constructions et avec les études scientifiques et techniques du dossier. Le jury peut être amené à demander les documents originaux de l'entreprise. En cas d'informations mentionnées « confidentielles », le jury s'engage à ne pas les reproduire ou les divulguer à des personnes extérieures pour que cet aspect ne constitue pas un obstacle pour le candidat.

Dans sa partie pédagogique, le dossier doit présenter des propositions d'exploitation sur différents niveaux d'enseignement. Au moins une d'entre elles doit faire l'objet d'un développement conséquent, il est attendu une séquence pédagogique complète. Outre la situation calendaire et la conformité aux référentiels et programmes, il est impératif de mettre en situation la ou les activités proposées, leurs finalités pédagogiques et d'intégrer cette séquence dans une progression pédagogique formalisée. La pertinence de l'application pédagogique au regard du support proposé et du problème technique associé est appréciée par le jury. La partie pédagogique doit être corrélée à la problématique proposée dans la partie étude scientifique et technique. Le cadencement des séances, leurs durées, les prérequis, les objectifs, les modalités d'évaluation doivent être précisés et des documents élève doivent être présentés. Cette partie doit montrer une bonne maîtrise des programmes et des méthodes d'apprentissage. Le jury attend de voir comment les activités envisagées permettent d'engager les élèves pour les rendre acteurs de leur apprentissage notamment au travers d'expérimentations mobilisant les compétences ciblées.

Le jury conseille au candidat :

- d'identifier des propositions d'exploitation pédagogique, pré et post baccalauréat, pertinentes en relation avec les points remarquables du dossier ;
- de préciser les objectifs pédagogiques et d'être attentif à leur formulation ;
- d'identifier les difficultés prévisibles afin de scénariser la séquence et choisir la pédagogie la plus adaptée ;
- de privilégier les activités pédagogiques utilisant un problème technique réel posé par le support ;
- de proposer les exploitations pédagogiques dans le respect des référentiels et des préconisations pédagogiques ;
- de proposer l'ensemble des éléments constituant une séquence pédagogique : fiche descriptive, activités des élèves, modalités d'évaluation, documents élèves ...
- de proposer des liens avec d'autres disciplines (STEM, co-enseignements ...) ;
- de proposer les modalités d'évaluation envisagées ;
- mettre en avant l'utilisation des outils numériques à des fins pédagogiques (ENT, plateforme collaborative, MOOC, ...).

L'expression et la communication

La qualité du dossier et le respect des règles qui lui sont imposées (nombre de pages, date d'envoi) montrent la maîtrise par le candidat des outils de la communication écrite et la façon dont il s'inscrit dans un cadre institutionnel. Les annexes doivent se limiter aux éléments essentiels à la compréhension du dossier.

La prestation du candidat, à l'oral, permet au jury d'évaluer sa maîtrise des compétences de communication dans une classe et exercer de manière efficace et sereine sa fonction de professeur. Lors de la présentation orale, le jury regrette que certains candidats ne respectent pas les codes d'une soutenance orale (ne pas tourner le dos à l'auditoire, ne pas lire le diaporama, ne pas masquer le tableau...).

Les questions posées par le jury permettent d'approfondir quelques-unes des informations données par le candidat, dans le dossier autant que dans l'exposé, et de renforcer au sein du jury la conviction que l'exploitation du dossier présenté résulte bien d'un travail personnel. Durant la discussion avec le jury, le candidat doit s'engager pleinement dans l'échange et éviter les réponses évasives, courtes et non étayées.

Durant la phase de préparation, les candidats doivent :

- profiter des temps de préparation, qui ne sont pas des temps d'attente ; en particulier, ouvrir les fichiers annexes (CAO, vidéo, BIM...) qui peuvent être utiles pour répondre à certaines questions ;
- préparer des documents multimédias adaptés à une soutenance d'une durée fixée ;
- préparer des animations aidant à comprendre le fonctionnement.

Pour la partie orale, le jury invite les candidats à :

- se présenter brièvement, la présentation du parcours du candidat n'est pas nécessaire ;
- présenter précisément l'étude technique et l'exploitation pédagogique produites par le candidat ;
- limiter le nombre de diapositives ;
- adopter une posture professionnelle (capacité à prendre en compte un point de vue différent, qualité d'écoute...).