



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : agrégation externe

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
Président du jury

Table des matières

Résultats statistiques de la session 2024.....	3
Avant-propos	4
Épreuves d'admissibilité	7
I. Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur.....	7
II. Modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	27
III. Conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	36
Épreuves d'admission.....	60
IV. Exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique	60
V. Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique	67
VI. Soutenance d'un dossier industriel.....	78

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

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les épreuves d'admission à cette session 2024 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie des constructions, Elles se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 10 juin inclus au 15 juin 2024 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur 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

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
168	20	73	45	16
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible				18,16
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible				6,87
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis				16,66
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis				8,91

Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier et recruter des **candidats capables d'enseigner** les Sciences industrielles, principalement dans le domaine de l'Ingénierie des constructions, pour des sections pré-baccalauréat et post baccalauréat en relation avec l'option.

Les épreuves du concours contrôlent la capacité des candidats à former des élèves et de futurs professionnels du domaine concerné. À ce titre, le candidat à l'enseignement doit également **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.

Le vocabulaire technique courant de l'acte de construire doit être maîtrisé. Les principales démarches de conception mais aussi de réalisation des ouvrages, et d'organisation de chantier, **doivent être connues**. Les principaux outils, qu'il s'agisse d'un logiciel ou d'un appareil, doivent être identifiés ainsi que leurs potentialités professionnelles et pédagogiques.

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

Il est également **essentiel** que les candidats prennent connaissance des programmes de formation dans lesquels ils peuvent être amenés à exercer. Ces programmes sont détaillés dans les référentiels des diplômes et formations suivants :

- Enseignements de spécialité du baccalauréat technologique STI2D,
- Enseignement de spécialité Sciences de l'ingénieur du baccalauréat général,
- Sciences industrielles de l'ingénieur en classes préparatoires aux grandes écoles,
- BUT :
 - o Génie civil et construction durable
 - o Métiers de la transition et de l'efficacité énergétique
- BTS :
 - o Architectures en métal : conception et réalisation
 - o Bâtiment
 - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation
 - o Étude et réalisation des agencements
 - o Finitions et aménagement du bâtiment : conception et réalisation
 - o Fluides énergies domotique, options génie climatique et fluidique, froid et conditionnement d'air, domotique et bâtiments communicants
 - o Management économique de la construction
 - o Métiers du géomètre topographe et de la modélisation numérique
 - o Systèmes constructifs bois et habitat
 - o Travaux publics
- Autres formations de l'ingénierie des constructions (Masters, etc.).

Le constat établi dans les rapports des précédentes sessions doit être rappelé. En particulier, il paraît nécessaire de rappeler que l'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Ces dernières sont évaluées dans les trois épreuves d'admission. Il importe donc de les préparer dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique ne s'improvise pas, cela nécessite entraînement et réflexion. Si le jury apprécie que le candidat positionne sa séquence dans la progression pédagogique annuelle et précise les objectifs ainsi que les pré requis, il attend que le candidat décrive et justifie les activités et les démarches pédagogiques qui permettent d'atteindre les objectifs de formation en lien avec le contexte professionnel de l'option Ingénierie des

constructions (IC). **Cependant cette première partie de définition de la pédagogie en lien avec les référentiels en vigueur ne doit pas servir à masquer le manque de compétences professionnelles de la spécialité IC du candidat. Trop de candidats passent la majeure partie de leur présentation à reprendre le référentiel en vigueur sans apporter de fond à leur progression pédagogique.** Il est également attendu des candidats des propositions quant à l'évaluation et les éventuels dispositifs de remédiation envisagés.

La partie pédagogique de chacune des trois épreuves d'admission a pratiquement le même poids qu'une épreuve d'admissibilité. Le jury invite donc, à nouveau, les futurs candidats et leurs formateurs à le prendre en compte. Les épreuves d'admissibilité évaluent la capacité du candidat à mobiliser des savoirs et des techniques dans une perspective professionnelle, tandis que les épreuves d'admission évaluent la capacité à élaborer une **activité pédagogique** à destination des élèves, à investir une situation d'enseignement en tant que futur professeur et à **maîtriser des gestes techniques et professionnels**.

Les coefficients des épreuves d'admission et leur définition mettent clairement en évidence la nécessité d'axer la préparation sur l'élaboration de séquences pédagogiques.

Les compétences pédagogiques attendues sont :

- Compétences disciplinaires et didactiques
 - o Identifier des sources d'informations fiables et pertinentes
 - o Maintenir une veille sur les nouvelles ressources disciplinaires et pédagogiques
 - o Savoir préparer des séquences pédagogiques précisant les compétences et les objectifs attendus, et mettant en place une stratégie pédagogique pertinente
 - o Analyser les besoins, progrès et acquis des élèves
 - o Communiquer aux élèves et aux parents les objectifs, critères et résultats des évaluations
 - o Intégrer les évolutions du numérique dans ses pratiques pédagogiques
 - o Contextualiser les apprentissages pour leur donner un sens et faciliter leur appropriation par les élèves
 - o Adapter son enseignement et son action éducative à la diversité des élèves
 - o Savoir composer des groupes d'élèves pour organiser la classe
 - o Organiser et gérer des groupes d'élèves dans des activités de projet
 - o Déceler les signes du décrochage scolaire
- Compétences éthiques et déontologiques
 - o Être conscient de la relativité de ses savoirs
 - o Aider les élèves à développer leur esprit critique et à distinguer les savoirs, les opinions et les croyances
 - o Aider les élèves à savoir argumenter et respecter le point de vue des autres
 - o Se mobiliser et mobiliser les élèves contre les stéréotypes et les discriminations
 - o Participer à l'éducation aux usages responsables du numérique
- Compétences relationnelles
 - o Adopter une démarche d'écoute active
 - o Participer à la conception et à la mise en œuvre de projets collectifs disciplinaires et éducatifs
 - o Gérer les conflits
 - o Travailler en équipe
 - o Installer avec les élèves une relation de confiance et de bienveillance
 - o Savoir conduire un entretien, animer une réunion
- Compétences pédagogiques et éducatives
 - o Maintenir une veille sur les recherches des différentes formes et pratiques pédagogiques et éducatives
 - o Connaître les processus d'apprentissage
 - o Proposer des processus d'apprentissage innovants

- Contribuer à la mise en place de projets interdisciplinaires
- Compétences de communication
 - Intégrer dans son activité l'objectif de maîtrise de la langue orale et écrite
 - Utiliser les technologies du numérique pour échanger et se former
 - Maîtriser au moins une langue vivante au niveau B2
 - Mettre en place du travail collaboratif
- Compétences d'analyse et d'adaptation de son action
 - Exercer son analyse critique, seul ou entre pairs, de ses propres pratiques professionnelles
 - Identifier ses besoins de formation
 - Être capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps. L'objectif du dossier est de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers la formation afin d'enrichir son enseignement par des exploitations pertinentes de supports techniques modernes et innovants. Il n'est pas demandé aux candidats de concevoir ou de reconcevoir un système ou un sous-système pluritechnologique.

Il est donc fortement conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrites dans l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié¹, fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation ainsi que les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport. Les modalités de ces épreuves d'admission et leurs objectifs sont rappelés aux candidats lorsqu'ils sont accueillis, avant leur première épreuve, par le directoire du jury ; ils ne peuvent donc pas les ignorer.

Cette session 2024 n'a pas permis de pourvoir tous les postes offerts au concours.

L'agrégation est un concours prestigieux qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochable. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue et une posture adaptées aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Pour conclure cet avant-propos, l'ensemble des membres du jury espèrent sincèrement que ce rapport sera utile aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

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

¹ Cf. arrêtés du 19 avril 2016 et du 24 juin 2019

Épreuves d'admissibilité

1. Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

1. Présentation de l'épreuve

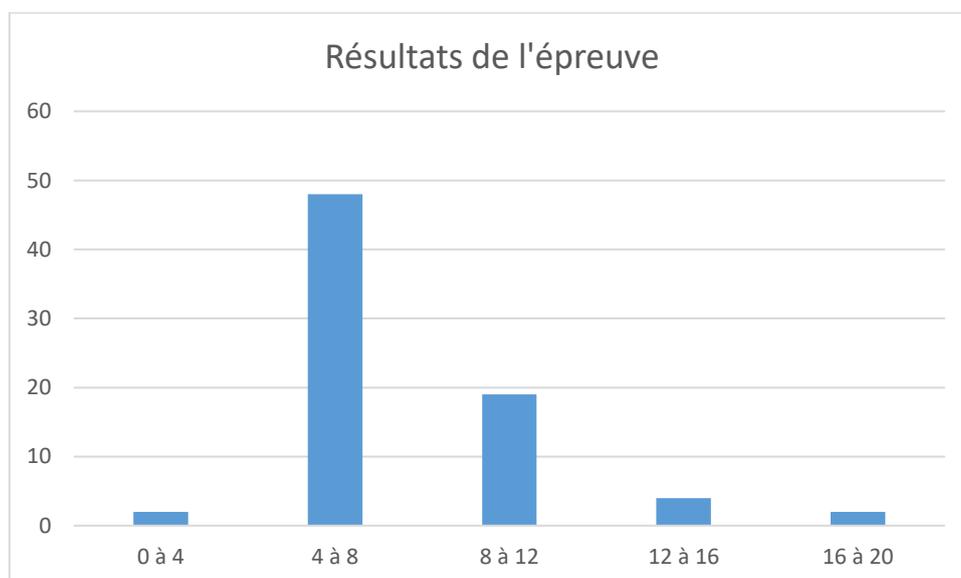
- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

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

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

2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 7,22/20. L'écart-type est de 3,37. Les notes sont comprises entre 2/20 et 17,79/20.



3. Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12315/download>

Il porte sur l'étude de la plateforme BILBAO conçue pour tester des prototypes d'hydroliennes fluviales et océaniques. Elle est implantée depuis 2016 sur la Garonne au cœur de la ville de Bordeaux, ville jumelée avec la ville portuaire espagnole de Bilbao.

Il se décompose en quatre parties indépendantes :

- l'étude de la stratégie de pilotage et de communication. Dans cette partie, l'objectif est de valider les exigences liées à la supervision et au contrôle / commande de la plateforme, notamment dans l'analyse de la structure du réseau pour mieux appréhender le fonctionnement du site de test d'hydrolienne. Sont menés ensuite l'analyse et le traitement grâce à un algorithme en langage Python des informations transmises par un capteur ADCP. Pour conclure cette partie, l'analyse du fonctionnement en régulation de l'orientation de la plateforme et du protocole de communication entre les différents composants est réalisée.
- La validation du dimensionnement de la chaîne de puissance assurant le positionnement de la plateforme BILBAO. Dans cette partie, l'objectif est de valider le dimensionnement de certains composants de la chaîne mécanique intervenant dans la chaîne de puissance d'orientation de la plateforme est menée. Après une analyse structurelle de cette chaîne de puissance, des études mécaniques sont réalisées afin de valider les composants du treuil utilisé pour vérifier les exigences relatives aux actions mécaniques transmissibles.
- La commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage. Dans cette partie, l'objectif est de valider les exigences liées à la commande et la gestion de la chaîne de puissance des treuils. Une étude est alors menée sur la chaîne d'information utilisée pour l'acquisition de la valeur de l'effort dans les amarres. Une modélisation de l'actionneur, une machine asynchrone, est ensuite réalisée dans le but de mener l'étude de validation de l'architecture du variateur de commande utilisé et de la stratégie de commande associée.
- L'analyse thermique et évolution du local technique. Dans cette partie, un modèle thermique simplifié du local technique accueillant les serveurs de gestion est tout d'abord élaboré dans le but de valider les exigences liées au système de régulation en température du local. Ce modèle est ensuite comparé à un modèle de simulation permettant une analyse plus fine du comportement thermique du local. Enfin, une évolution du système de régulation en température est étudiée afin de pouvoir permettre le fonctionnement dans des conditions climatiques extrêmes réellement constatées sur le site d'essai.

Une synthèse amenant une réflexion sur l'autonomie énergétique du site conclut le sujet.

4. Éléments de correction

1. Stratégie de pilotage et de communication

- Q1. À partir de la description du réseau donné dans les documents techniques, **décrire** le fonctionnement du site en précisant les éléments qui interviennent dans :
- la gestion de l'orientation de la plateforme,
 - *la mesure des données du fleuve,*
 - *la gestion de l'hydrolienne,*
 - *la production et la distribution de l'énergie produite.*

La plateforme est orientée grâce à quatre treuils pilotés par quatre variateurs.

L'automate V570 gère la commande des moteurs en fonction des efforts mesurés sur les quatre capteurs. Cet automate communique avec le serveur SCADA par Modbus TCP/IP.

Les données du fleuve sont mesurées grâce au capteur ADCP. Le convertisseur RS485/Ethernet permet de transporter ses données via Ethernet par protocole Modbus TCP/IP.

L'automate HT permet quant à lui de gérer la turbine installée sur la plateforme. Les échanges de données avec le serveur SCADA se font par Modbus TCP/IP.

L'automate PL/LM permet de gérer la production électrique renvoyée sur le réseau ERDF.

Le poste administrateur permet de superviser l'ensemble des automates et des données renvoyées par les capteurs grâce au serveur SCADA.

- Q2. **Expliquer** la raison pour laquelle le réseau est de classe C.
Indiquer quelle sera la forme des adresses IP des composants du réseau LAN.

Un réseau de classe C permet d'avoir jusqu'à 254 terminaux, ce qui est largement suffisant pour ce site de test. Les adresses IP sont de la forme **192.168.1.##** par exemple.

- Q3. **Indiquer** la raison pour laquelle la communication se fait via le port 80. **Préciser** l'adresse à saisir dans le navigateur pour accéder au serveur web du convertisseur.

Le port 80 est le numéro de port attribué au protocole de communication Internet couramment utilisé, Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Il s'agit du port à partir duquel un ordinateur envoie et reçoit des communications et des messages basés sur un client Web d'un serveur Web et est utilisé pour envoyer et recevoir des pages ou des données HTML.

Pour accéder au serveur web du convertisseur : **192.168.xx.xx:80**

- Q4. Sachant que la lecture de la troisième ligne de la trame ASCII (**document DT6**) renvoie :

```
1\t74\t12\t50\t218\t-113\t356\t335\t27\t-11\n
```

Compléter en langage python la fonction « *lire(nf)* » du **document réponse DR1**, dans laquelle *nf* représente le nom du fichier texte contenant le code ASCII. La fonction doit renvoyer deux listes, *Vnord* et *Vest* contenant les vitesses Nord et les vitesses Est aux profondeurs *i*.

```
def lire(nf):
    f=open(nf,"r") # Ouvre le fichier en mode lecture
    L=f.readlines() # Stocke toutes les lignes dans la liste L
    f.close() # Ferme l'accès au fichier texte
    Vest=[] # Initialisation des listes
    Vnord=[]
    for li in L[2:12]: # On ne s'intéresse qu'aux données
        li=li.replace(",",".")
        li=li.rstrip("\n") # On supprime le retour chariot (optionnel)
        li_data=li.split("\t") # On crée une liste en découpant la ligne li sur les tabulations
        Vest.append(float(li_data[6])) # On remplit les listes
        Vnord.append(float(li_data[7]))

    return Vest,Vnord
```

- Q5. **Compléter** en langage Python la fonction « *vitesse_direction(Vnord,Vest,i)* » (**document réponse DR1**) qui permet de calculer la norme et la direction du vecteur vitesse par rapport au Nord à la profondeur *i*.

```
def vitesse_direction (Vnord,Vest,i):

    V=(Vnord[i]**2+Vest[i]**2)**0.5
    direction = np.arctan(np.abs(Vest[i]/Vnord[i]))*180/np.pi

    return V,direction
```

- Q6. À partir de l'équation différentielle du premier ordre liant le signal d'entrée et le signal filtré, **proposer** une relation de récurrence de la forme :

$$s(n) = A \cdot s(n - 1) + B \cdot e(n)$$

dans laquelle A et B sont à déterminer.

Exprimer en langage Python la ligne qui complète la fonction filtrage :

```
def filtrage(Te,e_1,s_0,tau): #filtre récursif
    # Te : période d'échantillonnage
    # e_1 : valeur mesurée (n)
    # s_0 : signal filtré (n-1)
    # s_1 : signal filtré (n)
    # tau : constante de temps.

    s_1=((tau*s_0+Te*e_1)/(Te+tau))
    OU
```

$$s_1 = (\tau / (T_e + \tau)) * s_0 + (T_e / (T_e + \tau)) * e_1$$

return s_1

Expliquer comment la constante de temps peut être déterminée et quelles sont les précautions à prendre pour ce type de filtre numérique.

La constante de temps peut être déterminer à partir d'une analyse spectrale du signal.

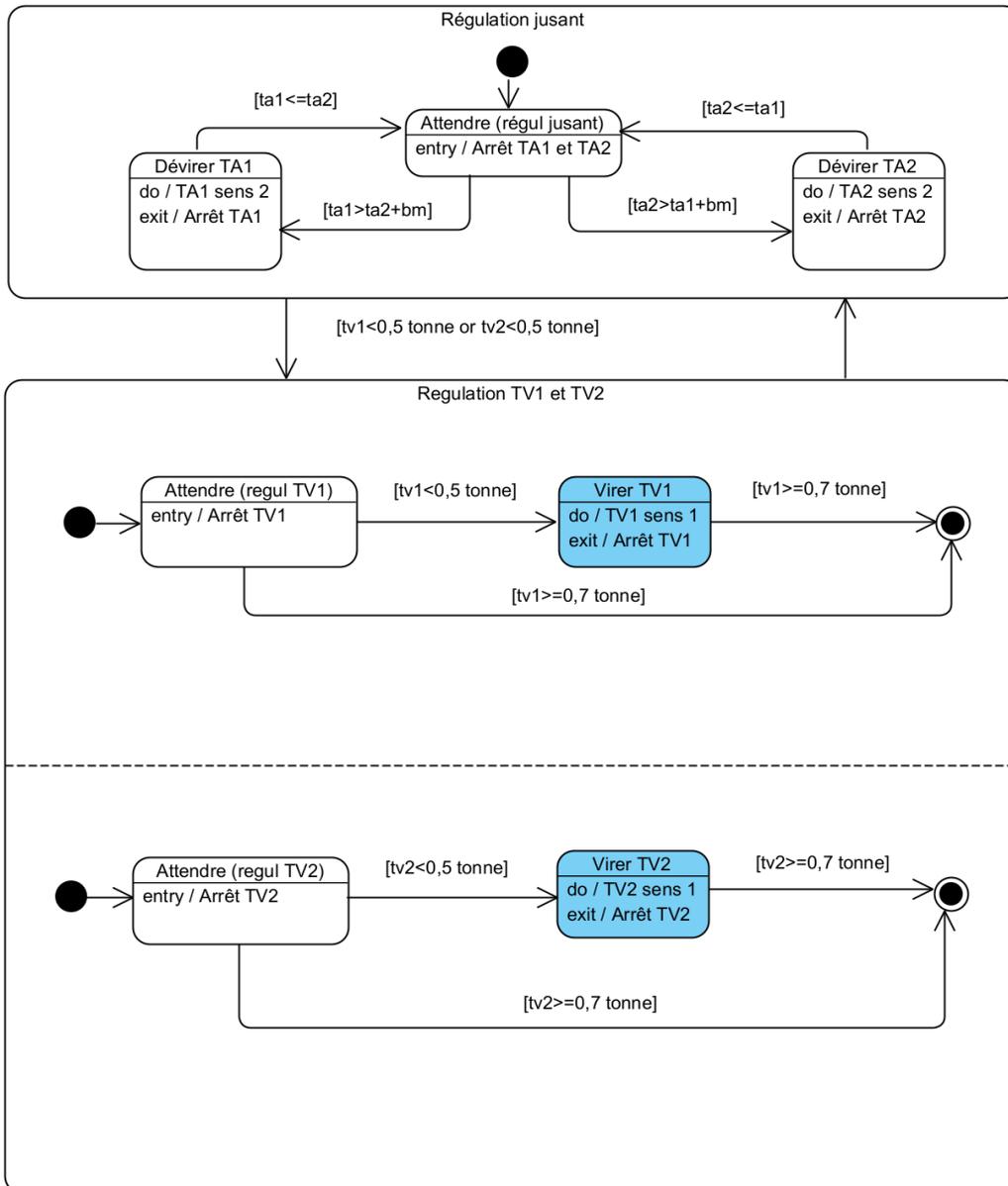
Le théorème de Shannon stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être supérieures au double de la fréquence maximale du signal analogique.

Ce type de filtre nécessite en amont un filtre antirepliment.

Q7. **Expliquer**, à partir du diagramme de la figure 11, comment est géré le changement de marée.

Le changement de marée est observé en comparant la somme des efforts des treuils en amont avec la somme des efforts des treuils en aval.

Q8. La gestion de la plateforme à marée montante et descendante étant symétrique, **modifier**, dans le seul cas du jusant, le diagramme du **document réponse DR2** en faisant apparaitre la gestion de l'effort minimal dans chaque treuil TV1 et TV2.



Q9. À partir de la lecture de trame de la figure 13, **préciser** la nature de l'information relevée ainsi que sa valeur convertie en décimal.

La fonction 3 correspond à une demande de lecture de l'adresse **0x312B**, ce qui correspond en décimal à **12587**.

On cherche donc la position du vérin, la réponse est **0x5A** soit **90°**.

Q10. **Indiquer** la trame Modbus à envoyer à l'automate pour relever la turbine.

```
> Frame 289: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) on interface \Device\NPF_{8913601A-6A1F-4CFA-8000-000000000000}
> Ethernet II, Src: Microsof_19:71:a2 (c4:9d:ed:19:71:a2), Dst: Arduino_ae:87:d0 (a8:61:0a:ae:87:d0)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.42, Dst: 192.168.0.88
> Transmission Control Protocol, Src Port: 59150, Dst Port: 502, Seq: 1, Ack: 1, Len: 12
> Modbus/TCP
> Modbus
```

Trame Modbus : 05 31 BF FF 00

Q11. **Calculer** la distance d maximale entre les deux antennes wifi situées en extérieur. **Indiquer** si l'exploitant peut envisager un réseau wifi plutôt que filaire.

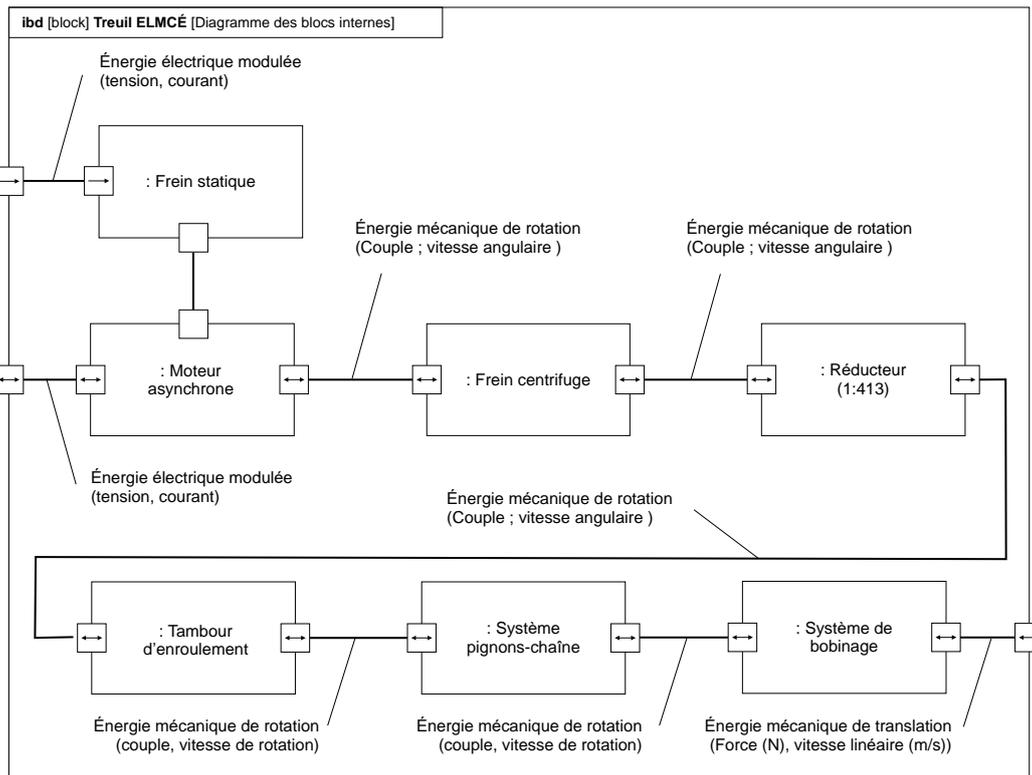
$\lambda = \frac{c}{f}$ ce qui fait une longueur d'onde de $\lambda = 0,125 \text{ m}$.

$d = \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-\alpha/20}}$ soit une distance de $d = 444 \text{ m}$.

L'exigence 1.4.1.1 impose une longueur de câble de 400 mètres, on peut donc en conclure qu'un réseau WIFI est envisageable.

2. Validation du dimensionnement de la chaîne de puissance assurant le positionnement de la plateforme BILBAO

Q12. À partir de la description précédente et du document DT4.1, compléter le diagramme des blocs internes du document réponse DR3. Indiquer les différentes grandeurs flux et effort.



Q13. À partir de la modélisation proposée figure 15, déterminer une relation littérale entre les tensions T_i , les efforts F_h, R_e et les paramètres angulaires θ_1 et α_1 . Expliciter clairement la démarche utilisée.

Système isolé : $\{E\} = \{\text{plateforme} + \text{hydrolienne} + \text{équipements}\}$

I.A.M.E. :

- action hydrodynamique en H : $\{\mathcal{F}_{h \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{h \rightarrow E} = F_x \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_H$;
- action de chaque amarre sur la coque en O_i : $\vec{T}_{i \rightarrow E} = -T_i \vec{x}_i \quad \forall i \in \llbracket 1,4 \rrbracket$;
- action de la pesanteur en G : $\{\mathcal{F}_{pes \rightarrow E}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{pes \rightarrow E} = M_T \vec{g} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$
- action de l'eau en C : $\{\mathcal{F}_{e \rightarrow p}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{e \rightarrow E} = P_e \vec{z}_0 + R_e \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_C$

TRS projeté sur la direction \vec{x}_0 :

$$F_x + R_e - \sum_{i=1}^4 T_i \vec{x}_i \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Soit en tenant compte de la symétrie du problème :

$$F_x + R_e - 2T_1 \vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 - 2T_3 \vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = 0$$

Calcul des produits scalaires :

$$\vec{x}_i = \cos \theta_i \cos \alpha_i \vec{x}_0 + \cos \theta_i \sin \alpha_i \vec{y}_0 - \sin \theta_i \vec{z}_0$$

$$\vec{x}_1 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

$$\vec{x}_3 \cdot \vec{x}_0 = \cos \theta_3 \cos \alpha_3 = -\cos \theta_1 \cos \alpha_1$$

Finalement :
$$F_x + R_e - 2(T_1 - T_3) \cos \theta_1 \cos \alpha_1 = 0$$

Q14. **Donner l'expression littérale** du diamètre d'enroulement D_T d'une amarre sur le tambour en fonction du nombre de couche n_c , du diamètre d'une amarre d et du diamètre du tambour d_T . **Réaliser l'application numérique** pour $n_c = 4$.

Le centre de la première couche d'amarre est situé à une distance $\frac{d_T}{2} + \frac{d}{2}$ de l'axe de rotation du tambour. Chaque couche se décale ensuite d'une distance de $d \frac{\sqrt{3}}{2}$ si les amarres s'enroulent « parfaitement », alors :

$$D_T = d + d(n_c - 1)\sqrt{3} + d_T$$

A.N. : $D_T \approx 694 \text{ mm}$.

Q15. À partir d'une étude énergétique en régime permanent, **déterminer l'expression littérale** du couple moteur C_{mi} en fonction de la tension dans une amarre T_i et des différents paramètres utiles. **Expliciter** votre raisonnement.

Système isolé : $\{\Sigma\} = \{\text{tambour} + \text{réducteur} + \text{moteur}\}$

Hypothèses :

- l'effet de la pesanteur est négligé ;
- le régime permanent est considéré.

Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice : $P_{m_i \rightarrow (\Sigma/R_0)} = C_{mi} \omega_{mi}$
- pertes mécaniques : $P_{pertes(\Sigma/R_0)} = C_{mi} \omega_{mi} (1 - \eta)$
- puissance mécanique de l'amarre i : $P_{A_i \rightarrow \Sigma/R_0} = -T_i V_i$ avec V_i la vitesse d'enroulement de l'amarre par rapport à la plateforme.

En régime permanent, le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble (Σ) en mouvement par rapport au référentiel Galiléen R_0 s'écrit :

$$C_{mi} \omega_{mi} - C_{mi} \omega_{mi} (1 - \eta) - T_i V_i = 0 \Rightarrow C_{mi} = \frac{T_i}{\eta} \times \frac{V_i}{\omega_{mi}}$$

or :

$$\left| \frac{V_i}{\omega_{mi}} \right| = r \frac{D_T}{2}$$

soit :

$$\boxed{|C_{mi}| = \left| \frac{r T_i D_T}{2 \eta} \right|}$$

Q16. **En déduire** pour chaque couple de machines **l'expression littérale** du couple moteur C_{mi} . **Donner** la valeur numérique du couple fourni par chaque moteur de treuil puis **conclure** sur le choix de la motorisation.

L'équation obtenue Q15 permettent ensuite de calculer le couple moteur C_{mi} pour le « mode moteur ».

Pour le « mode frein », la puissance motrice est imposée par le câble et le moteur agit comme un frein. Le calcul du couple de maintien s'obtient alors par une démarche identique à celle de la Q15 mais avec un inventaire des puissances modifié :

- Inventaire des puissances extérieures et intérieures :

- puissance motrice : $P_{m_i \rightarrow \Sigma/R_0} = +T_i V_i$
- pertes mécaniques : $P_{pertes}(\Sigma/R_0) = T_i V_i (1 - \eta)$
- puissance de freinage : $P_{m \rightarrow \Sigma/R_0} = -C_m \dot{\theta}_m$

- T.E.C. :

$$|C_{mi}| = \left| \eta \frac{D_T}{2} r T_i \right|$$

Bilan :

	Expression littérale	A.N.
Mode génératrice	$ C_{m1} = C_{m2} = \left \eta \frac{r T_1 D_T}{2} \right $	$ C_{m1} \approx 40 \text{ Nm}$
Mode moteur	$ C_{m3} = C_{m4} = \left \frac{r T_3 D_T}{2 \eta} \right $	$ C_{m3} \approx 6 \text{ Nm}$

Pour le mode moteur, la valeur est six fois inférieure au couple nominal ($C_{nom} = 36,1 \text{ Nm}$). Le moteur est largement surdimensionné pour cette configuration.

Pour le mode frein, le couple calculé est légèrement supérieur au couple nominal, d'environ 10%. Or pour une machine asynchrone standard, le couple maximum (également appelé couple de décrochage) est en général 2 à 3 fois supérieur au couple nominal. Le choix de la motorisation est validé sachant que la configuration étudiée correspond à la plus défavorable (tension de 5 t).

Q17. **Justifier** l'intérêt d'utiliser un frein centrifuge pour cette application ainsi que son positionnement dans la chaîne de puissance.

L'utilisation d'un frein centrifuge permet d'éviter l'emballement du moteur lors des phases de dévirage, c'est-à-dire l'entraînement du moteur par l'intermédiaire de l'amarre à une fréquence de rotation trop élevée par rapport à ça fréquence nominale.

Il est accouplé directement sur l'arbre moteur, en amont du réducteur, pour limiter le couple de freinage à fournir pour réguler la vitesse de rotation, réduisant ainsi la taille du frein à utiliser et donc l'encombrement du système (et le coût).

Q18. **Proposer - sans la mettre en œuvre** - une stratégie de résolution permettant de déterminer l'expression littérale du couple de freinage en régime de régulation, nommé C_f , exercé par une masselotte (2) sur le corps (0) en fonction des paramètres suivants : $\omega_m = \dot{\theta}_m$, k, l, l_0, r_2, R, m_2 et f .
Détailler rigoureusement votre démarche et les hypothèses éventuellement formulées.

Système isolé : masselotte {2}

Hypothèse :

- l'étude est réalisée en phase de freinage, donc $\dot{\theta}_m(t) \geq \omega_{lim} > 0$
- la masselotte (2) est en contact avec le corps (0) à la limite du glissement

I.A.M.E. :

- action du ressort : $\{\mathcal{F}_{r \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{matrix} -k(l(t) - l_0) \vec{x}_2 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_{\forall M \in (O, \vec{x}_2)}$;
- action du corps (0) en C : $\{\mathcal{F}_{0 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{matrix} -N_{02} \vec{x}_2 - T_{02} \vec{y}_2 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_C$, avec : $N_{02} > 0$ (action unilatérale) et $T_{02} > 0$ car $\dot{\theta}_m(t) > 0$.
- action de l'arbre (1) : $\{\mathcal{F}_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix} \right\}_{\forall M, B_2}$

Théorème de la résultante dynamique (T.R.D.) appliqué à (2) par rapport R_0 et projeté sur la direction \vec{x}_2 :

$$-k(l(t) - l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le couple de freinage étant défini par la relation suivante,

$$C_f = \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \vec{OC} \wedge (N_{02} \vec{x}_2 + T_{02} \vec{y}_2)$$

il suffit alors d'utiliser les lois de coulomb et de combiner les relations précédentes pour déterminer C_f .

Q19. **Mettre en œuvre** la stratégie de résolution proposée et **montrer** que la relation obtenue pour n masselottes s'écrit sous la forme suivante :

$$C_f = n(-A + B \omega_m^2)$$

où A et B sont deux constantes à identifier.

On applique le théorème de la résultante dynamique (T.R.D.) à (2) projeté sur la direction \vec{x}_2 :

$$-k(l(t) - l_0) - N_{02} = m_2 \vec{\Gamma}_G(2/0) \cdot \vec{x}_2$$

Le calcul de l'accélération amène :

$$\begin{aligned} \vec{V}_G(2/0) &= \vec{V}_G(2/1) + \vec{V}_G(1/0) \\ \leftrightarrow \vec{V}_G(2/0) &= \dot{l}(t) \vec{x}_2 + \vec{GO} \wedge \vec{\Omega}(1/0) \\ &\leftrightarrow \vec{V}_G(2/0) = r_2 \dot{\theta}_m \vec{y}_2 \\ \vec{\Gamma}_G(2/0) &= \left[\frac{d\vec{V}_G(2/0)}{dt} \right]_{R_0} = -r_2 \dot{\theta}_m^2 \vec{x}_2 + r_2 \ddot{\theta}_m \vec{y}_2 \end{aligned}$$

L'équation du T.R.D. s'écrit donc :

$$-k(l - l_0) - N_{02} = -r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2$$

Le couple de freinage est défini par la relation :

$$\begin{aligned} C_f &= \vec{M}_{O,2 \rightarrow 0} \cdot \vec{z}_{0,2} = \vec{OC} \wedge (N_{02} \vec{x}_2 + T_{02} \vec{y}_2) \\ \leftrightarrow C_f &= R \vec{x}_2 \wedge (N_{02} \vec{x}_2 + T_{02} \vec{y}_2) = R T_{02} \end{aligned}$$

Or à la limite du glissement : $|T_{02}| = f |N_{02}| \leftrightarrow T_{02} = f N_{02}$ car $N_{02}, T_{02} > 0$. Donc :

$$C_f = R f N_{02} = R f (-k(l - l_0) + r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2)$$

qui se réécrit sous la forme :

$$C_f = -k(l - l_0) R f + R f r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2$$

Soit pour n masselottes :

$$C_f = n(-k(l - l_0) R f + R f r_2 m_2 \dot{\theta}_m^2) \leftrightarrow n(-A + B \dot{\theta}_m^2)$$

avec : $A = k(l - l_0) R f$

et $B = R f r_2 m_2$

Q20. **En déduire l'expression littérale puis la valeur numérique** de la vitesse de régulation $\omega_{m \text{ reg}}$ du frein centrifuge pour $T = T_{max}$.

D'après les relations données dans l'énoncé pour n masselottes :

$$C_f = n(-A + B \omega_m^2) = \eta \frac{D_T}{2} r T_{max}$$

La fréquence de rotation de l'arbre moteur en phase de régulation est alors définie par :

$$\omega_{m \text{ reg}} = \left[\frac{1}{B} \left(\frac{\eta r T_{max} D_T}{2n} + A \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

A.N. : $\omega_{m \text{ reg}} \approx 2670 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

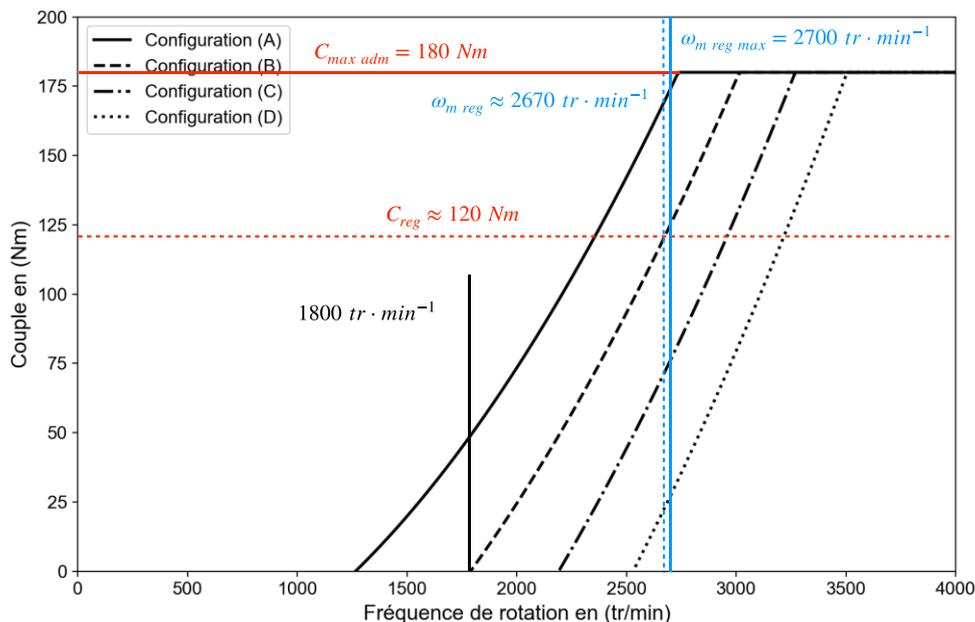
Q21. À partir du **document DT4.5** et du diagramme des exigences (**DT2.3**) **conclure sur le dimensionnement du frein centrifuge** et sur la configuration à utiliser pour valider l'exigence id.1.6.2.2.

Préciser le composant du frein centrifuge sur lequel le constructeur peut agir pour régler la vitesse de déclenchement du frein ? Justifier votre réponse.

Le cahier des charges impose un déclenchement du frein centrifuge à $1800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ et une vitesse maximale de régulation de $2700 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. D'après la documentation constructeur (voir figure ci-après) seul le frein avec la configuration B permet de satisfaire ces deux exigences.

(Le couple maximal en phase de régulation est de 120 Nm ce qui est inférieur à la limite admissible par le frein quelle que soit la configuration utilisée (180 Nm).)

Le frein en configuration B est donc correctement dimensionné pour répondre au cahier des charges.



Les différentes courbes présentent une évolution quadratique identique, seule la valeur de la vitesse à partir de laquelle la régulation est effective diffère.

Pour régler cette vitesse de déclenchement le constructeur peut modifier la raideur du ressort (3). En effet, l'action du ressort s'oppose à l'effet centrifuge qui évolue avec le carré de la vitesse de rotation du moteur.

Modifier la raideur du ressort permet ainsi de régler la vitesse de rotation à partir de laquelle les masselottes seront en contact avec le corps, donc la vitesse de rotation correspondant au début du freinage.

Q22. **Recenser** les différents éléments de la chaîne de puissance dont le dimensionnement a été validé dans la partie 2. **Proposer** une démarche analytique qui permettrait de valider le dimensionnement du frein statique, non étudié dans cette partie.

Dans cette partie le motoréducteur et le frein centrifuge ont été dimensionnés.

Le frein statique peut être dimensionner en utilisant la relation de la question 18 pour le mode frein et valeur de tension égale à la tension de rupture d'une amarre (exigence id. 1.6.1.1), afin de vérifier la tenue du frein statique en toutes situations.

3. Commande et gestion de la chaîne de puissance des treuils d'amarrage

Q23. **Déterminer** le rapport V_s/V_e en fonction de R_J , R_1 , R_2 , et R_3 . **Calculer**, pour les valeurs de la mesure décrite précédemment, la valeur de ce rapport. La documentation constructeur indique une sensibilité

de 1,280 mV/V pour une charge de 28 tonnes, en **déduire** la valeur de l'effort mesuré. **Citer** un avantage d'utiliser une transmission en boucle de courant de type 4-20 mA.

$$\frac{V_s}{V_e} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_1} - \frac{R_j}{R_j + R_2} \right) = 2.633 \cdot 10^{-1} \text{ mV/V}$$

Si pour 28 tonnes on a 1.280 mV/V alors pour une mesure de 0,2633 mV/V on a un effort de 5.76 tonnes. Utiliser une boucle de courant présente une meilleure immunité CEM, l'offset de 4mA permet d'identifier une rupture de liaison si absence de courant.

Q24. À partir des informations issues de la centrale de contrôle, du diagramme d'exigence du **document DT2.3** et du résultat de la question précédente, **indiquer** le mode de fonctionnement du moteur correspondant au capteur TA2.

L'effort TA2 étant de 5.76 tonnes, l'exigence impose un écart d'effort entre les amarres de moins de 10kN, alors il faut dévirer l'amarre TA2 pour réduire l'effort.

Q25. **Calculer** la puissance récupérée dans le cas le plus défavorable (rendement de 100%) par le moteur électrique. Cette puissance est dissipée dans deux résistances en série (R_{r1} et R_{r2}) dont la puissance dissipée de chacune est de 1500 W sous 230 V, **conclure** sur le choix de ces résistances.

$$P_{méca} = 5\,000 \times 9.81 \times \frac{5}{60} = 4087.5 \text{ W}$$

S'il n'y a pas de perte, alors la totalité de cette puissance est dissipée par les deux résistances de freinages. Ces résistances de freinages on pour valeur :

$$R = \frac{230^2}{P_R} = 35.27 \, \Omega$$

La puissance que peut dissiper ces deux résistances en séries est donc :

$$P_{dissipée} = \frac{U_0^2}{2 \cdot R} = 4605 \text{ W}$$

Donc les deux résistances peuvent dissiper une puissance supérieure à la puissance à dissiper pour freiner la plateforme. L'interrupteur K_f permettra de moduler la puissance dissipée pour garder une tension constante. Sous réserve que les résistances soient capables de dissiper une puissance supérieure, la valeur ohmique des résistances est correctement dimensionnée.

Q26. Dans le cas particulier où on néglige la résistance statorique R_s , **déterminer** la relation liant le courant efficace dans le rotor noté I_R avec la tension électrique efficace d'alimentation noté V et les composants passifs du modèle.

$$I_R = \frac{V}{\sqrt{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2}}$$

Q27. À partir du résultat de la question précédente, **déterminer** la relation de la puissance consommée en fonction de la tension électrique d'alimentation et des composants passifs du modèle. En faisant l'hypothèse que cette puissance est la puissance mécanique absorbée par la charge, **donner** la relation liant le couple mécanique, noté C , délivré par le moteur en fonction de V , L_R , R_R , g , p le nombre de paires de pôles de la machine et ω_s la pulsation angulaire de synchronisme. **Exprimer** le résultat sous la forme :

$$C = 2 \cdot K_A \cdot \left(\frac{V}{\omega_s}\right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{g}{K_B} + \frac{K_B}{g}}$$

On calcule la puissance consommée :

$$P_{em} = 3 \cdot R_R \cdot \frac{1-g}{g} \cdot I_R^2 = 3 \cdot R_R \frac{1-g}{g} \cdot \frac{V^2}{(L_R \cdot \omega_e)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = C_{em} \cdot \omega$$

Par définition, le glissement est égal à :

$$g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Donc :

$$1 - g = \frac{\omega}{\omega_s}$$

$$C_{em} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot p \cdot \omega_s)^2 + \left(\frac{R_R}{g}\right)^2} = 3 \cdot \frac{V^2}{\omega_s} \cdot \frac{\frac{R_R}{g}}{(L_R \cdot p \cdot \omega_s)^2 \cdot g + \frac{R_R^2}{g}} = \frac{2}{2} \cdot \frac{3}{L_R \cdot p} \cdot \frac{V^2}{\omega_s^2} \cdot \frac{1}{\frac{g}{L_R \cdot p \cdot \omega_s} + \frac{\frac{R_R}{L_R \cdot p \cdot \omega_s}}{g}}$$

Donc : $K_B = \frac{R_R}{L_R \cdot p \cdot \omega_s}$ et $K_A = \frac{3}{2 \cdot L_R \cdot p}$

Q28. **Déterminer** l'expression de g qui permet d'obtenir un couple maximum.

Afin d'obtenir la valeur du maximum du couple, il faut vérifier :

$$\frac{dC_{em}}{dg} = 0$$

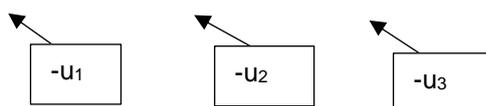
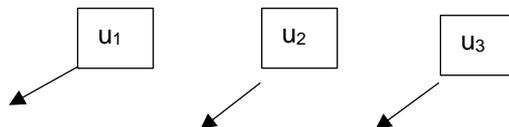
Ce qui amène à :

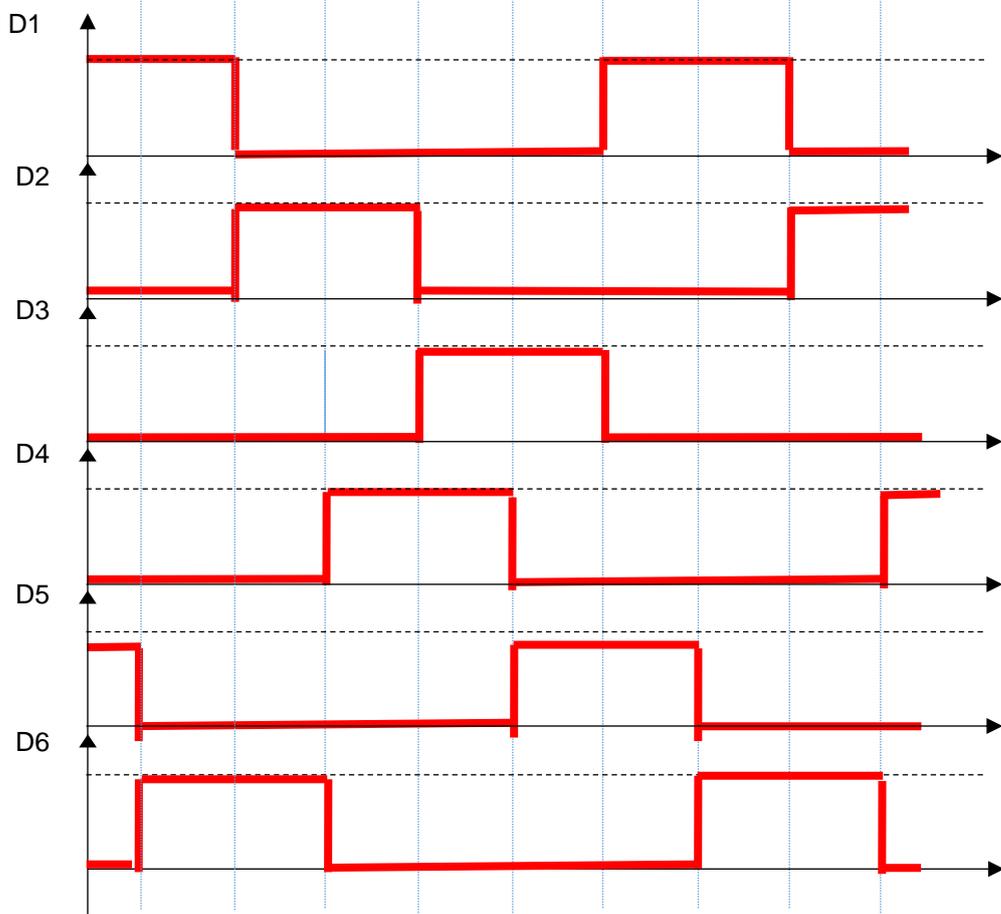
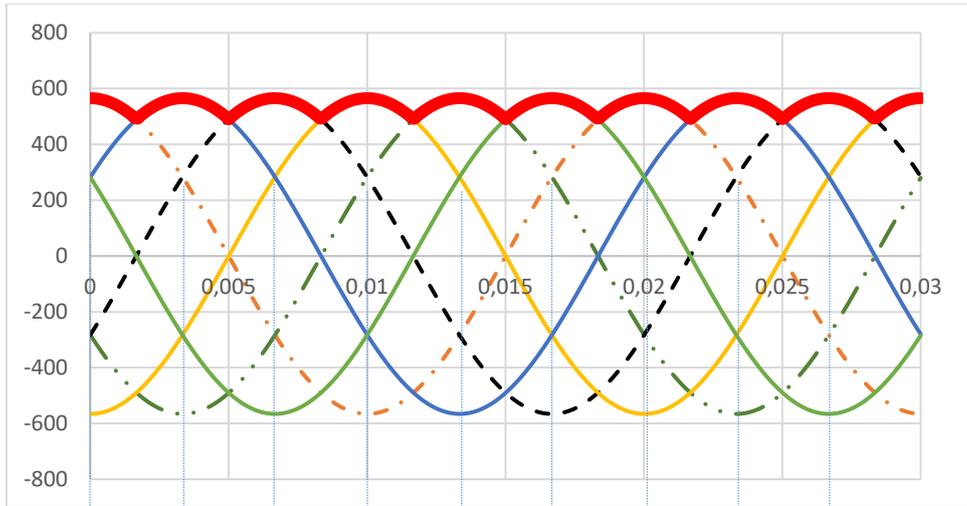
$$g_{max} = K_B$$

Q29. Le moteur est piloté avec un rapport V/f constant, avec V la tension électrique d'alimentation et f la fréquence des courants électriques. A partir des études précédentes **justifier** ce choix de commande de la machine asynchrone.

Un rapport V/f constant permet de limiter le courant de démarrage et d'obtenir un couple maximal quelle que soit la vitesse du moteur.

Q30. Sur le **document réponse DR4**, tracer l'allure de la tension électrique une fois redressée et avant filtrage. **Indiquer** les diodes qui sont passantes. **Calculer** ensuite la valeur moyenne de la tension électrique.





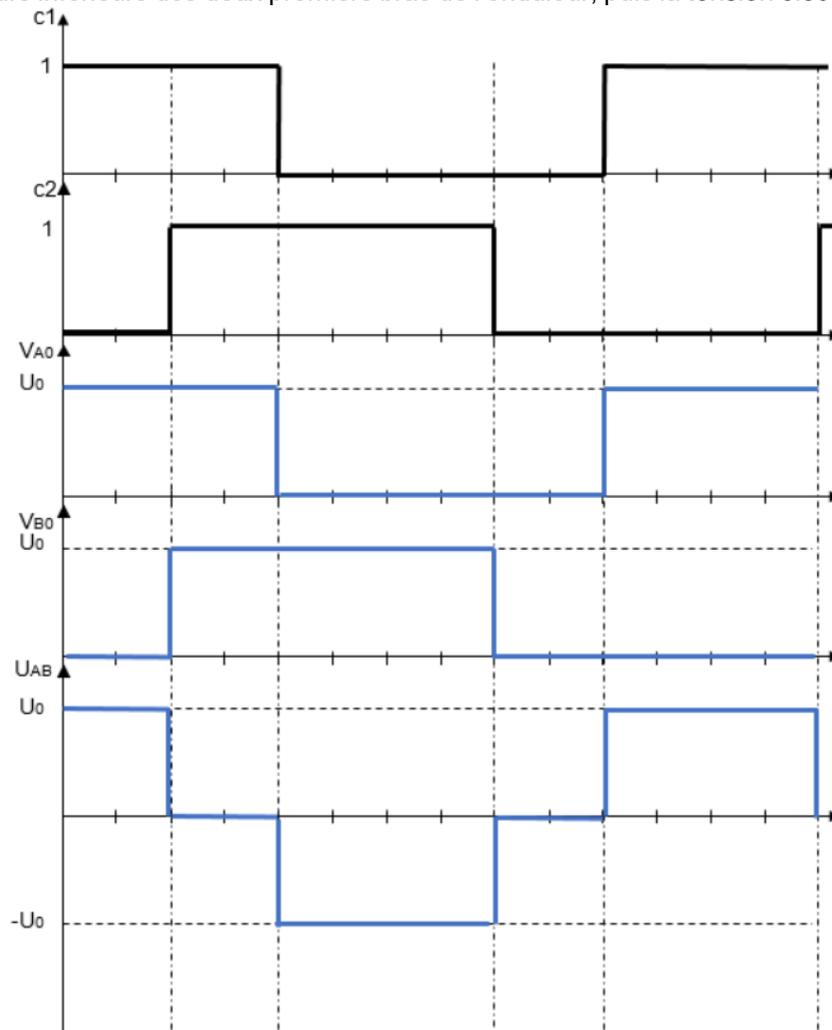
On a, par définition de la valeur moyenne :

$$U_{moy} = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_1(t) \cdot dt = \frac{1}{T/6} \int_{-T/12}^{T/12} U_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot dt$$

$$U_{moy} = \frac{6}{T} \cdot \left[\frac{U_{max}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \right]_{-T/12}^{T/12}$$

$$U_{moy} = \frac{6 \cdot U_{max}}{T \cdot \frac{2\pi}{T}} \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \text{ et donc } U_{moy} = \frac{3 \cdot U_{max}}{\pi} = 540.4 \text{ V}$$

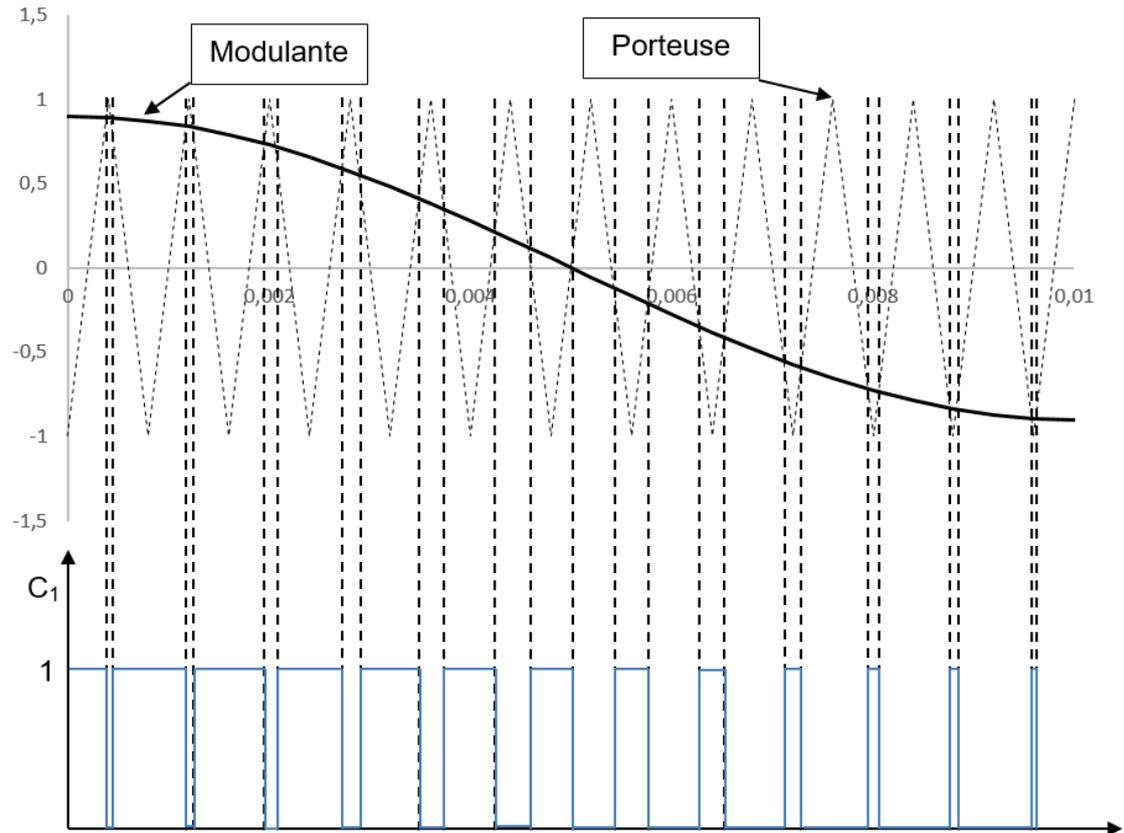
Q31. Sur le **document réponse DR5**, tracer les signaux V_{A0} et V_{B0} , les tensions électriques aux bornes des interrupteurs inférieurs des deux premiers bras de l'onduleur, puis la tension électrique composée U_{AB} .



Q32. À partir des tracés obtenus à la question précédente et du spectre de la tension U_{AB} (voir figure 26), **expliquer** pourquoi certaines harmoniques sont nulles.

La fonction étant paire, les harmoniques de rang pair sont nulles. Le déphasage entre C1 et C2 étant de 120° , les harmoniques de rang multiple de 3 sont nulles également.

Q33. **Tracer** sur le **document réponse DR6** la forme du signal c1.



Q34. À partir de l'analyse fréquentielle présentée figure 28, **conclure** sur l'intérêt d'utiliser une commande MLI par rapport à une commande dite « pleine onde »

La MLI permet de d'obtenir un signal plus proche d'un sinus ce qui permet de renvoyer les harmoniques du spectre autour de la fréquence de la porteuse et ainsi faciliter le filtrage.

Q35. À partir des résultats obtenus dans cette partie, **conclure** sur le respect des exigences 1.6.2.1 et 1.6.2.2.

Le capteur d'effort ainsi que l'utilisation de la machine asynchrone en hypersynchronisme permettent d'équilibrer les efforts dans les amarres ce qui permet de respecter l'exigence 1.6.2.1.

L'utilisation d'un onduleur permet de faire tourner la machine asynchrone à vitesse variable et donc de faire varier la vitesse d'enroulement de l'amarre et donc de respecter l'exigence 1.6.2.2.

4. Analyse thermique et évolution du local technique

Q36. **Donner** les 3 modes de transfert thermique à considérer dans l'étude du local technique et **expliquer** succinctement le principe physique mis en jeu pour chacun d'eux.

Les trois modes de transfert thermique sont :

- La conduction : la différence de température entre deux régions d'un même milieu (ou de deux milieux en contact) provoque une agitation moléculaire entre ces deux régions amenant à un transfert thermique sans déplacement de matière ;
- La convection : le mouvement d'un fluide sur une paroi solide amène à un transfert thermique ;
- Le rayonnement : un transfert thermique est réalisé du fait de la réception (ou l'émission) d'un flux d'onde électromagnétique de faible longueur d'onde.

Q37. **Justifier** l'installation d'une climatisation réversible pour chacun des boxs de conversion.

Une climatisation est présente par box de conversion afin de pouvoir réaliser la régulation en température seulement des boxes fonctionnant (les trois sites de test ne fonctionnent pas en continu, ni en simultané).

Q38. **Justifier** l'hypothèse « Les transferts thermiques seront considérés comme totaux, c'est-à-dire sans accumulation de chaleur dans les matériaux ou dans l'air », à la vue de l'objectif de l'étude envisagée.

On néglige ici l'inertie thermique du local et des parois. Ainsi, les transferts étant totaux, aucune chaleur n'est emmagasinée par les murs, et le temps de réponse de l'air du local sera nul. Cela permet d'aboutir à une modélisation non seulement plus simple à résoudre, mais qui va aussi surdimensionner le système de régulation.

Ainsi le système choisi sera forcément capable de réguler la température.

Q39. **Rappeler** le(s) mode(s) de transfert thermique mis en jeu dans l'expression du flux thermique à travers une paroi, puis **déterminer** les expressions littérales et les valeurs numériques de R_{mur} , R_{toit} et R_{vitre} .

Le mode de transfert thermique mis en jeu ici est la conduction.

On a $R_i = \frac{e_i}{\lambda_i S_i}$ avec :

- $S_{vitre} = 3 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \approx 0,48 \text{ m}^2$
- $S_{mur} = 2 \cdot (9 - 2 \cdot 0,062 + 2,666) \cdot (2,6955 - 0,16 - 0,062) - S_{vitre} \approx 56,9 \text{ m}^2$
- $S_{toit} = (9 - 2 \cdot 0,062) \cdot 2,666 \approx 23,7 \text{ m}^2$

Et donc :

- $R_{mur} \approx 0,027 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $R_{vitre} \approx 0,18 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $R_{toit} \approx 0,058 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$

Q40. **Rappeler** le(s) mode(s) de transfert thermique mis en jeu dans l'expression précédente du flux thermique, puis **déterminer** les expressions littérales et numériques de $R_{T,mur}$, $R_{T,toit}$ et $R_{T,vitre}$, permettant de modéliser le flux thermique entre l'intérieur et l'extérieur du local technique sous la forme :

$$\Phi_p = \frac{1}{R_{T,p}} (T_e - T_i)$$

Les modes de transfert thermique mis en jeu dans l'équation précédente sont la conduction et la convection de la couche d'air considérée.

On a une association de trois résistances thermiques en série avec :

$$R_{T,j} = R_j + \frac{1}{h_{i,j} S_j} + \frac{1}{h_{e,j} S_j}$$

Et donc, on obtient :

- $R_{T,mur} \approx 0,03 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $R_{T,vitre} \approx 0,54 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $R_{T,toit} \approx 0,06 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$

Q41. **Déterminer** alors l'expression littérale, puis la valeur numérique, de R_T permettant d'exprimer le flux thermique total Φ_{Total} entre l'intérieur et l'extérieur du local technique sous la forme :

$$\Phi_{total} = \frac{1}{R_T} (T_e - T_i)$$

On a alors pour modéliser la résistance thermique totale, l'association de trois résistances en parallèle :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{T,mur}} + \frac{1}{R_{T,toit}} + \frac{1}{R_{T,vitre}}$$

$$R_T \approx \frac{R_{T,mur} \cdot R_{T,toit} \cdot R_{T,vitre}}{R_{T,mur} \cdot R_{T,vitre} + R_{T,vitre} \cdot R_{T,toit} + R_{T,toit} \cdot R_{T,mur}}$$

D'où : $R_T = 0,019 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$

Q42. Après **avoir relevé** les valeurs maximale et minimale $T_{e,max}$ et $T_{e,min}$ de la température extérieure, **déterminer** les expressions littérales en fonction de R_T puis numériques de $\Phi_{total,max}$ et $\Phi_{total,min}$.

Sur la courbe, on relève $T_{e,max} = 41^\circ\text{C}$ et $T_{e,min} = -3^\circ\text{C}$.

On a donc :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{41 - 23}{0,019} \approx 950 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-3 - 23}{0,019} \approx -1370 \text{ W}$

Q43. **Commenter** le choix du dispositif de régulation en température en termes de puissance, ainsi que la validité des hypothèses de pré-dimensionnement.

Avec un coefficient de sécurité de 5, le système de régulation doit pouvoir fournir au minimum $5 \cdot 1370 = 6850 \text{ W}$.

Avec 3 climatisations de 2,43 kW chacune, il fournit 7290 W.

Le système de climatisation est bien dimensionné.

Les hypothèses prises sont très réductrices, notamment au niveau de la prise en compte du rayonnement et des différents ponts thermiques. En effet qu'ils soient localisés dans le temps (passage de technicien ou d'exploitant) ou plus globaux (ponts thermiques dus aux jours dans l'assemblage du local technique qui est un préfabriqué, avec passage de câbles et 4 portes d'accès), les pertes seront bien plus grandes. Ceci explique le très grand coefficient de sécurité utilisé.

Q44. **Donner** les avantages de l'utilisation d'un modèle BIM dans le dimensionnement d'un bâtiment, et **préciser** son utilité dans cette étude.

Dans la conception d'un bâtiment, le BIM permet de mettre en relation de manière instantanée, les différents corps de métiers prenant part au projet. Ainsi une modification, réalisée par exemple par l'équipe en charge du câblage électrique, sera transmise aux autres équipes qui pourront la prendre en compte dans leur travail de conception et de réalisation.

Dans notre étude, le BIM permet d'élaborer et de modifier en temps réels des simulations qui permettront une étude plus fine que celle réalisée précédemment. On pourra prendre notamment en compte les différentes inerties thermiques et les différents ponts thermiques globaux qui sont paramétrables dans ce type d'étude, ainsi que les transferts réalisés par rayonnement (surtout l'été).

Les ponts thermiques locaux sont quant à eux plus difficiles à modéliser dans ce type d'étude. C'est pourquoi un coefficient de sécurité est encore nécessaire.

Q45. **Justifier** le changement de signe de la tendance du flux thermique, ainsi que les pics d'oscillation visibles sur la figure 31.

La valeur de température moyenne extérieure varie au cours de l'année et son signe est amené à changer (négatif l'hiver et inférieur à 23°C – flux donc négatif). Ceci explique le changement de signe de la tendance du flux thermique.

De plus, au cours d'une journée, de fortes variations de température peuvent intervenir. Ceci explique les pics d'oscillation.

Q46. À partir de la figure 31, **déterminer** les valeurs minimale et maximale du flux thermique à fournir par le système de régulation en température pour maintenir la température à 23°C . **Expliquer** les éventuelles différences avec les résultats de la question **Q42** et **conclure** sur son dimensionnement à la vue de l'étude menée ici.

A la vue des signes de la figure 31, elle représente le flux thermique de l'intérieur vers l'extérieur, c'est-à-dire l'opposé des flux calculés précédemment. Le flux thermique à fournir par le système de régulation pour maintenir le système à la bonne température sera donc celui relevé sur la figure 31 (négatif l'été pour rafraîchir et positif l'hiver pour réchauffer) :

- $\Phi_{reg,max} \approx 2,4 \text{ kW}$
- $\Phi_{reg,min} \approx -1,7 \text{ kW}$

On trouve de grandes différences avec les résultats de la Q42 (en prenant en compte le changement de signe), qui viennent principalement de la non prise en compte des ponts thermiques locaux.

Néanmoins, avec un coefficient de sécurité de 3, la climatisation réversible devra fournir au maximum 7,2 kW, ce qui reste inférieur à sa capacité de 7,29 kW.

On voit alors que si on pré-dimensionne le système de régulation avec un coefficient de sécurité de 5 (6,9 kW), cela équivaut approximativement à un dimensionnement plus fin avec un coefficient de sécurité de 3 (7,2 kW).

Q47. **Calculer**, à partir du résultat de la question **Q41**, les valeurs de flux thermique maximum et minimum lors des pics de température évoqués, et **conclure** sur la capacité du dispositif de régulation en température à respecter l'exigence ID = 1.4.2.1 .

Le résultat de la Q41 donne alors avec les nouvelles valeurs extrêmes de température :

- $\Phi_{total,max} = \frac{T_{e,max} - T_i}{R_T} = \frac{51 - 23}{0,019} \approx 1470 \text{ W}$
- $\Phi_{total,min} = \frac{T_{e,min} - T_i}{R_T} = \frac{-6 - 23}{0,019} \approx -1520 \text{ W}$

Avec un coefficient de sécurité de 5, on obtient alors une puissance nécessaire pour le système de régulation de $1520 \cdot 5 = 7,6 \text{ kW}$.

Cette valeur est plus grande que la puissance disponible. Le système de régulation n'est pas capable d'encaisser ces pics de température et donc de permettre un fonctionnement optimal du site d'essais.

Q48. **Proposer** deux solutions, une sur le dispositif de régulation en température et une sur le bâtiment du local technique afin de respecter l'exigence ID = 1.4.2.1, en **donnant** à chaque fois la caractéristique globale à modifier, et le cas échéant le moyen d'y parvenir.

Afin de respecter l'exigence 1.4.2.1, deux solutions sont envisageables :

- *Augmenter la puissance fournie par le dispositif de régulation en ajoutant une climatisation réversible dans le local ;*
- *Augmenter la résistance thermique globale du local R_T en agissant sur le type de matériaux utilisés ou leur épaisseur.*

5. Bilan énergétique du site d'exploitation

Q49. **Déterminer** de façon littérale l'énergie fournie par la turbine pour une durée en heures de $\frac{T}{2}$. **Donner** la valeur de cette énergie en kWh.

Dans cette question les modèles de l'évolution de la vitesse du courant du fleuve et de la puissance en sortie de génératrice sont donnés.

$$E_6 = \int_0^{\frac{T}{2}} K \left(V \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right)^3 dt \text{ avec } (\sin(t))^3 = \frac{3}{4}\sin t - \frac{1}{4}\sin 3t \text{ que l'on retrouve en linéarisant.}$$

Le calcul de l'intégrale donne : $E_6 = \frac{2KV^3T}{3\pi}$ (en Wh)

Ce qui fait une énergie de $E_6 = 73 \text{ kWh}$

Q50. À partir de l'étude réalisée dans la **partie V**, **évaluer un ordre de grandeur** de l'énergie totale nécessaire au fonctionnement du dispositif de régulation en température et conclure sur la valeur trouvée vis-à-vis de la production énergétique du site d'essai.

Dans le pire des cas, le système de régulation a besoin de 2400 W (figure de simulation). Ce qui donne sur 6 heures, une énergie de $E_{12,nec} = 14 \text{ kWh}$, ce qui représente 20% de l'énergie produite. Il reste alors 80% de l'énergie produite par la seule plateforme Bilbao, dans le pire des cas, pour le reste des systèmes du site de

test (commande des treuils, ...). Cela semble largement suffisant pour permettre au site d'être autonome. L'exigence 1.4.2.1 est ainsi validée.

5. Commentaires du jury

Le jury constate que toutes les parties ont été abordées par la majorité des candidats hormis la partie de synthèse finale. Si les deux premières parties, ainsi que la quatrième, ont globalement bien été abordées, le taux de réussite n'excède pas 50 % en moyenne sur chaque partie, même sur la quatrième partie, portant pourtant sur une étude thermique. La troisième partie, portant sur l'étude de l'actionneur utilisé, a été très mal traitée par les candidats.

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait preuve de transversalité et qui ont su aborder chacune des parties, même de manière incomplète. Chaque partie était conçue avec une difficulté croissante des questions, permettant aux candidats des différentes spécialités à la fois de pouvoir aborder partiellement chaque problématique, mais également de s'affirmer dans son domaine de prédilection.

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

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

Le jury constate trop souvent un manque de rigueur, notamment dans l'écriture des expressions littérales, dans la manipulation des grandeurs scalaires et vectorielles en mécanique (démarche d'isolement, théorèmes utilisés, bilan des actions mécaniques,...) mais surtout cette année dans la manipulation des grandeurs électriques dans le cas d'une machine alternative (puissance transmise par une machine asynchrone triphasée, puissance instantanée, puissance active, puissance réactive, grandeurs complexes,...).

Le manque de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction est aussi dommageable en vue de l'évaluation du travail des candidats. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

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

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

Réussir cette épreuve demande :

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

6. Conclusion

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

II. Modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

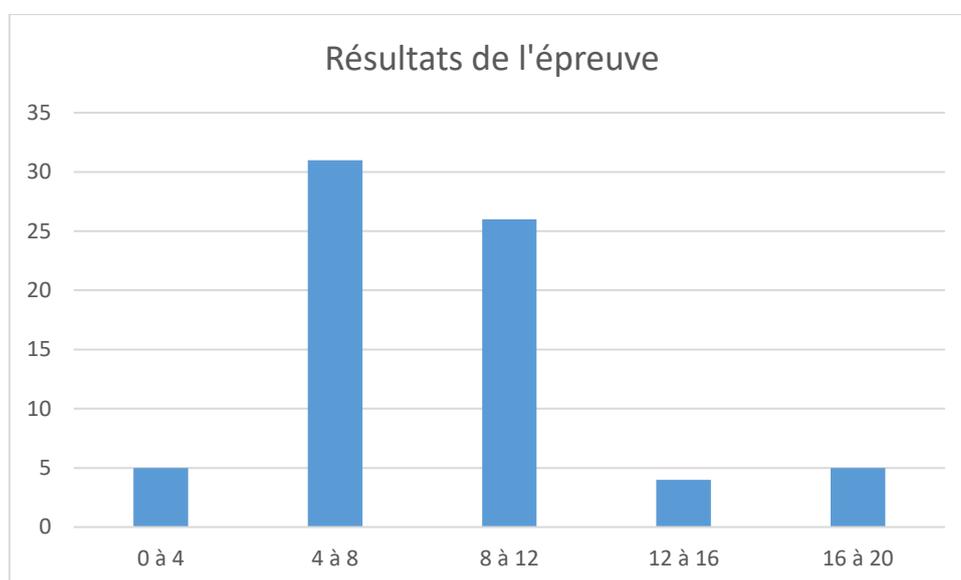
1. Présentation de l'épreuve

- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

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

2. Résultats

Sur 74 corrigées, 21 copies ont la moyenne et 53 ne l'ont pas. La moyenne des notes obtenues est de 8,93/20. L'écart-type est de 4,52. Les notes sont comprises entre 1/20 et 20/20.



3. Présentation du sujet

Lien de téléchargement : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12318/download>

Le sujet de modélisation propose d'étudier un complexe sportif possédant une structure mixte béton, acier et bois. Ce bâtiment abrite le siège et les cours de tennis couverts du club omnisports de l'Émulation Nautique de Toulouse. Il a été construit à Toulouse sur « l'île du Ramier ». Il s'agit d'un bâtiment devant accueillir du public de type gymnase et bureau.

La partie « Halle de tennis » est une structure porteuse en bois avec des assemblages et des renforts en acier de type hyperstatique surmontée d'une toiture en bâches tendues. La partie « Bureau » est située sur un côté du bâtiment. Cette zone est chauffée et isolée. Les murs qui la délimitent sont en ossature bois.

Pour l'établissement de ce sujet, le projet réel a été fortement simplifié. Ainsi, bien que les ordres de grandeur aient été globalement respectés, les valeurs données dans ce sujet ne sont pas directement celles qui ont été utilisées pour le dimensionnement de la halle. En outre, certaines des solutions technologiques proposées dans ce sujet ne sont pas celles qui ont été effectivement choisies pour la construction réelle.

L'étude structurelle de la halle de tennis s'est articulée en trois parties distinctes indépendantes les unes des autres. Les trois études étaient :

- Étude 1 - Poutre continue en bois soumise au vent ascendant et au poids propre
- Étude 2 - Poteau hyperstatique en bois soumis à un vent latéral
- Étude 3 - Étude mécanique d'éléments secondaires (arceau et renfort)

L'étude énergétique de la zone de bureau du complexe s'est articulée en trois parties distinctes indépendantes les unes des autres. Les trois études étaient :

- Étude 4 - Étude du risque de condensation de la façade extérieure
- Étude 5 - Intermittence de chauffage
- Étude 6 - Installation géothermique

4. Éléments de correction

Étude 1 : POUTRE CONTINUE EN BOIS SOUMIS AU VENT ET AU POIDS PROPRE (3 points)

Question 1.1 :

(DaN)	12	13	14
X_i	425	0	-425
Y_i	-1418	-3427	-1418

Question 1.2 : $\sigma_{tMax}(Traction) = 0,764 \text{ MPa}$ $f_{t0k} = 16,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$

Question 1.3 : $\tau_{vMax}(Cisaillement) = 0,573 \text{ MPa}$ $f_{vk} = 2,7 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pas OK}$

Question 1.4 : $\sigma_{mMax}(Flexion composé) = 27,96 \text{ MPa}$ $f_{mk} = 24,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pas OK}$

Question 1.5 : $n=1$

Question 1.6 :

Point	1	2	10	11
M_{zi}	0	$-qL^2/18$	$-qL^2/18$	0

Question 1.7 : $M_{z6} = -161qL^2/36$

Question 1.8 :

Pour l'intervalle d'étude entre les points 1 et 2.

$$V_{y12}(x) = q_{pp}x$$

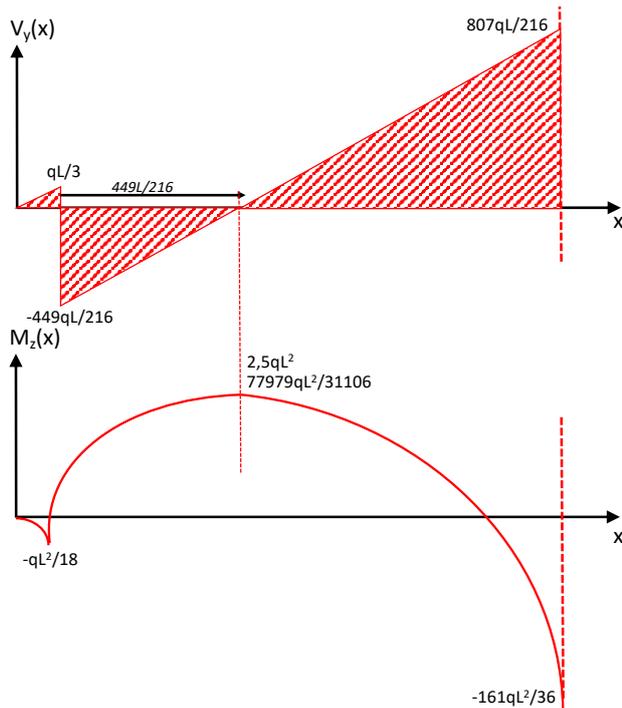
$$M_{z12}(x) = -\frac{q_{pp}x^2}{2}$$

Pour l'intervalle d'étude entre les points 2 et 6.

$$V_{y26}(x) = q_{pp}x - \frac{489}{216}q_{pp}L$$

$$M_{z26}(x) = -\frac{q_{pp}x^2}{2} + \frac{489}{216}q_{pp}Lx - \frac{q_{pp}L^2}{18}$$

Question 1.9 :



Étude 2 : POTEAU HYPERSTATIQUE EN BOIS SOUMIS AU VENT (4 points)

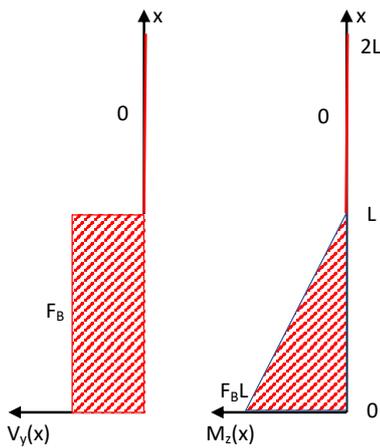
Question 2.1 : $h_B = -17qL^4/24EI_{Gz}$ $h_C = -2qL^4/EI_{Gz}$

Question 2.2 : $X_A = 0$ $Y_A = -F_C$ $\mu_A = -2F_C L$

Question 2.3 : $EI_{Gz}y(x) = -(F_C/6)x^3 + F_C Lx^2$

Question 2.4 : $h_B = 5F_C L^3/6EI_{Gz}$ $h_C = 8F_C L^3/3EI_{Gz}$

Question 2.5 : $X_A = 0$ $Y_A = -F_B$ $\mu_A = -F_B L$



Question 2.6 : $h_B = F_B L^3/3EI_{Gz}$

Question 2.7 : $h_C = 5F_B L^3/6EI_{Gz}$

Question 2.8 : $n=2$

Question 2.9 :

En A, $v_A = 0$ $h_A = 0$ $\omega_A = 0$

En B, $h_B = 0$

En C, $h_C = 0$

Question 2.10 : $Y_B = 72qL/63$ $Y_C = 33qL/84$

Question 2.11 : $X_A = 0$ $Y_A = -301qL/196$ $\mu_A = -7qL^2/98$

Étude 3 : Étude MECANIQUE D'ELEMENTS SECONDAIRES (3 points)

Question 3.1 : $n=1$

Question 3.2 :

$$X_A = -X_B = q_s \frac{L^2}{8f}$$

$$Y_A = Y_B = \frac{qsL}{2}$$

Question 3.3 :

$$M_z(x) + X_{AY} - Y_{AX} + qx^2/2 = 0$$

$$M_z(x) + q_s \frac{L^2}{8f} \frac{4f}{L^2} (L-x)x - (qL/2)x + qx^2/2 = 0$$

$$M_z(x) = 0$$

Question 3.4 :

Le tenseur des déformations linéarisée s'écrit :

$$\bar{\bar{\epsilon}} = \frac{1}{2} \left(\overline{\text{grad } \vec{U}} + (\overline{\text{grad } \vec{U}})^T \right)$$

Avec

$$\overline{\text{grad } \vec{U}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial U_1}{\partial x_1} & \frac{\partial U_1}{\partial x_2} & \frac{\partial U_1}{\partial x_3} \\ \frac{\partial U_2}{\partial x_1} & \frac{\partial U_2}{\partial x_2} & \frac{\partial U_2}{\partial x_3} \\ \frac{\partial U_3}{\partial x_1} & \frac{\partial U_3}{\partial x_2} & \frac{\partial U_3}{\partial x_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & C & 0 \\ -C & B & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{\bar{\epsilon}} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Il s'agit donc d'une déformation plane.

Question 3.5 :

$$\bar{\bar{\sigma}} = \begin{bmatrix} 2\mu A + \lambda \cdot (A + B) & 0 & 0 \\ 0 & 2\mu B + \lambda \cdot (A + B) & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \cdot (A + B) \end{bmatrix}$$

Étude 4 : Étude DU RISQUE DE CONDENSATION DE LA FAÇADE EXTERIEURE (3 points)

Question 4.1 : lame d'air ventilée entre l'isolant et la toile, on retrouve donc les conditions extérieures.

Question 4.2 :

$$R_{vap_{tot}} = \frac{e_1}{\pi_1} + \frac{e_2}{\pi_2} = 1,151 \cdot 10^{10} m^2 \cdot s \cdot Pa \cdot kg^{-1}$$

$$Pv_i = 0,65 * 101325 * e^{\frac{13,7 - 5120}{19 + 273,15}} = 1436,6 \text{ Pa}$$

$$Pv_e = 0,6 * 101325 * e^{\frac{13,7 - 5120}{-5 + 273,15}} = 276,3 \text{ Pa}$$

$$\varphi_v = \frac{Pv_i - Pv_e}{Rvap_{tot}} = 1,008 \cdot 10^{-7} \text{ SI}$$

Question 4.3 : $Pv_{1-2} = -\varphi_v * \frac{e_1}{\pi_1} + Pv_i = 1408,6$

	l	i-1	1-2	2-e	e
Pv [Pa]	1436,6	1436,6	1408,6	276,3	276,3

Question 4.4 : $Rth_{tot} = R_{si} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + R_{se} = 5,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

$$U = \frac{1}{Rth_{tot}} = 0,196 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\varphi_{th} = \frac{T_i - T_e}{Rth_{tot}} = 4,692 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

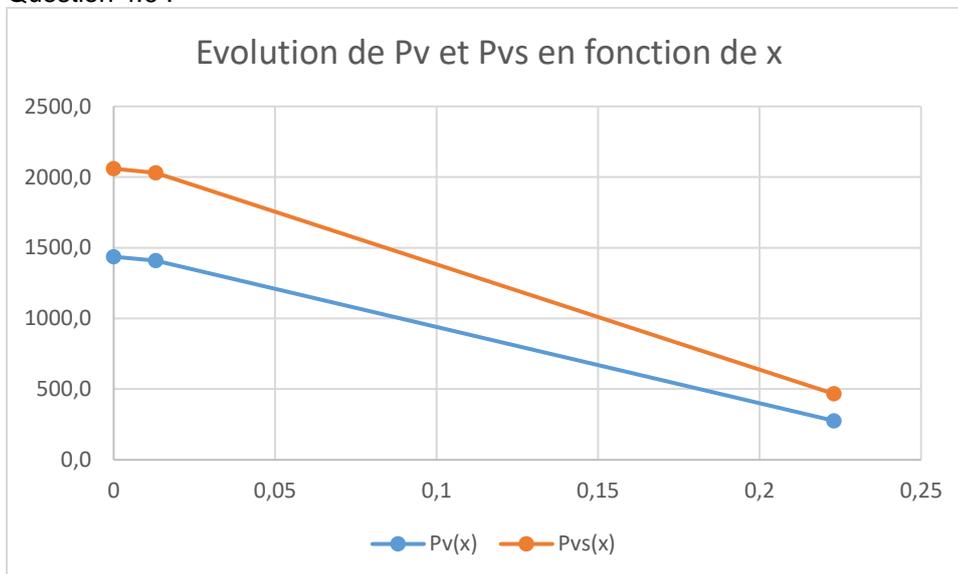
Question 4.5 :

$$T_{i-1} = -\varphi_{th} * R_{si} + T_i = 17,8^\circ\text{C}$$

$$Pvs_{i-1} = 101325 * e^{\frac{13,7 - 120}{17,8 + 273,15}}$$

	l	i-1	1-2	2-e	e
Pv [Pa]	1436,6	1436,6	1408,6	276,3	276,3
T [°C]	19	17,8	17,6	-4,8	-5
Pvs	2201,2	2059,4	2029,3	466,7	460,5

Question 4.6 :



Question 4.7 :

Pas de risque de condensation ni en surface, ni dans la masse car la pression de vapeur est inférieure à la pression de vapeur saturante. Solutions lorsqu'il y a risque de condensation : placer un pare-vapeur côté chaud de l'isolant, ou faire une isolation thermique par l'extérieur

Étude 5 : INTERMITTENCE DE CHAUFFAGE (3 points)

Question 5.1 : $US(T - T_e)dt + MCdT = 0$

Question 5.2 :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{US}{MC}(T - T_e) = 0$$

$$T - T_e = A \cdot e^{-\frac{US}{MC}t}$$

$$\tau = \frac{MC}{US}$$

Pour que τ augmente, il faut grand MC (grande inertie) et US petit (grande résistance thermique)

Question 5.3 :

$T(t = 0) = T_i$, Attention au changement de variable, ici à $t=0$ il est 18h.

$$A = T_i - T_e$$

Question 5.4 : $T(t = 13h) = 0 + (19 - 0)e^{-\frac{0,078}{7000} \cdot (13 \cdot 3600)} = 11,3^\circ\text{C}$

Question 5.5 :

$$P \cdot dT = MC \cdot dT + US(T - T_e)dt$$

$$T(t) = \left(T_e + \frac{P}{US}\right) \left(1 - e^{-\frac{US}{MC}t}\right) + T_0 e^{-\frac{US}{MC}t}$$

Attention la chute de température commence à 18h le soir et la montée commence à 7h le matin.

$$P = US \left(\frac{T(t) - T_0 e^{-\frac{US}{MC}t}}{1 - e^{-\frac{US}{MC}t}} - T_e \right)$$

$$P = 0,078 * \left(\frac{19 - 19e^{-\frac{0,078}{7000} \cdot 15 \cdot 3600}}{1 - e^{-\frac{0,078}{7000} \cdot 2 \cdot 3600}} - 0 \right) = 8,7kW$$

Question 5.6 : $P = US(T_i - T_e) = 1,9kW$

Étude 6 : INSTALLATION GEOTHERMIQUE (4 points)

Question 6.1 :

Compresseur

Condenseur

Détendeur

Évaporateur

Question 6.2 :

$$\rho c \frac{\partial \theta(z, t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 \theta(z, t)}{\partial z^2}$$

$$\rho c \frac{\partial (f(z)e^{i\omega t})}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 (f(z)e^{i\omega t})}{\partial z^2}$$

$$\rho c f(z)(i\omega)e^{i\omega t} = \lambda \frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2} e^{i\omega t}$$

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2} - i \frac{\omega \rho c}{\lambda} f(z) = 0$$

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2} - i \frac{\omega}{a} f(z) = 0$$

$a = \frac{\lambda}{\rho c}$ coefficient de diffusion ou diffusivité thermique

Question 6.3 :

ω est la pulsation, inversement proportionnel à la période.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 \times 3600}$$

$$\left[-i = (\sqrt{-i})^2 = \left(\sqrt{e^{-i\frac{\pi}{2}}} \right)^2 = \left(e^{-i\frac{\pi}{4}} \right)^2 = \left(\cos \frac{\pi}{4} - i \sin \frac{\pi}{4} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - i \frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 = \left(\frac{1-i}{\sqrt{2}} \right)^2 \right]$$

Question 6.4 :

L'équation différentielle devient :

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2} + \left(\frac{1-i}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{\omega}{a} f(z) = 0$$

Equation du type :

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2} + \omega_0^2 f(z) = 0$$

$$\text{Avec } \omega_0^2 = \left(\frac{1-i}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{\omega}{a}$$

Les solutions sont de la forme :

$$f(z) = A e^{i\omega_0 z} + B e^{-i\omega_0 z}$$

$$f(z) = A e^{i\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} + B e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} \text{ où } A \text{ et } B \text{ sont des constantes}$$

Question 6.5 :

Si $z \rightarrow +\infty$, le premier terme tend vers $+\infty$, impossible. Donc $A = 0$.

$$f(z) = B e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z}$$

Question 6.6 :

$$\underline{\theta}(z, t) = f(z) e^{i\omega t} = B e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} e^{i\omega t}$$

$$\underline{\theta}(z, t) = B e^{i\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a}} z\right)} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z}$$

$$\underline{\theta}(z, t) = B e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2a}} z} e^{i\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2a}} z\right)}$$

$$\underline{\theta}(z, t) = \alpha e^{-\frac{z}{\delta}} e^{i\left(\omega t - \frac{z}{\delta}\right)}$$

Question 6.7 :

$$\underline{\theta}(z=0, t) = \alpha e^{i\omega t}$$

$$\theta(z=0, t) = \text{Re} \left(\underline{\theta}(z=0, t) \right) = \alpha \cos(\omega t) = T(z=0, t) - T_0$$

$$\theta(z, t) = \text{Re} \left(\underline{\theta}(z, t) \right) = \alpha e^{-\frac{z}{\delta}} \cos \left(\omega t - \frac{z}{\delta} \right) = T(z, t) - T_0$$

$$T(z, t) = T_0 + \alpha e^{-\frac{z}{\delta}} \cos \left(\omega t - \frac{z}{\delta} \right)$$

Si z augmente alors $e^{-\frac{z}{\delta}}$ diminue donc la température s'atténue

$\cos \left(\omega t - \frac{z}{\delta} \right)$: onde progressive qui évolue dans le sens des z croissants

Donc $T(z, t)$ décrit une onde plane progressive atténuée.

δ : distance caractéristique d'atténuation analogue à l'épaisseur de peau

Question 6.8 :

On cherche P tel que $\alpha e^{-\frac{P}{\delta}} = \frac{\alpha}{10}$

$$\ln\left(e^{-\frac{P}{\delta}}\right) = \ln\frac{1}{10}$$

$$-\frac{P}{\delta} = \ln 1 - \ln 10$$

$$P = \delta \ln 10$$

Question 6.9 :

$$T = 1 \text{ jour} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\frac{1}{\omega} = \frac{T}{2\pi}$$

$$P = \sqrt{\frac{2a}{\omega} \ln 10} = \sqrt{a \frac{T}{\pi} \ln 10}$$

$$P = \sqrt{0,258 \cdot 10^{-6} * \frac{24 * 3600}{\pi} \ln 10} = 0,19 \text{ m}$$

Pour que la température reste constante ou varie peu il faut placer la canalisation en dessous de 20cm du sol. En pratique elles sont placées entre 0,6 et 1,20 m de profondeur.

5. Commentaires du jury

Le sujet était composé de six études indépendantes en deux parties.

1. La première partie de l'étude 1 consistait à relever des valeurs d'effort normal, tranchant et moment fléchissant sur les simulations Robot Structure Analysis et de calculer des contraintes (traction, cisaillement, flexion composée). La seconde partie de l'étude 1 consistait à tracer les diagrammes de $V_y(x)$ et de $M_z(x)$ sur une poutre continue hyperstatique ($n=1$). La méthode des trois moments a été utilisée pour calculer le moment sur l'appui central. Les deux parties de cette première étude ont été globalement réussies. Une grande partie des candidats ont la moyenne sur la première partie (1.1) de l'étude 1. Une baisse des résultats est observée sur la seconde partie.
2. La deuxième étude consistait à déterminer les réactions d'appuis (5) d'un poteau hyperstatique de degré 2 soumis à une charge uniformément répartie par la méthode des déplacements. Au préalable, un calcul de flèches selon trois méthodes (moment/courbe, théorème de Castigliano, méthode de la force fictive) était à effectuer. La partie 2.1. a été bien réussie alors que la partie 2.2 traitant de l'équation du « Moment/Courbure » a été moins bien réussie. La partie sur les méthodes énergétiques (2.3) a été très peu abordée comme la méthode des déplacements (2.4) qui dépendait des trois parties précédentes.
3. La première partie de la troisième étude proposait de démontrer que théoriquement le moment fléchissant dans un arc hyperstatique était nul. La dernière partie s'intéressait à une étude de mécanique des milieux continus avec la manipulation de tenseurs. Cette étude théorique, donc complexe, a été très peu abordée et réussie par les candidats.
4. La quatrième étude consistait à étudier le risque de condensation de la paroi extérieure de la partie bureaux administratifs de la halle de tennis. L'objectif de cette étude était de déterminer les pressions de vapeur et les pressions de vapeur saturantes d'interfaces des différents matériaux constituant la paroi afin de conclure sur l'absence de risque de condensation superficielle et dans la masse de la façade. Cette étude a été abordée par la majorité et correctement traitée par seulement 39 % des candidats.
5. La cinquième étude visait à déterminer l'intérêt d'exploiter de manière intermittente l'installation thermique de la zone bureaux administratifs inoccupée la nuit. Pour cela on proposait de couper le

chauffage entre 18h et 7h du matin. Cette étude a été abordée par la majorité et correctement traitée par seulement 31 % des candidats.

6. La sixième étude visait à étudier la mise en place d'une installation géothermique qui servira de source froide pour la pompe à chaleur. Cette partie a été moins abordée que les deux précédentes et correctement traitée par seulement 19 % des candidats.

Concernant les études 1 à 3, les résultats sont en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales, sur les trois thèmes abordés. En calcul des structures, le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des principes de base (déduction des diagrammes de $V_y(x)$ et de $M_z(x)$ à partir d'équations et du calcul de contraintes), y compris sur des calculs de structures isostatiques (principe fondamental de la statique) ainsi que sur les méthodes courantes telles que le théorème des trois moments, les méthodes énergétiques ou la méthode des déplacements. Les notions fondamentales de mécanique des milieux continus ne sont pas connues par la très grande majorité des candidats.

Concernant les parties 4 à 6, les résultats sont bien en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales. En thermique, le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des notions de base (calcul de résistance thermique, résistance de vapeur, pression de vapeur, pression de vapeur saturante). Le jury note également un manque de connaissances mathématiques de base permettant la résolution des problèmes scientifiques et techniques (résolution d'équation différentielle). Beaucoup de candidats méconnaissent les composants et le fonctionnement d'une pompe à chaleur.

Le niveau des calculs mathématiques ne présentait pas de difficulté particulière (calculs de dérivées, d'intégrales et différentiel). Les thématiques abordées étaient de nature très classique dans chacune des parties du sujet. Le jury constate que la majorité des candidats ayant composé peinent à manipuler des outils mathématiques fondamentaux, notamment le calcul intégral basique voire l'algèbre.

À l'issue de la correction de l'épreuve et au vu des résultats, le jury rappelle aux futurs candidats qu'il est important :

- de ne pas négliger les parties ne relevant pas de leur dominante : la graduation de la complexité des différentes parties permet à tous les candidats de composer sur l'ensemble du sujet,
- de maîtriser parfaitement les outils mathématiques élémentaires permettant la résolution des problèmes physiques posés : algèbre et arithmétique, calcul d'intégrales, équations différentielles, etc.
- de porter une attention particulière aux unités des grandeurs physiques et à la crédibilité des résultats,
- de s'attacher à rédiger avec soin : les qualités rédactionnelle et graphique des copies sont implicitement prises en compte dans leur évaluation.

III. Conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

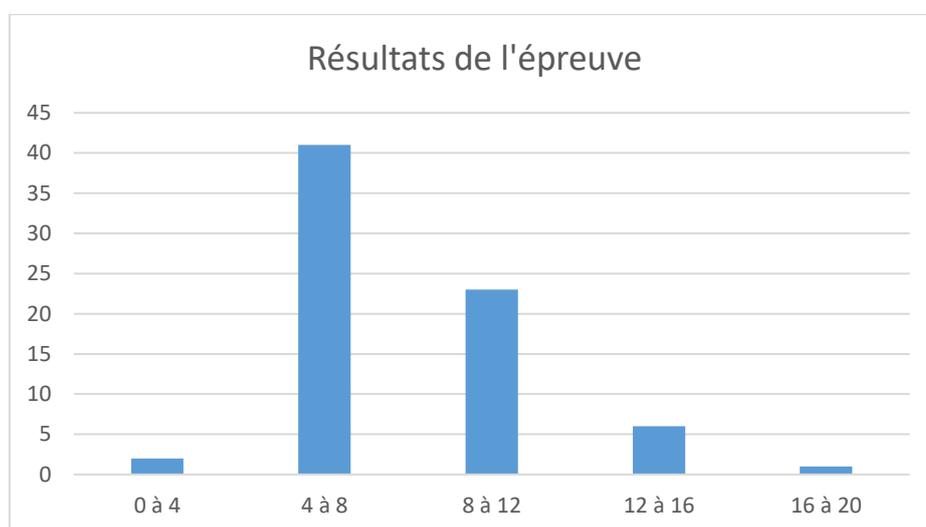
1. Présentation de l'épreuve

- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

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

2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 8/20. L'écart-type est de 3. Les notes sont comprises entre 3,04/20 et 16,69/20.



3. Présentation du sujet

Lien de téléchargement : <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/12321/download>

Le bâtiment de l'ESIROI est implanté sur le campus universitaire de Terre Sainte, à Saint Pierre de l'île de La Réunion. Ce bâtiment se veut innovant, il a été pensé dans une optique de respect de l'environnement et de résilience énergétique.



Source : LAB Réunion

Soucieux de créer un outil de formation innovant et respectueux de l'environnement, les solutions mises en œuvre ont été adaptées au climat tropical humide où les températures et le niveau d'humidité peuvent être très élevés. Le potentiel de ventilation conséquent et l'irradiation solaire importante toute l'année ont été également exploités afin de réduire l'impact environnemental.

4. Éléments de correction

ETUDE 1 – Étude la superstructure PARTIE 1.1 – Étude règlementaire de l'action du vent

Question 1. À l'aide des paragraphes 4.2 du document technique DT3, **déterminer** la vitesse de référence du vent, v_b . **Justifier** les valeurs de $c_{dir} = 1$ et $c_{season} = 1$.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 34 \text{ m.s}^{-1}$$

$c_{dir} = 1$, la nature rotatoire des cyclones tropicaux qui affecte les DOM, n'autorise aucune réduction.

$c_{season} = 1$, la durée de la situation du projet inclut toute les saisons.

Question 2. À l'aide des paragraphes 4.3.1, 4.3.2 et 4.3.3 du document technique DT3 et de la figure 1, **déterminer** le coefficient de rugosité $c_r(z)$ et d'orographie $c_0(z)$, puis **calculer** la vitesse moyenne du vent $v_m(z)$.

Coefficient de rugosité : $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$

$z = 15\text{m}$

Terrain de catégorie IIIa ($z = 15\text{m}$) $\rightarrow z_0 = 0,2$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,2}{0,05}\right)^{0,07} = 0,209$$

$$c_r(z) = 0,209 \cdot \ln\left(\frac{15}{0,2}\right) = 0,902$$

Coefficient de rugosité : $c_0(z) = 1 + 0,004 \cdot \Delta A_c \cdot e^{-0,014(z-10)}$

$A_c = 73\text{m}$

$\Delta A_c = A_c - A_m = -2,9\text{m}$ (avec $A_m = 75,9\text{m}$)

$$c_0(z) = 0,989 < 1, \text{ on prendra } c_0(z) = 1$$

Vitesse moyenne : $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$

$$v_m(z) = 30,66 \text{ m.s}^{-1}$$

Question 3. À l'aide des paragraphes 4.4 et 4.5 du document technique DT3, **Déterminer** l'intensité de la turbulence du vent $I_v(z)$, puis **calculer** la pression dynamique de pointe $q_p(z)$.

Intensité de la turbulence : $I_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$

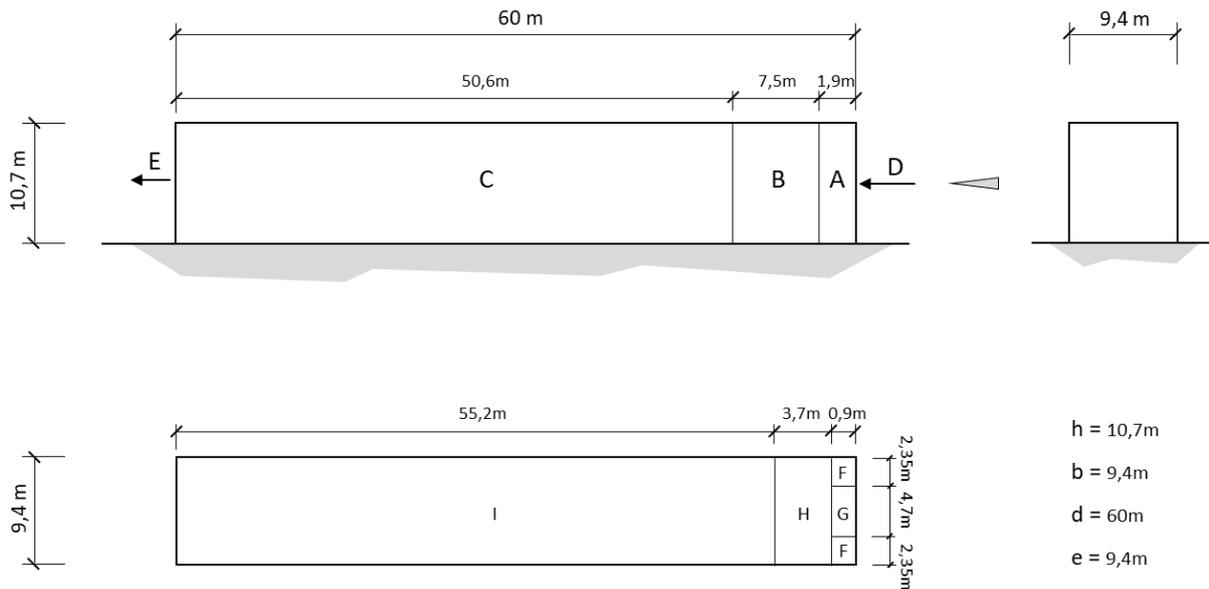
Obstacles de formes variées : $k_I = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6 = 0,97$

$$I_v(z) = \frac{0,97}{1 \times \ln\left(\frac{15}{0,2}\right)} = 0,224$$

Pression dynamique de pointe : $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$ avec $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

$$q_p(z) = 1478,6 \text{ N.m}^{-2}$$

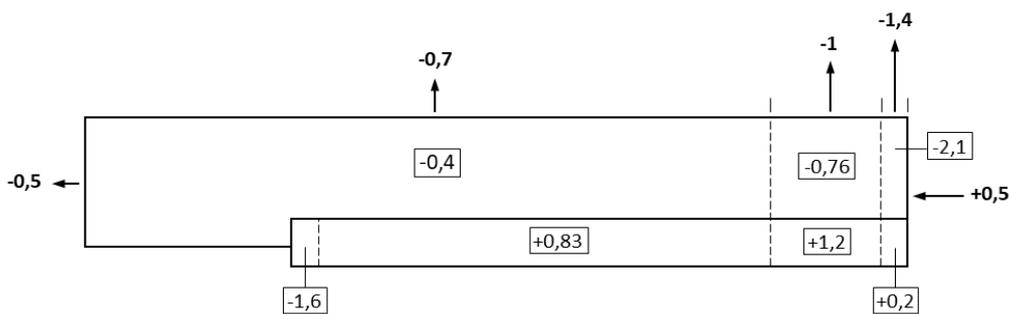
Question 4. À l'aide de la figure 3 et des paragraphes 7.2.2 et 7.2.3 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de pression extérieure ($c_{pe,10}$) sur les parois verticales et la toiture. **Compléter** le document réponse DR1.



	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3

	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2

Question 5. À l'aide de la figure 4, du modèle de répartition des coefficients de pression extérieure c_{pe} de la figure 5 et du paragraphe 6.2 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de pression nette sur la toiture. **Compléter** le document réponse DR1.



Question 6. À l'aide du paragraphe 4.5 du document technique DT3, **déterminer** la valeur locale maximale de la pression aérodynamique ($daN \cdot m^{-2}$) au niveau de la toiture.

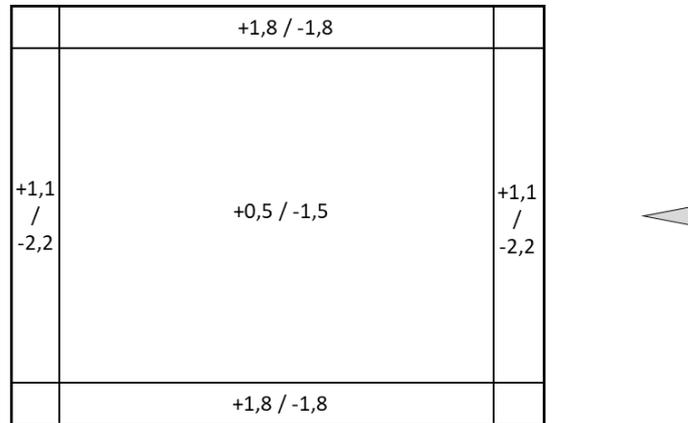
$$W = q_p(z) \cdot C_{p,net MAX} = 147,86 \times 2,1 = 310,5 \text{ daN} \cdot m^{-2}$$

Question 7. À l'aide de la figure 6 et du paragraphe 7.3 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de force et les coefficients de pression nette réglementaires à considérer pour la toiture isolée. **Comparer** les coefficients de pression réglementaires avec les pressions obtenues

par les essais en soufflerie (voir le document technique DT2), puis **expliquer** les écarts. **Compléter** le document réponse DR1.

La toiture est assimilée à une toiture à un versant car les pentes des deux versants symétriques sont très faibles ($\alpha = 1,8^\circ$). On prendra $\alpha = 0^\circ$ et $\varphi = 1$ (obstruction).

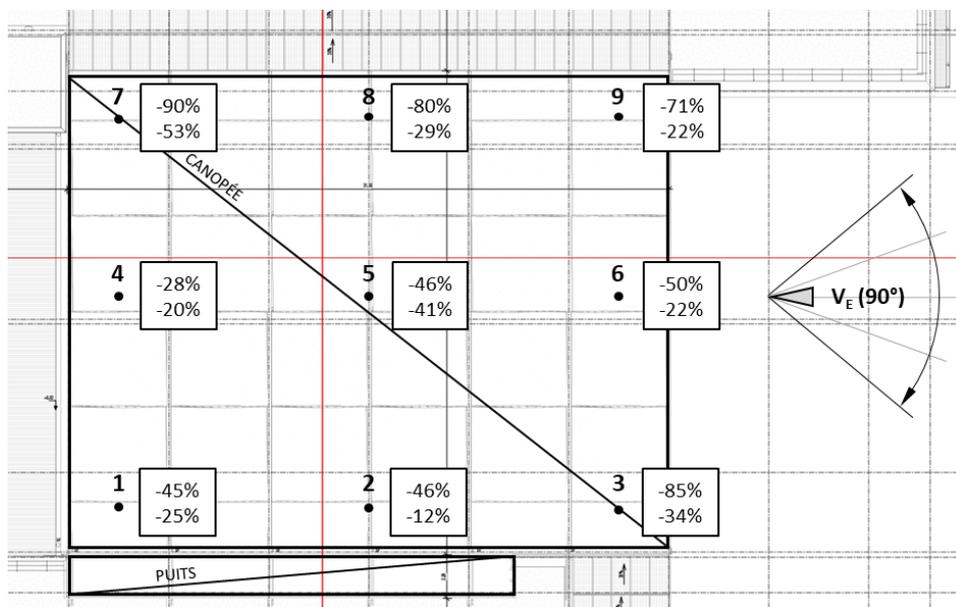
Coefficients de pression $C_{p,net}$



Coefficients de forces globaux : $C_f = +0,2 / -1,3$

Les résultats des essais en souffleries sont inférieurs aux valeurs réglementaires. Les écarts de pression sont très significatifs, -60% pour les valeurs de pression et -28% pour les valeurs de dépression. Ces différences s'expliquent par la prise en compte des effets de masque due à la présence des constructions adjacentes (bâtiments A, B, C et D) lors des essais.

Écarts de pression en % (Essais/Règlementation)



Question 8. Justifier le modèle de répartition de charge de vent uniforme retenu (voir figure 7) pour la canopée par le bureau d'étude à partir des résultats des essais en soufflerie.

Le bureau d'étude a retenu les valeurs enveloppe des coefficients de pression nette obtenu en soufflerie soit : $C_{p,net} = +1 / -1,8$

On en déduit donc les charges de vent en appui $W^+ = 1 \times 150 = 150 \text{ daN.m}^{-2}$ et en soulèvement $W^- = -1,8 \times 150 = -270 \text{ daN.m}^{-2}$

Question 9. Montrer que les études A et B permettent d'envisager le dimensionnement de la structure canopée-bâtiment A d'un point de vue sécuritaire vis-à-vis d'une modélisation d'ensemble telle que proposée par l'étude C.

Effet du vent sur la canopée

Les essais en soufflerie permettent de s'affranchir des études règlementaires proposées par les modèles des études B et C.

Effet du vent sur le bâtiment A

L'étude C propose un modèle de vent agissant sur l'ensemble de la construction (bâtiment A, B, D + canopée). Les effets du vent sur les parois verticales sont sensiblement égaux pour les façades Nord et Est, en revanche pour la façade sud la moyenne des coefficients de pression nette est inférieure aux valeurs de l'étude A qui tiennent compte des décrochements de parois en plan et du flux d'air circulant entre le bâtiment B.

L'étude A ne tient pas compte de la présence des bâtiments adjacents B et D (effet de masque), ce qui a pour effet de surévaluer les effets du vent.

Pour évaluer plus finement les effets du vent sur l'ensemble canopée-bâtiment A, il est nécessaire de réaliser des essais en soufflerie en relevant les variations de pression sur les différentes parois de la maquette.

PARTIE 1.2 – Étude règlementaire des charges dues au séisme

Question 10. À l'aide du document technique DT4, **déterminer** les paramètres sismiques (a_{gr} : accélération au niveau du sol, γ_I : coefficient d'importance, S : coefficient de sol) du projet, puis **calculer** l'accélération (a_g) à prendre en compte au niveau du sol.

Zone de sismicité faible, $a_{gr} = 0,7 \text{ m.s}^{-2}$

Bâtiment de catégorie d'importance III (salles de réunion), $\gamma_I = 1,2$

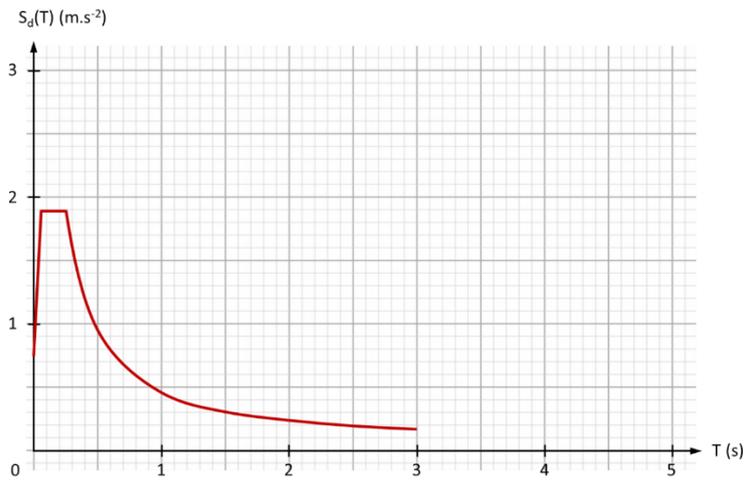
Coefficient de sol (classe B) en zone 2 (La Réunion), $S = 1,35$

Accélération de calcul au niveau du sol, $a_g = \gamma_I \times a_{gr} \times S_T = 1,2 \times 0,7 \times 1 = 0,84 \text{ m.s}^{-2}$

Question 11. À l'aide du document technique DT4, **déterminer** les périodes propres règlementaires T_B , T_C , T_D à considérer.

Zone 2, sol de classe B : $T_B = 0,05\text{s}$, $T_C = 0,25\text{s}$, $T_D = 2,5\text{s}$

Question 12. À l'aide du document technique DT4, **tracer**, sur le document réponse DR2, l'allure du spectre de calcul règlementaire pour l'analyse élastique $S_d(T)$ à utiliser pour l'étude dynamique (on considère $\beta = 0,2$).



Question 13. Justifier le classement de la structure comme une structure irrégulière en plan et en élévation, puis **déterminer** la méthode d'analyse à adopter pour l'étude dynamique du bloc canopée + bâtiment A (figure 9).

La structure est classée irrégulière en plan car elle ne possède pas géométriquement de plan de symétrie suivant deux directions orthogonales.

La structure est classée irrégulière en élévation car la répartition des masses structurales ainsi que la rigidité de chaque niveau ne sont pas constantes.

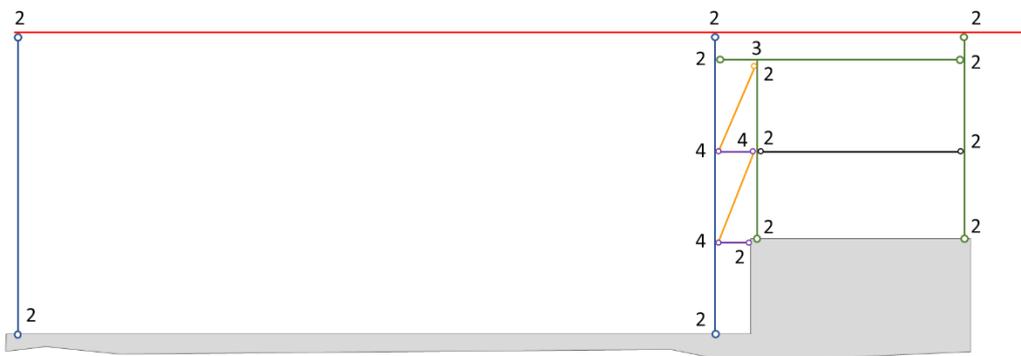
Pour l'étude dynamique il est nécessaire d'adopter un modèle d'étude spatial en réalisant une analyse modale spectrale.

PARTIE 1.3 – Étude de la stabilité géométrique de la superstructure canopée + bâtiment A

Question 14. À l'aide du document technique DT2, **calculer** le degré d'hyperstaticité (noté h) du portique courant file 8 (figure 10). **Conclure** sur l'information apportée par la valeur de h .

Nombre d'inconnues de liaison, $n_{inc} = 41$

Nombre de barre, $nb = 11$



$$h = 41 - 3 \times 11 = 8$$

$h = 8 \geq 0$, la structure est hyperstatique elle est donc géométriquement stable.

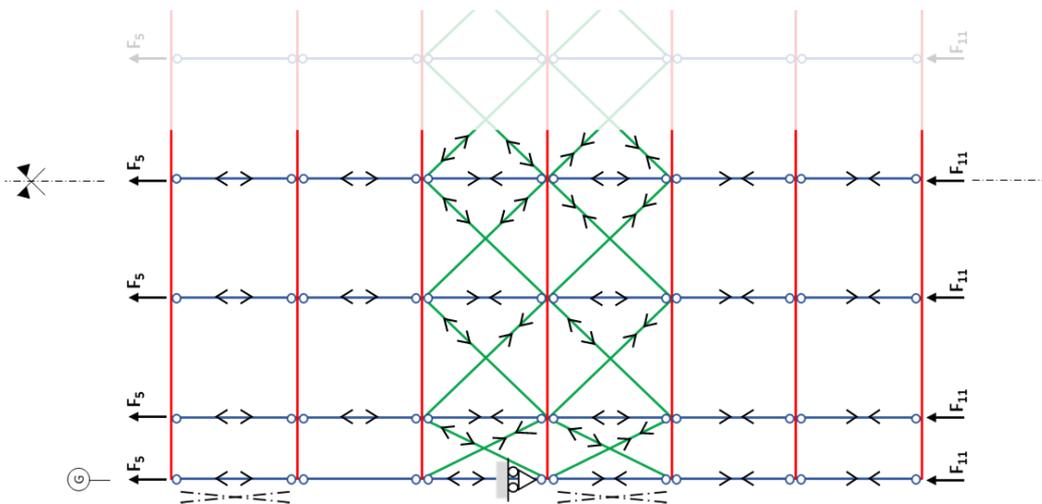
Question 15. Repérer les éléments (barres) permettant d'assurer la stabilité horizontale et verticale pour le cas d'un vent est ($V_{E, 90^\circ}$) puis **indiquer** par des flèches le cheminement des efforts vers les fondations. **Compléter** le document réponse DR3.

Pour le cas d'un vent est ($V_{E, 90^\circ}$) la stabilité horizontale de la canopée est assurée par la poutre au vent, entre les files 7-9, la stabilité verticale quant à elle assurée par les croix de St André situées entre les files 5-6 et 8-9.

Stabilité horizontale

Hypothèses :

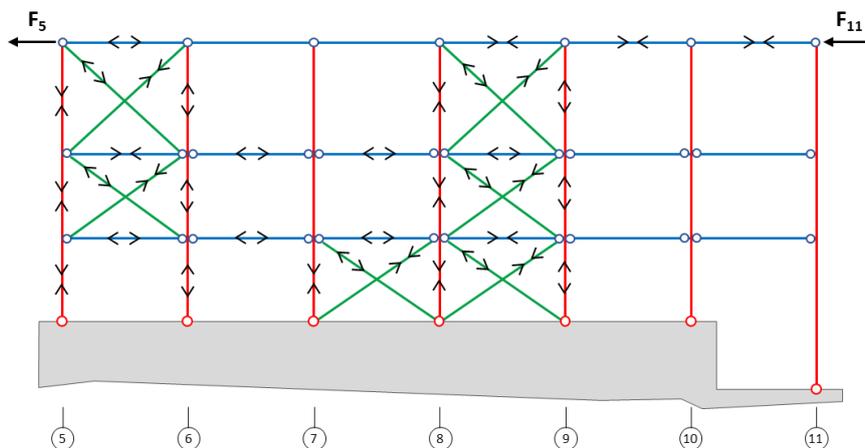
- $F_5 = F_{11}$
- La poutre au vent est symétrique entre les appuis files G et B'



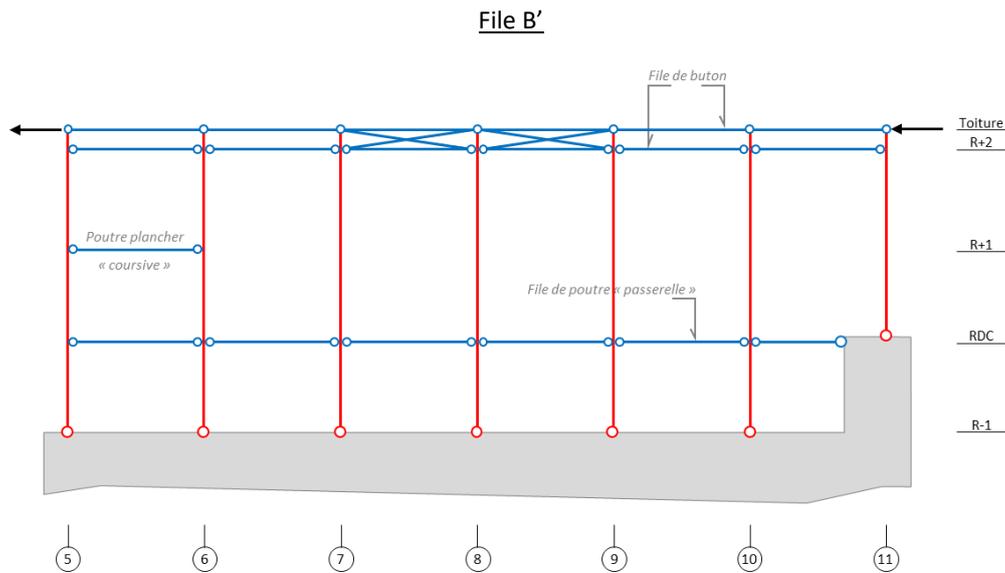
Stabilité verticale

Hypothèses :

- $F_5 = F_{11}$
- Les charges reprises par la poutre au vent ne sont pas reportées sur la file G



Question 16. À l'aide du paragraphe 2 et des coupes de principe A-A et B-B du document technique DT1, **proposer** des liaisons mécaniques entre les poteaux et (les butons, poutres, diagonales, traverses) pour les files B' et A. **Compléter** le document réponse DR3 en représentant les liaisons entre les barres en pointillées et les poteaux.



Question 17. Déterminer les règles de conception parasismique à mettre en œuvre vis à vis des contreventements pour que la structure résiste aux phénomènes de torsion.

Pour limiter les phénomènes de torsion d'ensemble des bâtiments on doit réduire l'excentricité structurale (noté e_0 dans l'Eurocode 8), qui est la distance entre centre de gravité et le centre de rigidité pour un niveau considéré.

Les règles de conception parasismique préconisent de disposer les stabilités verticales de façon symétrique et proche de la périphérie du bâtiment lorsque que cela est possible. Il faut également assurer les mêmes valeurs de rigidité sur les différentes files accueillants les stabilités en fonction de des masses en mouvement.

Question 18. D'après l'illustration de la figure 11 représentant les efforts au niveau des fondations, **décrire** les étapes nécessaires au dimensionnement d'un massif isolé rectangulaire sous charges centrées. Aucun calcul règlementaire n'est demandé.

1. Déterminer les dimensions en plans (a_f et b_f) vis-à-vis du tassement du sol
2. Déterminer la hauteur de la semelle en fonction des efforts de soulèvement (valeur de lestage)
3. Vérifier le non glissement
4. Dimensionner les armatures en acier

PARTIE 1.4 – Vérification d'un élément structurel (poutre de plancher) du bâtiment A (file 7)

Question 19. Décrire le principe et l'objectif des différentes analyses à envisager.

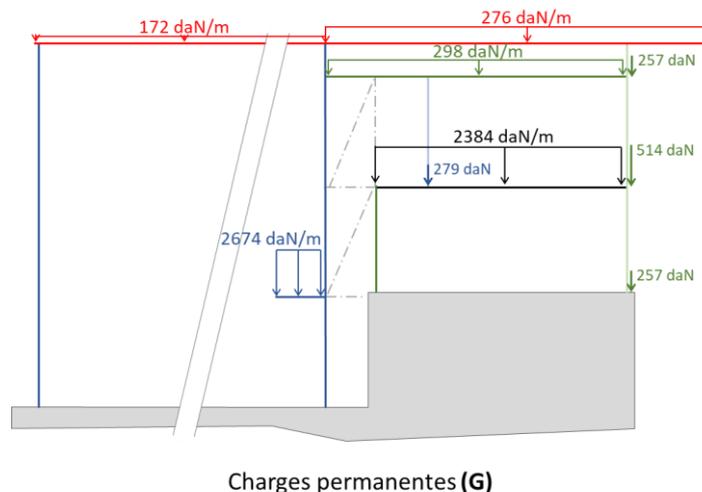
L'analyse globale structural a pour objectif de décrire la réponse comportementale d'une ossature vis-à-vis des actions qui lui sont appliquées. Les sollicitations dans la structure peuvent être déterminées par :

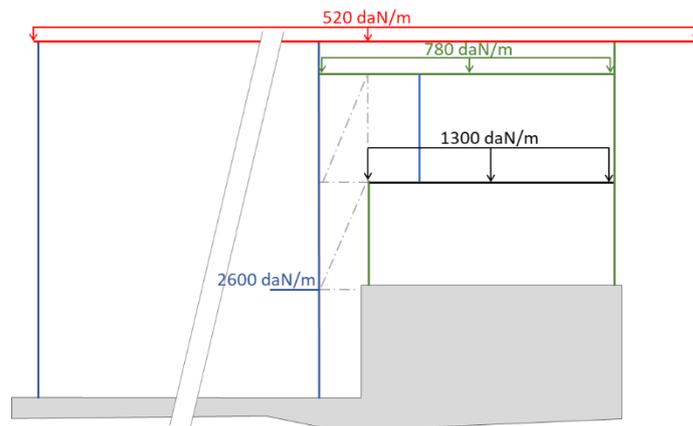
- une analyse du premier ordre, en utilisant la géométrie initiale de la structure, ou
- une analyse au second ordre, en prenant en compte l'influence de la déformation de la structure.

L'analyse d'élément de structure a pour objectif de vérifier la résistance de la section transversale et des barres aux instabilités élastiques (flambement et déversement).

L'analyse locale a pour objectif de vérifier la stabilité et le comportement des éléments de la structure localement. Le voilement local pour les plaques comprimées, l'apparition de rotule plastique dans le cas d'une analyse plastique, le comportement des assemblages (rigide, semi-rigide, articulée) en fonction de la géométrie et des connecteurs retenus, ...

Question 20. À partir des hypothèses de calcul indiquées dans le document technique DT2, **déterminer** les descentes de charges ($\text{daN}\cdot\text{m}^{-1}$) dues aux charges permanentes et d'exploitation sur le portique file 7. **Compléter** le document réponse DR4 en représentant la répartition des charges sur les éléments de la structure.





Charges d'exploitation (Q)

Question 21. À partir des résultats informatiques (figure 14), **vérifier** les déplacements de la structure à l'ELS.

Déplacement au niveau du toit

$$U_x = 20,6 \text{ mm} < H/300 = 22 \text{ mm} \quad \text{avec } H = 6,6 \text{ m}$$

$$U_y = 22,6 \text{ mm} < H/300 = 22 \text{ mm}$$

Déplacement différentiel R+1 /Toit

$$U_x = 7 \text{ mm} < H_1/300 = 11 \text{ mm} \quad \text{avec } H_1 = 3,3 \text{ m}$$

$$U_y = 9 \text{ mm} < H_1/300 = 11 \text{ mm}$$

Les déplacements de la structure sont vérifiés à l'ELS

Poutre de plancher PRS 190 (R+1)

Question 22. À l'aide des caractéristiques de la poutre (document technique DT2) et de la classification des sections transversales (document technique DT5), **montrer** que la section transversale de la poutre est de classe 1 pour une sollicitation en flexion simple suivant l'axe fort y-y.

Semelle supérieure comprimée

$$c = \frac{190}{2} - 10 = 85 \text{ mm} ; t = 30 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 2,8 \leq 9\varepsilon = 7,3$$

La semelle est de classe 1

Âme fléchie

$$c = 160 \text{ mm} ; t = 20 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 8 \leq 72\varepsilon = 58,3$$

L'âme est de classe 1

La section est donc de classe 1

Question 23. À l'aide des paragraphes 6.2.5, 6.2.6 et 6.2.8 du document DT5, **vérifier** la résistance de la section transversale de la poutre.

$$\text{Charge permanente, } G = 240 \times 5,2 + 148,3 = 1\,396 \text{ daN/m}$$

$$\text{Charge d'exploitation, } Q_c = 150 \times 5,2 = 780 \text{ daN/m}$$

$$q_{\text{ELU}} = 1,35 G + 1,5 Q_c = 3\,054,6 \text{ daN/m}$$

Vérification à mi-portée

$$M_{Ed} = \frac{q_{ELU} \cdot L^2}{8} = 22\,638,4 \text{ daN.m}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 48\,904,8 \text{ daN.m}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0,46 < 1$$

La section de la poutre est vérifiée à mi portée

Vérification au niveau des appuis

$$V_{Ed} = \frac{q_{ELU} \cdot L}{2} = 11\,760,2 \text{ daN}$$

$$A_v = h_w \cdot t_w = 160 \times 20 = 3\,200 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 65\,587 \text{ daN}$$

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 0,18 < 1$$

La section de la poutre est vérifiée au niveau des appuis

Question 24. À l'aide du paragraphe 6.3.2.1 du document DT5, **vérifier** la résistance de la poutre au déversement.

$$\text{Élancement critique, } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0,6625 > 0,2$$

Les effets du déversement ne peuvent être négligés

Section en I soudée, $h/b_{sup} = 1,13 < 2 \rightarrow$ courbe de déversement c : $\alpha_{LT} = 0,49$

$$\phi_{LT} = 0,5 \{1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2\} = 0,8327$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 + \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,7478$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 36\,576 \text{ daN.m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,62 < 1, \text{ la poutre est vérifiée au déversement}$$

Question 25. Vérifier la flèche verticale maximale de la poutre, puis conclure.

$$\text{Flèche sous charge permanente G, } w_1 = \frac{-5 \times 13\,960 \cdot 10^{-3} \times (7,7 \cdot 10^3)^4}{384 \times 210\,000 \times 13\,700 \cdot 10^4} = -22,21 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche sous charge variable } Q_c, w_3 = \frac{-5 \times 7\,800 \cdot 10^{-3} \times (7,7 \cdot 10^3)^4}{384 \times 210\,000 \times 13\,700 \cdot 10^4} = -12,41 \text{ mm} < L/500 = 15,4 \text{ mm (Vérifiée)}$$

$$\text{Flèche totale, } w_{tot} = w_1 + w_3 = -34,62 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche résiduelle, } w_{max} = +15,38 \text{ mm} < L/500 = 15,4 \text{ mm (Vérifiée)}$$

L'étalement de la poutre n'est pas nécessaire en phase de coulage, la poutre est vérifiée à l'ELS et à l'ELU.

Question 26. Déterminer le gain (en %) de la résistance plastique de la section lorsque la poutre est considérée mixte, puis à l'aide des paragraphes 6.2.5, 6.2.6 et 6.2.8 du document DT5, **vérifier** la résistance de celle-ci en phase d'exploitation.

$$\text{Gain résistance plastique} = \frac{M_{pl,y,Rd,Mixte} - M_{pl,y,Rd}}{M_{pl,y,Rd}} \times 100 = +44,3 \%$$

$$q_{ELU} = 1,35 G + 1,5 Q = 5\,168,8 \text{ daN/m}$$

$$M_{Ed} = 38\,307,2 \text{ daN.m}$$

$$M_{Ed} / M_{pl,Rd,Mixte} = 0,54 < 1$$

La section de la poutre est vérifiée à mi portée

Question 27. Montrer que la vérification de la poutre vis-à-vis du déversement n'est pas nécessaire.

La poutre est maintenue latéralement sur sa partie supérieure (comprimé) sur toute sa longueur par des aciers HA traversant. La semelle supérieure (comprimée) du profil acier est également maintenue par la dalle de compression en béton. La poutre acier est solidaire de la dalle, et n'est pas libre de se déverser.

Question 28. À l'aide du document technique DT2, **vérifier** la flèche verticale maximale de la poutre mixte.

$$\text{Flèche sous le poids propre, } w_1 = \frac{-5 \times 13\,960 \cdot 10^{-3} \times (7,7 \cdot 10^3)^4}{384 \times 210\,000 \times 13\,700 \cdot 10^4} = -22,21 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche sous surcharge permanente (long terme), } w'_2 = \frac{-5 \times 9\,880 \cdot 10^{-3} \times (7,7 \cdot 10^3)^4}{384 \times 210\,000 \times 20\,333 \cdot 10^4} = -10,59 \text{ mm}$$

$$w_2 = k_L \cdot w'_2 = 1,127 \times -10,59 = -11,93 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche sous surcharge d'exploitation (court terme), } w'_3 = \frac{-5 \times 13\,000 \cdot 10^{-3} \times (7,7 \cdot 10^3)^4}{384 \times 210\,000 \times 30\,150 \cdot 10^4} = -9,39 \text{ mm}$$

$$w_3 = k_C \cdot w'_3 = 1,232 \times -9,39 = -11,56 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche totale, } w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3 = -45,7 \text{ mm}$$

$$\text{Flèche résiduelle, } w_{max} = +4,3 \text{ mm} < L/500 = 15,4 \text{ mm (Vérifiée)}$$

Question 29. Vérifier la limite de la fréquence propre de vibration de la poutre.

$$\text{Poids linéique, } p = G + 0,2Q = 26\,443 \text{ N.m}^{-1}$$

$$\lambda = 0,636, L = 7,7 \text{ m, } I_{(Mixte \text{ long terme})} = 20\,333 \text{ cm}^4 ; E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$T = 0,636 \times 7,7^2 \sqrt{\frac{26\,443}{9,81 \times 210\,000 \cdot 10^6 \times 20\,333 \cdot 10^{-8}}} = 0,299 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{T} = 3,34 \text{ Hz} > 2,6 \text{ Hz (La poutre est vérifiée en vibration)}$$

Question 30. Conclure sur la validation de la poutre aux états limites.

La poutre est vérifiée à l'état limite ultime (résistance de section transversale et instabilité élastique) et à l'état limite de service (flèche verticale et vibration).

Question 31. Montrer que la solution A illustrée sur le document technique DT2 est la plus appropriée pour l'assemblage (9) (voir figure 13) au regard du modèle d'étude retenu pour la vérification de la poutre de plancher PRS 190.

Le modèle retenu pour l'étude est une poutre bi-articulée. La solution avec éclissage (solution A) est la plus appropriée car elle autorise une rotation de la poutre au niveau des appuis. La rotation est permise grâce au jeu (+2 mm) entre les trous et les boulons.

En revanche la solution platine + raidisseur (solution B) engendre un moment au niveau des appuis, ce qui n'est pas conforme à l'hypothèse de l'étude.

Question 32. À l'aide du paragraphe 3.4.2 du document DT5, **vérifier** la résistance des boulons.

Effort dans un boulon par plan de cisaillement, $F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{nb \cdot n} = 2\,494 \text{ daN}$

Nombre de boulon, $nb = 4$

Nombre de plan de cisaillement, $n = 2$ (Double éclissage)

Résistance au cisaillement, $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 800 \times 314}{1,25} = 12\,057,65 \text{ daN}$

$F_{v,Ed} < F_{v,Rd}$ (Les boulons sont vérifiés au cisaillement)

Question 33. À l'aide des paragraphes 3.4.2 du document DT5, **vérifier** la résistance d'une éclisse en pression diamétrale pour un boulon de rive.

Résistance en pression diamétrale, $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \times 0,45 \times 510 \times 20 \times 10}{1,25} = 9\,180 \text{ daN}$

$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,75 \text{ et } 2,5\right) = 2,5$

$\alpha_b = \min\left(\alpha_d ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1\right) = \left(\alpha_d = \frac{30}{3 \times 22} = 0,45 ; \frac{f_{ub}}{f_u} = 1,56 ; 1\right) = 0,45$

$F_{v,Ed} = 2\,494 \text{ daN} < F_{b,Rd} = 9\,180 \text{ daN}$ (L'éclisse est vérifiée en pression diamétrale)

Question 34. À l'aide des paragraphes 3.10.2 du document DT5, **vérifier** la résistance de l'éclisse au cisaillement de bloc.

Résistance au cisaillement de bloc, $V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} = \frac{510 \times 570}{1,25} + \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \times 355 \times 520}{1} = 33\,913,8 \text{ daN}$

$A_{nt} = (55 + 35 - 22 - 11) \times 10 = 570 \text{ mm}^2$

$A_{nv} = (55 + 30 - 22 - 11) \times 10 = 520 \text{ mm}^2$

$V_{Ed/Eclisse} = V_{Ed} / 2 = 9\,976 \text{ daN} < V_{eff,1,Rd} = 33\,913,8 \text{ daN}$ (L'éclisse est vérifiée au cisaillement de bloc)

ÉTUDE 2 – Confort dans la construction bioclimatique en milieu tropical

PARTIE 2.1 – Confort hygrothermique

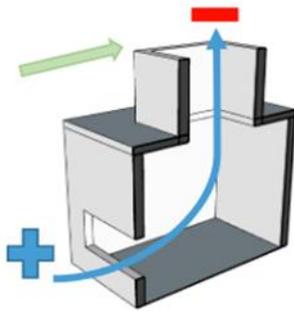
2.1.1 Étude de la ventilation naturelle

Question 35. Expliquer par quels mécanismes la ventilation naturelle permet d'améliorer le confort thermique des occupants.

Le confort thermique dépend de plusieurs paramètres relatifs à l'environnement thermique des usagers: la vitesse de l'air, l'humidité relative, la température des parois, la température ambiante de l'air.

En milieu tropical, la sensation de confort thermique est procurée par l'évacuation de la chaleur du corps. Lorsque le potentiel de ventilation naturelle est important (vitesse d'air $>0,5 \text{ m/s}$), les mouvements d'air augmentent les **transferts de chaleur par convection** entre la peau et l'air et facilitent **l'évaporation de l'humidité** à la surface de la peau (**évaporation par sudation de la peau**). Ainsi, en augmentant la vitesse d'air sur la peau, la température ressentie diminue ce qui permet une augmentation du confort thermique des occupants.

Question 36. Expliquer le principe de la ventilation naturelle par système de puits dépressionnaire à l'aide d'un schéma.



Source : Juhoor, 2018

La ventilation naturelle par système de puits dépressionnaire est assurée par la mise en mouvement de l'air obtenue par une forte dépression en sortie du puits.

Cette dépression est liée à la combinaison de deux phénomènes naturels:

- **au vent** (en partie supérieure du puits) qui crée une différence de pression entre les différentes façades du bâtiment ce qui génère des courants d'air,
- **au tirage thermique**: diminution de la masse volumique de l'air chaud qui devient plus léger que l'air ambiant → mouvement ascendant de l'air chaud qui entraîne une différence de pression entre les ouvertures haute et basse créant des courants d'air.

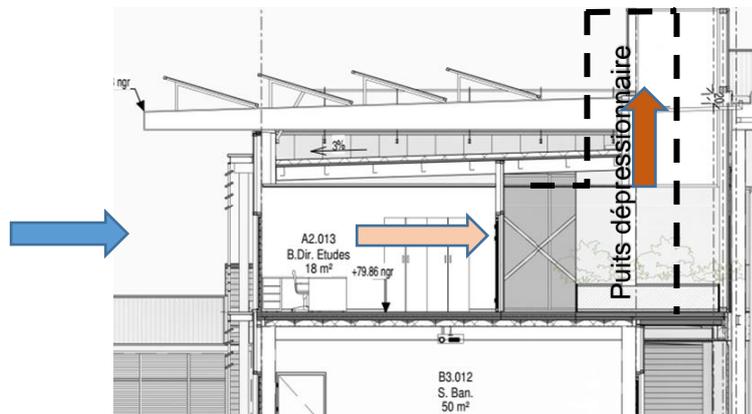


Figure 18 : coupe BB sur puits dépressionnaire (bâtiment D)

Question 37. À l'aide du document technique DT6, **identifier** parmi les bâtiments A, B et C ceux qui permettent de bénéficier d'une ventilation naturelle traversante (voir le plan de masse de la présentation générale du sujet). **Justifier** la réponse.

Seuls les bâtiments A et C permettent de bénéficier d'une ventilation traversante intéressante grâce à l'orientation des façades principales situées au Nord et au Sud.

D'après le guide PERENE, les façades principales Nord et Sud sont à privilégier afin de profiter des brises thermiques permettant une décharge thermique des bâtiments. De plus cette orientation permet de réduire les apports solaires très importants pour les orientations Est et Ouest.

Question 38. A l'aide des documents techniques DT6 et DT7, **calculer** la porosité moyenne de la salle banalisée (A6.014). **Conclure** quant au potentiel de ventilation traversante de ce local.

Les façades 1 et 2 ont la même superficie. La surface de chaque façade notée S_p est de $15,5 \text{ m}^2$.

La surface des ouvrants réservée est égale à : $SO_{\text{réservation}} = 2 \times 1,04 \times 2,03 = 4,22 \text{ m}^2$

La surface d'ouvrants SO de chaque façade est égale à $M \times SO_{\text{réservation}} = 3,38 \text{ m}^2$

La porosité est égale à SO/S_p soit $21,7 \%$.

D'après le guide PERENE, la porosité minimale imposée en zone 1 est de 20% pour que la ventilation traversante de la salle soit suffisante ce qui correspondrait à une surface d'ouvrants SO_{min} de 3 m^2 .

Par conséquent, la salle banalisée respecte bien cette condition.

Question 39. Proposer une solution à faible consommation d'énergie pouvant être couplée à la ventilation naturelle afin d'améliorer le confort hygrothermique des occupants.

La ventilation naturelle peut être complétée par des **brasseurs d'air** afin d'assurer une vitesse d'air suffisante au confort des occupants surtout dans les cas suivants : vent insuffisant ou inefficace, bâtiment mal orienté, ouvrants en position fermée, ...

2.1.2. Étude du système de climatisation, complémentaire à la ventilation naturelle

Question 40. D'après les indications du CCTP fournies dans le document technique DT8, **établir** le schéma de principe de la CTA.

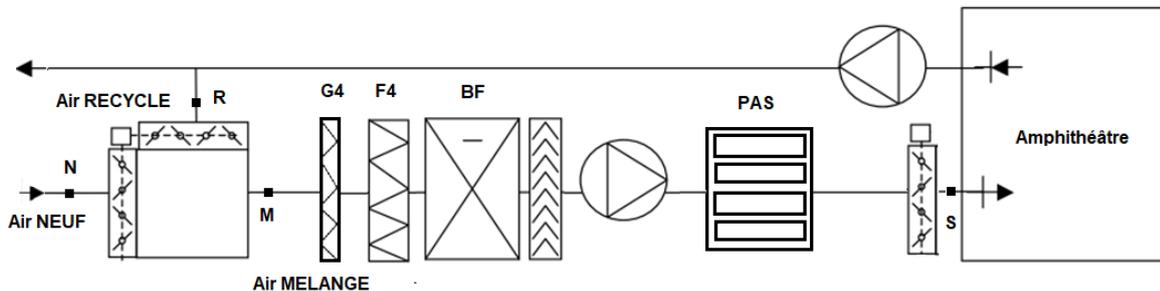


Schéma de principe de la CTA

Question 41. Indiquer la différence entre un filtre G4 et un filtre F7.

Les filtres sont classés selon leur efficacité. Les filtres grossiers classés de G1 à G4, d'efficacité très moyenne sont utilisés comme préfiltres en amont de filtres fins. Les filtres F7 sont des filtres fins (classés de F5 à F9) à haute efficacité : ce sont des filtres à poches ou à plis profonds.

Question 42. Préciser les risques liés au manque de maintenance des filtres.

Les risques liés au manque de maintenance des filtres sont les suivants :

- **Diminution de la qualité de l'air dans l'espace traité** : l'encrassement des filtres peut provoquer une augmentation de la perte de charge du filtre conduisant à une diminution progressive du débit d'air neuf ;
- **Augmentation de la consommation électrique** : à débit constant, l'énergie électrique consommée est proportionnelle à la perte de charge des filtres.

Question 43. Déterminer les caractéristiques des points de mélange et de soufflage suivantes:

- Débit d'air en kgas/s
- Température, Hygrométrie, Enthalpie spécifique, Teneur en eau

Compléter le document réponse DR5.

Les débits d'air neuf, d'air soufflé et d'air recyclé sont donnés dans le document DT8.

Les caractéristiques de l'air soufflé communiquées laissent supposer qu'un dispositif déshumidifie déjà l'air du local.

Le débit d'air en kgas/s est calculé par la relation suivante :

$$Q_m = \frac{Q_v}{3600 * v}$$

avec Qv en m³/h et v en m³/kgas

Les caractéristiques de l'air mélangé sont calculées à partir des caractéristiques de l'air neuf et de l'air recyclé :

$$Qm_M = Qm_N + Qm_R$$

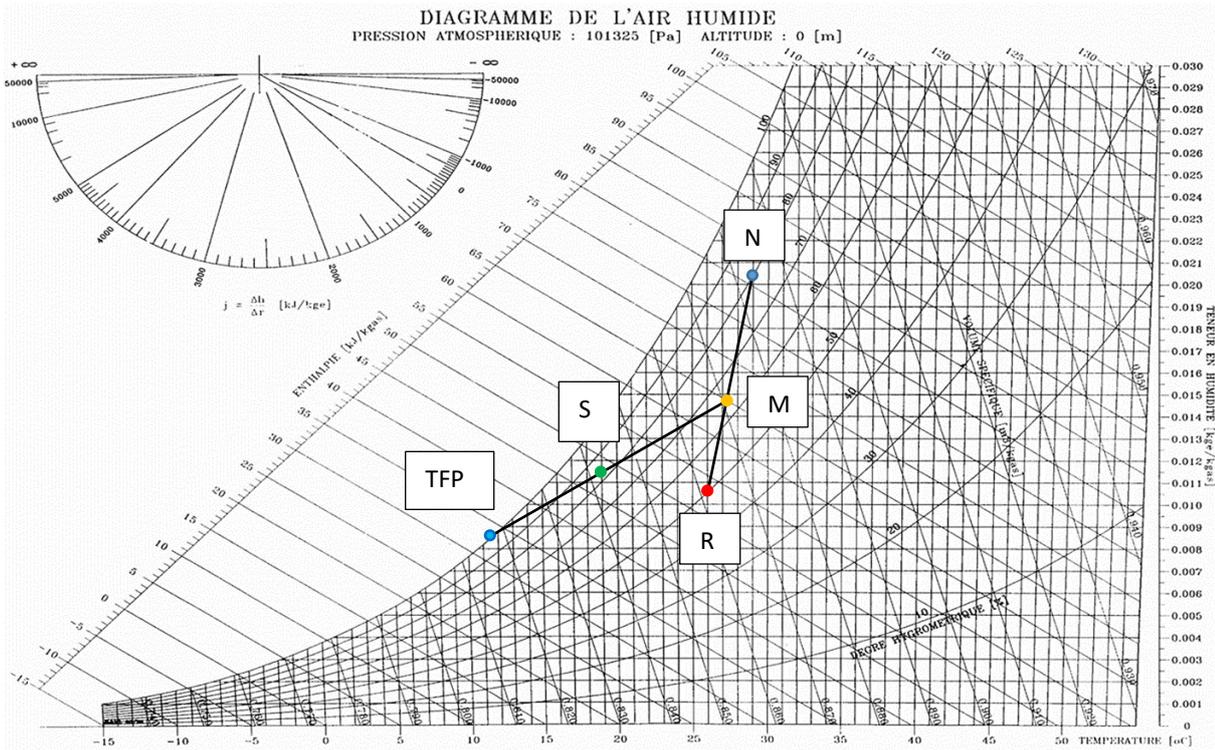
$$Ts_M = \frac{Qm_N \times Ts_N + Qm_R \times Ts_R}{Qm_M}; \quad h_M = \frac{Qm_N \times h_N + Qm_R \times h_R}{Qm_M}; \quad r_M = \frac{Qm_N \times r_N + Qm_R \times r_R}{Qm_M}$$

Le régime d'eau glacée alimentant la batterie froide est : 9/14°C ce qui donne une température de surface de 11,5°C.

Les caractéristiques de l'air soufflé sont déterminées graphiquement à partir de la température de surface de la batterie froide et du point de mélange M (Cf. diagramme de l'air humide).

	Point	Qm (kgas/s)	Ts (°C)	HR (%)	h (kJ/kgas)	r (kge/kgas)
<i>Air neuf</i>	N	0,692	29,0	80	81,76	0,0206
<i>Air recyclé</i>	R	0,903	26,0	50	53,48	0,0107
<i>Air soufflé</i>	S	1,595	19,0	83	48,2	0,0115
<i>Air mélangé</i>	M	1,595	27,3	65	65,75	0,0150

Question 44. Tracer les évolutions de l'air dans la CTA sur le diagramme de l'air humide (document réponse DR6). Justifier les résultats obtenus.



Question 45. Déterminer la puissance de la batterie froide à mettre en œuvre, son efficacité ainsi que le débit d'eau condensée (en L/h).

Puissance de la batterie froide

$$P_{BF} = Qm_S \times (h_M - h_S) = 28 \text{ kW (en supposant un rendement de BF de 100 \%)}$$

$$\text{Efficacité de la batterie froide} = 1 - F = 52,5 \% \text{ avec } F = \text{facteur de bypasse} = \frac{T_S - T_{FPT}}{T_M - T_{FPT}}$$

$$\text{Débit d'eau condensée (kge/s)} = Qm_S \times (r_M - r_S) = 0,0056 \frac{\text{kge}}{\text{s}} \text{ soit } 20 \text{ L/h}$$

Question 46. Calculer la puissance récupérée grâce à l'échangeur. **Tracer** les évolutions de l'air dans la CTA « avec échangeur » sur le diagramme de l'air humide (document réponse DR7). **Préciser** si la puissance de la batterie froide doit évoluer pour répondre aux besoins de climatisation. **Conclure** sur l'intérêt de cette modification.

Soit $T_{N'}$, la température de l'air neuf en sortie de l'échangeur

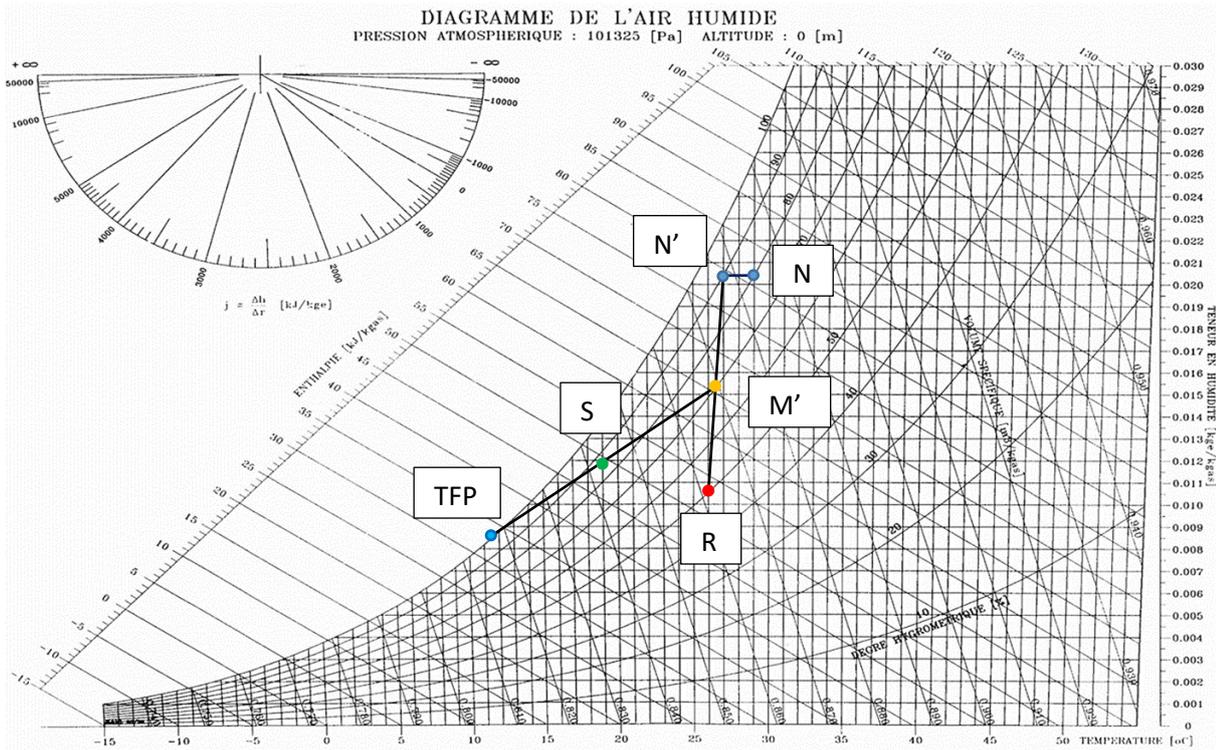
$$\text{Efficacité échangeur} = \frac{T_{N'} - T_N}{T_R - T_N} = 65\%$$

On en déduit $T_{N'} = 27,05^\circ\text{C}$

$$\text{Puissance récupérée grâce à l'échangeur} : P_{\text{récup}} = Qm_N \times (h_N - h_{N'}) = 1,6 \text{ kW}$$

En recalculant les caractéristiques de l'air mélangé et de l'air soufflé de manière analogue à la question 43, on peut calculer la nouvelle puissance de la batterie froide $P_{BF} = Qm_S \times (h_{M'} - h_S) = 25,7 \text{ kW}$ soit une différence de 2,3 kW.

La modification permettrait de réduire la puissance de la batterie d'environ 8% : il y a donc peu d'intérêt à l'effectuer.



2.1.3. Vérification de la performance thermique de l'enveloppe

Question 47. Préciser la différence entre la phase APS et la phase APD.

APS signifie Avant Projet Sommaire.

APD signifie Avant Projet Détaillé.

La phase APS (qui précède la phase APD) permet de préciser la composition générale du projet de construction (en plan et en volume). Elle permet de proposer différentes solutions techniques, de préciser le planning prévisionnel de réalisation et de donner une première estimation du coût et de la durée des travaux.

La phase APD permet de mener des études plus approfondies afin de déterminer de façon « définitive » : les plans, les dimensions, les volumes, les principes constructifs, les matériaux et les installations techniques. Elle approfondit également le chiffrage des travaux. Les études menées au cours de cette phase permettront de constituer le dossier de demande de permis de construire et le dossier de consultation des entreprises.

Question 48. Indiquer ce qu'est la température opérative. **Expliquer** les différences de température pour ces locaux.

La température opérative correspond à la température ressentie. Il s'agit de la température moyenne entre la température de l'air et la température des parois. Les différences de température sont dues à l'effet radiatif des parois. Une façade rideau ayant une proportion conséquente de polycarbonate a pour conséquence d'augmenter les effets du rayonnement diffus à l'intérieur du local générant ainsi de l'inconfort.

Question 49. Préciser les dispositions constructives permettant de limiter en général les apports solaires.

Diverses dispositions constructives permettent de limiter les apports solaires :

- Protections des parois extérieures : écrans, revêtements réfléchissants et matériaux d'isolation

- Protections horizontales : casquettes, auvents
- Masques complets ou loggia
- Brise-soleil ou lames
- Réflexivité et ventilation de la toiture

Question 50. Préciser ce que représente le facteur solaire d'une paroi.

Le facteur solaire représente la proportion de flux énergétique transmise par une paroi (paroi + protection solaire). Il mesure la contribution d'une paroi à l'échauffement de la pièce. Plus le facteur solaire est petit, plus les apports solaires sont faibles.

Question 51. À partir des documents techniques DT9 à DT11, **calculer** le facteur solaire pour les éléments de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A et **compléter** le document réponse DR8. **Préciser** si les choix effectués pour les éléments de l'enveloppe permettent de respecter les recommandations préconisées pour la zone climatique de ce projet.

D'après le document technique DT9, pour les parois opaques, le facteur solaire S est calculé avec la formule :

$$S = \frac{C_m \times \alpha' \times U_{paroi}}{h_e}$$

U_{paroi} est le coefficient de transmission surfacique total de la paroi en $W/m^2.K$, il doit prendre en compte h_i et

$$h_e : U_{paroi} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}\right)}$$

C_m est le coefficient d'ensevelissement qui tient compte des pare-soleils et dont les valeurs sont données dans le tableau 2a et l'abaque 2b du document technique DT9.

α' est le coefficient d'absorption de la paroi (cf. Tableau 1 du document technique DT9)

Coefficient d'échange thermique entre la paroi et l'extérieur : $h_e = 13,5 W/m^2.K$

Coefficient d'échange thermique entre la paroi et l'intérieur : $h_i = 8 W/m^2.K$

Les caractéristiques thermiques des parois opaques et vitrées figurent au document technique DT11.

On obtient :

Parois opaques	U_{paroi} (W/m^2K)	C_m	α'	S	S_{max}
Toiture	0,34	1	0,8	0,020	0,02
Paroi verticale	3,344	0,46	0,4	0,046	0,05

D'après le document technique DT9, pour les parois vitrées (baies), le facteur solaire équivalent S d'une baie équipée d'une protection solaire a pour valeur :

$$S = C_m \times S_0$$

- S_0 est le facteur solaire du vitrage ; il dépend du type de vitrage

- C_m est le coefficient d'ensevelissement ; il dépend de la protection solaire (type et taille de la protection) et de l'orientation.

	Surface (m ²)	S ₀	Cm	S	S _{moy}	S _{max}
Baie 1	264	0,55	0,185	0,102	0,269	0,3
Baie 2	108	0,87	0,85	0,740		
Baie 3	60	0,87	0,185	0,161		

Le facteur solaire moyen est calculé de la manière suivante : $\frac{\sum_{i=1}^3 Surface_{baie\ i} \times S_{baie\ i}}{\sum_{i=1}^3 Surface_{baie\ i}}$

Les choix effectués pour les éléments de l'enveloppe permettent de respecter les recommandations préconisées pour la zone climatique de ce projet conformément au document DT10 :

- $S \leq S_{max}$ pour les parois opaques
- $S_{moy} \leq S_{max}$ pour les parois vitrées

Question 52. À l'aide du document technique DT12, justifier ce choix à partir des caractéristiques.

Les parois de la gamme Danpalon ont toutes le même coefficient de transfert thermique U_g. Les critères de choix sont le facteur solaire et la transmission lumineuse.

Lorsque le facteur solaire est élevé (>0,5), la transmission lumineuse est également élevée (TL>0,5).

C'est le cas du Danpalon Cristal et du Danpalon Ice qui génèrent des surchauffes plus importantes dans les locaux (cf. résultats de l'étude comparative du DT12) mais qui favorisent un meilleur confort lumineux. A l'inverse, les parois en Danpalon Opale et Danpalon Cristal Opacifiant permettent de limiter davantage les apports solaires (abaissement de la température opérative d'environ 0,5°C) mais elles ont une transmission lumineuse plus faible.

Opter pour une façade mixte Danpalon Cristal +Danpalon Cristal Opacifiant permet ainsi d'avoir un bon compromis entre performance thermique (avec un facteur solaire <0,5 limitant les surchauffes) et confort lumineux (avec TL plus élevée).

PARTIE 2.2 – Confort visuel

Question 53. Préciser ce qu'est le facteur de lumière du jour. Donner son expression littérale.

Le facteur de lumière du jour est défini par le rapport entre l'éclairement horizontal intérieur au niveau du plan de travail E_i (en lux) et l'éclairement sur un plan horizontal extérieur simultané sous un ciel couvert de distribution standard (CIE, 1955) : $FLJ (\%) = \frac{E_i}{E_e} \times 100$

Le facteur de lumière du jour exprime l'efficacité d'une pièce et de ses ouvertures en tant que système d'éclairage naturel.

Question 54. Commenter les résultats de la simulation pour les deux scénarios présentés en annexe.

La différence entre les deux scénarios est importante. En effet, on note sur les trois locaux une dégradation conséquente des apports en lumière naturelle dans le cas d'une toiture opaque et ceci malgré la présence de façades entièrement vitrées.

L'autonomie en éclairage continue (DA300c) passe de 77,6% à 39,6% en moyenne sur les trois salles étudiées. La toiture en Danpalon permet ainsi de dépasser le seuil de 75% d'autonomie en éclairage naturel et donc de

diminuer le recours à l'éclairage artificiel. En revanche, le choix de cette solution amènera un risque d'inconfort par éblouissement important.

Question 55. Indiquer si ces résultats sont cohérents par rapport au positionnement des locaux étudiés.

Ces résultats sont cohérents car les apports en lumière naturelle sont plus importants lorsque le local est davantage situé à l'extérieur du bâtiment. La salle de TP étant le plus à l'extérieur bénéficie d'un meilleur éclairage naturel puis vient la salle informatique et enfin la salle de cours.

PARTIE 2.3 – Production d'ECS solaire : dimensionnement

Question 56. Justifier la raison pour laquelle la température de distribution de l'ECS ne doit pas être inférieure à 55 °C aux points les plus éloignés de la production.

La température de distribution de l'ECS doit être supérieure à 55°C afin de limiter le risque sanitaire lié au développement de légionnelles.

Question 57. A l'aide des données du document technique DT14, **déterminer** le volume utile du ballon de stockage permettant de répondre aux besoins journaliers en ECS (à 60 °C).

Le volume utile du ballon de stockage est calculé à partir des besoins journaliers communiqués dans le document technique DT14 :

Besoins salle TP	60 L/jr x 3 paillasses = 180 L/jr
Besoins Cuisine	6 L/jr x 16 repas = 96 L/jr
Besoins Désinfection	Cuisine : 150 L/jr + salle TP : 200 L/jr = 350 L/jr

Le volume utile du ballon de stockage est de **626 L/jr**.

Question 58. Évaluer l'apport solaire à atteindre par l'installation afin d'assurer les besoins d'énergie annuels.

Pour calculer l'apport solaire à atteindre par l'installation, il faut évaluer les besoins énergétiques annuels au préalable :

$$\text{Besoins (kWh/an)} = \frac{\rho \times C_p \times V_{\text{ballon}} \times (T_{\text{stockage}} - T_{\text{eau froide}}) \times 365 \text{ jours}}{3600 \times 1000}$$

Avec $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$; $C_p = 4186 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$; $V_{\text{ballon}} = 626.10^{-3} \text{ m}^3$; $T_{\text{stockage}} = 60^\circ\text{C}$; $T_{\text{eau froide}} = 24^\circ\text{C}$

L'apport solaire à atteindre par l'installation est calculé à partir du taux de couverture (75 %) :

Apport solaire à atteindre : *Taux de couverture* × *Besoins annuels* = 7173 kWh

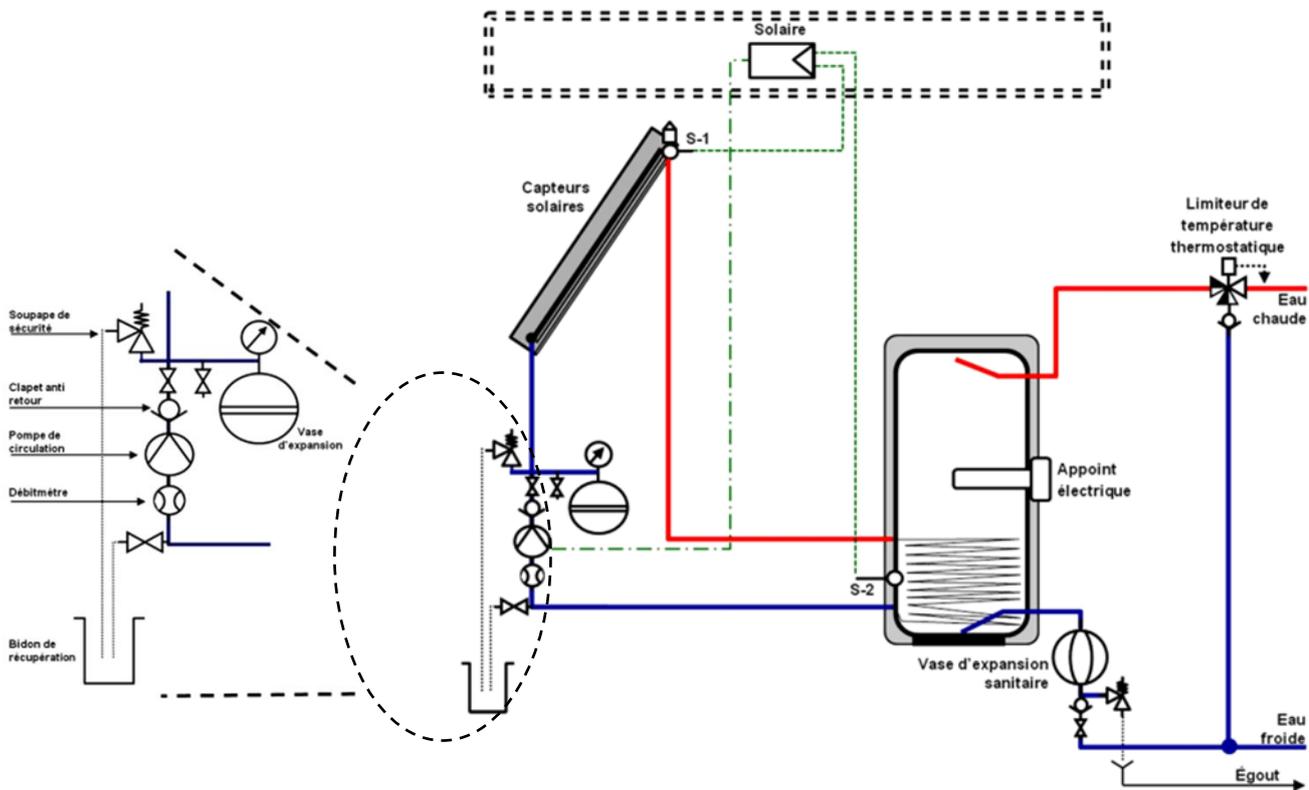
Question 59. En déduire la surface minimale de capteurs à installer.

La surface minimale de capteurs S_{capteurs} est calculée en faisant le rapport entre les besoins énergétiques annuels et l'énergie solaire utile récupérée par les capteurs.

$$S_{\text{capteurs}} = \frac{\text{Besoins annuels (kWh)}}{\text{Energie solaire utile récupérée } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)} = \frac{\text{Besoins annuels}}{\text{Irradiation solaire} \times \eta_{\text{annuel}}}$$

$$S_{\text{capteurs}} = 8,5 \text{ m}^2$$

Question 60. Réaliser le schéma de principe de l'installation solaire thermique. **Nommer** les principaux éléments et donner leur fonction.



Source : Guide RAGE - Recommandations professionnelles 2013 « Chauffe-eau solaire en habitat individuel - Neuf »

Principaux éléments :

- Capteurs solaires : situés en toiture, ils permettent d'absorber le rayonnement solaire et de le convertir en une énergie thermique qui sera transférée au fluide caloporteur (eau glycolée) circulant au travers de chacun de ces capteurs
- Pompe de circulation : elle permet de mettre en circulation le fluide caloporteur lorsque la température en sortie des capteurs est supérieure à la température du ballon
- Ballon de stockage avec appoint électrique : la chaleur transportée par le fluide caloporteur est transférée à l'eau du ballon grâce à l'échangeur tubulaire. Le ballon de stockage accumule la chaleur produite. L'appoint permettra de produire la chaleur lorsque l'énergie fournie par le système solaire est insuffisante.
- Dispositifs de contrôle de sécurité :
 - Clapet anti-retour : permet de contrôler le sens de circulation du fluide caloporteur et d'éviter les éventuels retours de fluide
 - Soupape de sécurité : permet d'évacuer la vapeur ou le fluide lorsque la pression ou la température dépasse une limite assignée
 - Vase d'expansion : permet d'absorber les variations de volume dues au changement de température

Question 61. Proposer une solution de régulation pour cette installation solaire. **Proposer** un graphe de fonctionnement pour le circulateur.

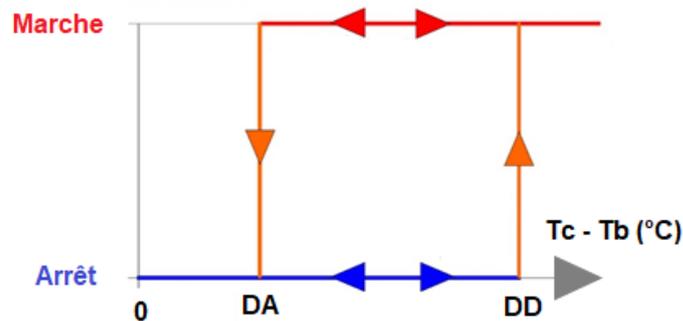
La régulation utilisée pour cette installation solaire est une régulation de type différentielle au démarrage (DD) et à l'arrêt (DA) basée sur le principe de l'hystérésis.

Les valeurs au démarrage et à l'arrêt sont réglables. En général : $5^{\circ}\text{C} < \text{DD} < 8^{\circ}\text{C}$ et $2^{\circ}\text{C} < \text{DA} < 4^{\circ}\text{C}$

La régulation commande le fonctionnement du circulateur en fonction des valeurs relatives des sondes de température en sortie des capteurs T_c et en bas du ballon T_b .

La valeur calculée $\Delta T = T_c - T_b$ est comparée aux différentiels d'arrêt DA et de démarrage DD :

- Le circulateur démarre lorsque $\Delta T > \text{DD}$
- Le circulateur s'arrête lorsque $\Delta T < \text{DA}$



Graphique de fonctionnement du circulateur

5. Commentaires du jury

ÉTUDE 1. ÉTUDE DE LA SUPERSTRUCTURE

Les différentes parties de cette étude ont été traitées de manière inégale. Les parties étant indépendantes et la difficulté des questionnements progressive, le jury invite les futurs candidats à appréhender l'ensemble des études proposées.

Afin de pouvoir traiter un maximum de question dans le temps imparti, le jury conseille aux futurs candidats de répondre de façon méthodique aux questions faisant appel à des vérifications réglementaires (référence du paragraphe, équation, valeur des coefficients, application numérique). Il n'est pas demandé d'apporter des compléments personnels aux réglementations.

Le jury regrette que le comportement global d'une structure porteuse sous charge ne soit pas assimilé par la majorité des candidats. Un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions doit maîtriser les principes de base du fonctionnement mécanique d'une structure. La maîtrise de la détermination des descentes de charges sur un élément structurel simple (poteau, poutre) et de sa vérification aux états limites est attendue des candidats.

ÉTUDE 2. CONFORT DANS LA CONSTRUCTION BIOCLIMATIQUE EN MILIEU TROPICAL

Les différentes études proposées dans cette partie du sujet ont été menées de manière inégale. Le jury invite les futurs candidats à être vigilants à la lecture du sujet afin de s'imprégner des contraintes du dossier (ici contexte réglementaire en milieu tropical, contraintes architecturales liées à la construction bioclimatique et règles de calcul associées).

Le jury regrette le manque de prise de recul et de hauteur dans la démarche pour beaucoup de copies : copies mal rédigées sur la forme (graphisme, qualité des schémas), manque de rigueur des calculs menés (cohérence des unités, analyse des ordres de grandeur).

Le jury déplore que peu de candidats aillent jusqu'au bout des études proposées même lorsque celles-ci sont accessibles et peu calculatoires. Les compétences calculatoires restent toutefois attendues d'un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions.

Dans le cas de questions ouvertes, il est attendu que les candidats fassent preuve d'esprit de synthèse et qu'ils hiérarchisent les éléments essentiels pour exprimer clairement leur argumentation.

Épreuves d'admission

IV. Exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

1. 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.

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options. Le support de l'activité pratique proposée est un système pluritechnologique et permet une analyse systémique globale. L'exploitation pédagogique proposée, directement liée aux activités pratiques réalisées, est 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 et des classes préparatoires aux grandes écoles.

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

- mettre en œuvre et conduire une expérimentation, une analyse de comportement d'un système réel ou d'un équipement, notamment à l'aide de systèmes informatiques associés à des logiciels de traitement, de simulation, de représentation ;
- analyser et vérifier ou comparer les performances de tout ou partie de ce système pluritechnologique, notamment à partir de modèles de comportement et de mesures,
- justifier ou critiquer les solutions constructives retenues et les choix relatifs à la réalisation (hypothèses, comparaison multicritère des choix techniques et des organisations, évaluations économiques, etc.) en regard du cahier des charges,
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions,
- concevoir et organiser le plan d'une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

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 séquence de formation, à décrire et situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

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.

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

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

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 compte quatre parties. Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

➤ **Première partie (durée 0h45) – Réflexions pédagogiques sur la séquence imposée**

Pour cette première partie, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation parmi deux qui lui sont proposées. Pour chacune d'entre elles, le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le candidat a à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur pour la présentation devant le jury. L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum sans intervention du jury. L'exposé doit comporter :

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

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

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes maximum. Le jury est amené à interroger les candidats, afin d'apprécier leur connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, sur la manière dont ils envisagent d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, ou bien sur leur positionnement vis-à-vis d'une équipe pédagogique.

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

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

Utilisation des logiciels pendant l'interrogation

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

Les supports retenus lors de la session 2024 étaient les suivants :

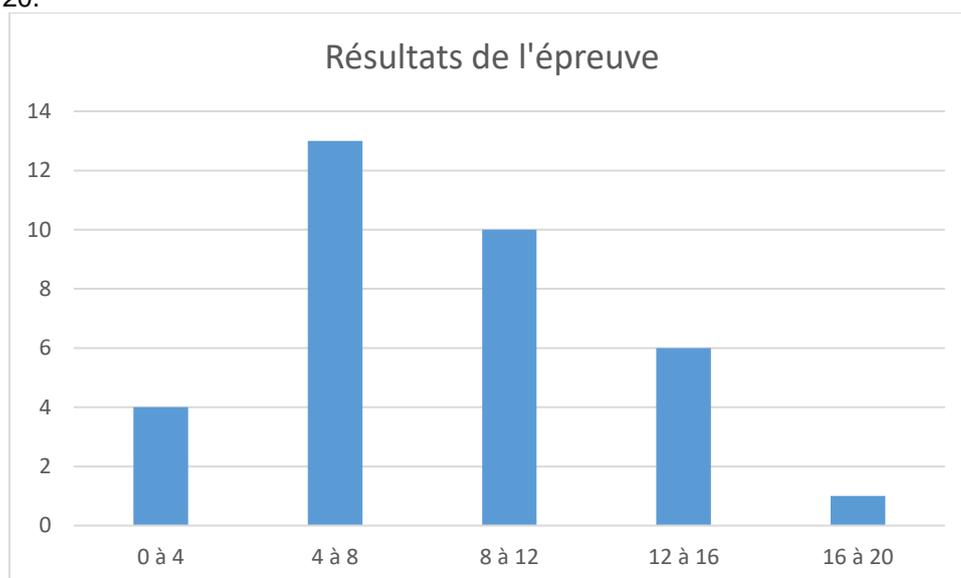
- volet roulant ;
- bras de pelleuse électrique avec IA intégrée ;
- système de travelling ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- imprimante 3D ;
- système de déplacement de caméra ;
- axe linéaire didactisé ;
- système d'attelle

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

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

2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 08,25/20. L'écart-type est de 4,0. Les notes sont comprises entre 2/20 et 18,30/20.



3. Analyse des résultats

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

Certains candidats présentent une séquence pédagogique qui ne respecte pas le contexte imposé, se plaçant ainsi hors sujet. Lors de l'exposé oral, quelques candidats présentent le système et les résultats obtenus pendant la troisième partie de la première phase, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques réalisées pendant la troisième partie de la première phase sont souvent reprises dans la

séance, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est souvent oubliée.

1. Commentaires et conseils aux futurs candidats

Phase 1 – Première partie : réflexions pédagogiques sur la séquence imposée

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent imprécis et peu approfondis ;
- les compétences et connaissances visées ne sont pas toujours bien identifiées ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre est rarement pertinent et justifié ;
- l'évaluation et la remédiation sont souvent absentes de la séquence.

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

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

Pour les futures sessions, le jury conseille aux candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs des formations dont peuvent être issus les contextes pédagogiques imposés : enseignement de spécialité « sciences de l'ingénieur », enseignements technologiques de spécialités du cycle terminal STI2D et enseignement « sciences de l'ingénieur » des CPGE. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettront de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post-bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique). Au-delà de la simple mention de celles-ci, il est attendu du candidat la capacité de décrire comment ces démarches se traduisent concrètement dans les activités pédagogiques proposées aux élèves ou étudiants.

Phase 1 – Deuxième partie : prise en main du support

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

Les manipulations proposées sont très guidées de sorte que le candidat peut rapidement appréhender l'environnement logiciel et matériel du support. Certains candidats se trouvent en difficulté dès cette phase de prise en main. Le jury leur recommande de se confronter plus régulièrement à la manipulation de systèmes réels et/ou didactisés.

Phase 1 – Troisième partie : expérimentations pour répondre à une problématique technique et scientifique imposée

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

- la maîtrise du raisonnement scientifique et la caractérisation des échanges d'énergie, de matière et d'information à un niveau de généralités permettent de s'adapter à une large diversité de systèmes ;
- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la problématique scientifique et technique doit être comprise afin d'y répondre. Elle permet d'appréhender correctement le fil directeur des activités et manipulations proposées ;

- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes de puissance et d'information, diagrammes SysML) ;
- une bonne culture personnelle pluritechnologique, fondée sur l'observation et l'analyse de systèmes variés et modernes, est indispensable.

Le candidat est amené à :

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

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

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

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structuraux, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

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

Phase 1 – Quatrième partie : élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées. Des illustrations intégrant des captures d'écran montrant les résultats obtenus permettent de rendre plus concrètes les manipulations proposées.

Le candidat doit développer une séance expérimentale contextualisée, positionnée avec pertinence dans la séquence pédagogique proposée. Il est attendu la description des activités proposées aux élèves. La configuration pédagogique choisie doit être justifiée. Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis. Ils doivent être différents de ceux réalisés lors de la troisième partie « expérimentations » tout en utilisant le système de l'épreuve. Des modalités d'évaluation doivent également être présentées et justifiées pédagogiquement.

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

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

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

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

de :

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

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

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

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

Comportement des candidats

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

Le jury apprécie lorsque les diapositives sont numérotées lors de la présentation orale : cela lui permet de se référer plus facilement aux éléments de présentation. Le jury déplore les fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés ; elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

4. Conclusion

La session 2024 de l'agrégation externe SII confirme que l'usage d'un laboratoire unique, composé de systèmes pluritechnologiques, commun aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur, impose au candidat de s'appropriier tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque « matière, énergie et information ». Au-delà même de la juxtaposition des savoirs pluridisciplinaires indispensables pour réussir cette épreuve, cette session met aussi en évidence toute l'importance, pour un candidat, d'être réellement apte à appréhender les systèmes dans leur globalité. Enfin, les compétences en ingénierie pédagogique attendues lui imposent une connaissance approfondie des différents programmes, des objectifs de formation associés et des stratégies pédagogiques préconisées.

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

1. 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.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie. La proposition pédagogique attendue, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements spécifiques liés à la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" du lycée et aux 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, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système pluritechnologique,
- 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 d'activités pratiques relatives à un système pluritechnologique.

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.

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 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 – 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.

Phase 1 - Troisième 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 d'une séance pratique s'intégrant dans cette séquence.

Il conclut enfin obligatoirement sur les forces et faiblesses des expérimentations menées et formule des conclusions.

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 (4h)	Partie 1 (1h)	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'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>		
	Partie 2 (2h max)	III. EXPÉRIMENTATIONS	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer...
			<i>Point avec l'examinateur sur le scénario expérimental envisagé</i>
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)
			Analyser les résultats obtenus, les valider (échelle, fiabilité ...)
	<i>Point avec l'examinateur sur les expérimentations et résultats</i>		
	Partie 3 (1h)	IV. PROPOSITION PÉDAGOGIQUE <i>(le matériel expérimental reste disponible pour d'éventuelles manipulations complémentaires)</i>	Préciser 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
Définir les activités expérimentales et informatiques à réaliser pendant une séance pour un groupe classe de 15 élèves			
<i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques</i>			
V. CONCLUSION	Identifier en lien avec l'objectif visé, les forces et faiblesses des expérimentations et de la proposition pédagogique		
	<i>Présenter les analyses et les conclusions</i>		
PHASE 2 (1h)	VI. MISE EN LOGE	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)	
PHASE 3 (1h)	VII. 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	
		Présenter la séance, son positionnement dans la formation, 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 :

- proposer une pédagogie efficace et innovante
- produire un discours clair, précis et rigoureux
- être pertinent et réactif aux questions posées
- dégager l'essentiel et donner du sens
- captiver l'auditoire

Les séquences pédagogiques demandées étaient imposées pour les formations suivantes :

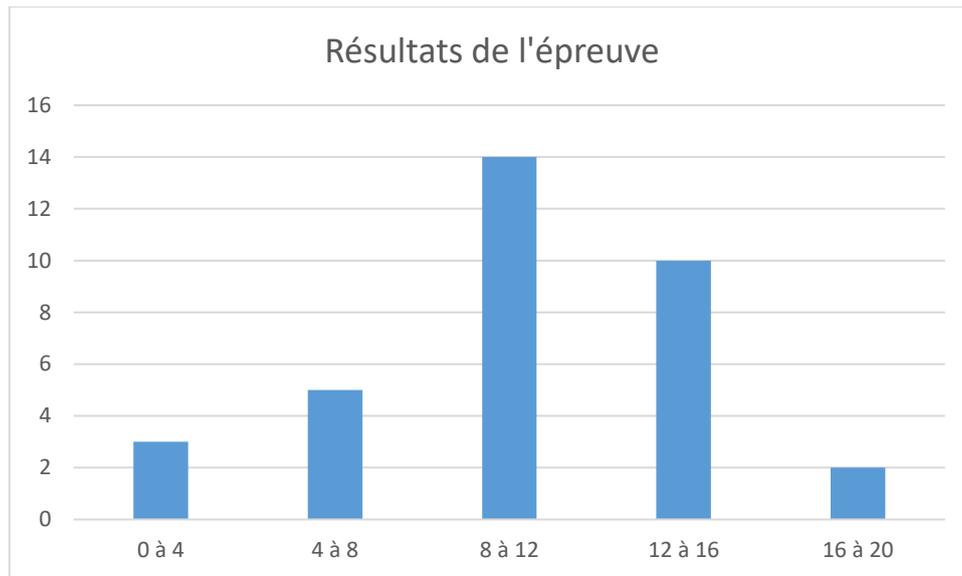
- Baccalauréats STI2D et spécialité SI du baccalauréat général
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- BUT :
 - o Génie Civil Construction Durable
 - o Génie Thermique et Énergie
- BTS :
 - o Architectures en Métal : conception et réalisation,
 - o Bâtiment,
 - 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
 - o Management Économique de la Construction
 - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
 - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat
 - o 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.
- 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 (niveau de chantier, Station totale, GNSS, scanner 3D ...)

2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10,07/20. L'écart-type est de 4,95. Les notes sont comprises entre 1,46/20 et 18,62/20.



3. Commentaires et conseils aux futurs candidats

Le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un simple compte-rendu de laboratoire. Il s'agit de réaliser une étude simplifiée d'une problématique posée à un(e) enseignant(e) chargé(e) de préparer un enseignement donné, en exploitant des matériels d'expérimentation et des ressources didactiques.

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 parfois une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas pleinement le temps qui leur est accordé. À contrario, d'autres candidats cherchent à remplir ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé.

Le candidat doit exploiter au mieux les outils informatiques de présentation 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 trop longue, 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 la majorité des candidats.

Les candidats doivent s'attacher :

- à préciser l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
- à préciser les compétences mobilisées, les savoirs, les unités certificatives et leur mode d'évaluation ;
- à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison de CM, TD, TP ou autre format pédagogique...) en détaillant notamment l'organisation pratique en présence d'élèves ou d'étudiants ;
- à indiquer des horaires d'enseignement réalistes vis-à-vis de ceux proposés par le référentiel utilisé, en tenant compte des autres enseignements, des autres enseignants de SII et d'un découpage réaliste du programme entre eux ;
- 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,
- à préciser le lien avec une épreuve d'examen.

Le jury regrette le manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés. Trop de candidats ne connaissent pas la structure des référentiels de formation. Il est indispensable d'étudier plusieurs référentiels représentatifs lors de la préparation au concours, de bien en comprendre les différentes annexes (référentiel des activités professionnelles, référentiel des compétences, référentiel d'évaluation, stage).

Les compétences scientifiques, technologiques, professionnelles et pédagogiques des candidats doivent être suffisamment élevées pour accéder au grade de professeur agrégé :

- trop de candidats ne parviennent pas à exploiter les fonctionnalités de base des « tableaux » (maîtrise insuffisante du tracé de courbe notamment) ;
- trop de candidats déclarent découvrir le domaine proposé lors de cette épreuve (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation type BIM...) ;
- de trop nombreuses fautes d'orthographe ou de grammaire subsistent dans les présentations, ce qui n'est pas acceptable pour un enseignant.

Le jury attend d'un candidat à l'agrégation une capacité à innover sur le plan pédagogique. L'organisation classique « Cours – TD – TP » ou les « TP tournants » peut être repensée en y incluant les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC, intelligence artificielle, etc.). Ces éléments doivent être exploités au service de la réussite des élèves.

Le jury regrette que les modalités d'évaluation se résument trop souvent au compte-rendu de TP noté, à l'évaluation sur table ou à des soutenances orales par les élèves. La différenciation des apprentissages et des élèves à besoin particulier, est également à prendre en compte dans l'élaboration de scénarios pédagogiques. S'adapter aux besoins des élèves pour leur permettre de réussir est un fondement du métier d'enseignant. Le jury attend d'un candidat une capacité à élaborer une progressivité des apprentissages pour permettre la construction des compétences des élèves tout au long du cycle de formation.

4. Exemple de sujet

A – DÉROULEMENT DE L'ÉPREUVE

Cette épreuve vise à évaluer la capacité du candidat à préparer et mettre en œuvre des situations pédagogiques permettant d'exploiter avec créativité et esprit critique des ressources pédagogiques disponibles dans un établissement scolaire.

L'épreuve place le candidat dans le même type de situation professionnelle rencontré lorsqu'il est affecté dans un établissement et est chargé de préparer et d'animer un enseignement qui lui est confié. Le jury accompagne le candidat et évalue les compétences mobilisées par le candidat pendant l'épreuve.

Pendant cette épreuve, le candidat est amené à réaliser les tâches demandées suivantes :

- découvrir et analyser un objectif de formation et un contexte d'enseignement (diplôme) ;
- découvrir un ensemble de ressources pédagogiques et techniques disponibles ;
- analyser et contrôler ces ressources en vue de les réutiliser ;
- proposer une trame de séquence pédagogique et une trame de séance permettant de mobiliser avec pertinence tout ou partie des ressources disponibles.

Des résultats d'essais expérimentaux et de simulations réalisés par l'équipe enseignante sont fournis en guise de ressource pédagogique. Le candidat est amené à les analyser, les contrôler et les critiquer.

Cette épreuve d'une durée totale de 6 heures, se déroule en trois phases :

1. PHASE 1 – en laboratoire (durée 4 h 00)

- environ 1h : découverte de l'objectif et des ressources disponibles
- environ 2h : réalisation d'expérimentations pratiques et informatiques
- environ 1h : élaboration d'une stratégie pédagogique

2. PHASE 2 – Mise en loge et préparation de l'exposé (durée 1 h 00)

Le candidat ne manipule plus et prépare son exposé à présenter au jury.

3. PHASE 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)

L'exposé oral d'une durée maximale de 30 minutes doit comporter :

- La présentation des objectifs pédagogiques et des ressources mises à disposition (5 mn environ)
- La présentation de la réflexion sur les potentialités et la stratégie pédagogique (5 mn environ)
- Le compte – rendu des expérimentations effectuées et des résultats obtenus (5 minutes) ;
- La présentation de la séquence & séance pédagogique proposée (15 minutes environ) ;

Un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes suit l'exposé oral du candidat.

B - OBJECTIF PEDAGOGIQUE IMPOSE POUR L'EPREUVE

Sujet : Concevoir et présenter une séquence de formation sur les bâtiments à structure métallique et le comportement mécanique des éléments de structure de ces bâtiments.

On abordera tout ou partie des notions suivantes :

- *Technologie des bâtiments à structure métallique.*
- *Caractéristiques physiques et mécaniques de l'acier.*
- *Caractéristiques réglementaires de l'acier.*
- *Comportement et fonctionnement des profilés métalliques sollicités en flexion.*
- *Liaisons entre les éléments de la structure.*

La proposition pédagogique sera envisagée pour une formation de BTS Bâtiment

C - RESSOURCES PEDAGOGIQUES DISPONIBLES

<p>R1 : REFERENTIELS DE FORMATION</p> <ul style="list-style-type: none"> • BTS Bâtiment ou • BTS AMCR ou • BUT 	<p>R2 : INFORMATIQUE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis. • Une suite bureautique • Un fichier REVIT de la structure du bâtiment « Bâtiment-Industriel ».
<p>R3 : RESSOURCES PEDAGOGIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Expérimentations à réaliser • Série de résultats d'essai • Dossier support « bâtiment industriel en structure métallique » • Maquette Revit de l'ouvrage 	<p>R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Techniques de l'Ingénieur – Aciers de construction métallique • Technique de l'ingénieur – Vérification de barres en acier – Etats limites et critères de dimensionnement • Mode opératoire du banc de flexion de la poutre métallique • Description du banc de flexion • Didacticiels des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis • Profilés IPE et HEA Arcelor Mittal • Données relatives à l'étude
<p style="text-align: center;">R5 : EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX</p> <p>Matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une poutre métallique en profilé du commerce type HE160A équipée de 8 jauges de déformation : 4 situées sur la section médiane de la poutre et 4 sur la semelle supérieure. <p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un groupe hydraulique et un banc d'essai hydraulique pour essai de flexion. • Pont d'extensométrie, comparateurs. • Petit matériel de laboratoire. 	

D - TRAVAIL DEMANDÉ POUR L'ÉPREUVE

Le travail demandé et évalué dans les différentes phases de l'épreuve est précisé ci-dessous.

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve
PHASE 1 (4h)	Partie 1 (1h)	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'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>
	Partie 2 (2h max)	III. EXPÉRIMENTATIONS	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer... <i>Point avec l'examinateur sur le scénario expérimental envisagé</i>
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)
			Analyser les résultats obtenus, les valider (échelle, fiabilité ...)
			<i>Point avec l'examinateur sur les expérimentations et résultats</i>
	Partie 3 (1h)	IV. PROPOSITION PÉDAGOGIQUE <i>(le matériel expérimental reste disponible pour d'éventuelles manipulations complémentaires)</i>	Préciser 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
			Définir les activités expérimentales et informatiques à réaliser pendant une séance pour un groupe classe de 15 élèves <i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques</i>
			V. CONCLUSION
			Identifier en lien avec l'objectif visé, les forces et faiblesses des expérimentations et de la proposition pédagogique <i>Présenter les analyses et les conclusions</i>
	PHASE 2 (1h)	VI. MISE EN LOGE	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)
PHASE 3 (1h)	VII. 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	
		Présenter la séance, son positionnement dans la formation, 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 ...)	

Autres critères d'évaluation également pris en compte par le jury :

- Proposer une pédagogie efficace et innovante
- Produire un discours clair, précis et rigoureux
- Être pertinent et réactif aux questions posées
- Dégager l'essentiel et donner du sens
- Captiver l'auditoire

DOSSIER SUPPORT

L'ouvrage support est un petit bâtiment industriel en structure métallique constitué d'un rez-de-chaussée simple. Cet ouvrage est destiné à servir de dépôt et de bureau à une TPE artisanale. Il se compose de deux zones de hauteurs sous plafond différentes en fonction de leur usage.

Le projet est en phase d'APD et le bureau d'études structure souhaite valider les choix qui ont été faits pour les sections des profilés métalliques. Seuls les éléments principaux de la structure ont donc été modélisés, les liaisons entre les éléments n'ont pas été définies et l'enveloppe du bâtiment n'est constituée que d'une couverture simple par platelage métallique permettant d'y appliquer des charges climatiques.

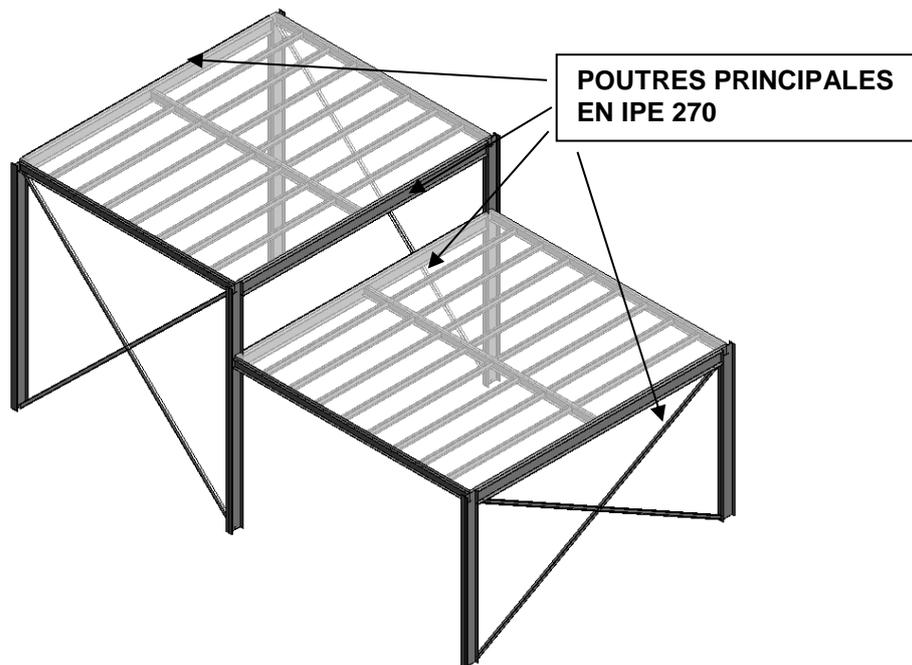


Fig. 1 : Vue en perspective de la structure du bâtiment

L'objectif du bureau d'étude est tout d'abord de vérifier les quatre poutres principales qui sont les plus sollicitées de la structure. La modélisation analytique de la structure du bâtiment a été définie telle que sur l'image ci-dessous. L'ensemble des liaisons est considéré comme étant des encastremets.

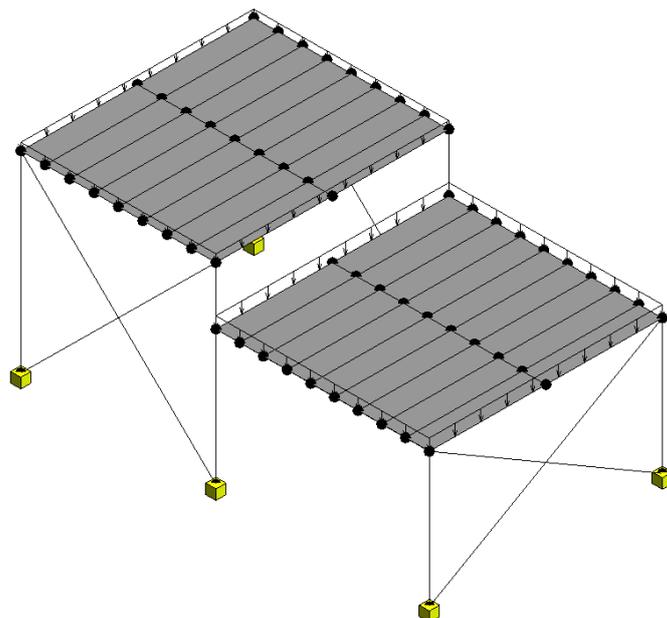


Fig. 2 : Modèle analytique de la structure du bâtiment

R3 - RESSOURCES PEDAGOGIQUES

Expérimentation pratique à réaliser :

- Préparer des essais de flexion sur la poutre HEA équipée de jauges d'extensométrie et de comparateurs.
- Calculer la valeur de l'effort F_{\max} à appliquer afin que la contrainte normale dans la section la plus sollicitée n'excède pas $0,3 \times f_y$ (Limite d'élasticité de l'acier à prendre en compte : $f_y = 235 \text{ MPa}$)
- Réaliser des essais de flexion sur la poutre par paliers, jusqu'à la force F_{\max} . Mesurer des déformations et flèches.
- Effectuer le tracé des contraintes sur la hauteur de la section transversale de la poutre. Comparaison résultats expérimentaux / résultats théoriques en contraintes et en flèche.

Expérimentation numérique à réaliser :

- Étudier l'une des poutres principales dans le modèle physique du logiciel REVIT : Caractéristiques, dimensions, matériau, chargement, liaisons...
- Exporter du modèle analytique de la structure du logiciel REVIT vers le logiciel ROBOT.
- Calculer et analyser des sollicitations dans la poutre puis vérification de la poutre à l'Eurocode 3.
- Optimiser la section de la poutre, liaisons et conséquences technologiques.

VI. Soutenance d'un dossier industriel

1. 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.

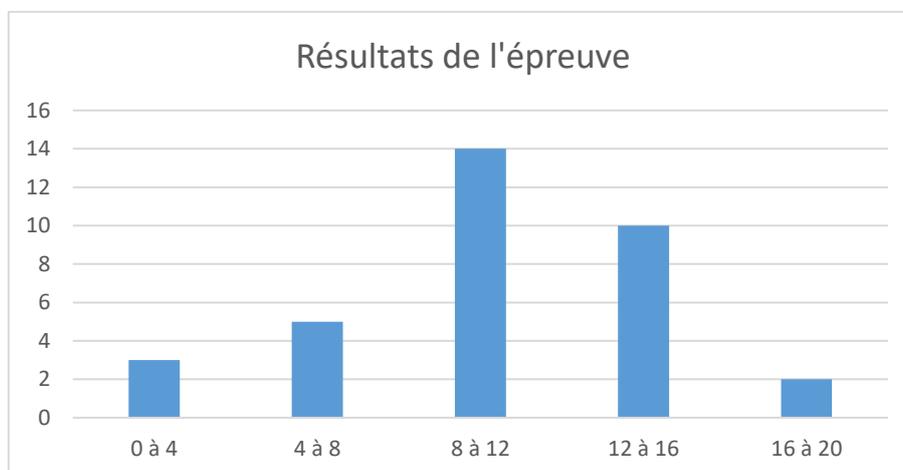
En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les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

2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9,76/20. L'écart-type est de 3,87. Les notes sont comprises entre 1 et 17,1/20.



3. Analyse des résultats

Pour pouvoir délivrer une note à l'issue de l'examen du dossier, de la soutenance et de l'entretien sur cette partie d'épreuve, la commission d'interrogation observe les critères suivants :

- la pertinence du choix de l'ouvrage qui doit être d'actualité récente (en lien avec l'option Ingénierie des Constructions) et ne présentant pas une obsolescence technique et réglementaire,
- les relations établies avec les milieux socio-économiques,
- la qualité et la pertinence des documents techniques,
- la qualité des développements scientifiques choisis,
- le travail personnel réalisé,
- la maîtrise des principes scientifiques couvrant le référentiel,
- les analyses fonctionnelle, structurelle et comportementale menées,
- la précision du vocabulaire,
- la culture technologique du candidat,
- la pertinence de l'exploitation pédagogique,
- la connaissance des programmes et référentiels de formation et leurs évolutions,
- la qualité de l'expression orale et de la communication écrite (dossier et diaporama de présentation),
- la qualité du support de présentation (forme, lisibilité, pertinence des représentations ...),
- l'analyse critique du candidat,
- la capacité du candidat à synthétiser les concepts complexes et données associées (passage du réel au modèle explicite ...), mais également à les transférer à un niveau d'enseignement donné,
- les qualités d'écoute, de réactivité et d'argumentation,
- la posture du candidat durant la soutenance du dossier, mais également durant l'échange avec le jury,
- l'utilisation des médias pour la présentation.

Le principe de neutralité étant de rigueur, lors de la soutenance, les candidats sont tenus de ne pas décliner leur expérience professionnelle et parcours de formation.

Les résultats de cette épreuve sont très variables. Les soutenances de dossier remarquées ont été celles qui associaient :

- des liens étroits du candidat avec le monde professionnel (maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage ou entreprises) ;
- un support représentatif d'au moins un des domaines de l'option Ingénierie des constructions ;
- une présentation des problématiques spécifiques des études proposées ;
- une étude technique et scientifique du niveau de l'agrégation ;
- une stratégie pédagogique pertinente, réaliste et innovante.

4. Commentaires et conseils aux futurs candidats

Concernant le dossier présenté, le jury porte son attention sur les points suivants :

- Le dossier correspond à un mémoire scientifique et technique (hors thèse de doctorat) et non à un dossier d'étude développé par le candidat dans le cadre d'une éventuelle expérience en tant que formateur ou enseignant en post-bac, ni la restitution d'une étude technique menée au cours d'une mission.
- Il doit être paginé et comporter le nom et le prénom du candidat.
- Il doit dégager trois parties :
 - o la première partie contextualise et justifie l'intérêt du support choisi, tout en restant synthétique et succincte ;
 - o la seconde partie est basée sur une ou deux problématiques réelles en lien avec les caractéristiques du support et en lien avec les domaines de l'ingénierie des constructions. Ces problématiques doivent permettre de développer des études techniques et scientifiques du niveau de l'agrégation. Ces études doivent être justifiées et montrer des connaissances calculatoires,

réglementaires, techniques, environnementales applicables au dossier. Les hypothèses posées doivent être claires et le candidat doit être en mesure de les justifier ;

- la troisième partie explique les potentialités pédagogiques du dossier au niveau du cycle terminal du lycée et au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, IUT, CPGE). Des séquences pédagogiques doivent être présentées avec le développement d'une séance y compris les modalités d'évaluation et les outils associés. La production de documents élèves selon leurs profils est également très pertinente.

Remarques :

- les plans de l'ouvrage support du dossier (propres et cotés) doivent être placés en annexe.
- Il est attendu du candidat qu'il précise les contacts professionnels qu'il a développés grâce à ce travail.
- le candidat doit faire attention à la propriété intellectuelle des extraits de documents cités dans son rapport en n'oubliant pas de mentionner les auteurs des ressources utilisées.

Cette épreuve ne doit en aucun cas consister à présenter seulement un système industriel ou une solution constructive. Le jury attend des candidats la présentation d'une démarche de projet consistant à résoudre une problématique technique réelle : construction d'un ouvrage, équipement technique à installer ou installé dans un contexte précis... Toute étude sur un système « clef en main » qui ne serait pas placée au sein d'un projet de construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage dans le domaine du BTP ne convient pas à l'intitulé de l'agrégation ingénierie des constructions.

Le candidat peut choisir une problématique liée à l'ingénierie de travaux à condition de développer une justification scientifique et technique en lien avec sa problématique.

Les candidats qui n'ont pas pu être lauréats de cette session peuvent, s'ils le souhaitent, conserver le même support lors d'une prochaine session, mais des modifications significatives dans les développements et/ou l'objet d'étude sont demandées.

Concernant l'analyse technique et scientifique, le jury a constaté la présence de dossiers sans apport scientifique et technologique. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante, la présentation d'un support de cours ne correspond pas non plus aux attentes. Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser les cadres réglementaire et scientifique associés.

L'analyse technique et scientifique présentée par le candidat doit être au niveau d'une agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur. L'étude présentée par le candidat doit donc être celle que l'on demanderait de mener à un ingénieur dans une entreprise ou une collectivité. Les études techniques et scientifiques qui seraient confiées à un technicien ou à un cadre intermédiaire ne sont pas suffisantes pour montrer la maîtrise des compétences scientifiques dont doit disposer un professeur agrégé. La rédaction de cette partie technique et scientifique peut, par exemple, s'articuler autour d'une comparaison entre des développements propres au candidat et les études menées par les entreprises contactées. Une comparaison des résultats permet au candidat de mettre en avant son sens critique et le recul qu'il a sur la problématique.

Le candidat doit être en mesure de justifier les hypothèses et les notions physiques amenant à l'écriture de ses équations.

Le choix des analyses techniques et scientifiques détaillées doit, dans la mesure du possible, être en lien avec les développements pédagogiques. Une exploitation simpliste des résultats de logiciels de simulations ne suffit pas : le candidat doit être en mesure de maîtriser les notions scientifiques et technologiques utilisées par le logiciel. Il convient aussi de ne pas faire du BIM la seule vérité, sans analyser les résultats obtenus par différents logiciels métiers utilisés. La description du processus BIM n'est pas non plus en adéquation avec les attendus, ce ne sont que des outils utilisés dans une réflexion globale.

Concernant la stratégie pédagogique, le jury souhaite rappeler aux candidats que cette épreuve est aussi une épreuve pédagogique. Une grande partie de l'évaluation porte sur l'exploitation pédagogique proposée par le candidat. Ainsi, un candidat qui ne proposerait pas ce développement pédagogique se verrait attribuer une note inférieure à la moyenne.

Cette partie ne peut pas se résumer à la présentation d'une liste d'intentions pédagogiques. Deux séquences pédagogiques doivent être développées : une au niveau lycée et une au niveau de l'enseignement supérieur.

Ces séquences doivent développer des stratégies pédagogiques innovantes tout en précisant les éléments suivants :

- le cadre de la séquence,
- les compétences développées,
- la position dans le cycle de formation,
- les prérequis,
- les savoirs abordés et la taxonomie visée,
- les éventuelles transdisciplinarités, co-animations et co-interventions,
- les activités proposées aux élèves, du professeur, d'évaluation,
- les modalités d'évaluation et repères de progressivité,
- la documentation pédagogique fournie à l'élève,
- les hypothèses nécessaires à l'étude proposée aux élèves,
- les supports d'enseignement : dossier, système réel, didactisé ou virtuel, ressource, etc.
- les traces attendues : écrites, orales, virtuelles.

Le candidat doit développer, dans chaque séquence, une séance dont l'objectif pédagogique est clairement identifié en mettant en avant les connaissances à acquérir et les activités proposées. Les candidats doivent maîtriser un certain nombre de concepts pédagogiques afin de présenter dans les séances :

- la motivation des élèves
- l'usage du numérique et de leurs évolutions
- l'évaluation des élèves par compétences
- la différenciation pédagogique et la prise en compte des élèves à besoins éducatifs particuliers,
- la prise en compte des compétences psychosociales de l'élève
- les activités favorisant le décroisement disciplinaire
- les activités favorisant les travaux de groupes d'élèves
- les activités permettant le développement de compétences au niveau de l'oral.

Remarques sur le numérique dans le secteur de la construction

Le développement du numérique dans le secteur de la construction en cours depuis des décennies va tendre vers une accélération majeure dans les prochaines années. Les contraintes économiques, environnementales et sociales entraînent les entreprises du secteur de la construction à utiliser très largement le potentiel des outils numériques de conception, de simulation, d'organisation et de suivi. Le jury de l'agrégation d'Ingénierie des constructions insiste sur l'obligation pour les candidats de disposer de ces compétences autour des outils numériques. En effet, les élèves et étudiants maîtrisent déjà, en partie, la technicité propre à ces outils.

Les candidats peuvent présenter une visualisation de leur travail sur ces outils numériques (simulation, conception...) pendant la soutenance. Les candidats peuvent démontrer leurs compétences à utiliser ces outils, par exemple, en utilisant un logiciel de visualisation de maquette BIM permettant d'échanger lors de la discussion avec le jury. Pour les logiciels de calculs, les candidats doivent être capables d'expliquer la pertinence des modélisations, des données d'entrée, le principe de calcul du logiciel ainsi que la prise en compte du cadre réglementaire. Il est attendu une analyse critique des résultats. Le jury regrette que quelques candidats présentent des modélisations totalement erronées ou des résultats aberrants, ou encore se contentent de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.