



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2025

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Ingénierie des constructions

Rapport de jury présenté par : Vincent MONTREUIL, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche, Président du jury.

Table des matières

Résultats statistiques de la session 2025	3
Avant-propos	4
Épreuves d'admissibilité	7
I. Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur.....	7
II. Épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....	24
III. Épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	48
Épreuves d'admission.....	82
IV. Épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique	82
V. Épreuve d'activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique	100
VI. Épreuve de soutenance d'un dossier industriel	107

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 2025 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie des constructions, Elles se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 9 juin inclus au 14 juin 2025 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 2025

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Présents aux trois épreuves d'admission	Admis
153	18	68	41	33	12
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible					17
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible					7,43
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis					17,4
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis					9,5

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

- Connaître les processus d'apprentissage
 - 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 modifié, 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 2025 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

Épreuves d'admissibilité

I. Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

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.

Résultats

Moyenne	7,53
Note minimale	3,77
Note maximale	16,23
Écart type	3,01

Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/16117/download>

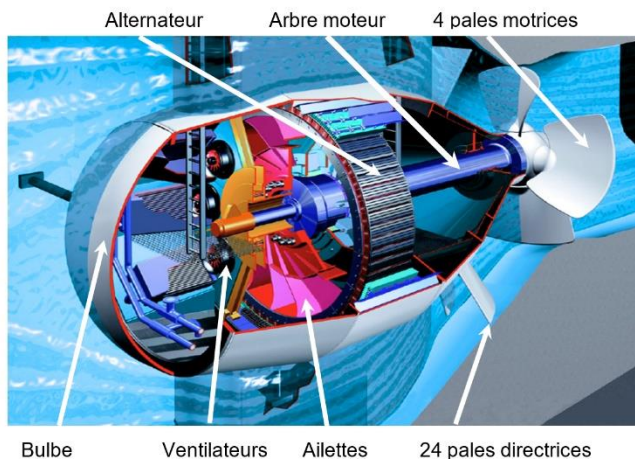
Cette épreuve porte sur la centrale hydroélectrique de Pierre-Bénite, située aux portes de Lyon, qui joue un rôle primordial pour la jonction du Rhône avec la Saône.

Elle est équipée de quatre groupes hydroélectriques à turbines installés chacun dans une conduite hydraulique, dont le débit d'eau peut être modifié en ouvrant plus ou moins la section de passage de la conduite, à l'aide de vingt-quatre pales orientables nommées « pales directrices », disposées autour de la turbine.



La CNR, qui gère les dix-huit centrales hydroélectriques du Rhône, doit assurer en temps réel un équilibre entre la puissance électrique qu'elle produit et la puissance électrique consommée par ses clients, reliés au réseau électrique européen.

Dans ce contexte, les ingénieurs de la CNR ont choisi de réguler la vitesse de rotation des turbines des groupes hydroélectriques, qui sont en prise directe avec leurs alternateurs, afin de réguler la fréquence de ces derniers à celle du réseau (50 Hz). Pour que cette régulation se fasse avec un rendement optimal, ils utilisent deux systèmes asservis qui modifient la vitesse de rotation de la turbine : l'asservissement de la position angulaire des pales directrices et l'asservissement de la position angulaire des pales motrices.



Les auteurs remercient la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) pour l'ensemble des données communiquées.

Éléments de correction

Étude de la production d'Électricité

Question 1. Afin de limiter les variations de fréquence sur le réseau les producteurs d'électricité doivent disposer de réserves de puissances.

La réserve primaire qui permet rapidement de stabiliser la fréquence en cas de dérive.

La réserve secondaire qui permet de restaurer la fréquence à sa valeur nominale et de reconstituer les réserves primaires.

La réserve tertiaire qui permet d'ajuster les consignes de production.

La limite est la valeur de la puissance de réserve disponible.

Question 2. $\Delta f = 200 \text{ mHz}$ $K_{\min} = 5 \text{ MW.Hz}^{-1}$ $P_C = P_n = 20 \text{ MW}$
 $f_n = 50 \text{ Hz}$ $f = 50,2 \text{ Hz}$ $P = 20 - 5 \times (50,2 - 50) = 19 \text{ MW}$

Question 3. Une baisse de soutirage électrique par rapport à l'injection provoque une augmentation de la fréquence. Une hausse du soutirage électrique par rapport à l'injection diminue la fréquence.

Question 4. $s = \frac{(50,2 - 50) / 50}{(19 - 20) / 20} = -0,08 = -8\%$, le statisme est bien compris entre 3% et 12%.

Question 5. Avant incident : $P_{\text{prod}} = 392,4 \text{ MW}$ Après incident : pertes de 72 MW

Variation de fréquence : $\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{72}{392,4} \cdot 50 = -0,734 \text{ Hz}$ soit $f_1 = 49,266 \text{ Hz}$

Question 6. Après réglage primaire, les groupes sont à 100% : $P_{2\text{prod}} = 352 \text{ MW}$

$\Delta f = s \cdot \frac{(P - P_n)}{P_n} \cdot f_n = -0,08 \times \frac{(392,4 - 352)}{392,4} \cdot 50 = -0,412 \text{ Hz}$ soit $f_2 = 49,588 \text{ Hz}$

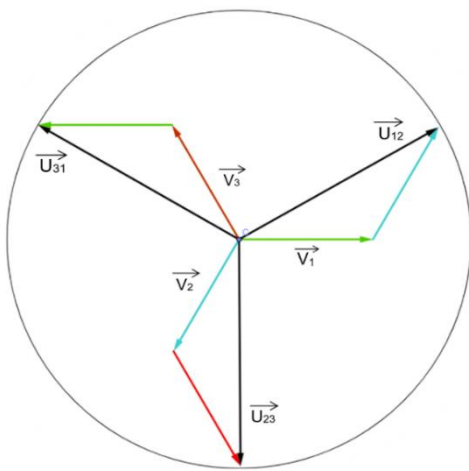
Le réglage primaire permet de ramener la fréquence des signaux électriques dans la plage de fréquence admissible par la norme soit entre $49,5 \text{ Hz} < f < 50,5 \text{ Hz}$

Question 7. Le risque d'effondrement de la fréquence du réseau européen est faible car un incident majeur de 3000MW de pertes de production entraîne une faible baisse de fréquence.

L'intermittence de certaines énergies renouvelables, comme le solaire photovoltaïque et l'éolien, a tendance à provoquer des variations aléatoires de puissance.

La croissance de ces énergies peut impacter la stabilité en fréquence du réseau en provoquant des variations significatives et aléatoires de la fréquence.

Question 8.



$$V_1(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$V_2(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi/3)$$

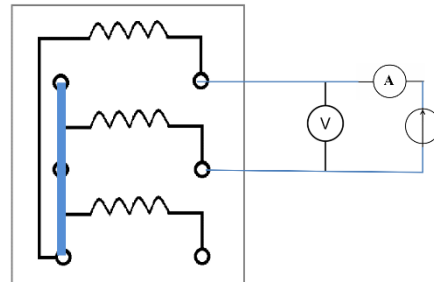
$$V_3(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t - 4\pi/3) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega \cdot t + 2\pi/3)$$

$$U_{12}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/6)$$

$$U_{23}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - \pi/2)$$

$$U_{31}(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t - 7\pi/6) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t + 5\pi/6)$$

Question 9. $R_{\text{entre phases}} = 24 \text{ m}\Omega$ $R = 12 \text{ m}\Omega$

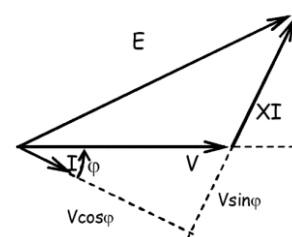


Question 10. $Z = E_0 / I_{CC} = 2000/1800 = 1,1 \Omega$

$$X = \sqrt{1,1^2 - 0,012^2} = 1,099 \Omega \sim 1,1 \Omega$$

Question 11. $E = \sqrt{(V + XI \cdot \sin\varphi)^2 + (XI \cdot \cos\varphi)^2}$

La machine synchrone est supposée à son point de fonctionnement



nominales.

Question 12. $f_p = 0,99$ $Q_N = 2850 \text{ kVAR}$ $I_N = 3\,332 \text{ A} = 3,33 \text{ kA}$

Question 13. $\cos\varphi=0,99$ $V = 2\,021 \text{ V}$ $E = 4\,427,6 \text{ V}$ $I_e = 664 \text{ A}$

Question 14. $P = 3.V.I.\cos\varphi$ et $E.\sin\delta = XI\cos\varphi$ $\delta = \arcsin \frac{P.X}{3.V.E} = 55^\circ < 90^\circ$ stable

Question 15. $\Omega_s = f / p = 83,3 \text{ tr.min}^{-1}$ $f_{90\%} = p. \Omega_s = 36 \times 75 / 60 = 45 \text{ Hz}$

Question 16. Le raccordement des machines synchrones sur le réseau exige les conditions suivantes sur les signaux électriques : égalité de la fréquence, égalité des tensions, même ordre de succession des phases, décalage angulaire nul.

Question 17. fonctionnement dans le quadrant B.

Étude de la régulation de vitesse d'un groupe hydroélectrique

Question 18.

```
30 ligne = ligne.strip()
31 ligne = ligne.replace(' ','')
```

Question 19.

```
33 if not isinstance(valeurs_essai):
```

Pour cette instruction, la fonction « `isVector(valeur_essais)` » permet d'identifier pour chaque ligne d'essais lue, si le deuxième élément (`essais[1]`) et le troisième élément (`essais[2]`) de la ligne sont des nombres.

Si ce n'est pas le cas, le programme est alors en train de lire une des trois lignes d'entête d'une série donnée.

Le test de la ligne 33 est vrai, et le programme passe à la ligne 34

```
34 Tester si la série courante contient des essais (sa longueur est non-nulle)
35 Si oui, enregistrer la série courante dans la liste de série « series_list »
36 Puis réinitialiser la liste courante
37 Tester si la première valeur de la ligne est une date (elle contient deux //)
38 Si oui, enregistrer la dernière valeur de cette ligne comme un élément appelé 'hauteur' dans la série courante (il s'agit de la hauteur de la série)
```

Question 20.

```
41      turbinage=float(valeurs_essai[2])/reference_turbinage
```

Suite à cette instruction, le programme a calculé la valeur relative de turbinage de la ligne d'essais en cours de lecture, à l'aide de la valeur de référence de turbinage donnée en début de programme à 70 (car $70^\circ=100\%$ de turbinage).

Question 21. L'exécution de l'instruction de la ligne 43, a permis d'enregistrer les vingt valeurs de vannage en première position de la chaîne ['essais'] de la série en cours de lecture.

```
43      serie_courante['essais'].append([vannage,turbinage])
```

```
60      for essai in series_list[0]['essais']:
```

```
61          V_vannage.append(essai[0])
```

Question 22.

```
88      def interpolation_lineaire(h):
```

```
89          i = 0 # Initialiser i à 0 (comptage de pas i des 3 valeurs du vecteur hauteurs)
```

```
90          while not(hauteurs[i] <= h and h < hauteurs[i+1]):
```

```
                # pour i=0 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [6 ;9.15]
```

```
                # ceci permet d'utiliser la fonction pour toute valeur de h
```

```
                # sans avoir à préciser qu'elle est forcément dans [6m ;14.8m] à la ligne 103
```

```
                # pour i=1 : tant que la hauteur h lue n'est pas dans le domaine [9.15 ;14.8]
```

```
91          i = i + 1
```

```
                # on incrémente pour aller au domaine suivant
```

```
92          alpha = (h - hauteurs_list[i]) / (hauteurs_list[i+1] - hauteurs_list[i])
```

```
                # calculer la valeur de «  $\alpha$  » dans domaine en cours
```

```
93          V_turbinage_lin = V_turbinages_list[i] * (1 - alpha) + V_turbinages_list[i+1] * alpha
```

```
                # calculer la valeur de turbinage théorique par interpolation
```

```
94          return V_turbinage_lin
```

```
                # renvoyer cette valeur (qui sera utilisée à l'instruction de la ligne 105)
```

Question 23. Lorsque le vérin se déplace de 0 m à $X_{Max} = 1$ m, les pales directrices s'inclinent de 0° à 90° , ce qu'on considère être une ouverture de conduite de 0% à $V_{\%Max} = 100\% = 1$.

Alors, $K_M = \frac{V_{\%Max}}{X_{Max}} = \frac{100\%}{1m} = 1 m^{-1}$

Question 24. La tension de mode commun n'est pas amplifiée ni supprimée.

La tension différentielle est amplifiée d'un gain G_d : $R_g = \frac{2.R_1}{G_d-1} = 20,02\Omega$

Question 25. $V_3^+(t) = \frac{R_1}{R_1+R_1} \cdot V_{s1}(t) = \frac{V_{s1}(t)}{2}$ $V_3^-(t) = \frac{R_1}{R_1+R_1} \cdot (V_{s2}(t) + V_s(t)) = \frac{V_{s2}(t)+V_s(t)}{2}$

Question 26. $V_s(t) = \frac{A_d}{2 \cdot (1 + \frac{A_d}{2} \cdot \frac{A_{MC}}{4})} \cdot (V_{s1}(t) - V_{s2}(t)) + \frac{A_{MC}}{2 \cdot (1 + \frac{A_d}{2} \cdot \frac{A_{MC}}{4})} \cdot \frac{(V_{s1}(t) + V_{s2}(t))}{2}$

Si $A_d \gg 1$ et $A_d \gg A_{MC}$, alors $K_1 \approx 1$ et $K_2 \approx \frac{A_{MC}}{A_d}$

Question 27. $V_s(t) = K_1 \cdot G_d \cdot \left(V_d(t) + \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d} \cdot V_c(t) \right)$ $G_{dt} = G_d \cdot K_1$ et $G_{MCT} = \frac{K_2 \cdot G_{MC}}{K_1 \cdot G_d}$

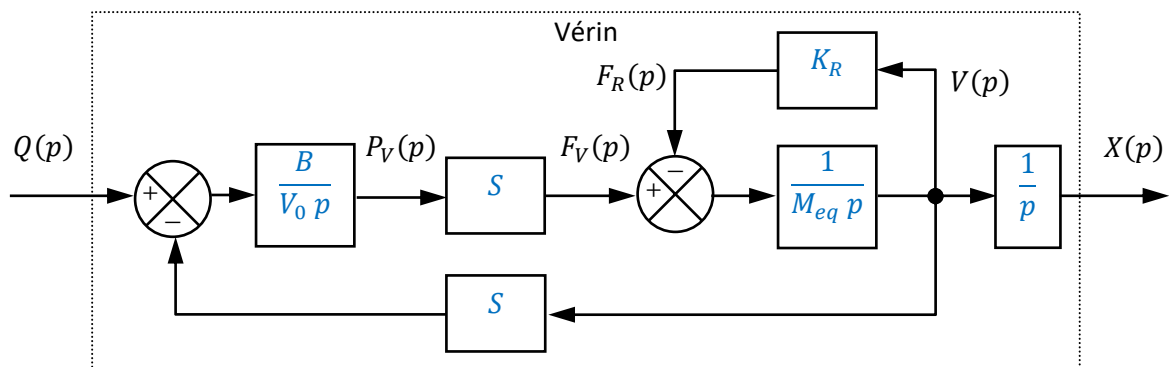
Le gain de l'étage 1 divise G_{MCT} et donc réduit l'influence du mode commun sur la tension $V_s(t)$. Un gain sur l'étage 2 aurait pour impact de ne pas influencer sur G_{MCT} et donc de ne pas réduire l'impact du mode commun sur $V_s(t)$.

Question 28. La résolution du capteur vaut : $5 \mu m$ Donc $K_c = \frac{1}{5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^5 m^{-1}$

$X_M = 1 m \Rightarrow 2 \cdot 10^5$ impulsions. Finalement, puisque $2 \cdot 10^5 < 2^{18} \Rightarrow$ Un capteur codant au moins à 18 bits donc à 3 octets (24 bits), est donc nécessaire.

Question 29. $01d4c0_{(H)} = 120000_{(D)}$, correspond à une position $X(p) = \frac{1,2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^5} X_M = 600 mm$

Question 30.



$$H_V(p) = \frac{1}{p} \frac{\frac{1}{S}}{1 + \frac{V_0 K_R}{BS^2} p + \frac{V_0 M_{eq}}{BS^2} p^2} = \frac{K_V}{p} \frac{1}{1 + \frac{2z}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Cette fonction de transfert est de classe 1 et d'ordre 3, avec :

- Le gain : $K_V = \frac{1}{S} = \frac{1}{0.08 \text{ m}^2} = 12.5 \text{ m}^{-2}$
- La pulsation propre : $\omega_0 = \sqrt{\frac{BS^2}{V_0 M_{eq}}} = 400 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
- Le coefficient d'amortissement : $z = \frac{V_0 K_R}{2BS^2} \sqrt{\frac{BS^2}{V_0 M_{eq}}} = \frac{1}{3}$

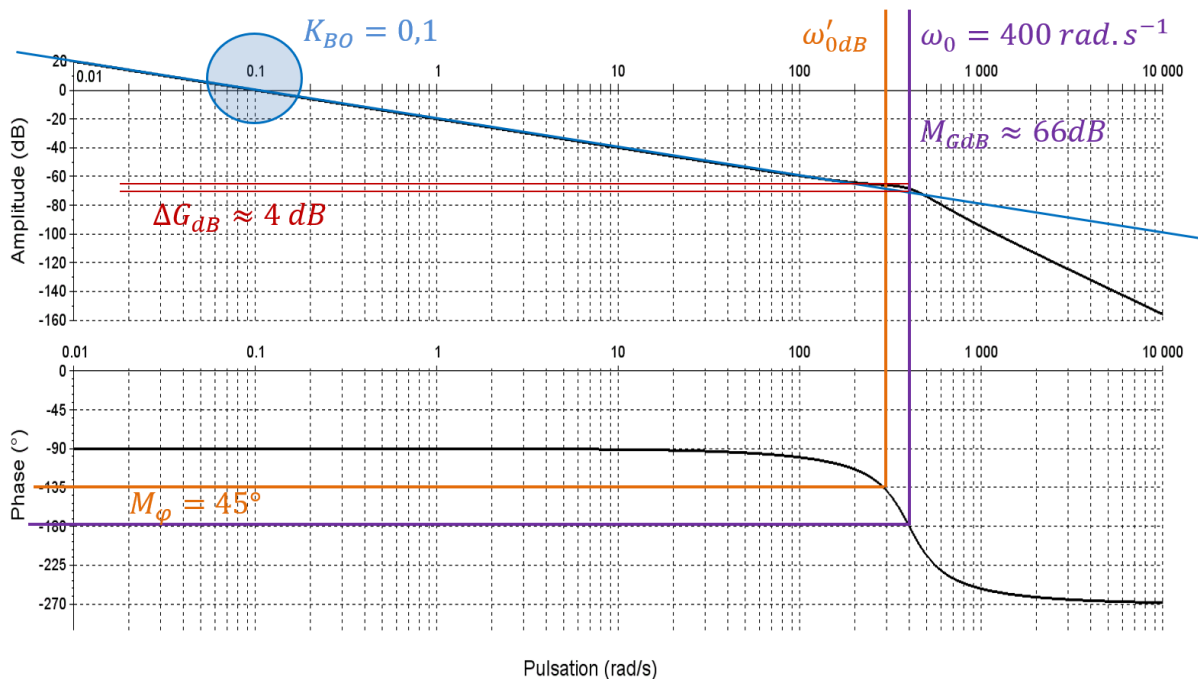
Question 31. $Q_{max} \geq S \cdot V_{max} = 72 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$

$$K_D = \frac{80 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}}{10 \text{ Volt}} = \frac{4}{3} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$$

Question 32. $H_A(p) = \frac{1}{H_M(p)} = \frac{1}{K_M} = 1 \text{ m}$

$$K_A = K_C$$

Question 33.



Graphiquement, nous identifions une FTBO de classe $\alpha = 1$ et d'ordre $n = 3$ avec $\omega_{0db} = 0,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{BO} = 0,1 \text{ s}^{-1}$

Question 34.

Exigence de stabilité : voir les tracés en orange

Les exigences de stabilité sont respectées. Pour garantir une marge de phase minimale de 45° , il est possible d'augmenter le gain K_P du correcteur de sorte que la nouvelle pulsation de bande passante atteigne $\omega'_{0dB} \leq 300 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Si le gain est relevé de 66dB , $\omega'_{0dB} = 300 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, mais le système ne respecte plus l'exigence de marge de gain. C'est donc cette dernière qui impose la valeur maximale du gain K_P du correcteur, qui doit alors relever le gain de 46dB seulement.

$$\Rightarrow 20 \log(K_{Pmax}) \leq 46\text{dB} \Rightarrow K_{Pmax} \leq 10^{\frac{46}{20}} \approx 200 \text{ (adimensionnel)}$$

Exigence de précision :

Le système étudié est à retour unitaire, avec une FTBO $H_{BO}(p)$ de classe $\alpha = 1$.

Ainsi, le théorème de la valeur finale permet de prouver que :

- L'erreur statique de position en réponse à un échelon sera nulle.
- L'erreur statique de trainage en réponse à une rampe de $15\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ sera égale à :

$$e_{s-t} = \frac{15}{K_{BO}} = \frac{15}{0,1 K_P} \text{ mm}$$

Alors, pour respecter le critère de précision en réponse à une rampe, il faut régler le gain K_P du correcteur à la valeur minimale :

$$K_{Pmin} \geq \frac{15}{0,1 e_{s-t}} = \frac{15 \text{ mm}}{0,1 \cdot 1 \text{ mm}} = 150 \text{ (adimenssionnel)}$$

Conclusion : un simple correcteur proportionnel permet de respecter les critères de stabilité et de précision imposés par le cahier des charges. Mais le respect du critère de rapidité n'a pas été vérifié.

Question 35. La réponse à la question précédente a prouvé qu'il est possible de régler un correcteur proportionnel qui permette de respecter les exigences de stabilité et de précision du système d'asservissement de vannage.

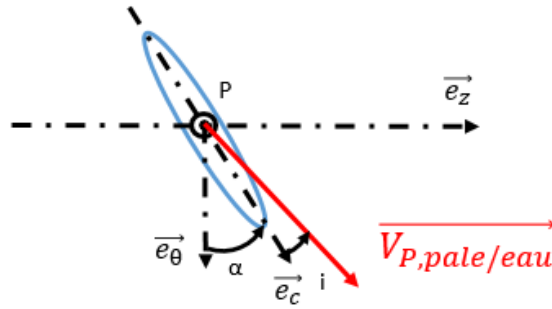
Mais même si la conduite est ouverte de façon parfaitement précise, la vitesse de rotation de la turbine qui est prédite en conséquence, reste le résultat d'un calcul théorique (qui dépend de la dynamique des fluides, de l'asservissement de turbinage et de la hauteur de chute qui agit comme une perturbation) et il est possible qu'il y ait un écart avec la vitesse réelle de rotation de la turbine.

Un écart entre la fréquence du réseau à 50 Hz et la fréquence de l'électricité produite par l'alternateur, reste possible, malgré la précision de l'asservissement de vannage. Le correcteur PID sert à réguler la fréquence du groupe hydroélectrique de façon indépendante de la précision du vannage ou du turbinage.

Étude dynamique de la turbine

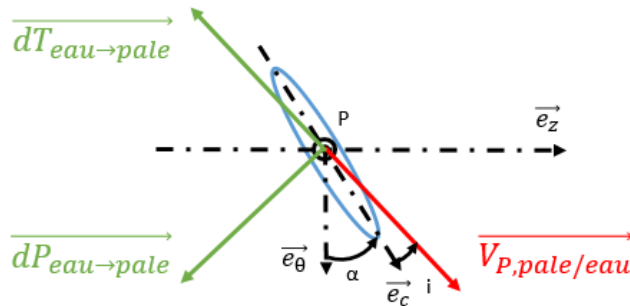
Question 36. $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = r \cdot \omega \overrightarrow{e_\theta} + V_e \overrightarrow{e_z}$ A.N. : $\overrightarrow{V_{P,pale/eau}} = 26,5 \overrightarrow{e_\theta} + 25 \overrightarrow{e_z}$

Question 37.



Question 38. $\tan(\alpha + \beta) = \frac{V_e}{r \cdot \omega}$

Question 39.



Question 40. $\overrightarrow{dM_{O,eau \rightarrow pale} \cdot \vec{z}_0} = r \cdot \left| \overrightarrow{dP_{eau \rightarrow pale}} \right| \cdot \sin(\alpha + \beta) - r \cdot \left| \overrightarrow{dT_{eau \rightarrow pale}} \right| \cdot \cos(\alpha + \beta)$

Question 41. Pour conserver un angle d'attaque constant sur toute la longueur de la pale, il est possible de modifier l'angle de calage en vrillant la pale sur sa longueur, ce que l'on observe sur le document DT5.

Question 42. $\Gamma_{turbine/bulbe} = -\frac{\Omega_{emb}}{t_f} = -\frac{314 \times 2\pi}{60 \times 180} = -0,183 \text{ rad.s}^{-2}$

Question 43. Théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement ou théorème du moment dynamique en projection sur l'axe de rotation :

$$C_T - C_a - C_f = J_{eq} \cdot \Gamma_{turbine/bulbe} \quad C_f = 86,6 \cdot 10^4 \text{ N.m}$$

Question 44. $\{\tau_{pistons \rightarrow disque}\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2fP_{ap} \frac{\pi d_p^2}{4} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$ dans la base $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

Question 45.
$$P_{ap} = \frac{-J_{eq} \cdot \Gamma_{turbine/bulbe} + C_T - C_a}{2ef\pi d_p^2}$$

Question 46.
$$P_{ap} = \frac{86,6 \cdot 10^4}{2 \times 2 \times 0,5 \times \pi \times 0,8^2} = 2,15 \text{ bars} < 7 \text{ bars}. \text{ L'exigence est respectée.}$$

Question 47. La charge, la vitesse de rotation, la viscosité du lubrifiant et donc la température, la rugosité, la présence d'aspérité ou de corps étrangers, ...

Question 48. Il faut que le centre de gravité G_1 soit équidistant des centres des paliers A et B.

Question 49.
$$p = \frac{M g}{2 (2 r l)} = \frac{1,58 \cdot 10^5 \cdot 9,81}{2 (2 \cdot 0,45 \cdot 0,9)} = 0,96 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$$

La marge est importante pour tenir compte des phases de démarrage avant que le film d'huile soit suffisant.

Question 50.
$$\frac{2\pi Q_f}{a r l \omega} = 0,7 \quad Q_f = 0,7 \frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,45 \cdot 0,9 \cdot 83 \frac{\pi}{30}}{2\pi} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Le débit prévu étant 8 fois supérieur au débit de fuite, la marge est suffisante pour garantir le bon fonctionnement du palier vis-à-vis de ce critère.

Question 51. La forme de la matrice est justifiée par :

- Une géométrie qui présente un axe de révolution,
- Un point d'expression de la matrice - G_1 - qui appartient à l'axe de révolution,
- Une base de calcul ($\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$) qui est principale d'inertie

La condition d'équilibrage statique est vérifiée car le centre d'inertie G_1 appartient à l'axe de rotation.

La condition d'équilibrage dynamique n'est pas vérifiée car l'axe de rotation n'est pas principal d'inertie (absence de plan de symétrie de normale $\vec{z}_0$) : la rotation du rotor va donc engendrer des vibrations dans les paliers.

Question 52.
$$\overrightarrow{\sigma(G_1, 1/0)} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_R \cdot \begin{bmatrix} -\varepsilon \cdot \dot{\theta} \\ 0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = -A_1 \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{x} + C_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \vec{z}$$

$$\overrightarrow{\delta(G_1, 1/0)} = \frac{d\overrightarrow{\sigma(G_1, 1/0)}}{dt} \Big|_{R_0} = (-A_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \varepsilon \cdot \cos \varepsilon + C_1 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \varepsilon) \cdot \vec{y} = (C_1 - A_1) \cdot \varepsilon \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \vec{y} \quad (dl1)$$

Question 53. Isolons {1} pour écrire les équations issues du PFD avec $\overrightarrow{\Gamma(G_1, 1/0)} = \vec{0}$:

$$TRD / \vec{x}_1 : X_{21} + X_{31} - m_1 \cdot g \cdot \sin \theta = 0$$

$$TRD / \vec{y}_1 : Y_{21} + Y_{31} - m_1 \cdot g \cdot \cos \theta = 0$$

$$TMD \text{ en } G_1 / \vec{x}_1 : L.Y_{21} - L.Y_{31} = 0$$

$$TMD \text{ en } G_1 / \vec{y}_1 : -L.X_{21} + L.X_{31} = (C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2$$

La résolution de ce système de 4 équations à 4 inconnues donne :

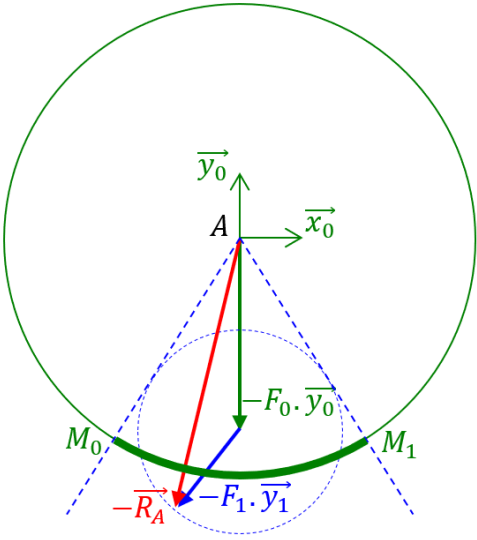
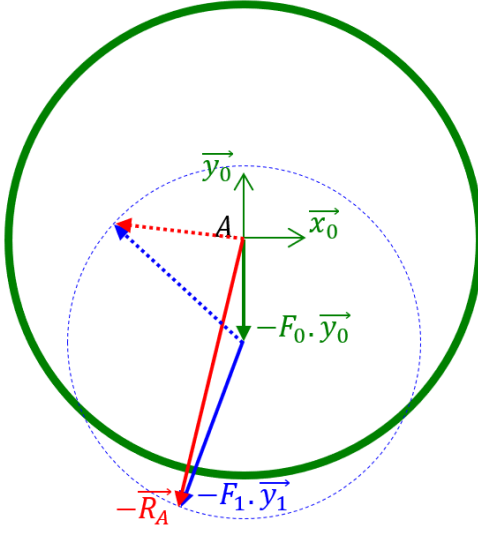
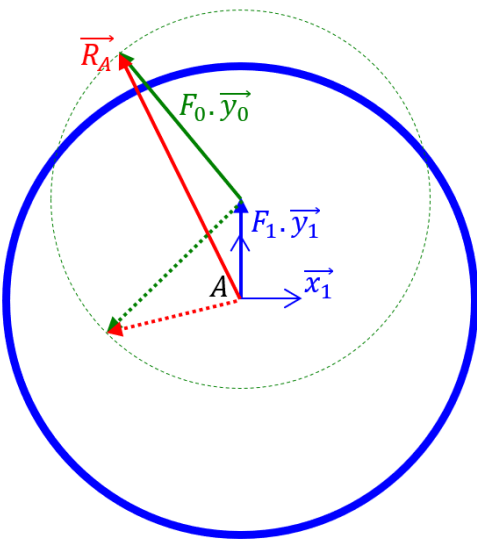
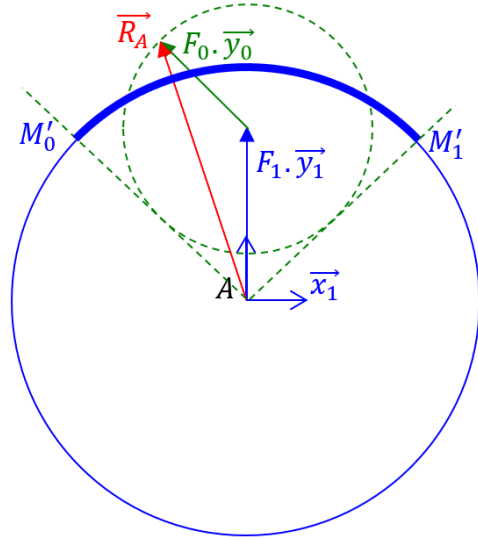
$$\begin{aligned} Y_{21} &= Y_{31} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2} \\ X_{21} &= \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \\ X_{31} &= \frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} + \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \end{aligned}$$

Et donc :

$$\begin{aligned} \vec{R}_A &= X_{21} \cdot \vec{x}_1 + Y_{21} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \left(\frac{m_1 \cdot g \cdot \sin \theta}{2} - \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \right) \cdot \vec{x}_1 + \frac{m_1 \cdot g \cdot \cos \theta}{2} \cdot \vec{y}_1 \\ &= \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} (\sin \theta \cdot \vec{x}_1 + \cos \theta \cdot \vec{y}_1) \\ &= \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \cdot \vec{y}_1 + \frac{m_1 \cdot g}{2} \cdot \vec{y}_0 \\ \vec{R}_A &= F_0 \cdot \vec{y}_0 + F_1 \cdot \vec{y}_1 \quad \text{avec} \quad F_0 = \frac{m_1 \cdot g}{2} \quad \text{et} \quad F_1 = \frac{(C_1 - A_1). \varepsilon. \dot{\theta}^2}{2 L} \end{aligned}$$

Question 54. $F_1 = F_0 \Leftrightarrow \frac{|(C_1 - A_1). \varepsilon| \cdot \dot{\theta}^2}{2 L} = \frac{m_1 \cdot g}{2} \quad \omega_{lim} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot g \cdot L}{|(C_1 - A_1). \varepsilon|}}$

Question 55.

Représentation de $-\vec{R}_A$ dans la base $(\vec{x}_0, \vec{y}_0)$	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
	
Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier est la circonférence entre les points M0 et M1.	Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le palier couvre l'intégralité de la circonférence du palier.
Représentation de $+\vec{R}_A$ dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1)$	
Pour $\dot{\theta} < \omega_{lim}$	Pour $\dot{\theta} > \omega_{lim}$
	
Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor couvre l'intégralité de la circonférence du rotor.	Conclusion : La zone où la charge s'applique sur le rotor est la circonférence entre les points M'0 et M'1.

Question 56. En phase de fonctionnement normal, la vitesse de rotation étant suffisamment inférieure à la vitesse limite, si le rotor était amené à se déformer alors la zone du palier où la charge s'appliquerait resterait limitée à celle prévue (à l'opposé des orifices d'injection du lubrifiant).

Par contre, en phase de délestage lorsque la vitesse de rotation va augmenter, celle-ci intervenant au carré dans l'expression de F_1 , la zone du palier où la charge va s'appliquer va croître très rapidement entraînant un risque de portance insuffisante et donc une usure prématurée du palier.

Étude des moyens de maintenance des Éléments d'un groupe hydroélectrique

Question 57.

- Longueur $\gg$ devant la section ;
- Matériau linéaire homogène et isotrope ;
- Les déformations sont petites ;
- Hypothèses de Navier-Bernoulli : les sections planes et perpendiculaires à l'axe de la poutre avant déformation restent planes et perpendiculaires à l'axe neutre après déformation ;
- Hypothèse de Saint Venant : les résultats de la RDM ne s'appliquent valablement qu'à une distance suffisamment éloignée de la région d'application des forces.

Question 58. Le poids propre de la poutre est modélisé par une charge uniformément répartie.

La charge utile du pont roulant est modélisée par une charge ponctuelle.

Le modèle possède 3 inconnues de liaisons que l'on peut déterminer grâce aux 3 équations du PFS dans le plan, le système est donc isostatique.

Question 59. $q = p.g.S = 56 \text{ kN.m}^{-1}$ $F_C = 600 \times 10 / 2 = 3000 \text{ kN}$

Question 60. $\{\tau_{coh}\} = \begin{pmatrix} N(x) & 0 \\ V(x) & 0 \\ 0 & M(x) \end{pmatrix}$

$N(x)$ = effort normal

$V(x)$ = effort tranchant

$M(x)$ = moment fléchissant

$0 < x < 5,8\text{m}$

$N(x) = 0$ $V(x) = q.x - R_{yA}$

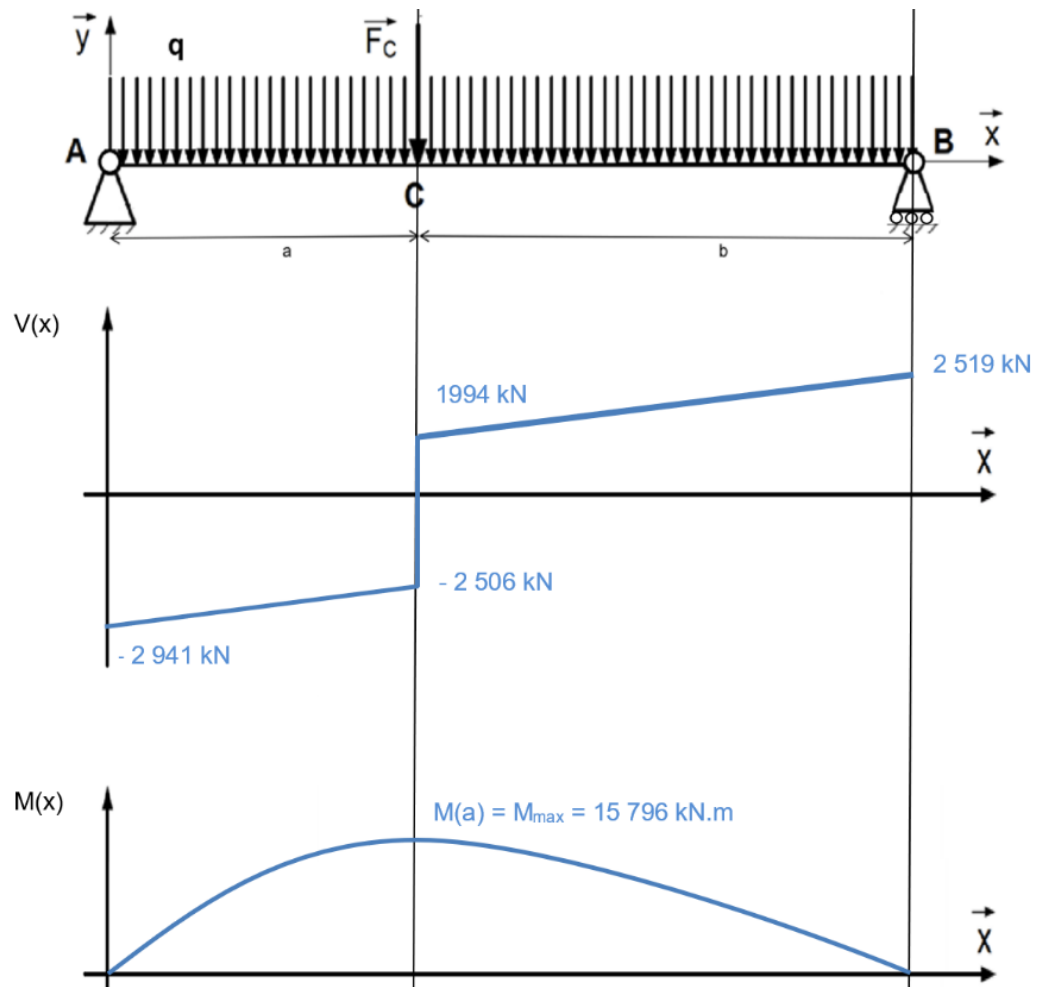
$M(x) = -q.x^2/2 + R_{yA}.x$

$5,8\text{m} < x < 12,8\text{m}$

$N(x) = 0$ $V(x) = F_C + q.x - R_{yA}$

$M(x) = -F_C.(x - 5,8) - q.x^2/2 + R_{yA}.x$

Question 61.



Question 62. $I = 0,2462 \text{ m}^4$ $\sigma_{\max} = 57,7 \text{ Mpa}$ $\sigma_{\max} = 288,5 \text{ Mpa} < 345 \text{ Mpa}$

Question 63. $E.I \cdot f_r(x) = q.L.x^3/12 - q.x^4/24 - q.L^3.x/24$ $f_r(x) = \frac{q.(2L.x^3 - x^4 - L^3.x)}{24.E.I}$

Question 64. $f_{r \text{ MAX}} = -\frac{5 q .L^4}{384 .E.I} = -0,53 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible $L/400 = 12,8 / 400 = 32 \text{ mm}$, l'exigence est bien respectée.

Question 65. La valeur maximale de la déformée est observée au point d'abscisse $x = 6,24 \text{ m}$.

Question 66. $f_r(6,24) = -0,32 \text{ mm}$ $f_p(6,24) = -3,95 \text{ mm}$

Flèche maximale : $\delta_{\max} = f_r(6,24) + f_p(6,24) = -0,32 - 3,95 = -4,27 \text{ mm}$

Flèche maximale admissible : $f_{\max} = 12,8/750 = 17,06 \text{ mm}$

$\delta_{\max} < f_{\max}$ La poutre est correctement dimensionnée vis-à-vis de la flèche.

Commentaires du jury

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

Les candidats ont majoritairement traité les différentes parties dans l'ordre proposé par le sujet.

Si la première partie a été abordée par tous les candidats, seules les deux premières questions ont obtenu une grande majorité de bonnes réponses. La définition du statisme a été mal comprise bien que la formule soit fournie. Le régime triphasé est peu traité et avec de nombreuses erreurs concernant les expressions des tensions triphasés (simples et composées) et des puissances triphasées.

La seconde partie portant sur la régulation de fréquence a été abordée par les trois-quarts des candidats mais seulement la moitié a obtenu des points. Quelques éléments de langage python sont présents. La notion d'asservissement est très peu abordée, et les diagrammes de Bode jamais utilisés.

La troisième partie portant sur l'étude dynamique de la turbine a été moins abordée que la précédente avec des résultats similaires. 50 % des candidats n'ont pas obtenu de points. On observe quelques lois de composition des vitesses correctement écrites mais beaucoup de relations vectorielles ne sont pas homogènes. Les expressions des torseurs sont peu maîtrisées. Les réponses qualitatives sont plutôt correctes tandis que les réponses calculatoires ne sont souvent pas abordées.

Bien que la partie traitant de l'ingénierie des constructions ait été la dernière partie du sujet, elle a été traitée par une majorité des candidats. La modélisation de la poutre et des différentes charges sont réussies. Les hypothèses de la théorie des poutres sont assez bien connues. Le tracé des diagrammes est souvent réussi même si les éléments du torseur de cohésion sont peu explicités. Le calcul de la déformée est plus laborieux et peu de candidats arrivent au terme des calculs. Les conclusions et l'utilisation du coefficient de sécurité sont maîtrisées. Malgré tout 10 % des candidats n'ont pas du tout abordé cette partie portant sur un sujet classique d'ingénierie des constructions.

Le jury constate que les meilleurs résultats sont obtenus par les candidats ayant abordé au moins trois parties. 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, de précision dans la présentation des copies et dans la rédaction. La présentation de la copie doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées. Trop de copies ressemblent à un brouillon tant au niveau de l'organisation que de l'écriture peu soignée. On rappelle que la rédaction des réponses doit toujours

commencer par indiquer le numéro exact de la question traitée. 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.

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.

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

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 pluritechnologique dans le domaine de la spécialité du concours dans l'option choisie en vue de prédire ou de vérifier son comportement et ses performances.

Résultats

Moyenne	7,16
Note minimale	3,58
Note maximale	18,27
Écart type	3,02

Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/15933/download>

Le sujet porte sur l'étude du CENTRE NAUTIQUE SPORT – LOISIRS à NOISY LE GRAND. Il s'agit d'un bâtiment devant accueillir du public et du personnel de bureau.

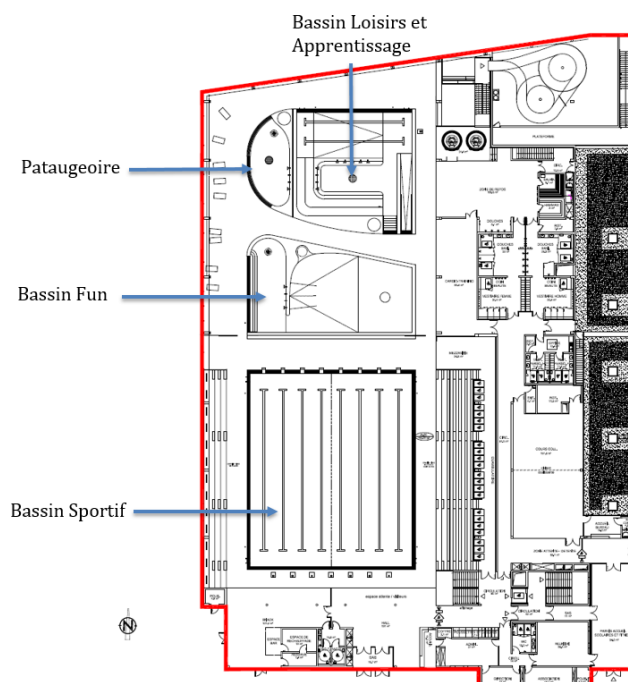


Figure 1 : Plan simplifié – niveau RdC haut

Les parties « structure » portent sur trois études indépendantes : une consacrée à l'étude d'une poutre métallique en treillis 3D ; une sur une poutre plein équivalente à la poutre treillis 3D ; une dernière sur une poutre continue en béton armé.

Les parties « confort » portent sur trois études indépendantes : une consacrée au système de climatisation afin de satisfaire le confort des occupants aussi bien en été qu'en hiver ; une portée sur les installations aquatiques mises à disposition des occupants pour faciliter leurs apprentissages à la natation ; une dernière portée quant à elle sur l'étude thermique d'un dissipateur.

Les auteurs remercient La Ville de Noisy Le Grand pour l'ensemble des données communiquées.

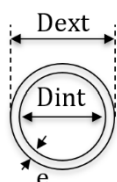
Éléments de correction

Étude 1 : étude d'une poutre métallique en treillis 3D

Question 1.1. La poutre treillis tridimensionnel permet de répondre aux aspects fonctionnels du projet (double chemin de roulement). En l'absence de contrainte de gabarit, c'est une solution structurale très performante pour cette gamme de portée (30 m). On peut également évoquer le parti-pris architectural (« transparence »), ainsi que d'autres aspects fonctionnels, de méthodes de construction ou de logistique.

Question 1.2. La section circulaire creuse est le profil le plus performant structurellement vis-à-vis du flambement. Le treillis ainsi formé permet également de simplifier l'entretien (empoussièrement, peinture). On peut également évoquer le parti-pris architectural.

Question 1.3. Les caractéristiques géométriques (aire, moment quadratique d'inertie et rayon de giration) du tube de membrure peuvent s'obtenir par soustraction de deux tubes pleins de même centre de gravité.



Grandeur du tube	Symbole/Formule	Q	U
Epaisseur	e	1	cm
Diamètre extérieur	D_{ext}	20	cm
Diamètre intérieur	$D_{int} = D_{ext} - 2.e$	18	cm
Aire extérieure	$A_{ext} = \pi \cdot \frac{D_{ext}^2}{4}$	314	cm ²
Aire intérieure	A_{int}	254	cm ²
Aire	$A = A_{ext} - A_{int}$	59	cm ²
Moment quadratique d'inertie	$I_{int} = \pi \cdot \frac{D_{int}^4}{64}$	7854	cm ⁴
Moment quadratique d'inertie	I_{ext}	5153	cm ⁴
Moment quadratique d'inertie	I	2701	cm ⁴
Rayon de giration	$i = \sqrt{I/A}$	6,73	cm

Question 1.4. La charge linéique p non pondérée reprise par la poutre treillis pour le chargement étudié peut être calculée en utilisant le concept de largeur d'influence.

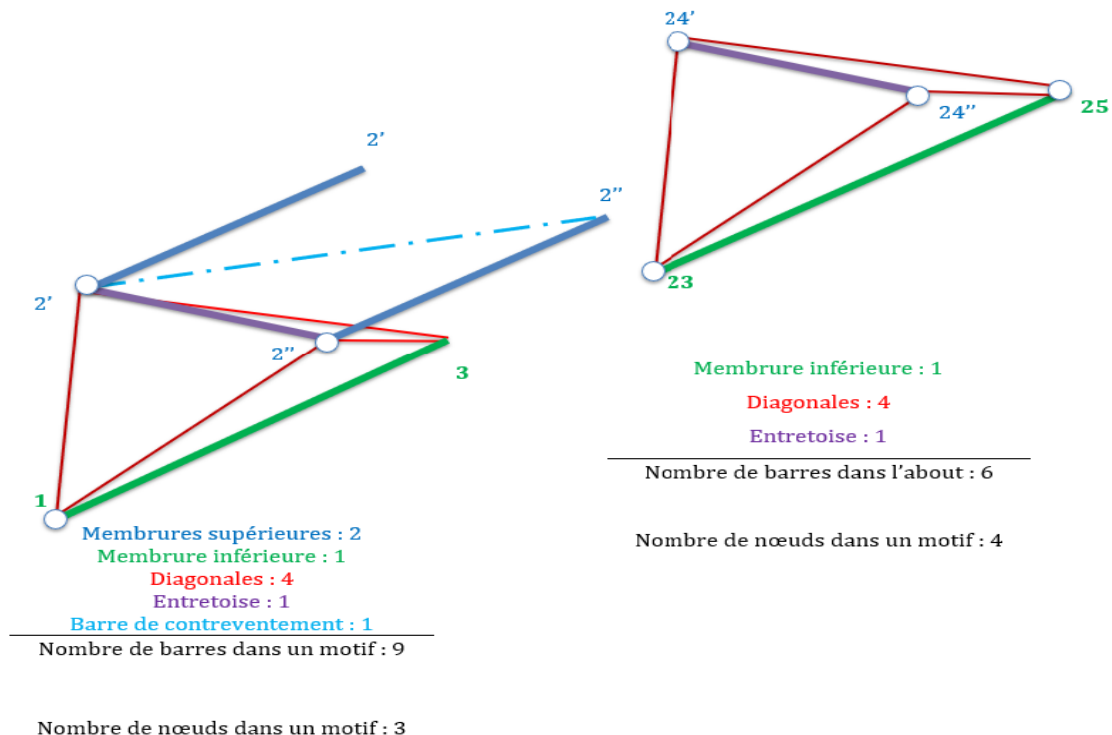
Grandeur	Symbole/Formule	Q	U
Poids propre de la toiture et de charpente secondaire :			
Charge surfacique	GO	0,70	kN/m ²
Largeur d'influence	LO	7,59	m
Charge linéique	go	5,31	kN/m
Poutre :			
Charge linéique	$g1$	3,6	kN/m
Neige :			
Charge surfacique	S	0,36	kN/m ²

Largeur d'influence	LO	7,59	m
Charge linéique	s	2,73	kN/m
Charge totale :			
Charge linéique	$p = g_0 + g_1 + s$	11,64	kN/m

Question 1.5. On reconnaît une poutre chargée uniformément sur de deux appuis. C'est un cas classique de chargement de structure extérieurement isostatique.

Grandeur	Symbole/Formule	Q	U
Chargement	p	12,00	kN/m
Longueur de chargement	L	30,00	m
Réaction d'appui	$R_{Ax} = R_{By} = p \cdot L/2$	180,00	kN

Question 1.6. Le degré d'hyperstatique s'obtient par le dénombrement des inconnues statiques et des équations d'équilibre. En faisant l'hypothèse d'un fonctionnement en treillis réticulé et chargé uniquement aux nœuds, on ne considérera qu'un fonctionnement en traction/compression des barres. C'est une hypothèse simplificatrice à la base du développement des méthodes de calculs des treillis. Plus les barres sont élancées, plus cette hypothèse est justifiée. C'est une hypothèse forte, car l'ensemble formé par les membrures supérieures et les entretoises fonctionnent davantage que comme un système réticulé comme une poutre échelle dans le plan horizontal. Dans notre analyse de la structure, l'effort dans chaque barre se réduira donc à un effort normal noté N . L'équilibre de chaque nœud apporte 3 équations d'équilibre. Le calcul du degré d'hyperstaticité H ci-après montre que la structure est isostatique. Afin de simplifier le dénombrement, on décompose le treillis en m motifs élémentaires et un motif d'about.



Nombre d'efforts de liaison (2 appuis simples et 2 rotules) : $R = 6$

Nombre de barres : $b = 9.m + 6$

Nombre d'efforts inconnus : $I = R + b = 9.m + 12$

Nombre de nœuds : $n = 3.m + 4$

Nombre d'équations : $E = 3.n = 9.m + 12$

Degré d'hyperstaticité : $H = I - E = 0$

Question 1.7. Une charge totale de 360 kN s'applique sur la poutre treillis et se transmet à 24 nœuds de chargement, uniformément répartis en partie supérieure de la poutre. La charge sur chaque nœud est égale à $F_i = 360/24 = 15 \text{ kN}$.

Question 1.8. Pour projeter simplement les efforts dans les diagonales, on utilisera leurs cosinus directeurs.

Coordonnées du vecteur : $\vec{N} = \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix}$

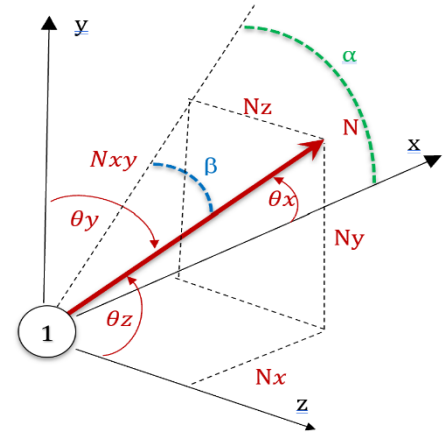
Norme du vecteur : $N = \sqrt{Nx^2 + Ny^2 + Nz^2}$

Définition des cosinus directeurs :

$$Nx = \cos(\theta_x) \cdot N$$

$$Ny = \cos(\theta_y) \cdot N$$

$$Nz = \cos(\theta_z) \cdot N$$



Relations entre les cosinus directeurs et les angles de repérage du treillis :

$$N_{xy} = \cos(\beta) \cdot N$$

$$Nx = \cos(\alpha) \cdot N_{xy} = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot N \rightarrow Nx/N = \cos(\theta_x) = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$Ny = \sin(\alpha) \cdot N_{xy} = \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot N \rightarrow Ny/N = \cos(\theta_y) = \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

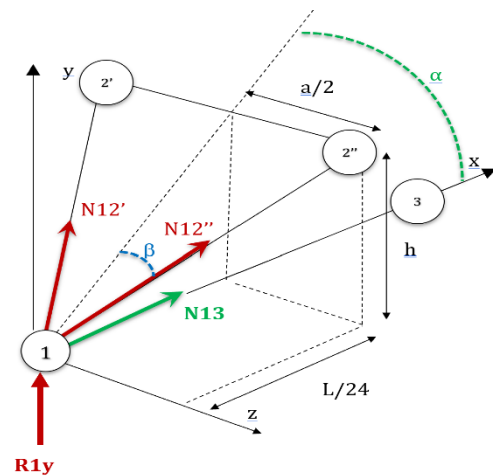
$$Nz = \sin(\beta) \cdot N \rightarrow Nz/N = \cos(\theta_z) = \sin(\beta)$$

Repérage des diagonales par leurs coordonnées :

Barre	1-2''	1-2'
$\Delta x = \pm L/24$	1,250	1,250
$\Delta y = \pm h$	2,000	2,000
$\Delta z = \pm a/2$	1,155	-1,155
$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$	2,626	2,626

Cosinus directeurs des diagonales :

Barre	1-2''	1-2'
$\cos(\theta_x) = Nx/N = \Delta x/D$	0,476	0,476
$\cos(\theta_y) = Ny/N = \Delta y/D$	0,762	0,762
$\cos(\theta_z) = Nz/N = \Delta z/D$	0,440	-0,440



On dénombre au nœud 1 trois efforts nodaux indépendants et une force nodale déterminée précédemment :

N_{13} (membrane inférieure)

N_{12}' (diagonale gauche)

N_{12}'' (diagonale droite)

$R_{1y} = 180 \text{ kN}$

Equations d'équilibre du nœud 1 :

$$\text{Equilibre latéral (z)} : 0,440 \cdot N_{12}'' - 0,440 \cdot N_{12}' = 0 \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{Equilibre vertical (y)} : 0,762 \cdot N_{12}'' + 0,762 \cdot N_{12}' + 180 = 0 \text{ (Eq. 2)}$$

$$\text{Equilibre horizontal (x)} : 0,476 \cdot N_{12}'' + 0,476 \cdot N_{12}' + N_{13} = 0 \text{ (Eq. 3)}$$

Résolution :

$$Eq. 1 \rightarrow N_{12''} = N_{12'}$$

$$Eq. 2 \rightarrow 2,0,762 \cdot N_{12''} + 180 = 0 \rightarrow N_{12''} = N_{12'} = -118,11 \text{ kN (compression)}$$

$$Eq. 3 \rightarrow -2,0,476 \cdot 118 + N_{13} = 0 \rightarrow N_{13} = 112,44 \text{ kN (traction)}$$

Question 1.9. On dénombre au nœud 2'' trois efforts nodaux indépendants et deux forces nodales déterminées précédemment :

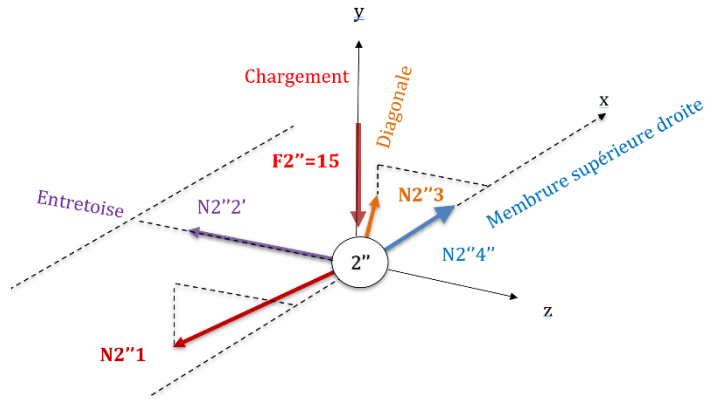
$N_{2''3}$ (diagonale)

$N_{2''2'}$ (entretoise)

$N_{2''4''}$ (membrane supérieure droite)

$F_{2''} = 15 \text{ kN}$

$N_{2''1} = -118,11 \text{ kN (compression)}$



Equations d'équilibre du nœud 2'' :

$$\text{Equilibre vertical (y)} : -0,762 \cdot (-118,11) - 0,762 \cdot N_{2''3} - 15 = 0 \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{Equilibre latéral (z)} : -0,440 \cdot (-118,11) - 0,440 \cdot N_{2''3} - N_{2''2'} = 0 \text{ (Eq. 2)}$$

$$\text{Equilibre horizontal (x)} : -0,476 \cdot (-118,11) + 0,476 \cdot N_{2''3} + N_{2''4''} = 0 \text{ (Eq. 3)}$$

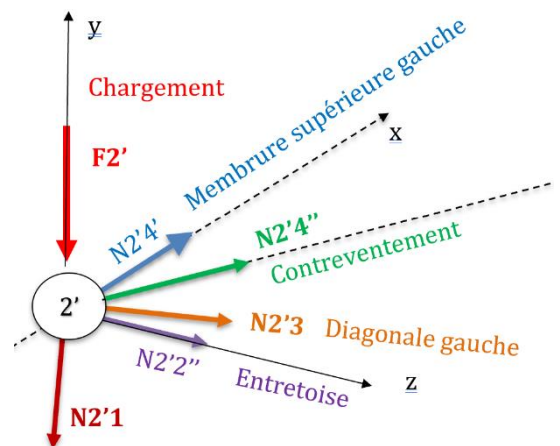
Résolution :

$$Eq. 1 \rightarrow N_{2''3} = 98,41 \text{ kN (traction)}$$

$$Eq. 2 \rightarrow N_{2''2'} = -0,440 \cdot (-118,11) - 0,440 \cdot 98,41 = 8,67 \text{ kN (traction)}$$

$$Eq. 3 \rightarrow N_{2''4''} = 0,476 \cdot (-118,11) - 0,476 \cdot 98,41 = -103,06 \text{ kN (compression)}$$

Question 1.10. Étant donné que seuls les efforts dans les membrures nous intéressent, l'analyse peut être ramenée à un treillis plan. Cette simplification est valable tant que les efforts dans les barres de contreventement sont négligeables. Dans le cas de charge étudié, on montre que les barres de contreventement ne sont pas sollicitées et que la symétrie dans le plan de chargement (1xy) est conservée.



Equations d'équilibre du nœud 2' :

$$\text{Equilibre vertical (y)} : -0,762 \cdot (-118,11) - 0,762 \cdot N_{2'3} - 15 = 0 \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{Equilibre latéral (z)} : 0,440 \cdot (-118,11) + 0,440 \cdot N_{2'3} + 8,67 + \cos(\theta Cx) \cdot N_{2'4''} = 0 \text{ (Eq. 2)}$$

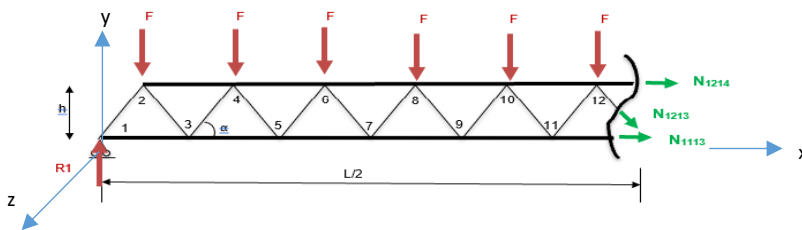
$$\text{Equilibre horizontal (x)} : -0,476 \cdot (-118,11) + 0,476 \cdot N_{2'3} + N_{2'4'} + \cos(\theta Cx) \cdot N_{2'4'} = 0 \text{ (Eq. 3)}$$

Résolution :

$$Eq. 1 \rightarrow N_{2'3} = 98,41 \text{ kN (traction)}$$

$$Eq. 2 \rightarrow \cos(\theta Cx).N_{2'4''} = -0,440.118,11 + 0,440.98,41 + 8,67 = 0$$

De proche en proche, on montre que les barres de contreventement ne sont pas sollicitées.



Equilibre des moments (z) au nœud 12 :

$$13,75.R1y - (12,5 + 10 + 7,5 + 5 + 2,5).F - h.N_{1113} = 0$$

$$13,75.180 - (12,5 + 10 + 7,5 + 5 + 2,5).30 - 2.N_{1113} = 0$$

$$\rightarrow N_{1113} = 675 \text{ kN (traction)}$$

Equilibre des moments (z) au nœud 13 :

$$15.R1y - (13,75 + 11,15 + 8,75 + 6,25 + 3,75 + 1,25).F + h.N_{1214} = 0$$

$$15.180 - (13,75 + 11,15 + 8,75 + 6,25 + 3,75 + 1,25).30 + 2.N_{1214} = 0$$

$$\rightarrow N_{1214} = -675 \text{ kN} \rightarrow N_{12'14'} = N_{12''14''} = -675/2 = -337,5 \text{ kN (compression)}$$

Question 1.11 La contrainte normale de traction ($\sigma = 127 \text{ MPa}$) est inférieure à la limite d'élasticité de l'acier ($f_y = 235 \text{ MPa}$). La barre est donc stable vis-à-vis du critère de traction.

Grandeur	Symbole / formule	Q	U
Effort dans une membrure tendue	N_{1113}	680	kN
Aire	A	53	cm ²
Contrainte normale	$\sigma = N/A$	127	MPa

Question 1.12 La contrainte normale de compression ($\sigma = 64 \text{ MPa}$) est inférieure à la limite d'élasticité de l'acier ($f_y = 235 \text{ MPa}$) et à la contrainte d'Euler ($\sigma_{cr} = 1220 \text{ MPa}$). La barre est stable vis-à-vis du critère de compression et de flambement.

Grandeur	Symbole / formule	Q	U
Effort dans la membrure comprimée	N	-340	kN
Aire	A	53	cm ²
Contrainte normale	$\sigma = N/A$	-64	MPa
Module de Young	E	210000	MPa
Moment quadratique d'inertie	I	1,94E-05	m ⁴
Longueur élément	L	2,5	m
Force d'Euler	$P_{cr} = -EI.(\pi/L)^2$	-6,42	MN
Contrainte critique	$\sigma_{cr} = P_{cr}/A$	-1220	MPa

Question 1.13. Les barres les plus sollicitées sont stables vis-à-vis des critères de résistance à la traction d'une part, à la compression et au flambement d'autre part. On peut donc exclure une défaillance locale. En toute rigueur, il faudrait également vérifier la diagonale la plus comprimée et la diagonale la plus tendue dans les zones proches des appuis. Une étude de stabilité globale à l'aide d'un logiciel professionnel permettrait d'évaluer ce dernier critère de manière précise. On remarquera que la conception de la membrure supérieure en « poutre-échelle » (encastrement des entretoises dans les membrures) permet d'augmenter la résistance au déversement d'ensemble de la poutre treillis. Les barres de contreventement ont été ajoutées dans le sujet afin de simplifier l'étude en treillis (réticulé) isostatique.

Étude 2 : étude d'une poutre pleine équivalente à une poutre en treillis 3D

Question 2.1. La position du centre de gravité évidente. Le moment quadratique d'inertie est calculé en utilisant le théorème de Huygens, tout en négligeant classiquement les termes d'inertie propre.

Grandeur	Symbole / formule	Q	U
Aire inférieure	A_{inf}	53,41	cm ²
Aire supérieur	A_{sup}	106,81	cm ²
Aire totale	A	160,2	cm ²
Hauteur de la section	h	200,0	cm
Position de la fibre supérieure / CDG	$v = h/3$	66,7	cm
Position de la fibre inférieure / CDG	$v' = 2/3 \cdot h$	133,3	cm
Moment quadratique d'inertie	$I = v^2 \cdot A_{sup} + v'^2 \cdot A_{inf}$	1 424 189	cm ⁴

Question 2.2. On reconnaît le cas classique de la poutre sur deux appuis, uniformément chargée :

Grandeur	Symbole / formule	Q	U
Chargement	p	12	kN/m
Longueur de chargement	L	30	m
Réaction d'appui	$R_A x = R_B y = p \cdot L/2$	180	kN
Effort tranchant	$V = p \cdot L/2$	180	kN
Moment fléchissant	$M = p \cdot \frac{L^2}{8}$	1350	kN.m

Question 2.3. On reconnaît le cas classique de la poutre sur deux appuis, uniformément chargée :

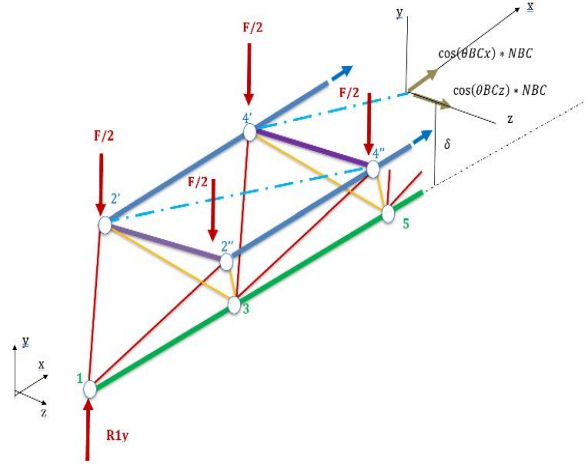
Grandeur	Symbole / formule	Q	U
Chargement	p	12	kN/m
Portée	L	30	m
Module de Young	E	2 10 000	MPa
Moment quadratique d'inertie	I	1 500 000	cm ⁴
Déplacement horizontal de l'appui	$\frac{5}{384} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EI}$	0,040	m

Question 2.4. Les efforts normaux dans les diagonales et les membrures supérieures et inférieures sont notés respectivement N_{diag}' , N_{diag}'' , N_{sup}' , N_{sup}'' , N_{inf} . On utilisera les propriétés de symétrie pour écrire $N_{diag}' = N_{diag}'' = N_{diag}$ et $N_{sup}' = N_{sup}'' = N_{sup}$. La relation recherchée est établie en écrivant l'équivalence des efforts normaux dans les membrures du treillis et les sollicitations internes (NVM) de la poutre équivalente. L'équivalence des moments/z au centre de gravité de la membrure supérieure s'écrit : $M = -h \times 2 \cdot N_{sup} \rightarrow N_{sup} = -M/(2 \cdot h)$

Question 2.5. En raisonnant de la même manière que précédemment, l'équivalence des moments/z au centre de gravité de la membrure inférieure s'écrit : $M = -h \cdot N_{inf} \rightarrow N_{inf} = M/h$

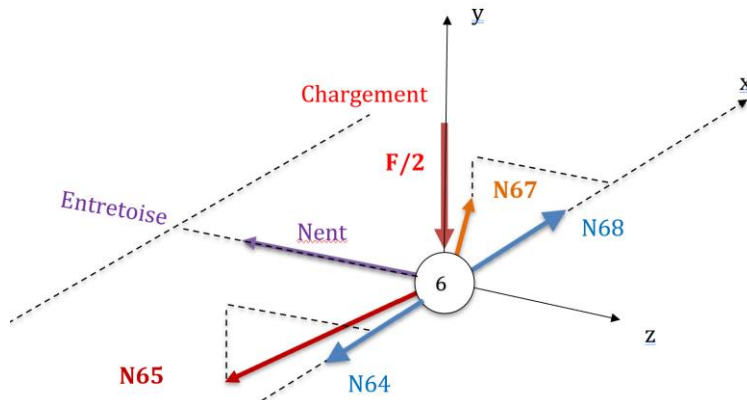
Question 2.6. En notant $\cos(\theta_y)$, le cosinus directeur de la diagonale par rapport à l'axe y, l'équivalence des effort verticaux/y s'écrit : $V = 2 \cdot \cos(\theta_y) \cdot N_{diag} = 2 \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot N_{diag} \rightarrow N_{diag} = V / (2 \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta))$

Question 2.7. La barre de contreventement est notée « BC », son effort normal NBC et son cosinus directeur $\cos(\theta_{BCz})$. En réalisant une coupure dans une section comprenant une barre de contreventement et en écrivant l'équation d'équilibre des moments selon x au nœud de la membrure inférieure accueillant les diagonales coupées, et en notant δ le bras de levier ($\delta = h$), on montre que :



$$\underbrace{0 \cdot R1y}_{=0} + \sum \left(\underbrace{\frac{a}{2} \cdot \frac{F}{2} - \frac{a}{2} \cdot \frac{F}{2}}_{=0} \right) + \cos(\theta_{BCz}) \cdot NBC \cdot \delta = 0 \rightarrow NBC = 0$$

On en déduit qu'en l'absence de chargement latéral, la barre de contreventement n'est pas chargée. L'effort dans l'entretoise s'obtient en faisant l'équilibre latéral d'un nœud de la membrure verticale.



Equilibre vertical (y) : $-\frac{F}{2} - \cos(\theta_y) \cdot N6''5 - \cos(\theta_y) \cdot N6''7 = 0 \rightarrow -\frac{F}{2 \cdot \cos(\theta_y)} = N6''5 + N6''7$

Equilibre latéral (z) : $-Nent - \cos(\theta_z) \cdot N6''5 - \cos(\theta_z) \cdot N6''7 = 0 \rightarrow -\frac{Nent}{\cos(\theta_z)} = N6''5 + N6''7$

En égalant les deux expressions :

$$\frac{Nent}{\cos(\theta_z)} = \frac{F}{2 \cdot \cos(\theta_y)} \rightarrow Nent = \frac{\cos(\theta_z)}{\cos(\theta_y)} \cdot \frac{F}{2} = \frac{\sin(\beta)}{\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)} \cdot \frac{F}{2} = \frac{\tan(\beta)}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{F}{2}$$

En introduisant la variation d'effort tranchant dans la poutre équivalente ΔV provoquée par la force nodale au nœud F , on peut écrire : $\Delta V = F \rightarrow Nent = \frac{\tan(\beta)}{\sin(\alpha)} \cdot \frac{\Delta V}{2}$

Application numérique : $F = 30 \text{ kN}$, $\cos(\theta_z) = 0,440$, $\cos(\theta_y) = 0,762$

$$Nent = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,440}{0,762} \cdot 30 = 8,67 \text{ kN (traction)}$$

Question 2.8. En appliquant la formule de définition de l'énergie interne élastique à un tronçon de la poutre équivalente de longueur m suffisamment petite pour considérer que les sollicitations (V, M) sont constantes, on peut écrire :

$$W_{int, poutre} = \frac{1}{2} \cdot \int_x^{x+m} \left\{ \frac{N^2}{E \cdot A} + \frac{V^2}{GA'} + \frac{M^2}{E \cdot I} \right\} \cdot dx = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V^2}{G \cdot Aeq'} + \frac{M^2}{E \cdot Ieq} \right) \cdot m$$

Question 2.9. En appliquant la formule de définition de l'énergie interne élastique à un tronçon de la poutre treillis de longueur m et en considérant les sollicitations (N) dans les barres du treillis, on peut écrire :

Longueur d'une diagonale entre les abscisses horizontales x et $x+m$: $\frac{m}{\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)}$

$$N_{inf} = M/h$$

$$N_{sup} = -M/(2 \cdot h)$$

$$N_{diag} = V/(2 \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha))$$

$$W_{int, treillis} = \frac{1}{2} \cdot \int_0^m \left\{ \frac{N_{inf}^2}{E \cdot A} + 2 \cdot \frac{N_{sup}^2}{E \cdot A} \right\} \cdot dx + \frac{1}{2} \cdot \int_0^{\frac{m}{\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)}} \left\{ 2 \cdot \frac{N_{diagonale}^2}{E \cdot A} \right\} \cdot dx$$

$$W_{int, treillis} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{M^2}{E \cdot A \cdot h^2} \cdot m + 2 \cdot \frac{M^2}{E \cdot A \cdot 4 \cdot h^2} \cdot m + 2 \cdot \frac{V^2}{E \cdot A \cdot 4 \cdot \cos^2(\beta) \cdot \sin^2(\alpha)} \cdot \frac{m}{\cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)} \right)$$

$$W_{int, treillis} = \frac{1}{2} \cdot \frac{M^2}{E \cdot h^2} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{1}{2A} \right) \cdot m + \frac{1}{2} \cdot \frac{V^2}{E \cdot 2 \cdot A} \cdot \left(\frac{1}{\cos^3(\beta) \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} \right) \cdot m$$

Question 2.10. Par identification des termes dans les deux expressions de W_{int} , on obtient :

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{M^2}{E \cdot h^2} \cdot \left(\frac{3}{2A} \right) \cdot m = \frac{1}{2} \cdot \frac{M^2}{E \cdot Ieq} \cdot m \rightarrow Ieq = \frac{2}{3} \cdot A \cdot h^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{V^2}{G \cdot Aeq'} \cdot m = \frac{1}{2} \cdot \frac{V^2}{E \cdot 2 \cdot A} \cdot \left(\frac{1}{\cos^3(\beta) \cdot \sin^2(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} \right) \cdot m \rightarrow A'eq = 2 \cdot \frac{E}{G} \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^3 \beta \cdot A$$

Question 2.11. La flèche se calcule à l'aide d'un théorème énergétique. L'utilisation des intégrales de Mohr permet de simplifier les calculs :

$$\delta = \int_0^L \frac{M \cdot \bar{M}^*}{E \cdot Ieq} + \frac{V \cdot \bar{V}^*}{G \cdot Aeq'} dx = \frac{5}{12 \cdot E \cdot Ieq} \cdot L \cdot p \cdot \frac{L^2}{8} \cdot \frac{L}{4} + 2 \cdot \frac{L}{2 \cdot 2} \cdot \frac{p \cdot L}{4} \cdot \frac{1}{G \cdot Aeq'}$$

$$\delta = \frac{5}{384 \cdot E \cdot Ieq} \cdot p \cdot L^4 + \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot G \cdot A'eq}$$

Application numérique :

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$G = 80\,000 \text{ MPa}$$

$$A = 53 \text{ cm}^2$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$\cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^3 \beta = 0,276$$

$$Ieq = \frac{2}{3} \cdot A \cdot h^2 = 1\,424\,266 \text{ cm}^4$$

$$A'eq = 2 \cdot \frac{E}{G} \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^3 \beta \cdot A = 77 \text{ cm}^2$$

$$\delta = 0,040 + 0,004 = 0,044 \text{ m}$$

On remarque que la flèche de cisaillement du modèle poutre équivalente, assimilable à la déformation des diagonales du modèle poutre treillis, est de l'ordre de 10% de la flèche de flexion du modèle poutre équivalente.

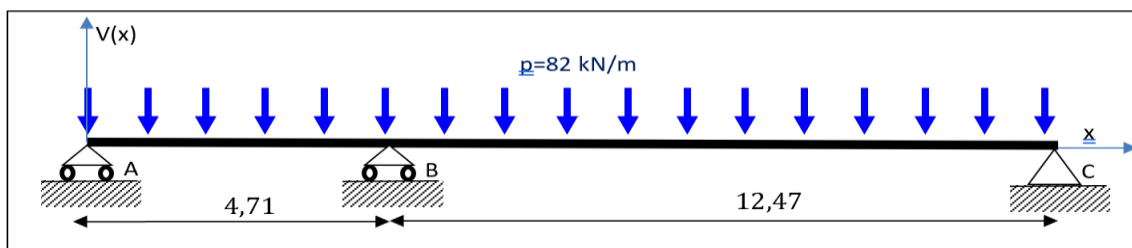
Question 2.12. Plus la modélisation est sophistiquée, plus elle permet de prendre en compte les énergies de déformation de la structure. Cependant, les résultats des différentes modélisations restent cohérents avec l'approximation simpliste de la poutre équivalente, ce qui valide son utilisation en phase d'avant-projet. Il est d'usage de majorer de 15% la flèche de la formule classique de la flèche de flexion.

Question 2.13. La méthode de la poutre équivalente permet avec une précision acceptable en phase d'avant-projet de ramener l'étude d'un poutre treillis, y compris spatiale, à celle d'une poutre pleine classique.

Étude 3 : étude d'une poutre continue en béton armé

Question 3.1. La poutre repose sur 3 appuis, deux poteaux P1 (Appui A), P2 (Appui B) et un poteau/voile P3 (Appui C). L'appui P3 étant plus profond que la poutre n'est haute, l'axe de l'appui est situé à une profondeur égale à la moitié de la hauteur de la poutre.

Question 3.2



Modélisation de la poutre continue sous chargement linéique, les portées sont en m.

On applique la formule des trois moments en supposant que $E.I$ est constant :

$$2(L_{AB} + L_{BC}) \cdot M_B = 6 \cdot E \cdot I \cdot \left(-\frac{p_{BC} \cdot L_{BC}^3}{24 \cdot EI} - \frac{p_{AB} \cdot L_{AB}^3}{24 \cdot EI} \right)$$

$$2(4,71 + 12,47) \cdot M_B = -6 \cdot \frac{82}{24} \cdot (12,47^3 + 4,71^3)$$

$$M_B = -1219 \text{ kN.m}$$

Les efforts tranchants sur appui sont calculés en dérivant la courbe des moments :

$$V(x) = -M'(x) = V_{iso}(x) - \frac{\Delta M}{L}$$

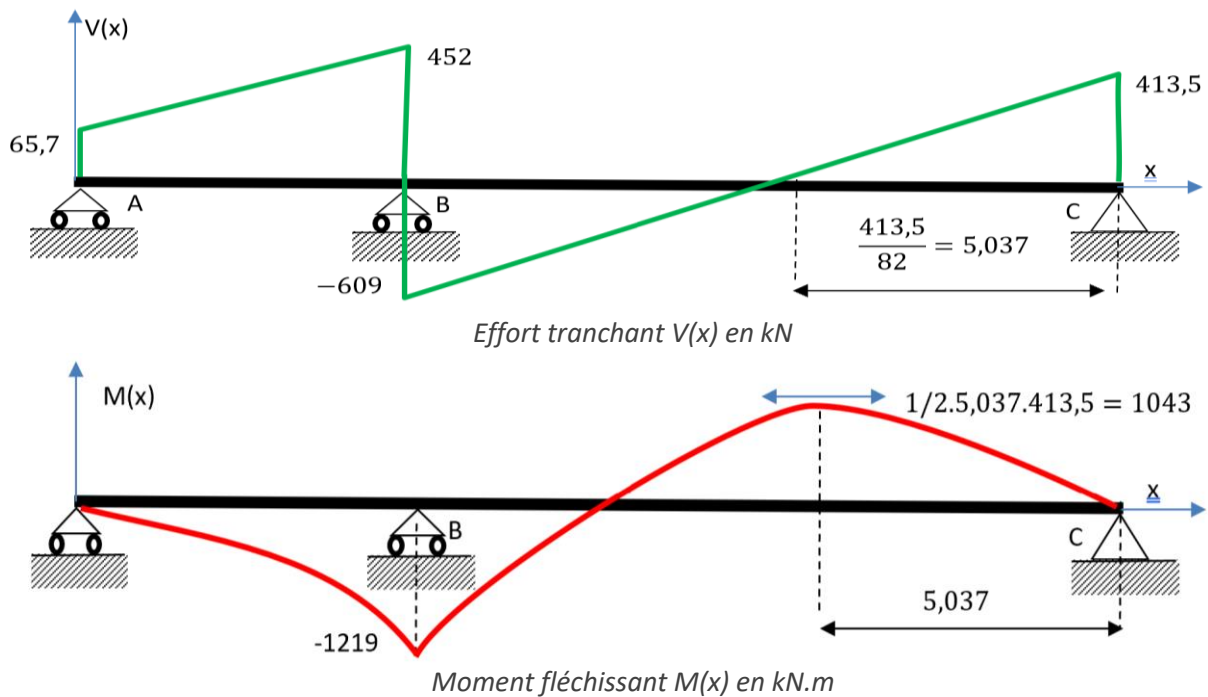
$$V_{AB} = -\frac{p \cdot L_{AB}}{2} - \frac{M_B}{L_{AB}} = -\frac{82 \cdot 4,71}{2} + \frac{1219}{4,71} = 65,7 \text{ kN}$$

$$V_{BA} = +\frac{p \cdot L_{AB}}{2} - \frac{M_B}{L_{AB}} = \frac{82 \cdot 4,71}{2} + \frac{1219}{4,71} = 452 \text{ kN}$$

$$V_{BC} = -\frac{p \cdot L_{BC}}{2} + \frac{M_B}{L_{BC}} = -\frac{82 \cdot 12,47}{2} - \frac{1219}{12,47} = -609 \text{ kN}$$

$$V_{CB} = +\frac{p \cdot L_{BC}}{2} + \frac{M_B}{L_{BC}} = +\frac{82 \cdot 12,47}{2} - \frac{1219}{12,47} = 413,5 \text{ kN}$$

Le moment maximum en travée s'obtient en recherchant l'abscisse d'effort tranchant V nul directement sur la figure en utilisant la propriété $\Delta x = -\Delta V/p$, puis en calculant la valeur du moment à ce point en utilisant la propriété $M = -\int V dx$.

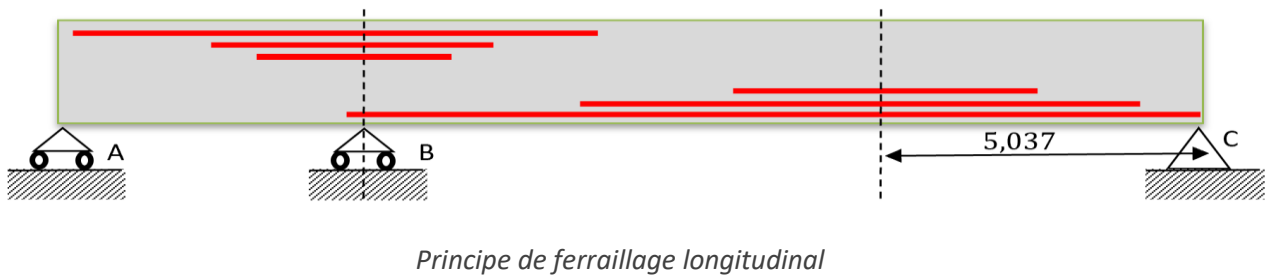


Question 3.3. En élasticité, la répartition des contraintes normales suit la loi de Navier : $\sigma = -\frac{M}{I} \cdot y$

Sur appui :
 $\sigma_{sup} = (1,219/0,18) \cdot 0,559 = 3,8 \text{ MPa}$
 $\sigma_{inf} = - (1,219/0,18) \cdot 0,921 = -6,3 \text{ MPa}$

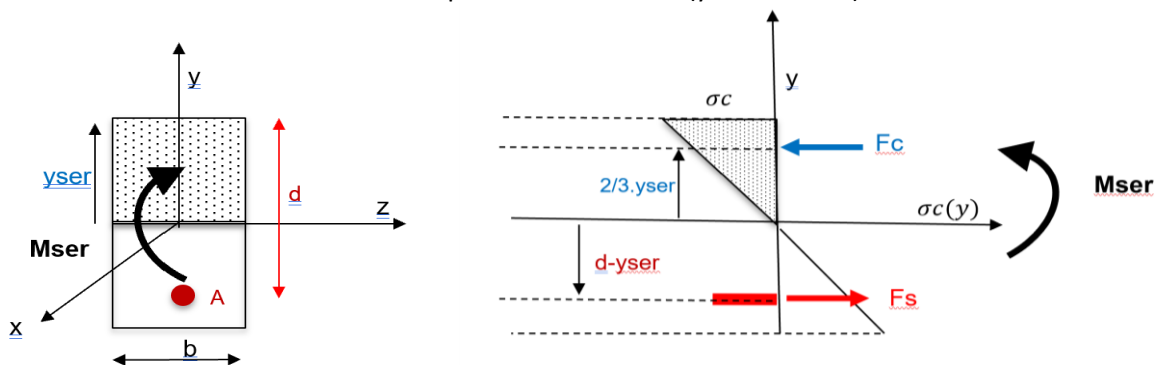
En travée :
 $\sigma_{sup} = - (1,043/0,18) \cdot 0,559 = -3,25 \text{ MPa}$
 $\sigma_{inf} = (1,043/0,18) \cdot 0,921 = 5,4 \text{ MPa}$

Les aciers de flexion sont placés en fibre tendue.



Question 3.4. Equation d'équilibre de la section fissurée homogénéisée de béton armé

Cas 1 : l'axe neutre est situé dans la table supérieure du caisson ($y_{ser} < 15 \text{ cm}$)



σ_c est la contrainte en fibre supérieure du béton comprimé

σ_s est la contrainte dans les aciers tendus

y_{ser} est la distance entre l'axe neutre et la fibre supérieure du béton comprimé

b est la largeur de la section rectangulaire de béton

L'effort normal est nul, on peut donc écrire : $N = 0 = F_c + F_s$

Force de compression dans le béton : $F_c = \frac{1}{2} \cdot y_{ser} \cdot b \cdot \sigma_c$

Force de traction dans l'acier : $F_s = A \cdot \sigma_s$

L'hypothèse de Navier permet de calculer la déformation dans l'acier $\varepsilon_s = -\frac{d-y_{ser}}{y_{ser}} \varepsilon_c$

En appliquant le coefficient d'équivalence n des modules d'élasticité des matériaux ($n=15$), on obtient la contrainte $\sigma_s = n \cdot \frac{d-y_{ser}}{y_{ser}} |\sigma_c|$

En simplifiant par σ_c , on obtient : $\frac{1}{2} \cdot y_{ser} \cdot b = n \cdot A \cdot \frac{d-y_{ser}}{y_{ser}}$

L'axe neutre y_{ser} est la solution de l'équation :

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y_{ser}^2 + n \cdot A \cdot y_{ser} - n \cdot A \cdot d = 0$$

Cas 2 : l'axe est neutre situé dans l'âme du caisson du caisson ($y_{ser} < 15 \text{ cm}$). Pour prendre en compte la nouvelle géométrie, on considère une section pleine de largeur de table bf et de hauteur y_{ser} , tout en retranchant une section pleine de largeur $bf - bw$ et de hauteur $y_{ser} - hf$.

$$F_c = \frac{1}{2} \cdot y_{ser} \cdot bf \cdot \sigma_c - \frac{1}{2} \cdot (y_{ser} - hf) \cdot (bf - bw) \cdot \frac{(y_{ser} - hf)}{y_{ser}} \sigma_c = F_s = n \cdot A \cdot \frac{d - y_{ser}}{y_{ser}} \cdot \sigma_c$$
$$\frac{1}{2} \cdot y_{ser}^2 \cdot bf - \frac{1}{2} \cdot (y_{ser} - hf)^2 \cdot (bf - bw) = n \cdot A \cdot (d - y_{ser})$$
$$\frac{1}{2} \cdot y_{ser}^2 \cdot bf - \frac{1}{2} \cdot (y_{ser}^2 - 2 \cdot y_{ser} \cdot hf + hf^2) \cdot (bf - bw) = n \cdot A \cdot (d - y_{ser})$$
$$\frac{1}{2} \cdot y_{ser}^2 \cdot bw + y_{ser} \cdot hf \cdot (bf - bw) - \frac{1}{2} \cdot hf^2 \cdot (bf - bw) = n \cdot A \cdot (d - y_{ser})$$

L'axe neutre y_{ser} est la solution de l'équation :

$$\frac{1}{2} \cdot bw \cdot y_{ser}^2 + ((bf - bw) \cdot hf + n \cdot A) \cdot y_{ser} - \frac{1}{2} \cdot (bf - bw) \cdot hf^2 - n \cdot A \cdot d = 0$$

Question 3.5. Application numérique

Cas 1 : Axe neutre dans la table.

$$100 \cdot y_{ser}^2 + 589 \cdot y_{ser} - 82467 = 0$$

Racine positive : $y_{ser} = 25,9 \text{ cm} < hf = 15 \text{ cm}$

L'axe neutre n'est pas dans la table

Cas 2 : Axe neutre dans l'âme

$$40 \cdot y_{ser}^2 + (120 \cdot 15 + 589) \cdot y_{ser} - (120) \cdot 15^2 / 2 - 82467 = 0$$

$$40 \cdot y_{ser}^2 + 2389 \cdot y_{ser} - 95967 = 0$$

Racine positive : $y_{ser} = 27,5 \text{ cm} > hf = 15 \text{ cm}$

L'axe neutre est dans l'âme

Question 3.6. Expression du moment quadratique d'inertie

$$I1 = I_{ser,section\ fictive} = \iint y^2 \cdot dA = \int_0^{y_{ser}} b_f \cdot y^2 \cdot dy = b_f \frac{y_{ser}^3}{3}$$

$$I2 = I_{ser,section\ à\ retrancher} = \iint y^2 \cdot dA = \int_0^{y_{ser}-h_f} (b_f - b_w) \cdot y^2 \cdot dy = (b_f - b_w) \frac{(y_{ser} - h_f)^3}{3}$$

$$I3 = I_{ser,acier} = n \cdot A \cdot (d - y_{ser})^2$$

$$I_{ser} = I1 - I2 + I3 = b_f \cdot \frac{y_{ser}^3}{3} - (b_f - b_w) \frac{(y_{ser} - h_f)^3}{3} + n \cdot A \cdot (d - y_{ser})^2$$

Question 3.7 Application numérique

$$I_{ser} = 200 \cdot \frac{27,5^3}{3} - (120) \frac{(12,5)^3}{3} + 589 \cdot (112,5)^2$$

$$I_{ser} \sim 8\,763\,500 \text{ cm}^4$$

Question 3.8. Les contraintes normales dans le béton comprimé en fibre supérieure ($y = y_{ser}$) et dans l'acier tendu ($y = d - y_{ser}$) sont calculées à l'aide de formule classique de la flexion : $\sigma(x, y) = \frac{M(x)}{I} \cdot y$

$$M_{ser} = 1,220 \text{ MN.m}$$

$$I_{ser} = 0,0876 \text{ m}^4$$

$$\frac{M_{ser}}{I_{ser}} = 13,92 \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}$$

$$y_{ser} = 0,275 \text{ m}$$

$$\sigma_c = \frac{M_{ser}}{I_{ser}} \cdot y_{ser} = 13,92 \cdot 0,275 = 3,8 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n \cdot \frac{M_{ser}}{I_{ser}} \cdot (d - y_{ser}) = 15 \cdot 13,92 \cdot 112,5 = 235 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_s = 500 \text{ MPa}$$

Question 3.9. La contrainte de cisaillement d'effort tranchant est calcul à l'aide de la formule de Jouravski. La contrainte maximale est obtenue à l'axe neutre ($y = 0$).

$$S(y) = \iint y \cdot dA = \sum A_i \cdot d_i \rightarrow S(0) = b_f \cdot \frac{y_{ser}^2}{2} - (b_f - b_w) \cdot \frac{(y_{ser} - h_f)^2}{2}$$

$$S(0) = 2 \cdot \frac{0,275^2}{2} - 1,2 \cdot \frac{0,125^2}{2} = 0,0663 \text{ m}^3$$

$$I = I_{ser} = 0,0876 \text{ m}^4$$

$$V = 0,610 \text{ MN}$$

$$b(0) = b_w = 0,8 \text{ m}$$

$$\tau(0) = \frac{S(0)}{b(0) \cdot I} \cdot V = \frac{0,0663}{0,8 \cdot 0,0876} \cdot 0,610 = 0,58 \text{ MPa}$$

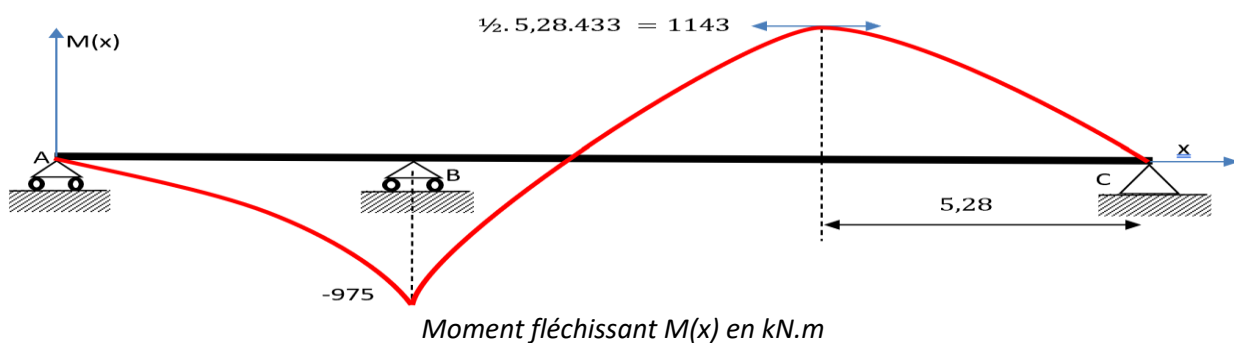
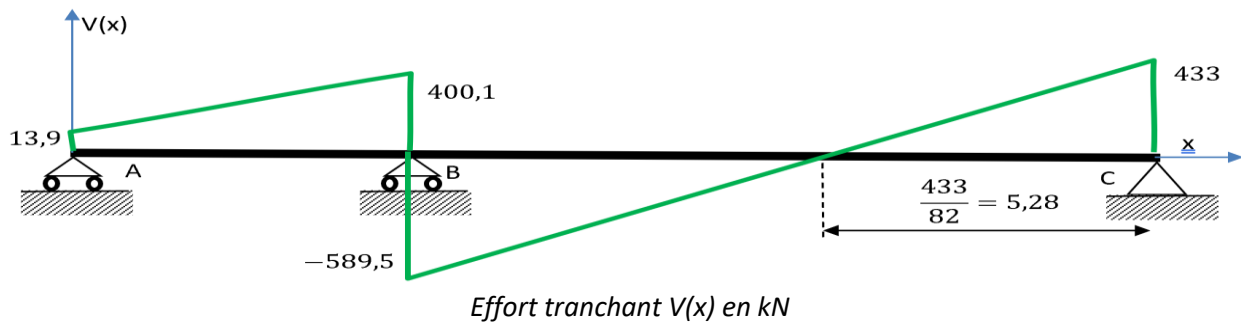
Il était également possible de considérer la section de béton non fissurée. A l'état limite ultime la réglementation s'appuie sur la modélisation en treillis de Ritter-Mörsch pour établir le critère de résistance à l'effort tranchant.

Question 3.10. La redistribution plastique dans les poutres en béton armé permet de transférer une partie du moment fléchissant des appuis continus vers les travées. Ce transfert de sollicitation est rendu possible par la ductilité des sections sur appui, c'est-à-dire leur capacité à former des rotules plastiques après fissuration du béton tendu. Ce phénomène optimise l'usage des armatures et améliore la répartition des efforts dans la structure. C'est en réalité la conception du ferrailage qui permet cette redistribution des efforts.

Moment sur appui après redistribution : $M_B = 80\% \cdot (-1219) = -975 \text{ kN.m}$

Les efforts tranchants sur appui sont calculés en dérivant la courbe des moments :

$VAB = -82 \cdot 4,71/2 + 975/4,71 = 13,9 \text{ kN}$	$VBC = -82 \cdot 12,47/2 - 975/12,47 = -589,5 \text{ kN}$
$VBA = +82 \cdot 4,71/2 + 975/4,71 = 400,1 \text{ kN}$	$VCB = +82 \cdot 12,47/2 - 975/12,47 = 433 \text{ kN}$



Question 3.11. On applique à nouveau la formule des 3 moments en imposant un tassement d'appui de 5 cm.

$$\Omega_{AB} = (v_B - v_A)/L_{AB} = (-0,05 - 0)/4,71 = -0,01062 \text{ Rad}$$

$$\Omega_{BC} = (v_C - v_B)/L_{BC} = (0 + 0,05)/12,47 = 0,00410 \text{ Rad}$$

$$E = E_c = E_s/n = 200\,000/15 = 13\,333 \text{ MPa}$$

$$I = I_{ser} = 0,0876 \text{ m}^4$$

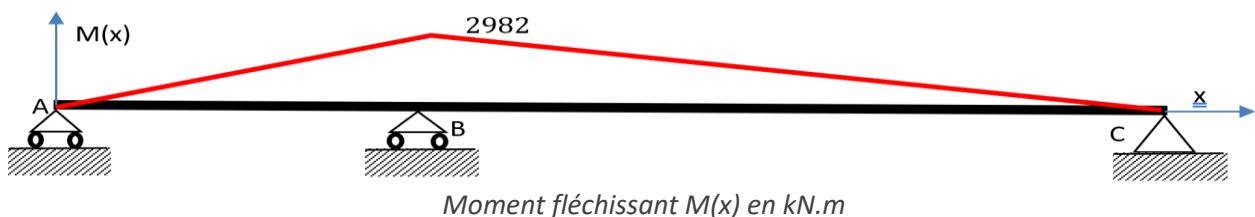
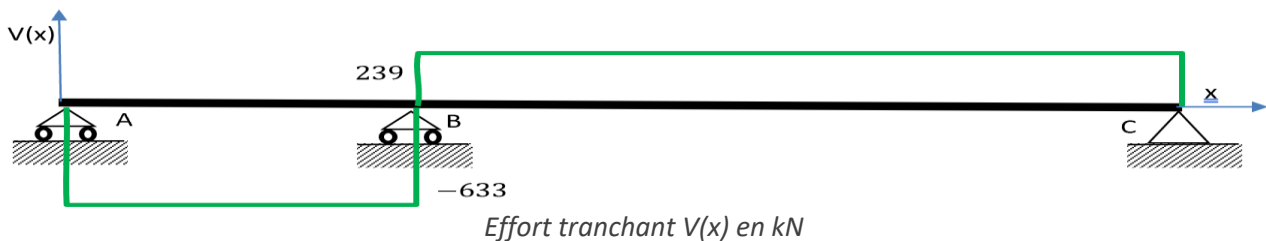
$$E \cdot I = 13\,333 \cdot 0,0876 = 1168 \text{ MN.m}^2$$

$$2 \cdot (L_{AB} + L_{BC}) \cdot M_B = 6 \cdot EI \cdot (\Omega_{BC} - \Omega_{AB})$$

$$2 \cdot (4,71 + 12,47) \cdot M_B = 6 \cdot 1168 \cdot (0,01462) \rightarrow M_B = 2,982 \text{ MN.m} = 2982 \text{ kN}$$

Les efforts tranchants sur appui sont calculés en dérivant la courbe des moments ($V = -M'$)

$VAB = -2982/4,71 = -633 \text{ kN}$	$VBC = 2982/12,47 = 239 \text{ kN}$
--------------------------------------	-------------------------------------



Le tassement sur appui conduit à un moment positif très important. Si le moment résultant de la combinaison de cas de charge (combinaison non demandée dans le sujet) dépasse la capacité résistante de la section sur appui, alors le moment sur appui est « redistribué en travée » au-delà du moment plastique de la section sous moment positif.

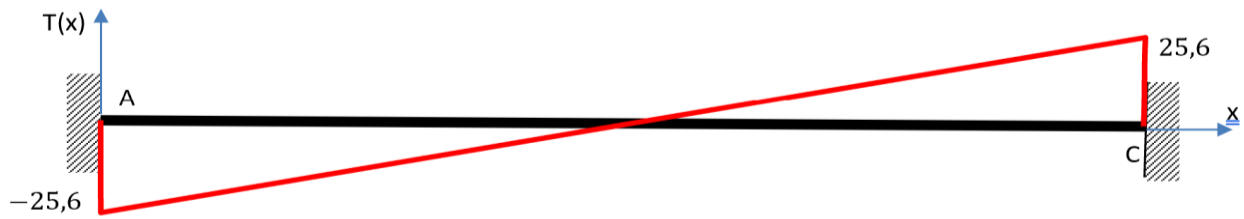
Question 3.12. La poutre est encastrée aux abouts dans des voiles perpendiculaires. Elle peut être modélisée comme une poutre bi-encastrée vis-à-vis de la torsion. La longueur de torsion correspond à la distance entre nus des voiles d'encastrement.

Moment de torsion provoqué par l'excentrement de la charge linéique : $t = 0,5m \cdot 6 \text{ kN/m} = 3 \text{ (kN.m)/m}$

Longueur de torsion de la poutre bi-encastrée lue sur les plans : $L = 17,08 \text{ m}$

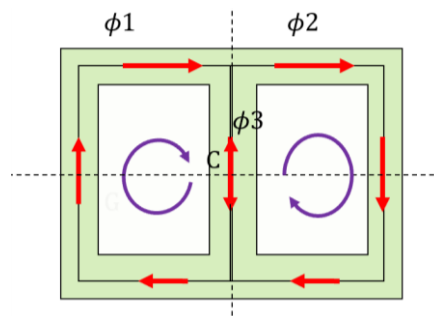
Moment de torsion à l'encastrement : $TA = -TC = -L/2 \cdot t = -17,08/2 \cdot 3 = -25,62 \text{ kN.m}$

Moment de torsion à mi-travée : $T = 0$



Moment de torsion $T(x)$ en kN.m

Question 3.13.



Si l'on considère le flux de cisaillement $\phi = \tau \cdot e \text{ (N/m)}$, on peut écrire sa conservation dans les éléments du caisson :

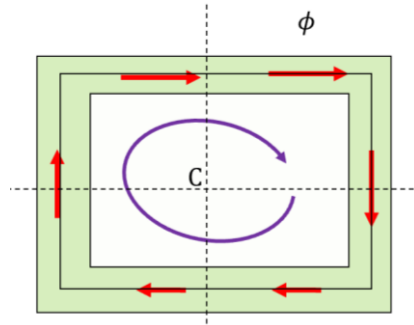
Conservation du flux de cisaillement à la jonction membrure supérieure – âme centrale : $\phi_1 = \phi_2 + \phi_3$

Conservation du flux de cisaillement à la jonction membrure inférieure – âme centrale : $\phi_2 = \phi_1 + \phi_3$

On en déduit que nécessairement $\phi_3 = 0$.

L'âme centrale ne contribue pas à la résistance à la torsion.

On considère un caisson simple de côté $200 \times 79 \text{ cm}$:



$$T = 25,63 \text{ kN.m} = 0,02563 \text{ MN.m}$$

$$\Omega = (200 - 25) \cdot \left(89 - \frac{15}{2} - \frac{21}{2}\right) = 12425 \text{ cm}^2 = 1,234 \text{ m}^2$$

Le flux de cisaillement est constant dans le caisson, on étudie la membrure supérieure en tant qu'élément le plus sollicité, c'est-à-dire l'élément de plus faible épaisseur :

$$e = 0,15 \text{ m}$$

$$\tau = \frac{1}{e} \cdot \frac{T}{2 \cdot \Omega} = \frac{0,02563}{0,15 \cdot 2 \cdot 1,234} = 0,07 \text{ MPa}$$

En première approximation, on peut considérer que de la résistance au cisaillement du béton non armé est d'environ 5% de la résistance à la compression, soit 1,5 MPa. La section ne nécessite a priori pas de ferrailage de torsion. Si c'était le cas, il faudrait prévoir des aciers de couture dans le plan transversal (cadres fermés) et dans le plan longitudinal (aciers filants). Le cisaillement d'effort tranchant devra également être pris en compte car les effets des deux cisaillements se cumulent, en particulier dans l'âme où les flux de cisaillement s'additionnent.

Question 3.14 La poutre en double caisson creux permet d'accueillir le chemin de roulement de la poutre mobile, en offrant une bonne résistance à la torsion, et accessoirement au déversement, sans alourdir inutilement son poids. La géométrie de la section offre également une bonne résistance à la flexion et à l'effort tranchant.

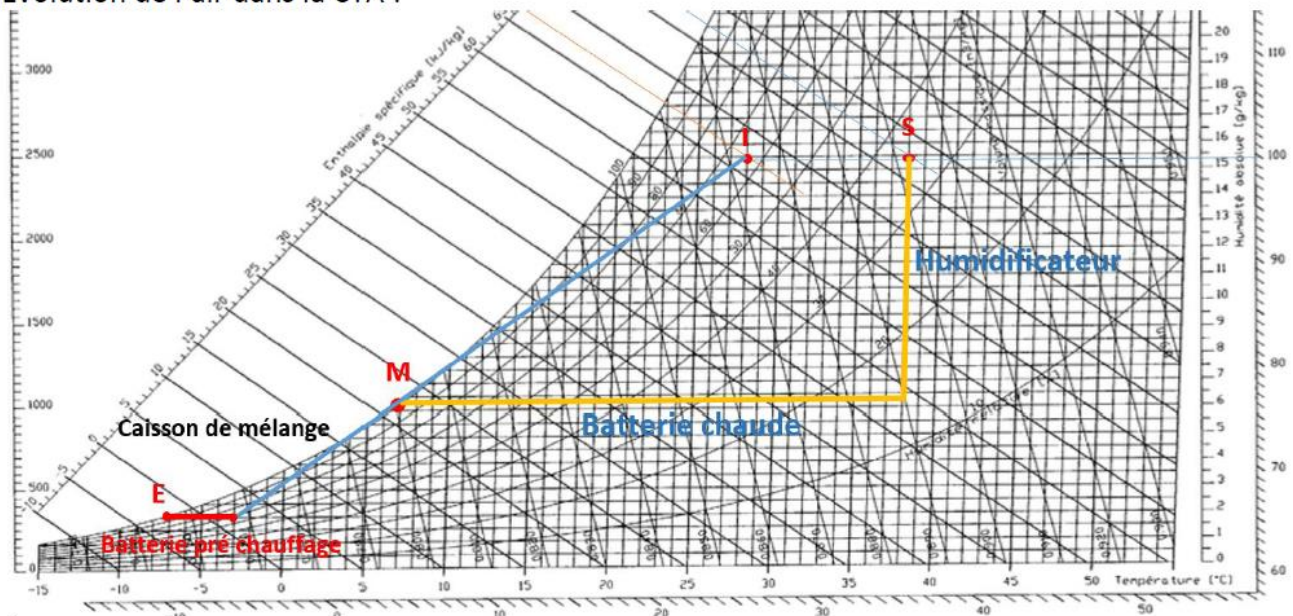
Étude 4 : étude du système de climatisation

Question 4.1 Cas hiver, salle inoccupée. Calculez dans un premier temps le débit d'air neuf minimal : $0,25 \times \text{Volume} / \text{heure}$. Soit $2,426 \text{ kg}_{\text{as}} \cdot \text{s}^{-1}$.

En appliquant l'écart de soufflage, puis la pente d'évolution dans le local, on trouve une température de soufflage de 38°C et une humidité absolue de soufflage de $15,5 \text{ g}_{\text{vap}} \cdot \text{kg}_{\text{as}}^{-1}$.

S'en suivra un bilan enthalpique pour déterminer le débit de soufflage puis un bilan sur le mélange pour obtenir la température de mélange.

Evolution de l'air dans la CTA :



Question 4.2 Puissance des batteries $P = q_m \cdot \Delta h$

Pour la batterie chaude : 117 kW

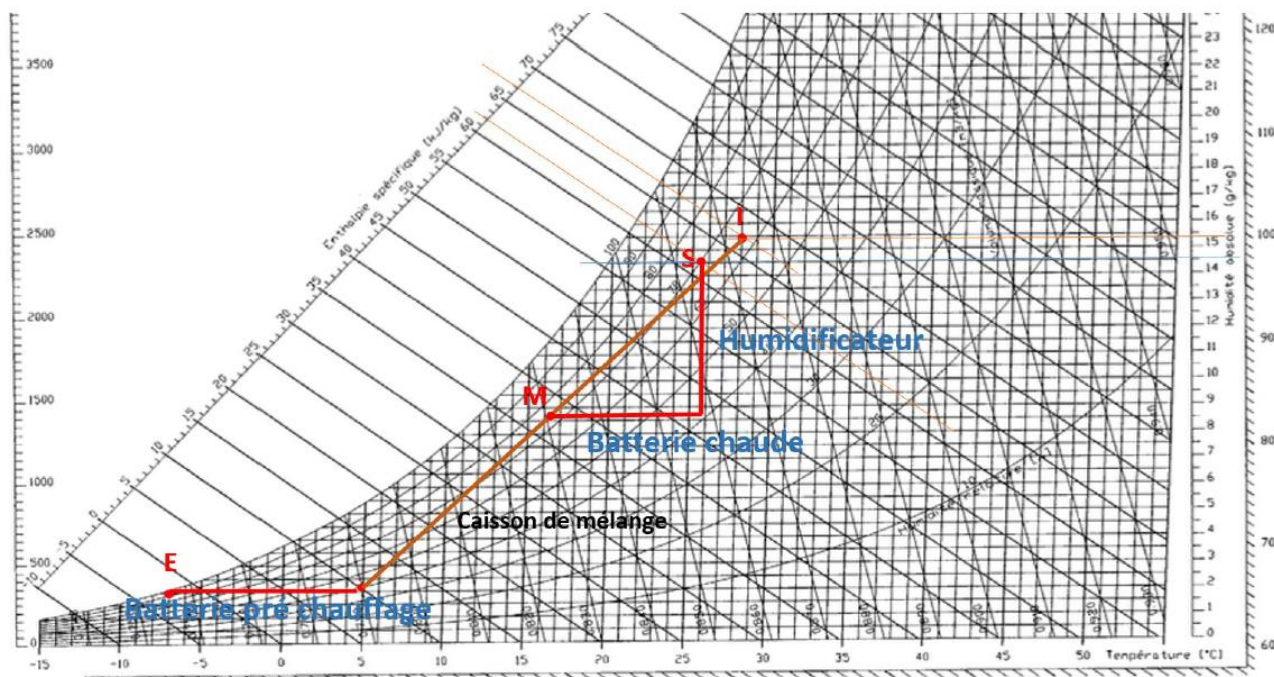
Pour la batterie de pré-chauffage : 10 kW

Question 4.3 Risque important de condensation et de gel dans le caisson de mélange.
Solution : mettre une batterie de pré-chauffage plus puissante.

Question 4.4 Cas hiver, salle occupée.

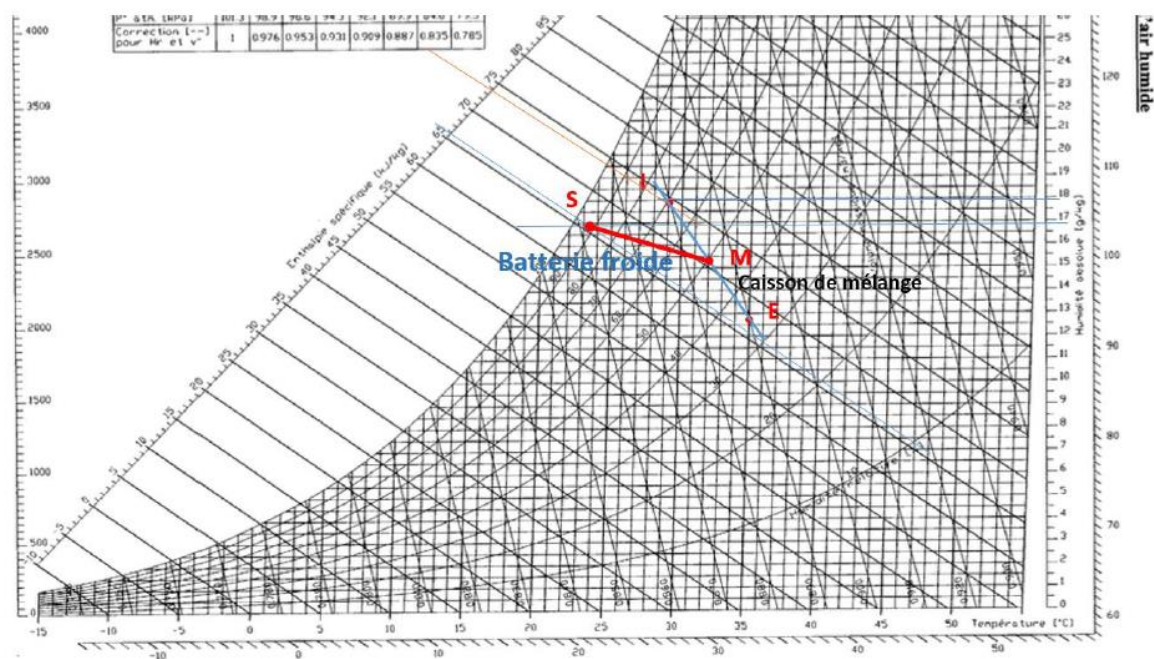
$$Q_{m_{\text{air neuf}}} = 30000 / 3600 * 1,2 = 10 \text{ kg}_{\text{as}} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 4.5 Établir successivement un bilan enthalpique, un bilan hydrique puis un bilan de mélange. Soit, respectivement, $h_{\text{souff}} = 62,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{\text{as}}^{-1}$; $r_{\text{souff}} = 14,4 \text{ g}_{\text{vap}} \cdot \text{kg}_{\text{as}}^{-1}$; $T_M = 16,5 \text{ °C}$.



Question 4.6 Cas été, salle occupée. Même raisonnement que la question précédente, refaire les 3 bilans en été.

Evolution de l'air dans la CTA :



Question 4.7 Efficacité de la batterie froide.

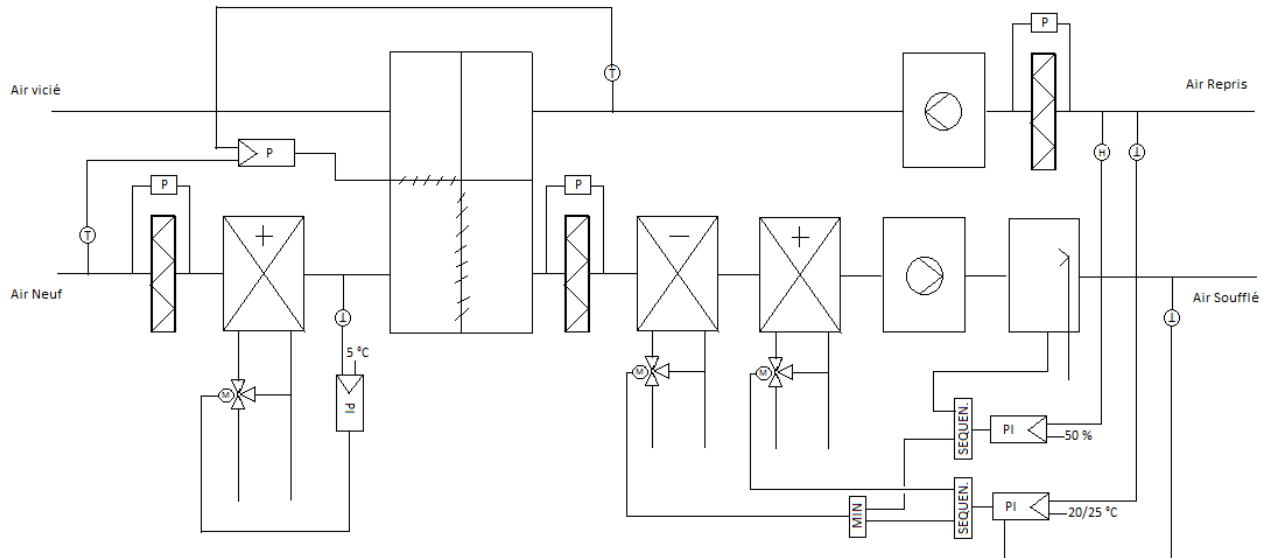
$$\varepsilon = \frac{\theta_M - \theta_S}{\theta_M - \theta_{FTP}}$$

Avec θ_{FTP} : Température en fin de processus théorique.

Régime eau glacée : 7/12°C.

D'où une efficacité de 37,8 %.

Question 4.8 Schéma de principe de la CTA.



Étude 5 : étude des installations aquatiques

Question 5.1 En appliquant le théorème de Bernoulli entre le tuyau et la sortie du jet, on obtient une pression dans le tuyau de 58,86 mbar.

En appliquant une seconde fois le théorème de Bernoulli entre le tuyau d'amenée (vitesse négligeable) et la base du jet, où la pression est égale à la pression atmosphérique, on trouve en négligeant la différence de cote entre ces 2 points : une vitesse de 3,43 m/s. Ce qui permet d'en déduire le débit volumique :

$$Q_v = V \cdot S = 1,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

On peut donc en déduire la puissance hydraulique nécessaire :

$$P_{\text{hyd}} = \text{Pression} \cdot Q_v = 1,01 \text{ W}$$

La puissance hydraulique est légèrement supérieure à celle de la puissance autorisée recommandée. On ne respecte pas la norme, mais étant donné que l'écart est très faible, cela reste acceptable.

Question 5.2 À l'équilibre : $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Il y a 2 forces appliquées au système : Poussée Archimède et Poids

$$\vec{F}_a + m\vec{g} = \vec{0}$$

$$-\rho \cdot V_{\text{imm}} \cdot \vec{g} + \rho_{\text{bouée}} \cdot V \cdot \vec{g} = \vec{0}$$

On obtient donc : $x_0 = d \cdot h$

Question 5.3 Loi de la dynamique sur la bouée : $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

$$\vec{F}_a + m\vec{g} = m\vec{a} = m\ddot{x}\vec{e}_z$$

$$-\rho * x(t) * S * g + d * \rho * h * S * g = d * p * h * S * \ddot{x}$$

Donc : $\ddot{x} = g - \frac{x}{d * h} * g$

$$\ddot{x} + \frac{g}{d * h} (x - d * h) = 0$$

Or, d'après 5.2 :

$$\ddot{x} + \frac{g}{d * h} (x - x_0) = 0$$

De la forme $\ddot{y} + \omega_0^2 * y = 0$ avec $\omega_0^2 = \frac{g}{d * h}$ et en posant $y = (x - x_0)$.
C'est bien un oscillateur harmonique.

Question 5.4

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

Soit : $T = 2\pi * \sqrt{\frac{d * h}{g}}$

Question 5.5 On obtient une période d'oscillation de 0,8 sec, ce qui est inférieur et donc conforme à la réglementation d'une seconde.

Question 5.6 Masse volumique de la barre

$$\rho = \frac{\rho_{alu} * V_{alu} + \rho_{air} * V_{air}}{V_{alu} + V_{air}}$$

On obtient donc $\rho = 752,9 \text{ kg/m}^3$

La masse volumique est donc inférieure à celle de l'eau (1000 kg/m^3), on en conclut que la barre flotte.

Question 5.7

Les forces :

- Poids appliqué en G
- Poussée Archimède appliquée en C
- Réaction en A

Pour éliminer la réaction, on calcule les moments en A, donc l'équilibre s'écrit :

$$\overrightarrow{AG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{AC} \wedge \overrightarrow{F_{arch}} = \vec{0}$$

Avec :

$$\vec{P} = \rho_{barre} * V_{barre} * \vec{g} = \rho_{barre} * L * S * \vec{g}$$

$$\overrightarrow{F_{arch}} = -\rho * V_{imm} * \vec{g} = -\rho * l_2 * S * \vec{g}$$

$$\overrightarrow{AG} = \frac{L}{2} * \vec{t}$$

$$\overrightarrow{AC} = \left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) * \vec{t}$$

Où $\vec{t}$ vecteur unitaire le long de la barre.

On obtient donc : $\rho_{barre} * \frac{L^2}{2} - \rho * l_2 * \left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) = 0$

Via la géométrie, on peut exprimer l_1 et l_2 en fonction de L, h et θ , ce qui donne :

$$\rho_{barre} * \frac{L^2}{2} = \rho * (L - l_1) * \frac{1}{2} (L + l_1)$$

Donc, θ est donné par :

$$\sin\theta = \frac{h}{L} * (1 - d)^{-1/2}$$

Où d est la densité de la barre.

Question 5.8 Le point critique est obtenu quand $\sin\theta = 1$

Soit :

$$\left(\frac{h}{L}\right)_{crit} = (1 - d)^{-1/2}$$

La barre tombe si h trop grand ou L trop petit.

Question 5.9 Après application numérique, on trouve un angle de $42,1^\circ$, ce qui est conforme avec la sécurité des nageurs.

Étude 6 : étude d'un dissipateur thermique

Question 6.1 On calcule donc le nombre de Biot suivant d :

$B_i(e) = \frac{hd}{\lambda_{tr}} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{80} = 3,75 \cdot 10^{-3} \ll 1$, ce qui permet de considérer que le profil thermique ne varie pas dans les directions y et z. Enfin, on calcule le nombre Fourier avec L pour échelle de longueur afin de s'assurer que le temps d'étude permet bien une relaxation thermique sur l'ensemble de l'ailette :

$F_0 = \frac{Dt_c}{L^2} = \frac{23 \cdot 10^{-6} \cdot 600}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 5,52 > 1$ permettant de considérer le problème stationnaire au-delà de 10 minutes d'utilisation.

Question 6.2 Il faut établir le bilan thermique

$$\phi_{cond}(x + dx) - \phi_{cond}(x) + d\phi_{conv}(x) = 0$$

On obtient donc :

$$\frac{d\phi_{cond}(x)}{dx} dx + d\phi_{conv}(x) = 0$$

Question 6.3 Le flux par conduction s'écrit :

$$\phi_{cond}(x) = \iint \overrightarrow{\varphi_{cond}} \cdot \vec{n} dS = \iint -\lambda_{tr} \frac{dT}{dx|_x} \overrightarrow{u_x} \cdot \overrightarrow{u_x} dS = -\lambda_{tr} \frac{dT}{dx|_x} d * e$$

Question 6.4

$$d\phi_{conv}(x) = 2 \iint \overrightarrow{\varphi_{conv}} \cdot \vec{n} dS = 2 dx \int_0^d h (T(x) - T_\infty) \overrightarrow{U_y} \cdot \overrightarrow{U_y} * dd = 2h * d(T(x) - T_\infty) dx$$

Question 6.5

$$d\phi_{C-R}(x) = 2 * d * [h(T(x) - T_\infty) + \sigma(T^4(x) - T_\infty^4)] dx$$

Qui, après linéarisation devient :

$$d\phi_{C-R}(x) = 2 * d * [h + \sigma 4 T_\infty^3](T(x) - T_\infty) dx$$

Ainsi : $\Gamma = 2 * d * [h + \sigma 4 T_\infty^3]$

Question 6.6

$$\frac{d\phi_{cond}(x)}{dx} dx + d\phi_{C-R}(x) = 0$$

Ce qui mène à :

$$\frac{d^2 T(x)}{dx^2} - \frac{\Gamma}{\lambda_{tr} * d * e} (T(x) - T_\infty) = 0$$

Question 6.7 En partant de :

$$\begin{aligned} T(x) - T_{\infty} &= A e^{\frac{-x}{\chi}} \\ \frac{dT(x)}{dx} &= -\frac{A}{\chi} e^{\frac{-x}{\chi}} \\ \frac{d^2T(x)}{dx^2} &= \frac{A}{\chi^2} e^{\frac{-x}{\chi}} \end{aligned}$$

On a donc :

$$\frac{A}{\chi^2} e^{\frac{-x}{\chi}} - \frac{\Gamma}{\lambda_{tr} * d * e} (T(x) - T_{\infty}) = 0$$

Et après simplifications :

$$\chi = \sqrt{\frac{\lambda_{tr} * d * e}{\Gamma}} = 7 \text{ cm}$$

Question 6.8

Par continuité de la température en $x=0$, on trouve $T(0) = A + T_{\infty} = T_m$

On a donc : $A = T_m - T_{\infty}$

Et donc : $T(x) = T_m e^{\frac{-x}{\chi}} + T_{\infty} (1 - e^{\frac{-x}{\chi}})$

On a donc : $T(L) = T_m e^{\frac{-L}{\chi}} + T_{\infty} (1 - e^{\frac{-L}{\chi}}) = 316 \text{ K}$ soit 43°C .

On ne retrouve pas la température de l'air, l'hypothèse d'ailette semi-infinie est donc discutable.

Question 6.9 En reprenant le résultat obtenu en question 6.3 :

$$\phi_{cond}(0) = -\lambda_{tr} \frac{dT}{dx}|_x d * e$$

Et l'expression générale du profil de température précédemment obtenu, on arrive à :

$$P_{avec}^b = \phi_{cond}(0) = \frac{\lambda_{tr} * d * e}{\Gamma} (T_m - T_{\infty})$$

Question 6.10 En plus du flux évacué à la base de l'ailette, il faut considérer le flux perdu par convection et rayonnement par le reste de la plaque :

$$\begin{aligned} P_{avec} &= P_{avec}^b + \phi_{conv} + \phi_{ray} \\ P_{avec} &= P_{avec}^b + \iint \overrightarrow{\varphi_{conv}} \cdot \vec{n} dS + \iint \overrightarrow{\varphi_{ray}} \cdot \vec{n} dS \end{aligned}$$

$$P_{avec} = P_{avec}^b + h(T_m - T_{\infty}) * d * (E - e) + \sigma(T_m^4 - T_{\infty}^4) * d * (E - e)$$

$$P_{avec} = P_{avec}^b + [h + \sigma 4 T_{\infty}^3](T_m - T_{\infty}) * d * (E - e)$$

Question 6.11

$$P_{sans} = [h + \sigma 4 T_{\infty}^3](T_m - T_{\infty}) * d * E$$

Question 6.12

$$G = \frac{P_{avec}}{P_{sans}}$$

$$G = \frac{P_{avec}^b + [h + \sigma 4 T_{\infty}^3](T_m - T_{\infty}) * d * (E - e)}{[h + \sigma 4 T_{\infty}^3](T_m - T_{\infty}) * d * E}$$

$$G = 1 - \frac{e}{E} + \frac{P_{avec}^b}{[h + \sigma 4 T_{\infty}^3](T_m - T_{\infty}) * d * E}$$

$$G = 1 - \frac{e}{E} \left(\sqrt{\frac{2\lambda_{tr}}{e[h + \sigma 4 T_{\infty}^3]}} - 1 \right) = 14,9$$

Le gain apporté par les ailettes est considérable (15 fois plus important).

Commentaires du jury

Le sujet était composé de six parties indépendantes.

Première étude

La première étude visait à déterminer les actions, sollicitations et contraintes dans les barres d'une poutre treillis 3D. Les candidats devaient maîtriser le calcul des vecteurs dans l'espace et mobiliser la méthode des nœuds, ainsi que celle des coupures pour effectuer cette analyse.

Les questions 1 à 7 portaient sur les études préparatoires au calcul de la poutre treillis : caractéristiques géométriques d'un tube, descente de charges, détermination des degrés d'isostaticité externe et interne et calcul des réactions d'appui. Ces questions ont été abordées par environ 90 % des candidats, généralement de manière satisfaisante, à l'exception de la question relative au degré d'hyperstaticité interne. Globalement, cette partie ne présentait pas de difficulté particulière. Les questions 8 à 10 concernaient la détermination des efforts internes dans une structure spatiale, en mobilisant la méthode des nœuds et celle des coupures. Très peu de candidats se sont aventurés sur ces questions. Certains candidats ont signalé n'avoir jamais abordé la question des structures dans l'espace. Rares sont ceux qui les ont traitées correctement, faute de maîtrise d'une méthode de projection des vecteurs dans l'espace. La correction détaille la méthode des cosinus directeurs. Les questions 11 et 12, bien que très simples, ont souvent été négligées. Beaucoup de candidats n'ont pas vérifié le flambement de la barre comprimée, ce qui révèle un manque d'automatisme dans le raisonnement structurel.

Deuxième étude

La deuxième étude portait sur l'établissement des expressions littérales des efforts internes et de la flèche de la poutre treillis, en s'appuyant sur la méthode de la poutre équivalente. Cette partie nécessitait la maîtrise des méthodes énergétiques.

Les questions 1 à 3 concernaient les prérequis nécessaires au calcul de la poutre équivalente : caractéristiques géométriques d'une section composée, sollicitations et flèche d'une poutre sur deux appuis avec charge uniforme. Bien que classiques et sans difficulté, ces questions n'ont été abordées que par deux tiers des candidats. Des erreurs méthodologiques ont été relevées, en particulier dans le calcul du moment quadratique d'inertie. En revanche, l'étude de la poutre simplement appuyée a été mieux maîtrisée. Les questions 4 à 7 visaient à établir les relations entre les sollicitations (N, V, M) dans la poutre équivalente et les efforts normaux dans les membrures et diagonales de la treillis 3D. Très peu de candidats se sont engagés sur cette partie, et rares sont ceux ayant tenté de démontrer les relations attendues, même lorsque celles-ci étaient relativement simples. À noter : une erreur de formulation s'était glissée dans l'énoncé de la question 7, qui demandait en

réalité l'étude d'une barre de contreventement, et non celle d'une entretoise. Cette erreur n'a toutefois pas eu d'incidence sur la suite du sujet. Les questions 8 à 12 proposaient d'exprimer la flèche de la poutre équivalente à l'aide d'une méthode énergétique, en intégrant l'énergie de déformation des diagonales du treillis. Cette partie, plus exigeante, a été très peu traitée, avec des résultats très hétérogènes.

Troisième étude

La troisième étude concernait la conception d'une poutre de roulement en béton armé à double caisson, destinée à supporter les galets de roulement de la poutre treillis 3D mobile. Elle mobilisait la méthode des trois moments. Les candidats devaient aussi redémontrer les formules de calcul des contraintes dans une section de béton armé fissurée en double caisson. Enfin, cette étude proposait une approche simplifiée pour déterminer les contraintes de cisaillement à l'aide de la formule de Jouravski, ainsi que les contraintes de torsion à l'aide de la formule du flux de cisaillement.

Les questions 1 à 3 portaient sur l'étude d'une poutre continue en béton armé reposant sur trois appuis. Il s'agissait d'un exercice classique, abordé par environ deux tiers des candidats. Bien que la méthode des trois moments soit globalement connue, son application reste souvent maladroite. Nombreux sont les candidats à s'être perdus dans des développements calculatoires lourds, menés sans clarté ni aboutissement concret. Très peu de candidats ont fourni des applications numériques cohérentes. Les questions suivantes ont été très peu traitées par les candidats. Les questions 4 à 8, s'intéressaient sur une étude élastique de la section fissurée homogénéisée de la poutre caisson en béton armé. Cette partie théorique, bien que classique, semble avoir rebuté la majorité des candidats. La question 9 proposait de calculer la contrainte de cisaillement dans la poutre caisson en utilisant la formule de Jouravski. Peu de candidats y sont parvenus. Les questions 10 et 11 exploraient respectivement l'impact d'une redistribution plastique sur appui et celui d'un tassement d'appui. Les questions 12 et 13 portaient sur l'étude de la torsion de la poutre caisson à partir de la théorie du flux de cisaillement.

Quatrième étude

La quatrième étude avait pour objet d'étudier le système de climatisation du hall des bassins recevant les nageurs.

Cette partie était divisée selon les cas étudiés : Hiver salle inoccupée / Hiver salle occupée / Été salle occupée. Cela permettait de dimensionner les différents éléments constituant le système de CTA en s'appuyant sur l'utilisation des Diagrammes de l'Air Humide ainsi que les conditions extérieures de référence et les conditions intérieures souhaitées. A la suite de cela, le schéma complet de la CTA était demandé en faisant apparaître tous les éléments qui la composent, ainsi que les sondes de mesure et les éléments de régulation.

Cinquième étude

La cinquième étude avait pour objet d'étudier les installations aquatiques mises à disposition des nageurs afin de vérifier leurs conformités pour la sécurité de ces derniers. Elle était divisée en 3 études :

1. La première étude visait à déterminer si la puissance hydraulique d'une fontaine jet d'eau était en accord avec la réglementation en vigueur en appliquant le théorème de Bernoulli.
2. La deuxième étude visait à déterminer les oscillations verticales d'une bouée. En appliquant dans un premier temps le principe fondamental de la statique, puis dans un second temps le principe fondamental de la dynamique, les candidats devaient déterminer la période d'oscillation de la bouée.

3. La troisième partie visait à vérifier la flottation d'une barre creuse en aluminium. En appliquant le théorème des moments, les candidats vérifiaient la valeur de l'angle d'inclinaison de la barre.

Sixième étude

La sixième étude avait pour objet d'étudier un dissipateur thermique, qui revenait à une étude thermique sur les ailettes. En effectuant un bilan thermique complet sur l'ailette, le candidat déterminait la température à l'extrémité de l'ailette puis le gain de déperdition thermique apporté par l'ailette.

Concernant les études 4, 5 et 6, les résultats sont bien en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales, sur les trois thèmes abordés. Bien que quelques candidats montrent une maîtrise complète d'une étude de traitement de l'air, le jury relève un taux important d'absence d'écriture des bilans énergétiques, ainsi que de l'utilisation du Diagramme de l'Air Humide. En mécanique des fluides, une grande majorité de candidats ne maîtrisent pas les principes de base (théorème de Bernoulli, principe fondamental de la statique et de la dynamique, théorème des moments, etc.). Le jury note également un manque de connaissances mathématiques de base permettant la résolution des problèmes scientifiques et techniques (résolution d'équation différentielle du 1er ordre, équation différentielle du 2nd ordre aboutissant à un oscillateur harmonique etc.). Beaucoup de candidats ont fait l'impasse totale sur l'ailette mince rectangulaire qui est un grand classique des problèmes de transferts thermiques.

Le niveau des calculs mathématiques ne présentait pas de difficulté particulière. Les thématiques abordées étaient de nature très classique dans chacune des disciplines. 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. De surcroît, un nombre non négligeable de copies présentait des erreurs de développement inquiétantes ou des résultats extravagants. Même si un candidat n'est pas expert dans les domaines concernés, le jury attend qu'il fasse au moins preuve de logique et de bon sens.

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 discipline principale : 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. Épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

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.

Résultats

Moyenne	9,64
Note minimale	3,16
Note maximale	17,07
Écart type	2,99

Présentation du sujet

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/15936/download>

Le sujet porte sur la **conception d'un immeuble collectif R+2**, comprenant 12 logements (T2 et T3), des commerces et un office de tourisme, situé à **Taradeau (Var)**. Le bâtiment présente des **caractéristiques thermiques conformes à la RT2012**, est situé en **zone sismique 2**, **zone climatique H3**, avec des contraintes de vent, pluie et neige en zone 3.



Études proposées : Le sujet était composé de 3 parties indépendantes.

Étude 1 : étude préliminaire d'expertise du point de vue du géomètre expert en vue de renseigner le maître d'ouvrage.

Axe du référentiel	Éléments abordés dans l'épreuve
Environnement administratif et juridique de l'acte de construire	Phases et planification d'un projet : - Préparation de la mission (expertise de site, notion de DT) - Etapes d'un projet suivant processus BIM - Analyse de la précision des mesures (Arrêté 2003)

Étude 2 : vérification de différentes parties de la structure porteuse conçue par le bureau d'étude conception.

Axe du référentiel	Éléments abordés dans l'épreuve
Conception et dimensionnement des structures	Dimensionnement des structures en bois et béton armé, - PFS, Treillis, portique, isostatisme, Diagrammes NVM, flexion simple/composée. - Contraintes normales, tangentielles, flèches
Techniques & méthodes de construction	Renforcement de structures : - Utilisation de plat carbone - Utilisation de tirants - Précontrainte - Analyse de solutions de renforts

Étude 3 : étude des performances énergétiques du bâtiment ainsi que des pistes d'amélioration.

Axe du référentiel	Éléments abordés dans l'épreuve
Thermique du bâtiment	Performance énergétique RT2012 - Etude des parois verticales - Ponts thermiques - Choix de produits de construction
Acoustique	Traitement acoustique des espaces - Acoustique intérieure - Acoustique extérieure
Analyse globale d'un projet	Analyse des impacts environnementaux, cadre réglementaire, solutions technologiques - Utilisation des énergies renouvelables ECS Solaire

Les auteurs remercient Laurent Panetta et la SAEIM Draguignan pour l'ensemble des données communiquées.

Éléments de correction

ÉTUDE 1 : ÉTUDE DE LA PRÉPARATION DE LA MISSION

Partie 1.1 Expertise du site

Question 1.1.1. Analyser l'extrait du document technique DT01 et indiquer quelles sont les missions de l'expert judiciaire.

Un expert désigné pour une mission d'expertise dans le cadre d'un référé préventif a pour mission de réaliser une expertise technique sur des thèmes en liens avec la sécurité, la santé publique, les risques de litiges éventuels après réalisation de la construction ou la démolition.

Les missions de l'expert en référé préventif peuvent varier en fonction de la nature des travaux envisagés, mais en général, l'expert a pour mission de :

- Analyser les éléments du dossier pour déterminer les éventuels points de désaccord qui pourront apparaître entre les parties (suite à une démolition par exemple) ;
- Évaluer les risques liés à la situation en question et proposer des mesures préventives ;
- Réaliser des examens techniques pour recueillir des données objectives et des informations techniques pertinentes ;
- Rédiger un rapport d'expertise en exposant de manière précise et argumentée ses conclusions et ses recommandations ;
- Présenter ses conclusions

L'expertise est un élément important du processus décisionnel en référé préventif, car elle permet de fournir des éléments objectifs et techniques pour éclairer l'état des lieux avant les travaux.

Question 1.1.2. Le site internet est conçu pour permettre aux acteurs du secteur de la construction, notamment aux maîtres d'ouvrage et aux entreprises de travaux publics, de déclarer en ligne leurs projets de travaux concernant les réseaux et canalisations enterrés ou subaquatiques.

Une déclaration d'intention de commencer les travaux est généralement un document officiel qui informe les autorités locales de l'intention d'un propriétaire ou d'un promoteur de commencer la construction d'un bâtiment. Cette déclaration peut être nécessaire pour obtenir un permis de construire ou pour se conformer aux réglementations locales en matière de construction. Il permet d'obtenir les informations sur l'ensemble des prestataires de réseaux sur le site (Elec, gaz, eau...).

La demande peut s'effectuer sur :

<https://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/gu-presentation/construire-sans-detruire/teleservice-reseaux-et-canalisation.html>

ou des prestataires privés de type Sogelink.

Les avantages d'une déclaration d'intention de commencer les travaux comprennent :

Conformité aux réglementations locales : Les autorités locales peuvent exiger une déclaration d'intention pour s'assurer que les travaux de construction sont conformes aux réglementations locales et aux codes du bâtiment.

Planification des travaux : La déclaration d'intention permet de planifier les travaux de construction en avance, en coordonnant les différentes étapes de la construction et en s'assurant que les travaux ne perturbent pas les activités environnantes.

Communication avec les parties prenantes : La déclaration d'intention de commencer les travaux est souvent nécessaire pour informer les parties prenantes, telles que les voisins et les propriétaires d'entreprise à proximité, des plans de construction.

Protection juridique : Enfin, la déclaration d'intention peut fournir une certaine protection juridique au propriétaire ou au promoteur en cas de litige ou de conflit avec les autorités locales ou d'autres parties prenantes.

Partie 1.2 Topographie des lieux

Question 1.2.1. Le géomètre utilise des logiciels de BIM Infra (CAO/DAO) (de type Covadis, Mensura, Civil3D) pour réaliser un modèle BIM (Building Information Modeling) du projet de terrassement.

Les principales étapes :

1. Collecte des données topographiques : le géomètre collecte des données sur le terrain (points topographiques pour générer le plan 2D)
2. Création du modèle 3D : il crée un modèle 3D précis du terrain et des bâtiments existants, en utilisant les données topographiques collectées.
3. Modélisation du terrassement : il crée un modèle 3D du terrassement en utilisant les données du projet de construction. Le modèle doit prendre en compte la géométrie de la plateforme, les pentes (remblais/déblais), etc.
4. L'enregistrement doit ensuite permettre d'attribuer des informations de classification IFC (Industry Foundation Classes) à chaque élément du modèle, pour permettre l'intégration de ce modèle dans un environnement BIM global.
5. L'IFC servira de support à l'implantation avec des stations totales (compatibles)

Question 1.2.2. Préciser le système et la projection conique conforme utilisée par le géomètre expert.

Système planimétrique : RGF93 et Projection : Conique conforme 44

Système altimétrique : NGF IGN69

Question 1.2.3. DR01 :

Point	E(m)	N(m)	$\Delta E(\text{mm})$	$\Delta N(\text{mm})$	$\text{Ecart}^2 = \Delta E^2 + \Delta N^2$
P.1	1977280.259	2226120.425	-2	-5	29
P.1	1977280.272	2226120.418	11	-12	265
P.1	1977280.243	2226120.431	-18	1	325
P.1	1977280.267	2226120.436	6	6	72
P.1	1977280.271	2226120.429	10	-1	101
P.1	1977280.269	2226120.434	8	4	80
P.1	1977280.258	2226120.423	-3	-7	58
P.1	1977280.260	2226120.440	-1	10	101
P.1	1977280.247	2226120.438	-14	8	260
P.1	1977280.264	2226120.426	3	-4	25
P.1moyen	1 977 280.261	2 226 120.430			1316

$$\sigma_{\text{position}} = = = 12 \text{ mm}$$

Question 1.2.4.

Ecart type radial (sur la distance de 1.3 km) :

$$\sigma_{\text{radial}} = \sqrt{(1.5^2 + (2 \times 1.3)^2)} = 3.0 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{radial}} = 3 \text{ mm}$$

Ecart type tangentiel (sur la distance de 1.3 km) :

$$\sigma_{\text{tangentiel}} = \sigma_{\text{angle}} \times \text{distance} = 0.0003 \times \pi \times 1300 \text{ m} = 0.0061 \text{ m} = 6.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{tangentiel}} = 6 \text{ mm}$$

Ecart type sur la position du point :

$$\sigma_{\text{position}} = = 6.8 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{position}} = 7 \text{ mm}$$

Partie 1.3 Contrôle du levé

Question 1.3.1.

Emp=16.7mm, T1=23mm test A validé

T2=55mm, un seul écart dépasse (point 204), deux écarts tolérables, test B validé

T3= 81mm, 0 écart, test C validé.

Conclusion : le lever est conforme.

ÉTUDE 2 : ÉTUDE DES ÉLÉMENTS DE LA STRUCTURE

Partie 2.1 : Étude d'une fermette bois

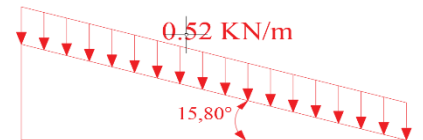
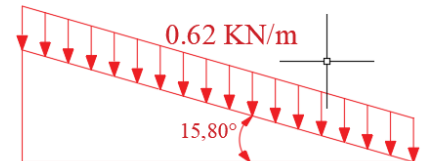
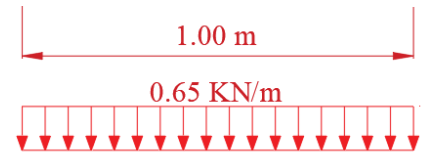
Question 2.1.1.

- **Calcul du poids de la neige :**

En zone C2 : Charge de neige de $0,65 \text{ KN/m}^2$

Angle de la couverture : $\tan \alpha = \frac{1,59}{5,62}$ soit $\alpha = 15,80^\circ$

$$S_n = 0,65 \times \cos(15,80) = 0,62 \text{ KN/m}^2$$



- **Poids de couverture :** $Q_t = 0,52 \text{ KN/m}^2$

- **Combinaisons :**

$$\text{ELU : } 1,35 \times G + 1,5 \times Q = 1,35 \times 0,52 + 1,5 \times 0,62 = 1,63 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{ELS : } G + Q = 0,52 + 0,62 = 1,14 \text{ KN/m}^2$$

- **Descente de charge sur arbalétrier :**

D'après DT3 l'espacement entre les fermettes est de 85 cm, on obtient donc les descentes de charge suivante :

$$\text{ELU : } 1,63 \times 0,85 = 1,38 \text{ KN/m}$$

$$\text{ELS : } 1,14 \times 0,85 = 0,96 \text{ KN/m}$$

Question 2.1.2..

- **Vérification de l'isostaticité extérieure :**

Nous avons une articulation avec deux inconnues et un appui simple avec une inconnue soit 3 inconnues pour 3 équations, le système est extérieurement isostatique.

- **Vérification de l'isostaticité intérieure :**

Le système triangulé possède 9 barres et 6 nœuds, la relation $B = 2 \times n - 3$ est respectée, le système est intérieurement isostatique.

$$B = 9$$

$$n = 6$$

$$B = 2 \times n - 3 \text{ soit } 9 = 2 \times 6 - 3$$

Question 2.1.3.

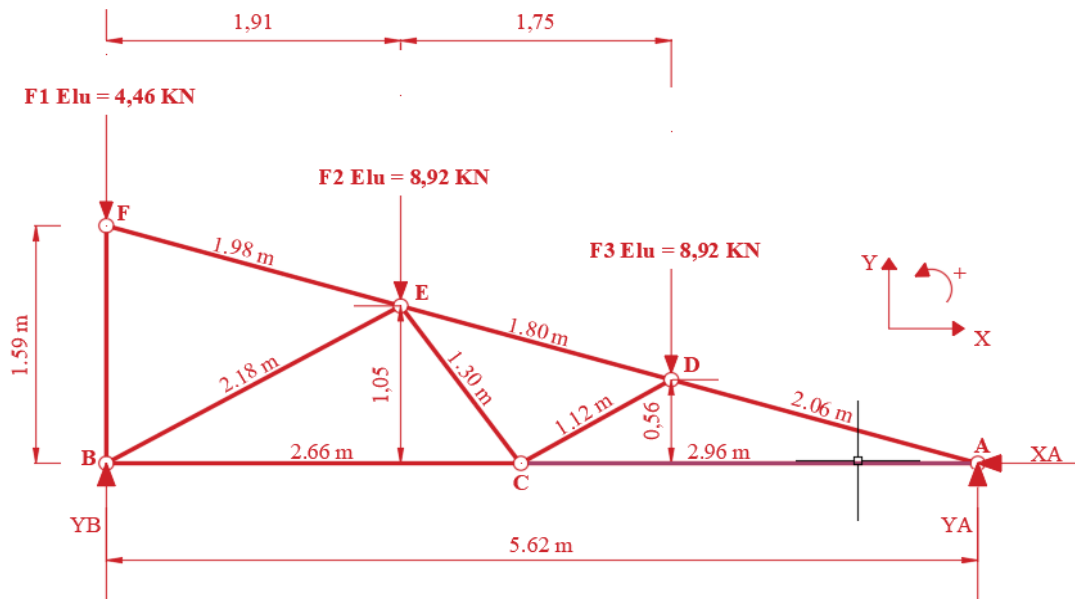
- **Détermination des efforts à l'ELU :**

Nœud F : ELU : $1,35 \times G + 1,5 \times Q = 1,35 \times 0,85 + 1,5 \times 2,21 = 4,46 \text{ KN}$

Nœud E : ELU : $1,35 \times G + 1,5 \times Q = 1,35 \times 1,70 + 1,5 \times 4,42 = 8,92 \text{ KN}$

Nœud D : ELU : $1,35 \times G + 1,5 \times Q = 1,35 \times 1,70 + 1,5 \times 4,42 = 8,92 \text{ KN}$

- **Détermination des réactions d'appuis à l'ELU :**



Projection sur X : $X_A = 0$

Projection sur Y : $Y_B - 4,46 - 8,92 - 8,92 + Y_A = 0$

$$Y_B + Y_A = 22,30$$

Projection sur Z : $M_{t/B} = 0$

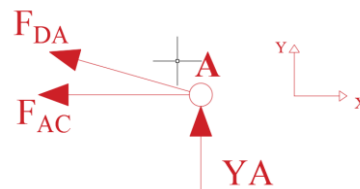
$$Y_A \times 5,62 - 8,92 \times (1,91 + 1,75) - 8,92 \times 1,91 - 4,46 \times 0 = 0$$

$$Y_A \times 5,62 = 49,68$$

$$Y_A = \frac{49,68}{5,62} = 8,84 \text{ KN et } Y_B = 22,30 - 8,84 = 13,45 \text{ KN}$$

- **Détermination des actions dans les barres à l'ELU :**

Nœud A :



$$F_x = -F_{AC} - F_{DA} \cdot \cos(15,80) = 0$$

$$F_y = Y_A + F_{DA} \cdot \sin(15,80) = 8,84 + F_{DA} \cdot \sin(15,80) = 0 \text{ D'où } F_{DA} = \frac{-8,84}{\sin(15,80)} = -32,46 \text{ KN}$$

$$F_{AC} = -F_{DA} \times \cos(15,80) = 32,46 \cdot \cos(15,80) = 31,23 \text{ KN}$$

Nœud F :

$$F_X = F_{FE} \cdot \cos(15,80) = 0 \text{ d'où } F_{FE} = 0 \text{ KN}$$

$$F_Y = -F_1 - F_{FE} \cdot \sin(15,80) - F_{FB} = -4,46 - 0 - F_{FB} = 0 \text{ D'où } F_{FB} = -4,46 \text{ KN}$$

Nœud B :

$$F_{BE} = \frac{-8,99}{\sin(28,80)} = -18,66 \text{ KN}$$

$$F_{BC} + F_{BE} \times \cos(28,80) = 0 \text{ d'où } F_{BC} = 18,66 \cdot \cos(28,80) = 16,35 \text{ KN}$$

Nœud C :

Afin de trouver l'effort dans la barre ED, appliquons la méthode de Ritter au Nœud C

$$\text{Angle } \Pi : \sin \sin = \frac{0,56}{1,12} \text{ soit } = 30^\circ$$

$$\text{Calcul de la distance D : } = 1,12 \times \sin \sin (30 + 15,80) = 0,80 \text{ m}$$

Calcul de l'effort F_{ED} avec la méthode de RITTER

$$F_{ED} \cdot D - F_3 (1,91 + 1,75 - 2,66) + Y_A \cdot 2,96 = 0$$

$$0,80 \cdot F_{ED} = 8,92 \cdot 1,00 - 8,84 \cdot 2,96 = -17,24$$

$$F_{ED} = \frac{-17,24}{0,80} = -21,47 \text{ KN}$$

Nœud D :

$$\text{Angle } \Pi : \sin \sin = \frac{0,56}{1,12} \text{ soit } = 30^\circ$$

$$\text{IV. } \square F_X = -F_{DA} \cdot \cos(15,80) + F_{ED} \cdot \cos(15,80) - F_{CD} \cdot \cos(30,00) = -32,46 \cdot \cos(15,80) + 21,47 \cdot \cos(15,80) - F_{CD} \cdot \cos(30,00) = 0$$

$$F_{CD} \cdot \cos(30,00) = -10,57 \text{ soit } F_{CD} = \frac{-10,57}{\cos(30)} = -12,21 \text{ KN}$$

Nœud E :

$$\text{Angle } \odot : \sin \sin = \frac{1,05}{2,18} \text{ soit } = 28,79^\circ$$

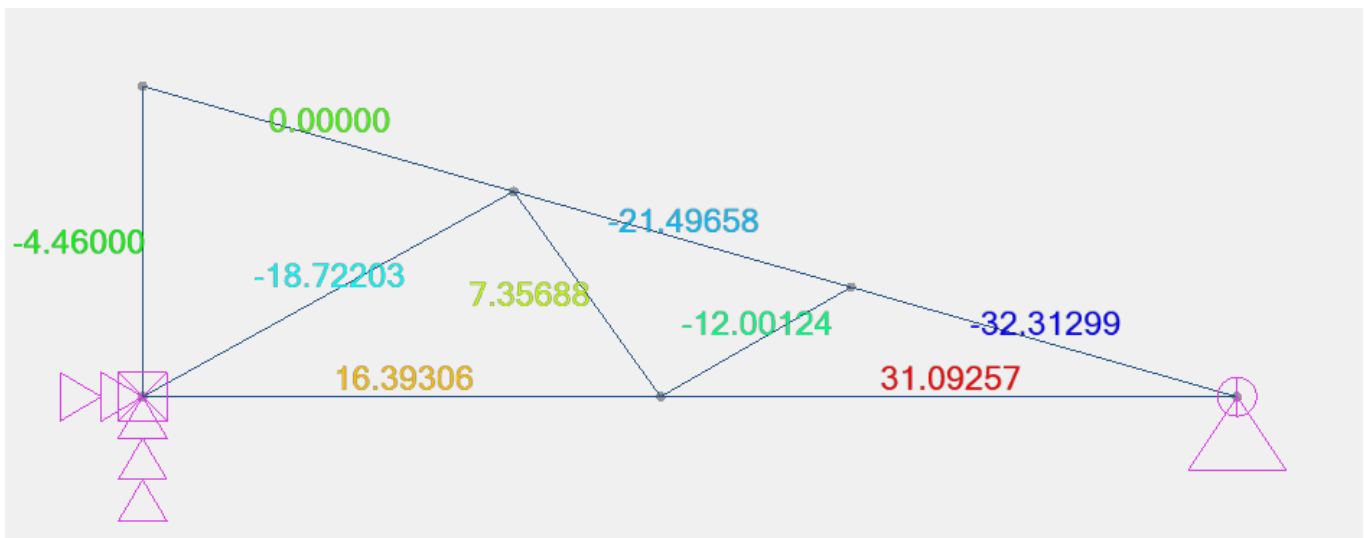
$$\text{Angle } \otimes : \sin \sin = \frac{(2,66 - 1,91)}{1,30} \text{ soit } = 35,23^\circ$$

$$F_X = F_{FE} \cdot \cos(15,80) - F_{ED} \cdot \cos(15,80) + F_{BE} \cdot \cos(28,79) + F_{EC} \cdot \sin(35,23) = 0$$

$$0 \cdot \cos(15,80) - 21,47 \cdot \cos(15,80) + 18,66 \cdot \cos(28,79) + F_{EC} \cdot \sin(35,23) = 0$$

$$F_{EC} \cdot \sin(35,23) = 4,30 \text{ soit } F_{EC} = \frac{4,30}{\sin(35,23)} = 7,45 \text{ KN}$$

Vérification efforts Advance Design :



Combinaison ELU		
Barres	Nature de la sollicitation	Intensité
AC	Traction	31,23 KN
CB	Traction	16,35 KN
BF	Compression	-4,46 KN
FE	Aucun	0,00 KN
ED	Compression	-21,47 KN
DA	Compression	-32,46 KN
DC	Compression	-12,21 KN
CE	Traction	7,45 KN
EB	Compression	-18,66 KN

Question 2.1.4.

Barre AC :

La barre AC subit un effort de traction dont la valeur est de 31,23 KN à l'ELU

La section du bois pour reprendre cet effort de traction est égal à

$$\frac{Nu}{S} = f_{t,0,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \times k_h \text{ ce qui implique que : } \frac{Nu \times \gamma_m}{f_{t,0,k} \times k_{mod} \times k_h} = S$$

Avec :

$Nu = 31,23 \text{ KN}$, $\gamma_m : 1,3$, $k_h : 1,3$, $k_{mod} : 0,8$, $f_{t,0,k} : 14,50 \text{ Mpa}$ (Voir DT)

$$\frac{31230 \times 1,3}{14,50 \times 0,8 \times 1,3} = S = 2692,24 \text{ mm}^2$$

Barre AD :

La barre AD subit un effort de compression dont la valeur est de -32,46 KN à l'ELU

La section du bois pour reprendre cet effort de compression est égal à

$$\frac{Nu}{S} = f_{c,0,k} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \times k_{c,y ou z} \text{ ce qui implique : } \frac{Nu \times \gamma_m}{f_{c,0,k} \times k_{mod} \times k_{c,y ou z}} = S$$

Avec :

$Nu = -32,46 \text{ KN}$, $\gamma_m : 1,3$, $k_{c,y ou z} : 1,00$, $k_{mod} : 0,8$, $f_{c,0,k} : 21,00 \text{ Mpa}$ (Voir DT2)

$$\frac{32460 \times 1,3}{21 \times 0,8 \times 1} = S = 2511,78 \text{ mm}^2$$

Question 2.1.5.**Barre AC :**

D'après le DT2 pour la barre 1-6 le fabricant à prévu une section réelle de bois de 36x96 mm soit 3456 mm² et une section de calcul de 35x94 mm soit 3290 mm². Les deux valeurs ci-avant sont supérieures à la valeur de calcul de 2692,24 mm².

Conclusion : La section de bois proposée par le fabricant est conforme.

Barre AD :

D'après le DT2 pour la barre 1-5 le fabricant à prévu une section réelle de bois de 36x96 mm soit 3456 mm² et une section de calcul de 35x94 mm soit 3290 mm². Les deux valeurs ci-avant sont supérieures à la valeur de calcul de 2511,78 mm².

Conclusion : La section de bois proposée par le fabricant est conforme.

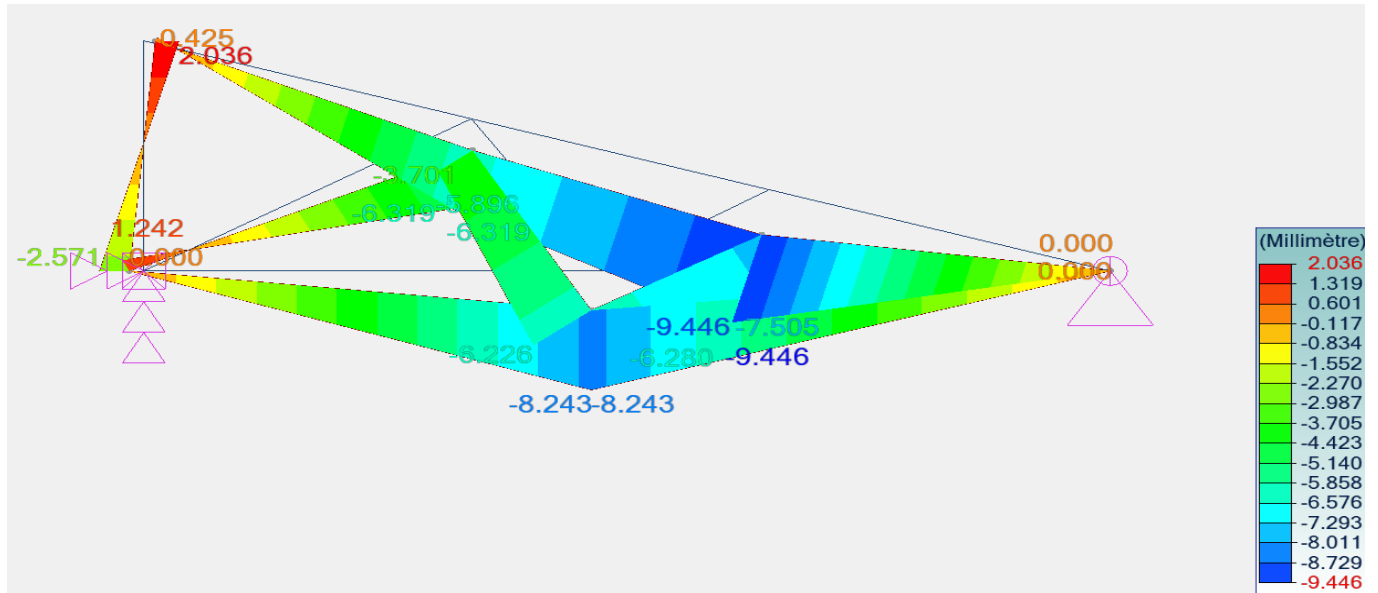
Question 2.1.6.

Barres	Longueur de la barre mm	Effort normal dans la structure de base N	Effort normal dans la structure soumise à un effort unitaire	$Ni \times ni \times Li$
AC	2960	21410	1,67	105833912
CB	2660	11220	0,95	28352940
BF	1590	-3060	0,00	0,00
FE	1980	0,00	0,00	0,00
ED	1800	-14720	-1,73	45838080
DA	2060	-22250	-1,73	79294550
DC	1120	-8310	0,00	0,00
CE	1300	5190	1,23	8163870
EB	2180	-12800	-1,09	30415360
Somme				297898712

$$\delta_c = \sum_{i=1}^{\text{Nombre de barres}} \frac{N_i \times n_i}{E_i \times A_i} \times L_i = \frac{297898712}{11000 \times 35 \times 94} = 8,23 \text{ mm}$$

La flèche réelle est de 8,23 mm inférieure à la flèche maximale est de L/200 soit 5620/200=28,10 mm

Vérification flèche Advance Design :



Partie 2.2 : Étude du renforcement d'un arbalétrier en béton armé

Question 2.2.1.

La hauteur du béton comprimé est égale à :

$$y_u = \frac{A_{su} \times \sigma_{st}}{0,80 \times f_{cd} \times b}$$

D'après DT4 la section d'armature existante est égale à 2 HA 14 soit $2 \times 3,14 \times 8 \times 8 = 307,9 \text{ mm}^2$

$$y_u = \frac{307,9 \times 435}{0,80 \times 23 \times 200} = 36,4 \text{ mm}$$

Le moment résistant de la poutre existante est égal à :

$$Mr = A_{su} \times \sigma_{st} \times \left(d - 0,80 \times \frac{y_u}{2}\right)$$

$$Mr = 307,72 \times 435 \times \left(0,9 \times 500 - 0,80 \times \frac{36,4}{2}\right) = 58288579 \text{ Nmm} = 58,28 \text{ KNm}$$

Question 2.2.2.

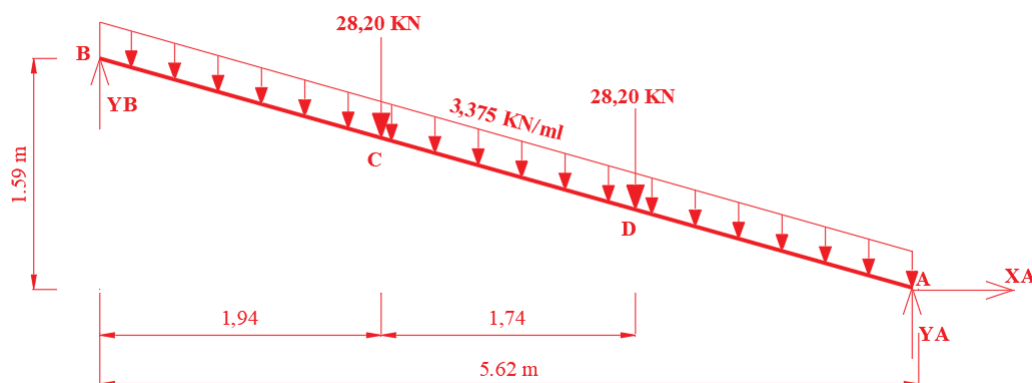
A l'ELU les efforts sont les suivants :

Charge uniformément répartie : $G = 2,50 \cdot 1,35 = 3,375 \text{ KN/ml}$

Charges ponctuelles : $F = 1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q = 1,35 \cdot 12 + 1,50 \cdot 8 = 28,20 \text{ KN}$

Angle de la poutre avec l'horizontale est égal à : $\tan \alpha = \frac{1,59}{5,62}$ soit $\alpha = 15,80^\circ$

Calcul des réactions d'appuis :



$$(1) F_x = X_A = 0$$

$$(2) F_y = Y_B + Y_A - 28,20 - 28,20 - 3,375 \cdot 5,62 = 0$$

$$Y_A + Y_B = 28,20 + 28,20 + 18,96 = 75,36$$

$$\text{Par symétrie } Y_A = Y_B = \frac{75,36}{2} = 37,68 \text{ KN}$$

Calcul des sollicitations :

➤ **Tronçon BC ($0 \leq x < 2,01$)**

Effort normal :

$$N = 37,68 \cdot \sin(15,80) - 3,375 \cdot \sin(15,80) \cdot x$$

AN

$$X = 0 \quad N = 10,25 \text{ KN}$$

$$X = 2,01 \quad N = 8,41 \text{ KN}$$

Effort tranchant :

$$V = -37,68 \cdot \cos(15,80) + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot x$$

AN

$$X = 0 \quad V = -36,25 \text{ KN}$$

$$X = 2,01 \quad V = -29,72 \text{ KN}$$

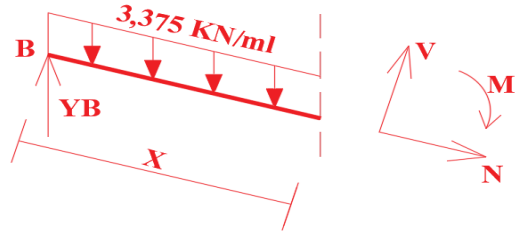
Moment fléchissant :

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2}$$

AN

$$X = 0 \quad M = 0 \text{ KNm}$$

$$X = 2,01 \quad M = -66,31 \text{ KNm}$$



➤ **Tronçon BD ($2,01 \leq x < 3,82$)**

Effort normal :

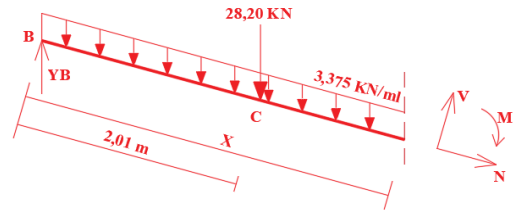
$$N = 37,68 \cdot \sin(15,80) - 3,375 \cdot \sin(15,80) \cdot x - 28,20 \cdot \sin(15,80)$$

Effort tranchant :

$$V = -37,68 \cdot \cos(15,80) + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 28,20 \cdot \cos(15,80)$$

Moment fléchissant :

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x - 2,01)$$



➤ **Tronçon BA ($3,82 \leq x < 5,84$)**

Effort normal :

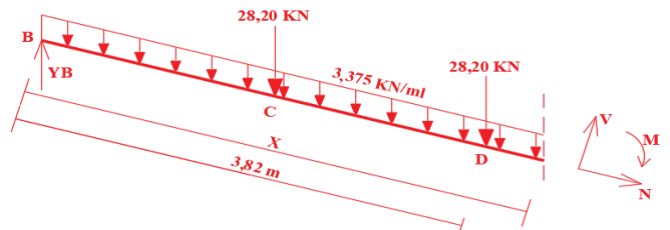
$$N = 37,68 \cdot \sin(15,80) - 3,375 \cdot \sin(15,80) \cdot x - 28,20 \cdot \sin(15,80) - 28,20 \cdot \sin(15,80)$$

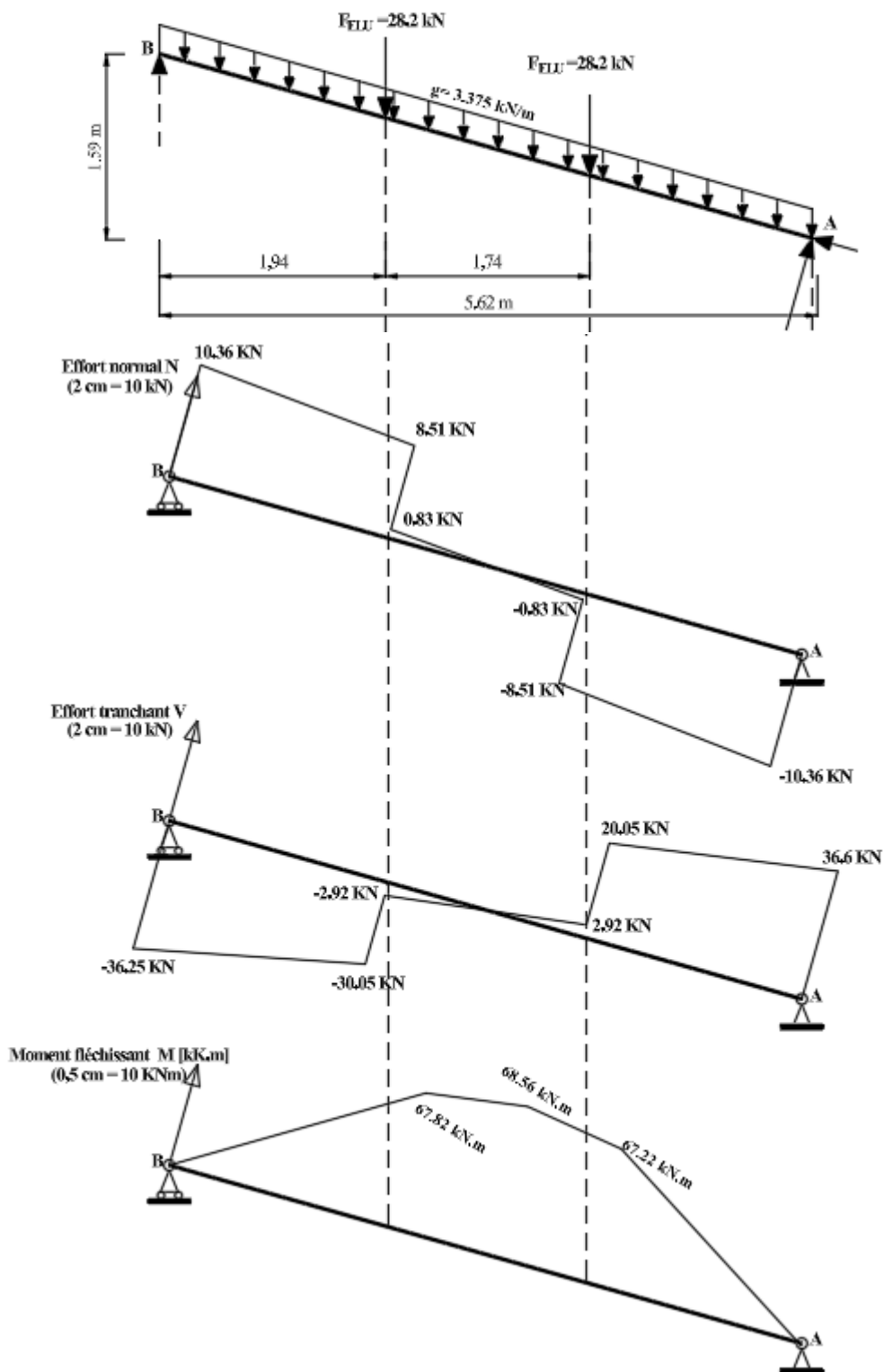
Effort tranchant :

$$V = -37,68 \cdot \cos(15,80) + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 28,20 \cdot \cos(15,80) + 28,20 \cdot \cos(15,80)$$

Moment fléchissant :

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x - 2,01) + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x - 3,82)$$





Question 2.2.3.

Le moment fléchissant M_{Ed} à l'ELU est de -68,56 kNm. Le résultat est cohérent avec le moment M_{Ed} de -68,63 kNm indiqué sur la note de calcul du DT

Question 2.2.4.

le moment résistant de la poutre est de $M_{Rd} = -91,67$ KNm supérieur au moment sollicitant à l'ELU $M_{Ed} = -68,63$ KNm.
la résistance du béton comprimé à l'état renforcé est de 22,46 Mpa inférieure à 23 Mpa contrainte admissible du béton à l'ELU.

Question 2.2.5.

Dans le tronçon $0 \leq x < 2,01$

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2}$$

Recherchons la valeur de X équilibrant le moment résistant de la poutre avant renforcement

$$-58,28 = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} \text{ soit } x = 1,74 \text{ m}$$

Question 2.2.6.

Calcul du moment fléchissant :

$$\text{Le moment fléchissant à l'ELS est égal à } M = -27,02 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 2,50 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} = -27,02 \cdot \cos(15,80) \cdot 1,74 + 2,50 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{1,74^2}{2} = -41,59 \text{ KNm}$$

Calcul de la position de l'axe neutre :

$$\frac{200 \times y_1^2}{2} - 15 \times 307,72 \times (450 - y_1) - 7,5 \times (1,250) \times (500 - y_1) = 0$$

Après résolution, on trouve $y_1 = 128,497$ mm

Calcul de l'inertie homogène avec fibre de carbone :

$$I = \frac{200128,497^3}{3} + 15 \times 307,72 \times (450 - 128,49)^2 + 7,5 \times 1,2050 \times (500 - 128,49)^2$$

Après résolution, on trouve 680682826 mm⁴

Calcul des contraintes dans le béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M \times V}{I} = \frac{41590000 \times 128,497}{680682826} = 7,83 \text{ Mpa} < 20 \text{ Mpa}$$

Calcul des contraintes dans les aciers tendus :

$$\sigma_{st} = n \times \frac{M \times V}{I} = 15 \times \frac{41590000 \times (450 - 128,49)}{680682826} = 294,66 \text{ Mpa} < 305 \text{ Mpa}$$

Calcul des contraintes dans le plat de carbone :

$$\sigma_{sf} = n' \times \frac{M \times V}{I} = 7,5 \times \frac{41590000 \times (500 - 128,49)}{680682826} = 170,24 \text{ Mpa} < 1440 \text{ Mpa}$$

Question 2.2.7.

$$\tau_{max_{els}} = \frac{2 \times F_{els}}{b_f \times l_{anc}} = \frac{2 \times 170,24 \times 1,2 \times 50}{50 \times 300} = 1,36 \text{ Mpa} \text{ inférieure à } 1,5 \text{ Mpa}$$

La contrainte de cisaillement de 1,36 Mpa est conforme car elle reste inférieure à la contrainte admissible de 1,5 Mpa.

Partie 2.3 : Étude d'un tirant pour semelle béton armé

Question 2.3.1.

Poids de la fondation : $1,00 \times 1,30 \times 0,50 \times 25 = 16,25 \text{ KN}$

Le torseur des efforts s'appliquant sur le sol après rajout du poids de la semelle de fondation est le suivant :

$$N = 10 + 16,25 = 26,25 \text{ KN}$$

$$M = 30 \text{ KN.m}$$

La contrainte sur le sol est donc égale à :

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M \times V}{I}$$

Avec

$$S = 1,00 \times 1,30 = 1,30 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1,00 \times 1,30^3}{12} = 0,183 \text{ m}^4$$

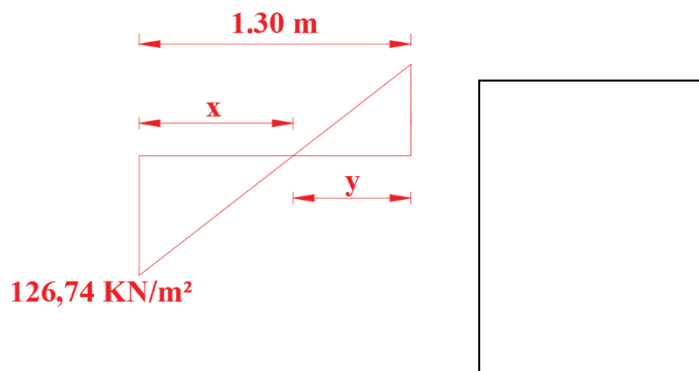
$$V = h \div 2 = 1,30 \div 2 = 0,65 \text{ m}$$

On obtient

$$\sigma = -\frac{N}{S} - \frac{M \times V}{I} = -\frac{26,25}{1,30} - \frac{30 \times 0,65}{0,183} = -126,74 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma = -\frac{N}{S} - \frac{M \times V}{I} = -\frac{26,25}{1,30} - \frac{30 \times (-0,65)}{0,183} = 86,36 \text{ KN/m}^2$$

Le diagramme des contraintes est le suivant :



$$\frac{126,74}{x} = \frac{86,36}{y}$$

$$\frac{126,74}{x} = \frac{86,36}{1,30 - x}$$

$$126,74 \times (1,30 - x) = 86,36 \times x$$

$$164,76 - 126,74 \times x = 86,36 \times x$$

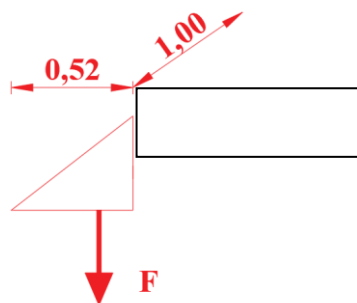
$$164,76 = 213,10 \times x$$

$$\frac{164,76}{213,10} = x = 0,77 \text{ m}$$

$$y = 1,30 - x = 1,30 - 0,77 = 0,52 \text{ m}$$

Question 2.3.2.

La semelle de fondation est décollée sur 52 cm



$$F = \frac{0,52 \times 86,36 \times 1,00}{2} = 22,45 \text{ KN}$$

Question 2.3.3. À l'aide des documents techniques DT09 et DT10, Calculer la force maximale de traction que peut reprendre le tirant.

La formule de calcul de la force maximale de traction d'après les DT6 est la suivante :

$$Tu = \pi \times Ds \times Ls \times qs$$

Avec

Ds : diamètre de calcul du bulbe de scellement égal au diamètre nominal du tirant soit 32 mm

Df : diamètre de forage

α : coefficient majorateur en fonction des terrains et type d'injection pris égal à 1,10

Ls : longueur de scellement

qs : frottement latéral limite

Le tirant possède une longueur de 7,00 m et rencontre les trois formations géotechniques suivantes d'après le DT7 :

- De 0,00 à -0,50 mètre du remblais (Qs Remblais = 50 kPa)
- De -0,50 à -6,90) mètres de l'argile (Qs Argiles = 150 kPa)
- De -6,90 à -7,00 mètres du Substatum Permien (Qs Substatum Permien = 250 kPa)

$$Tu = \pi \times 0,032 \times 0,50 \times 50 + \pi \times 0,032 \times (6,90 - 0,50) \times 150 + \pi \times 0,032 \times (7,00 - 6,90) \times 250 \\ = 101,48 \text{ KN}$$

Question 2.3.4.

Le tirant proposé est conforme car la force maximale de traction du tirant de 101,48 KN est bien supérieure à la force de soulèvement de 22,45 KN.

Partie 2.4 : Étude d'un portique en béton armé avec précontrainte additionnelle

Question 2.4.1.

✓ **A l'ELU les efforts sont les suivants :**

Charge uniformément répartie : $G = 2,50 \cdot 1,35 = 3,375 \text{ KN/ml}$

Charges ponctuelles : $F = 1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q = 1,35 \cdot 12 + 1,50 \cdot 8 = 28,20 \text{ KN}$

✓ **Détermination du degré d'hyperstaticité du portique :**

Le système est composé d'une traverse et d'un poteau plan

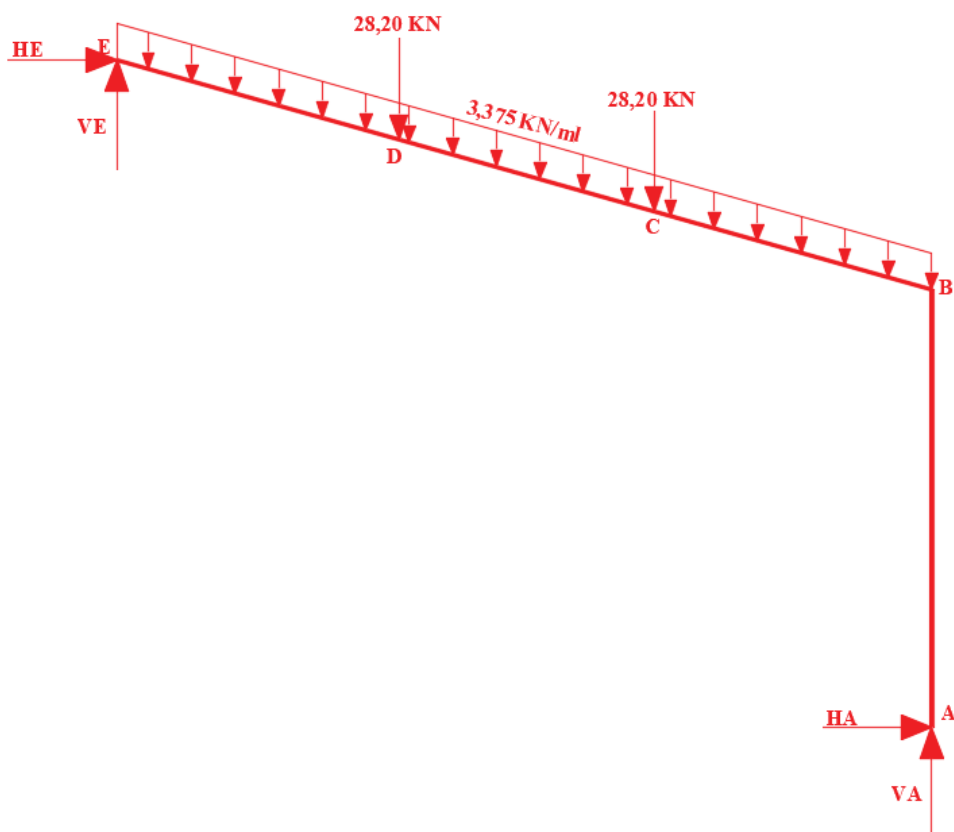
Le nombre d'équation que nous pouvons écrire en utilisant le PFS est : 3

Le nombre de liaisons extérieures inconnues est 4 car deux articulations en A et E

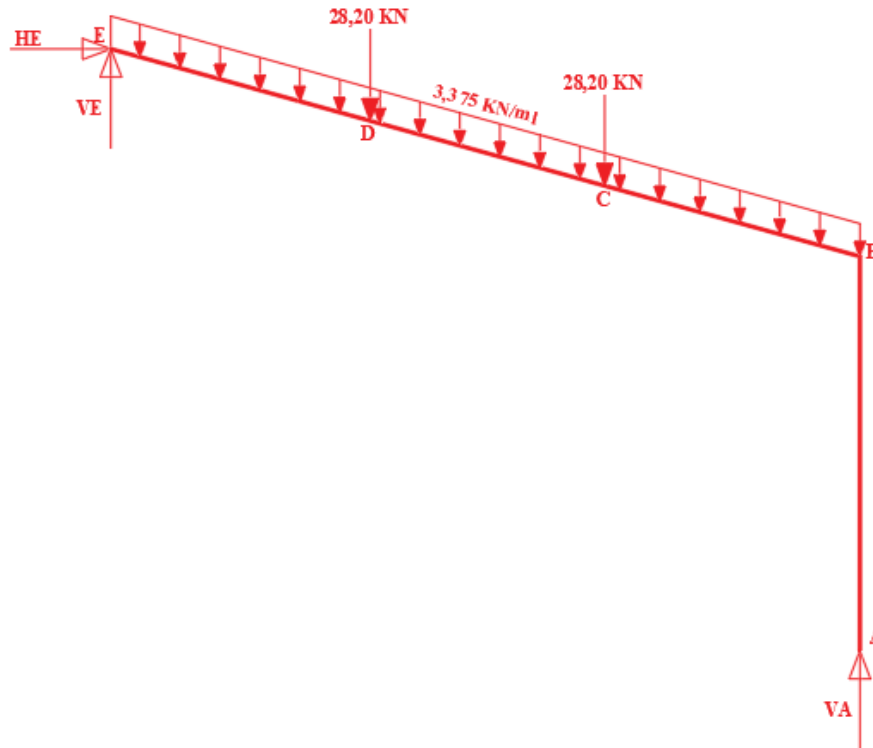
Le système est 1 fois hyperstatique extérieur : 4 inconnues – 3 équations = 1 inconnue

✓ **Résolution du portique hyperstatique par la méthode des forces :**

Nous rendons dans un premier temps le système isostatique. Pour ce faire, on choisit H_A comme inconnue hyperstatique car le choix de V_A rendrait la structure instable (elle tournerait autour de E).



Etat 0 : Charges extérieures $\bar{0}$ et $X_1 = 0$



Calcul des réactions d'appuis :

$$F_x = H_A = 0$$

$$F_y = V_E + V_A - 28,20 - 28,20 - 3,375 \cdot 5,62 = 0$$

$$V_E + V_A = 28,20 + 28,20 + 18,96 = 75,36$$

$$\text{Par symétrie } V_A = V_E = \frac{75,36}{2} = 37,68 \text{ kN}$$

Calcul des sollicitations :

➤ **Tronçon ED en pente ($0 \leq x < 2,01$)**

Moment fléchissant :

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2}$$

AN

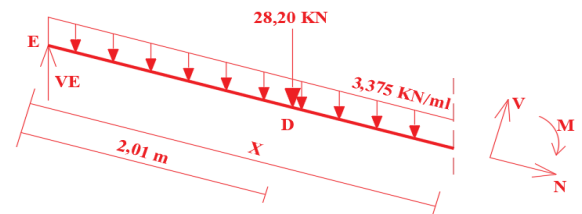
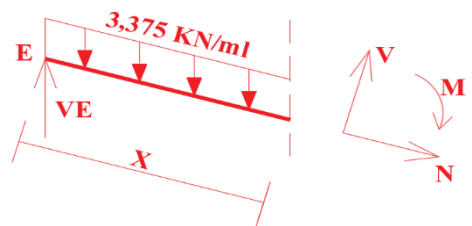
$$x = 0 \quad M = 0 \text{ kNm}$$

$$x = 2,01 \quad M = -66,31 \text{ kNm}$$

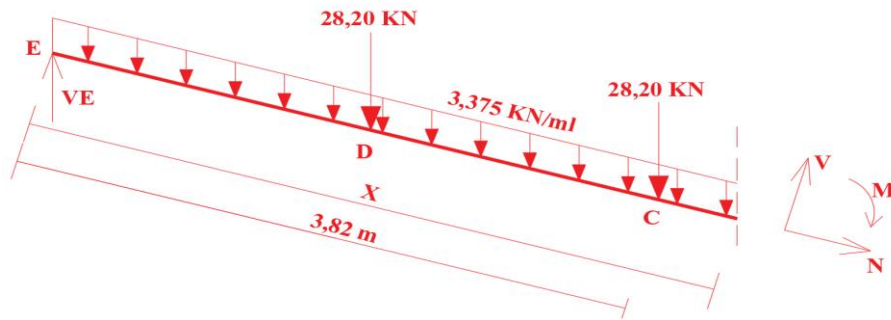
➤ **Tronçon DC en pente ($2,01 \leq x < 3,82$)**

Moment fléchissant :

$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x - 2,01)$$



➤ **Tronçon CB en pente ($3.82 \leq x < 5.84$)**



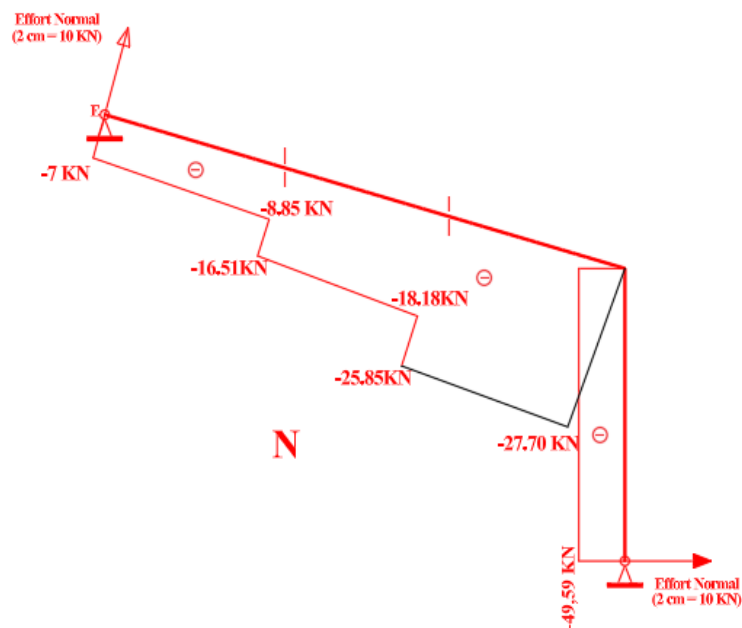
Moment fléchissant :

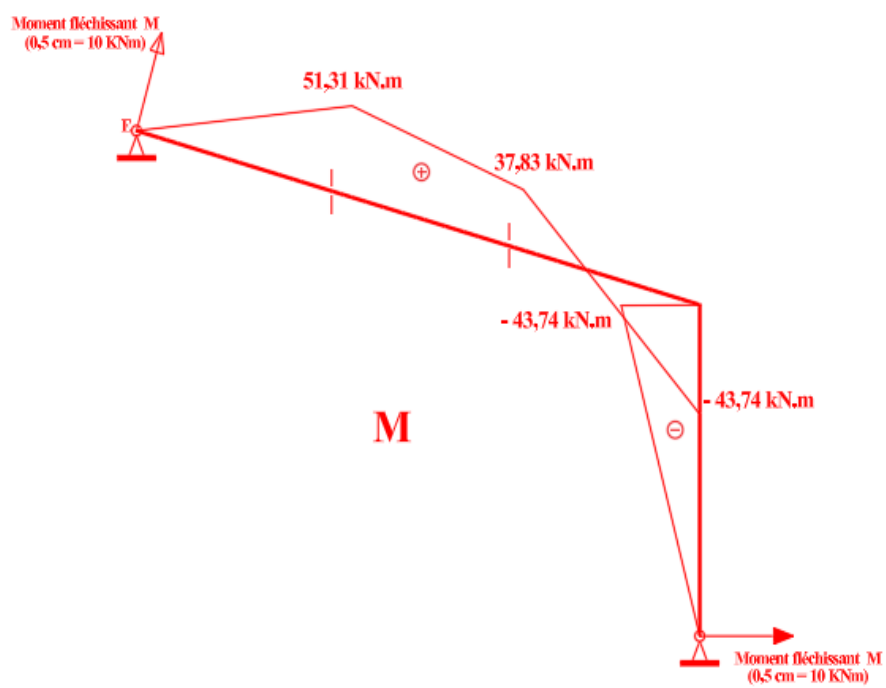
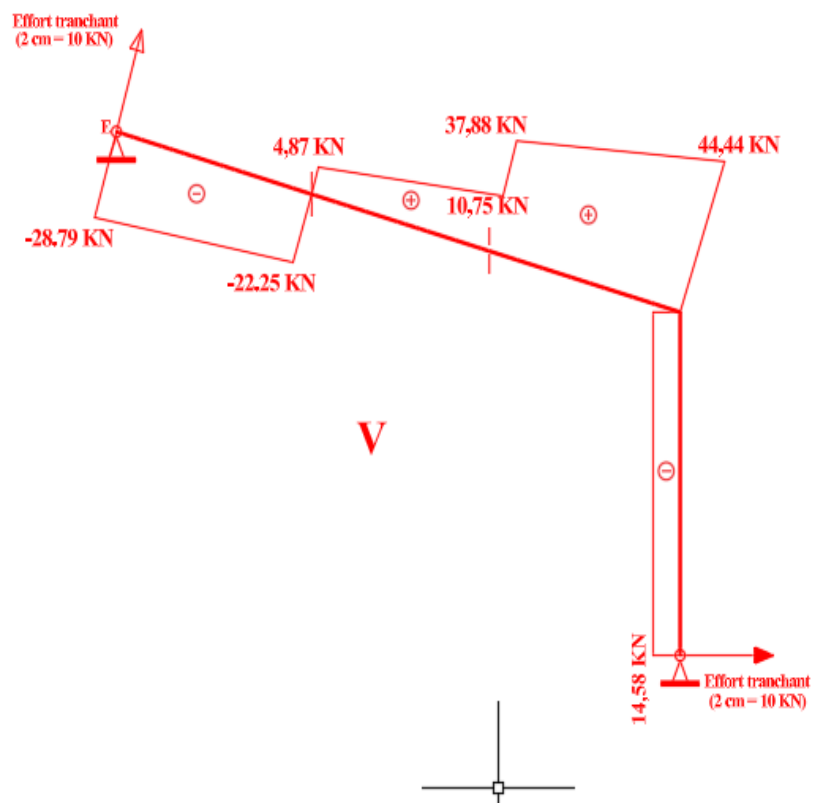
$$M = -37,68 \cdot \cos(15,80) \cdot x + 3,375 \cdot \cos(15,80) \cdot \frac{x^2}{2} + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x-2,01) + 28,20 \cdot \cos(15,80) \cdot (x-3,82)$$

➤ **Tronçon vertical AB**

Moment fléchissant :

$$M=0$$





Question 2.4.2.

Au point D du portique, le moment crée par la précontrainte additionnelle tend la fibre supérieure de la poutre avec un moment de -7,33 KNm.

Au point D du portique, les charges permanentes et d'exploitations hors précontrainte tendent la fibre inférieure de la poutre à une valeur 51,31 KNm.

La valeur résultante du moment à l'ELU au point D avec toutes les charges et la précontrainte additionnelle est donc égale à $51,31 - 7,33 = 43,98$ KNm.

Question 2.4.3. Déterminer la force et la section des deux câbles de précontrainte additionnelle au point D du portique.

$$= -\frac{M \times V}{I} + \frac{N}{S} = -\frac{P \times eo \times V}{I} + \frac{P}{S} = P \times \left(-\frac{eo \times V}{I} + \frac{1}{S} \right)$$

On réalise le prédimensionnement de la précontrainte avec la contrainte de compression du béton de 5,28 Mpa
Avec

$$V = 250 \text{ mm}$$

$$eo = 305 \text{ mm}$$

$$S = 500 \cdot 200 = 100000 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{200 \times 500^3}{12} = 2083333333 \text{ mm}^3$$

$$= P \times \left(\frac{eo \times V}{I} + \frac{1}{S} \right)$$

$$5,28 = P \times \left(-\frac{305 \times 250}{2083333333} + \frac{1}{100000} \right) \text{ Soit } P = 198496 \text{ N pour 2 câbles}$$

$$\text{Pour 1 câble, nous obtenons } \frac{198496}{2} = 99248 \text{ N}$$

$$\text{La section du câble est égale à } \sigma = \frac{N}{S} = \frac{99248}{1200} = 82,7 \text{ Mpa}$$

D'après le tableau du fabricant, il faut un toron T15.7 de chaque côté de la poutre présentant une surface de $150 \text{ mm}^2 > 82,7 \text{ mm}^2$.

Question 2.4.4. Compléter le document réponse DR03 en y indiquant, pour chaque critère, la meilleure solution parmi les trois techniques de réparation envisagées.

		Techniques de réparation		
		N° 1	N°2	N°3
N°	Critères	Plats/fibre de carbone	Béton projeté	Précontrainte additionnelle
1	Coût le moins cher	x		
2	Facilité de mise en œuvre	x		
3	Esthétique		x	
4	Durabilité dans le temps		x	
5	Non apport de surcharge supplémentaire à la structure	x		
6	Temps de mise en œuvre	x		
7	Diminution de la flèche		x	
8	Matériel nécessaire	x		
9	Sécurité des employés lors de la mise en œuvre	x		
10	Réalisation d'une contre flèche d'une poutre existante			x
11	Sécurité incendie		x	

Question 2.4.5.

$$Nu > \frac{\gamma_p \times Pu \times \gamma_f}{f \times \gamma_s}$$

$$Nu > \frac{1,35 \times 14,58 \times 1,20}{0,50 \times 0,85} = 55,57 \text{ KN}$$

Question 2.4.6. Vérifier que le câble de précontrainte additionnelle de la poutre ne rentre pas en résonance avec la structure et conclure.

$$T_c = 2 \times l \times \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}}$$

$$T_c = 2 \times 6,20 \times \sqrt{\frac{7850}{120000000}} = 0,10 \text{ s}$$

La fréquence du câble est égale à $f = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{0,10} = 10 \text{ Hz}$

Conclusion : Le mode fondamental de la structure est de 14,11 Hz supérieure à la fréquence propre du câble de précontrainte n'entraînant pas la mise en résonnance.

ETUDE 3 : CONFORTS ET EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Partie 3.1 : Performance énergie RT2012

3.1.1 Composition des parois verticales

Question 3.1.1 : Calcul des coefficients de transmission thermiques des deux parois : paroi 02 en ITI et paroi 10 en ITE.

$$U = \frac{1}{R} \text{ avec } R = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}, \text{ dans le cas d'un flux horizontal : } R_{si} + R_{se} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\text{paroi 02}} = 4,57 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, U_{\text{paroi 02}} = 0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_{\text{paroi 10}} = 3,67 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, U_{\text{paroi 10}} = 0,27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Le coefficient de transmission thermique U est légèrement supérieur pour la solution ITE, cette solution technique est donc moins performante que l'ITI.

Question 3.1.2 :

La conductivité thermique (en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$) de l'insularis est plus faible qu'un béton structuré standard et qu'un béton traditionnel pour une résistance à la compression identique ($\lambda_{\text{insularis}} = 0,5 < \lambda_{\text{béton léger}} = 0,8 < \lambda_{\text{béton traditionnel}} = 1,9$).

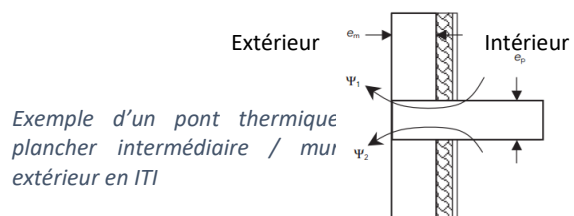
Le principal inconvénient d'une solution ITI est l'apparition de ponts thermiques. L'utilisation d'un béton isolant limite les ponts thermiques car le coefficient de transmission thermique linéique Ψ est réduit ($\Psi = 0,99 \text{ W/m.K}$ en traditionnel et $\Psi = 0,54 \text{ W/m.K}$ avec le système Insularis).

Ainsi, la solution Insularis permet de réduire les pertes thermiques surfaciques et linéiques en augmentant la résistance thermique de la paroi et en réduisant les ponts thermiques.

3.1.2 Traitement des ponts thermiques

Question 3.1.3 :

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible par : la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente comme par exemple les systèmes d'attaches métalliques qui traversent une couche isolante ; et/ou – un changement local de l'épaisseur des matériaux de la paroi ce qui revient à changer localement la résistance thermique ; et/ou – une différence entre les surfaces intérieure et extérieure, comme il s'en produit aux liaisons entre parois.



Question 3.1.4 : DR07

Désignation	Coefficient linéique Ψ en W/m.K
L8 – Mur extérieur / plancher extérieur	0,48
L9 – Mur extérieur / plancher intermédiaire	0,56
L10 – Mur extérieur / plafond intérieur lourd	0,51

Exigences de moyens RT2012 :

Désignation	Résultat	Conformité
Ratio ψ	0,24 W/m².K	Ratio $\psi < 0,28$ W/m².K Conforme
Ψ_9	0,56 W/m.K	$\Psi_9 < 0,60$ W/m.K Conforme

Ratio ψ (à travers tous les ponts thermiques des liaisons) : $Ratio_{\psi} = \frac{\sum \psi x l}{SRT}$ et $\psi_9 = \frac{\sum \psi x l}{\sum l}$

3.1.3 Choix des produits de construction et impact carbone**Question 3.1.5 : Indicateurs RE2020 :**

$I_{\text{énergie}}$ en kg eq. CO₂/m² sur 50 ans correspond à l'impact sur le changement climatique, à l'horizon 50 ans, des émissions de gaz à effet de serre relatives aux consommations d'énergie du bâtiment pendant son exploitation.

$I_{\text{construction}}$ en kg eq. CO₂/m² sur 50 ans traduit l'impact sur le changement climatique, à l'horizon 50 ans, des émissions de gaz à effet de serre relatives aux produits de construction et équipements sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

Question 3.1.6 :

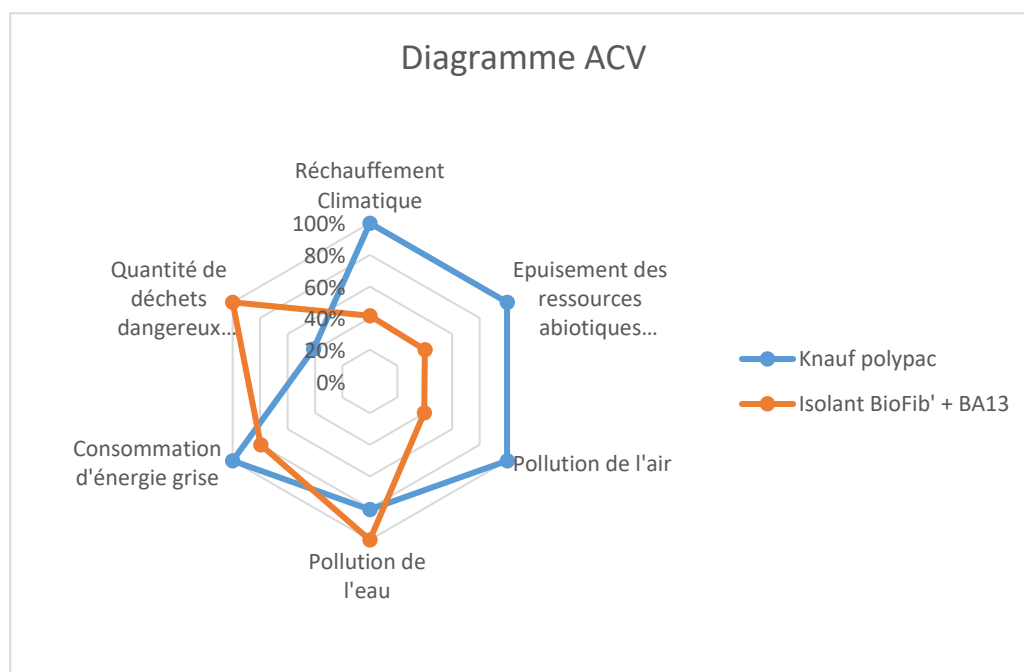
Unité fonctionnelle UF : unité de référence utilisée pour quantifier la performance du service rendu par un produit à l'utilisateur. Elle doit comprendre :

- L'identification de la (des) fonction(s) étudiée(s) du produit. Cette (ces) fonction(s) doit(doivent) décrire le service rendu à l'utilisateur.
- Le niveau de performance ou d'exigence atteint par la (les) fonction(s). Ce niveau doit être quantifié. Il peut être déterminé par rapport aux normes applicables au produit.
- La durée de vie de référence (DVR).

L'unité fonctionnelle fournit une base de référence standardisée permettant de comparer équitablement différents produits ou systèmes remplissant la même fonction. Sans cette définition claire, les comparaisons seraient biaisées et peu pertinentes.

Question 3.1.7 : DR08

Indicateurs	Unité	Solution de base – Knauf Polypac	Solution variante – Isolant Biofib + BA13
Réchauffement Climatique	kg CO2 eq / UF	10,2 (100%)	$1,04+3,20 = 4,24$ (41,6%)
Epuisement des ressources abiotiques (fossiles)	MJ / UF	300 (100 %)	$8,16.10+38,6 = 120,2$ (40%)
Pollution de l'eau	m ³ / UF	3,08 (81%)	$2,45+1,36 = 3,81$ (100%)
Pollution de l'air	m ³ / UF	2393 (100%)	$4,66.10^2+481 = 947$ (40%)
Consommation d'énergie grise*	MJ / UF	$4,81+182 = 186,81$ (100%)	$1,72.10^1 + 7,78.10^1+9,82+44 = 148,82$ (80%)
Quantité de déchets dangereux éliminés	kg / UF	$6,03.10^{-2}$ (41%)	$1,42.10^{-1} + 4,87.10^{-3} = 0,146$ (100%)



L'isolant Biofib est globalement meilleur sur la plupart des indicateurs (très largement pour le réchauffement climatique, épuisement des ressources, pollution de l'air, sensiblement pour la consommation d'énergie grise). Cependant, la solution contribue le plus à la pollution de l'eau lors de sa production et la quantité de déchets dangereux éliminés est plus importante. Le bilan global de cette solution est meilleur.

3.2.1 Acoustique extérieure

Architectural floor plan of a building with noise measurement data. The plan shows multiple rooms including Sèjour, Cuisine, Chambre, and Salle de Bain. Noise levels are indicated in red text: 35dB and 32dB. Distances are marked with arrows and text: "≈ 1,90 m" and "≈ 6,3 m". The plan also shows the "Chaussée Route Départementale N°10" and "Bâti Existant Voisin (Propriété Municipale)". A legend explains the blue lines for "Façades considérées" and the orange line for "Chaussée RD 10". A double-headed arrow indicates the "Repère pour mesure des distances horizontales".

Question 3.2.2 et 3.2.3 : DR10

Géométrie de la pièce		
Volume	V = 34,58 m³	
Surface de la façade vue de l'intérieur	S = 8,92 m²	
Caractéristiques des éléments de la façade		
Mur + Doublage	Surface	S _{mur} = (3,22 x 2,50) – 1,98 = 6,07 m²
	Indice d'affaiblissement acoustique R _{Atr,i}	Voile béton : R _w = 50 - 5 = 45 dB Doublage : + 5dB R _{Atr,i} = 50 dB
Menuiserie extérieure	Surface	S _{menuiserie} = 1,20 x 1,65 = 1,98m²
	Indice d'affaiblissement acoustique R _{Atr,i}	28 dB
Entrée d'air	Indice d'affaiblissement acoustique D _{ne,Atr,j}	37 dB
Isolation acoustique composée d'un pan de façade R' _{Atr} :		32,35 dB
Conclusion		
Isolement normalisé d'une façade D _{nT,A,tr} :		33,28 dB
Isolement minimal à respecter D _{nT,A,tr} min :		35 dB
Respect de l'exigence ?		Non

Configurations possibles permettant de répondre aux exigences : remplacement de la menuiserie par une menuiserie présentant un meilleur indice R_A (33 dB), l'isolement normalisé devient $D_{\text{nT,A,tr}} = 35,92 \text{ dB}$ et est supérieur à l'isolement minimal à respecter.

3.2.2 Acoustique intérieure

Question 3.2.4 : On relève $\alpha_i = 0,55$, 91% du plafond doit être recouvert du faux-plafond proposé.

Partie 3.3 : Utilisation des énergies renouvelables

3.3.1 Etude de la solution existante de production d'eau chaude sanitaire

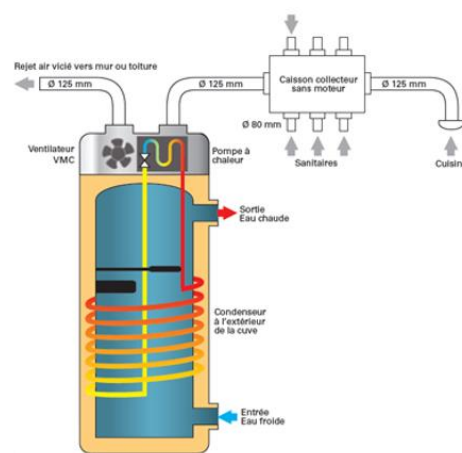
Question 3.3.1 : La consommation en ECS (eau chaude sanitaire) est le poste de consommation conventionnelle d'énergie le plus important (79%) dans le calcul du *Cep* du bâtiment. Le poste de consommation « Chauffage » vient en 3^{ème} position avec 6% de la consommation. La répartition est assez classique pour un bâtiment de logements collectifs bien isolé.

Question 3.3.2 : Indicateur *Cep,Nr*. Ce nouvel indicateur, exprimé en kWh_{EP}/m²/an représente la consommation conventionnelle du bâtiment pour les mêmes usages que le *Cep*, en ne conservant que la part non renouvelable. C'est l'indicateur principal et le plus contraignant pour les consommations d'énergie. Il est calculé comme le *Cep*, à partir des consommations en énergie finale, mais avec des coefficients de transformation de l'énergie différents.

Question 3.3.3 : Solution technique choisie pour la production d'eau chaude sanitaire : chauffe-eau thermodynamique individuel (pompe à chaleur R134a). Le ballon est raccordé à la VMC et fonctionne sur l'air extrait. Les calories présentes dans l'air extrait sont ainsi récupérées pour chauffer l'eau chaude sanitaire via le ballon d'eau chaude thermodynamique.

Le R134a sera retiré en 2030 : fort potentiel en réchauffement climatique (GWP >150).

La source froide (air extrait à l'intérieur du logement) présente des températures élevées (20 à 25°C), il y aurait de meilleures performances avec du R290 (propane) ou R744 (CO₂) car ils ont de meilleures propriétés thermodynamiques à des températures élevées.



3.3.2 Etude d'une solution variante : production ECS collective solaire

Question 3.3.4 : DR11

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
T.eau froide (°C)	14,6	15,1	16,2	17,1	19,4	21,2	22,4	22,6	20,4	18,8	16,2	15,0
Consommation (l/jr)	1460	1440	1410	1380	1300	1220	1060	1050	1260	1320	1410	1450
Apports solaires *(kWh/jr)	21,2	26,3	38,2	44,4	48	47,9	42,9	41,5	41,6	30,7	21,9	18,1
Besoins (kWh/mois)	2383,6	2100	2220,8	2060,2	1897,9	1647,3	1433,2	1412,1	1736,4	1955,6	2149,2	2346,4
Apports (kWh/mois)	657,2	736,4	1184,2	1332	1488	1437	1329,9	1286,5	1248	951,7	657	561,1
Taux de couverture (%)	27,6%	35,1%	53,3%	64,7%	78,4%	87,2%	92,8%	91,1%	71,9%	48,7%	30,6%	23,9%

Besoins : $B_{ECS} = \text{Consommation} \times \text{nb jr} \times C_p \times \Delta T$

Apports : $A = \text{Apports/jr} \times \text{nb jr}$

Taux de couverture = $\text{Apports} / \text{Besoins}$

Taux de couverture moyen : 58,8 %

Un taux de couverture annuel compris entre 50 et 70% est en général un bon compromis économique.

Question 3.3.5 : Le principe de fonctionnement d'une installation sous-pression à circulation forcée : le fluide caloporteur (eau glycolée) est maintenu sous pression dans le circuit solaire et présence d'un circulateur sur la boucle solaire. Contrairement à une installation auto-vidangeable : présence d'un réservoir de fluide sur dans la boucle solaire, la nuit ou lorsqu'il y n'y a plus d'apports solaires, le circuit se vidange par gravité. Le fluide n'est pas tout le temps sous pression et le circulateur renvoie le fluide dans le capteur solaire seulement lorsque cela est nécessaire. Dans une installation à thermosiphon, la circulation est réalisée par convection naturelle (absence de circulateur). Le fonctionnement repose sur le principe de la différence de température.

Question 3.3.6 : Classe 4, $\lambda = 0,040$ W/m.K. Pour l'aller (HTA Ø40), 38mm d'épaisseur d'isolant, pour le retour (HTA Ø20), 23 mm d'épaisseur d'isolant.

Question 3.3.7 :

$$\text{Sur l'aller : } k = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{0,16} \ln\left(\frac{0,04}{0,031}\right) + \frac{1}{0,04} \ln\left(\frac{0,116}{0,04}\right) + \frac{2}{10 \times 0,116}} = 0,22 \text{ W/m.K}$$

$$\text{Sur le retour : } k = \frac{2 \cdot \pi}{\frac{1}{0,16} \ln\left(\frac{0,02}{0,0154}\right) + \frac{1}{0,04} \ln\left(\frac{0,066}{0,02}\right) + \frac{2}{10 \times 0,066}} = 0,199 \text{ W/m.K}$$

$$\text{Perte thermique : } P = k_{\text{aller}} \times L_{\text{aller}} \times \Delta T + k_{\text{retour}} \times L_{\text{retour}} \times \Delta T = 0,22 \times 9 \times 45 + 0,199 \times 9 \times 45 = 169,7 \text{ W}$$

$$\text{Chute de température : } \Delta T = \text{Perte thermique} / 1,16 \times Q_v = 0,1697 / (1,16 \times 0,15) = 0,97 \text{ K}$$

Question 3.3.8 : Les obligations réglementaires relatives à la température de l'eau sont les suivantes : la température de l'ECS doit être supérieure à 50°C sur l'ensemble de réseau d'ECS et inférieure à 60°C aux points de puisage afin de lutter contre le développement des légionelles dans le réseau ECS. Dans le cas présent, la chute de température est < 1°C donc la température de l'eau dans les tuyaux reste bien au-dessus de 50°C.

Question 3.3.9 :

$$\Delta P_{\text{singulières boucle}} = \text{coefficient de perte de charges} \times p \times \frac{v^2}{2} = (1,5 \times 14 \times 1000 \times (0,24^2/2) + 3 \times 2 \times 1000 \times (0,24^2/2)) \\ = 777,6 \text{ Pa} = 77,76 \text{ mmCE} = 0,07776 \text{ mCE}$$

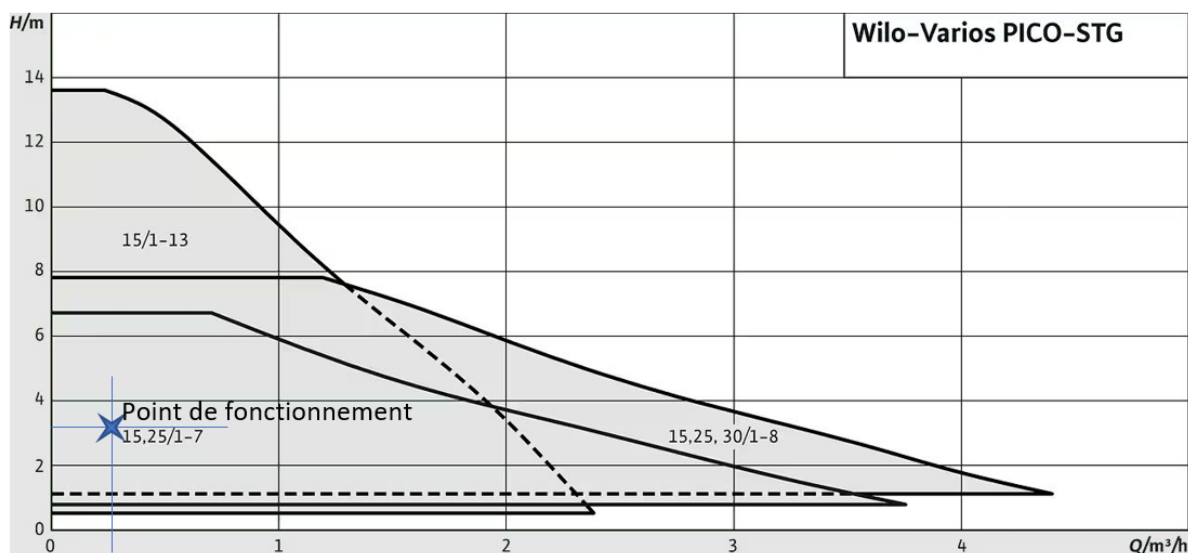
$$\Delta P_{\text{singulières éléments}} = 2100 \text{ mmCE} = 2,1 \text{ mCE}$$

$$\Delta P_{\text{linéaires}} = 4,5 \text{ mmCE/m} \times \text{longueur} = 0,414 \text{ mCE}$$

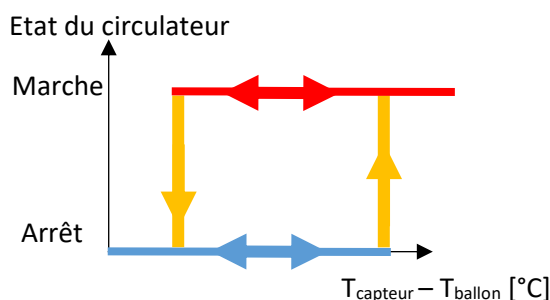
$$\Delta P_{\text{totales}} = \Delta P_{\text{singulières}} + \Delta P_{\text{linéaires}} = 2,59 \text{ mCE}$$

En prenant en compte la pondération pour le monopropylène-glycol (30%, facteur = 1,19) : la hauteur manométrique nécessaire est égale à 3,1 mCE.

Sélection du circulateur sur le DR12, point de fonctionnement : (0,27 m³/h ; 3,1 mCE), référence WILO- Varios PICO-STG 15,25/1-7.



Question 3.3.10 : La régulation commande le fonctionnement du circulateur de la boucle solaire. Cette régulation est basée sur la comparaison entre : la température du fluide caloporteur à la sortie des capteurs T_{SC} et la température à la sortie du ballon T_{BB} . Un différentiel d'enclenchement est paramétré. Si $T_{SC} > T_{BB} + \text{différentiel}$ alors la pompe démarre, si $T_{SC} < T_{BB} + \text{différentiel}$ alors la pompe s'arrête.



En cas de surchauffe de l'installation solaire (lors des périodes de fort ensoleillement si l'énergie solaire récupérée n'est pas transmise au volume de stockage ou n'est pas utilisée), différentes solutions sont possibles : refroidissement du ballon solaire / refroidissement nocturne : dissiper l'excès d'énergie solaire accumulé dans le ballon solaire au travers des capteurs, refroidissement des capteurs : dissiper l'excès d'énergie solaire accumulé dans les capteurs. Ce mode s'enclenche dès lors que les capteurs atteignent une température excessive et que la température du ballon solaire est comprise entre sa consigne et sa température maximale.

Conclusion de l'étude 3

Question 3.3.11 : Un indicateur important n'a pas été abordé dans cette analyse : celui relatif au confort d'été qui vise à garantir le bien-être des occupants lors des périodes de forte chaleur. Cet aspect est devenu particulièrement crucial dans le contexte du changement climatique et des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes. L'indicateur de confort d'été est le DH « Degré heure ». Cet indicateur DH caractérise le nombre d'heures sur l'année au cours desquelles une température de confort est dépassée à l'intérieur du logement. L'unité est le °C.h et il existe deux seuils : 350 °C.h et 1250 °C.h.

Commentaires du jury

Le sujet était composé de trois parties indépendantes. **La partie 1** avait pour objet d'étudier l'environnement juridique de l'acte de construire en analysant les phases et planification d'un projet par le biais de l'expertise de site, la notion de Déclaration de Travaux (DT), la description des étapes d'un projet suivant le processus BIM en infrastructure et enfin, l'analyse de la précision des mesures (avec l'application de l'Arrêté 2003).

Le jury constate que plus de 75 % des candidats ont traité la première partie relative à la préparation, ce qui témoigne d'un bon engagement dans le traitement malgré sa nouveauté.

Les résultats de la première partie montrent que cette étude a été abordée par une grande majorité et correctement traitée par plus de la moitié des candidats. Sur le plan de l'expertise, **les candidats ont globalement montré une bonne maîtrise des notions fondamentales**, traduisant une connaissance du cadre légal et réglementaire. En revanche, **la compréhension du phasage global d'un projet BIM reste limitée**, et les réponses traduisent souvent une vision partielle ou imprécise de la structuration d'un projet en environnement numérique collaboratif, notamment en infrastructure.

En ce qui concerne la partie calculatoire, **la théorie des écarts-types n'est pas maîtrisée** : tant sur le plan conceptuel que méthodologique, les réponses ont révélé une méconnaissance de cette notion statistique pourtant classique. En revanche, **l'application de l'arrêté, bien que nouvelle pour une grande partie des candidats, a été abordée de manière satisfaisante**. Les candidats ont su exploiter les données fournies et mobiliser les éléments du texte réglementaire pour construire une réponse argumentée, ce qui est à souligner positivement.

Concernant l'étude 2, les résultats sont bien en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales, sur les trois parties d'étude abordées.

En effet, moins de 40% des candidats ont abordé la partie 2.2, 2.3 et 2.4 ce qui est plus surprenant compte tenu de la thématique familière, des questions plutôt « classiques » et une indépendance des parties.

La partie 2.1 de la deuxième étude visait à déterminer les sollicitations dans un treillis isostatique classique. La méthode des nœuds et celle de Ritter étaient préconisées. Elle a été abordée par plus de 2/3 des candidats et avec peu de résultats satisfaisants.

Sur le fond, le jury relève plusieurs points d'attention récurrents dans les copies :

Partie 2.1

- **Le calcul des charges par mètre linéaire sur un pan incliné est mal maîtrisé par une partie des candidats, de même que le calcul de réactions d'appuis sur une poutre treillis ou sur la poutre inclinée. Ces calculs constituent les fondamentaux que les candidats doivent impérativement maîtriser.** Ceci est préoccupant au regard du niveau attendu à ce stade du concours (Partie 2.1).
- Le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des principes de base (évaluation des charges linéiques reprises par une poutre, déduction du diagramme des moments fléchissants à partir du diagramme des efforts tranchants).
- Il en est de même pour la détermination du degré d'hyperstaticité qui ne nécessite pas forcément de calculs complexes, mais cela a posé des problèmes à de trop nombreux candidats. Le jury s'étonne de ces difficultés sur une question pourtant très accessible.

- **Les unités imposées dans les tableaux ne sont pas toujours respectées**, et les résultats sont souvent donnés avec un nombre de décimales excessif. Le jury rappelle l'importance de respecter les conventions d'écriture scientifique et d'adapter le degré de précision à la situation.
- **La rédaction des calculs est insuffisamment soignée** : certains candidats se contentent de donner des résultats sans détailler les étapes intermédiaires. Cela nuit à la lisibilité du raisonnement et empêche l'attribution de points intermédiaires. Il est judicieux de détailler au moins un des calculs (figure, notation, méthodologie, résultats...) puis compléter le tableau sans le détail de calculs itératifs ou répétitifs. Le jury rappelle que **le détail des formules utilisées et la démarche suivie doivent toujours être rédigés clairement dans la copie**, afin de permettre l'évaluation du raisonnement et non seulement du résultat final.

Partie 2.2

- **Le recours à la méthode graphique pour le tracé des diagrammes** (déduction du diagramme des moments fléchissants à partir du diagramme des efforts tranchants) est recommandé. Ce point est à renforcer et peu de candidats semble maîtriser le tracé direct.
- L'analyse des documents techniques est bien faite par les candidats mais plus de la moitié n'ont pas traité des questions indépendantes.
- **Les unités nécessitant des conversions ne sont pas toujours bien converties**, et les résultats sont souvent donnés dans une unité qui ne respecte pas les conventions de calculs scientifiques.

Partie 2.3

- Enfin, les **bases de la RDM, que ce soit en flexion simple ou composée, sont insuffisamment acquises** : les candidats manipulent parfois mal les équations fondamentales, remplacent les valeurs sans vérifier les unités, et ne contrôlent pas la cohérence des résultats (confondant contrainte normale de flexion, flexion composée sans considérer la répartition sur la section).
- En mécanique des sols, la manipulation basique des expressions de définition des paramètres des sols n'est pas maîtrisée par un grand nombre de candidats. Le calcul de la force maximale de traction sur le tirant en tenant compte de la nature du sol et de la hauteur, a posé problème alors que le sujet est un classique, les formules explicitées dans l'énoncé et sans difficulté particulière.

Partie 2.4

- Les résultats sont en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales, sur les thèmes abordés dans cette partie (très peu abordés au final). En calcul des structures, le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des principes de base tels que : la précontrainte, analyse de structure hyperstatique et calcul de flèches.
- En ce qui concerne la **détermination de la période propre**, les erreurs portent principalement sur les **unités**, alors que **le calcul est simple et positionné en fin de sujet pour valoriser les candidats rigoureux**. Les notions fondamentales de vibration des structures ne sont pas connues par la très grande majorité des candidats (résonance).

Bien que plus des deux tiers des candidats aient répondu aux questions de **la partie 3**, la qualité des réponses reste globalement insatisfaisante, traduisant une compréhension partielle ou superficielle des notions abordées.

Partie 3.1

La première partie de l'étude 3 (3.1) visait à analyser la composition et la performance des parois de la construction. **Le jury constate que les aspects calculatoires de base dans la spécialité ne sont pas maîtrisés par certains candidats.** Les questions nécessitent parfois plusieurs éléments de réponse, il est rappelé aux candidats de bien lire les questions, d'étudier les documents techniques fournis avec attention et de justifier les réponses. **L'actualité réglementaire et notamment les indicateurs liés à la RE2020 en vigueur ne sont pas ou peu connus.** Le jury rappelle que les candidats à l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions sont tenus de s'informer et de mettre à jour leurs connaissances en fonction de l'actualité dans leur secteur d'activité. Enfin, il est regrettable de voir une très faible proportion de candidats s'emparer des outils à leur disposition (diagramme de l'analyse de cycle de vie) et de proposer des analyses pertinentes.

Partie 3.2

Cette étude liée au confort acoustique s'appuyait sur l'utilisation des données et des normes fournies. Le jury constate que de nombreux candidats ne lisent et n'analysent pas correctement les documents techniques fournis pour réaliser les études demandées. Enfin, il est rappelé aux candidats qu'ils doivent être en mesure **d'apporter un regard critique et de réaliser une analyse de leurs résultats** et qu'en cas de non atteinte des exigences il leur est demandé de justifier leurs conclusions notamment par des calculs de solutions variantes.

Partie 3.3

Enfin, pour la dernière partie de l'étude 3, le jury regrette le faible nombre de candidats ayant proposé une étude complète. En effet, certaines questions étaient accessibles et peu calculatoires. Il est rappelé qu'il est attendu des candidats une **bonne maîtrise des principes de fonctionnement des équipements habituels de génie climatique** (dans ce cas : chauffe-eau thermodynamique, VMC, installation d'eau chaude sanitaire solaire). Peu de candidats proposent une démarche de dimensionnement correcte pour le réseau de la boucle solaire alors même qu'il s'agit d'un exercice assez classique dans l'étude de la distribution des fluides. Le jury déplore le manque de maîtrise des expressions littérales de base et des caractéristiques des fluides communs dans certaines copies. Enfin, dans le contexte réglementaire actuel exigeant et en évolution sur l'efficacité énergétique des systèmes et notamment sur leur pilotage, il est demandé aux candidats de développer leur vision globale sur les installations afin d'en comprendre les différents leviers.

À l'issue de la correction de l'épreuve et en tenant compte des résultats, le jury rappelle aux futurs candidats l'importance de :

- Ne pas négliger les parties qui ne relèvent pas directement de leur spécialité : la progression graduée de la complexité des différentes sections permet à tous les candidats de se concentrer sur l'ensemble du sujet.
- Maîtriser avec rigueur les outils mathématiques de base nécessaires à la résolution des problèmes physiques : algèbre, arithmétique, calcul d'intégrales, équations différentielles, etc.
- Être vigilant sur les unités des grandeurs physiques et veiller à la cohérence des résultats obtenus.
- Rédiger avec soin : la qualité rédactionnelle et graphique des copies fait partie intégrante de l'évaluation.

Épreuves d'admission

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

Présentation de l'épreuve

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

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

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 pré-requis 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 oeuvre 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 oeuvre 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 pré-requis 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 2025 étaient les suivants :

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

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

- élaboration et mise en oeuvre 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.

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.

Résultats

Moyenne	7,31
Note minimale	2,03
Note maximale	18,74
Écart type	4,41

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.

Lors de l'exposé oral, trop de candidats présentent essentiellement un rapport des activités menées lors des phases de prises en main et d'expérimentations, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques évaluées lors de la première phase sont souvent reprises dans la séance à caractère expérimental proposée par quelques candidats, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est trop souvent oubliée.

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 peu détaillés ;
- les compétences visées proposées sont peu détaillées, et parfois sans lien réel avec la séquence choisie ;
- le choix des stratégies pédagogiques mises en œuvre, même si souvent pertinent, n'est que rarement justifié ;
- l'évaluation est souvent absente de la séquence. Lorsqu'elle est évoquée, elle n'est que très peu explicitée et peu justifiée sur le plan pédagogique.

Le jury attend une séquence pédagogique structurée par une organisation temporelle et des contenus 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. Cette possibilité laissée au candidat a été bien appréhendée. Pour la majorité des sujets, l'une et l'autre des propositions ont été traitées.

Les outils et méthodes de l'ingénierie pédagogique doivent être connus et maîtrisés. Si le candidat cite des stratégies pédagogiques ou didactiques, le jury attend qu'il sache les expliciter et les concrétiser. 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 structurent l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

Phase 1 : deuxième partie - prise en main du support

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

Le jury remarque qu'un grand nombre de candidats tente d'accorder une durée trop importante à cette partie, sans se focaliser sur les activités proposées par le sujet de l'épreuve.

Dans cette partie, le jury attend des candidats qu'ils fassent preuve d'autonomie et d'efficacité dans leur prise en main du système. En ce sens, les activités proposées sont ciblées afin de ne pas excéder la durée de 30 minutes allouée à cette partie.

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

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

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

Le candidat est amené à :

- utiliser une instrumentation spécifique dédiée à la mesure de grandeurs physiques sur les systèmes instrumentés ;

- mettre en œuvre différents outils informatiques (logiciels de pilotage et/ou d'acquisition dédiés aux supports, logiciels de simulation, modéleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

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

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

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- répondre à l'entièreté des questionnements des activités proposées ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- utiliser le vocabulaire scientifique et technologique adapté aux activités et aux expérimentations réalisées lors des échanges avec le jury ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels, fonctionnels et comportementaux) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corréliser 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 ;
- certains candidats proposent uniquement des activités de simulation alors que le jury attend une séance à caractère expérimental ;
- 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 : quelles grandeurs physiques sont mesurées ? dans quel objectif ? avec quel appareil de mesure ? comment ? La configuration pédagogique choisie doit être justifiée.

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis et être pertinents en vue d'une montée en compétences des élèves ou étudiants. 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.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation de 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées. Le jury attend lors de cette phase de présentation de la séquence pédagogique que le candidat soit capable de :

- présenter le contexte pédagogique imposé ;
- situer la séquence de formation en l'inscrivant dans la formation au niveau requis ;
- contextualiser la séquence ;
- 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 déplore que lors des échanges, certains candidats manquent de réactivité et d'analyse. Le jury attend des candidats qu'ils soient capables d'argumenter et de justifier les propositions présentées et les éléments exposés. Le jury constate un manque de préparation pour certains candidats : le fonctionnement actuel de la voie générale est parfois méconnu.

Lors de l'entretien avec le jury, trop de candidats analysent le questionnement qu'il leur est fait comme une critique négative de leurs propositions. Bien souvent, le jury attend du candidat qu'il soit capable de détailler et d'expliquer plus en détail sa réflexion et ses volontés pédagogiques, et non qu'il change fondamentalement sa proposition initiale.

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

Comportement des candidats

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

Quelques candidats ont fait le choix de s'appuyer sur des propositions émanant d'intelligences artificielles génératives. Cet étayage n'apporte pas de plus-value s'il n'est pas accompagné des justifications appropriées quant aux choix pédagogiques et didactiques opérés.

Le jury déplore les présentations comportant de trop nombreuses fautes d'orthographe et de grammaire dans les supports numériques présentés ; elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'Éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

Conclusion

La session 2025 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.

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

Volet roulant solaire

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

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

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

Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

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

	Choix 1	Choix 2
Titre de la séquence	Comment les nouvelles technologies peuvent-elles améliorer l'habitat ?	Comment optimiser l'utilisation de l'énergie de façon autonome tout en respectant l'environnement ?
Niveau de formation visé	STI2D enseignements communs de 2I2D en Terminale	
Supports pédagogiques	Les supports suivants sont disponibles dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ils sont choisis judicieusement pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée : - ventilation mécanique contrôlée double-flux ; - système de climatisation ; - panneaux photovoltaïques ; - volet roulant solaire autonome ; - système Eolicc ; - systèmes variés de chauffage ; - système d'éclairage communicant de salles de spectacles ; - thermostat connecté et intelligent ; - pompe à chaleur ; - ...	
Effectif	Classe de 24 élèves, groupe à effectif réduit de 12 élèves	
Volume horaire	12 heures hebdomadaires (2h à effectif complet + 10h à effectif réduit)	

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

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme IT-I2D-2I2D.pdf) ;
- des documents d'accompagnement (dossier Ressources Pédagogiques STI2D) ;
- une proposition de séquences adaptées au niveau de formation visé (fichier Progression didactique STI2D.xlsx).

Production attendue

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

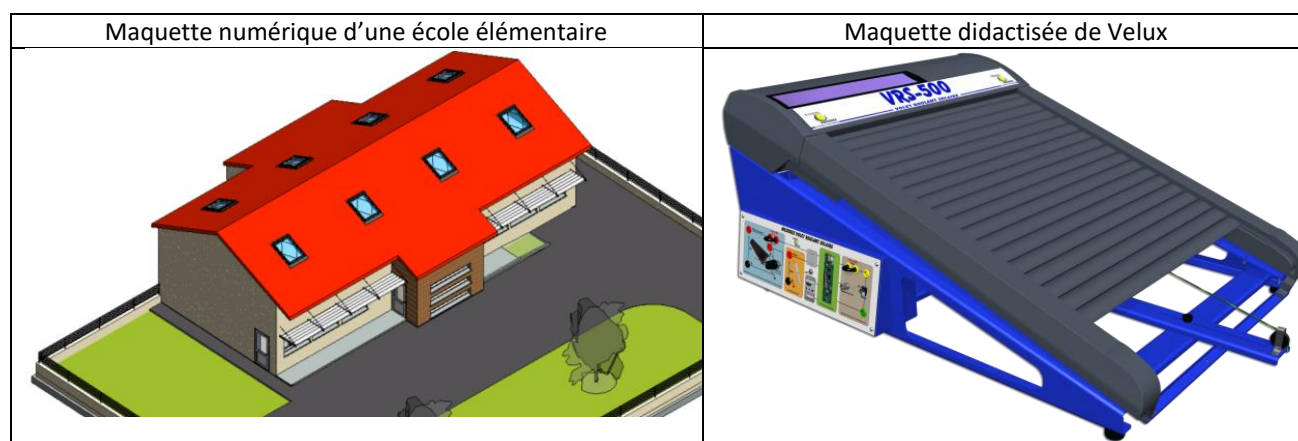
- contextualisé la séquence pédagogique dans une grande thématique ;
- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition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

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

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- la maquette numérique d'une école élémentaire sous ArchiWizard ;
- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et du sous-système développement durable ;
- des appareils de mesures (multimètre et thermomètre) ;
- la documentation technique des différents constituants du banc didactique combiné ;
- trois modèles de simulation Matlab « VRS_S_model », « simumaquette » et « simubatiment ».



Le contexte d'étude est celui d'une commune décidant de créer une nouvelle classe au premier étage dans les combles de son école maternelle / primaire (voir plans au DT1).

L'architecte souhaite favoriser au maximum l'éclairage naturel grâce à des Velux tout en maîtrisant le confort d'été en optimisant les besoins en chauffage et en éclairage.

Il souhaite notamment respecter la cible 10 « confort visuel » du label HQE (Haute Qualité Environnementale) préconisant un environnement intérieur satisfaisant sur le plan visuel sous une forme plus qualitative que quantitative.

L'accent est mis sur l'accès à la lumière naturelle avec la recherche de l'équilibre des luminances et la limitation de l'éblouissement ; l'indicateur opérationnel retenu est le facteur de lumière du jour (FLJ minimum de 2,5 % dans les bureaux et 2 % dans l'enseignement). Des données sur l'éclairage sont fournies par le DT3.

L'éclairage artificiel, conçu pour fonctionner en l'absence d'éclairage naturel ou en appoint de ce dernier, distingue comme indicateurs opérationnels :

- le niveau d'éclairage moyen à maintenir selon les usages (300 lux dans les bureaux, 300 lux dans les salles de classes primaire et secondaire et 500 lux dans les salles de cours du soir et d'enseignement pour adultes) ;
- le facteur d'uniformité (0,7 à 0,8 suivant l'implantation) ;
- l'équilibre de luminance et la limitation de l'éblouissement direct des sources d'éclairage ;
- la température de couleur et le rendu des couleurs.

La conception du bâtiment considéré amène, de plus, l'architecte à considérer les matériaux utilisés pour optimiser les échanges thermiques et ainsi la consommation énergétique globale du bâtiment.

Activité 1 Découverte de la maquette de l'école élémentaire

En suivant le protocole expérimental 1 (DT2) et en complétant le document réponse DR1, relever les grandeurs principales caractérisant les besoins de chauffage et d'éclairage, le confort d'été, l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel de la salle de classe située dans les combles du bâtiment. Indiquer dans quelle mesure la cible 10 du label HQE est respectée.

Activité 2 Exploitation de la maquette de l'école élémentaire

À partir de vos données et du DT4, formuler des hypothèses sur l'influence du nombre de Velux, du type de vitrage et de la composition des parois de la salle sur les paramètres relevés précédemment.

Le système instrumenté à disposition se compose :

- d'un banc didactique VRS 500 ;
- d'une maquette instrumentée simulant un local permettant de mesurer :
 - la température intérieure du local, notée T_{int} , à l'aide d'un capteur Grove MCP9808 ;
 - l'éclairement du local, notée E_L , à l'aide d'un capteur Grove LS06-S ;
 - les températures de surface de la vitre, notées respectivement T_{si} et T_{se} à l'aide de sondes de température PT1000.

Dans une habitation, l'installation d'un volet roulant automatisé nécessite, dans la pièce considérée, la présence d'un capteur d'éclairement, ainsi que celle d'un capteur de température.

Deux environnements virtuels sont disponibles (raccourcis sur le bureau) :

- VRS-500_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture du banc didactique ;
- VRS-500_DD_EMP permet d'identifier les différents constituants et d'appréhender l'architecture de la maquette instrumentée simulant un local.

Activité 3 Découverte du banc de mesure

Ouvrir le volet à l'aide de la télécommande afin de localiser les différents éléments du système instrumenté décrit ci-dessus. À partir de vos observations, de l'environnement virtuel VRS-500_EMP disponible sur le bureau (menu « le produit », puis « Description SSL-CK02 », puis « détail du mécanisme ») du sous-système volet roulant et du 2^{ème} environnement virtuel VRS-500_DD_EMP, compléter le document réponse DR2 en indiquant les différents sous-systèmes formant la chaîne de puissance et la chaîne d'information :

- du dispositif de gestion de l'éclairement du local ;
- du dispositif de régulation de température intérieure du local.

Compléter les flux des chaînes de puissance et d'information.

Indiquer par ailleurs les différents composants présents faisant partie de la didactisation du banc d'étude, mais n'intervenant pas dans la gestion de l'éclairement ou la régulation de la température du local.

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

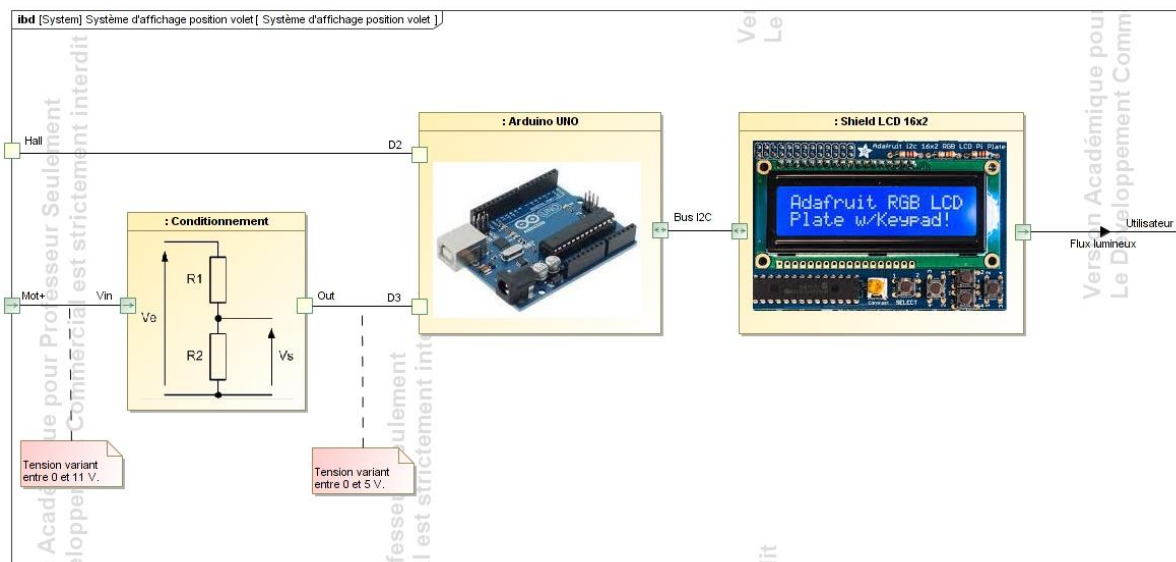
Problématique technique et scientifique : Comment optimiser l'éclairement naturel et artificiel, ainsi que la température d'un local ?

Étude de l'obtention de la position

Le positionnement du volet à sa position optimale nécessite de récupérer l'information de position. Le volet roulant étant dépourvu de capteurs de fin de course, l'information de position du volet roulant est obtenue

par le compte/décompte des impulsions Hall générées au niveau du moteur. Le système exploite cette information pour anticiper les arrivées en fin de courses haute et basse et gérer de manière optimale l'arrêt dans ces conditions.

On dispose pour cela d'une interface programmable à base de microcontrôleurs constituée comme indiqué sur la figure suivante.



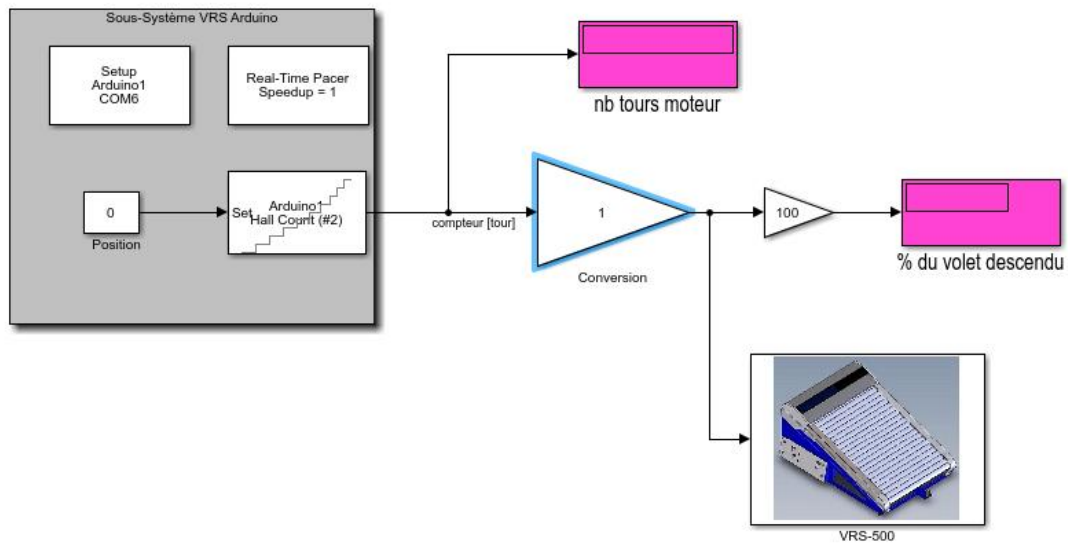
En plus

du signal issu du capteur à effet Hall, les tensions aux bornes du moteur sont acquises via un étage de conditionnement. La carte Arduino se charge, selon les tensions mesurées aux bornes du moteur, d'incrémenter/décrémenter en conséquence la valeur d'un compteur. Cette valeur est remontée via une liaison USB au logiciel Matlab. On peut ainsi animer en temps-réel un modèle virtuel de la même manière que le système réel (on parle alors de « jumeau numérique »).



Mettre le volet en position « totalement ouvert ». Après avoir réalisé le câblage du sous-système, comme indiqué sur la figure précédente, ouvrir le modèle Matlab disponible dans le dossier « Fichiers Matlab/Virtual VRS-500 » par le fichier « VRS_S_model.mdl » et faire vérifier votre montage par votre examinateur.

Modèle pour la commande d'un VRS-500 virtuel, piloté par le VRS réel



Activité 4 Obtention de la position du volet

En étudiant la transmission de mouvement du moteur au volet (voir VRS-500_EMP « En savoir plus » onglet « Transmission et dispositif de tension lames », « Réducteur épicycloïdal » et « Le système à étoile d'avancement des lames »), déterminer le facteur de conversion (en bleu ci-dessus, fixé arbitrairement à 1) à appliquer dans le modèle Matlab pour que le jumeau se comporte de la même manière que le système réel. Renseigner la valeur et lancer la simulation en cliquant sur « Run ». Comparer le comportement du réel et du jumeau numérique lors d'une fermeture partielle puis complète, et faire valider votre modèle par votre examinateur.

Une fois l'activité 4 terminée, défaire le câblage du sous-système, fermer Matlab et relier le câble USB de la maquette instrumentée à l'ordinateur.

Étude de l'ouverture optimale du volet roulant

Le volet roulant du Velux a pour fonction de se protéger de la chaleur en été tout en optimisant l'éclairage intérieur naturel. L'objectif de cette partie est de déterminer expérimentalement l'ouverture optimale correspondant au réglage : « protection solaire sans obscurité complète » de ce volet roulant tel que le propose la société Velux (kit « Velux active ») dont la documentation est fournie en document ressource (voir Dossier Technique/VELUX Télécommande KRX100, page 62/113).

La maquette instrumentée, à l'avant du banc de mesure, est constituée (entre autres) :

- d'un capteur de température ambiante haute précision de type Grove MCP9808 ;
- d'un capteur d'éclairage intérieur.

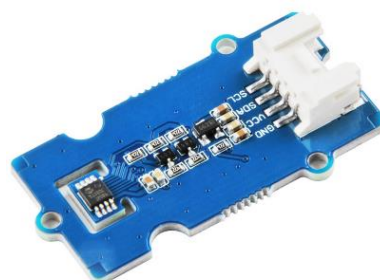
Le programme Arduino « activite5.ino » permet la mise en œuvre de ces capteurs, une fois la maquette instrumentée connectée via l'USB à l'ordinateur.

Après avoir lancé le logiciel Arduino, il faudra vérifier le numéro de port utilisé (« Outil/port ») et sélectionner le type de carte utilisée.

Pour visualiser les valeurs, il faudra cliquer sur le moniteur série (icône loupe en haut à droite) et éventuellement régler la vitesse de communication en bauds.



Capteur d'éclairement



Capteur de température ambiante

Activité 5 Variations des température et éclairement ambiants en fonction de l'ouverture du volet

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la température intérieure T_i et l'éclairement intérieur E_i en régime permanent en fonction de l'ouverture du volet, et le présenter à votre examinateur avant de le mettre en œuvre.

Tracer $T_i = f(\% \text{ ouverture volet})$ et $E_i = f(\% \text{ ouverture volet})$.

Conclure sur l'ouverture optimale de ce volet roulant et comparer avec les préconisations du constructeur.

Étude des échanges thermiques mis en jeu dans la régulation en température de la pièce

Dans le dimensionnement d'un bâtiment, afin d'optimiser la consommation énergétique globale, il est nécessaire de pouvoir évaluer les échanges thermiques mis en jeu. Ainsi le choix des matériaux entrant en jeu dans l'isolation revêt une importance toute particulière. En ce sens, il est nécessaire de connaître les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés. Des valeurs théoriques sont données par les fournisseurs mais, bien souvent, afin d'aboutir à une solution optimale, les cabinets d'expertises en charge du projet mettent en œuvre une campagne expérimentale pour leur dimensionnement. La finalité de la maquette instrumentée est de pouvoir déterminer la résistance thermique de chaque matériau participant à l'isolation afin de pouvoir implémenter et/ou valider les modèles de simulations numériques du bâtiment considéré.

On s'intéresse ici à la détermination de la résistance thermique du matériau utilisé pour réaliser la vitre présente sous le volet roulant. Comme précisé précédemment, la vitre du banc d'essai est instrumentée à l'aide de deux sondes PT1000 sur chacun de ses cotés, afin de pouvoir évaluer la température réelle de chacune de ses parois. Une sonde PT1000 est aussi disponible hors du banc didactisé à toutes fins utiles.

La sonde PT1000 est un composant purement résistif dont la résistance R varie en fonction de sa température. On peut écrire :

$$R(T) = R_0 + K.T$$

avec :

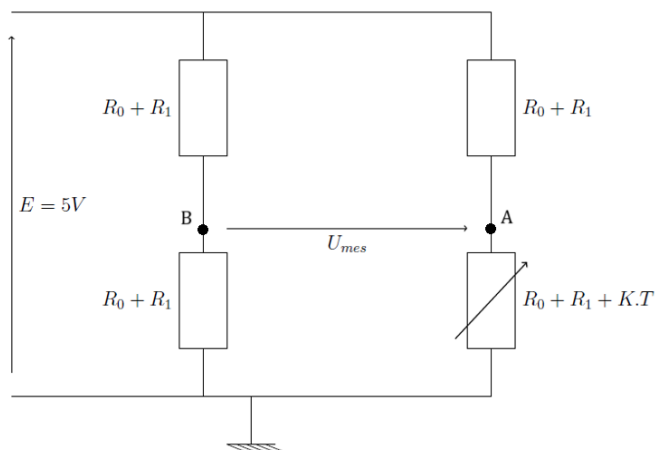
- T , la température en $^{\circ}\text{C}$ de la paroi sur laquelle la sonde est attachée ;
- R_0 , la valeur de $R(T)$ pour $T=0^{\circ}\text{C}$, en Ω ;
- K , la valeur du gain de la sonde en $\Omega.^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Attention : La sonde PT1000 est un capteur très fragile. Ne manipuler que la plaque sur laquelle il est soudé.

Activité 6 Étude de la loi de comportement du capteur

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer les valeurs de K et R_0 pour la sonde PT1000. Après avoir appelé l'examineur pour valider ce protocole, le mettre en œuvre et déterminer alors la valeur des deux constantes K et R_0 de la sonde PT1000 mise à votre disposition.

Afin de mesurer la température de chacune des parois de la vitre, la sonde PT1000 est insérée dans le montage du pont de Wheatstone de la figure suivante.



On donne $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$. On obtient :

$$U_{mes} \approx \frac{E \cdot K \cdot T}{4 \cdot (R_0 + R_1)}$$

L'acquisition de la mesure est envisagée à l'aide d'une carte Arduino. Les entrées analogiques de la carte sont codées sur 10 bits pour une variation de tension allant de 0V à 5V.

Activité 7 Étude de la résolution de mesure

Donner la résolution de mesure (quantum de conversion) en V, r_v , d'une entrée analogique de la carte Arduino et en déduire alors la résolution de mesure en $^{\circ}\text{C}$, r_c , obtenue si l'on branchait directement les points de mesure du pont de Wheatstone précédent sur des entrées analogiques de la carte. Commenter la valeur trouvée, en considérant une plage de variation de température à évaluer allant de 10°C à 70°C , et proposer une modification du dispositif de mesure afin d'obtenir une résolution de $0,2^{\circ}\text{C}$.

Une paroi peut être modélisée, en régime permanent, comme une résistance thermique vérifiant la relation :

$$r_{th,vitre} \cdot \varphi = (T_{se} - T_{si})$$

avec :

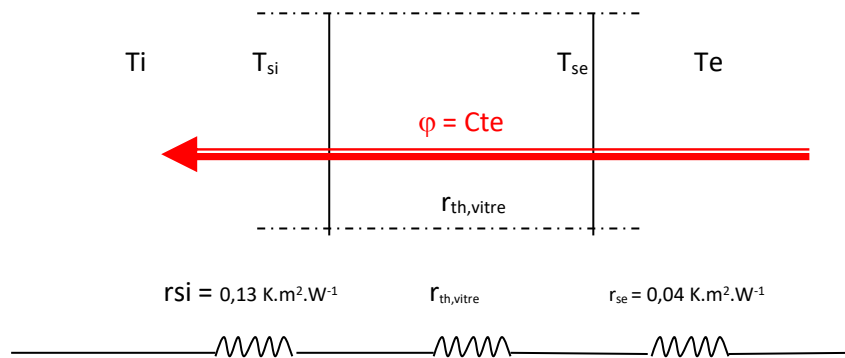
- T_{se} et T_{si} , respectivement les températures de surface extérieure et intérieure en K ;
- $r_{th,vitre}$, la résistance thermique du vitrage considéré en $\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$;
- φ : le flux thermique à travers la paroi en W.m^{-2} .

Afin de pouvoir implémenter un modèle de simulation pour dimensionner un local, et évaluer les échanges thermiques, il est nécessaire de connaître la valeur de la résistance thermique $r_{th,vitre}$ du vitrage utilisé.

Le programme Arduino « activite8.ino » permet de lancer l'acquisition nécessaire pour traiter l'activité 8. Pour cette activité, allumer le spot.

Activité 8 Détermination de la résistance thermique de la vitre utilisée

À partir de mesures que vous effectuerez et du schéma ci-dessous, déterminer la valeur expérimentale de $r_{th,vitre}$.



Le constructeur donne $r_{th,vitre} = 0,075 \text{ K.m}^2.\text{W}^{-1}$. Comparer la valeur expérimentale et la valeur constructeur et analyser.

Des modèles de simulation Matlab, « simumaquette » pour la maquette didactisée et « simubatiment » pour l'école considérée, sont fournis dans le dossier candidat. Ils permettent de simuler le fonctionnement du système de chauffage de la maquette et de l'école considérée. Seul le modèle « simumaquette » est utilisé dans les activités suivantes. Pour utiliser chaque modèle, il faut double-cliquer sur le fichier «.mat », cliquer sur « Finish », puis ouvrir le fichier « .slx » dans l'arborescence.

Activité 9 Analyse du modèle de simulation

Détailler le lien entre chacun des composants du modèle « simumaquette » avec le système réel en complétant les zones de commentaires en pointillés.

Activité 10 Mise en œuvre du modèle de simulation

Après avoir renseigné la valeur de $r_{th,vitre}$ déterminée précédemment (« clic droit » dans le modèle simulink, « Find Referenced Variables », « Based workspace »), lancer la simulation et analyser les résultats obtenus. Proposer des améliorations et/ou des modifications du modèle de simulation afin d'obtenir une réponse plus rigoureuse vis-à-vis de la réalité.

Activité 11 Synthèse

Au regard des différentes activités réalisées, répondre à la problématique posée et conclure sur les paramètres à prendre en compte pour optimiser le confort dans l'habitat (éclairage et température à l'intérieur).

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

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

Production attendue

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

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Les documents fournis pour mener cette partie sont les suivants :

- le banc didactique d'étude combiné d'un volet roulant VRS500 et le sous-système complémentaire développement durable ;
- les différents fichiers Arduino permettant d'effectuer des acquisitions ;
- les différents fichiers de simulation Matlab ;
- une caméra thermique.

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

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

Production attendue

Un document numérique doit être réalisé afin de :

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

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

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

Présentation de l'épreuve

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Phase 3 – présentation des travaux devant le jury

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

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

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

Au cours de l'entretien, le candidat est interrogé plus particulièrement pour préciser certains points de sa présentation ainsi que pour expliquer et justifier les choix de nature 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'examineur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>
	Partie 2 (1h)	III. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE	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
			Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance pour un groupe classe de 15 élèves
			Proposer des expérimentations pratiques et informatiques permettant de contrôler la validité des résultats d'essai et de simulation fournis pour le support pédagogique imposé
			<i>Point avec l'examineur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation</i>
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique
			<i>Valider avec l'examineur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite</i>

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

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

- 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 sont 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 :
 - Génie Civil Construction Durable
 - Génie Thermique et Énergie
- BTS :
 - Architectures en Métal : conception et réalisation
 - Bâtiment
 - Enveloppes du Bâtiment : conception et réalisation
 - Étude et Réalisation des Agencements
 - Finition Aménagement des Bâtiments, Conception et Réalisation

- Fluides Énergies Domotique : options A, B et C
- Management Économique de la Construction
- Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
- Systèmes Constructifs Bois et Habitat
- Travaux Publics

Pour la session 2025, 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 (niveaux, théodolites, tachéomètres, GPS, scanner 3D ...).

Résultats

Moyenne	7,21
Note minimale	1,26
Note maximale	19,54
Écart type	4,58

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 dernière 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 de ces candidats.

Lors de l'exposé oral, trop de candidats présentent essentiellement un rapport des activités menées lors des phases de prises en main et d'expérimentations, or ce ne sont pas les attendus de l'épreuve. De même, les activités pratiques évaluées lors de la première phase sont souvent reprises dans la séance à caractère expérimental proposée par quelques candidats, alors que le jury en attend de nouvelles. L'explication de la pertinence du système, dans le cadre de la séance expérimentale proposée est trop souvent oubliée.

Il n'est pas admissible qu'un candidat ne puisse, ou ne veuille, pas répondre aux questions du jury en arguant que l'activité sur laquelle il a composé ne relève pas de son champ de prédilection.

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 enseignant chargé 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.

Il est déconseillé de tout écrire au tableau, 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 ;
- à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
- à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation.

Le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés. 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.

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 de type « tableur » (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 BIM...) ;

- trop de candidats ne savent pas mobiliser des connaissances et une rigueur scientifique pourtant essentielles dès lors qu'elles ne relèvent pas de leur domaine de spécialisation originelle. Le concours de l'agrégation exige une culture scientifique large mobilisable dans des champs variés.
- 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 ...). 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 au QCM. La différenciation des apprentissages, la consolidation des parcours, sont 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.

VI. Épreuve de soutenance d'un dossier industriel

Présentation de l'épreuve

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

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

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

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

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

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

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

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

Résultats

Moyenne	9,56
Note minimale	1,9
Note maximale	20,0
Écart type	3,73

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
- Il doit être paginé et comporter le nom et le prénom du candidat
- Il doit dégager trois parties :
 - la première partie contextualise et justifie l'intérêt du support choisi, tout en restant synthétique et succincte ;
 - 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 lycée et au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, BUT, CPGE ...). Des séquences pédagogiques doivent être présentées avec le développement d'une séance y compris les modalités d'évaluation. La production de documents élèves 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 et scientifique 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 lauréat 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 relevé que certains dossiers ne présentaient pas d'apport notable sur le plan scientifique ou technologique, tandis que d'autres se limitaient à des domaines d'étude trop restreints ou excessivement spécialisés. 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 capacité de formaliser et de justifier explicitement les hypothèses retenues, les démarches de modélisation et de calcul, ainsi que les principes et lois physiques mobilisés, en veillant à la cohérence de l'ensemble du raisonnement menant à l'établissement des 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 simulation 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 ou autre modèle numérique 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 éventuels liens avec des contenus d'autres disciplines,
- les activités proposées aux élèves (analyse, conception, simulation, expérimentation ...), 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 concevoir, pour chaque séquence, une séance dont l'objectif pédagogique est clairement identifié, en explicitant les connaissances à acquérir et les activités proposées, en s'appuyant sur des ressources innovantes et des outils numériques. Il est attendu des candidats qu'ils mobilisent une maîtrise approfondie des concepts pédagogiques et qu'ils intègrent une réflexion sur la valeur ajoutée des nouvelles technologies, afin de présenter dans les séances :

- la motivation des élèves
- l'usage du numérique

- l'évaluation des élèves (savoirs et compétences)
- la différenciation pédagogique et la prise en compte des élèves à besoins éducatifs particuliers,
- les activités favorisant le décloisonnement disciplinaire
- les activités favorisant les travaux de groupes d'élèves
- les activités permettant le développement de compétences au niveau de l'oral

Les candidats doivent également avoir une connaissance des programmes et référentiels de formation, ainsi que leurs récentes évolutions récentes. De plus, il leur est demandé de connaître les dispositifs actuels d'aide et d'accompagnement des apprenants, ainsi que de quelques pratiques d'innovation pédagogique.

Remarques sur le numérique dans le secteur de la construction

Le développement du numérique et des technologies immersives 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 doivent présenter une visualisation de leur travail sur ces outils numériques (simulation, conception...) pendant la soutenance. Les candidats ne doivent pas se contenter de fournir, sous forme numérique, une série de fichiers, ils doivent démontrer leurs compétences à utiliser ces outils. Il est donc conseillé, en particulier pour des maquettes de type BIM ou autre modèle, d'installer le logiciel utilisé ou un outil de visualisation dynamique 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 incohérents, ou encore se contentent de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.