



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

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport du jury**

**Concours : agrégation externe**

**Section : sciences industrielles de l'ingénieur**

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

**Session 2023**

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

# Sommaire

<b>RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2023 .....</b>	<b>3</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÉPREUVES D'ADMISSIBILITE .....</b>	<b>7</b>
I.    ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR .....	7
II.   MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION .....	19
III.  CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION.....	32
<b>ÉPREUVES D'ADMISSION.....</b>	<b>56</b>
I.    EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UNE ACTIVITE PRATIQUE RELATIVE A L'APPROCHE GLOBALE D'UN SYSTEME PLURITECHNOLOGIQUE .....	56
II.   ACTIVITE PRATIQUE ET EXPLOITATION PEDAGOGIQUE RELATIVES A L'APPROCHE SPECIALISEE D'UN SYSTEME PLURITECHNOLOGIQUE .....	64
III.  SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL.....	70

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 2023 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option ingénierie des constructions, Elles se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 12 juin inclus au 17 juin 2032 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 2023

---

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
187	25	77	46	19
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible				16,73
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible				6,83
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis				17,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis				9,32

# Avant-propos

---

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

- Compétences pédagogiques et éducatives
  - o Maintenir une veille sur les recherches des différentes formes et pratiques pédagogiques et éducatives
  - o Connaître les processus d'apprentissage
  - o Proposer des processus d'apprentissage innovants
  - o Contribuer à la mise en place de projets interdisciplinaires
- Compétences de communication
  - o Intégrer dans son activité l'objectif de maîtrise de la langue orale et écrite
  - o Utiliser les technologies du numérique pour échanger et se former
  - o Maîtriser au moins une langue vivante au niveau B2
  - o Mettre en place du travail collaboratif
- Compétences d'analyse et d'adaptation de son action
  - o Exercer son analyse critique, seul ou entre pairs, de ses propres pratiques professionnelles
  - o Identifier ses besoins de formation
  - o 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<sup>1</sup>, 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 2023 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

---

<sup>1</sup> Cf. arrêtés du 19 avril 2016 et du 24 juin 2019

# Épreuves d'admissibilité

---

## I. Épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

### 1. Présentation de l'épreuve

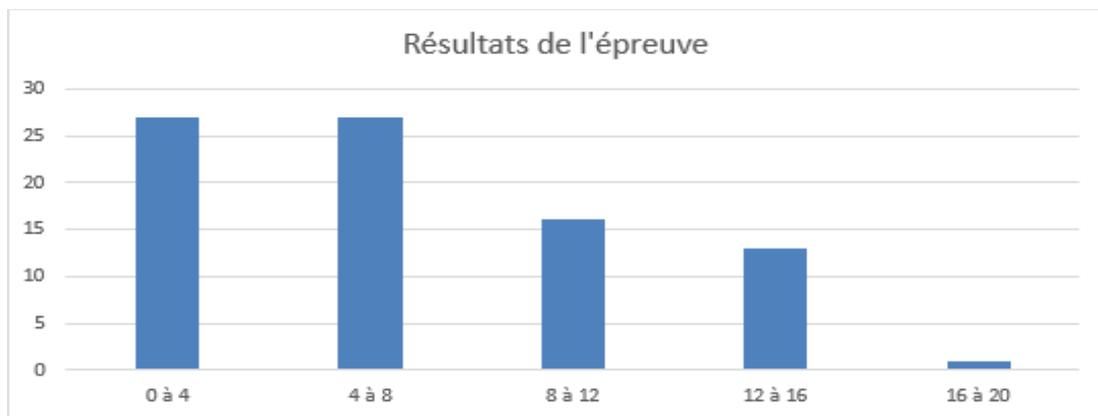
- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

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

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

### 2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 7/20. L'écart-type est de 4,23. La meilleure note est 17,07/20. La plus faible est 0,19/20.



### 3. Présentation du sujet

Ce sujet porte sur le bâtiment de la Philharmonie de Paris. Son édification a débuté en septembre 2009 et s'est achevée en 2015 dans le parc de la Villette à Paris.



## 4. Éléments de correction

### PARTIE 1 – Activité *Maestra, Maestro* ! à la Philharmonie des enfants

**Question 1 :** La taille de la vidéo après compression est :  $3840 \times 2160 \times 3 \times 25 \times 120 / 5000 \approx 15$  Mo.

**Question 2 :** Le débit de transmission est d'environ  $\frac{1 \text{ bit}}{100 \mu\text{s}} = 10\,000$  bits/s. La durée totale de la transmission est de :

$$\frac{(12 \times 8 \text{ bits} + 12 \times 3 \text{ bits})}{10\,000 \text{ bits/s}} \approx 0,0132 \text{ s.}$$

**Question 3 :** Pour le checksum, on applique l'opération  $\otimes$  entre chaque octet :

$$0xAB = (1010\ 1011)_2$$

$$0x00 = (0000\ 0000)_2$$

$$0x52 = (0101\ 0010)_2$$

$$0x42 = (0100\ 0010)_2$$

$$0xE4 = (1110\ 0100)_2$$

On obtient :

$$1010\ 1011 \oplus 0000\ 0000 \oplus 0101\ 0010 \oplus 0100\ 0010 \oplus 1110\ 0100 = (0101\ 1111)_2 = (5F)_{16}.$$

Les deux caractères XX sont donc 5F si la lecture de la trame est correcte.

**Question 4 :** On relève du bit faible au bit fort : début de l'écran 11 (2 bits de STOP de l'octet précédent) puis 0 (un bit de START)

11<sup>ème</sup> octet X : 1010 1100

11 (END) 0 (START)

12<sup>ème</sup> octet X : 0110 0010

11 (END) 1 (aucune donnée)

11<sup>ème</sup> octet lecture sérielle avec LSB en premier :  $(0011\ 0101)_2 = (35)_{16} =$  caractère 5 ;

12<sup>ème</sup> octet :  $(0100\ 0110)_2 = (46)_{16} =$  caractère F.

On retrouve bien le résultat de la **question 3**.

**Question 5 :** Le calcul du *checksum* permet de fiabiliser les échanges entre le bracelet et le lecteur par exemple en cas de bruits parasites.

**Question 6 :** La taille de la vidéo compressée (15 Mo) est bien inférieure à 20 Mo, la durée totale de transmission du numéro du bracelet au lecteur est inférieure à 50 ms (13 ms) et enfin le calcul du *checksum* permet d'éviter les erreurs de lecture. L'ensemble des critères de l'exigence Id 1.1.1 est donc vérifié.

**Question 7 :** distance =  $dx \cdot \sqrt{(p1[0]-p0[0])**2+(p1[1]-p0[1])**2}$

**Question 8 :**  $l(x+\delta x, y+\delta y, t+\delta t) \approx l(x, y, t) + \frac{\partial l}{\partial x} \delta x + \frac{\partial l}{\partial y} \delta y + \frac{\partial l}{\partial t} \delta t.$

**Question 9 :**  $A = \begin{bmatrix} I_x(p_0) & I_y(p_0) \\ I_x(p_1) & I_y(p_1) \\ \dots & \dots \\ I_x(p_{n^2-1}) & I_y(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} -I_t(p_0) \\ -I_t(p_1) \\ \dots \\ -I_t(p_{n^2-1}) \end{bmatrix}.$

**Question 10 :**

```

for i in range(n) :
    for j in range(n) :
        It[i,j] = (I2[i,j] - I1[i,j]) / dt
# OU It[:,:] = (I2[:,:] - I1[:,:]) / dt
return It

```

**Question 11 :**

```

for j in range(n) :
    for i in range(n) :
        pts.append(mat[i,j])
# OU for i in range(n) :
#     for j in range(n) :
#         pts.append(mat[i,j])
# OU pts.append(mat[j,i])
# OU pts = [0]*(n*n)
#     k = 0
#     for i in range(n) :
#         for j in range(n) :
#             pts[k] = mat[i,j]
#             k += 1

return pts

```

**Question 12 :**

```

def Lucas_Kanade(Ix,Iy,It) :
    ptsIx = liste(Ix)
    ptsIy = liste(Iy)
    ptsIt = liste(It)
    # calcul de Vx Vy : A V = P
    A = zeros((len(ptsIx),2))
    P = zeros((len(ptsIx),1))
    for i in range(len(ptsIx)):
        # complexité de la boucle : O(n2) (dimension de ptsIx : n2)
        A[i,0] = ptsIx[i] # dimension de A : n2×2
        A[i,1] = ptsIy[i]
        P[i] = - ptsIt[i] # dimension de P : n2×1
    At = transpose(A) # complexité : O(2n2)
    C = dot(At,A) # complexité O(4n2)
    C = linalg.inv(C) # complexité O(8)=O(1) - dimension de C est 2×2
    C = dot(C,np.transpose(A)) # complexité O(4n2)
    V = dot(C,P) # complexité O(2n2)
    return V

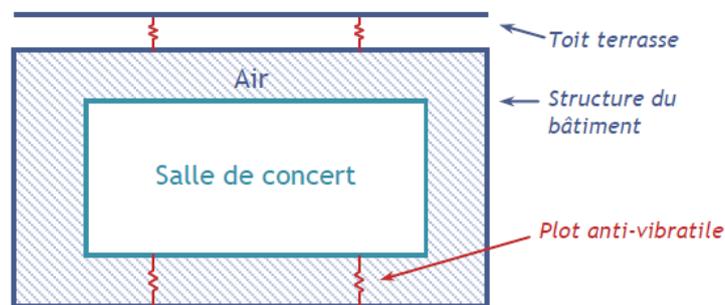
```

On ajoute des complexités d'ordre  $O(n^2)$ , la complexité de la fonction est donc  $O(n^2)$ .

**Question 13 :** La complexité de la méthode différentielle est quadratique tandis que celle de la méthode fréquentielle (transformée de Fourier d'une image) est  $O(n^4)$ . La méthode différentielle est donc efficace et l'exigence Id 1.2.1 est vérifiée. Il faudra tout de même vérifier que la taille de l'image  $I(x,y,t)$  ne soit pas trop importante (en terme de nombre de pixels, sinon les calculs de traitement d'image seront longs en  $O(n^2)$ ) et que le nombre d'images par seconde reste suffisant (pour garantir que  $\delta t$  entre deux images consécutives soit suffisamment petit et l'approximation de Taylor pertinente).

## PARTIE 2 – Étude acoustique de la Grande salle Pierre Boulez

**Question 14 :**



**Question 15 :**  $T_r = 0,16 \frac{V}{A_0}$  donc  $A_0 = 0,16 \frac{V}{T_r}$ .

Calcul du volume de la salle  $V$  :  $V = 58 \times 46 \times 22 = 58\,696 \text{ m}^3$ .

Calcul de l'aire d'absorption équivalente  $A_0$  :  $A_0 = \frac{0,16 \times 58\,696}{3} = 3130,45 \text{ m}^2$ .

Calcul du coefficient d'absorption acoustique moyen :  $A_0 = \sum_i \alpha_i S_i = \alpha_0 (S_0 + S_B)$  avec  $S_0$  les surfaces de la salle sans les balcons.

Calcul de  $S_0$  :  $S_0 = 2 \times (58 \times 46 + 58 \times 22 + 46 \times 22) = 9912 \text{ m}^2$ .

On en déduit :  $\alpha_0 = \frac{A_0}{S_0 + S_B} = \frac{3130,45}{9912 + 3400} = 0,23$ .

**Question 16 :** Calcul de l'aire d'absorption équivalente de la salle comble :

$A_c = \alpha_0 \times (S_0 + S_B - S_{sp}) + \alpha_{sp} \times S_{sp}$  avec  $S_{sp}$  la surface des spectateurs telle que  $S_{sp} = 2400 \times 0,5 = 1200 \text{ m}^2$ .

D'où  $A_c = 0,23 \times (9912 + 3400 - 1200) + 0,8 \times 1200 = 3745,76 \text{ m}^2$ .

Calcul du temps de réverbération de la salle comble :

$$T_{rc} = \frac{0,16 \times V}{A_c} = \frac{0,16 \times 58\,696}{3745,76} = 2,5 \text{ s.}$$

**Question 17 :** La canopée joue le rôle de réflecteur. Plus l'effectif de musiciens sera réduit, plus la position de la canopée doit être faible. Cela permet de favoriser les réflexions du son des musiciens vers le public et la scène.

**Question 18 :** Dans le cas de la musique amplifiée, il est nécessaire de limiter le temps de réverbération. En effet, une réverbération longue peut entraîner des effets gênants : les panneaux

absorbants en velours permettront d'augmenter la surface d'absorption équivalente et donc diminuer le temps de réverbération.

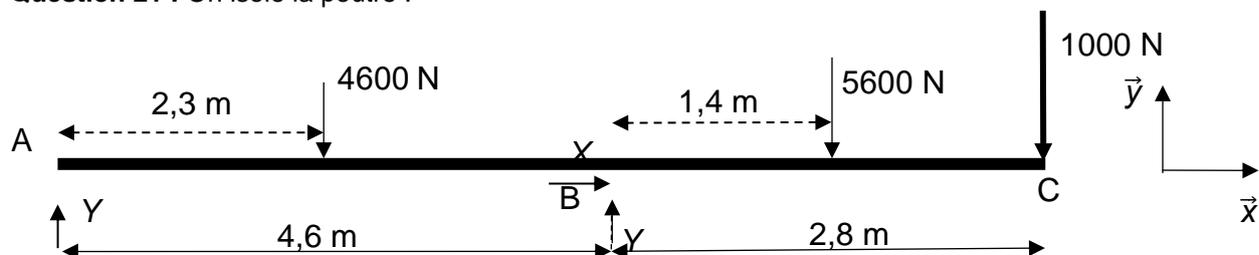
**Question 19 :** Le BIM permet de suivre en continu les modifications apportées par tous les acteurs sur la conception de la grande salle de concert. En ce sens, le BIM permet de donner une dimension supplémentaire aux études acoustiques illustrées sur les figures 14 et 15. L'acoustique n'est pas seulement une question de qualité d'aménagement mais la somme des choix opérés en structure, dans les équipements techniques, les matériaux... Par exemple, les acousticiens peuvent intégrer dans le BIM les caractéristiques acoustiques des différentes parois ou revêtements afin de vérifier la compatibilité avec d'éventuelles modifications d'architecture ou de matériaux.

### PARTIE 3 – Dimensionnement de la canopée

**Question 20 :** Par associativité sur l'intégrale de surface, la section de l'IPE 200 est un rectangle de 100x200 moins deux rectangles de 47,2x166(47,2 x183)

$$I_{Gz} = \frac{100 \times 200^3}{12} - 2 \frac{47,2 \times 183^3}{12} = 18\,455\,902 \text{ mm}^4.$$

**Question 21 :** On isole la poutre :



Le théorème de la résultante statique donne :

$$X_B = 0$$

$$Y_A - 4600 + Y_B - 5600 - 1000 = 0 \Rightarrow Y_A + Y_B = 11\,200 \text{ N.}$$

Le théorème du moment statique en B donne :

$$-4,6\vec{x}\wedge Y_A\vec{y} - 2,3\vec{x}\wedge 4600\vec{y} + 2,8\vec{x}\wedge 1000\vec{y} + 1,4\vec{x}\wedge 5600\vec{y} = \vec{0}.$$

$$\Rightarrow -60 - 4,6 Y_A = 0 \Rightarrow Y_A = -13,04 \text{ N.}$$

On en déduit :  $Y_B = 11\,213,04 \text{ N.}$

**Question 22 :** On détermine l'expression du moment fléchissant puis on calcule sa valeur en B.

On isole le tronçon entre A et B à gauche, l'équilibre de cette portion nous donne :

$$M_{fz}\vec{z} - x\vec{x}\wedge 13\vec{y} - \frac{x}{2}\vec{x}\wedge 4600\vec{y} - 1000x\vec{y} = \vec{0} \Rightarrow M_{fz} = -13x - 500x^2.$$

En B :  $x = 4,6 \text{ m}$  donc  $M_{fz} = -10\,639,8 \text{ Nm} \approx -10\,640 \text{ Nm}$

**Question 23 :** Nature de la contrainte en B : contrainte normale.

Contrainte normale Maxi en B pour  $y_{max} = 100 \text{ mm}$  :

$$\sigma_{Max}^B = \frac{M_{fzMax}}{I_{Gz}} y_{Max} = \frac{10,64 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^6} 100 = 53,2 \text{ MPa.}$$

**Question 24 :** Conclusion sur le choix du matériau : La contrainte normale maxi est très inférieure à  $R_e = 235 \text{ MPa}$ . Le coefficient de sécurité est supérieur à 4 ce qui permet de conclure que le matériau retenu convient.

**Question 25 :** C1 : Canopée (masse en translation verticale)

C2 : Arbre de synchronisation

C3 : Arbre de transmission

C4 : Treuil (tambour et réducteur)

C5 : Poulie de mouflage

**Question 26 :** Dans le bloc « Corde », pour les positions négatives la force est proportionnelle au déplacement, de manière cohérente avec la raideur imposée (l'effort vaut bien 100 N pour un déplacement de 1 m). Cependant, à la différence d'un bloc ressort pour lequel cette loi serait valable pour toutes positions, pour les positions positives du bloc Corde la force est nulle. Cela permet de modéliser le fait qu'un câble ne peut pas être soumis à de la compression. La force nulle correspond au moment où le câble est détendu. Ainsi il est pertinent d'utiliser un bloc Corde pour modéliser un câble afin de ne pas ajouter de raideur de compression qui n'a pas lieu d'être dans le cas de câble.

**Question 27 :** La raideur de l'arbre en torsion est telle que  $M_t = k_t \cdot \Delta\theta$

Or, pour un arbre soumis à de la torsion l'angle unitaire de torsion est donné par

$$\alpha = \frac{M_t}{I_0 \cdot G} \text{ avec } I_0 = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4)}{32}$$

$$\text{Par ailleurs } \alpha = \frac{\Delta\theta}{L}$$

$$\text{Ainsi } k_t = \frac{M_t}{\Delta\theta} = \frac{I_0 \cdot G}{L} = \frac{\pi \cdot (D^4 - (D-2 \cdot e)^4) \cdot G}{32 \cdot L}$$

$$\text{AN } k_t = 4970 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

**Question 28 :** Les câbles sont soumis à de la traction. La raideur du câble est telle que  $F_{\text{cable}} = k_c \cdot \Delta l$  où  $\Delta l$  représente l'allongement du câble. Pour un câble de longueur  $L$

$$F_{\text{cable}} = S \cdot \sigma = S \cdot E \cdot \varepsilon = S \cdot E \cdot \frac{\Delta l}{L}$$

$$\text{Par identification } k_c = \frac{E \cdot S}{L}$$

$$\text{AN } k_c = 2,52 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

**Question 29 :** D'après les figures, sans arbre de synchronisation, la tension dans le câble 4 devient nulle (ce qui est cohérent car l'un des couples moteurs a été imposé à 0 Nm) ce qui peut être problématique au regard de l'enroulement au niveau du tambour. L'arbre de synchronisation permet donc de vérifier qu'aucun câble ne se détende et de répartir les efforts dans les deux cinématiques en cas de désynchronisation mécanique des moteurs ou de défaillance.

Dans le cas où un arbre de synchronisation est présent, la tension maximale relevée est de  $4 \cdot 10^4$  N, or la charge maximale admissible est de  $34,8 \cdot 10^4$  N. La tension est donc bien inférieure à un cinquième de la charge maximale admissible.

**Question 30 :** 4 périodes correspondent à 0,9 s, ainsi la période d'oscillation vaut 0,225 s et la fréquence 4,4 Hz.

Si les moteurs tournent à leur vitesse nominale, la ligne d'arbre tourne alors à une vitesse de  $198 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  soit  $3,3 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1}$ . Les à-coups générés par les joints de cardan ont une fréquence de 6,6 Hz. Il n'y a donc pas de risque de mise en résonance à la vitesse de rotation nominale.

S'il y avait un risque, quelques solutions (non exhaustives) sont possibles :

- ajouter des amortisseurs (élastomères) dans la chaîne de transmission ;
- modifier les joints de cardan par des joints tripodes ;
- choisir des câbles/arbres plus gros, afin de modifier la raideur.

**Question 31** : Chaque câble étant mouflé une fois,

$$v = \frac{R}{2} \cdot \omega_{\text{tambour}} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \omega_m \text{ donc } r_g = \frac{v}{\omega_m} = \frac{R}{2} \cdot r_1 \cdot r_2 = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{rad}^{-1}$$

La vitesse de rotation nominale du moteur étant de  $1445 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  :

$$v = 0,024 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pour satisfaire l'exigence d'une vitesse maximale de déplacement de  $0,02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  le moteur ne doit pas tourner à sa vitesse nominale. Grâce au variateur de fréquence cette exigence pourra être vérifiée.

**Question 32** : Les câbles ont une masse linéique de  $1,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ . Dans le cas le plus défavorable la longueur d'un brin vaut 18 m (position « maintenance »). Seule la longueur de câble côté moteur est à prendre en compte, car l'autre brin est fixé au bâti. Pour 6 câbles, la masse vaut

$$M_{\text{cables}} = 6 \cdot 1,85 \cdot 18 = 200 \text{ kg}$$

La masse de l'habillage vaut  $80 \cdot 175 = 14 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . La masse totale de la canopée est donc

$$M = m_{\text{équipement}} + m_{\text{structure}} + m_{\text{fers}} + m_{\text{habillage}} = 15 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 + 3,4 \cdot 10^3 + 14 \cdot 10^3 = 39,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

La masse des câbles est bien négligeable au regard de la masse totale de la canopée de 40 tonnes.

**Question 33** : Le centre de gravité total de la canopée vérifie :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{équipement}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{équipement}}} + m_{\text{structure}} \cdot \overrightarrow{OG_{\text{structure}}} + m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

La masse de l'équipement audiovisuel ainsi que la masse propre de la structure hexagonale étant supposées uniformément réparties sur la structure hexagonale, le centre de gravité de l'équipement et de la structure sont situés en O.

Ainsi :

$$M \cdot \overrightarrow{OG_t} = m_{\text{fers}} \cdot \overrightarrow{OG_f} + m_{\text{habillage}} \cdot \overrightarrow{OG_h}$$

En projetant dans le repère R :

$$\begin{aligned} x_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot x_f + m_{\text{habillage}} \cdot x_h}{M} = 0,032 \text{ m} \\ y_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot y_f + m_{\text{habillage}} \cdot y_h}{M} = 0,144 \text{ m} \\ z_t &= \frac{m_{\text{fers}} \cdot z_f + m_{\text{habillage}} \cdot z_h}{M} = -0,179 \text{ m} \end{aligned}$$

Comme  $x_t > 0$ ,  $y_t > 0$  et  $y_t > x_t$ , il est possible de déduire sans calcul que le câble situé en  $A_2$  sera le plus sollicité (car le plus proche du centre de gravité). Il semble donc cohérent dans la suite d'étudier la Canopée soumise uniquement aux actions des câbles  $A_2$ ,  $A_4$  et  $A_6$ .

**Question 34** : L'ensemble de la Canopée sauf les poulies est soumise à l'action de la pesanteur, et aux trois actions des poulies supposées verticales.

Le principe fondamental de la statique appliqué à cet ensemble s'écrit en O :

$$\begin{cases} -M \cdot g \cdot \vec{z} + \vec{F}_2 + \vec{F}_4 + \vec{F}_6 = \vec{0} \\ \overrightarrow{OG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{OA_2} \wedge \vec{F}_2 + \overrightarrow{OA_4} \wedge \vec{F}_4 + \overrightarrow{OA_6} \wedge \vec{F}_6 = \vec{0} \\ -M \cdot g \cdot \vec{z} + F_2 \cdot \vec{z} + F_4 \cdot \vec{z} + F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \\ \left( x_G \cdot \vec{x} + y_G \cdot \vec{y} + z_G \cdot \vec{z} \right) \wedge (-M \cdot g \cdot \vec{z}) + \left( \frac{R}{2} \cdot \vec{x} + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_2 \cdot \vec{z} + (-R \cdot \vec{x}) \wedge F_4 \cdot \vec{z} + \left( \frac{R}{2} \cdot \vec{x} - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot \vec{y} \right) \wedge F_6 \cdot \vec{z} = \vec{0} \end{cases}$$

En résultante en projection sur  $\vec{z}$  et en moment en O en projection sur  $\vec{x}$  et  $\vec{y}$

$$\begin{cases} F_2 + F_4 + F_6 - M \cdot g = 0 & (1) \\ -y_G \cdot M \cdot g + \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_2 - \frac{\sqrt{3} \cdot R}{2} \cdot F_6 = 0 & (2) \\ x_G \cdot M \cdot g - \frac{R}{2} \cdot F_2 + R \cdot F_4 - \frac{R}{2} \cdot F_6 = 0 & (3) \end{cases}$$

Après résolution :

$$F_2 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 + \frac{x_G}{R} + \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

$$F_4 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 - \frac{2 \cdot x_G}{R} \right)$$

$$F_6 = \frac{M \cdot g}{3} \left( 1 + \frac{x_G}{R} - \frac{\sqrt{3} \cdot y_G}{R} \right)$$

L'application numérique donne  $F_2 = 138 \cdot 10^3$  N

L'effort dans le câble est deux fois inférieur à cause du mouflage, donc

$$F_{cable2} = 69 \cdot 10^3 \text{ N}$$

**Question 35** : L'étude se place dans le cas d'un maintien en statique de la canopée. A la limite du déplacement descendant (cas le plus défavorable), les différents frottements auront tendance à s'opposer au mouvement, donc à diminuer l'effort nécessaire de maintien.

**Question 36** : En supposant que les trois câbles moteurs sont soumis à une tension de  $7 \cdot 10^4$  N, que les frottements dans toutes les liaisons sont négligeables (les rendements des réducteurs et renvois d'angle sont unitaires), que l'action de l'arbre de synchronisation sur le moteur considéré est nulle, et que les trois réducteurs sont identiques, le couple moteur vaut

$$C_m = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_g \cdot 2 = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot R$$

Le document technique indique le couple maximal en sortie du motoréducteur, il faut donc déterminer le couple en sortie du motoréducteur :

$$C_{red} = 3 \cdot F_{cable2} \cdot r_2 \cdot R = 3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,282}{122,48} = 484 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Le document technique indique que le couple maximal en sortie du motoréducteur de maintien en statique est de  $1,15 \cdot 430$  N·m soit 494 N·m, ce qui est supérieur au couple requis. L'exigence est donc respectée.

**Question 37** : En supposant que seules les inerties des deux rotors ainsi que la masse de la canopée ne sont pas négligeables, l'énergie cinétique totale vaut :

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 + J_m \cdot \omega_m^2 = \frac{1}{2} \cdot \left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v^2$$

Le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble des pièces en mouvement permet d'écrire :

$$\frac{dE_c}{dt} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

$$\left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) v \cdot \dot{v} = -M \cdot g \cdot v + \eta \cdot P_m$$

Ainsi

$$P_m = \frac{1}{\eta} \left[ M \cdot g \cdot v + \left( M + 2 \cdot \frac{J_m}{r_g^2} \right) \cdot v \cdot \dot{v} \right]$$

La puissance est maximale en fin de phase d'accélération, avec  $\dot{v} = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  et  $v = 0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Pour  $\eta = 0,9$  :

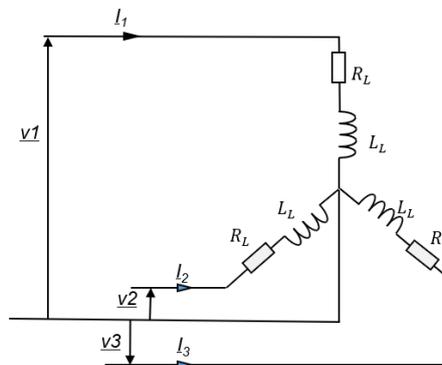
$$P_m = \frac{1}{0,9} \left[ 39 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,02 + \left( 39 \cdot 10^3 + 2 \cdot \frac{280 \cdot 10^{-4}}{(1,58 \cdot 10^{-4})^2} \right) 0,02 \cdot 0,02 \right]$$

$$P_m = 9,51 \text{ kW}$$

Or, deux moteurs de 7,5 kW sont choisis, la puissance totale disponible est donc de 15 kW ce qui est supérieur à 9,5 kW. L'exigence 2.1.4.2 pourra donc être respectée.

## PARTIE 4 – Dimensionnement du réseau d'alimentation du sous-ensemble scénique

Question 38 :



Question 39 :

$$\Delta V = 0,02 \cdot 230 = \frac{\rho_c \cdot I_c}{S_c} \cdot I_L = 300 \cdot \frac{1,72 \cdot 10^{-8} \cdot 230}{S_c} \quad S_c = 256 \text{ mm}^2$$

$$P_{\text{fils}} = 3 \cdot R_{\text{fils}} \cdot I^2 = 4,1 \text{ kW}$$

On choisit la section de 300 mm<sup>2</sup> selon tableau pour un courant maximum de 621 A.

Question 40 : Pour le module Lumière :

- la puissance active vaut :  $P = 3 \cdot R_L \cdot I^2 = 432 \text{ kW}$ ,
- la puissance réactive vaut :  $Q = 3 \cdot X_L \cdot I^2 = 243 \text{ kVAr}$ ,  $S = 495 \text{ kVA}$ .

Question 41 : Pour le module audiovisuel :

- La puissance active vaut :  $P_a = S \cdot \cos \varphi = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 160 \text{ kW}$ ,
- La puissance réactive vaut :  $Q = S \cdot \sin \varphi = P_a \cdot \tan \varphi = 120 \text{ kVAr}$ .

Pour le module machinerie :

- la puissance active des 2 moteurs vaut :  $P = 2 \cdot \frac{7,5 \cdot 10^3}{0,9} = 16,7 \text{ kW}$ ,
- la puissance réactive vaut :  $Q = P \cdot \tan \varphi = 9 \text{ kVAr}$ .

Donc un total pour la machinerie :  $P = 526,7 \text{ kW}$  et  $Q = 147 \text{ kVAr}$   $S = 547 \text{ kVA}$ .

Question 42 :

La puissance active totale vaut :  $P_{\text{charges}} = 16,7 + 432 + 510 + 160 = 1118,7 \text{ kW}$ .

La puissance réactive totale vaut :  $Q_{\text{charges}} = 9 + 243 + 138 + 120 = 510 \text{ kVAr}$ ,

avec  $P_{\text{totale}} = P_{\text{charge}} + 3 \cdot P_{\text{fils}} = 1118,7 + 12,3 \text{ kW}$ .

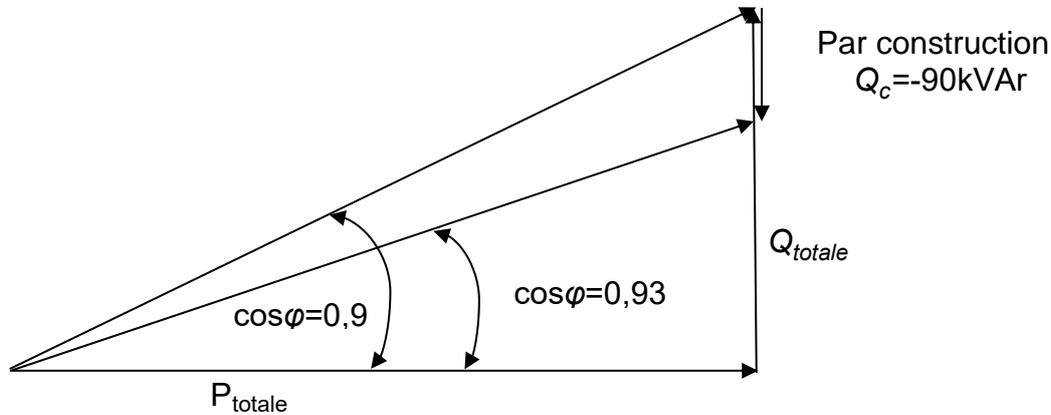
$$\eta = \frac{P_{\text{charge}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{1118,7}{1130} = 99\%$$

Question 43 : Courant en A avant compensation :  $I_A = \frac{\sqrt{P_{\text{totale}}^2 + Q_{\text{totale}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_A} = 1790 \text{ A}$ .

Le facteur de puissance vaut :  $\tan \varphi = \frac{Q_{\text{totale}}}{P_{\text{totale}}} = 0,45$  soit  $\cos \varphi = 0,9$ .

**Question 44 :** L'échelle du tracé suggérée est la suivante : 100 kVAr (ou kW) pour 1cm.

Comme pour un condensateur la réactance vaut  $X_C = \frac{1}{c\omega}$  on a  $Q_c = 3 \cdot U_A^2 c \omega$  ainsi on obtient une capacité de  $c = \frac{57 \cdot 10^3}{3 \cdot 400^2 \cdot 314} = 597 \mu\text{F}$ .



**Question 45 :** Courant en A' après compensation :  $I'_A = \frac{P_{\text{total}}}{\sqrt{3} \cdot U_B \cdot \cos \varphi} = \frac{1131}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,93} = 1788 \text{ A}$ .

La puissance apparente :  $S'_A = \sqrt{P_{\text{totale}}^2 + (Q_{\text{totale}} - Q_c)^2} = 1218 \text{ kVA}$ .

**Question 46 :** Le courant primaire à vide  $I_{10}$  est faible devant le courant nominal, il est alors possible de négliger  $R_f$  et  $L_1$ .

**Question 47 :** Le raccordement en étoile permet de ramener le neutre ce qui est nécessaire si des équipements fonctionnent en monophasé.

- Le rapport  $m$  :  $m = \frac{V_{20}}{U_{1n}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 235}{20000} = 0,02$  pour un couplage triangle-étoile, à vide,
- La résistance  $R_S = \frac{P_{cc}}{3I_{2n}^2} = 1,17 \text{ m}\Omega$ ,
- L'impédance  $Z_S = \frac{V_{cc} \cdot V_{2n}}{I_{2n}} = 7,6 \text{ m}\Omega$  (l'erreur sur  $V_{cc} = 6\%$  a été prise en compte lors de la correction)
- La réactance  $X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} = 7,57 \text{ m}\Omega$ .

**Question 48 :** L'impédance magnétisante est négligée compte tenu de l'ordre de grandeur du courant consommé à vide.

Construction de Fresnel :  $V_{2n} = V_2 + I_{2n} \cdot (R_S + jX_S)$  équation de Kapp

La chute de tension est déterminée par la relation  $\Delta V_2 = I_{2n} \cdot R_S \cdot \cos \varphi + I_{2n} \cdot X_S \cdot \sin \varphi = 6,96 \text{ V}$ .

Soit  $\frac{\Delta V_2}{V_{2n}} = 3\% < 5\%$  l'exigence 3.1.2.2 est vérifiée.

La puissance apparente :  $S'_A = \sqrt{P_{\text{totale}}^2 + (Q_{\text{totale}} - Q_c)^2} = 1218 \text{ kVA} < 1250 \text{ kVA}$ , l'exigence 3.1.3.1 est vérifiée.

## **PARTIE 5 – Synthèse**

### **Question 49 :**

1. La Philharmonie des enfants, et plus précisément l'attraction *Maestra, Maestro !* a pour vocation de faire découvrir la musique symphonique aux jeunes enfants. L'attraction doit permettre à un jeune visiteur de se mettre dans la peau d'un chef d'orchestre (Id 1.1 sur le DT1). La lecture par technologie RFID du bracelet contenant les informations du visiteur (adresse e-mail) ainsi que la pertinence de l'algorithme de traitement d'image permettant de fournir deux inputs du logiciel de traitement vidéo ont été vérifiés.
2. Les qualités acoustiques de la Grande salle Pierre Boulez doivent être adaptés à différents styles musicaux (Id 2.1 sur le DT1). L'isolement de la salle Pierre Boulez par rapport à l'ensemble du bâtiment (calcul du temps de réverbération), le réglage en hauteur de la canopée ainsi que le dimensionnement de la canopée (motorisation, structure, tension maximale dans les câbles qui la soutiennent) ont été étudiés.
3. Le module scénique doit être alimenté (Id 3.1 sur le DT1). Le choix du transformateur par le calcul des différentes puissances actives et réactives mises en jeu a été validé. La chute de tension de moins de 5% sur la ligne d'alimentation a été vérifiée.

### **Question 50 :**

1. Une étude thermique pourrait être mise en œuvre afin de respecter la norme en vigueur (modèle BIM, modèle multi-physique, choix des matériaux, isolants etc ...) : exigence 4 du DT1 ;
2. Une étude de la régulation de la température et de l'hydrométrie dans la salle Pierre Boulez pourrait être mise en œuvre afin de vérifier l'exigence 5 du DT1 (asservissement à l'aide de capteurs de température et d'humidité).

## **5. Commentaires du jury**

Le jury constate que toutes les parties ont été abordées par la majorité des candidats hormis la partie 5 qui portait sur la synthèse des études menées dans le sujet. Si les trois premières parties ont globalement bien été abordées, le taux de réussite n'excède pas 50% en moyenne sur chaque partie, même sur la partie 2, portant pourtant sur une étude acoustique. La partie 4 a été, quant à elle, très mal traitée par les candidats.

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

Le jury 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. Il convient aussi de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'État qu'il maîtrise convenablement la langue française et qu'il respecte les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer soit compréhensible et lisible.

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

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

Réussir cette épreuve demande :

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

## **5. Conclusion**

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

Les auteurs remercient les ateliers Jean Nouvel et AMG Féchoz pour l'ensemble des données communiquées.

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

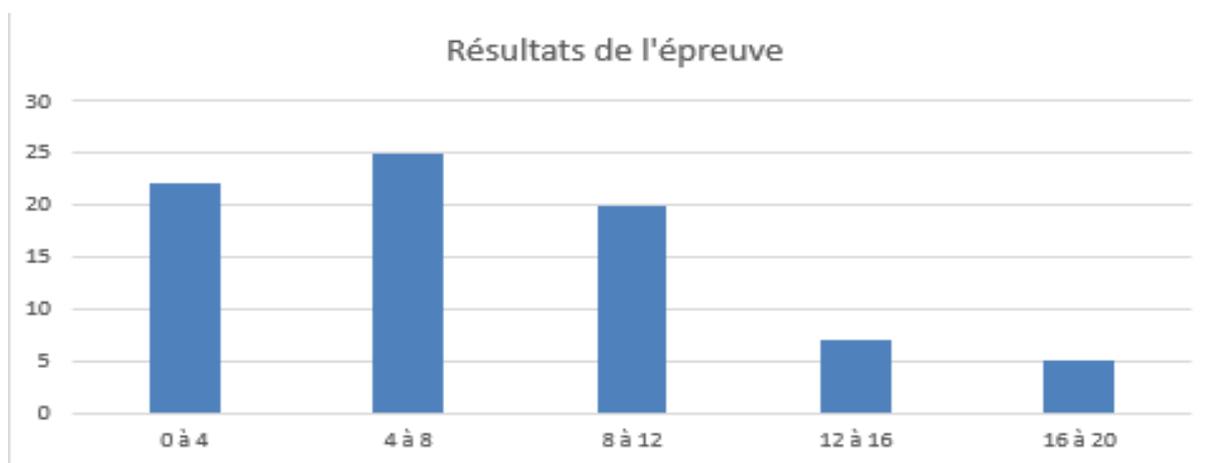
### 1. Présentation de l'épreuve

- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

À partir d'un dossier technique comportant les éléments nécessaires à l'étude, l'épreuve a pour objectif de vérifier que le candidat est capable de synthétiser ses connaissances pour modéliser un système 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.

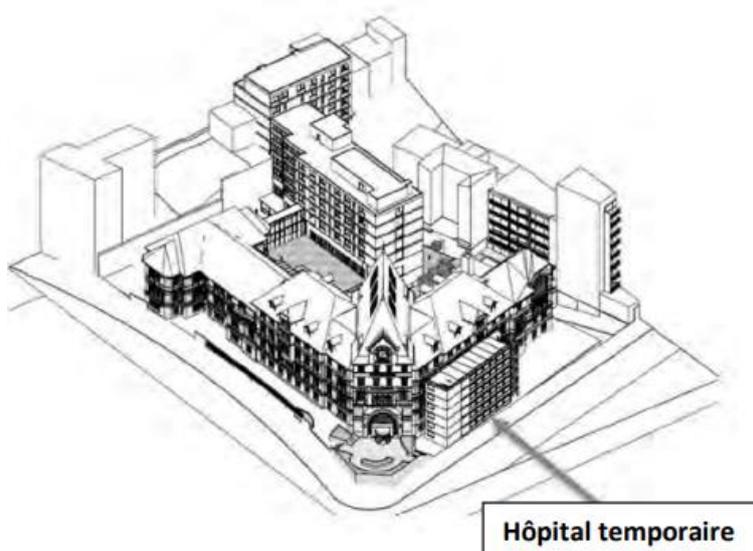
### 2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 7,05/20. L'écart-type est de 4,93. La meilleure note est 17,3/20. La plus faible est 0,03/20.



### 3. Présentation du sujet

Le sujet portait sur l'étude du projet d'extension et de restructuration de l'Hôpital Fondation Rothschild à Paris. Ce vaste projet comprend la construction d'une extension qui vient connecter « ancien » et « nouveau » bâtiments ainsi que la restructuration ponctuelle des bâtiments existants.



#### 4. Éléments de correction

##### Partie 1 : Etude de la structure porteuse de l'hôpital provisoire (7 points)

**Question 1.1** Charge  $p$  supportée par la poutre est  $p = 3 \times (73 + 250) \times \frac{6,3}{2} \Rightarrow p = 3052,4 \text{ daN/m}$

**Question 1.2** Degré d'hyperstatisme de la poutre.

$$h = (q + m) - 3 \times p = (2 + 4 \times 1 + 0) - 3 \times 1 \Rightarrow h = 3$$

$q$  : nombre des inconnues de liaison ,

$m$  : nombre des mobilités indépendantes,

$p$  : nombre de solides

**Question 1.3** Les réactions d'appuis sont .

$$R_1 = 58\,519 \text{ N}, R_2 = 170\,237 \text{ N}, R_3 = 138\,317 \text{ N}, R_4 = 170\,237 \text{ N}, R_5 = 58\,519 \text{ N}$$

**Question 1.4** Pour déduire le diagramme des moments fléchissants :

$$V = \frac{-dM_f}{dx}$$

$$x_1 = (4,88 / (90438 / 58519 + 1)) = 1,917 \text{ m}$$

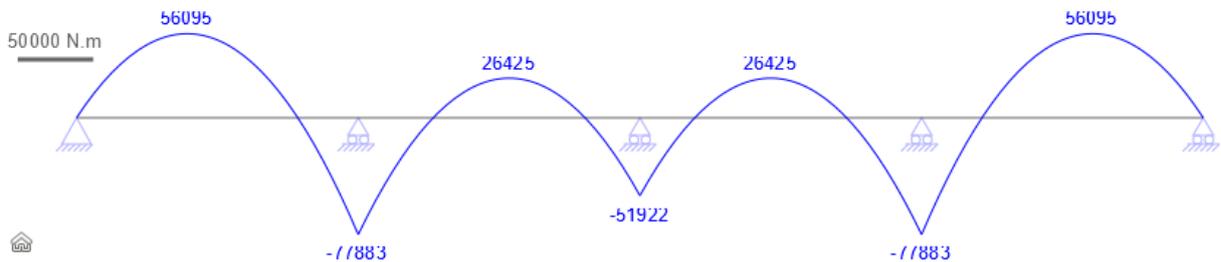
$$x_2 = (4,88 / (69159 / 79798 + 1)) = 2,61 \text{ m}$$

Le calcul d'aires sous la courbe de  $V(x)$  donne :

$$M_1 = 58519 \times 1,917 / 2 = 56\,094,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = 56091,6 - 90438 \times (4,88 - 1,917) / 2 = -77889 \text{ N} \cdot \text{m}$$

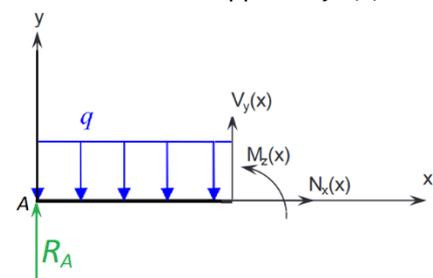
De même pour les autres.



##### Question 1.5

La flèche  $y$  à l'abscisse  $x$  est déterminée à partir de l'équation différentielle  $y''(x) = \frac{M(x)}{EI}$

La rotation  $\omega$  sur appuis =  $y'(x)$ .



$$M_z(x) = EI y''(x) = R_A \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = \frac{qL}{2}x - q \frac{x^2}{2}$$

$$\text{d'où } EI y'_1(x) = EI \omega(x) = \frac{qL}{4}x^2 - q \frac{x^3}{6} + A_1$$

$$EI \omega(0) = EI \omega_A = A_1 \text{ et } EI \omega(L/2) = \frac{qL}{4} \left(\frac{L}{2}\right)^2 - q \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} + A_1$$

$$= \frac{qL^3}{16} - \frac{qL^3}{16 \times 3} + A_1 = \frac{qL^3}{24} + A_1 = 0$$

$$\Rightarrow A_1 = -\frac{qL^3}{24}. \text{ Ainsi, } \omega_A = -\frac{qL^3}{24EI} \text{ et par symétrie, } \omega_B = \frac{qL^3}{24EI}$$

**Question 1.6** En appliquant la méthode des 3 moments :

$$M_1 L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3 L_2 = 6EI(\varphi_{2d} - \varphi_{2g})$$

$$M_2 L_2 + 2M_3(L_2 + L_3) + M_4 L_3 = 6EI(\varphi_{3d} - \varphi_{3g})$$

avec :

- $M_1 = M_5 = 0$
- $M_2 = M_4$  (symétrie)
- $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L$

Le système devient :

$$4M_2L + M_3L = 6 \left( -\frac{p \times L^3}{24} - \frac{p \times L^3}{24} \right) \Rightarrow 8M_2 + 2M_3 = -p \times L^2$$

$$2M_2L + 4M_3L = 6 \left( -\frac{p \times L^3}{24} - \frac{p \times L^3}{24} \right) \Rightarrow 8M_2 + 16M_3 = -2 \times p \times L^2$$

$$\Rightarrow 14M_3 = -pL^2 \Rightarrow \mathbf{M}_3 = -30524 \times 4,88^2 / 14 = -51922 \text{ N} \cdot \mathbf{m}$$

$$\text{et } M_2 = -pL^2/8 - M_3/4 \Rightarrow \mathbf{M}_2 = -30524 \times 4,88^2 / 8 - 51922 / 4 = -77883 \text{ N} \cdot \mathbf{m}$$

**Question 1.7** Association des assemblages ci-dessous aux liaisons  $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2$  et  $\mathcal{L}_3$ .

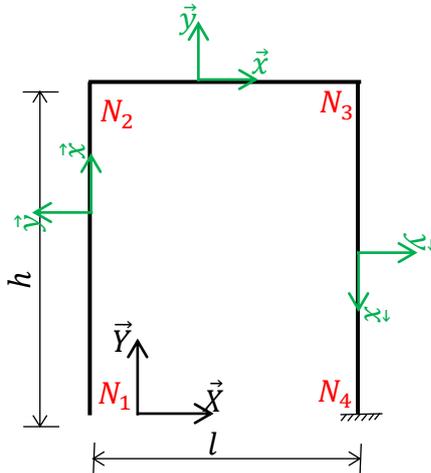
$\mathcal{L}_1 \rightarrow (c); \mathcal{L}_2 \rightarrow (a)$

**Question 1.8**  $F = R_2 = 170\,237 \text{ N}$

**Question 1.9** Le degré d'hyperstatisme du portique est :  $h = (3 + 3) + 2 \times 3 - 3 \times 3 = 3$

**Question 1.10** Calcul des réactions d'appuis par la méthode des déplacements :

a. Numérotation des nœuds



b. Conditions aux limites au niveau des

appuis :  $\begin{cases} N_1: U_1 = 0, V_1 = 0, \Omega_1 = 0 \\ N_4: U_4 = 0, V_4 = 0, \Omega_4 = 0 \end{cases}$

c. Degrés de liberté de la structure :

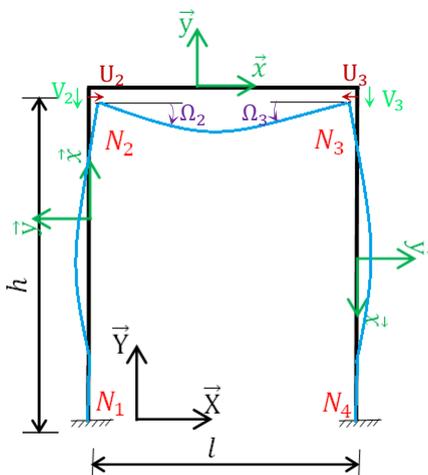
Rotations des nœuds  $N_2$  et  $N_3$  + déplacements linéaires dans les directions  $\vec{X}$  et  $\vec{Y}$  :

$$U_2, V_2, \Omega_2, U_3, V_3, \Omega_3$$

Par symétrie du problème, il vient que :

$$\begin{cases} U_2 = -U_3 \\ V_2 = V_3 \\ \Omega_2 = -\Omega_3 \end{cases}$$

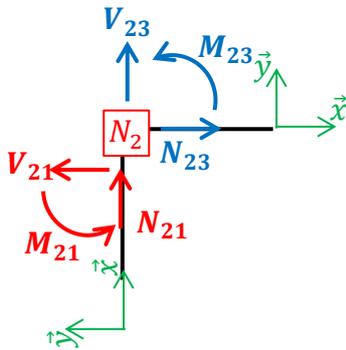
On a donc **3 inconnues cinématiques**



Repère global	Repère local
$U_2$	$-v_{21}, u_{23}$
$V_2$	$v_{23}, u_{21}$
$\Omega_2$	$\omega_{23}, \omega_{21}$
$U_3 = -U_2$	$v_{31}, u_{32}$
$V_3 = V_2$	$v_{32}$
$\Omega_3 = -\Omega_2$	$\omega_{32}$

d. Equilibre des nœuds :

Equilibre  $N_2$  :



$$\vec{Z} : M_{23} = -M_{21}$$

Selon  $\vec{X}$  :  $N_{23} = V_{21}$

Selon  $\vec{Y}$  :  $V_{23} = -N_{21}$

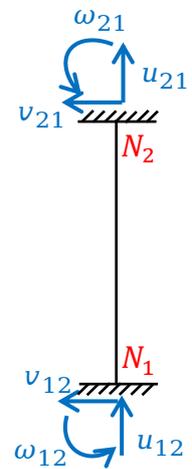
Moment fléchissant autour de

Relations entre torseurs et déplacements :

Et écriture dans le repère global

Barres sous déplacements unitaires imposés

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{21}^* = \frac{EA}{h} u_{21} - \frac{EA}{h} u_{12} \\ V_{21}^* = -12 \frac{EI}{h^3} v_{12} - 6 \frac{EI}{h^2} \omega_{12} + 12 \frac{EI}{h^3} v_{21} - 6 \frac{EI}{h^2} \omega_{21} \\ M_{21}^* = 6 \frac{EI}{h^2} v_{12} - 6 \frac{EI}{h^2} v_{21} + 2 \frac{EI}{h} \omega_{12} + 4 \frac{EI}{h} \omega_{21} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N_{21}^* = \frac{EA}{h} V_2 \\ V_{21}^* = -12 \frac{EI}{h^3} U_2 - 6 \frac{EI}{h^2} \Omega_2 \\ M_{21}^* = -6 \frac{EI}{h^2} U_2 + 4 \frac{EI}{h} \Omega_2 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} N_{23}^* = \frac{EA}{l} u_{23} - \frac{EA}{l} u_{32} \\ V_{23}^* = 12 \frac{EI}{l^3} v_{23} + 6 \frac{EI}{l^2} \omega_{23} - 12 \frac{EI}{l^3} v_{32} + 6 \frac{EI}{l^2} \omega_{32} \\ M_{23}^* = -6 \frac{EI}{l^2} v_{23} + 4 \frac{EI}{l} \omega_{23} + 6 \frac{EI}{l^2} v_{32} + 2 \frac{EI}{l} \omega_{32} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} N_{23}^* = 2 \frac{EA}{l} U_2 \\ V_{23}^* = 0 \\ M_{23}^* = 2 \frac{EI}{l} \Omega_2 \end{array} \right.$$

Barres sous chargement extérieur

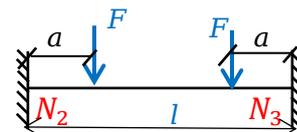
$$\left\{ \begin{array}{l} N_{23}^0 = 0 \\ V_{23}^0 = F \\ M_{23}^0 = \frac{F a(l-a)^2}{l^2} + \frac{F(l-a)a^2}{l^2} = \frac{F a(l-a)}{l} \end{array} \right.$$

Résolution du système :

$$N_{ij} = N_{ij}^* + N_{ij}^0 \quad V_{ij} = V_{ij}^* + V_{ij}^0 \quad M_{ij} = M_{ij}^* + M_{ij}^0$$

$$N_{23} - V_{21} = 0 \Leftrightarrow \left( \frac{EA}{l} + \frac{6EI}{h^3} \right) U_2 + 3 \frac{EI}{h^2} \Omega_2 = 0 \quad (1)$$

$$V_{23} + N_{21} = 0 \Leftrightarrow F + \frac{EA}{h} V_2 = 0 \quad (2)$$



$$M_{23} + M_{21} = 0 \Leftrightarrow 2EI \left( \frac{1}{l} + \frac{2}{h} \right) \Omega_2 + Fa \frac{(l-a)}{l} + \frac{6EI}{h^2} U_2 = 0 \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \frac{12EI}{h^3} + \frac{2EA}{l} & 0 & \frac{6EI}{h^2} \\ 0 & \frac{EA}{h} & 0 \\ \frac{6EI}{h^2} & 0 & 2EI \left( \frac{1}{l} + \frac{2}{h} \right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 \\ V_2 \\ \Omega_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -F \\ -F \frac{a(l-a)}{l} \end{pmatrix}$$

$$E = 200 \text{ GPa}, l = 6,30 \text{ m}, h = 10,00 \text{ m}, A = 198 \text{ cm}^2, I = 86975 \text{ cm}^4$$

$$(2) \Rightarrow V_2 = -\frac{Fh}{EA}$$

$$(1) \Rightarrow \Omega_2 = -120,65 U_2 \rightarrow \text{dans}(3)$$

$$\boxed{U_2 = 5,21 \times 10^{-6} \text{ m}; \Omega_2 = -6,28 \times 10^{-4} \text{ rad}; V_2 = 4,3 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

e. Calculs des torseurs aux nœuds :

$$\begin{cases} N_{21}^* = \frac{EA}{h} V_2 = -F = -170237 \text{ N} \\ V_{21}^* = -\frac{6EI}{h^2} \left( \frac{2}{h} U_2 + \Omega_2 \right) = 6544 \text{ N} \\ M_{21}^* = \frac{2EI}{h} \left( \frac{3}{h^2} U_2 + 2\Omega_2 \right) = -43691 \text{ N} \cdot \text{m} \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} N_{21}^0 = 0 \text{ N} \\ V_{21}^0 = 0 \text{ N} \\ M_{21}^0 = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} N_{23}^* = \frac{2EA}{l} U_2 = 6550 \text{ N} \\ V_{23}^* = 0 \text{ N} \\ M_{23}^* = \frac{2EI}{l} \Omega_2 = -34680 \text{ N} \cdot \text{m} \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} N_{23}^0 = 0 \text{ N} \\ V_{23}^0 = F = 170237 \text{ N} \\ M_{23}^0 = Fa \frac{(l-a)}{l} = 78363 \text{ N} \cdot \text{m} \end{cases}$$

Calculs des torseurs en tout point :

$$N(x) = N_{21} = -170237 \text{ N}$$

$$V(x) = V_{21} = 6544 \text{ N}$$

$$M(x) = +M_{21} + V_{21}(h-x) = -43691 + 6544(10-x)$$

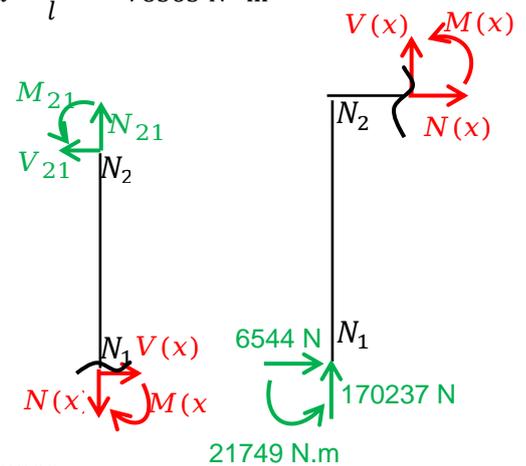
$$M(0) = 21749 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{et} \quad M(h) = -43691 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$0 \leq x < a$$

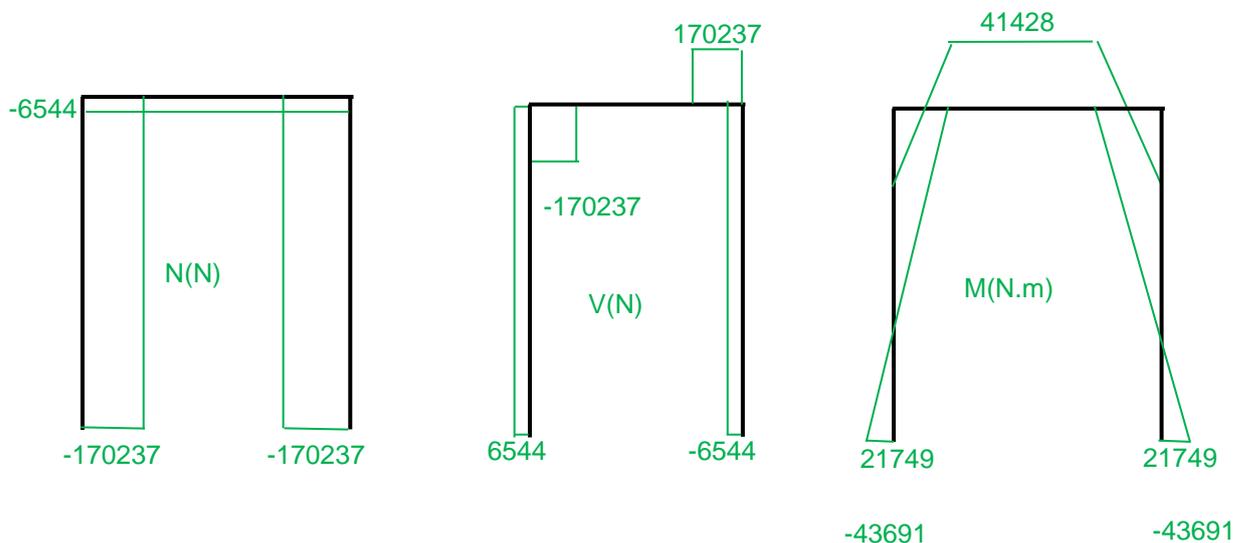
$$N(x) = -6544 \text{ N}$$

$$V(x) = -170237 \text{ N}$$

$$M(x) = -43691 + 170237x$$



on peut facilement tracer le diagrammes des sollicitations internes



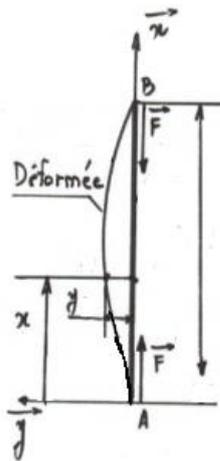
Les inconnues aux niveaux des appuis sont :

$$\begin{cases} X_1 = -X_4 = 6544N \\ Y_1 = Y_2 = 170237N \\ M_1 = -M_2 = -21749N.m \end{cases}$$

**Question 1.11** La structure est symétrique symétriquement chargée. Les conditions de symétrie imposent que les sections situées sur l'axe de symétrie  $y$  restent après mise en charge de la structure. Ainsi, toutes les sections conservent leurs positions selon l'axe horizontal. Cette structure est dite à nœuds pseudo fixes en translation et son analyse peut être conduite comme celle d'une structure à nœuds fixes en translation.

**Question 1.12** Le poteau est encasté en pied et la tête du poteau correspond à un nœud intérieur du portique. Le portique étant à nœuds fixes, ce nœud ne peut subir qu'une rotation d'où l'appui double (articulation).  $F$  correspond à l'effort normal s'appliquant sur le poteau et c'est le seul chargement car  $V$  et  $M$  sont négligés.

**Question 1.13** .



$$N = -F \text{ et } M_f = F \cdot y$$

$$M_f = -E \cdot I \cdot y'' \text{ Avec } y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$M_f + F \cdot y = 0 \Rightarrow E \cdot I \cdot y'' + F \cdot y = 0$$

Equation différentielle du 2<sup>ème</sup> ordre linéaire à coefficients constants :

$$y'' + w^2 \cdot y = 0$$

$$y'' + \frac{F}{E \cdot I} \cdot y = 0$$

La solution de l'équation prend la forme générale suivante:

$$y = C \cdot \cos(w \cdot x) + D \cdot \sin(w \cdot x), \text{ avec } w^2 = \frac{F}{E \cdot I}$$

Les constantes  $C$  et  $D$  se calculent par les conditions aux limites suivantes:

Aux points:

- $A(0,0)$  on a :  $0 = C \cdot \cos(w \cdot 0) + D \cdot \sin(w \cdot 0)$  donc  $C = 0$ .
- $B(L,0)$  on a :  $0 = 0 + D \cdot \sin(w \cdot L)$  or  $D \neq 0$   
Donc  $\sin(w \cdot L) = 0$  et  $w \cdot L = k\pi$  d'où  $w = \frac{k\pi}{L}$

$$\text{Or : } w^2 = \frac{k^2 \pi^2}{L^2} = \frac{F}{E \cdot I}$$

La valeur de  $F$  qui satisfait l'équation est obtenue pour  $k = 1$  (1er mode de deformation) et sera appelée charge critique de l'Euler  $F_c$  :

$$F_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Avec

- E: module d'Young MPa
- I: Moment quadratique (mm<sup>4</sup>)
- L : longueur libre de flambage (mm)
- F<sub>c</sub>: charge critique d'Euler (N)

**Question 1.14** Les moments quadratiques I<sub>Gz</sub> et I<sub>Gx</sub> se calculent aisément en décomposant la section en éléments simples et en utilisant le théorème de Huygens.

**Question 1.15**  $F_c = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10 \times 10367}{(0.7)^2} \approx 4,2 \text{ MN} > 3 \times F = 510 \text{ kN}$ , pas de risque de flambement

**Question 1.16**  $k_{eq} = 5 \times k = 5 \times 23400 \Rightarrow k_{eq} = 117000 \text{ kN/m}$

**Question 1.17**  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{eq}}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{117}{119}} \Rightarrow f = 5 \text{ Hz}$

**Question 1.18** Les conditions de stabilité et de confort vibratoire sont vérifiées

## Partie 2 : Etude de la galerie technique (3 points)

**Question 2.1** : Ce type de paroi consiste à réaliser les travaux en plusieurs phases, identiques mais en quinconce. La technique consiste à terrasser par passes alternées, puis à ferrailer et à couler les éléments de voile situés dans les passes excavées, ensuite à terrasser l'ensemble de la fouille, les voiles mis en place étant soutenus par des butons (bracons) prenant appui sur la banquette en vis-à-vis ou sur le fond de fouille, enfin à réaliser les éléments de voile intermédiaires. L'opération est répétée autant de fois qu'il est nécessaire pour atteindre le fond de fouille définitif.

### Question 2.2

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+\omega} \text{ et } e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

Au vu des résultats fournis et en se basant uniquement sur les paramètres d'état et d'identification des sols, on peut considérer 2 sols uniquement.

Sol 1 :  $\gamma_{h1} = 18 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{d1} = 15 \text{ kN/m}^3$ ,  $e_1 = 0,76$

Sol 2 :  $\gamma_{h2} = 21 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{d2} = 17 \text{ kN/m}^3$ ,  $e_2 = 0,63$

### Question 2.3

$$H_c = 4 \frac{C_u}{\gamma_h} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_u}{2}\right) - 2 \frac{q}{\gamma_h} = 4 \frac{10}{21} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{25}{2}\right) - 2 \frac{10}{21} \Rightarrow H_c \approx 2 \text{ m}$$

Le calcul est en phase provisoire, on utilise les caractéristiques à court terme.

### Question 2.4

Notons  $K'_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_u}{2}\right)$

- sol 1 :  $0 \text{ m} \leq z < 3 \text{ m}$

$$K'_{a1} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{0}{2}\right) = 1$$

- sol 2 :  $3 \text{ m} \leq z < 10 \text{ m}$

$$K'_{a2} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{25^\circ}{2}\right) = 0,405$$

$$P_a(z) = K_a \gamma_h z = K'_a \gamma_h z - 2\sqrt{K'_a} C_u$$

$$Q_a(z) = K_a q = K'_a q - 2q\sqrt{K'_a} \frac{C_u}{z\gamma_h}$$

**Question 2.5** Calculer l'effort résultant agissant sur le voile entre les cotes  $h_1$  et  $h_2$  a pour expression :

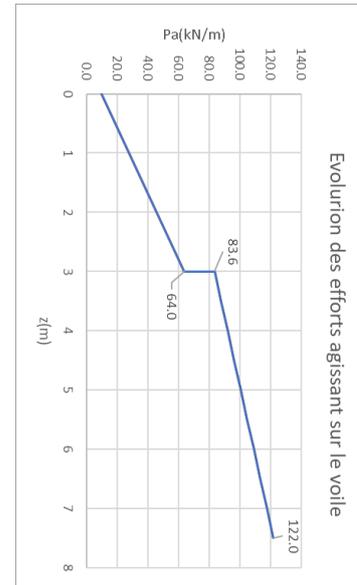
$$\text{Effort résultant : } F_a = \int_{h_1}^{h_2} (P_a(z) + Q_a(z)) dz = \int_{h_1}^{h_2} \left( K'_a \gamma_h z - 2\sqrt{K'_a} C_u + K'_a q - 2q\sqrt{K'_a} \frac{C_u}{\gamma_h} \right) dz$$

$$F_a = K'_a \gamma_h \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} - 2\sqrt{K'_a} C_u (h_2 - h_1) + K'_a q (h_2 - h_1) - 2q\sqrt{K'_a} \frac{C_u}{\gamma_h} \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right)$$

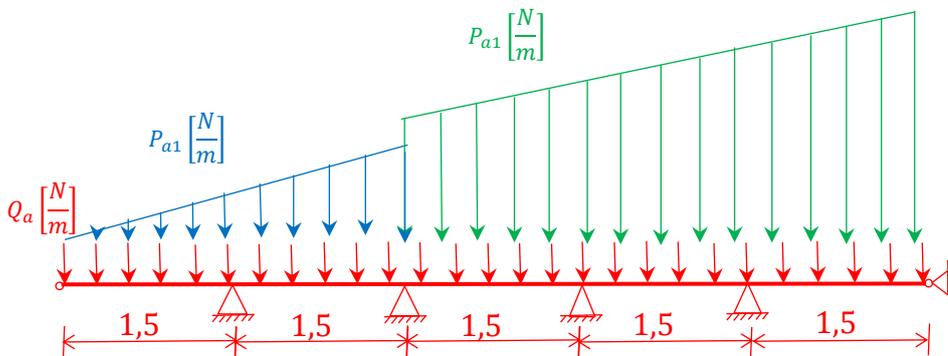
**Question 2.6** : On néglige les termes liés à la cohésion pour être dans le sens de la sécurité

**Question 2.7** :

$$F_a = K'_a \gamma_h \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} + K'_a q (h_2 - h_1)$$



**Question 2.8** : On considère 1 ml de voile qu'on modélise par une poutre sur 4 appuis représentant les butons et un appui en pied de voile (fondation)



**Question 2.9** : Effort dans l'axe du buton =  $253.3 / \cos(90^\circ - 70^\circ) = 292.5$  kN

### Partie 3 : Etude de la pompe à chaleur air/air (7 points)

1.1. Etude du chauffage de l'espace « détente personnel »

**Question 3.1**

$dU$  : variation d'énergie interne du système entre un état initial et final

$\delta W$  : travail échangé du système avec l'extérieur en J orienté réellement vers le système

$\delta Q_f$  : chaleur échangée avec la source froide en J orientée réellement vers le système

$\delta Q_c$

: chaleur échangée avec la source chaude en J orientée réellement vers le local

$T_e$  : température de la source froide (air extérieur) en K

$T$  : température de la source chaude (air du local) en K

**Question 3.2** : Sur un cycle thermodynamique réversible  $dU$  ( $U$  : variable d'état) = 0 et  $\frac{\delta Q_f}{T_e} + \frac{\delta Q_c}{T} = 0$

- $\Rightarrow \delta Q_f = -\frac{T_e}{T} \delta Q_c \leq 0$
- 1<sup>er</sup> principe appliqué à l'air du local (hypothèse simplificatrice d'un système fermé sans travail reçu) :  
 $dU = -\delta Q_c$  ( $\delta Q_c$  étant algébriquement orientée vers le système fluide frigorigène)  
 $\Rightarrow \delta Q_c = -C \cdot dT$
- D'où  $P \cdot dt + \frac{T_e}{T} \delta Q_c - C \cdot dT = 0$   
 $\Rightarrow 0 = P dt - C dT + T_e C \frac{dT}{T}$   
 $\Rightarrow dt = \frac{C}{P} \cdot \left(1 - \frac{T_e}{T}\right) dT$  et par intégration entre l'instant initial et un instant  $t$   
 $t = \frac{C}{P} \cdot \left[ (T - T_e) - T_e \cdot \ln\left(\frac{T}{T_e}\right) \right]$

**Question 3.3** : Application numérique :  $t = 10 \text{ min } 42 \text{ s}$

**Question 3.4** : Travail reçu dans le cadre d'un chauffage direct par convecteur :

$$W_c = C \cdot (T_i - T_e) = 3919.5 \text{ kJ}$$

Travail reçu dans le cadre d'un chauffage par PAC (avec rendement  $r$  par rapport à une machine idéale)

$$W_{PAC} = \frac{C}{r} \cdot \left[ (T_i - T_e) - T_e \cdot \ln\left(\frac{T_i}{T_e}\right) \right] = 299.7 \text{ kJ}$$

**Question 3.5** :  $K$  en W/K soit dans le SI :  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

**Question 3.6** : Bilan sur la pièce :  $dU = \delta Q \Rightarrow C \cdot dT = -K(T - T_e) \Rightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{K}{C} T = \frac{K}{C} T_e$

Résolution de l'équation différentielle avec comme condition initiale  $T(0) = T_i$

$$\Rightarrow T(t) = T_e + (T_i - T_e) \cdot \exp\left(-\frac{K}{C} t\right)$$

$$\text{Pour } t = t_1, T = T_i'' \Rightarrow K = \frac{C}{t_1} \ln\left(\frac{T_i - T_e}{T_i'' - T_e}\right) = 1.3 \text{ W/K}$$

**Question 3.7** : Nouvelle phase de chauffage :  $t = \frac{C}{P \cdot r} \cdot \left[ (T - T_i') - T_e \cdot \ln\left(\frac{T}{T_i'}\right) \right]$

La PAC s'arrête lorsque  $T = T_i \Rightarrow t_2 = 79 \text{ s}$

Temps avant redémarrage de la PAC  $t_3 = \frac{C}{K} \ln\left(\frac{T_i - T_e}{T_i' - T_e}\right) = 4548 \text{ s}$

Durée globale du cycle  $t_c = t_2 + t_3 = 4627 \text{ s}$

**Question 3.8** : Nombre de déclenchement par jour  $= \frac{3600 \times 24}{4627} = 19$  et  $W = 0.2 \text{ kWh}$

**Question 3.9** : Modèle très simpliste car il n'y a pas de prise en compte des déperditions dynamiques de la pièce, ni de la variation de la température extérieure sur une journée complète, ni de la modulation de puissance de la PAC. Par ailleurs, dans ce projet, la puissance de la PAC a été dimensionnée pour les besoins « été » du local et se retrouve largement surdimensionnée pour les besoins en chauffage avec des cycles de fonctionnement très courts ...

## 1.2. Etude de l'échangeur de la PAC

**Question 3.10 :** Bilan sur une portion d'ailette comprise entre  $x$  et  $x+dx$

$$\Phi_x - \Phi_{x+dx} - \Phi_{cv} = 0 \Rightarrow -\lambda \cdot S \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right)_x + \lambda \cdot S \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right)_{x+dx} - h \cdot p \cdot dx \cdot (T - T_a) = 0$$

On pose  $\theta(x) = T(x) - T_a \Rightarrow \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} - \frac{h \cdot p}{\lambda \cdot S} \cdot \theta(x) = 0 \Rightarrow \delta^2 \frac{d^2\theta(x)}{dx^2} - \theta(x) = 0$  avec  $\delta^2 = \frac{\lambda \cdot e}{2h}$

**Question 3.11 :** Solution de l'équation différentielle de la forme :  $\theta(x) = A \cdot ch\left(\frac{x}{\delta}\right) + B \cdot sh\left(\frac{x}{\delta}\right)$

Conditions aux limites :  $x = 0 : T(0) = T_0$  et en  $x=L : \theta(L) = 0 \Rightarrow A = T_0 - T_a$  et  $B = -\theta_0 \cdot th\left(\frac{l}{\delta}\right)$

D'où  $\Rightarrow \theta(x) = \theta_0 \frac{ch\left(\frac{l-x}{\delta}\right)}{ch\left(\frac{l}{\delta}\right)}$

Avec  $\delta = 0.022 \text{ m}$

**Question 3.12 :**  $\phi_0 = -\lambda \cdot e \cdot L \cdot \left(\frac{dT}{dx}\right)_{x=0} = \frac{\lambda \cdot e \cdot L \cdot \theta_0}{\delta} th\left(\frac{l}{\delta}\right)$

**Question 3.13 :** Le volume de l'ailette et sa largeur sont imposés.  $\phi_0 = \sqrt{\frac{2h \cdot \lambda \cdot S}{l}} \cdot L \cdot \theta_0 \cdot th\left(\sqrt{\frac{2h}{\lambda \cdot S}} \cdot l^{\frac{3}{2}}\right) = C_1 \cdot l^{-\frac{3}{2}} \cdot th\left(C_2 \cdot l^{\frac{3}{2}}\right)$

$$\frac{d\phi_0}{dl} = 0 \Rightarrow th(u) = \frac{3 \cdot u}{ch^2(u)} \text{ avec } u = C_2 \cdot l^{\frac{3}{2}}$$

$u = 1.4 \Rightarrow l = 1.4 \cdot \delta$

**Question 3.14 :** Nombre total d'ailettes de longueur  $l = N \cdot n \cdot 2$

$$\phi'_T = \frac{\lambda \cdot S \cdot \theta_0}{\delta} th\left(\frac{l}{\delta}\right) \cdot 2 \cdot n \cdot N$$

**Question 3.15 :** Efficacité de l'ailette :  $\varepsilon = \frac{\phi'_T}{\phi_{max}}$  avec  $\phi_{max} = 4 \cdot h \cdot l \cdot L \cdot \theta_0 \cdot n \cdot N \Rightarrow \varepsilon = \frac{\delta}{l} th\left(\frac{\delta}{l}\right)$

**Question 3.16 :** En négligeant le flux dissipé par les tubes,

$$n = \frac{\delta \cdot \phi'_T}{\lambda \cdot S \cdot \theta_0 \cdot th\left(\frac{l}{\delta}\right) \cdot 2N} = 32 \text{ rangées avec } \delta = 0.022 \text{ m}$$

## Partie 4 : Etude du rayonnement acoustique du ventilateur dans le réseau de ventilation (3 points)

**Question 4.1 :** En tout point  $x$  du conduit,  $p(x, t) = A \cdot e^{j(\omega t - kx)} + B \cdot e^{j(\omega t + kx)} = [A \cdot e^{-jkx} + B \cdot e^{jkx}] \cdot e^{j\omega t}$

**Question 4.2 :** La projection sur l'axe (Ox) du PFD donne  $\frac{\partial v(x, t)}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} (-jk) [A \cdot e^{j(\omega t - kx)} - B \cdot e^{j(\omega t + kx)}]$

$$\Rightarrow v(x, t) = \frac{1}{\rho \cdot c} [A \cdot e^{-jkx} + B \cdot e^{jkx}] \cdot e^{j\omega t}$$

**Question 4.3 :** Impédance acoustique :  $Z(x) = \frac{p(x)}{v(x)}$ . En remplaçant par les expressions de  $p(x)$  et  $v(x)$

ci-dessus, on trouve bien  $Z(x) = \rho \cdot c \cdot \frac{A \cdot e^{-jkx} + B \cdot e^{jkx}}{A \cdot e^{-jkx} - B \cdot e^{jkx}}$

**Question 4.4 :** A l'extrémité du conduit, la pression acoustique  $p(L) = 0 \Rightarrow B = -A \cdot e^{-2jkL}$

En remplaçant dans l'expression de l'impédance acoustique, on obtient :  $Z(x) = \rho \cdot c \cdot \frac{e^{jk(L-x)} - e^{-jk(L-x)}}{e^{jk(L-x)} + e^{-jk(L-x)}}$   
 d'où  $Z(x) = \rho \cdot c \cdot \tan[k(L-x)]$

**Question 4.5 :**  $Z(L) \neq 0 \Rightarrow Z_L = \rho \cdot c \cdot \frac{A \cdot e^{-jkL} + B \cdot e^{jkL}}{A \cdot e^{-jkL} - B \cdot e^{jkL}} \Rightarrow B = A \cdot \frac{Z_L - \rho \cdot c}{Z_L + \rho \cdot c} \cdot e^{-2jkL} \Rightarrow Z(x) =$   
 $\rho \cdot c \cdot \frac{Z_L \cos[k(L-x)] + j \cdot \rho \cdot c \cdot \sin[k(L-x)]}{\rho \cdot c \cdot \cos[k(L-x)] + j \cdot Z_L \cdot \sin[k(L-x)]}$

- $p(0) = \frac{2 \cdot A \cdot e^{-jkL}}{Z_L + \rho \cdot c} (Z_L \cos[k \cdot L] + j \cdot \rho \cdot c \cdot \sin(kL))$
- $v(0) = \frac{2 \cdot A \cdot e^{-jkL}}{\rho \cdot c \cdot (Z_L + \rho \cdot c)} (\rho \cdot c \cdot \cos[k \cdot L] + j \cdot Z_L \cdot \sin(kL))$
- $Z(0) = \rho \cdot c \cdot \frac{Z_L \cos(kL) + j \cdot \rho \cdot c \cdot \sin(kL)}{\rho \cdot c \cdot \cos(kL) + j \cdot Z_L \cdot \sin(kL)}$
- $p(L) = \frac{2 \cdot Z_L \cdot A}{Z_L + \rho \cdot c} \cdot e^{-jkL}$
- $v(L) = \frac{2 \cdot A}{Z_L + \rho \cdot c} \cdot e^{-jkL}$

**Question 4.6 et 4.7 :** Intensité acoustique rayonnée en  $x = L$  avec  $I(x) = \frac{1}{2} \cdot \text{Re}(p(x) \cdot v^*(x))$

- 1<sup>er</sup> cas :  $p(L) = 0 \Rightarrow \begin{cases} I(L) = 0 \\ P_a = 0 \end{cases}$
- 2<sup>ème</sup> cas :  $I(L) = \frac{1}{2} \cdot \text{Re} \left( \frac{Z_L \cdot 4 \cdot A^2}{(\rho \cdot c + Z_L)^2} \right) \Rightarrow \begin{cases} I(L) = \frac{2|A|^2}{|\rho \cdot c + Z_L|^2} \cdot \text{Re}(Z_L) \\ I(L) = \frac{|A|^2 \cdot k^2 \cdot D^2}{4 \cdot \rho \cdot c \cdot \left( \left(1 + \frac{k^2 \cdot D^2}{8}\right)^2 + (0.43 \cdot k \cdot D)^2 \right)} \end{cases}$

**Question 4.8 :** Fréquence fondamentale  $f_0 = \frac{N \cdot \omega}{2\pi} = 25 \text{ Hz}$

**Question 4.9 :**  $|v(0)|^2 = \frac{4}{(\rho \cdot c)^2} \cdot \frac{|A|^2}{|\rho \cdot c + Z_L|^2} \cdot ((\rho \cdot c \cdot \cos[k \cdot L])^2 + |Z_L|^2 \cdot \sin^2(kL))$   
 $\Rightarrow |A|^2 = \frac{(\rho \cdot c)^2 \cdot |\rho \cdot c + Z_L|^2 \cdot |v(0)|^2}{4((\rho \cdot c \cdot \cos[k \cdot L])^2 + |Z_L|^2 \cdot \sin^2(kL))}$

**Question 4.10 :** D'après la question 4.7,  $I(L) = \frac{|A|^2 \cdot k^2 \cdot D^2}{4 \cdot \rho \cdot c \cdot \left( \left(1 + \frac{k^2 \cdot D^2}{8}\right)^2 + (0.43 \cdot k \cdot D)^2 \right)}$

$$\Rightarrow I(L) = \frac{k^2 \cdot D^2}{4 \cdot \rho \cdot c \cdot \left( \left(1 + \frac{k^2 \cdot D^2}{8}\right)^2 + (0.43 \cdot k \cdot D)^2 \right)} \cdot \frac{(\rho \cdot c)^2 \cdot |\rho \cdot c + Z_L|^2 \cdot |v(0)|^2}{4((\rho \cdot c \cdot \cos[k \cdot L])^2 + |Z_L|^2 \cdot \sin^2(kL))}$$

Soit après développement et simplification :

$$\Rightarrow \begin{cases} I(L) = \frac{k^2 \cdot D^2}{16} \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot |v(0)|^2}{\cos^2[k \cdot L] + \left( \left( \frac{k^2 \cdot D^2}{8} \right)^2 + (0.43 \cdot k \cdot D)^2 \right) \cdot \sin^2(kL)} \\ \text{et } P_a = \iint I(x) \cdot dS \end{cases}$$

**Question 4.11 :** L'expression ci-dessus est minimale lorsque  $k \cdot L = n \cdot \pi \Rightarrow I(L) = \frac{k^2 \cdot D^2}{16} \cdot \rho \cdot c \cdot |v(0)|^2$

## 5. Commentaires du jury

Le sujet était composé de quatre parties indépendantes. La partie 1 avait pour objet d'étudier la stabilité et le confort vibratoire de la structure de l'hôpital temporaire. Elle était divisée en quatre études :

1. La première étude visait à déterminer les sollicitations dans une poutre continue sur trois appuis, en appliquant le théorème des trois moments. Cette méthode est récurrente et classique en résistance des matériaux. Les résultats obtenus par les candidats sur cette étude s'avèrent plutôt faibles au regard de la décomposition des différentes étapes faite dans le sujet. Cette étude a été abordée par la majorité et correctement traitée par 32 % des candidats.
2. La deuxième étude visait à déterminer les sollicitations dans un portique hyperstatique de degré 3. La méthode des déplacements était préconisée. Elle a été abordée par moins de la moitié des candidats et correctement traitée par 15 % des candidats.
3. La troisième étude visait à établir l'expression de la charge critique d'Euler pour un poteau en compression et vérifier sa stabilité au flambage. Elle a été abordée par la une grande partie des candidats et correctement traitée par 20 % des candidats.
4. La quatrième étude visait à vérifier le confort vibratoire de la structure. Il s'agissait de calculer la fréquence propre de la structure et la comparer à la fréquence exigée. Elle a été très peu abordée et correctement traitée par 15 % des candidats.

La partie 2 avait pour objet d'évaluer les efforts repris par les butons soutenant un voile contre terre de la galerie technique. Elle abordait les aspects de mécanique des sols. La question relative à l'expression des paramètres d'un sol les uns par rapport aux autres, a été traitée par près de 79 % des candidats dont seulement 20% l'ont abordée correctement. Les calculs de la répartition des contraintes et des efforts dans les butons ont été traités par environ 35 % des candidats dont moins de la moitié a obtenu une note supérieure à la moyenne.

Concernant les parties 1 et 2, les résultats sont en deçà de ce que le jury est en mesure d'attendre, sur des connaissances fondamentales, sur les trois thèmes abordés. En calcul des structures, le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des principes de base (évaluation des charges linéiques reprises par une poutre, déduction du diagramme des moments fléchissants à partir du diagramme des efforts tranchants, calculs des moments quadratiques d'une section composée,...), y compris sur des calculs de structures isostatiques (principe fondamental de la statique) ainsi que sur les méthodes courantes telles que le théorème des trois moments, la charge critique d'Euler ou la méthode des déplacements. Les notions fondamentales de vibration des structures ne sont pas connues par la très grande majorité des candidats. 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 répartition des contraintes sur une paroi en tenant compte de la cohésion du sol et de la présence d'une surcharge a posé problème alors que le sujet est un classique, sans difficulté particulière.

La partie 3 avait pour objet d'étudier très simplement l'interaction de la machine thermodynamique avec la pièce. Elle était divisée en deux études :

1. La première étude visait à comparer avec différentes hypothèses très simplificatrices, la consommation d'énergie de la pompe à chaleur à un système de chauffage électrique de type « convecteur » et de conclure quant à l'intérêt d'un tel système. Les résultats de cette étude s'avèrent plutôt faibles au regard de l'accompagnement du candidat à travers la décomposition des différentes étapes et les réponses intermédiaires communiquées. Elle a été abordée par la majorité et correctement traitée par 15 % des candidats.
2. La deuxième étude visait à vérifier le dimensionnement de l'échangeur de l'unité intérieure en modélisant une ailette dans un premier temps, puis l'échangeur entier dans un second temps. Elle a été abordée par moins de la moitié des candidats et correctement traitée par 15 % des candidats.

La partie 4 avait pour objet d'étudier le rayonnement acoustique du ventilateur d'amener d'air neuf dans le local dans le cadre de l'approximation basse fréquence où seules les ondes planes harmoniques se propagent et de montrer que la puissance rayonnée dépendait de la fréquence et de la longueur de la gaine. Elle abordait le thème de l'acoustique sous son aspect ondulatoire et faisait intervenir les notions d'ondes « aller », « retour » et d'impédance acoustique. Cette partie a été très peu abordée (seulement 40 % des candidats). En revanche la majorité des candidats ayant traité cette partie ont obtenu une note supérieure à la moyenne.

Concernant les parties 3 et 4, 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. En thermodynamique, le jury relève un taux important d'absence de maîtrise des principes de base (méconnaissance totale des différents termes de l'énoncé du 1<sup>er</sup> principe la thermodynamique par plus de la moitié des candidats, bilan énergétique, unités SI). Le jury note également un manque de connaissances mathématiques de base permettant la résolution des problèmes scientifiques et techniques (résolution d'équation différentielle du 1<sup>ère</sup> ordre, 25 % des candidats ont calculé le logarithme népérien d'un nombre négatif, etc.). L'ailette mince rectangulaire est un grand classique des problèmes de transferts thermiques et n'a été que trop peu abordée malgré le guidage mis en place à travers le questionnement. Beaucoup de candidats ont fait l'impasse totale sur l'acoustique ou méconnaissent l'aspect ondulatoire du phénomène.

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

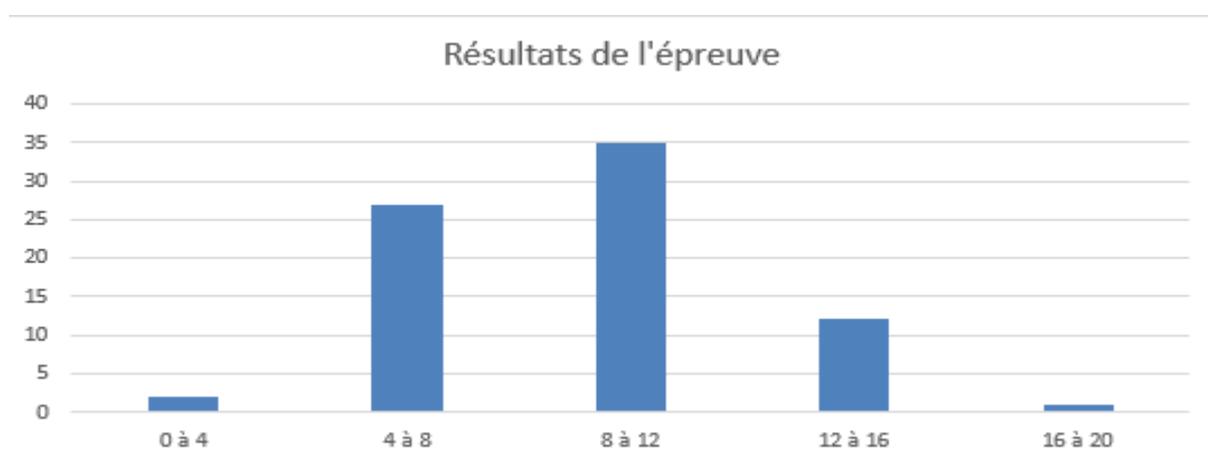
#### **1. Présentation de l'épreuve**

- Durée : 6 heures
- Coefficient : 1

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

#### **2. Résultats**

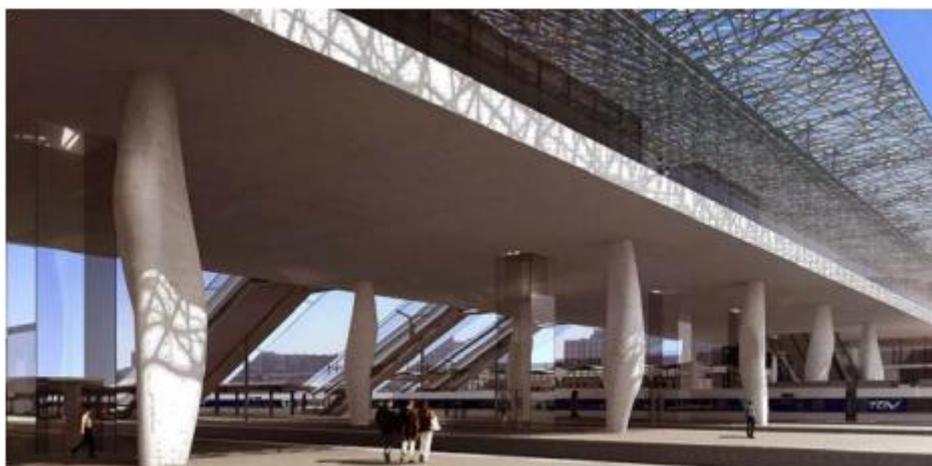
La moyenne des notes obtenues est de 9/20. L'écart-type est de 2,96. La meilleure note est 17,43/20. La plus faible est 3,12/20.



#### **3. Présentation du sujet**

Le sujet portait sur le projet de la gare « Cœur de Nantes » à Nantes. Ce projet vise à faire de la gare un élément d'attractivité et de développement du quartier. Le projet comprend :

- la rénovation partielle des deux bâtiments Nord et Sud existants,
- la création d'une gare belvédère (appelée Mezzanine) de 4 000 m<sup>2</sup>,
- le déploiement de 14 commerces,
- la construction d'un nouveau parking clients.



## 4. Éléments de correction

### ÉTUDE 1 CONSTRUCTION DE LA MEZZANINE

#### 1.1 Construction des piles de la mezzanine

##### 1.1.1 Peau de Coffrage

**Question 1.1 : Définir ce qu'est un béton autoplaçant. Comparer les caractéristiques d'un béton autoplaçant à celles d'un béton traditionnel. Indiquer une mise en œuvre possible du béton autoplaçant dans le coffrage ainsi que les vérifications à prévoir pendant le coulage.**

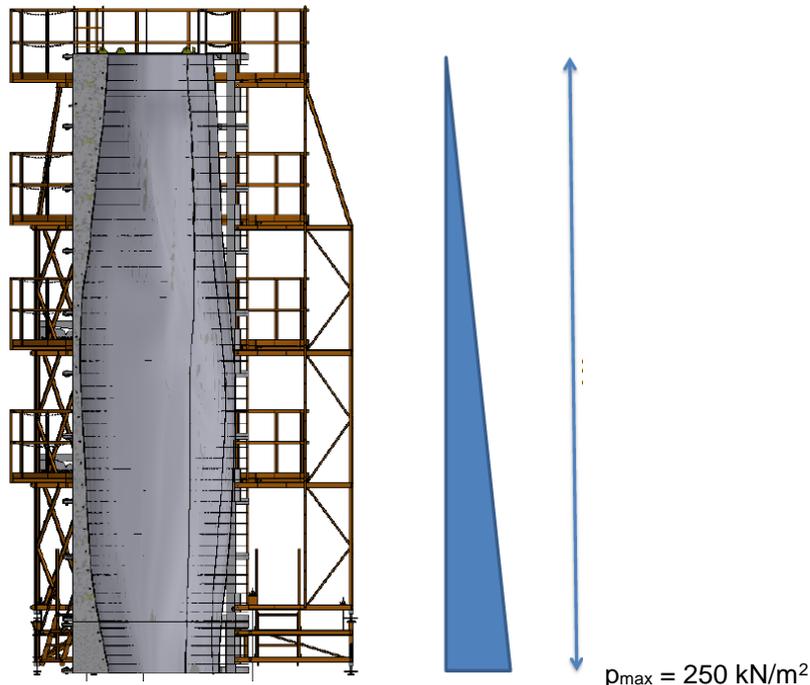
Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration (compaction sous le seul effet de la gravité sans apport d'énergie extérieure).

Homogènes et stables, ils présentent des résistances, des performances à l'état durci et une durabilité analogues à celles des bétons traditionnels mis en œuvre par vibration. Ils se distinguent des bétons traditionnels principalement par leurs propriétés à l'état frais.

Les BAP peuvent être mis en œuvre soit de façon traditionnelle à la benne à manchette, soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage). Il convient de vérifier que la pression générée par les BAP sur le coffrage (fonction de la thixotropie du matériau, de la vitesse de montée du béton dans le coffrage et de sa hauteur) pendant le coulage ne dépasse pas les limites de résistance des coffrages et des étalements.

**Question 1.2 : Représenter graphiquement la variation de la pression du béton frais sur le coffrage en fonction de la hauteur et calculer la pression maximale.**

Les piles sont réalisées avec un béton autoplaçant en injection par le bas ; nous considérerons une pression hydrostatique maximale en pied de coffrage de :  $p_{\max} = 25 \text{ kN/m}^2 \times 10,00 \text{ m ht} = 250 \text{ kN / m}^2$



**Question 1.3 : Proposer un schéma mécanique pour dimensionner la peau de coffrage. Ce schéma doit contenir une modélisation de la poutre, une représentation de la section en flexion et des actions mécaniques.**

On peut considérer la peau de coffrage comme une poutre droite à plan moyen (on néglige la géométrie en coque) de longueur 10 mètres reposant sur 51 appuis simples espacés de 0,20 m.

La section en flexion sera de hauteur  $h$  égale à l'épaisseur du contre-plaqué et de largeur  $b$  pouvant être prise égale à 1 mètre. L'action mécanique est une action linéique variable variant de 0 en partie haute du coffrage à une valeur maximale de  $1,5 \times 250 \text{ kN/m} = 375 \text{ kN/m}$  en partie basse du coffrage.

**Question 1.4 :** A partir de la méthode de dimensionnement fournie sur le DT1 et en considérant un moment fléchissant maximal à l'ELU de 1,56 kN.m et un effort tranchant maximal à l'ELU de 45 kN, déterminer l'épaisseur minimale du contreplaqué à utiliser pour réaliser la peau de coffrage.

$$\sigma_{m,d} = \frac{M}{I_{Gz}} \times y = \frac{M}{\frac{b.h^3}{12}} \times \frac{h}{2} = \frac{M}{\frac{b.h^2}{6}} = \frac{1,56.10^3}{\frac{1.h^2}{6}} \leq f_{m,d} = 12 \text{ MPa} \Rightarrow h \geq \sqrt{\frac{6 \times 1,56.10^3}{12.10^6}} = 0,028 \text{ m}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V}{b.h} = \frac{3}{2} \times \frac{45.10^3}{1 \times h} \leq f_{v,d} = 3 \text{ MPa} \Rightarrow h \geq \frac{3}{2} \times \frac{45.10^3}{3.10^6} = 0,023 \text{ m}$$

On choisira un contreplaqué de 30 mm.

**Question 1.5 :** A partir de la méthode de vérification fournie sur le DT1, montrer qu'un contreplaqué de 30 mm vérifie la condition de flèche.

$$v = \frac{7,56}{E \times I} = \frac{7,56}{6.10^9 \times \frac{1.0,03^3}{12}} = 0,00056 \text{ m} \leq \frac{0,2}{200} = 0,001 \text{ m}$$

### 1.1.2 Cerce métallique N°1

**Question 1.6 :** Préciser quelle est la principale sollicitation interne de la cerce métallique. Justifier votre réponse.

En considérant la pile cylindrique, le coffrage peut être considéré comme un tube creux soumis à une pression interne. La sollicitation interne principale est de la traction.

**Question 1.7 :** Montrer que l'effort de traction  $N_{Ed}$  à l'ELU de la cerce métallique N°1 peut être évalué à 168,75 kN.

$$N_{Ed} = \frac{d}{2} \times h \times 1,5 \times p = 0,9 \times 0,5 \times 1,5 \times 250 = 168,75 \text{ kN}$$

**Question 1.8 :** A partir de la méthode de dimensionnement fournie sur le DT2, vérifier les critères de résistance en traction.

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$168,75 \text{ kN} \leq 0,100 \times 0,020 \times \frac{265.10^6}{1} = 530 \text{ kN}$$

### 1.1.3 Stabilité du coffrage au vent en cours de montage

**Question 1.9 :** En négligeant le poids du coffrage, déterminer les actions de liaisons  $A_x$  et  $A_y$  pour un étai stabilisateur.

$$\begin{cases} A_x - (10m \times 2,35 / 2 m) \times 1kN / m^2 = 0 \\ A_y \times 1,60 + (10m \times 2,35 / 2 m) \times 1kN / m^2 \times 5m = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x = 11,75kN \\ A_y = -\frac{11,75kN \times 5m}{1,6m} = -36,72kN \end{cases}$$

**Question 1.10 : A partir de la documentation présente sur le document technique DT3, déterminer une cheville mécanique permettant d'assurer l'ancrage des étais stabilisateurs dans une dalle en béton C20/25 non ferrillée, non fissurée et d'épaisseur 0,30 m.**

$$\begin{cases} A_x = 11,75 \text{ kN} = \text{Cisaillement} \\ A_y = -36,72 \text{ kN} = \text{Traction} \end{cases}$$

On peut choisir une cheville en version zinguée (HSL-3-G) de dimension M12 de longueur  $h_{ef}$  130 mm qui résiste à un effort de traction de 44,93 kN et à un effort de cisaillement de 47,44 kN. L'épaisseur minimale du béton doit être de  $h_{min}=250$  mm

## **1.2 Construction de la dalle de la mezzanine**

### **1.2.1 Résistance des poutres préfabriquées lors du bétonnage du hourdis**

**Question 1.11 : Déterminer les intensités des différentes actions mécaniques à prendre en compte pour la vérification de la résistance des poutres préfabriquées en phase provisoire. Indiquer les pondérations à appliquer aux différentes actions mécaniques pour un calcul à l'ELU. Déterminer l'intensité de l'action mécanique linéique pour un calcul à l'ELU.**

Section de la poutre

$$+ 1,21 \text{ m} \times 0,19 \text{ m} - 0,02 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} = 0,2295 \text{ m}^2$$

$$+ 0,25 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} = 0,0125 \text{ m}^2$$

$$+ 0,20 \text{ m} \times 0,41 \text{ m} = 0,082 \text{ m}^2$$

$$+ 0,375 \text{ m} \times 0,13 \text{ m} = 0,04875 \text{ m}^2$$

$$+ 0,55 \text{ m} \times 0,095 \text{ m} = 0,05225 \text{ m}^2$$

$$+ 0,45 \text{ m} \times 0,025 \text{ m} = 0,01125 \text{ m}^2$$

Soit une section totale de  $0,43625 \text{ m}^2$

Poids propre de la poutre préfabriquée :  $0,437 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 10,93 \text{ kN/m}$  Pondération ELU 1,35

Coffrages perdu :  $0,75 \text{ m} \times 0,025 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 = 0,42 \text{ kN/m}$  Pondération ELU 1,35

Béton frais hourdis :  $1,23 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 6,15 \text{ kN/m}$  Pondération ELU 1,5

Surcharges chantier :  $1,23 \text{ m} \times 1,5 \text{ kN/m} = 1,845 \text{ kN/m}$  Pondération ELU 1,5

$$p_{ELU} = 1,35 \times (10,93 + 0,42) + 1,5 \times (6,15 + 1,845) = 27,32 \text{ kN/m}$$

**Question 1.12 : A partir de la méthode de dimensionnement fournie sur le DT4 et en considérant à l'ELU un moment fléchissant maximum de 920 kN.m, vérifier si les armatures longitudinales projetées sont suffisantes pour la phase provisoire.**

On considère une poutre rectangulaire de hauteur  $h=0,9$  m et de largeur  $b=0,2$  m

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{45}{1,5} = 30 \text{ MPa}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,9 = 0,81 \text{ m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{920 \cdot 10^3}{0,20 \times 0,81^2 \times 30 \cdot 10^6} = 0,2337 \leq 0,3717$$

$$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,2337}) = 0,3378$$

$$z_u = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha_u) = 0,81 \cdot (1 - 0,4 \times 0,3378) = 0,701 \text{ m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u \cdot f_{yd}} = \frac{920 \cdot 10^3}{0,701 \times 435 \cdot 10^6} = 30,2 \text{ cm}^2$$

Sur la coupe des armatures projetées il est prévu 7 HA32 soit  $56,3 \text{ cm}^2$ , ainsi la poutre devrait résister à la phase provisoire.

### 1.2.2 Étude des cintres PRS 1300 de l'étalement provisoire

**Question 1.13 : Déterminer les intensités des différentes actions mécaniques à prendre en compte pour la vérification de la résistance des cintres PRS 1300. Indiquer les pondérations à appliquer aux différentes actions mécaniques pour un calcul à l'ELU. Déterminer l'intensité de l'action mécanique linéique pour un calcul à l'ELU.**

Action aux ELU d'une poutre préfabriquée sur les cintres  $27,32 \text{ kN/m} \times (16,37 / 2) = 223,6 \text{ kN}$   
Sur le cintre les poutres sont distantes de 1,23 m, donc l'action linéique uniforme peut être évalué à  $223,6 \text{ kN} / 1,23 \text{ m} = 181,80 \text{ kN/m}$   
Poids des cintres  $968 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \times 78,5 \text{ kN/m}^3 = 7,6 \text{ kN/m}$  pondération 1,35  
Bétonnage des chevêtres  $2 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 55 \text{ kN/m}$  pondération 1,5  
Surcharge de chantier  $2 \text{ m} \times 1,5 \text{ kN/m} = 3 \text{ kN/m}$  pondération ELU 1,5  
 $p_{\text{ELU}} = 181,8 \text{ kN/m} + 1,35 \times (7,6) + 1,5 \times (55 + 3) = 278,9 \text{ kN/m}$

**Question 1.14 : A partir de la méthode de dimensionnement fournie sur le DT2 et en considérant à l'ELU un moment fléchissant maximum de 7985 kN.m et un effort tranchant de maximum de 2380 kN vérifier la résistance des cintres PRS 1300. Préciser l'autre vérification qui doit être réalisée.**

Pour le moment fléchissant, on doit vérifier :  $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$

Pour un ouvrage provisoire on doit vérifier  $M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el,\min} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

$$W_{el,z,\min} = \frac{I_{Gz}}{v_{\max}} = \frac{2511042}{65} = 38631 \text{ cm}^3$$

$$M_{Ed} = 7985000 \text{ N.m} \leq W_{el,\min} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 38631 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{225 \cdot 10^6}{1} = 8691975 \text{ N.m}$$

Pour l'effort tranchant, on doit vérifier :  $V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$

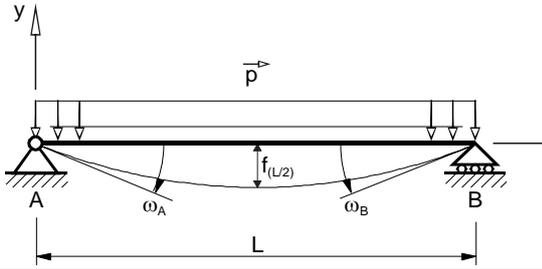
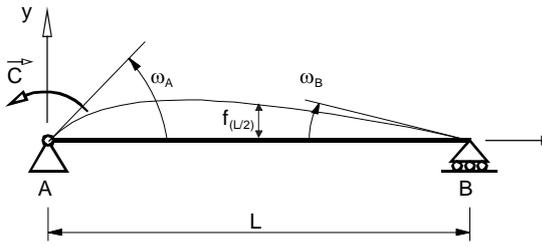
$$V_{Ed} = 2380000 \text{ N} \leq V_{c,Rd} = 0,58 \cdot A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,58 \times (2 \times 122 \times 2) \cdot 10^{-4} \cdot \frac{225 \cdot 10^6}{1} = 6368400 \text{ N}$$

Il faudrait mener une vérification de la poutre au déversement.

**Question 1.15 : A l'aide du DT2, calculer l'épaisseur de la cale de compensation à mettre en place au milieu de la travée de 17 m.**

Le calcul de la déformation est faite à l'ELS en reprenant les actions précédentes mais sans pondérations.

Cela donne une action linéique uniforme  $p_{ELS} = 195 \text{ kN/m}$

	<p>Pour une longueur <math>L = 17 \text{ m}</math></p> $f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$ $f_{(L/2)} = \frac{5 \times 195 \cdot 10^3 \times 17^4}{384 \times 210000 \cdot 10^6 \times 2511042 \cdot 10^{-8}} = 0,04 \text{ m}$
	<p>En tenant compte des moments sur appuis engendrés par les 2 consoles qui créent un moment</p> $C = 195 \text{ kN/m} \times 3,90 \text{ m} \times \frac{3,9 \text{ m}}{2} = 1482,9 \text{ kN.m}$ $f_{(L/2)} = \frac{CL^2}{16EI}$ $f_{(L/2)} = \frac{1482,9 \cdot 10^3 \times 17^2}{16 \times 210000 \cdot 10^6 \times 2511042 \cdot 10^{-8}} = 0,005 \text{ m}$

Ainsi la flèche au milieu du cintre vaudra  $40 \text{ mm} - 2 \times 5 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$ .

## ETUDE 2 : CONFORTS ET EQUIPEMENTS TECHNIQUE

### 2.1 Réglementation et déperditions

#### 2.1.1 Réglementation

**Question 2.1 Préciser la réglementation applicable pour les trois types de locaux présents dans le projet. Indiquer le nom de la nouvelle réglementation qui se met en place actuellement. Préciser les dates à partir desquelles cette nouvelle réglementation s'applique.**

RT existant (éléments par éléments car le montant global des travaux concernant l'aspect thermique de chacun des BV existants, représentait moins de 25% de la « valeur » de ces bâtiments) pour la rénovation.

RT 2012 pour les locaux neufs chauffés (restaurants par ex)

Pas de RT pour les locaux non chauffés (halls, attentes)

RE 2020 : à partir de 2023 (locaux hors résidentiel et tertiaires les + courants).

**Question 2.2 : Indiquer la signification des différents coefficients cités et les paramètres qui interviennent dans leur calcul. Le besoin bioclimatique (Bbio).**

Le Bbio est un coefficient qui permet de mesurer les besoins liés au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage d'un bâtiment. La validation du permis de construire dépend du Bbio du projet.

Un Bbio performant s'obtient en prenant en compte différents éléments inhérents à la conception de votre habitation :

- L'**orientation** et la **disposition** doivent favoriser les apports solaires aussi bien pour le chauffage passif que pour l'éclairage naturel.
- L'**isolation** et la **compacité** des murs, des dalles, de la toiture et des ouvertures doivent être pensées de manière à limiter les déperditions thermiques.
- Les **protections solaires**, comme les volets ou les stores extérieurs, permettent d'éviter l'utilisation de climatisation en été.

Le Besoin Bioclimatique permet ainsi de renforcer l'**efficacité énergétique** de votre habitation. À la clé, plus de confort, mais aussi une facture de gaz naturel réduite.

Le CEP (**coefficient de consommation conventionnelle d'énergie primaire**) est une autre exigence de la réglementation thermique 2012 (RT 2012). Ce coefficient évalue votre consommation d'énergie primaire sur cinq types d'usages :

- le chauffage ;
- l'eau chaude sanitaire ;
- la climatisation ;
- l'éclairage ;
- l'utilisation éventuelle d'une pompe à chaleur ou de ventilateurs.

Pour répondre à la réglementation, le logement doit ainsi consommer moins d'énergie primaire que le maximum autorisé (en moyenne, 50 kWh par mètre carré et par an).

Ce coefficient Cep est calculé, sur une année, en utilisant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone climatique, selon les modalités définies par la méthode de calcul Th-BCE 2012.

### 2.1.2 Déperditions par les parois du restaurant

**Question 2.3 : Réaliser le calcul du coefficient U de la paroi. Préciser à quoi correspond le coefficient b de 0,80 indiqué dans le descriptif de la paroi. Préciser comment ce coefficient est calculé.**

Calcul du U

#### 8. Paroi PlanLNC / plancher sur LNC Lot 7 étanche

Code : PlanLNC  
 Désignation : plancher sur LNC Lot 7 étanche  
 Descriptif : Dito|PL04 Isolant en sous face de 200 mm de LdR Lambda 0.04  
 Type : Plancher intérieur (A4) Rsi+Rse : 0,34 m².°C/W  
 Type de Plancher : Local non chauffé

Détail du calcul du U : U calculé : 0,177 W/m².°C

Désignation	Epaisseur cm	Lambda W/m.°C	Résistance m².°C/W	Proportion %	Type
Béton 20	20,0	2,300	0,087	100	ThU
Lame d'air faiblement ventilée	80,0		0,080	100	ThU
Béton 20	20,0	2,300	0,087	100	ThU
Isolant 200 mm	20,0	0,040	5,000	100	ThU
BA 13	1,3	0,250	0,052	100	ThU

U retenu: 0,177 W/m².°C

b : 0,800

Coefficient b : un coefficient d'atténuation des déperditions "b" suivant les règles Th – U lié aux locaux non chauffés.

Le coefficient b est le rapport entre les déperditions de l'espace tampon (local non chauffé) vers l'extérieur et les déperditions de l'intérieur vers l'espace tampon par la formule suivante:

$$b = \frac{D_{ue}}{D_{ue} + D_{iu}}$$

Les valeurs intermédiaires prises en compte dans le calcul de b sont détaillées:

- Due est le coefficient de déperdition du local non chauffé vers l'extérieur, en W/K.
- Diu est le coefficient de déperdition du volume chauffé vers le local non chauffé, en W/K.
- Hue est le coefficient de déperdition par transmission (surfaccique + linéique) du local non chauffé vers l'extérieur, en W/K.
- Hiu est le coefficient de déperdition par transmission (surfaccique + linéique) du volume chauffé vers le local non chauffé, en W/K.
- Dv,ue est le coefficient de déperdition par renouvellement d'air du local non chauffé vers l'extérieur, en W/K.
- Dv,iu est le coefficient de déperdition par renouvellement d'air du volume chauffé vers le local non chauffé, en W/K.

**Question 2.4 : Afin d'établir le bilan des déperditions par les parois, compléter le tableau du document réponse DR1 et calculer les déperditions par m<sup>2</sup> de surface déperditive et par °C. Conclure sur les points sur lesquels il est intéressant d'agir pour réduire ces déperditions.**

Sur quel point pourrait-on travailler pour réduire les DP ?

Désignation	Code	Nb	U (W/m <sup>2</sup> .°C) ou Ψ (W/m.°C)	b	Surf.en m <sup>2</sup> ou Long.en m	Or.	Déper d. W/° C
Mur extérieur	MR13ext		1,196	1	8,46	Ext.	10,12
Mur extérieur	MR13imp+		0,152	1	45,82	Ext.	6,96
Mur intérieur	MRint		0,211	0,8	18,68	Int.	3,15
Mur intérieur	MRsas		0,243	0,6		Int.	0,00
Plafond	ToBacier		0,097	1	498,00	Hori.	48,31
Plancher	PlanLNC		0,177	0,8	162,00		22,94
Plancher	PlanLC		0,177	0,0 5	338,00		3.0
Vitrage 1	MR13bis	17	1,400	1	169,58	Ext.	229,03
Vitrage 1	MR13Ter	3	1,400	1	29,93	Ext.	41,90
Vitrage 1	MR13	12	1,400	0,8	120,45		134,90
Vitrage 2	MR13PFi n	2	2,000	0,8	16,50		27,17
Vitrage 1	CPTViCu i	1	1,400	0,8	14,38		17,53
Vitrage 1	CPTMRe nt	1	1,400	0,6	15,35		13,41
Porte 2	CPTEntre	1	4,800	0,6	22,00		63,79
Vitrage 2	Lant	2	2,000	1	2,00	Hori.	4,36
<b>Ponts thermiques</b>							
Mur ext./Plancher	02		0,700	1	44,80		31,36
Mur ext./Plancher	07		1,400	0,7 7	64,20		69,21
Mur ext. /Terrasse	03		0,050	1	109,00		5,45
Angle de 2 murs	011		0,140	0,7 7	16,50		1,78
Angle de 2 murs	041		0,020	0,7 7	16,50		0,25
Angle de 2 murs	04		0,020	1	16,50		0,33
						<b>HT =</b>	<b>734,9 3</b>

Déperditions Parois Extérieures	412,51 W/°C
Déperditions Parois Intérieures	296,49 W/°C
Déperditions par les planchers	25,93 W/°C
Surface Totale des parois déperditives	1 461,12 m <sup>2</sup>
Surface des parois ext. hors plancher	: 961,12 m <sup>2</sup>
Surface du bâtiment	: 600,0 m <sup>2</sup>

**DEPERDITIONS MOYENNES par m<sup>2</sup> de surfaces déperditives et par °C = 0,503 W/m<sup>2</sup>.°C**  
Valeur très satisfaisante (ancien Ubat)

Valeurs empiriques :

- 0,3 : Isolation extrêmement performante.
  - 0,4 : très bonne isolation.
  - 0.75 : isolation conventionnelle "RT2005" et réalisées entre 2007 et 2012
  - 0.8 : pour les bâtiments à isolation conventionnelle "RT2000" et réalisés entre 2001 et 2006
  - 0.95 : pour les bâtiments construits entre 1990 et 2000
  - 1.15 : pour les bâtiments construits entre 1983 et 1989
  - 1.4 : pour les bâtiments construits entre 1974 et 1982
  - 1.8 : bâtiment non isolé (murs, combles) et à menuiseries simples vitrage
- On peut travailler sur les vitrages et le plafond pour réduire encore la valeur...

## **2.2 Etude du confort thermique dans les locaux de la mezzanine non chauffés ni refroidis.**

**Question 2.5 : Préciser la signification du sigle APD. Indiquer à quoi correspond cette phase du projet.**

**APD : Avant-projet détaillé ou définitif**

La mission « **APD (avant-projet détaillé)** » à fournir par l'Ingénieur comporte généralement :

- la rédaction des dossiers d'investigations particulières nécessaires (études géotechniques, études d'investigation de maçonneries ou autres constructions existantes) ;
- le relevé d'ouvrages existants. Le levé topographique proprement dit des ouvrages est rémunéré séparément par une prestation particulière ;
- les études et analyses plus complètes se rapportant à l'ensemble de la variante retenue par le maître d'ouvrage au terme des études d'APS, comprenant notamment les notes de calcul relatives à la stabilité des différentes parties d'ouvrages, les études hydrauliques, acoustiques et autres ;
- le levé topographique nécessaire à l'élaboration de la mission d'APD ;
- l'élaboration des divers concepts inhérents au projet (concept d'évacuation d'eau, de gestion des déchets, de plantation, de protection acoustique, etc.) ;
- la rédaction d'une note justificative reprenant les propositions définitives des types de matériaux, méthodes de construction, modalités de réalisation, plannings, etc. retenus pour l'exécution du projet ;
- l'établissement des plans et tableaux d'emprises, respectivement le complément et la mise à jour des plans et tableaux d'emprises établis en phase d'APS ;
- l'assistance technique au maître de l'ouvrage pour l'obtention d'autorisations diverses ;
- l'élaboration à des échelles appropriées des dessins nécessaires (vues en plan, élévations, coupes en travers, coupes longitudinales, coupes-types, détails, etc.) pour les divers dossiers d'autorisations et pour la mise en soumission des travaux ;
- l'élaboration du dossier de soumission comportant la série des prix expliquant les divers travaux élémentaires, les clauses techniques des travaux particuliers ainsi que les plans de soumission.
- l'établissement d'un devis estimatif détaillé.

**Question 2.6 : Préciser l'intérêt d'une STD par rapport aux calculs réglementaires. Expliquer les différences entre une STD et les calculs réglementaires. Indiquer si les modifications proposées**

**La STD c'est quoi ?**

Il s'agit de la Simulation Thermique Dynamique. Autrement-dit, il s'agit d'un moteur de calcul qui permet de modéliser le comportement thermique du bâtiment dans le temps.

## La STD, à quoi ça sert ?

Un logiciel de STD renferme les équations fondamentales de la thermique (tout comme les moteurs de calculs réglementaires). A ceci près que l'utilisateur a libre accès à toutes les données d'entrées du problème. On peut donc modéliser fidèlement le comportement d'un bâtiment soumis à un fonctionnement et un climat extérieur précis.

## Quel est l'intérêt d'effectuer une étude thermique dynamique en plus du calcul réglementaire ?

Ces études permettent de modéliser la réalité. Le concepteur peut donc choisir l'ensemble des paramètres du projet :

- L'occupation

Vous pouvez renseigner précisément (heure par heure) combien de personnes seront présentes chaque jour de l'année.

- Les systèmes réellement installés

Et on peut même faire encore mieux :

Vous pouvez modéliser plusieurs solutions techniques différentes pour analyser quelle sera la meilleure :

- diminuer les besoins en chauffage du bâtiment
- optimiser l'épaisseur d'isolant
- repérer les points faibles de l'enveloppe
- diminuer la puissance de chauffage à installer
- améliorer le confort d'été
- trouver des solutions moins onéreuses à mettre en œuvre dans le projet, tout en obtenant des résultats satisfaisants

### 2.2.1 Confort d'hiver

**Question 2.7 : Indiquer le nom de la(des) paroi(s) sur laquelle(lesquelles) la condensation peut se produire. Préciser la condition présentant un risque de condensation sur cette(ces) paroi(s).**

- Sur les parois les plus froides, ici vus les coefficients U c'est pour les murs rideaux hall et porte d'accès aux quais (Uw le plus bas)
- On a condensation si la température de surface intérieure de la paroi est inférieure à la température de rosée de l'air intérieur.

**Question 2.8 : À l'aide du diagramme de l'air humide fourni sur le document réponse DR2, déterminer s'il y a un risque de condensation dans ces conditions. Si oui, préciser l'importance de la condensation. Conclure sur le problème de condensation sur l'ensemble de la saison hivernale. Proposer une(des) solution(s) permettant de supprimer ce phénomène.**

Pour les conditions intérieures de  $-0.7^{\circ}\text{C}$  et 90 % on a une température de rosée de  $-2.1^{\circ}\text{C}$  (lue sur le diagramme de l'air humide)

- Calcul de la densité de flux entre l'intérieur et l'extérieur :

$$\varphi = U * \Delta T = 5 * (-0.7 - (-5.7)) = 25 \frac{W}{m^2}$$

- Calcul de la température de surface :

$$T_{si} = T_{int} - \varphi * R_{si} = -0.7 - 25 * 0.13 = -3.95^{\circ}\text{C}$$

- On a bien condensation sur les parois les plus froides. Mais les écarts restent très faibles, du fait des températures relativement proches entre températures extérieures et intérieures et de la ventilation naturelle qui se produit dans la mezzanine. L'ordre de grandeur de ces écarts permet de s'assurer que la condensation restera minime également.

L'ajout de ventelles ouvertes en tympan de la mezzanine permet d'assurer un renouvellement d'air permanent plus important et ainsi de limiter l'élévation du taux d'humidité de la mezzanine. Cela contribue à limiter l'occurrence de la condensation.

### **2.2.2 Confort d'été**

**Question 2.9 : À partir du tableau des parois vitrées donné dans la STD (voir document technique DT5) indiquer la signification des différents coefficients indiqués. Préciser sur quelles valeurs on peut agir pour améliorer le confort d'été.**

Modification vitrage :

Coefficient  $U_w$

Le coefficient  $U_w$ , en  $W/(m^2.K)$ , définit la performance de l'isolation thermique de votre fenêtre. Ce coefficient varie en fonction :

- De la performance thermique du cadre, caractérisée par le coefficient  $U_f$ . D'une manière générale, ce sont les cadres en PVC qui sont les plus performants, suivi de près par le bois. Les fenêtres en métal, comme l'aluminium, sont généralement moins performantes
- De la performance thermique du vitrage, caractérisée par le coefficient  $U_g$  (simple vitrage, double vitrage, etc.).

Le coefficient  $U_w$  est l'inverse de la résistance thermique. Ainsi, plus le coefficient  $U_w$  est faible, meilleure sera l'isolation et donc meilleure sera la performance de votre paroi vitrée.

Coefficient  $U_g$

Le coefficient  $U_g$  qualifie quant à lui la performance thermique du vitrage. Là aussi, la valeur la plus basse qualifie le vitrage le plus isolant. Un bon double vitrage, avec un coefficient  $U_g$  de  $1,1 W/m^2K$  est en général suffisant dans la plupart des cas. Pour une performance maximale, le triple vitrage peut atteindre un coefficient de  $0,5 W/m^2K$ .

Facteur  $S_w$

Le facteur solaire, défini par les coefficients  $S_w$  ou  $FS$ , est un nombre sans unité qui définit la capacité de votre fenêtre à transmettre la chaleur d'origine solaire à l'intérieur de votre local. Ainsi, plus le coefficient  $S_w$  est élevé, plus votre fenêtre laissera passer l'énergie solaire.

Généralement les vitrages bien isolés ( $U_w$  faible) sont opaques et ont des coefficients  $S_w$  plutôt faibles, ce qui limite les apports solaires.

**Question 2.10 : Justifier le choix de ne modifier que cette paroi vitrée. Indiquer les conséquences à prévoir suite à ces modifications.**

On peut jouer sur le  $U_w$  ou le  $S_w$  pour réduire les apports (par transmission pour le  $U_w$  et solaires pour le  $S_w$ ). On pourrait mettre du double vitrage mais augmentation du poids !

- On modifie uniquement le  $S_w$  de la paroi orientée au Sud car c'est pour ce vitrage que les apports solaires seront les plus élevés. On va réduire les apports sur cette paroi de plus de 40 % (les apports solaires d'un vitrage sont directement proportionnels à la valeur du  $S_w$ ).

**Question 2.11 : Expliquer comment, physiologiquement, les brasseurs vont améliorer le confort des occupants dans les zones dans lesquelles ils seront installés. Indiquer si cette modification peut être directement intégrée à la STD. Justifier la réponse.**

En augmentant la vitesse de l'air à proximité des occupants, on augmente les transferts de chaleur entre le corps humain :

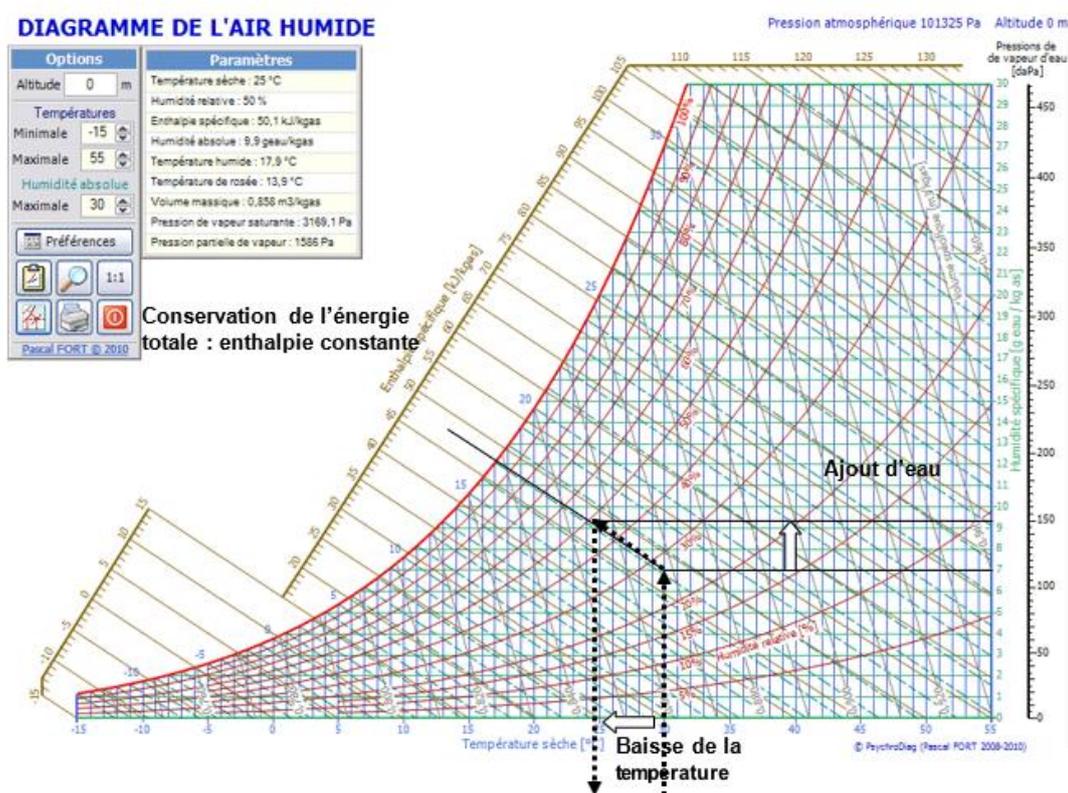
- Par convection (transfert peau/air)
- Par évaporation de l'eau liée à la transpiration.

Les brasseurs d'air n'ayant pas d'impact sur la température opérative mais uniquement sur la vitesse d'air, ils ne peuvent pas être simulés.

Ils peuvent par contre être pris en compte au niveau du calcul de l'indicateur PMV\*SET (Predicted Mean Vote) au niveau de l'indicateur de vitesse d'air et ils permettent de maintenir un PVM entre -1 et +1 pour les 3 jours les plus chaud.

**Question 2.12 : Expliquer comment fonctionne le rafraîchissement de l'air par brumisation (le fonctionnement pourra être illustré en traçant de façon schématique le diagramme approprié). Comparer la pertinence de ce système entre une utilisation à Nantes et son utilisation à Montpellier. Justifier la réponse.**

- La brumisation consiste à injecter de l'eau sous haute pression dans l'air dans le but d'obtenir un rafraîchissement de l'air par évaporation des microgouttelettes d'eau. L'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est extraite de l'air qui se refroidit en conséquence. On parle de rafraîchissement adiabatique car l'énergie totale du local brumisé ne varie pas : transfert entre chaleur sensible et chaleur latente.
- La chaleur latente correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour changer l'état d'un corps sans altérer sa température, soit dans le cas présent, vaporiser les gouttelettes d'eau.



Pour que ce système soit efficace, il faut que :

- l'ambiance soit suffisamment sèche : on rapporte de l'eau dans l'air, si l'air est trop humide, l'eau ne s'évaporera pas ;
- l'eau projetée soit exposée à un courant d'air : augmente l'effet d'évaporation.
- Comparaison Nantes / Montpellier

		Nb d'heures > 28°C	Nb d'heures > 30°C	Nb d'heures > 33°C	T°max
Mezzanine Nantes	Sans brumisation	222	92	15	36,2 °C
	Avec brumisation	185	35	4	34,09°C
	Pourcentage de réduction	- 17%	- 62%	- 73 %	
Gare Montpellier	Sans brumisation	654	363	95	38,5 °C
	Avec brumisation	191	36	3	34,1 °C
	Pourcentage de réduction	- 71%	- 90%	- 97%	-

On voit ainsi, pour les températures supérieures à 28°C, que la gare de Montpellier présentait 3 fois plus d'heures au-dessus de cette température que la gare de Nantes, mais que la brumisation permettait de ramener ce nombre d'heures à un nombre quasi équivalent à une mezzanine brumisée sur Nantes (malgré un nombre d'heures initiales au-dessus de 28°C plus favorable). Cela s'explique par l'absence de possibilité de brumiser sur certaines heures à cause d'une humidité trop importante à Nantes. Pour les heures au-dessus de 30 et 35°C, la brumisation reste plus efficace sur Montpellier, même si le nombre d'heures d'inconfort atteint avec la brumisation est très proche au final. Cela s'explique par la différence de climat entre les 2 villes notamment au niveau du degré hygrométrique : la ville de Nantes présente 7330 heures par an avec un taux d'hygrométrie supérieur à 70% contre 5276 pour la ville de Montpellier, soit près de 30% d'heures en mois sur l'année. Le système de brumisation est plus adapté à Montpellier qu'à Nantes. Cela est vérifié par les résultats du PMV-Set

**Question 2.13 : Conclure sur les modifications à réaliser pour améliorer le confort dans les locaux de la mezzanine non climatisés.**

Toutes les modifications sont à recommander à l'exception de la brumisation.

**2.3 Étude de la production d'eau glacée**

**Question 2.14 : Sur le document réponse DR3, compléter la nomenclature du schéma de principe de la production de froid (fourni sur le document technique DT7) en indiquant le nom et le rôle des différents appareils.**

Nomenclature : voir schéma complété

Donner la fonction du ballon tampon implanté sur le circuit d'eau glacée et expliciter la démarche de dimensionnement de celui-ci.

Ce ballon permet d'éviter les courts cycles du compresseur (et permet d'alimenter en eau les émetteurs lors des éventuels dégivrage).

Le dimensionnement d'un ballon tampon dépend de la puissance, de la contenance en eau de l'installation, du temps de fonctionnement des compresseurs et du différentiel de température admissible.

**Question 2.15 : Indiquer la nature de ces fluides. Préciser les problèmes posés par ce type de fluide. Justifier le choix du bureau d'études de choisir le R32.**

Les 2 fluides sont des HFC, ils ont tous les 2 un impact nul sur la couche d'ozone (ODP = 0).

Par contre le GWP du R32 est beaucoup plus petit (1kg de R32 = 675 kg de CO<sub>2</sub> en termes d'effet de serre, alors que 1 kgde R410a = 2088kg)

5 à 10 % plus performant que le R410A

Moins de fluide nécessaire pour une puissance restituée identique

Un fluide totalement pur donc plus facilement recyclable que le R410a qui est un mélange.

Moins cher que le 410a

Seul bémol : le R32 est classé A2L (faiblement inflammable) donc il faut prendre encore plus de précautions.

**Question 2.16 : À l'aide des caractéristiques de l'eau glycolée fournies dans le document technique DT10, déterminer la puissance frigorifique du groupe d'eau glacée nécessaire. Sélectionner le modèle adapté dans l'extrait du catalogue Daikin fourni dans le document technique DT11. Préciser ce que représente le coefficient EER et indiquer sa valeur pour le modèle sélectionné.**

D'après l'extrait du CCTP, on a un régime d'eau 12/7°C avec un débit de **18 500 l.h<sup>-1</sup>**

On prendra les caractéristiques de l'eau glycolée à 30 % à une température de 10°C :  $\rho = 1050\text{kg.m}^{-3}$  et  $c = 3650\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Donc  $P = q_m \cdot c \cdot \Delta\theta = 18000 / (1000 \cdot 3600) \cdot 1050 \cdot 3650 \cdot (12 - 7) = 98474 \text{ W}$  soit  $98.5 \text{ kW} + 10\% = 108.3 \text{ kW}$

D'après le document constructeur, nous sommes dans les conditions Eurovent donc on peut sélectionner directement notre modèle : On prendra un **EWAR 115B-XRA1 de puissance 108 kW**

Que signifie et que représente le coefficient EER dont la valeur est donnée dans l'extrait du catalogue ?

EER : Energy Efficiency Ratio : 2.78

C'est un coefficient de performance frigo

Calcul EER = énergie utile frigorifique ou chaleur absorbée à l'évaporateur divisée par énergie fournie au compresseur :  $108/39 = 2.78$

**Question 2.17 : À l'aide des données et hypothèses, déterminer les valeurs des températures d'évaporation et de condensation. Tracer le cycle frigorifique sur le diagramme enthalpique fourni sur le document réponse DR4 et compléter le tableau de valeur. Calculer la valeur de l'EER et conclure.**

Tracer le cycle frigorifique sur le diagramme enthalpique fourni (document réponse)

- On considérera un pincement à l'évaporateur de  $6^\circ\text{C}$  et de  $2^\circ\text{C}$  au condenseur.
- Le delta T sur l'air au condenseur sera égal à  $5^\circ\text{C}$ .
- Surchauffe interne de l'évaporateur :  $2\text{K}$ .
- Sous refroidissement du condenseur :  $7\text{K}$ .
- Surchauffe aspiration compresseur :  $3\text{K}$ .
- Compression quasi-isentropique.

D'après le CCTP, la température d'eau est  $12/7^\circ\text{C}$  et la température extérieure de  $35^\circ\text{C}$ .

D'après les données ci-dessus, on peut en déduire que on prend  $\theta_0 = 1^\circ\text{C}$  et  $\theta_k = 42^\circ\text{C}$

Température sortie condenseur =  $42 - 7 = 35^\circ\text{C}$

Température sortie évaporateur =  $1 + 2 = 3^\circ\text{C}$

Température aspiration compresseur =  $3 + 3 = 6^\circ\text{C}$ .

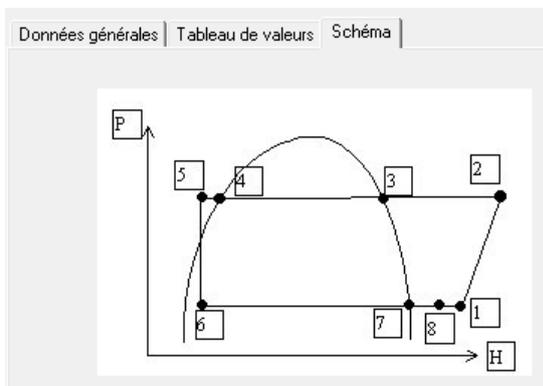
Données générales | Tableau de valeurs | Schéma

Fluide utilisé: R32 | Temp. évaporation: 1 | Temp. condensation: 42

S/C évap: 2 | S/C conduite: 3 | S/R Total: 7

Données générales | Tableau de valeurs | Schéma

	T °C	enthalpie kJ/kg	v' m <sup>3</sup> /kg	Pression bar
1	6	520	0,04511	8,40
2	76,24	567	0,02	26,00
3	42,00	509	0,01281	26,00
4	42,00	278	0,00113	26,00
5	35,00	264	0,00109	26,00
6	1,00	264		8,40
7	1,00	514	0,04357	8,40
8	3	516	0,04420	8,40



**En déduire le EER de l'installation. Conclure.**

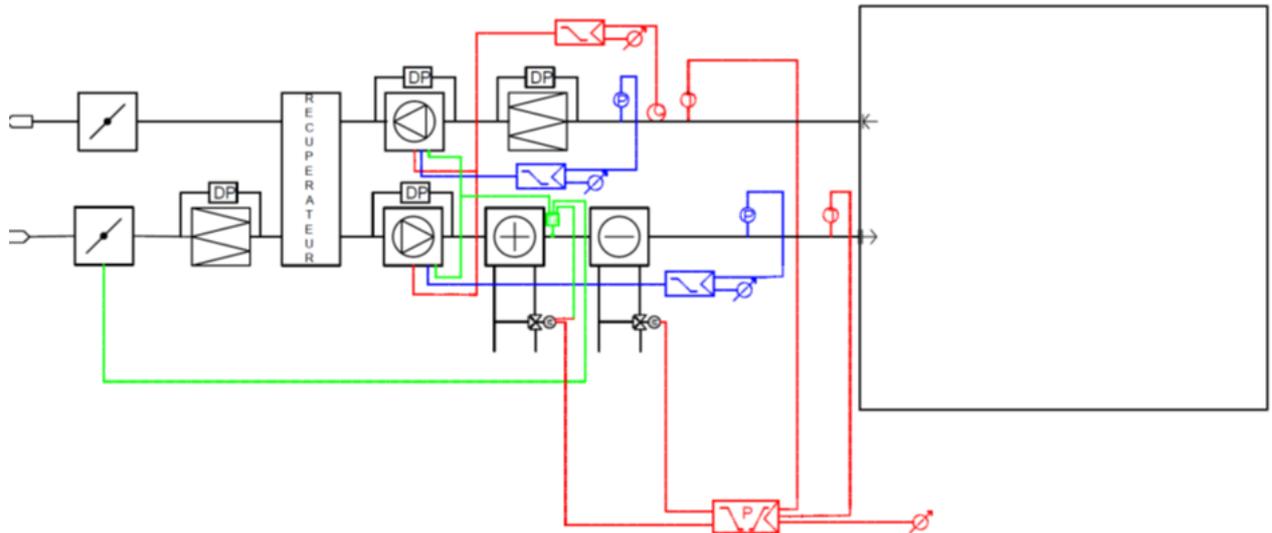
$EER = P_{\text{évap}} / P_{\text{compresseur}} = (h_8 - h_6) / (h_2 - h_1) = (516 - 264) / (567 - 520) = 5.4$  Valeur plus élevée que celle donnée par le constructeur. Différence : pertes de charge, consommation auxiliaires



## 2.4 Étude de la climatisation du restaurant

**Question 2.18 :** À l'aide du document technique DT12, réaliser le schéma de principe de la centrale de traitement d'air (CTA) et de sa régulation permettant le renouvellement d'air de la salle de restaurant. Préciser le rôle et l'intérêt d'une sonde de CO<sub>2</sub> placée sur la gaine de reprise de l'air.

Schéma de principe + régulation



Sonde CO<sub>2</sub>

La centrale sera munie d'un échangeur à roue à haut rendement de récupération (rendement d'échange thermique entre l'air neuf et l'air extrait d'environ 70%), ainsi que d'une sonde CO<sub>2</sub> sur la reprise d'air permettant d'adapter le débit de ventilation en fonction du nombre réel d'occupation dans le local et de limiter ainsi les consommations d'énergie.

**Question 2.19 :** Expliquer le principe de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur à roue. Sur le document réponse DR5, tracer sur le diagramme de l'air les évolutions des airs neuf et extrait dans le récupérateur de chaleur en été et en hiver dans les conditions nominales. Calculer les puissances échangées. Conclure.

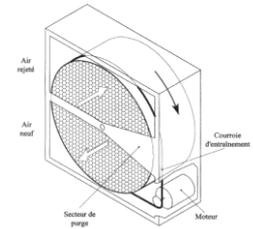
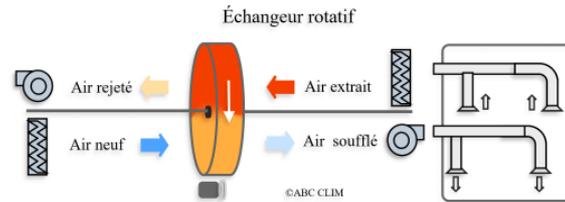
Récupérateur à roue

L'échangeur rotatif, à roue ou roue thermique, est un échangeur de type air/air, le principe de fonctionnement de base est de récupérer la chaleur contenue dans l'air évacué des bâtiments pour réchauffer l'air froid extérieur (hiver) introduit pour le renouvellement d'air.

Suivant sa conception, il récupère soit la chaleur sensible contenue dans l'air, soit il absorbe la chaleur latente et la chaleur sensible. La roue est constituée de couches superposées de feuille d'aluminium ou d'inox, une lisse l'autre ondulée constituant des canaux triangulaires où les flux d'air circulent à contre-courant permettant ainsi l'échange de chaleur.

Si cet échangeur (masse de stockage) est recouvert d'un produit régénérable comme le gel de silicate ou le chlorure de lithium, il lui sera possible d'absorber aussi l'humidité (transfert d'humidité par sorption).

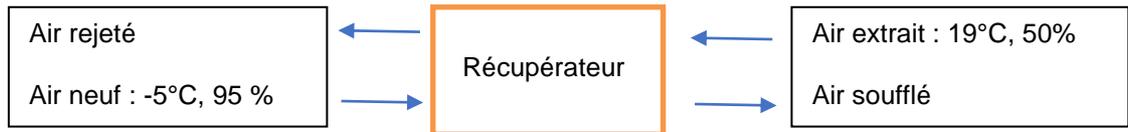
Cette roue de grand diamètre, tourne en permanence de façon très lente 20 t/mn. Tandis qu'une partie se charge en énergie l'autre cède l'énergie emmagasinée.



Evolutions

récupérateur de chaleur

- Hiver



On a une efficacité sensible :

$$Es = \frac{TAS - TAN}{TAE - TAN}$$

Donc  $TAS = TAN + Es * (TAE - TAN) = -5 + 0.7 * (19 - (-5)) = 11.8^{\circ}C$

On peut donc placer le point AS sur le DAH car il appartient à la droite AN-AE AS (11.8°C, 62%)

Puissance échangée dans le récupérateur :

$$P = q_{mas} * (h_{AS} - h_{AN})$$

Débit donné pour les caractéristiques de l'air neuf :

$$q_{mas} = \frac{qv}{v} = \frac{10000}{3600 * 0.762} = 2.12 \text{ kgas/s}$$

Donc

$$P = 2.12 * (28 - 1) = 57.2 \text{ kW}$$

En considérant qu'il n'y a pas de perte, on peut en déduire l'enthalpie du point air rejeté et le placer :

$$P = q_{mae} * (h_{AE} - h_{AR})$$

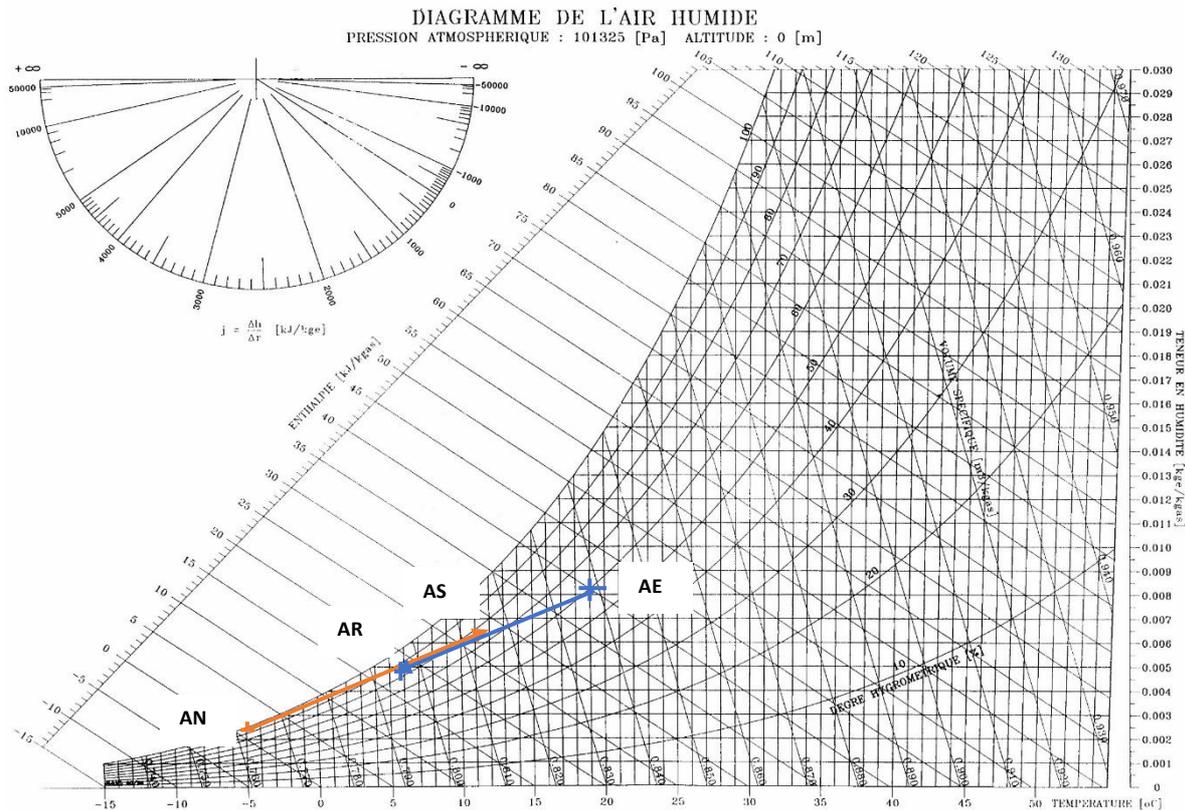
$$\text{Donc } h_{AR} = h_{AE} - P/q_{mae}$$

Débit d'air extrait donné pour les caractéristiques de l'air extrait :

$$q_{mae} = \frac{10000}{3600 * 0.835} = 3.32 \text{ kgas/s}$$

$$\text{Donc } h_{AR} = 37 - \frac{57.2}{3.32} = 19.8 \text{ kJ/kas}$$

AR (7°C, 80%)



- Été : même principe



On a une efficacité sensible :

$$Es = \frac{TAN - TAS}{TAN - TAE}$$

Donc  $TAS = TAN - Es * (TAN - TAE) = 30 - 0.7 * (30 - 26) = 27.2 \text{ } ^\circ\text{C}$

On peut donc placer le point AS sur le DAH car il appartient à la droite AN-AE AS (27.2°C, 39%)

Puissance échangée dans le récupérateur :

$$P = q_{mas} * (h_{AS} - h_{AN})$$

Débit donné pour les caractéristiques de l'air neuf :

$$q_{mas} = \frac{qv}{v} = \frac{10000}{3600 * 0.872} = 3.19 \text{ kgas/s}$$

Donc

$$P = 3.19 * (54.5 - 50) = 14.4 \text{ kW}$$

En considérant qu'il n'y a pas de perte, on peut en déduire l'enthalpie du point air rejeté et le placer :

$$P = q_{mae} * (h_{AR} - h_{AE})$$

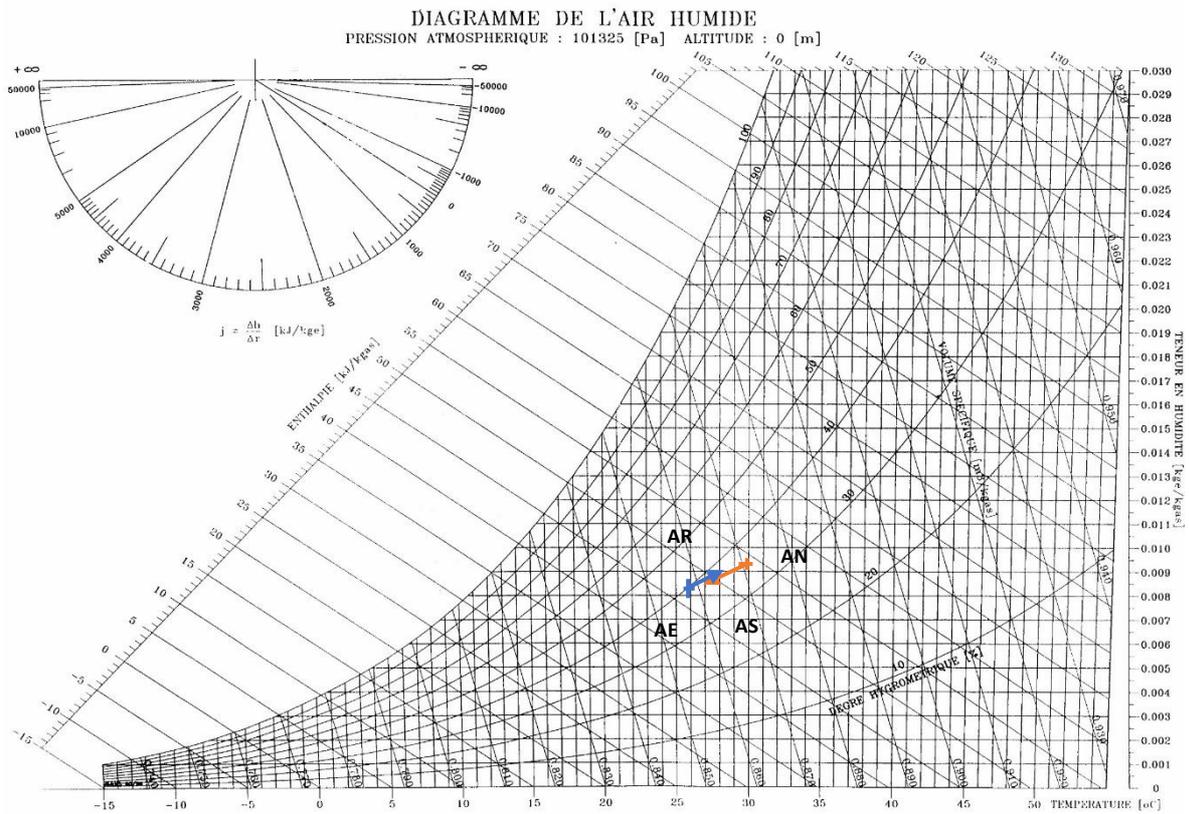
$$\text{Donc } h_{AR} = h_{AE} + P/q_{mae}$$

Débit d'air extrait donné pour les caractéristiques de l'air extrait :

$$q_{mae} = \frac{10000}{3600 * 0.858} = 3.35 \text{ kgas/s}$$

$$\text{Donc } h_{AR} = 47.5 + \frac{14.4}{3.35} = 51.8 \text{ kJ/kg}$$

AR (28°C, 38 %)



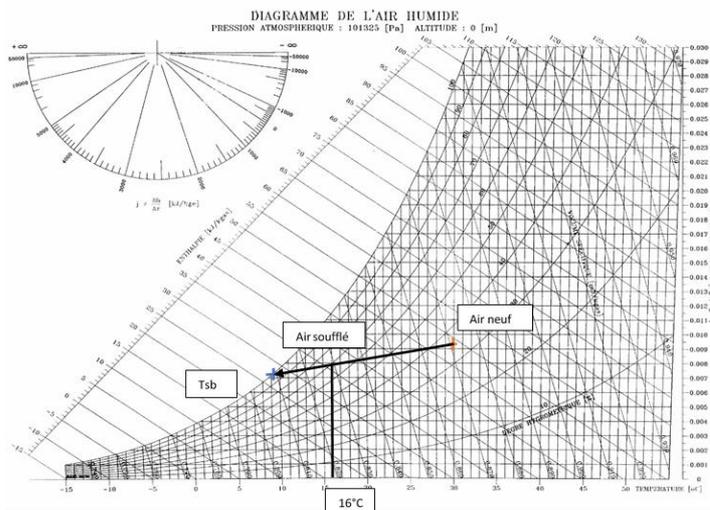
**Conclusion :** la récupération est bien plus intéressante en hiver qu'en été

**Question 2.20 :** Sur le document réponse DR6, tracer l'évolution de l'air humide dans la batterie froide. Déterminer la puissance de la batterie froide.

D'après l'extrait du CCTP, en entrée de batterie froide, on a un air à 30°C et 35%.

L'air en sortie est à 16°C. On dimensionne la BF comme si le récupérateur n'était pas là.

Le régime d'eau glacée est 7/12°C, ce qui nous donne une température de surface batterie de 9.5°C.



On peut donc placer le point d'air soufflé (sortie de BF)

$q_{V_{Air\ Neuf}} = 35\ 000\ m^3/h$  au ventilateur

Donc

$q_{m_{Air\ Neuf}} = q_{V_{Air\ Neuf}} / v_{au\ ventilateur} = 10\ 000 / (3600 \cdot 0.872) = 3.19\ kg_{as}/s$

La puissance de la batterie froide est alors égale à :

$P_{BF} = q_{m_{Air\ Neuf}} \cdot (h_{air\ neuf} - h_{air\ soufflé}) = 3.19 \cdot (54 - 37) = 54.2\ kW$

La batterie froide est dimensionnée comme si le récupérateur de chaleur n'était pas là.

Repère	Nom	Fonction
①	Vanne sectionnement de	Isoler une partie de l'installation pour maintenance (ici par exemple sur la bouteille)
②	Clapet anti retour	Interdire la circulation de fluide dans le sens de la fleche
③	Vase d'expansion	Amortir les variations de presion dues à la dilatation de l'eau lors des changements des température (mise en route/arrêt, changement de régime), le vase d'expansion peut aussi être dimensionné pour compenser également les microfuites
④	Compteur d'énergie	Il intègre l'énergie dissipée dans le circuit (deux capteurs de température et une mesure de débit)
⑤	disconnecteur	Il évite tout retour d'eau du circuit privé (potentiellement polluée) vers le réseau public, notamment en cas de forte baisse de pression dans celui-ci
⑥	circulateur	Assurer la circulation dans le réseau secondaire de l'installation (ici double pompe, vitesse variable)
⑦	Vanne d'équilibrage	Permet de régler le débit dans ce groupe froid (avoir une bonne répartition des débits dans les 2 groupes) . Elle comporte des points de mesure permettant de vérifier le débit
⑧	Manometre	Mesurer la pression
⑨	Vanne sectionnement de	Même fonction que 1
⑩	thermomètre	Mesurer la température de l'eau

De par son volume important ce ballon permet d'ajouter de l'inertie au réseau d'eau glacée et par conséquent d'éviter les courts cycles des groupes de froid

De par le positionnement des branchements ce ballon a aussi une fonction de découplage hydraulique entre la production (primaire) et la distribution (secondaire)

## ETUDE 3. ORGANISATION DE CHANTIER

### 3.1 Étude de Prix pour la réalisation des piles

Question 3.1 : Sur le document réponse DR7, rédiger le sous-détail de prix pour déterminer le prix de vente unitaire du coffrage d'une pile.

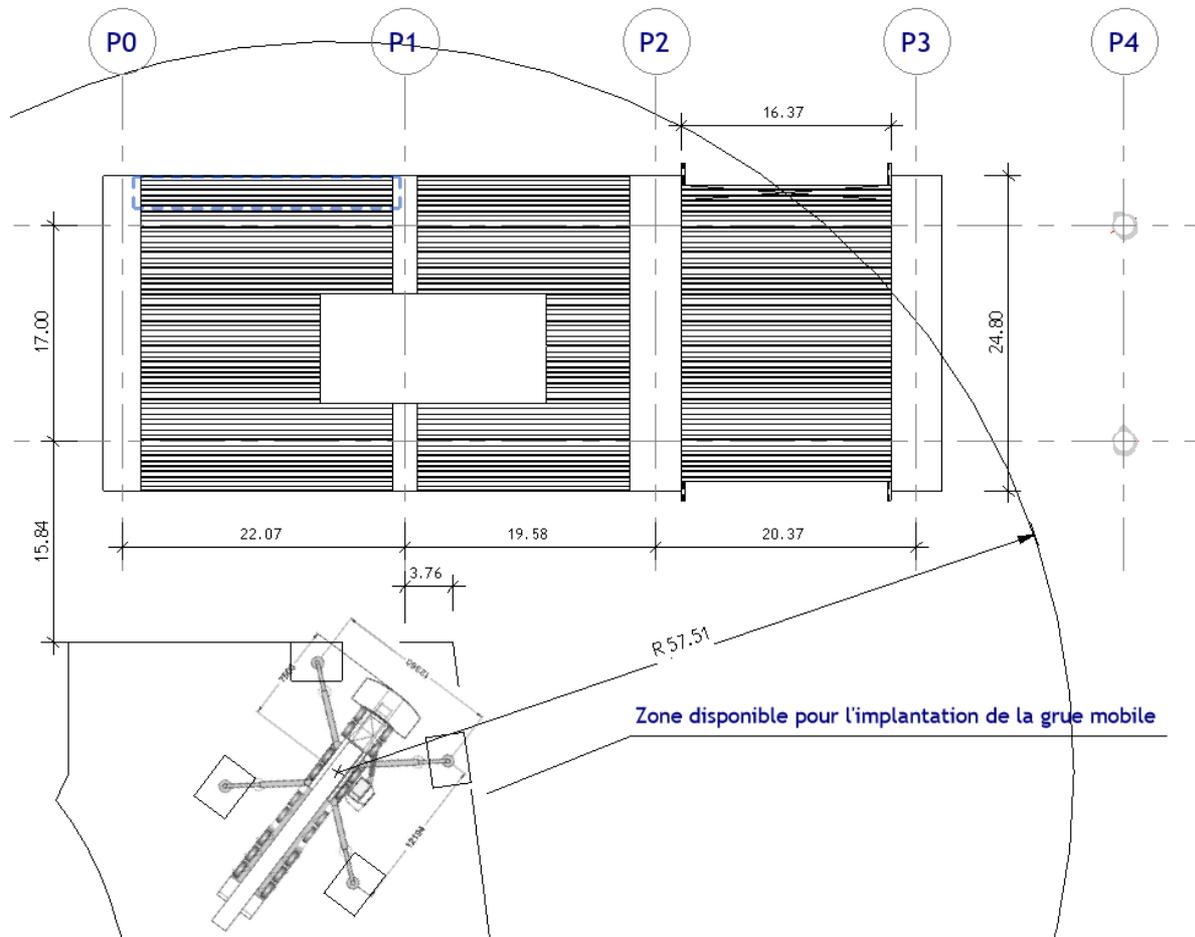
SOUS DETAIL DE PRIX UNITAIRE					
Chantier:	GARE SNCF				
Prix N°	1	Désignation		COFFRAGE PILE	
Quantité	56,55	m <sup>2</sup>			
Rendement	8	m <sup>2</sup> /h	Durée	7,07	h
<b>Déboursé sec Matériaux</b>					
Désignations	Quantité	Unité	Pertes	Prix Unitaire	TOTAL
Huile de décoffrage	5,655	litres	1,1	10,00 €	62,21 €
				<b>TOTAL</b>	<b>62,21 €</b>
<b>Déboursé sec Matériels</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Amortissement coffrage	0,0625	Achat	Unité	96 000,00 €	6 000,00 €
				<b>TOTAL</b>	<b>6 000,00 €</b>
<b>Déboursé Main d'œuvre</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Ouvriers	6	7,07	h	30,00 €	1 272,38 €
				<b>TOTAL</b>	<b>1 272,38 €</b>
<b>TOTAL Déboursés Secs</b>	<b>7 334,58 €</b>				
<b>Prix Unitaire en DS</b>	<b>129,70 €</b>	le m <sup>2</sup>			
<b>Coefficient de Vente K</b>	<b>1,3</b>				
<b>Prix de vente Unitaire H.T.</b>	<b>168,61 €</b>	le m <sup>2</sup>			

Question 3.2 : Dans le document réponse DR8, rédiger le sous-détail de prix pour déterminer le prix de vente unitaire du béton d'une pile.

SOUS DETAIL DE PRIX UNITAIRE					
Chantier:	GARE SNCF				
Prix N°	2	Désignation		BETONNAGE PILE	
Quantité	25,45	m <sup>3</sup>			
Rendement	10	m <sup>3</sup> /h	Durée	2,55	h
<b>Déboursé sec Matériaux</b>					
Désignations	Quantité	Unité	Pertes	Prix Unitaire	TOTAL
Béton Autoplaçant	25,45	m <sup>3</sup>	1,02	195,00 €	5 062,01 €
				<b>TOTAL</b>	<b>5 062,01 €</b>
<b>Déboursé sec Matériels</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Pompe à béton	1	1,00	Unité	400,00 €	400,00 €
				<b>TOTAL</b>	<b>400,00 €</b>
<b>Déboursé Main d'œuvre</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Ouvriers	6	2,55	h	30,00 €	458,10 €
				<b>TOTAL</b>	<b>458,10 €</b>
<b>TOTAL Déboursés Secs</b>	<b>5 920,11 €</b>				
<b>Prix Unitaire en DS</b>	<b>232,62 €</b>	le m <sup>3</sup>			
<b>Coefficient de Vente K</b>	<b>1,3</b>				
<b>Prix de vente Unitaire H.T.</b>	<b>302,40 €</b>	le m <sup>3</sup>			

### 3.2 Pose des poutres préfabriquées de la travée 4

**Question 3.3 :** Sur le document réponse DR9, dessiner le plan de grutage en représentant la grue mobile en position pour réaliser la pose de toutes les poutres de la travée 4 et les plaques de répartition des charges. Déterminer la portée de la poutre la plus éloignée.



En positionnant les plaques de répartition au bord de la zone disponible, le centre de gravité de la poutre la plus éloignée sera à une portée de 57,5 environ.

**Question 3.4 :** A partir de la documentation technique de la grue mobile fournie dans le DT13, choisir la configuration de la grue (masse du contrepoids, longueur de la rallonge) et justifier la capacité de cette grue à réaliser la pose des poutres de la travée 4.

La masse d'une poutre est de 18 tonnes. Avec la majoration de 10%, il faut pouvoir soulever une charge de 19,8 tonnes à 57,5 m. Avec un contrepoids de 160 tonnes, une rallonge de 12 m, la grue est capable de soulever 21,4 tonnes à 58 mètres.

160 t		360°		DIN/ISO	
60,0 m Main boom - Hauptausleger - Flèche principale Braccio base - Pluma principal + SSL 0°					
Radius - Ausladung	Extension - Verlängerung - Rallonge - Prolunga - Extensión				
Portée	Prolunga - Extensión				
Sbraccio	6 m		12 m		18 m
Radio	0°	0°	20°	0°	20°
m	t	t	t	t	t
10	53,5	-	-	-	-
12	53,0	43,1	-	35,0	-
14	51,2	41,6	-	33,9	-
16	49,6	40,1	38,5	32,7	-
18	48,0	38,6	37,2	31,6	-
20	46,4	37,2	36,0	30,5	26,7
22	45,0	35,8	34,8	29,4	25,7
24	43,6	34,5	33,6	28,3	24,7
26	42,2	33,2	32,5	27,2	23,9
28	40,9	32,0	31,5	26,2	23,1
30	39,6	30,9	30,5	25,2	22,5
32	38,3	29,9	29,5	24,4	21,9
34	37,0	28,9	28,6	23,5	21,3
36	35,8	28,0	27,7	22,8	20,9
38	34,6	27,1	26,9	22,0	20,4
40	33,5	26,4	26,2	21,4	20,0
42	32,4	25,6	25,4	20,8	19,6
44	31,3	25,0	24,8	20,3	19,2
46	30,3	24,3	24,1	19,8	18,8
48	29,3	23,8	23,5	19,4	18,5
50	28,4	23,2	23,0	19,0	18,2
54	26,7	22,3	22,0	18,3	17,5
58	-	21,4	21,1	17,7	17,0
62	-	20,3	20,3	17,1	16,4
66	-	-	-	16,5	15,9

100 t		360°		DIN/ISO	
60,0 m Main boom - Hauptausleger - Flèche principale Braccio base - Pluma principal + SSL 0°					
Radius - Ausladung	Extension - Verlängerung - Rallonge - Prolunga - Extensión				
Portée	Prolunga - Extensión				
Sbraccio	6 m		12 m		18 m
Radio	0°	0°	20°	40°	0°
m	t	t	t	t	t
10	53,5	-	-	-	-
12	53,0	43,1	-	-	35,0
14	51,2	41,6	-	-	33,9
16	49,6	40,1	38,5	-	32,7
18	48,0	38,6	37,2	-	31,6
20	46,4	37,2	36,0	30,8	30,5
22	45,0	35,8	34,8	30,4	29,4
24	43,6	34,5	33,6	30,0	28,3
26	42,2	33,2	32,5	29,5	27,2
28	40,9	32,0	31,5	29,0	26,2
30	39,6	30,9	30,5	28,5	25,2
32	38,3	29,9	29,5	27,9	24,4
34	37,0	28,9	28,6	27,4	23,5
36	35,8	28,0	27,7	26,8	22,8
38	34,6	27,1	26,9	26,2	22,0
40	33,5	26,4	26,2	25,6	21,4
42	32,4	25,6	25,2	25,0	20,8
44	31,3	25,0	24,8	24,4	20,3
46	30,3	24,3	24,1	23,7	19,8
48	29,3	23,8	23,5	23,1	19,3
50	28,4	23,2	23,0	22,5	18,8
54	26,7	22,3	22,0	21,9	18,2
58	-	21,4	21,1	21,3	17,5
62	-	20,3	20,3	20,6	16,8
66	-	-	-	20,0	16,1

### 3.3 Planification de réalisation du gros œuvre de la mezzanine Nord

Question 3.5 : Sur le document réponse DR10, réaliser la planification détaillée de la réalisation du gros-œuvre de la mezzanine nord, c'est à dire de la pile P0 à la pile P3. Expliquer et justifier le raisonnement sur la copie.

<b>PLANNING</b> <b>Mezzanine Nord</b> <b>P0 à P3</b>		Mois 1				Mois 2				Mois 3				Mois 4							
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
<b>APPUIS</b>																					
Piles P0	2 semaines	■	■																		
Piles P1	3 semaines			■	■	■															
Piles P2	2 semaines						■	■													
Piles P3	2 semaines								■	■											
<b>TABLIER</b>																					
Étaie et Pose poutres P0 à P1	2 semaines						■	■													
Étaie et Pose poutres P1 à P2	2 semaines							■	■												
Étaie et Pose poutres P2 à P3	1 semaine								■												
Chevêtre P0	2 semaines								■	■											
Chevêtre P1	2 semaines									■	■										
Chevêtre P2	2 semaines										■	■									
Hourdis P0 à P2	3 semaines												■	■	■						

## **5. Commentaires du jury**

### **ÉTUDE 1. CONSTRUCTION DE LA MEZZANINE**

Les différentes études proposées dans cette partie du sujet ont été menées de manière inégale. Le jury conseille aux futurs candidats de bien appréhender les connaissances et compétences de base sur la mécanique des structures et la résistance des matériaux. Un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions doit maîtriser les outils pour modéliser des structures, déterminer des sollicitations internes, calculer des contraintes et des déformations. La maîtrise du principe fondamental de la statique pour la détermination d'actions de liaison et du principe de superposition est attendue des candidats.

### **ÉTUDE 2. CONFORTS ET EQUIPEMENTS TECHNIQUES**

Les différentes études proposées dans cette partie du sujet ont été menées de manière inégale. Il est attendu des candidats une bonne maîtrise des différentes réglementations thermiques et de leurs conditions d'application. Le jury déplore que peu de candidats aillent jusqu'au bout des études proposées même lorsque celles-ci sont accessibles et peu calculatoires. Les compétences calculatoires restent toutefois attendues d'un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions. Le jury invite les futurs candidats à être vigilants à la lecture du sujet pour prendre en compte les hypothèses indiquées et identifier les bonnes valeurs numériques à utiliser. Les calculs s'inscrivent dans un contexte qu'il est nécessaire de bien appréhender pour répondre aux attentes du sujet.

### **ÉTUDE 3. ORGANISATION DE CHANTIER**

Les différentes études proposées dans cette partie du sujet ont été menées de manière inégale. Le jury conseille aux futurs candidats de bien connaître les techniques de calcul pour :

- déterminer un sous-détail de prix ;
- déterminer la durée d'une tâche en fonction d'un rendement,
- déterminer le sous-détail du prix en distinguant les matériaux,
- déterminer les quantités de matériaux et de main d'œuvre,
- appliquer d'un coefficient de vente pour calculer le prix de vente en fonction des déboursés secs.

Les connaissances de bases sur l'organisation d'un chantier sont également attendues d'un candidat à l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie des constructions (moyens à mettre en œuvre pour l'installation, choix d'un dispositif de levage en fonction de charges à lever, etc.). Le jury constate avec satisfaction qu'un grand nombre de candidats a traité de manière satisfaisante l'étude de planification de la réalisation des travaux.

# Épreuves d'admission

---

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

### **1. Présentation de l'épreuve**

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

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

L'épreuve fait appel à des connaissances technologiques et scientifiques communes à l'ensemble des options. Le support de l'activité pratique proposée est un système pluritechnologique et permet une analyse systémique globale. L'exploitation pédagogique proposée, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) » et/ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général et des classes préparatoires aux grandes écoles.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le candidat doit recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du programme du niveau imposé en lien avec le titre d'une des deux séquences proposées au choix. Puis il doit proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les 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 expérimentale incluse dans la séquence pédagogique exposée. Néanmoins les résultats expérimentaux ou de simulation numérique peuvent être utilisés afin d'illustrer la séquence ou la séance expérimentale.

L'exposé du candidat est suivi d'un entretien avec le jury d'une durée 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 2023 étaient les suivants :

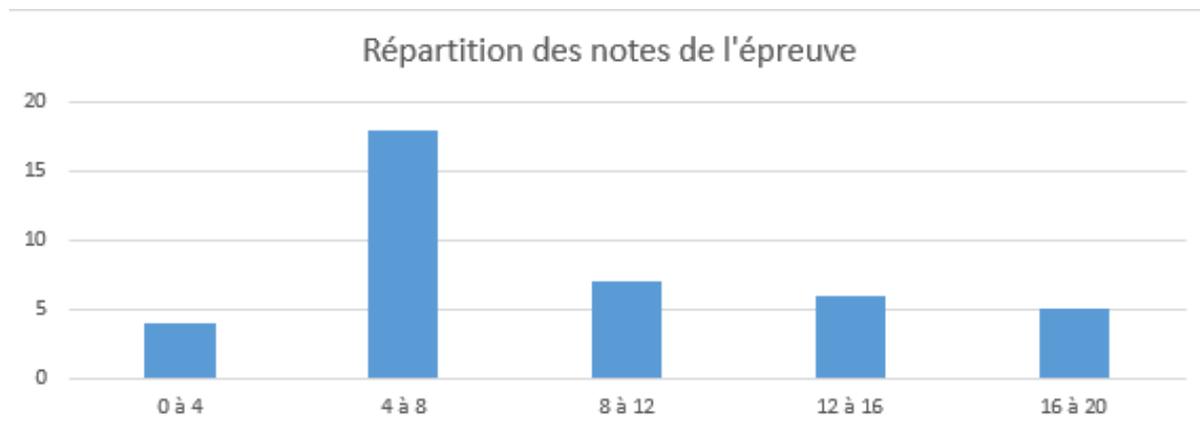
- volet roulant ;
- système de travelling ;
- imprimante 3D ;
- axe linéaire didactisé ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- système d'atelle

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.

## 2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 8,9/20. L'écart-type est de 4,8. La meilleure note est 18,28/20. La plus faible est 2,83/20.



## 3. Analyse des résultats

Les candidats préparés mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique pédagogique demandée. Le déroulement de la séquence pédagogique est structuré et cohérent. Ils positionnent convenablement la séance à caractère expérimental en présentant de nouvelles activités pratiques qu'ils ont réalisés 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 proposé 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.

#### **4. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats**

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

Le jury constate que :

- les déroulements des séquences sont souvent 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 en lien avec la thématique. 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. 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'approprier 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, modeleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

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

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

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- 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 ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique et scientifique posé ;
- réfléchir à de nouvelles activités pratiques pouvant nourrir la séance expérimentale qui sera présentée.

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

## **Phase 1 : quatrième partie - élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental**

Le jury constate que :

- cette partie est la plus délicate pour un grand nombre de candidats ;
- la séance à caractère expérimental n'intègre pas toujours des activités pratiques différentes de celles réalisées lors de la troisième partie de la première phase ;
- les activités proposées aux élèves sont peu détaillées ;
- les éventuelles évaluations associées à la séance ne sont jamais abordées ;
- les compétences cibles travaillées et acquises, partiellement ou en totalité, par la séance proposée ne sont jamais explicitées.

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

Les manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance doivent être adaptés au niveau requis 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 ;
- 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.

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'explicitier 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.

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.

## **5. Conclusion**

La session 2023 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.

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

### **1. Présentation de l'épreuve**

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

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

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

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation,
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système pluritechnologique,
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions,
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système pluritechnologique.
- Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa proposition pédagogique.

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

Cette épreuve comporte trois phases :

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

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

#### **Phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Phase 3 – présentation des travaux devant le jury**

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

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

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

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

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

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

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve		
<b>PHASE 1</b> <b>(4h)</b>	<b>Partie 1</b> <b>(1h)</b>	<b>I. CONTEXTE IMPOSE</b>	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury		
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles		
		<b>II. POTENTIELS PÉDAGOGIQUES</b>	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>	
	<b>Partie 2</b> <b>(1h min)</b>	<b>III. CONSTRUCTION PÉDAGOGIQUE</b>	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>	
	<b>Partie 3</b> <b>(2h max)</b>	<b>IV. EXPÉRIMENTATIONS</b>	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...)		
<b>V. CONCLUSION</b>		Analyser les résultats obtenus, les valider (échelle, fiabilité ...)			
		Valider les ressources fournies ainsi que l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses			
			<i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>		
<b>PHASE 2</b> <b>(1h)</b>	<b>Préparation de la présentation</b>	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)			
<b>PHASE 3</b> <b>(1h)</b>	<b>Exposé et entretien</b>	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 étaient imposées pour les formations suivantes :

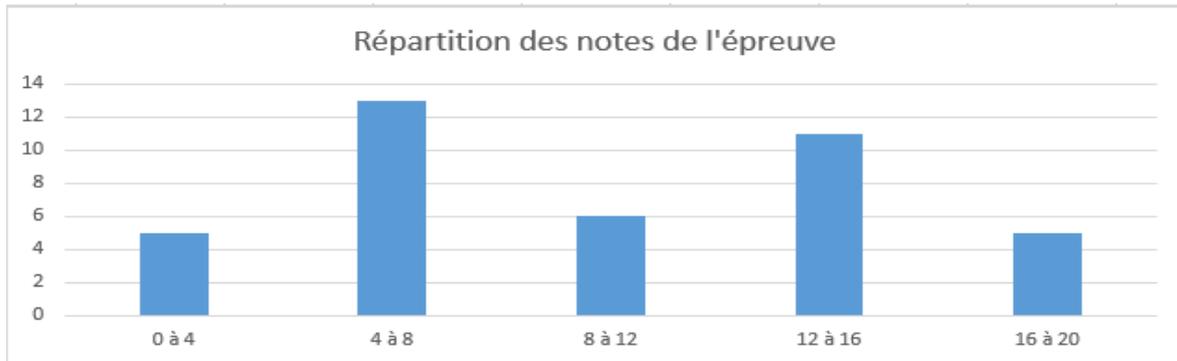
- Baccalauréats STI2D et spécialité SI du baccalauréat général
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- DUT :
  - o Génie Civil Construction Durable
  - o Génie Thermique et Énergie
- BTS :
  - o Architectures en Métal : conception et réalisation,
  - o Bâtiment,
  - o Enveloppes du Bâtiment : conception et réalisation
  - o Étude et Réalisation des Agencements
  - o Finition Aménagement des Bâtiments, Conception et Réalisation
  - o Fluides Énergies Domotique : options A, B et C
  - o Management Économique de la Construction
  - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
  - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat
  - o Travaux Publics

Pour la session 2023, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issus 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 ...)

## 2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9,7/20. L'écart-type est de 5,05. La meilleure note est 18/20. La plus faible est 1,15/20.



## 3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un simple compte-rendu de laboratoire. Il s'agit de réaliser une étude simplifiée d'une problématique posée à un(e) enseignant(e) chargé 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 réaliste 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.

TODO Le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés. Top 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 des 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...);
- 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 ou à l'évaluation sur table. La différenciation des apprentissages est également à prendre en compte dans l'élaboration de scénarios pédagogiques, s'adapter aux besoins des élèves pour leur permettre de réussir est un fondement de 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.

### III. Soutenance d'un dossier industriel

#### 1. Présentation de l'épreuve

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

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

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

Le dossier présenté par le candidat est relatif à un système pluritechnologique dont la dominante est choisie par le candidat. Son authenticité et son actualité sont des éléments décisifs. L'exposé et l'entretien permettent d'apprécier l'authenticité et l'actualité du problème choisi par le candidat, sa capacité à en faire une présentation construite et claire, à mettre en évidence les questionnements qu'il suscite et à en dégager les points remarquables et caractéristiques. Ils permettent également au candidat de mettre en valeur la qualité de son dossier et l'exploitation pédagogique qu'il peut en faire dans le cadre de son enseignement.

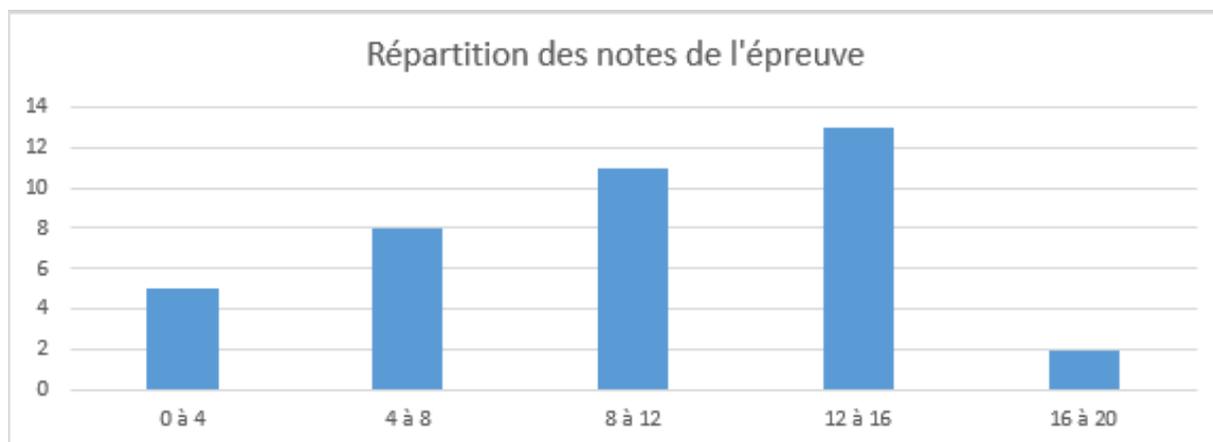
En utilisant les moyens courants de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée, en particulier), le candidat présente le support technique qu'il a choisi pour l'épreuve ainsi que les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement le fonctionnement et les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

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

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

#### 2. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 10,1/20. L'écart-type est de 4,31. La meilleure note est 18,3/20. La plus faible est 1,7/20.



### **3. Analyse des résultats**

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

- la pertinence du choix de l'ouvrage qui doit être d'actualité récente (en lien avec l'option Ingénierie des Constructions) et ne présentant pas une obsolescence technique et réglementaire,
- les relations établies avec les milieux socio-économiques,
- la qualité et la pertinence des documents techniques,
- la qualité des développements scientifiques choisis,
- le travail personnel réalisé,
- la maîtrise des principes scientifiques couvrant le référentiel,
- les analyses fonctionnelle, structurelle et comportementale menées,
- la précision du vocabulaire,
- la culture technologique du candidat,
- la pertinence de l'exploitation pédagogique,
- la connaissance des programmes et référentiels de formation et leurs évolutions,
- la qualité de l'expression orale et de la communication écrite,
- la qualité du support de présentation,
- l'analyse critique et la capacité de synthèse du candidat,
- les qualités d'écoute, de réactivité et d'argumentation,
- l'utilisation des médias pour la présentation.

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

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

### **4. Commentaires sur les réponses apportées 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 :
  - o la première partie contextualise et justifie l'intérêt du support choisi, tout en restant synthétique et succincte ;
  - o la seconde partie est basée sur une ou deux problématiques réelles en lien avec les caractéristiques du support et en lien avec les domaines de l'ingénierie des constructions. Ces problématiques doivent permettre de développer des études techniques et scientifiques du niveau de l'agrégation. Ces études doivent être justifiées et montrer des connaissances calculatoires, réglementaires, techniques, environnementales applicables au dossier. Les hypothèses posées doivent être claires et le candidat doit être en mesure de les justifier ;
  - o la troisième partie explique les potentialités pédagogiques du dossier au niveau lycée et au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, IUT). 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 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 constaté la présence de dossiers sans apport scientifique et technologique. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante, la présentation d'un support de cours ne correspond pas non plus aux attentes. Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser les cadres réglementaire et scientifique associés.

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

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

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

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

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

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

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

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

- la motivation des élèves
- l'usage du numérique
- l'évaluation des élèves par 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

### ***Remarques sur le numérique dans le secteur de la construction***

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

Les candidats 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, 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 aberrants, ou encore se contentent de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.