



**MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE,  
DE LA JEUNESSE  
ET DES SPORTS**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

## **Rapport du jury**

**Concours : Agrégation externe**

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

**Option : Ingénierie des constructions**

**Session 2022**

Rapport de jury présenté par : Myriam CARCASSES, PU Université Toulouse 3

# Sommaire

<b>RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2022.....</b>	<b>3</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>4</b>
<b>A. EPREUVES D'ADMISSIBILITE .....</b>	<b>7</b>
I. EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR.....	7
I.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur</i> .....	7
I.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur</i> .....	17
II. EPREUVE DE MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDURE OU D'UNE ORGANISATION.....	22
II.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i> .....	22
II.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i> .....	42
III. EPREUVE DE CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDURE OU D'UNE ORGANISATION .	45
III.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i> .....	45
III.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i> .....	45
<b>B. EPREUVES D'ADMISSION.....</b>	<b>68</b>
I. EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UNE ACTIVITE PRATIQUE RELATIVE A L'APPROCHE GLOBALE D'UN SYSTEME PLURITECHNOLOGIQUE .....	68
I.1 <i>Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique</i> .....	68
I.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique</i> .....	72
II. EPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE RELATIVES A L'APPROCHE SPECIALISEE D'UN SYSTEME PLURITECHNOLOGIQUE .....	81
III. EPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL.....	91
IV. RAPPORT SUR LA TRANSMISSION DES VALEURS ET PRINCIPES DE LA REPUBLIQUE.....	95

Ce rapport est rédigé sous la responsabilité de la présidente du jury.

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2022 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions malgré des conditions climatiques compliquées, du 13 juin inclus au 18 juin 2022 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 2022

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
192	25	81	47	19
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible				15,38
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible				6,84
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis				16,3
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis				8,33

## 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 appareil donné n'est pas demandée, mais il est **fortement recommandé** de s'entraîner à manipuler des outils variés du professionnel de l'Ingénierie des Constructions, et des outils du professeur (modeleurs, simulateurs, appareils de mesures...).

Il est également **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 écoles d'ingénieurs
- 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 Finitions et Aménagement du Bâtiment : Conception et Réalisation
  - o Enveloppe du bâtiment : Conception et Réalisation
  - o Étude et Réalisation des Agencements
  - o Fluides Énergies Domotique, options génie climatique, génie frigorifique et domotique
  - 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 :
  - o Licences professionnelles, Masters...

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. Celles-ci 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). Ensuite, le candidat doit proposer une évaluation et éventuellement une remédiation. **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.**

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

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

Les compétences pédagogiques attendues sont :

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

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

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps. L'objectif du dossier est de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers l'Éducation nationale, 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, décrite 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 2022 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 et moi-même espérons sincèrement que ce rapport sera très utile aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

La présidente du jury de l'agrégation SII IC

---

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

# A. Epreuves d'admissibilité

---

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

### I.1 Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

#### 1. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

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

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

#### 2. Sujet

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

[https://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agreg\\_externes/07/3/s2022\\_agreg\\_externes\\_sii\\_1\\_1425073.pdf](https://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agreg_externes/07/3/s2022_agreg_externes_sii_1_1425073.pdf)

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



Maison « Yhnova(TM) » terminée

#### 3. Éléments de correction

##### Partie 1 :

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

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

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

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

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

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

## **Partie 2 :**

**Question 4 :** On a :  $e = 2.e_s + 2.\frac{e_{\max} - e_s}{2} + e_b = e_{\max} + e_s + e_b = 340\text{mm}$

il faut donc positionner une épaisseur de béton auto plaçant de :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Question 8 :** En remplissant en une seule fois  $h_r = h$ , la pression hydrostatique est maximale en pied de mur ( $z = 0$ )  $\rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h$

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

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

avec  $y \in \left[-\frac{L}{2}, \frac{L}{2}\right]$  et  $z \in [0, h]$ . Les lois de l'hydrostatique permettent d'écrire  $p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot (h - z)$

où  $\rho_{\text{béton}}$  est la masse volumique du béton ( $\rho_{\text{béton}} = 2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $g$  est l'accélération de la pesanteur ( $g \approx 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) et  $h$  la hauteur de béton ( $h = 3,34 \text{ m}$ ).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Effort tranchant :  $T_x = 0$

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

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

Conditions limites :

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

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

Calcul des constantes d'intégration :

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

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

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

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

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

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

**Question 15 :** AN de :  $E.I_Y \cdot \lambda_A = \frac{R_{\text{béton} \rightarrow \text{paroi}} \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3h - z_Q)$  (question 11) avec

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

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

$$7.10^6 \times 0,156 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^{-2} = \frac{405000 \cdot z_Q^2}{6} \cdot (3 \times 3,34 - z_Q)$$

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

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

$\rightarrow p(M) = \rho_{\text{béton}} \cdot g \cdot h_r = 2500 \times 10 \times 0,284 = 7100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} < 50 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow$  le mur résiste dans ces conditions à la pression hydrostatique.

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

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

**Question 17 :** Graphiquement on lit :  $N_{(10)} = 290$  soit  $U_4 = \frac{290 \times 5}{1024} = 1,41 \text{ V}$

$\rightarrow U_1 = 1,41 \text{ mV}$  (amplification de 1000)

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

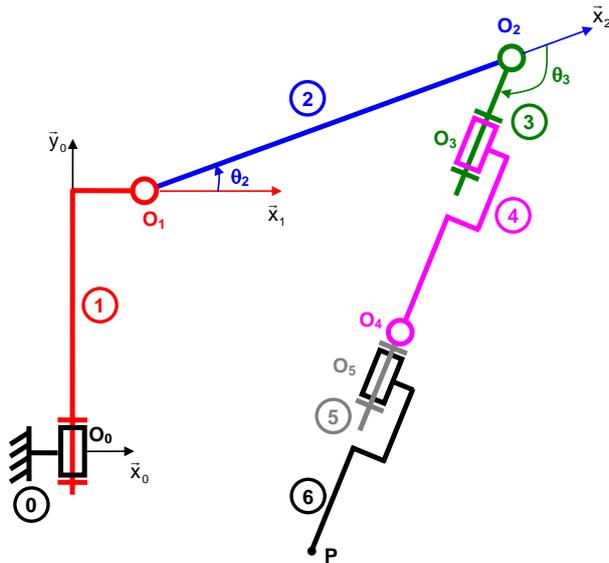
**Question 18 :** E23 : Ajout couche PU mur intérieur  
 E25 : Temporisation pour ajout entretoises  
 E27 : Remplissage béton

Condition 1 :  $n_{strate} = 6$   
 Condition 2 :  $n_{strate} < 6$  ou  $n_{strate} \neq 6$

E24 : Ajout couche PU mur extérieur  
 entry /  $n_{strate} = n_{strate} + 1$

**Partie 3 :**

**Question 19 :**



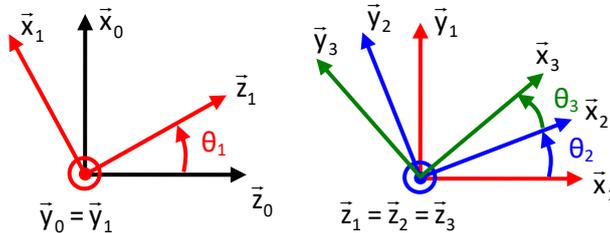
**Question 20 :** On veut trouver  $h_0$  tel que  $\vec{OP} \cdot \vec{y}_0 = 0,2$  m

$$\vec{OP} \cdot \vec{y}_0 = h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin(\theta_2) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2$$

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

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

**Question 21 :** Modèle géométrique direct :



$$\vec{OP} = d_c \cdot \vec{x}_0 + 0,2 \cdot \vec{y}_0 + d_c \cdot \tan \theta_1 \cdot \vec{z}_0 = \vec{OO}_0 + \vec{O}_0\vec{O}_1 + \vec{O}_1\vec{O}_2 + \vec{O}_2\vec{P}$$

$$\vec{OP} = h_0 \cdot \vec{y}_0 + a_1 \cdot \vec{x}_1 + b_1 \cdot \vec{y}_0 + a_2 \cdot \vec{x}_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \vec{x}_3$$

$$\vec{OP} = h_0 \cdot \vec{y}_0 + b_1 \cdot \vec{y}_0 + a_1 \cdot \vec{x}_1 + a_2 \cdot (\cos \theta_2 \cdot \vec{x}_1 + \sin \theta_2 \cdot \vec{y}_1) + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot (\cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \vec{x}_1 + \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \vec{y}_1)$$

$$\overrightarrow{OP} = (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \vec{x}_1 + (h_0 + b_1) \cdot \vec{y}_0 \\ (a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \vec{y}_1$$

$$\overrightarrow{OP} = \begin{cases} (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \cos \theta_1 = d_c \\ h_0 + b_1 + a_2 \cdot \sin \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0,2 \\ b_0 - (a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2 + (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3)) \cdot \sin \theta_1 = d_c \cdot \tan \theta_1 \end{cases}$$

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

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

Sur ce problème  $\theta_1$  est imposé et comme la 3<sup>ème</sup> équation du système ci dessus est linéairement dépendante de la 1<sup>ère</sup> équation, on peut alors substituer dans le système cette 3<sup>ème</sup> équation par la 1<sup>ère</sup> équation pour la résolution à venir.

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

**Question 22 :** Dans le triangle OEA rectangle en E on a  $\theta_1 = -\arctan \frac{1,8}{0,5} = -74,5^\circ$  et après AN on

obtient si on ne conserve finalement que les équations (1) et (2) de la question précédente :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

On isole l'ensemble 2+3+4+5+6 et on applique le PFS. TMS en  $O_1$  suivant l'axe  $\vec{z}_1$

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

AN :

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

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

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

Donc coté bras : précision =  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ \cdot \text{impulsion}^{-1}$

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

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

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

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

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

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

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

Pour déterminer la tension, il faut connaître  $E$ ,  $\omega$  et  $\omega_m$  :

Le bras a une vitesse de  $1^\circ \cdot s^{-1} \rightarrow$  le moteur a donc une vitesse de  $100^\circ \cdot s^{-1}$  soit  $1,745 \text{ rad} \cdot s^{-1}$

et une pulsation  $\omega = 4 \times 1,745 = 6,98 \text{ rad} \cdot s^{-1}$

$E = K_E \cdot \omega_m = 0,8 \times 1,745 = 1,4 \text{ V}$

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

On a donc un courant sinusoïdal avec une valeur  $I_{max} = 8,33 \cdot \sqrt{2} = 11,8 \text{ A}$  et une période  $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 0,9 \text{ s}$ .

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

**Question 32** : Le lidar tourne dans le sens horaire.

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

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

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

**Question 34** : Pour la 1<sup>ère</sup> mesure :

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

distance = 0000 0010 0100 1010 = 586, d'où  $d_1 = \frac{586}{4}$  soit  $d_1 = 146,5 \text{ mm}$

**Question 35** : Pour la 2<sup>ème</sup> mesure :

angle\_q6 = 0010 0000 1011 010 = 4186, d'où  $\theta_2 = \frac{4186}{64}$  soit  $\theta_2 = 65,40625^\circ$

On en déduit que le lidar a fait  $1,125^\circ$  en  $500 \mu\text{s}$ .

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

une fréquence de  $\frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ Hz}$  correspondant à une vitesse de rotation de  $6,25 \text{ tours} \cdot s^{-1} =$

$375 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1} = 2250^\circ \cdot s^{-1}$ .

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

#### **Partie 4 :**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Questions 45 et 46 :**

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

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

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

**Partie 5 :**

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

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

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

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

**Question 49** : Afin de respecter la topologie et la nature environnante, la forme de la maison s'adapte aux emplacements des arbres et à la topologie du terrain, ce qui permet de gagner des m<sup>2</sup> par rapport à une construction plus classique. En gérant convenablement l'inclinaison des ouvertures par rapport aux constructions voisines, on peut facilement limiter le vis-à-vis. On limitera l'impact environnemental puisqu'on garde la végétation, que le chantier sera beaucoup plus court avec peu de déchets et moins de nuisances sonores pour le voisinage. De plus la qualité de l'isolation permettra au bailleur social un gain économique important sur le long terme.

## ***1.2 Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur***

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

### **1. Présentation générale du sujet**

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

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

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

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

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

Les objectifs de la partie 2 sont :

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

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

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

Les objectifs de la partie 4 sont :

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

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

## **2. Analyse globale des résultats**

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

- la première partie d'ordre général était accessible à l'ensemble des candidats. Elle a d'ailleurs été traitée par tous les candidats avec des réponses correctes en moyenne à 78 % ;
- la deuxième partie a été abordée par tous les candidats. Elle a été traitée correctement en moyenne à 31% ;
- la troisième partie a été abordée au moins partiellement par 87% des candidats. Elle a été traitée correctement en moyenne dans seulement 5% des cas ;
- la quatrième partie a été abordée au moins partiellement par 91% des candidats. Elle a été traitée correctement en moyenne par 29 % des candidats ;
- la cinquième et dernière partie a été abordée par 68% des candidats et 38 % d'entre eux l'ont en moyenne traitée correctement.

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

## **3. Analyse des résultats par questions, commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats**

### **Partie 1 :**

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

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

**Question 3 :** Question abordée par tous les candidats, mais qui ne maîtrisent cependant pas les piliers du développement durable, concept pourtant essentiel dans l'enseignement en baccalauréat technologique STI2D. Leur identification était pourtant essentielle pour permettre une analyse pertinente.

### **Partie 2 :**

**Question 4 :** Question abordée par tous les candidats et bien traitée dans l'ensemble. Le jury encourage les candidats à effectuer les applications numériques lorsqu'elles sont demandées afin d'obtenir l'intégralité des points.

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

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

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

**Question 8 :** Question abordée par 100% des candidats et bien traitée dans l'ensemble.

**Questions 9 et 10:** Questions abordées par 70% des candidats mais seulement 16% d'entre eux ont bien traité ces questions. Il est regrettable que de nombreux candidats ne sachent pas mettre en œuvre convenablement un calcul intégral et que la construction d'un modèle global d'action mécanique à partir d'un modèle local soit mal maîtrisée. Le jury rappelle aussi aux candidats de vérifier l'homogénéité des expressions proposées.

**Questions 11 à 15 :** Questions abordées par seulement 50% des candidats et la majorité de ces candidats n'a pas su mener correctement toute l'étude de résistance des matériaux et n'ont pas pu définir les bonnes conditions de réalisation du mur.

**Questions 16 et 17 :** Question abordée par 80% des candidats mais souvent mal traitée, le principe d'un CAN étant inconnu. Il est rappelé que le résultat d'une application numérique doit toujours être présentée avec ses unités.

**Question 18 :** Question abordée par 74% des candidats et bien traitée pour 44% d'entre eux. Le diagramme d'état est un outil moyennement compris par les candidats.

### **Partie 3 :**

**Questions 19 :** Question abordée par 65% des candidats et bien traitée pour seulement 30% d'entre eux. Il est rappelé au candidat qu'un schéma cinématique est un outil de communication utilisant des symboles normalisés et qu'il doit être réalisé avec soin et en couleurs.

**Questions 20 à 25 :** Questions abordées par 30% des candidats et bien traitées pour seulement 10% d'entre eux. Il convient de rappeler aux candidats qu'il faut être rigoureux avec les objets mathématiques utilisés en mécanique du solide indéformable (torseur, vecteur, scalaire, projection dans une base, ...). Il est aussi rappelé de clairement dissocier applications numériques et expressions littérales.

**Question 26 :** Question abordée par seulement 28% des candidats et bien traitée par ces candidats. La configuration la plus pénalisante a été bien identifiée mais la mise en équation a été moins réussie.

**Question 27 :** Question abordée par 27% des candidats et bien traitée pour 3% d'entre eux. La précision angulaire coté moteur a été rarement trouvée, de plus le réducteur a été trop souvent oublié pour obtenir la précision en bout de bras.

**Questions 28 à 31 :** Questions abordées par 30% des candidats et bien traitées pour 10% d'entre eux. La mise en équation très classique de la machine synchrone n'est pas toujours bien maîtrisée.

**Question 32 à 35 :** Ces questions plus colorées Ingénierie Informatique ont été très peu abordées par les candidats. Les erreurs pour ceux qui ont abordé cette partie sont principalement dues à une mauvaise lecture initiale des trames.

### **Partie 4 :**

**Question 36** : Question abordée par 85% des candidats et bien traitée pour 64% d'entre eux. Le jury rappelle qu'il faut être clair et précis lorsqu'il s'agit de formuler des hypothèses lors d'une phase de modélisation.

**Questions 37 à 41** : Questions abordées par 90% des candidats et plutôt bien traitées pour un grand nombre d'entre eux. L'étude en régime stationnaire a globalement été plutôt bien conduite par les candidats l'ayant traitée. Le jury rappelle de nouveau aux candidats de vérifier l'homogénéité des expressions proposées.

**Question 42 à 46** : Ces questions plus colorées Ingénierie Informatique n'ont été abordées que par 43% des candidats et elles ont souvent été traitées très partiellement.

**Question 47** : Question abordée par 70% des candidats et plutôt bien traitée. Le jury rappelle qu'il faut être synthétique sur ce type de question et d'éviter de rédiger de trop longs argumentaires. Il est aussi indispensable de quantifier des écarts avec des valeurs chiffrées.

### **Partie 5** :

**Question 48 et 49** : Questions abordées par 60% des candidats et bien traitées pour 40% d'entre eux. La encore le jury rappelle qu'il faut être synthétique sur ce type de question et d'éviter de rédiger de trop longs argumentaires. Les copies faisaient une synthèse de qualité suite à un travail conséquent dans les parties précédentes ont été valorisées

### **Conseils aux futurs candidats**

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

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

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

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

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

Réussir cette épreuve demande :

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

#### 4. Conclusion

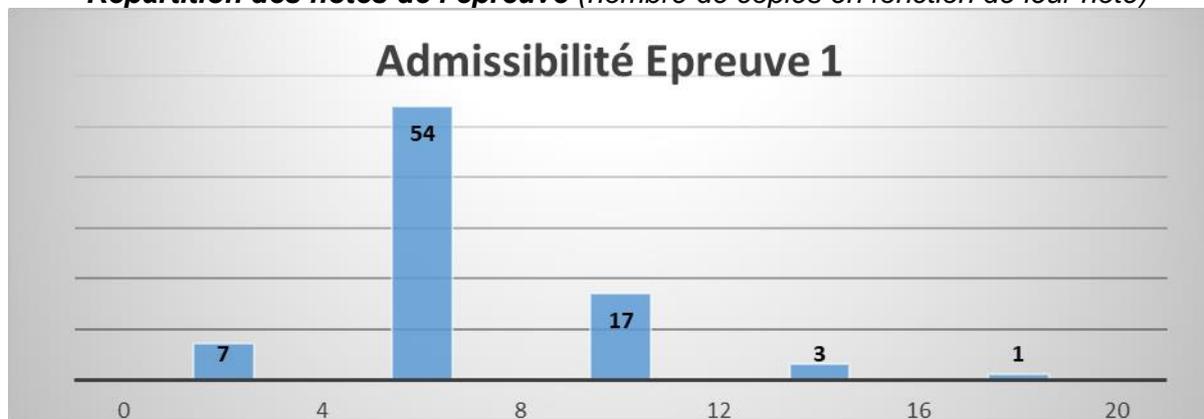
Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluritechnologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus de l'arrêté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

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

#### 5. Résultats

82 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 7/20, avec un écart-type de 2,7. La meilleure note est 16,7, la plus faible est 1,88/20.

**Répartition des notes de l'épreuve (nombre de copies en fonction de leur note)**



## II. Epreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

### II.1 Eléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externer/07/4/s2022\\_agreg\\_externer\\_sii\\_constructions\\_2\\_1425074.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/07/4/s2022_agreg_externer_sii_constructions_2_1425074.pdf)

#### 1. Présentation de l'épreuve

Arrêté du 28 décembre 2009 modifié

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

L'épreuve est spécifique de l'option choisie, ici l'option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions.

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. Sujet

Le sujet proposé pour cette épreuve de modélisation de sciences industrielles de l'ingénieur option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externer/07/4/s2022\\_agreg\\_externer\\_sii\\_constructions\\_2\\_1425074.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/07/4/s2022_agreg_externer_sii_constructions_2_1425074.pdf)

#### Partie 1 : Campagne de reconnaissance du sol (4.5 points)

##### Question 1

Porosité :  $n = \frac{V_V}{V}$  et indice des vides:  $e = \frac{V_V}{V_S}$ .

Pour avoir la porosité, il faut partir de la relation  $\gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w$ , et donc  $n = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_d}{\gamma_w}$ .

Pour avoir l'indice des vides, il faut utiliser la relation  $e = \frac{n}{1-n}$ .

On trouve ainsi :

Sol 1 :  $n = 0,4$  et  $e = 0,67$

Sol 2 :  $n = 0,3$  et  $e = 0,43$

##### Question 2

Pour avoir les profils de contraintes dans le sol, il faut utiliser les relations suivantes :

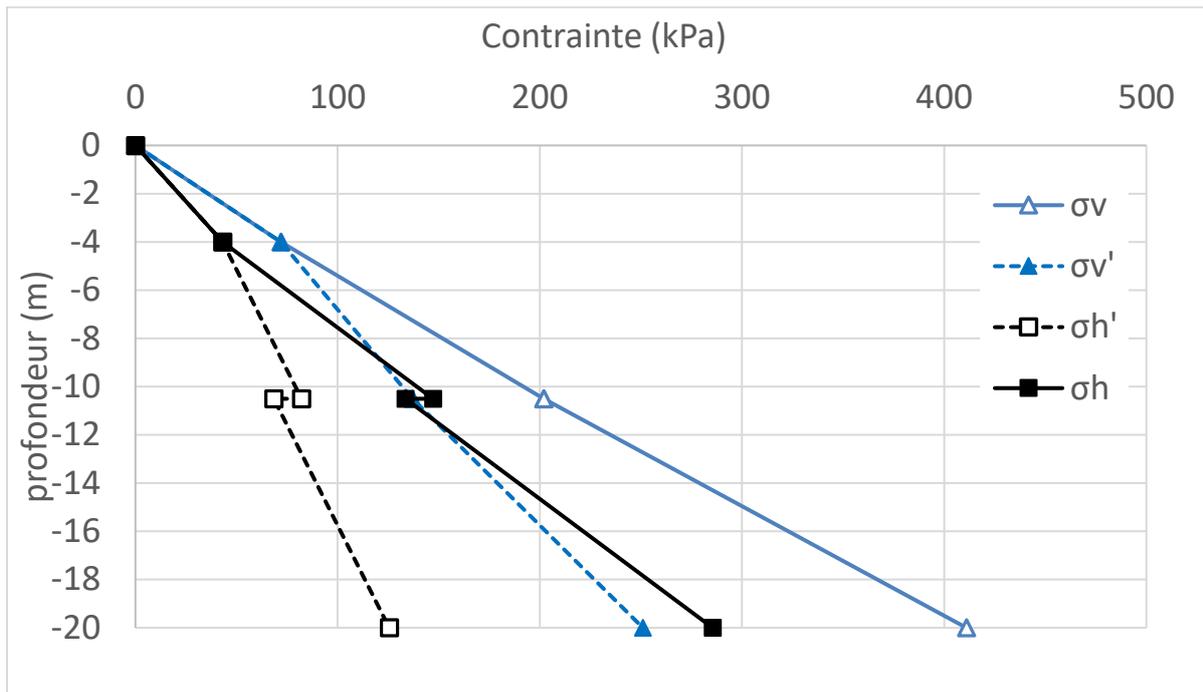
$$\sigma_v(z_i) = \sigma_v(z_{i-1}) + \gamma_i (z_i - z_{i-1}) \text{ et } u_w(z_i) = u_w(z_{i-1}) + \gamma_w (z_i - z_{i-1})$$

avec  $\sigma_v(z = 0) = 0$  et  $u_w = 0$  au niveau de la nappe.

Puis,  $\sigma'_v = \sigma_v - u_w$ ;  $\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$ ;  $\sigma_h = \sigma'_h + u_w$

On trouve ainsi :

z m	$\sigma_v$ kPa	$u_w$ kPa	$\sigma'_v$ kPa	$K_0$	$\sigma'_h$ kPa	$\sigma_h$ kPa
0	0	0	0	0.6	0	0
4	72	0	72	0.6	43.2	43.2
10.5	202	65	137	0.6	82.2	147.2
10.5	202	65	137	0.5	68.5	133.5
20	411	160	251	0.5	125.5	285.5

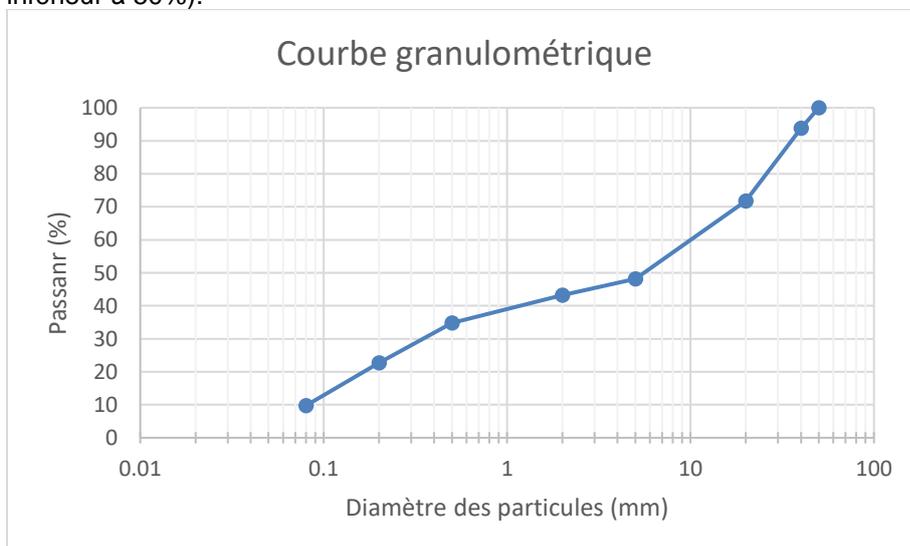


### Question 3

D particules (mm)	refus (g)	refus (%)	Passants (%)
50	0.0	0	100
40	0.7	6.2	93.8
20	3.4	28.2	71.8
5	6.2	51.8	48.2
2	6.8	56.8	43.2
0.5	7.8	65.2	34.8
0.2	9.3	77.3	22.7
0.08	10.8	90.3	9.7

Le courbe granulométrique est présenté dans la figure ci-dessous.

Compte tenu de l'allure globale, le sol 1 est grenu (faible quantité de passant à 80 $\mu$ m et passant à 2mm inférieur à 50%).



#### Question 4

L'analyse de la courbe granulométrique donne les valeurs suivantes :

$D_{60} = 10\text{mm}$ ,  $D_{30} = 0,33\text{mm}$  et  $D_{10} = 0,08\text{mm}$

Nous pouvons donc en déduire que

$C_c = 0,14$

$C_u = 125$

$C_u$  étant élevé ( $>4$ ) et  $C_c$  n'étant pas compris entre 1 et 3, le sol 1 a une granulométrie étalée mal graduée.

#### Question 5

(a) La valeur de bleu de méthylène du sol ( $V_{BS}$ ) représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules de sol. Etant donné que dans un sol c'est avant tout, la surface spécifique des particules argileuses qui détermine sa surface spécifique totale, on peut considérer que la VBS exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans ce sol.

Concrètement l'essai consiste donc à ajouter successivement différentes quantités de bleu de méthylène dans une suspension aqueuse du sol jusqu'à sa saturation en bleu. Cette saturation s'observe lorsque qu'une auréole bleu clair se détache d'une goutte de suspension lorsque celle-ci est déposée sur un papier filtre normalisé.

(b) La courbe granulométrique donne  $D_{\max} = D_{95} = 45\text{mm} < 50\text{mm}$ .

La passant à  $80\mu\text{m}$  est égal à 9,7% et le passant à  $2\text{mm}$  est égal à 43,2%.

Le sol 1 est donc de type B4, ce qui correspond à des graves peu argileuses.

#### Question 6

(a) D'un point de vue physique, la charge hydraulique correspond à l'énergie mécanique d'une particule d'eau par unité de poids de cette particule. Elle s'exprime donc en mètres (m), ce qui est homogène à des Joules par Newton (J/N). En hydraulique des sols, la vitesse du fluide étant généralement très faible, il est possible de négliger l'effet de l'énergie cinétique des particules. La charge hydraulique se simplifie donc sous la forme :

$$h = \frac{u_w}{\gamma_w} + z$$

avec  $u_w$  la surpression d'eau,  $\gamma_w$  le poids volumique de l'eau et  $z$  l'altitude par rapport à la côte de référence.

(b) Si l'eau est considérée comme un fluide incompressible, l'équation locale de conservation de la masse se réduit à  $\text{div}(\vec{v}) = 0$ , pour  $r \geq B/2$ . Sachant que  $\vec{v} = -k \overrightarrow{\text{grad}}(h)$  et que le sol est supposé homogène isotrope (donc  $k$  est une constante scalaire), l'équation locale de conservation devient donc  $\nabla^2 h = 0$ ,  $\nabla^2$  étant le Laplacien.

Compte tenu de la symétrie du problème, nous pouvons poser que  $h$  est uniquement fonction de  $r$ . Ainsi, l'application de la formule du Laplacien en coordonnées sphériques donne :

$$\nabla^2 h = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial h}{\partial r} \right) = 0 ; r \geq B/2$$

L'intégration de cette équation différentielle donne  $h = -\frac{K_1}{r} + K_2$ ,  $K_1$  et  $K_2$  étant des constantes d'intégration. La condition limite à l'infini ( $h(\infty) = 0$ ) et en  $B/2$  ( $h(B/2) = H$ ) permet d'obtenir :  $K_2 = 0$  et  $K_1 = -H B/2$  et donc :

$$h = H \frac{B}{2r} \text{ et donc } \vec{v} = -k \overrightarrow{\text{grad}}(h) = k \frac{BH}{2r^2}$$

Le flux traversant la cavité vers le milieu poreux s'écrit alors :

$$\begin{aligned} Q(t) &= \int_S \vec{v} \left( r = \frac{B}{2} \right) \cdot \vec{e}_r \, dS \\ &= \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} k \frac{HB}{2 \left( \frac{B}{2} \right)^2} \left( \frac{B}{2} \right)^2 \sin \theta \, d\theta d\varphi = k\pi HB [\cos(\theta)]_0^{\pi} = 2\pi k BH \end{aligned}$$

On retrouve donc bien  $Q(t) = m k B H$  avec  $m = 2\pi$ .

#### Question 7

(a) La charge dans le tubage s'écrit :

$$H(z, t) = \frac{u_w(z, t)}{\gamma_w} + z$$

Si la côte de référence est le niveau de la nappe, alors,  $z=h(t)$  correspond à l'interface eau/air dans le tubage. Nous pouvons alors écrire que :

$$u_w(h, t) = 0 \Rightarrow u_w(z, t) = \gamma_w(h(t) - z)$$

La combinaison des deux relations précédentes donne finalement :

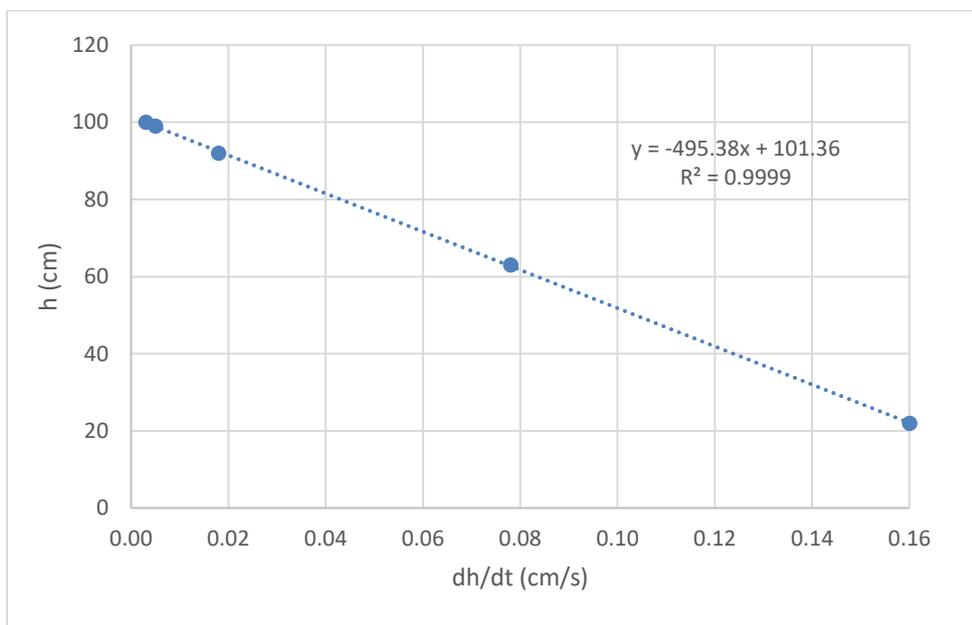
$$H(z, t) = h(t)$$

(b) Le volume d'eau dans le tubage s'écrit  $V_{eau} = \frac{\pi B^2}{4} h(t)$ . La variation de volume d'eau est quant à elle égale à la différence entre le débit volumique entrant dans le tubage ( $Q_a$ ) et le débit sortant par le manchon perforé ( $Q(t)$ ). Ainsi :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\pi B^2}{4} h \right) = Q_a - Q(t) \Rightarrow \frac{\pi B^2}{4} \frac{\partial h}{\partial t} = Q_a - mkBh \Rightarrow h = -\frac{\pi B}{4mk} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q_a}{mkB}$$

### Question 8

(a) Le tracé de la relation entre  $h$  et  $dh/dt$  donne :



Nous obtenons donc  $\alpha = -495.38$  s et  $\beta = 101.36$  cm

(b) Conformément aux relations de la question 1.4.2, nous pouvons écrire que :

$$Q_a = -\frac{\pi B^2}{4} \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{\pi(0,114)^2}{4} \frac{1,0136}{495,38} \approx 2,088 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \approx 75 \text{ l/h}$$

(c) En utilisant la relation de la question 1.4.2, on obtient :

$$k = -\frac{\pi B}{4m\alpha} \approx \frac{\pi \times 0,114}{4 \times 18 \times 495,38} \approx 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

C'est une perméabilité assez élevée, généralement observée pour les graves et les sols sableux. Ce résultat est donc en cohérence avec l'étude granulométrique de la question 1.3.

### Question 9

(a) La consolidation d'un sol suite est causée par le départ de l'eau mise en pression.

(b) L'adimensionnalisation de l'équation de consolidation est réalisée en posant :

$$Z = \frac{z}{H} \text{ et } T_v = \frac{C_v t}{H^2}$$

### Question 10

(a) Le tassement du sol à l'instant  $t$  s'exprime comme :

$$s(t) = \int_0^L \varepsilon_{zz}(t, z) dz$$

Avec  $L$  l'épaisseur de la couche de sol ( $L=H$  si le drainage ne fait que d'un côté et  $L=2H$  si double drainage) et  $\varepsilon_{zz}$  la déformation axiale du sol causée par l'évacuation de l'eau, qui est égale à

$$\varepsilon_{zz}(t, z) = \frac{\sigma'_{zz}(t, z)}{E_{oed}} = \frac{\Delta\sigma_{zz}(z) - u_w(t, z)}{E_{oed}}$$

Avec  $\Delta\sigma_{zz}(z)$  l'incrément de contrainte verticale dans le sol causée par son chargement. Le degré de consolidation se définit comme le ratio entre le tassement actuel et le tassement final. Ainsi,

$$\frac{s(t)}{s(\infty)} = \frac{\int_0^L (\Delta\sigma_{zz}(z) - u_w(t, z)) dz}{\int_0^L (\Delta\sigma_{zz}(z) - u_w(\infty, z)) dz} = \frac{\int_0^L (\Delta\sigma_{zz}(z) - u_w(t, z)) dz}{\int_0^L (\Delta\sigma_{zz}(z) - 0) dz}$$

En supposant que la déformation instantanée juste après chargement est négligeable, nous pouvons écrire que  $\varepsilon_{zz}(0, z) = 0 \Rightarrow u_w(0, z) = \Delta\sigma_{zz}(z)$ . En injectant cette relation dans l'expression précédente et en faisant le changement de variable  $t \rightarrow T_v$  et  $z \rightarrow Z$ , nous obtenons finalement :

$$U(T_v) = \frac{s(T_v)}{s(\infty)} = \frac{\int_0^1 (u_w(0, z) - u_w(T_v, Z)) dZ}{\int_0^1 u_w(0, z) dz} = 1 - \frac{\int_0^1 \Delta u_w(T_v, Z) dZ}{\int_0^1 \Delta u_w(0, Z) dZ}$$

(b) Pour  $U = 0,9$  on trouve  $T_v = 0,8$  et  $t = \frac{H^2 T_v}{C_v}$  avec  $C_v = \frac{k E_{oed}}{\gamma_w}$  et  $H = \frac{L}{2}$ .

Ainsi :

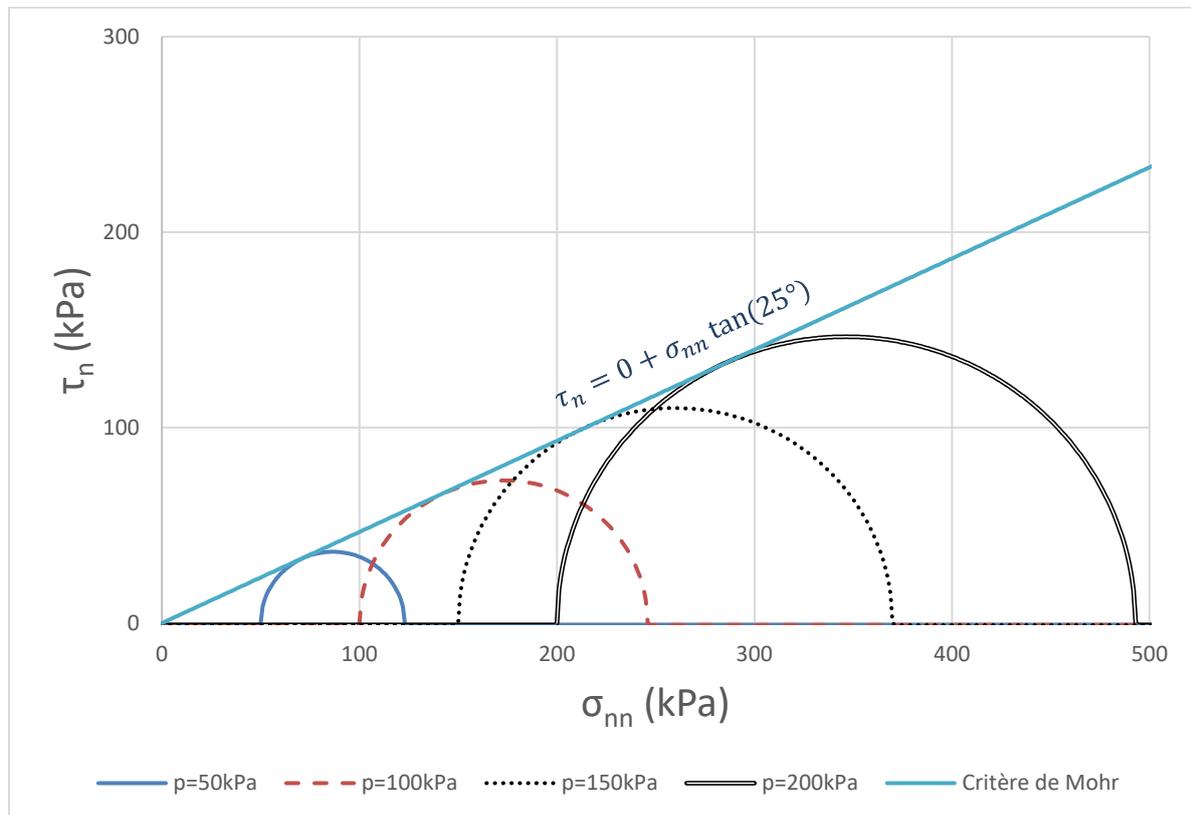
$$C_v = \frac{1 \cdot 10^{-5} \times 5 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ et } H = 5,25 \text{ m} \Rightarrow t = 4000 \text{ s.}$$

On peut en conclure que le temps de consolidation est très faible, ce qui paraît logique pour des grès faiblement argileux avec un coefficient de perméabilité égal à  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

### Question 11

Les essais triaxiaux vont permettre d'avoir la cohésion non drainée et l'angle de frottement effectif, qui seront utiles pour le dimensionnement des soutènements qui seront réalisés lors des phases de terrassement et pour le dimensionnement des fondations.

### Question 12



Nous trouvons donc,  $c'=0\text{kPa}$  et  $\varphi' = 25^\circ$

**Question 13**

Pour une cohésion nulle nous avons la relation :

$$\sigma_z^{rupt} (1 - \sin \varphi) = p(1 + \sin \varphi)$$

Comme  $\sigma_z^{rupt} = (F_{rupt}/S + p)$  avec  $F_{rupt}$  la force à rupture et  $S$  la section de l'échantillon, nous obtenons :

$$F_{rupt} = 2pS \frac{\sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} = 4,3 \text{ kN}$$

**Question 14**

La cohésion étant nulle, nous pouvons écrire dans le cas de l'essai CU :

$\sigma_z'^{rupt} (1 - \sin \varphi) = \sigma_r'^{rupt} (1 + \sin \varphi)$  avec  $\sigma_z'^{rupt} = \sigma_z^{rupt} - u_w^{rupt}$  et  $\sigma_r'^{rupt} = p - u_w^{rupt}$ . Ainsi,

$$u_w^{rupt} = \frac{p - \sigma_z^{rupt} + \sin \varphi' (p + \sigma_z)}{2 \sin \varphi'} = 63 \text{ kPa}$$

**Question 15**

$p_0$  : correspond à la pression de consolidation du sol en place.

$p_f$  : pression de fluage qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique du sol et son comportement plastique

$p_l$  : pression limite qui caractérise la rupture du sol

Les pressions nettes correspondent aux suppressions à appliquer au sol à partir de sa pression de consolidation initiale.

$E_M$  : module pressiométrique qui définit la déformabilité pseudo-élastique du sol

Domaine 1 : mise en contact de la sonde pressiométrique avec le sol en place

Domaine 2 : domaine pseudo-élastique

Domaine 3 : Domaine plastique

**Question 16**

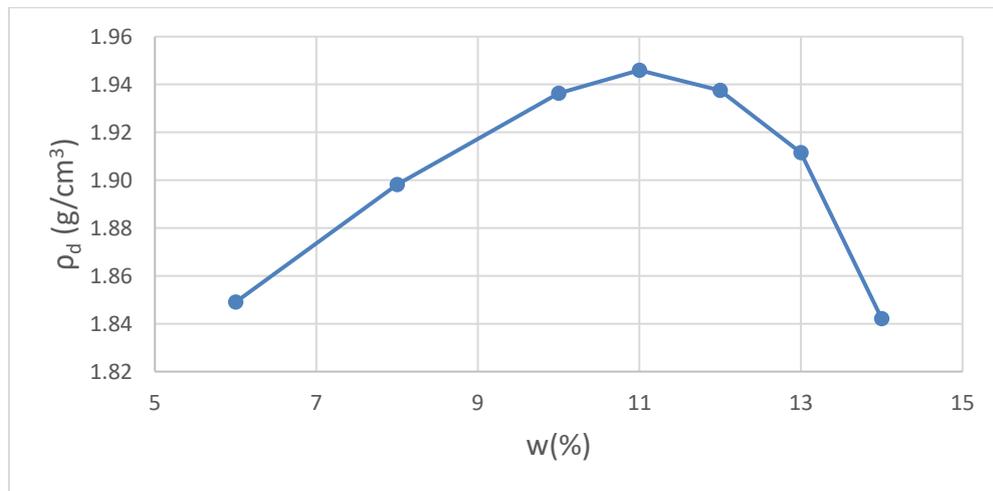
Compte tenu des caractéristiques mécaniques faibles de la couche de surface une solution de type fondation superficielle ne semble pas envisageable.

Il semblerait donc pertinent de mettre en œuvre un principe de fondation permettant de reporter les charges via des pieux ancrés dans le sol 2, dont les caractéristiques mécaniques semblent acceptables.

Partie 2 : **Etude de l'arche en pisé (3.5 points)**

**Question 17**

La masse volumique sèche, notée  $\rho_d$  est liée à la teneur en eau et à la masse volumique humide via la relation  $\rho_d = \frac{\rho_h}{1+w}$ . L'application de cette relation donne la courbe ci-dessous :



w (%)	6	8	10	11	12	13	14
-------	---	---	----	----	----	----	----

$\rho_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	2,05	2,13	2,16	2,17	2,16	2,10
$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,85	1,90	1,94	1,95	1,94	1,91	1,84

Afin de maximiser la résistance du matériau, il faut maximiser sa densité sèche. Compte tenu de l'énergie de compaction utilisée, il faudra donc avoir une teneur en eau de fabrication égale à 11%.

### Question 18

Les membranes néoprènes servent à limiter le fretage (frottement entre l'échantillon et soit l'embase soit le chapeau). Les capteurs axiaux sont situés au niveau du tiers central de l'échantillon afin de s'affranchir au maximum des effets de bord (interactions entre l'échantillon et l'embase ou le chapeau). L'utilisation de 2 jeux de capteurs axiaux permet de scruter les éventuels effets de gauchissement de l'échantillon, ce qui rendrait alors l'essai non valide.

Enfin, les capteurs radiaux sont placés au milieu de l'échantillon pour les mêmes raisons. Leur positionnement à 120° permet, en faisant la moyenne des déplacements radiaux obtenus, de supprimer les effets de déplacement de corps rigide de l'échantillon.

D'autres types d'instrumentations avec des LVDT, des extensomètres, des jauges de déformations ou des caméras à mesure de champs auraient par exemple été possibles.

### Question 19

La convention de signe étant une contraction positive, la déformation axiale obtenue avec un jeu de capteur (i ; j) = {(1 ; 3) ; (2 ; 4)} s'écrit comme :

$$\varepsilon_{zz}^{i,j} = \frac{(d_i - d_i^0) + (d_j - d_j^0)}{H/3}$$

La déformation axiale moyenne sur la base des valeurs de deux capteurs est donc égale à :

$$\varepsilon_{zz} = \frac{3}{2H} \sum_{i=1}^4 (d_i - d_i^0)$$

De la même manière, la déformation radiale donnée par le capteur i = {5 ; 6 ; 7} s'écrit quant à elle (pour simplifier les développements, nous ne considérons pas le terme de déplacement de corps rigide, qui de toute manière s'annule lorsque la moyenne sur les trois capteurs est réalisée) :

$$\varepsilon_{rr}^i = \frac{2}{D} (d_i - d_i^0)$$

La déformation moyenne s'exprime donc comme :

$$\varepsilon_{rr} = \frac{2}{3D} \sum_{i=5}^7 (d_i - d_i^0)$$

### Question 20

Points particuliers à remarquer :

- Comportement non linéaire et non réversible, même pour des chargements assez faibles. La présence d'une déformation résiduelle lors des décharges suggère un comportement plastique.
- La pente moyenne de la relation entre la contrainte axiale et la déformation axiale tend à diminuer au cours des cycles, ce qui suggère de l'endommagement.
- La résistance à la compression est de l'ordre de 2 MPa, ce qui est environ 10 fois plus faible qu'un béton ordinaire. La déformation à rupture est de l'ordre de 0,8%, ce qui est 4 à 5 fois supérieur à ce qui est généralement observé sur un béton ordinaire.
- Un comportement de type dilatant (probablement dû à l'apparition de micro-fissures) est observé à partir d'une déformation axiale égale de 0,3%.

### Question 21

Le module d'Young est défini comme  $E = \Delta\sigma_{zz} / \Delta\varepsilon_{zz}$  sur le cycle de charge décharge. Cela correspond donc directement à la pente de la relation donnée en figure 2.3. Nous trouvons donc :

$$E = 985 \text{ MPa}$$

Le coefficient de Poisson est défini comme  $\nu = -\Delta\varepsilon_{rr} / \Delta\varepsilon_{zz}$ . Sachant que  $\varepsilon_v = \text{tr}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{zz} = 2\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{zz}$ , nous trouvons :

$$\nu = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\Delta\varepsilon_v}{\Delta\varepsilon_{zz}} \right) = 0,5 (1 - 0,47) = 0,26$$

### Question 22

Forte diminution de la résistance à la compression et du module d'Young avec la teneur en eau. Ce phénomène peut s'expliquer par deux phénomènes :

- Modification de la rhéologie de la matrice argileuse avec la teneur en eau. En effet, en présence d'eau, l'argile devient très plastique, ce qui modifie fortement son comportement mécanique.
- Modification des effets de succion capillaire : lorsque la quantité d'eau diminue, des ménisques d'eau capillaires en dépression par rapport à la pression d'air vont se former entre les grains du matériau, créant ainsi un effet « ventouse » entre ces derniers. Il en résulte une augmentation de la résistance et de la raideur du matériau.

### Question 23

La forme de l'arc permet généralement d'avoir un effort tranchant et un moment fléchissant quasiment nuls. Ainsi, le matériau le composant travaille majoritairement en compression, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas d'un matériau comme le pisé, au regard des valeurs obtenues aux questions précédentes.

### Question 24

En appliquant le principe fondamental de la statique sous les hypothèses et notations de l'énoncé on obtient :

Equilibre des résultantes :

$$R_{1x} + R_{3x} = 0 \Rightarrow R_{1x} = -R_{3x}$$

$$R_{1y} + R_{3y} - ql = 0 \Rightarrow R_{1y} = ql - R_{3y}$$

Equilibre des moments au point 2 sur l'ensemble de l'arc :

$$R_{1x} h - R_{1y} \frac{l}{2} + R_{3x} h + R_{3y} \frac{l}{2} = 0 \Rightarrow R_{3y} = \frac{ql}{2} \Rightarrow R_{1y} = \frac{ql}{2}$$

Equilibre des moments au point 2 sur le  $\frac{1}{2}$  arc de gauche :

$$R_{1x} h - R_{1y} \frac{l}{2} + q \frac{l^2}{8} = 0 \Rightarrow R_{1x} = \frac{ql^2}{8h} \Rightarrow R_{3x} = -\frac{ql^2}{8h}$$

### Question 25

(a) L'angle  $\alpha(x)$  entre l'horizontal et l'arc est égal à :

$$\alpha(x) = \arctan\left(\frac{dy(x)}{dx}\right) = \arctan\left(\frac{4h}{l^2}(l - 2x)\right)$$

$\alpha$  est donc une fonction strictement décroissante de  $x$  entre 0 et  $L/2$ , variant de  $81^\circ$  pour  $x=0$  à  $0^\circ$  pour  $x=L/2$ .

L'équilibre de la section en  $x$  donne :

Effort normal :

$$\begin{aligned} N(x) &= R_{1x} \cos(\alpha) + R_{1y} \sin(\alpha) - q x \sin(\alpha) = \frac{ql^2}{8h} \cos(\alpha) + q\left(\frac{l}{2} - x\right) \sin(\alpha) \\ &= \cos(\alpha) \left( \frac{ql^2}{8h} + q \left( \frac{l}{2} - x \right) \tan(\alpha) \right) = \cos(\alpha) \left( \frac{ql^2}{8h} + \frac{2qh}{l^2} (l - 2x)^2 \right) \end{aligned}$$

$N(x)$  est donc une fonction strictement positive et décroissante de  $x$  entre 0 et  $L/2$ .

Effort tranchant :

$$\begin{aligned} T(x) &= R_{1x} \sin(\alpha) - R_{1y} \cos(\alpha) + q x \cos(\alpha) = \frac{ql^2}{8h} \sin(\alpha) - q\left(\frac{l}{2} - x\right) \cos(\alpha) \\ &= \cos(\alpha) \left( \frac{ql^2}{8h} \tan(\alpha) + q \left( \frac{l}{2} - x \right) \right) = \cos(\alpha) \left( \frac{ql^2}{8h} \frac{4h}{l^2} (l - 2x) + \frac{q}{2} (l - 2x) \right) = 0 \end{aligned}$$

Moment fléchissant :

$$M(x) = -R_{1x} y(x) + R_{1y} x - q x^2 = -\frac{ql^2}{8h} \frac{4hx(l-x)}{l^2} + \frac{ql}{2} x - qx^2 = 0$$

(b) Nous remarquons ainsi que compte tenu du chargement considéré et de la forme d'arc choisie, l'effort tranchant et le moment fléchissant sont nuls en tous points et l'effort normal est positif en tout point.

### Question 26 (1pt):

En tout point, les facettes de l'arc perpendiculaires à la fibre moyenne sont sollicitées en compression avec une contrainte égale à  $\sigma_{nn} = N(x)/S$ ,  $S$  étant la section résistante de l'arc et  $\vec{n}(x) = \cos(\alpha) \vec{e}_x + \sin(\alpha) \vec{e}_y$ . Nous obtenons donc

$$\sigma_{nn}(x) = \frac{\cos(\alpha)}{S} \left( \frac{ql^2}{8h} + \frac{2qh}{l^2} (l - 2x)^2 \right)$$

### Question 27

Non, le chargement proposé n'est pas réaliste. Il manque au moins deux chargements principaux qui sont le poids propre et les charges de vents.

En effet, le poids propre est particulièrement important dans le cadre d'une structure en pisé compte tenu de l'épaisseur des sections résistantes. Les charges de vent ascendantes pourraient quant à elle éventuellement générer un soulèvement de l'arc et donc une mise en traction de la clé de voute, ce qui serait préjudiciable pour la stabilité de la structure.

En outre, dans le cas réel, l'arche en pisé reprend une partie des descentes de charges des planchers R+1 et R+2.

### Question 28

Nous pouvons considérer ici un problème en contraintes planes, car le chargement est homogène sur l'épaisseur de l'arche et que cette dernière (0,8m) peut être considérée comme petite devant les autres dimensions.

### Question 29

Les conditions limites en vecteur contrainte sont indirectement données dans l'énoncée. A savoir :

En  $y=9m$  (surface supérieure)  $\sigma \cdot \vec{e}_y = q/d \vec{e}_y$ ,  $d$  étant l'épaisseur de l'arche (attention, convention de compression positive). Ainsi :  $\sigma_{xy}(y=9) = 0$  et  $\sigma_{yy}(y=9) = q = \frac{35}{0,8} = 43.75 \text{ kPa} \approx 0,04 \text{ MPa}$

L'intrados de la voute est supposé non chargé, ainsi,  $\sigma(x_I, y_I) \cdot \vec{n}(x_I, y_I) = \vec{0}$  pour tout point  $M(x_I, y_I)$  appartenant à l'intrados de la voute.

Notons que ces conditions limites en vecteurs contraintes sont cohérentes avec les valeurs de contraintes présentées en figure 2.6.

Les résultats de la figure 2.5 montrent que  $u_x = 0$  en  $x=0$  et en  $x=6m$  (sur les deux bords de l'arche) et que  $u_y = 0$  en  $y=0$ .

On peut donc considérer :

- des conditions limites de déplacements nuls suivant  $\vec{e}_x$  en  $x=0$  et en  $x=6m$ . Ce qui se justifie par le fait de la présence d'une autre arche similaire de part et d'autre de l'arche considérée.
- une condition limite de déplacement nul suivant  $\vec{e}_y$  en  $y=0$ . Cette condition se justifie par le fait que l'arche repose sur un soubassement en pierre pouvant être considéré en première approximation comme indéformable.

### Question 30:

Les points suivants sont mis en évidence :

- Valeurs de contraintes assez faibles
- On reste en compression (sauf en  $y=9m$  /  $x=0$  et  $6m$  où de la traction est générée).
- Valeurs maximales de contraintes obtenues 4 fois plus faibles que la résistance du matériau sec. Elles sont par contre supérieures à la résistance de matériau humide après fabrication ( $R_c$  de l'ordre de 0,2 MPa à 8% de teneur en eau). Il est donc nécessaire de faire sécher les blocs de terre avant de finaliser l'arche et de la charger.

## Partie 3 : Etude d'une poutre en flexion (2 points)

### Question 31

#### Calcul des réactions d'appui

L'équilibre suivant  $x$  donne directement  $R_{Ax} = 0$ .

L'équilibre suivant  $y$  donne  $R_{Ay} + R_{By} = qL$

L'équilibre des moments en A donne  $R_{By}L - \frac{qL^2}{2} = 0 \Rightarrow R_{By} = \frac{qL}{2} \Rightarrow R_{Ay} = \frac{qL}{2}$

#### Diagrammes des efforts

Effort normal :  $N(x) = -R_{Ax} = 0$

Effort tranchant :  $V(x) = -R_{Ay} + qx = q \left( x - \frac{L}{2} \right)$

Moment fléchissant :  $M(x) = R_{Ay} x - q \frac{x^2}{2} = \frac{qx}{2} (L - x)$

### Question 32

Afin de trouver la flèche, il faut intégrer la relation

$$EI y(x)'' = M(x) \Rightarrow EI y(x) = \frac{q}{24} (2x^3 L - x^4) + K_1 x + K_2$$

$K_1$  et  $K_2$  étant deux constantes d'intégration. Les conditions limites étant  $y(0) = y(L) = 0$ , on obtient

$$K_1 = -\frac{qL^3}{24} \text{ et } K_2 = 0, \text{ ce qui donne au final :}$$

$$y(x) = -\frac{qL^4}{24EI} \left( \frac{x}{L} - 2 \left( \frac{x}{L} \right)^3 + \left( \frac{x}{L} \right)^4 \right)$$

$$\text{En posant } x=L/2, \text{ nous obtenons } f = y\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{-5qL^4}{384EI}$$

### Question 33

$$\vec{\text{div}}(\boldsymbol{\sigma}) \cdot \vec{e}_x = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = -\alpha(2x-L)y \Rightarrow \sigma_{xy} = \frac{\alpha}{2}(L-2x)y^2 + f(x)$$

$$\text{En } y=h/2, \sigma_{xy} = 0 \text{ (condition limite), ainsi } f(x) = -\frac{\alpha}{2}(L-2x)\frac{h^2}{4}$$

$$\text{Donc } \sigma_{xy} = \frac{\alpha}{2}(L-2x)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right)$$

### Question 34

$$\vec{\text{div}}(\boldsymbol{\sigma}) \cdot \vec{e}_y = \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = \alpha\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right) \Rightarrow \sigma_{yy} = \alpha\left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y\right) + g(x)$$

$$\text{En } y=-h/2, \sigma_{yy} = 0 \text{ (condition limite), ainsi } g(x) = -\frac{\alpha h^3}{12} \Rightarrow \sigma_{yy} = \alpha\left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y - \frac{h^3}{12}\right)$$

$$\text{En } y=h/2, \sigma_{yy} = -\frac{q}{b} \text{ (condition limite), ainsi } \alpha = \frac{6}{bh^3}q = \frac{q}{21}$$

$$\text{Donc } \sigma_{yy} = \frac{q}{21}\left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y - \frac{h^3}{12}\right); \sigma_{xy} = \frac{q}{41}(L-2x)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right); \sigma_{xx} = \frac{q}{21}x(x-L)y$$

### Question 35

$$N(x) = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xx} dy = 0 \text{ (évident car } \sigma_{xx} \text{ est une fonction impaire de } y)$$

$$V(x) = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xy} dy = \frac{3q}{h^3}(L-2x)\left(\frac{h^3}{12} - \frac{h^3}{4}\right) = q\left(x - \frac{L}{2}\right)$$

$$M(x) = b \int_{-h/2}^{h/2} y \vec{e}_y \wedge (\boldsymbol{\sigma} \cdot \vec{e}_x) dy = -b \int_{-h/2}^{h/2} y \sigma_{xx} dy = b \int_{-h/2}^{h/2} \frac{6q}{bh^3} x(L-x)y^2 dy \\ = \frac{6q}{h^3}(L-x)x\frac{h^3}{12} = \frac{q}{2}x(L-x)$$

### Question 36

Par application directe de la loi de Hooke, nous obtenons :

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu}{E}\sigma_{yy} = \frac{q}{2EI}\left(x(x-L)y - \nu\left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y - \frac{h^3}{12}\right)\right)$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\sigma_{yy}}{E} - \frac{\nu}{E}\sigma_{xx} = \frac{q}{2EI}\left(\frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y - \frac{h^3}{12} - \nu(x(x-L)y)\right)$$

$$\varepsilon_{zz} = -\frac{\nu}{E}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) = -\frac{q\nu}{2EI}\left(x(x-L)y + \frac{y^3}{3} - \frac{h^2}{4}y - \frac{h^3}{12}\right)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1+\nu}{E}\sigma_{xy} = \frac{q(1+\nu)}{4EI}(L-2x)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right)$$

$$\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{yz} = 0$$

### Question 37

Pour cette question, nous posons  $\nu = 0$ .

Ainsi,  $\frac{\partial u_x}{\partial x} = \varepsilon_{xx} = \frac{q}{2EI}(x(x-L)y)$ , ce qui donne, par intégration :

$$u_x = \frac{q}{2EI}\left[\left(\frac{x^3}{3} - \frac{Lx^2}{2}\right)y + f(y)\right], f(y) \text{ étant une fonction de } y.$$

Sous l'hypothèse  $\nu = 0$ , nous pouvons également écrire que

$$\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} = 2\varepsilon_{xy} = \frac{q}{2EI}(L-2x)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial u_y}{\partial x} = \frac{q}{2EI}\left[(L-2x)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right) - \frac{x^3}{3} + \frac{Lx^2}{2} - f'(y)\right]$$

$$\Rightarrow u_y = \frac{q}{2EI}\left[(Lx - x^2)\left(y^2 - \frac{h^2}{4}\right) - \frac{x^4}{12} + \frac{Lx^3}{6} - f'(y)x + g(x)\right], g(x) \text{ étant une fonction de } x.$$

$$\Rightarrow u_y(x, 0) = -\frac{q}{2EI}\left[(Lx - x^2)\frac{h^2}{4} + \frac{x^4}{12} - \frac{Lx^3}{6} + f'(0)x - g(x)\right]$$

Conditions limites :

$$u_y(0,0) = 0 \Rightarrow g(x) = 0 \text{ et } u_y(L,0) = 0 \Rightarrow f'(0) = \frac{L^3}{12}$$

$$\Rightarrow u_y(x,0) = -\frac{qx}{2EI}\left[(L-x)\frac{h^2}{4} + \frac{x^3}{12} - \frac{Lx^2}{6} + \frac{L^3}{12}\right]$$

$$\Rightarrow u_y\left(\frac{L}{2}, 0\right) = -\frac{qL}{4EI} \left[ \left(\frac{L}{2}\right) \frac{h^2}{4} + \frac{L^3}{96} - \frac{L^3}{24} + \frac{L^3}{12} \right] = -\frac{qL}{4EI} \left[ \frac{Lh^2}{8} + \frac{5L^3}{96} \right] = -\frac{5qL^4}{384EI} \left[ \frac{12}{5} \left(\frac{h}{L}\right)^2 + 1 \right]$$

Si  $\frac{h}{L} \ll 1$ , alors  $\frac{12}{5} \left(\frac{h}{L}\right)^2 \ll 1$  et donc  $u_y\left(\frac{L}{2}, 0\right) \approx -\frac{5qL^4}{384EI}$

Partie 4 : **Etude thermique du mur en pisé (7 points)**

**Question 38 :**

La résistance thermique de la paroi de pisé brute est  $R = \frac{0.5}{1} = 0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$

Pour l'équivalent en isolant,  $R = \frac{e_{iso}}{0.04}$  donc  $e_{iso} = 0.5 \times 0.04 = 0.02 = 2 \text{ cm}$  seulement.

Le pisé n'a pas de propriétés isolantes. Il faut effectivement lui adjoindre un doublage intérieur ou extérieur.

**Question 39 :**

$T(x, y, z, t) \longrightarrow T(x)$  d'après les hypothèses

éq (4.1) devient  $\varphi = -\lambda \frac{dT}{dx}$

éq (4.2) devient  $\frac{d^2T}{dx^2} = 0$

**Question 40 :**

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \longrightarrow \frac{dT}{dx} = A \longrightarrow T(x) = Ax + B$$

En  $x=0 \longrightarrow T = T_1 = B$

En  $x=e \longrightarrow T = T_2 = Ae + B = Ae + T_1$

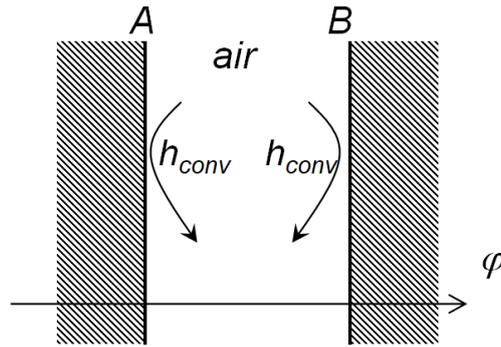
D'où  $A = \frac{T_2 - T_1}{e}$

$$\Rightarrow T(x) = \frac{T_2 - T_1}{e} x + T_1$$

**Question 41 :**

$$\varphi = -\lambda \frac{dT}{dx} = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{e} = \frac{T_1 - T_2}{e/\lambda} = \frac{T_1 - T_2}{R} \text{ avec } R = e/\lambda$$

**Question 42 :**



$$\varphi_{conv\_LA} = h_{conv} (T_A - T_{air}) = h_{conv} (T_{air} - T_B) = \frac{h_{conv}}{2} (T_A - T_B)$$

**Question 43 :**

$$(T_A^4 - T_B^4) = (T_A^2 - T_B^2)(T_A^2 + T_B^2) = (T_A - T_B)(T_A + T_B)(T_A^2 + T_B^2)$$

$$(T_A^4 - T_B^4) = (T_A - T_B) 2T_m (T_m^2 + T_m^2) = (T_A - T_B) 4T_m^3$$

$S_A = S_B$  et  $F_{AB} = 1$  d'où :

$$\frac{1 - \varepsilon_A}{\varepsilon_A} + \frac{1}{F_{AB}} + \frac{S_A(1 - \varepsilon_B)}{S_B \times \varepsilon_B} = \frac{1}{\varepsilon_A} - 1 + 1 + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1 = \frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1$$

$$\text{D'où } \varphi_{ray} = \frac{4 \sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1} (T_A - T_B)$$

**Question 44 :**

Dans la lame d'air, les densités de flux par convection et par rayonnement sont concomitantes :

$$\varphi_{LA} = \varphi_{conv} + \varphi_{ray} = \frac{h_{conv}}{2} (T_A - T_B) + \frac{4 \sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1} (T_A - T_B)$$

$$\text{On pose } h_{ray} = \frac{4 \sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1}$$

$$\varphi_{LA} = \left( \frac{h_{conv}}{2} + h_{ray} \right) (T_A - T_B) = \frac{(T_A - T_B)}{\left( \frac{h_{conv}}{2} + h_{ray} \right)}$$

Par analogie :  $R_{LA} = \frac{1}{\left(\frac{h_{conv}}{2} + h_{ray}\right)}$

**Question 45 :**

	$h_{conv}$	$h_{ray}$	$R_{LA}$	épaisseur d'isolant équivalent
A et B bruts	3.5	4.75	0.15	0.6 cm
A brut, B réfléchissant	3.5	0.26	0.50	2.0 cm
A et B réfléchissants	3.5	0.13	0.53	2.1 cm

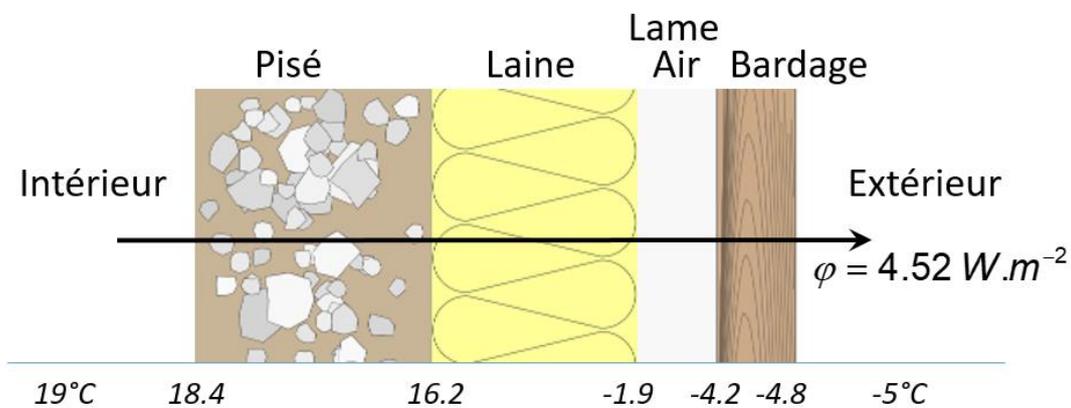
Une surface réfléchissante permet d'augmenter  $R_{LA}$  d'un facteur 3. Une seconde surface réfléchissante n'améliore pas la lame d'air de manière significative.

**Question 46 :**

$$R_{globale} = 0.13 + \frac{0.5}{1} + \frac{0.16}{0.04} + 0.5 + 0.14 + 0.04 = 5.31 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\varphi = \frac{19 + 5}{5.31} = 4.52 \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

En utilisant la continuité du flux :  $\varphi = 4.52 \text{ W} \cdot \text{m}^2 = \frac{\Delta T_{zone}}{R_{zone}}$ , on déduit les différentes températures.



La température moyenne dans le pisé est donc :  $T_{pisé} = \frac{18.4 + 16.2}{2} = 17.3 \text{ °C}$

**Question 47 :**

En configuration ITE, le pisé :

En période estivale :

☺ absorbe les charges internes et les apports solaires et réduit ainsi les pics de température intérieure voire permet de se passer de climatisation avec une surventilation nocturne

⊗ -----

A mi saison :

⊙ limite les éventuelles surchauffes en absorbant les apports solaires puis restitue cette énergie gratuite à l'ambiance intérieure avec un décalage temporel pertinent

⊗ -----

En période hivernale :

⊙ élimine la plupart des ponts thermiques des parois extérieures

⊗ rend difficile les baisses de consignes de température ambiante en période d'inoccupation (we, nuit, ...), régulation pourtant intéressante économiquement compte tenu de l'occupation intermittente des locaux

#### Question 48 :

Effusivité :  $b = \sqrt{\lambda \rho C}$

$$\left. \begin{array}{l} b_{\text{plâtre}} = 454 \\ b_{\text{pisé}} = 1271 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{le pisé est presque 3 fois plus effusif que le plâtre.}$$

Stockage d'énergie :

$$\text{Pisé } C = 850 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \text{ soit } 850 \times 1900 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1} = 1615\,000 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$1615\,000 \times \underbrace{0.5}_{\text{épaisseur}} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1} = 807\,500 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$E = 224 \text{ Wh.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$\text{Plâtre } C = 1000 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \text{ soit } 1000 \times 825 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1} = 825\,000 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$825\,000 \times \underbrace{0.013}_{\text{épaisseur}} \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1} = 10\,725 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

$$E = 3 \text{ Wh.m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$$

L'ITE avec pisé augmente les capacités de stockage des murs d'un facteur 75.

#### Question 49 :

L'équation de la chaleur avec « a » (diffusivité) est :  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$

$$T(x, t) = T_{\text{sem}} + \Delta T_{\text{se}} e^{-Ax} \sin(\omega t + \varphi_0 - Ax)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \Delta T_{se} e^{-Ax} \omega \cos(\omega t + \varphi_0 - Ax)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -A \Delta T_{se} e^{-Ax} \sin(\omega t + \varphi_0 - Ax) - A \Delta T_{se} e^{-Ax} \cos(\omega t + \varphi_0 - Ax)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= A^2 \Delta T_{se} e^{-Ax} \sin(\omega t + \varphi_0 - Ax) + A^2 \Delta T_{se} e^{-Ax} \cos(\omega t + \varphi_0 - Ax) \\ &\quad + A^2 \Delta T_{se} e^{-Ax} \cos(\omega t + \varphi_0 - Ax) - A^2 \Delta T_{se} e^{-Ax} \sin(\omega t + \varphi_0 - Ax) \end{aligned}$$

$$\text{Soit } \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 2A^2 \Delta T_{se} e^{-Ax} \cos(\omega t + \varphi_0 - Ax)$$

En tenant compte de  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$ , on en déduit :  $\omega = 2aA^2$  ou encore  $A = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$

**Question 50 :**

L'énoncé donne :

	Masse volumique □ [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductivité □ [W/m°C]	Chaleur massique C [J/kg°C]
Fibres de bois	50	0.04	2100
Laine de verre	18	0.035	1030

$$\omega = \frac{2\pi}{\rho} = 0.262 \text{ rad.h}^{-1}$$

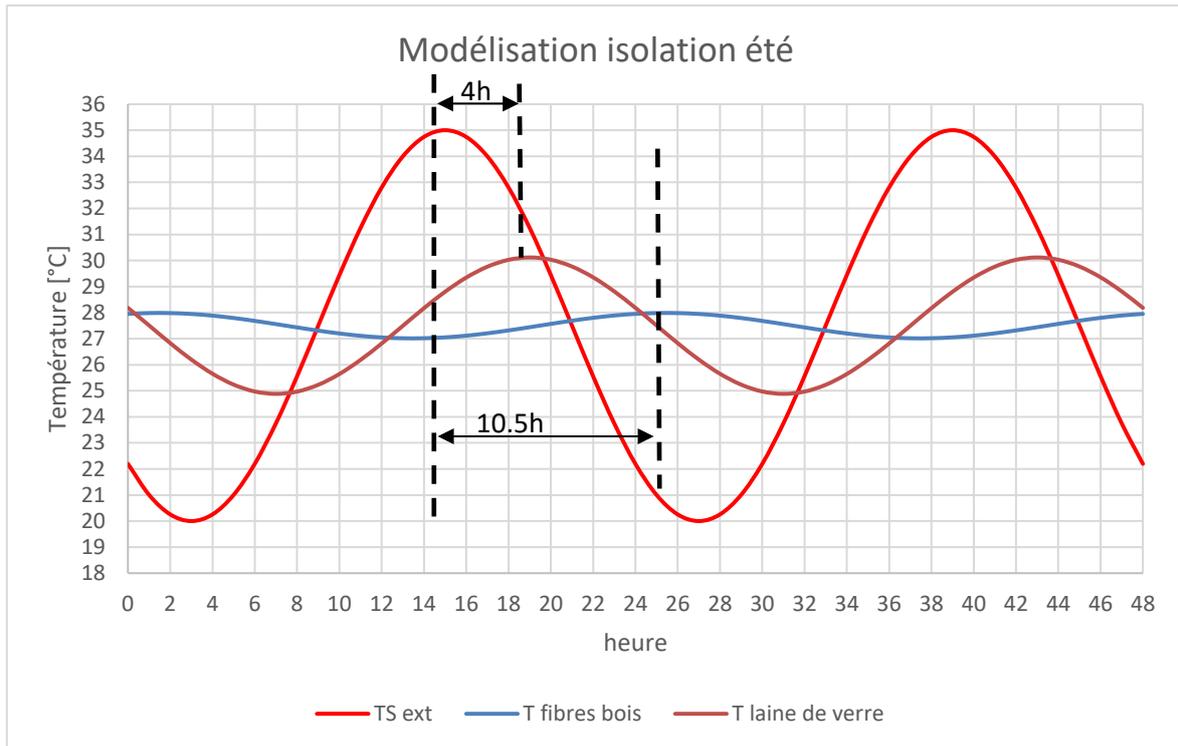
	$e$ [m]	Diffusivité $a = \frac{\lambda}{\rho C}$ [m <sup>2</sup> /h]	$A = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$	décalage temporel $\Delta t = \frac{Ae}{\omega}$	facteur d'amortissement exp(-Ae)	Ae
fibres de bois	0.28	1.37E-03	9.77	10.45	0.065	2.74
laine de verre	0.24	6.80E-03	4.39	4.02	0.349	1.05

**Question 51 :**

$$T_{se} = 27.5 + 7.5 \times \sin\left(\frac{2\pi t}{24} + \frac{5\pi}{4}\right)$$

$$T_{si} = 27.5 + 7.5 \times 0.065 \times \sin\left(\frac{2\pi t}{24} + \frac{5\pi}{4} - 2.74\right) \text{ pour la fibre de bois}$$

$$T_{si} = 27.5 + 7.5 \times 0.349 \times \sin\left(\frac{2\pi t}{24} + \frac{5\pi}{4} - 1.05\right) \text{ pour la laine de verre}$$



$T_{se}$  varie de 20°C à 35°C à 15h.

$T_{si}$  varie de 25°C à 30°C à 19h pour la laine de verre.

$T_{si}$  varie de 27°C à 28°C à 1h30 pour les fibres de bois.

Avec la laine de verre, le pic de température extérieure de l'après-midi se fait ressentir rapidement en intérieur et ce, jusqu'à 20h. L'inconfort en fin de journée est manifeste.

Avec les fibres de bois, l'atténuation est importante et le décalage temporel repousse la pointe en période nocturne.

La température moyenne reste évidemment élevée (27.5°C) mais il suffira d'une ventilation entre 21h et 9h (créneau pendant lequel  $T_{ext}$  sera favorable) pour évacuer efficacement la chaleur transmise et rabaisser  $T_{si}$  quotidiennement. La faible diffusivité des fibres de bois (5 fois inférieure à celle de la laine de verre) associée à une ventilation nocturne permet donc d'améliorer de manière significative le confort thermique estival.

Partie 5 : **Etude de la perméabilité intrinsèque (3 points)**

**Question 52 :**

Gaz parfait :  $P_{res}(t)V = nRT$  avec  $V$  le volume du réservoir donc  $n = \frac{P_{res}(t)V}{RT}$

or  $M_t = nM$  avec  $M$  masse molaire, donc  $M_t = \frac{P_{res}(t)MV}{RT}$

$$Q = \frac{dM_t}{dt} = \frac{MV}{RT} \frac{dP_{res}(t)}{dt}$$

**Question 53 :**

$$\varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \bar{U}) = 0. \text{ Or Darcy : } \bar{U} = -\frac{K_i}{\mu} \bar{\nabla} P$$

$$\text{Donc } \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} - \operatorname{div}\left(\rho \frac{K_i}{\mu} \bar{\nabla} P\right) = 0$$

$$\text{Or } \rho = \frac{\text{masse}}{\text{volume}} = \frac{Mn}{V} = \frac{MP}{RT} = \text{constante} \times P$$

$$\text{Donc } \varepsilon \frac{\partial P}{\partial t} = \operatorname{div}\left(P \frac{K_i}{\mu} \bar{\nabla} P\right)$$

**Question 54 :**

$$\varepsilon \frac{\Delta P}{t_p} = \frac{1}{L} \left( \frac{P_{\text{ext}} K_i}{\mu} \frac{\Delta P}{L} \right)$$

$$\text{Donc } t_p = \frac{\mu \varepsilon L^2}{P_{\text{ext}} K_i}$$

**Question 55 :**

On a montré précédemment en faisant un bilan dans le réservoir :

$$Q = \frac{dM_t}{dt} = \frac{MV}{RT} \frac{dP_{\text{res}}(t)}{dt} \quad (\text{i})$$

En faisant un bilan dans le pisé :  $Q = \rho_{\text{ext}} A U = \frac{MP_{\text{ext}}}{RT} A U$ . Or d'après Darcy :  $U = -\frac{K_i}{\mu} \frac{dP}{dx}$

$$\text{Donc } Q = \frac{MP_{\text{ext}}}{RT} A \frac{K_i}{\mu} \frac{(P_{\text{res}}(t) - P_{\text{ext}})}{L} \quad (\text{ii})$$

$$\text{En tenant compte de (i) et (ii) : } \frac{dP_{\text{res}}(t)}{dt} = \frac{P_{\text{ext}}}{V} A \frac{K_i}{\mu} \frac{(P_{\text{res}}(t) - P_{\text{ext}})}{L}$$

En intégrant cette équation, on trouve :

$$\frac{P_{\text{res}}(t) - P_{\text{ext}}}{P_i - P_{\text{ext}}} = P^*(t) = \exp(-t/\tau) \text{ avec } \tau = \frac{V \mu L_0}{A P_{\text{ext}} K_i}$$

**Question 56 :**

$$\frac{t_p}{t_{vp}} = \frac{\varepsilon AL}{V} = \frac{\text{volume de l'espace des pores dans le pisé}}{\text{volume du réservoir}}$$

Pour que la condition  $t_p \ll t_{vp}$  d'écoulement quasi stationnaire soit satisfaite, il suffit que le réservoir  $V$  soit assez grand devant le volume correspondant à l'espace des pores.

**Question 57 :**

D'après ce qui précède :  $\left. \frac{dP^*}{dt} \right|_{t=0} = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{t_{vp}}$

L'équation de la tangente en  $t=0$  est :  $P^* - 1 = -\frac{t}{t_{vp}}$ .

Pour cette tangente, en  $P^* = 0$ ,  $t = t_{vp}$ .

Expérimentalement, on mesure la pression dans le réservoir en fonction du temps. On représente

$$P^*(t) = \frac{P_{res}(t) - P_{ext}}{P_i - P_{ext}}$$

en fonction du temps. On trace la tangente à l'origine de cette courbe, cette

tangente coupe l'axe des temps à la valeur de  $t = t_{vp}$ . On en déduit alors  $K_i$ .

$$\text{AN : } K_i = \frac{V\mu L_0}{AP_{ext}\tau} = \frac{10^{-3} \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}}{10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 100} = 10^{-13} \text{ m}^2$$

**Question 58 :**

La conservation du débit massique et la viscosité du fluide imposent  $\vec{V} = V(r)\vec{e}_3$

Comme  $\overrightarrow{grad} = \vec{e}_r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\vec{e}_\theta}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} + \vec{e}_3 \frac{\partial}{\partial x_3}$ , alors  $\vec{V} \cdot \overrightarrow{grad} = 0$

L'écoulement étant stationnaire,  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

En projetant l'équation de Navier Stokes sur l'axe  $(O, x_3)$  :

$$\frac{dP}{dx_3} = \mu \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dV}{dr} \right)$$

Compte tenu de l'expression fournie par l'énoncé du gradient de pression, on en déduit :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dV}{dr} \right) = -\frac{G}{\mu}$$

**Question 59 :**

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{dV}{dr} \right) = -\frac{G}{\mu} r \quad \Rightarrow \quad r \frac{dV}{dr} = -\frac{G}{2\mu} r^2 + A$$

$$\Rightarrow \frac{dV}{dr} = -\frac{G}{2\mu} r + \frac{A}{r}$$

$$\Rightarrow V = -\frac{G}{4\mu} r^2 + A \ln(r) + B$$

$A = 0$  car la vitesse en  $r = 0$  ne peut pas être infinie.

Pour un fluide visqueux incompressible, la condition  $V(r = R) = 0$  entraîne :

$$V(r = R) = -\frac{G}{4\mu} R^2 + B = 0 \Rightarrow B = \frac{G}{4\mu} R^2$$

$$\text{Donc : } V = \frac{G}{4\mu} R^2 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

$$\bar{V} = \frac{1}{S} \int_S V(r) dS = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \frac{G}{4\mu} R^2 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) 2\pi r dr$$

Ce qui donne après intégration :

$$\bar{V} = \frac{1}{S} \int_S V_r(r) dS = \frac{G}{8\mu} R^2$$

Et le débit volumique vaut :

$$q_v = S \bar{V} = \frac{G \pi}{8\mu} R^4$$

**Question 60 :**

La seule composante du tenseur des contraintes est la composante de cisaillement  $\tau_{r_3}$  :

$$\tau_{r_3} = \mu \frac{\partial V_p}{\partial r} = -\frac{G}{2} r$$

Cette composante est maximale à la paroi :

$$|\tau_{r_3}| = \frac{GR}{2}$$

La force d'entraînement s'exerçant sur une longueur  $L$  de tube est :

$$F = |\tau_{r3}|(2\pi RL) = G\pi R^2 L$$

$$\text{Or } q_v = S \bar{V} = \frac{G \pi}{8\mu} R^4$$

$$\text{Donc } F = \frac{8\mu q_v L}{R^2}$$

**Question 61 :**

Pour  $n$  tubes, on a donc :

$$Q = nq_v = \frac{nG \pi}{8\mu} R^4$$

La porosité s'écrit :

$$\varepsilon = \frac{1}{S} \frac{n\pi D^2}{4}$$

Des 2 équations précédentes, il vient :

$$Q = \varepsilon \frac{G}{32\mu} D^2 S$$

Ce qui donne la vitesse de filtration suivante :

$$V_f = \varepsilon \frac{G}{32\mu} D^2$$

Qui donne la perméabilité intrinsèque suivante :

$$K_i = \varepsilon \frac{D^2}{32}$$

L'énoncé définit la surface spécifique comme :  $S_{sp} = \frac{2\pi nR}{S}$

En tenant compte également de la porosité,  $R = \frac{D}{2} = \frac{2\varepsilon}{S_{sp}}$

Et finalement :  $K_i = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon^3}{S_{sp}^2}$

**Question 62 :**

Pour un empilement de billes :

$$\varepsilon = \frac{V_{total} - V_{sphères}}{V_{total}} = 1 - \frac{n\pi D^3}{6SL} \text{ d'où } (1 - \varepsilon) \frac{6SL}{n\pi} = D^2$$

Et  $S_{sp} = \frac{n\pi D^2}{SL}$ . Des 2 équations précédentes, on en déduit :

$$S_{sp} = (1 - \varepsilon) \frac{6}{D}$$

Enfin, on en déduit la formule de Kozeny-Carman :

$$K_i = \frac{\varepsilon^3 D^2}{72(1 - \varepsilon)^2}$$

**Question 63 :**

$$\tau = \frac{L'}{L} = \frac{\pi R}{2R} = \frac{\pi}{2}$$

On en déduit :  $K_i = \frac{4\varepsilon^3 D^2}{72\pi^2 (1 - \varepsilon)^2} \approx \frac{\varepsilon^3 D^2}{180(1 - \varepsilon)^2}$

$$\text{AN : } D = (1 - \varepsilon) \sqrt{\frac{K_i 180}{\varepsilon^3}} \Rightarrow D = (1 - 0.4) \sqrt{\frac{180 \times 10^{-13}}{0.4^3}} = 10^{-5} \text{ m} = 10 \mu\text{m}$$

## ***II.2 Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation***

Le sujet proposé portait sur l'étude du bâtiment 05 de l'Ilot B2 à Lyon confluence (69) réalisé en 2020-2021. Une des particularités de ce bâtiment est la présence de façades porteuses constituées de plusieurs arches à base d'éléments préfabriqués en pisé. L'objectif de cette épreuve était d'étudier ces façades en pisé à travers une campagne de reconnaissance du sol, une étude de l'arche en pisé et d'une poutre en flexion, une étude thermique du mur en pisé et de sa perméabilité.

Ce sujet se décomposait en **5 parties indépendantes** :

- Partie 1 : Campagne de reconnaissance du sol (4.5 points)
- Partie 2 : Etude de l'arche en pisé (3.5 points)
- Partie 3 : Etude d'une poutre en flexion (2 points)
- Partie 4 : Etude thermique du mur en pisé (7 points)
- Partie 5 : Etude de la perméabilité intrinsèque (3 points)

La **partie 1** était centrée sur une campagne de reconnaissance géotechnique, combinant des essais sur site et des essais de laboratoire. L'objectif était d'évaluer les compétences théoriques en mécanique et en hydraulique des sols (essais de caractérisation, diagrammes des contraintes totales et effectives,

écoulement dans les sols, calcul des tassements, essais triaxiaux et essais pressiométriques). Cette partie a été abordée par la majorité des candidats mais les résultats obtenus ont été plutôt décevants avec la moitié des copies ayant reçues une note inférieure à 0,75 sur 4,5 points et moins de 10% des copies ont obtenu une note supérieure à la moyenne.

La **partie 2** avait pour objectif de présenter l'étude de la stabilité d'un arc en pisé, en allant de la caractérisation du matériau au calcul de structure (via un calcul d'arc simplifié et l'étude d'un calcul numérique aux éléments finis). Malgré des questions assez classiques (calcul d'un module d'Young et d'un coefficient de Poisson, étude d'un arc chargé uniformément, analyse d'un essai de compression simple...) les résultats obtenus ont été assez faibles avec environ la moitié des copies ayant une note inférieure à 0,5 sur 3,5. Très peu de copies (5%) ont reçu une note supérieure à la moyenne.

La **partie 3** avait pour objectif de présenter le calcul d'une poutre bi-rotulée suivant deux approches : l'approche « classique » s'appuyant sur la théorie des poutres et une approche plus générale permettant de vérifier les compétences des candidats en mécanique des milieux continus. La **partie 3.1** sur la « théorie des poutres » était très classique. Il est alors étonnant qu'un sixième des candidats ne l'ai pas traitée, et que seulement 15% des copies aient eu tous les points. Néanmoins, plus de la moitié des copies ont obtenu une note supérieure à la moyenne. La **partie 3.2** sur la « mécanique des milieux continus » n'a quant à elle été traitée que par 20% des candidats, et seules quelques copies ont eu une note supérieure à la moyenne. Au global, un peu moins d'un quart des copies ont obtenu une note supérieure à la moyenne sur cette partie 3.

L'objectif de la **partie 4** était de mettre en évidence l'intérêt d'une isolation extérieure pour un mur en pisé du point de vue thermique ainsi que de l'utilisation d'un isolant biosourcé : calcul de résistances thermiques, de flux, de profil de températures dans une paroi multicouche, étude de l'inertie, du déphasage et de l'amortissement d'un matériau biosourcé, Elaboré de manière très progressive, cette partie a été abordée par la majorité des candidats sans exceller malgré la relative simplicité des développements et calculs demandés. Un tiers des copies ont eu moins de 2 points sur 7. Un tiers des copies ont eu une note supérieure à la moyenne.

L'objectif de la **partie 5a** était de déterminer la perméabilité intrinsèque du pisé par une méthode expérimentale basée sur la mesure de la pression au cours d'une vidange à travers un échantillon de pisé. L'objectif de la **partie 5b** était de modéliser la perméabilité et d'utiliser sa valeur expérimentale de manière à déterminer un diamètre de grains équivalent. Par manque de temps probablement, les résultats à cette partie se sont avérés très décevants : 80% des candidats n'ont pas (ou très peu) traité cette partie et quelques rares copies ont obtenu une note supérieure à la moyenne.

#### **Remarques et conseils du jury :**

Les **parties 1, 2 et 3** avaient pour but de cibler un spectre assez large, tant d'un point de vue thématique (géotechnique, structure, matériau) que technique (développements mathématiques, traitement de données expérimentales de laboratoire et in-situ, analyse critique de résultats...). Certaines questions abordables (calcul de la pente d'une droite, tracé d'une courbe, identification de paramètres ect...) n'ont pas été traitées alors qu'elles pouvaient l'être de manière indépendante des questions précédentes. En outre, des questions assez classiques (calcul des efforts internes dans un arc et dans une poutre bi-rotulée soumis à des chargements uniformément répartis, diagrammes des contraintes totales et effectives dans un sol, étude d'un essai triaxial de révolution) n'ont pas été traitées correctement par une grande majorité des candidats.

Concernant les **parties 4 et 5**, parties ciblant respectivement des connaissances en thermique et en énergétique/mécanique des fluides : les résultats s'avèrent décevants car ces parties ont été négligées dans plus de la moitié des copies. Cela est d'autant plus regrettable qu'elles ne comportaient aucune difficulté majeure :

- Le niveau mathématique requis se limitait au calcul d'intégrales simples,
- Les domaines abordés restaient classiques et les savoirs nécessaires étaient généralement fournis,
- Aucune question ne demandait de développement fastidieux, ni ne nécessitait de données manquantes ou hypothèses laissées à l'initiative du candidat.

Globalement, sur l'ensemble du sujet, le niveau des calculs mathématiques ne présentait pas de difficulté particulière. Les thématiques abordées étaient de nature très classique dans chacune des disciplines.

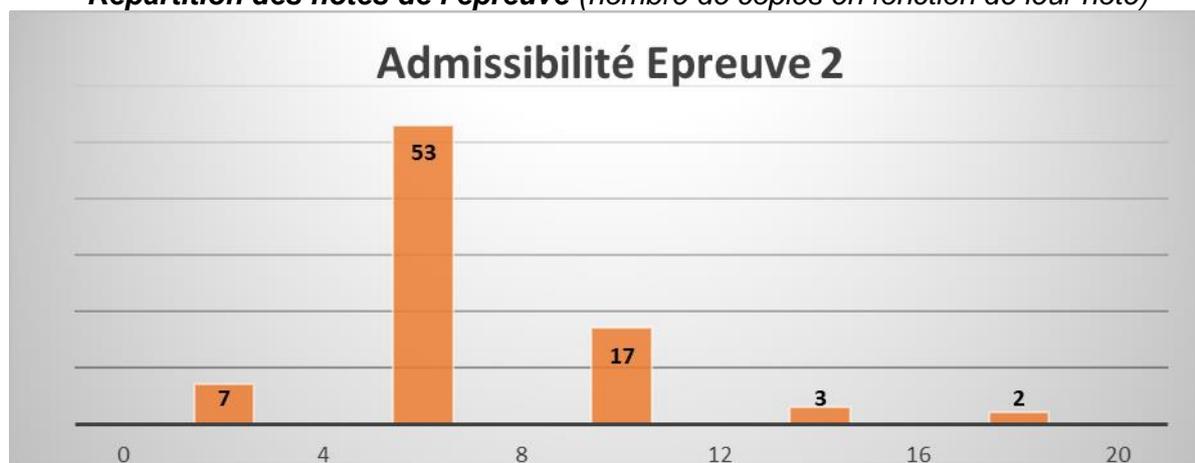
A l'issue de la correction de l'épreuve et au vu des résultats, le jury rappelle aux futurs candidats qu'il est important :

- 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, ...,
- 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,
- De veiller à traiter les questions avec la méthode indiquée, le cas échéant.

Les candidats ayant réussi cette épreuve sont ceux qui ont fait l'effort d'aborder de façon conséquente chacune des parties. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours.

82 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 7/20, avec un écart-type de 2,9. La meilleure note est 17,88/20, la plus faible est 2,5/20.

**Répartition des notes de l'épreuve (nombre de copies en fonction de leur note)**



### III. Epreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

#### III.1 Eléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Le sujet proposé pour cette épreuve de conception de sciences industrielles de l'ingénieur option Option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

[https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externer/07/5/s2022\\_agreg\\_externer\\_sii\\_constructions\\_3\\_1425075.pdf](https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/07/5/s2022_agreg_externer_sii_constructions_3_1425075.pdf)

#### III.2 Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

##### ÉTUDE 1. STRUCTURE PORTEUSE DU BATIMENT COLLECTIF

##### 1.1 Étude des poutres support de la toiture en bois lamellé collé



**Q1. Les poutres étudiées sont réalisées en bois lamellé collé. Expliquer le mode de fabrication de ce type de poutre. Quel est l'intérêt de cette technique ?**

La technique réside en un assemblage des lamelles triées pour leur résistance (purge des bois avec des défauts importants), précédemment séchées, calibrées et aboutées par collage. Mises sous presse pour la mise en forme d'éléments éventuellement cintrés, ces pièces sont alors rabotées et taillées aux dimensions voulues.

La technique du lamellé collé permet de réaliser les ouvrages structurels, poutres et poteaux, en fonction des besoins réels (section variable, ouvrage cintré,...).

**Q2. Proposer une solution technologique pour réaliser l'assemblage des poutres en bois lamellé collé sur les murs de refends en agglos à bancher.**

Le CCTP impose :

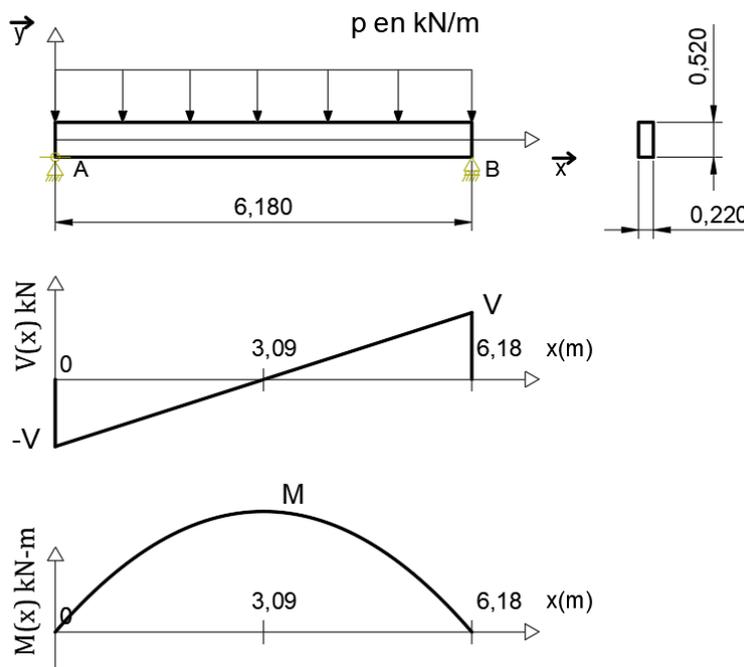
Ferrures d'ancrage dans refends en maçonnerie d'agglomérés de ciment, réalisées en tôles d'acier d'épaisseur 8mm mini, coupées au laser selon dimensions, et soudées à l'arc, y compris chevilles de fixation, adaptées aux supports, dimensionnées selon prescriptions du fabricant,

Poutres en épicea lamellé collé de section 220x520 posés entre refends sur les ferrures ci avant, maintien dans celles-ci par broches en nombre et de diamètre soigneusement dimensionnés ; outre les charges induites par la charpente et la couverture, ces sommiers reprennent également des efforts induits par les murs de façades, notamment efforts climatiques,

**Q3. Proposer un schéma mécanique de la poutre étudiée (Modélisation des appuis, longueur de calcul, section de la poutre, actions mécaniques à prendre en compte sans les quantifier). Pour la modélisation proposée, tracer l'allure des diagrammes représentatifs des efforts tranchants et des moments fléchissants et détailler le calcul des valeurs particulières.**

On peut considérer le schéma mécanique suivant :

- poutre de longueur 6,18 m sur 2 appuis (1 articulation et 1 appui simple),
- poutre en lamellé collé de largeur 22 mm et de hauteur 52 mm ;
- charge linéairement répartie modélisant les actions variables (neige, vent, exploitation) et actions permanentes (poids de la couverture et de la poutre)



$$V = \frac{p \times L}{2}$$

$$M = \frac{p \times L^2}{8}$$

**Q4. En considérant à l'ELU un moment fléchissant de 41 kN.m et un effort tranchant de 27 kN, calculer la contrainte maximum en flexion  $\sigma_{m,d}$  et la contrainte maximum de cisaillement  $\tau_d$ .**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_u}{I_{Gz}} \times y = \frac{M_u}{b \cdot h^3} \times \frac{h}{2} = \frac{M_u}{b \cdot h^2} = \frac{41 \cdot 10^3}{\frac{0,22 \cdot 0,52^2}{6}} = 4,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_u}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \times \frac{27 \cdot 10^3}{0,22 \times 0,52} = 0,36 \text{ MPa}$$

**Q5. A partir de la méthode de dimensionnement fournie à l'annexe 1 et en considérant à l'E.L.U une contrainte maximum en flexion  $\sigma_{m,d} = 5 \text{ MPa}$  et une contrainte maximum de cisaillement  $\tau_d = 0,4 \text{ MPa}$ , vérifier les critères de résistance en flexion simple et en cisaillement.**

$$\sigma_{m,d} = 5 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = k_h \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 1,01 \times 0,60 \times \frac{24}{1,25} = 11,63 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 0,4 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,60 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,29 \text{ MPa}$$

**Q6. A partir de la méthode de dimensionnement fournie à l'annexe 1 et en considérant des actions permanentes  $g = 4 \text{ kN/m}$  et des actions climatiques  $s = 3 \text{ kN/m}$ , vérifier les flèches de la poutre étudiée.**

Classe de service 1 ou 2 accepté.  $K_{\text{def}} = 0,6$  ou  $0,8$

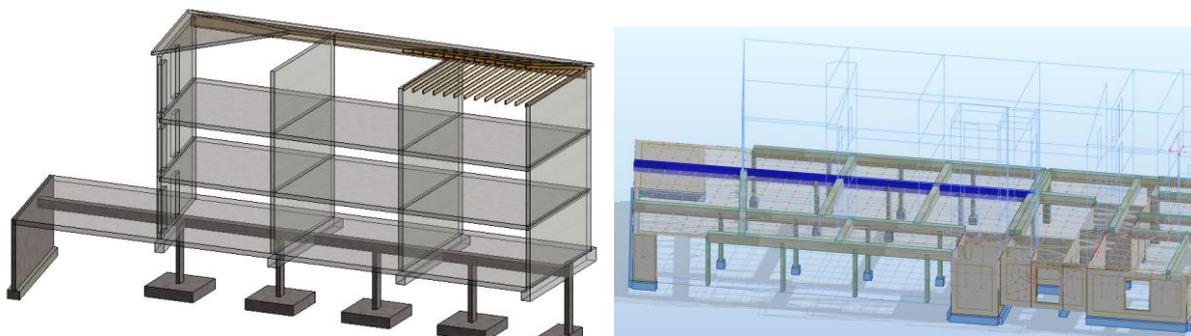
$$v \leq v_{\text{lim}} = \frac{L}{250} = \frac{6,18}{250} = 0,024 \text{ m}$$

$$v = v_{\text{fin}}(g) + v_{\text{fin}}(s \& w) = 0,0041 \text{ m} + 0,0020 \text{ m} = 0,0061 \text{ m}$$

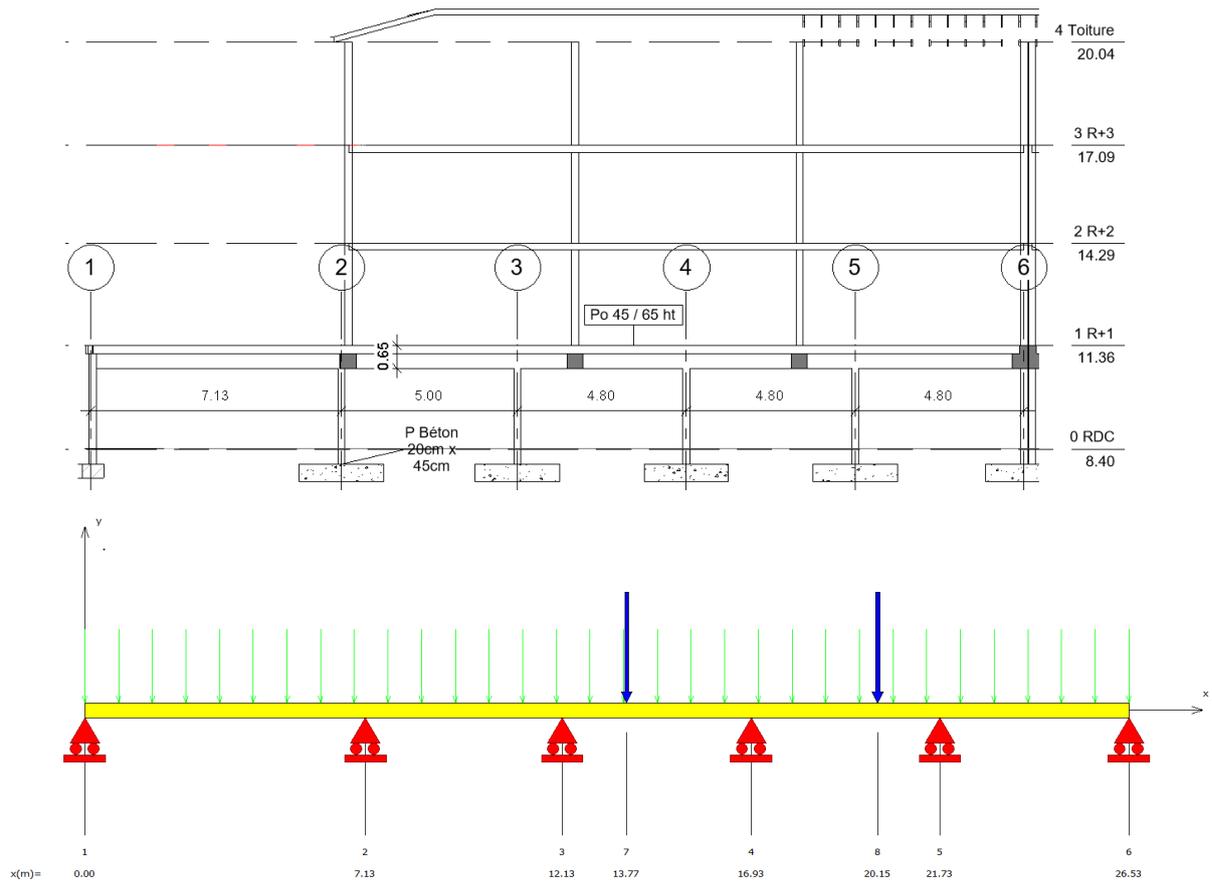
$$v_{\text{fin}}(g) = v_{\text{inst}}(g) \times (1 + K_{\text{def}}) = \frac{5 \times g \times L^4}{384 \times E \times I_{Gz}} (1 + K_{\text{def}}) = \frac{5 \times 4 \cdot 10^3 \times 6,18^4}{384 \times 11,6 \cdot 10^9 \times \frac{0,22 \times 0,52^3}{12}} (1 + 0,6) = 0,0041 \text{ m}$$

$$v_{\text{fin}}(s) = v_{\text{inst}}(s) = \frac{5 \times s \times L^4}{384 \times E \times I_{Gz}} = \frac{5 \times 3 \cdot 10^3 \times 6,18^4}{384 \times 11,6 \cdot 10^9 \times \frac{0,22 \times 0,52^3}{12}} = 0,002 \text{ m}$$

### Étude d'une poutre de reprise en béton armé



**Q7. Proposer un schéma mécanique pour la poutre étudiée (Nombre d'appuis, Longueurs entre appuis, Section, Actions mécaniques sans les quantifier).**



On peut modéliser la poutre étudiée par une poutre continue de 26,53 m de 5 travées de 7,13 m, 5,00 m et 3 fois 4,80 m.

La poutre est une poutre en béton armé de 45 cm de large et de 65 cm de haut avec une dalle haute du RDC de 0,23 m et une retombée de 0,42 m.

Les actions mécaniques sont composées de :

- d'une charge répartie engendrée par la dalle haute du RdC (charges permanentes et charges d'exploitation),
- de 2 actions ponctuelles engendrées par les murs porteurs de refends.

**Q8. Commenter les allures des diagrammes représentatifs des efforts tranchants  $V(x)$  et des moments fléchissants  $M(x)$  ci-dessus. Tracer l'allure de la déformée sur le document réponse DR1.**

Coupe longitudinale au droit de la poutre étudiée

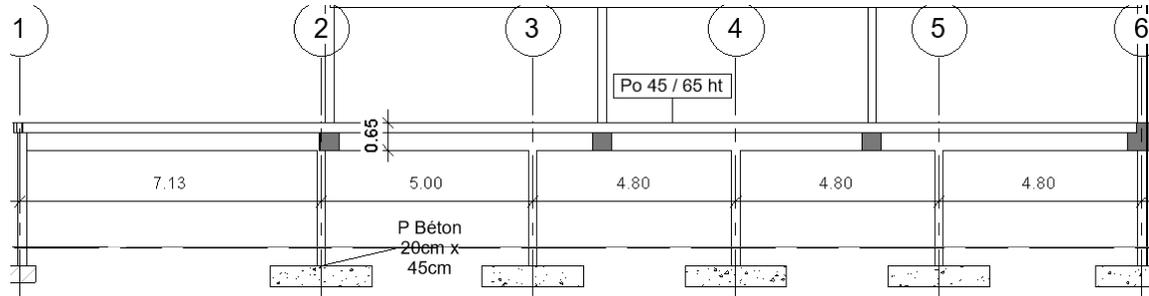


Diagramme représentatif des efforts tranchants  $V(x)$  en kN



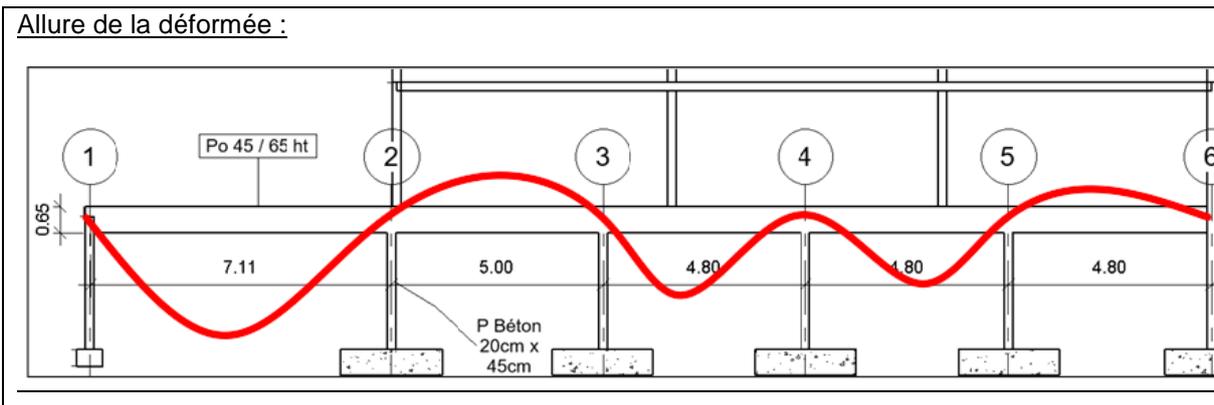
Commentaires : Les efforts tranchants varient progressivement et linéairement avec la charge répartie et ont des variations rapides au droit des 5 appuis et des 2 actions ponctuelles.

Diagramme représentatif des moments fléchissants  $M(x)$  en kN.m



Commentaires : Pour les moments fléchissants, on retrouve les 4 moments négatifs sur les 4 appuis intermédiaires, 2 moments importants et positifs au droit des 2 actions ponctuelles.

Allure de la déformée :



**Q9. A partir de la méthode de dimensionnement fournie à l'annexe 2 et en considérant à l'ELU un moment fléchissant en travée de 580 kN.m et sur appuis de -340 kN.m, déterminer les armatures longitudinales de la poutre entre les files 3 et 4.**

Armatures en travée :

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1.5} = 20 \text{ MPa}$$

$$d = 0,9 \times h = 0,9 \times 0,65 = 0,585 \text{ m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{580 \cdot 10^3}{0,45 \times 0,585^2 \times 20 \cdot 10^6} = 0,1883 \leq 0,3717$$

$$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,1883}) = 0,263$$

$$z_u = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha_u) = 0,585 \cdot (1 - 0,4 \times 0,263) = 0,523 \text{ m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u \cdot f_{yd}} = \frac{580 \cdot 10^3}{0,523 \times 435 \cdot 10^6} = 25,5 \text{ cm}^2$$

On choisit 2 lits de 7 HA16 soit 28,13 cm<sup>2</sup>

Armatures sur appuis :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{340 \cdot 10^3}{0,45 \times 0,585^2 \times 20 \cdot 10^6} = 0,1104 \leq 0,3717$$

$$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,1104}) = 0,1466$$

$$z_u = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha_u) = 0,585 \cdot (1 - 0,4 \times 0,1466) = 0,551 \text{ m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u \cdot f_{yd}} = \frac{340 \cdot 10^3}{0,551 \times 435 \cdot 10^6} = 14,2 \text{ cm}^2$$

On choisit 1 lit de 7 HA12 et 1 lit de 6HA12 soit 14,69 cm<sup>2</sup>

**Q10. A partir de la méthode de dimensionnement fournie à l'annexe 2 et en considérant à l'ELU un effort tranchant de 635 kN sur la file 3 et de 430 kN sur la file 4, déterminer les armatures transversales.**

Effort tranchant maxi sans armatures :

$$V_{Rd,c}^{(N)} = \sup \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}; v_{\min} \right] b_w d$$

$$= \sup \left[ \frac{0,18}{1,5} \times 1,585 \left( 100 \times 9,68 \cdot 10^{-3} \times 30 \right)^{1/3}; \frac{0,053}{1,5} \cdot 1,585^{3/2} \cdot 30^{1/2} \right] b_w d$$

$$= \sup [0,585; 0,386] b_w d = 0,585 \times 0,45 \times 0,585 = 0,154 \text{ MN}$$

Il est nécessaire de mettre des armatures d'effort tranchant.

Effort tranchant maximum :

$$V_{Rd,max} = 0,5 b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} = 0,5 \times 0,45 \times 0,9 \times 0,585 \times 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] \times 20 = 1,25 \text{ MN}$$

On choisit 1 cadre HA 8 et 5 épingles HA8 soit  $A_{sw} = 3,52 \text{ cm}^2$

Au droit de la file 3, l'espacement maxi entre les armatures transversales est

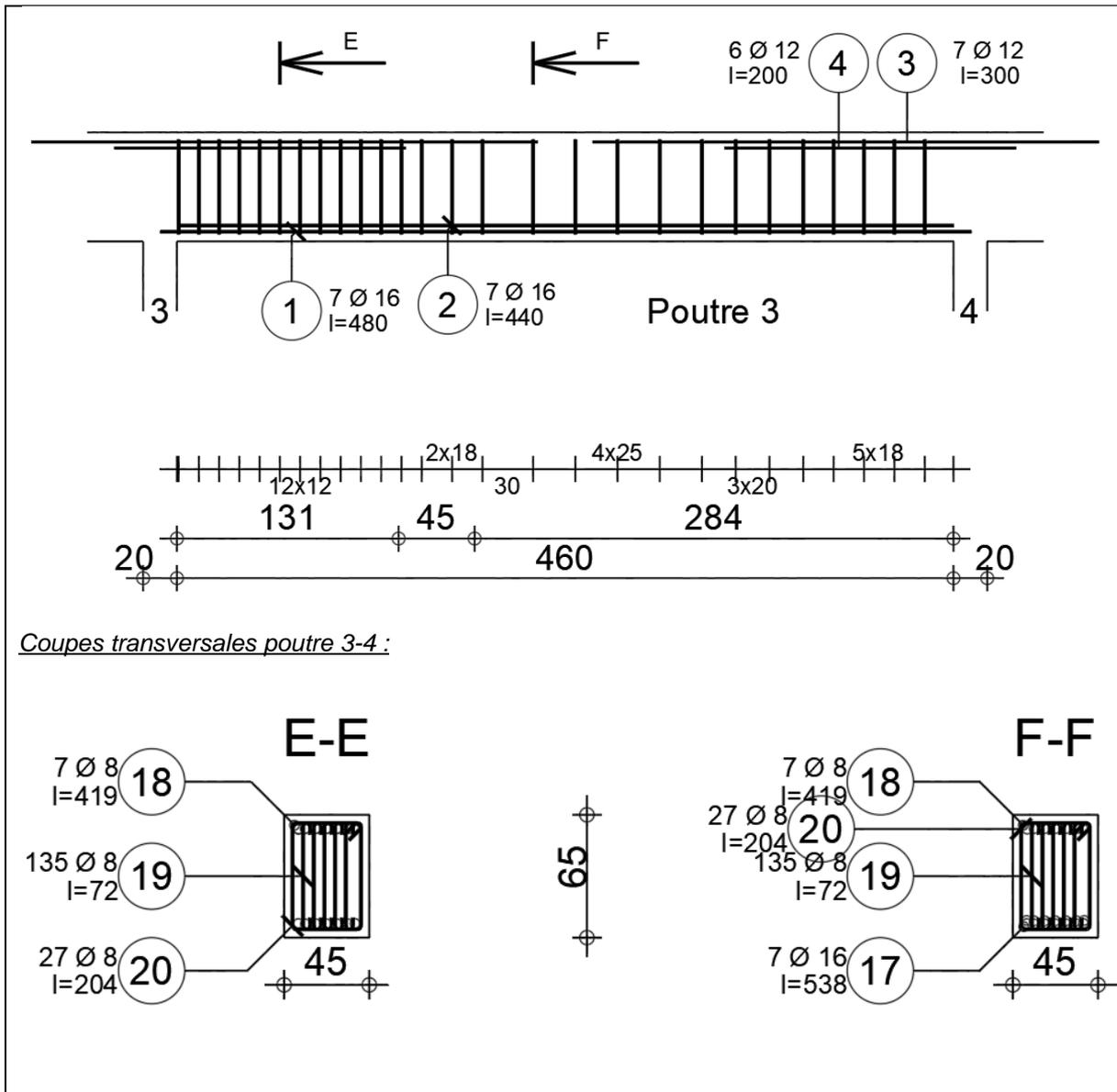
$$s \leq \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} = \frac{3,52 \cdot 10^{-4} \times 0,526 \times 435 \cdot 10^6}{635 \cdot 10^3} = 0,127 \text{ m}$$

Au droit de la file 4, l'espacement maxi entre les armatures transversales est

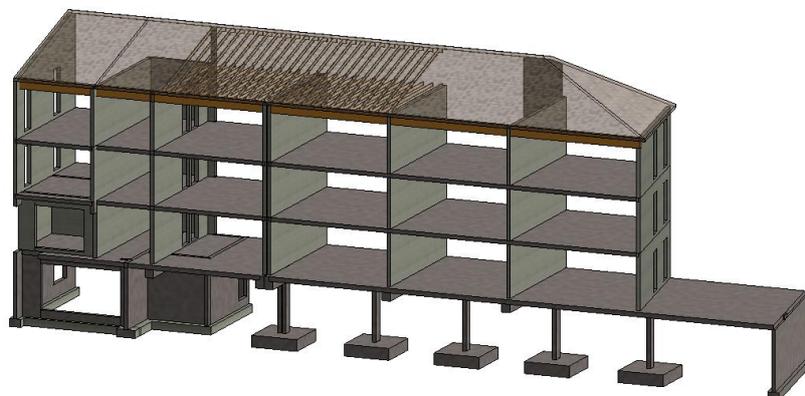
$$s \leq \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} = \frac{3,52 \cdot 10^{-4} \times 0,526 \times 435 \cdot 10^6}{430 \cdot 10^3} = 0,187 \text{ m}$$

**Q11. Représenter les armatures calculées sur le document réponse DR2.**

<u>Dessin des armatures longitudinales et transversales :</u> <u>Elévation poutre 3-4</u>
--



### 1.3 Étude des fondations



**Q12. Expliquer le principe de réalisation des inclusions rigides pour le renforcement du sol.**

L'inclusion rigide est un procédé de renforcement de sol utilisant une inclusion en béton ou en mortier réalisée dans tout type de terrain, y compris dans les sols très compressibles et organiques, pour réduire les tassements et augmenter la capacité portante.

### Principe de réalisation

Une fois la plateforme de travail réalisée, la foreuse se met en position et l'enregistrement des paramètres commence. En général, une tarière à refoulement ou un tube vibrofoncé est utilisé pour descendre jusqu'à la profondeur prévue. Le béton ou le mortier remplit l'empreinte laissée par l'outil au fur et à mesure de sa remontée. L'arase du béton est réalisée en général dans le béton frais. Une fois le béton durci, le recépage est réalisé par des moyens mécaniques (marteau piqueur à main, sciage, écarteur à béton, ...).

### Q13. Calculer l'action de la fondation sur le sol et vérifier la capacité portante des semelles aux ELU.

$$R = 1275kN + 1,35 \times 25 \times (2,74 \times 0,20 \times 0,45 + 2,40 \times 2,40 \times 0,60) = 1275 + 125 = 1400kN$$
$$\sigma = \frac{1,4}{2,4 \times 2,4} = 0,24 \leq 0,30 \text{ MPa}$$

### Q14. A partir de la méthode de dimensionnement fournie, déterminer les armatures de la semelle.

Expression du moment réglementaire pour calculer les armatures en flexion simple

Suivant la direction perpendiculaire à la petite dimension du poteau

$$M_{Edy} = \frac{N_{Ed}}{2c'} \left[ \frac{c'}{2} - 0,35c \right]^2 = \frac{N_{Ed} [c' - 0,7c]^2}{8c'} = \frac{1400 [2,4 - 0,7 \times 0,2]^2}{8 \times 2,4} = 372,43 \text{ kN.m}$$

Avec un enrobage de 30 mm et des aciers HA 12  $d_y = 0,564 \text{ m}$   $d_y \geq \frac{c' - c}{4} \Rightarrow 0,564 \geq \frac{2,4 - 0,2}{4} = 0,55$

donc pas armatures d'effort tranchant.

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{372,43 \cdot 10^3}{2,4 \times 0,564^2 \times 16,67 \cdot 10^6} = 0,0293 \leq 0,3717$$
$$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0293}) = 0,0371$$
$$z_u = d \cdot (1 - 0,4\alpha_u) = 0,585 \cdot (1 - 0,4 \times 0,0371) = 0,556 \text{ m}$$
$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u \cdot f_{yd}} = \frac{372,43 \cdot 10^3}{0,556 \times 435 \cdot 10^6} = 15,42 \text{ cm}^2$$

Il faut donc 14 HA 12 espacés de 0,177 m soit 15,82 cm<sup>2</sup>.

Dans l'autre direction, on choisit également des aciers HA 12

Ainsi  $d_x = 0,552 \text{ m}$   $d_x \geq \frac{b' - b}{4} \Rightarrow 0,552 \geq \frac{2,4 - 0,45}{4} = 0,488$

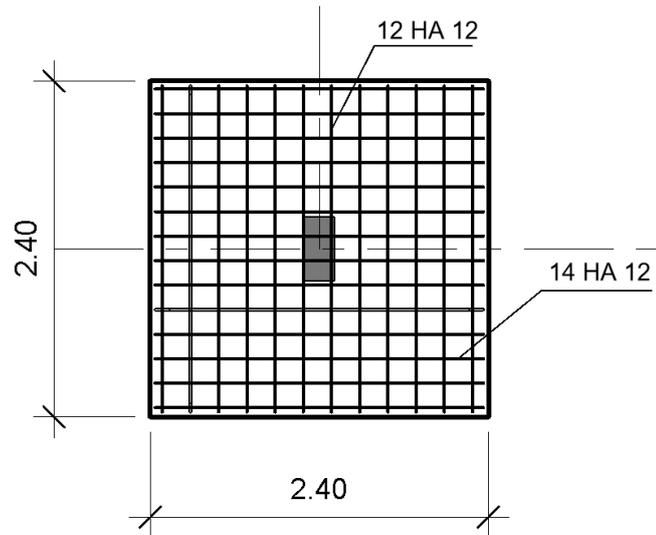
Donc il n'y a pas lieu de prévoir des armatures d'effort tranchant.

$$M_{Edx} = \frac{N_{Ed}}{2b'} \left[ \frac{b'}{2} - 0,35b \right]^2 = \frac{N_{Ed} [b' - 0,7b]^2}{8b'} = \frac{1400 [2,4 - 0,7 \times 0,45]^2}{8 \times 2,4} = 317 \text{ kN.m}$$

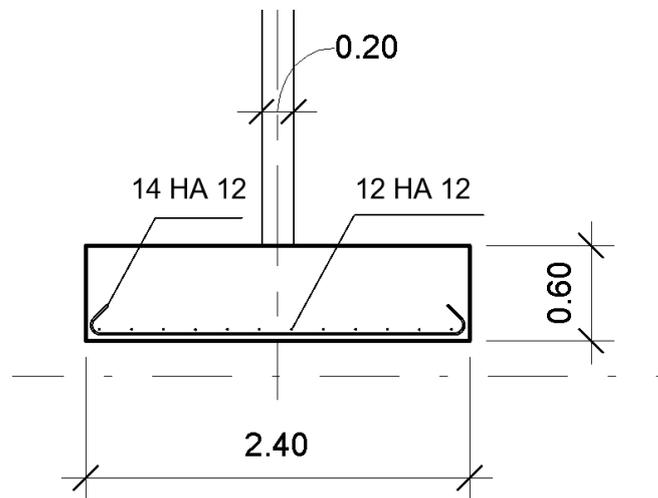
$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{317 \cdot 10^3}{2,4 \times 0,552^2 \times 16,67 \cdot 10^6} = 0,026 \leq 0,3717$$
$$\alpha_u = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,026}) = 0,0329$$
$$z_u = d \cdot (1 - 0,4\alpha_u) = 0,552 \cdot (1 - 0,4 \times 0,0329) = 0,545 \text{ m}$$
$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u \cdot f_{yd}} = \frac{317 \cdot 10^3}{0,545 \times 435 \cdot 10^6} = 13,38 \text{ cm}^2$$

Il faut donc 12 HA 12 espacés de 0,209 m soit 13,56 cm<sup>2</sup>.

Q15. Représenter les armatures de la semelle sur le document réponse DR3.



Vue en plan de la semelle (sans échelle)



Coupe semelle (sans échelle)

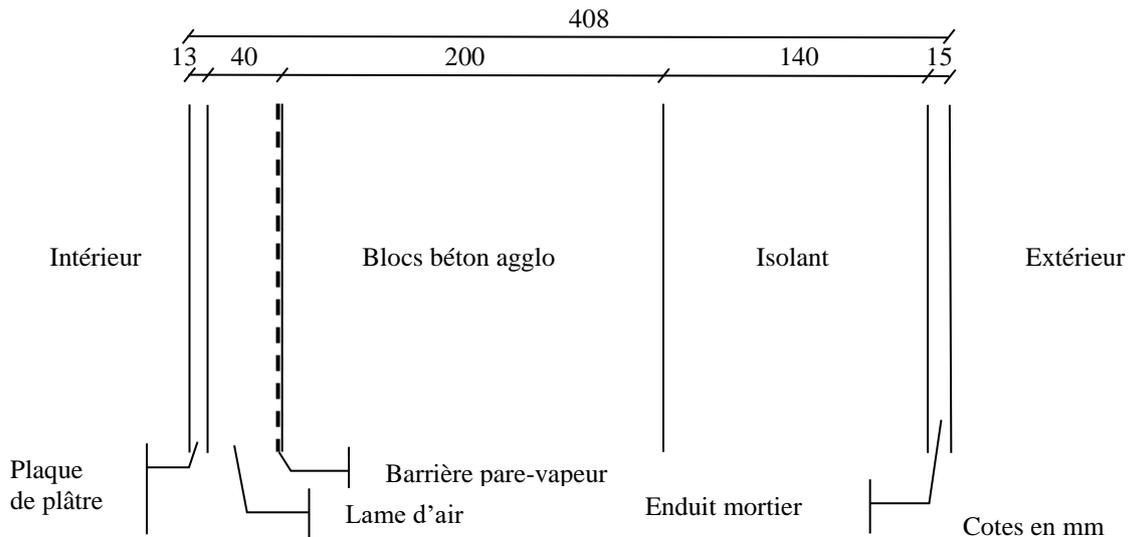
## ÉTUDE 2. CONFORTS ET EQUIPEMENTS TECHNIQUES

### 2.1 Etude de deux parois type

« murs pignons extérieurs ».

Q16 Faire un schéma en coupe de la paroi et calculer son coefficient de transfert thermique U.

Schéma de la paroi :



La lame d'air est interrompue par les ossatures métalliques supportant les plaques de plâtre BA13. On négligera l'effet de ces ossatures sur les transferts de chaleur comme celui du pare-vapeur.

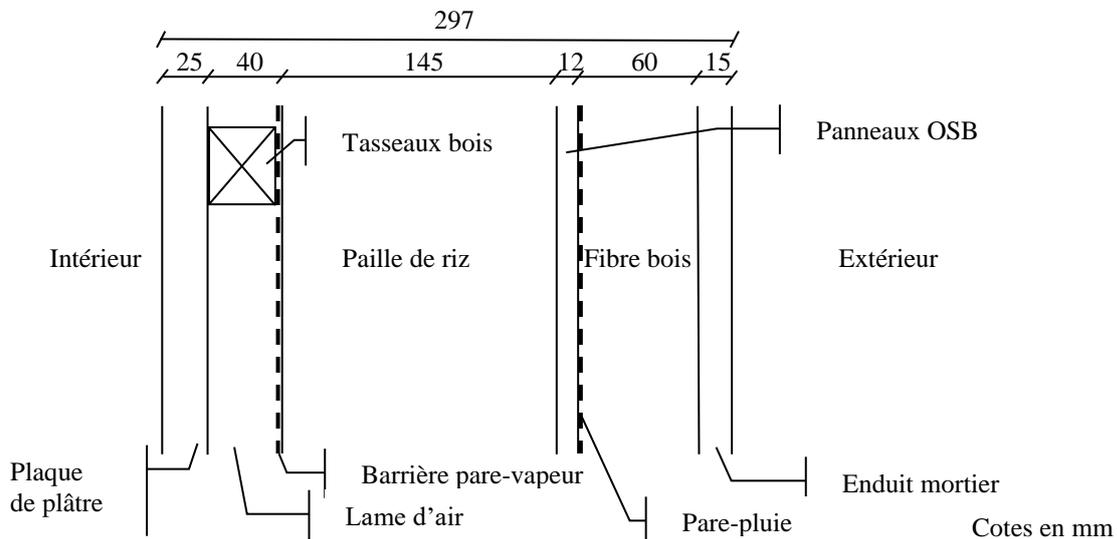
$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{\lambda}_{\text{plâtre}} + R_{\text{lame d'air}} + R_{\text{agglo}} + \frac{e}{\lambda}_{\text{isolant}} + \frac{e}{\lambda}_{\text{enduit}} + R_{se}}$$

$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,18 + 0,23 + \frac{0,14}{0,039} + \frac{0,015}{1,3} + 0,04} = 0,237 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$$

« murs de façade en ossature bois ».

**Q17 Faire un schéma en coupe de la paroi et calculer son coefficient de transfert thermique U.**

Schéma de la paroi :



La lame d'air est interrompue par les tasseaux en bois supportant les plaques de plâtre BA25. On négligera l'effet de ces éléments sur les transferts de chaleur comme celui du pare-vapeur et du pare-pluie. La couche de paille de riz est elle aussi interrompue par une ossature bois (principalement perpendiculaire aux tasseaux donc non représentée sur la coupe). S'agissant ici d'une couche isolante interrompue, et même en présence d'une autre couche isolante continue (fibre de bois), on va prendre

en compte l'impact de cette ossature sur le coefficient de transfert. On calcule tout d'abord le coefficient en zone courante, c'est-à-dire en ne se situant pas au droit de l'ossature.

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{\lambda}_{\text{plâtre}} + R_{\text{lame d'air}} + R_{\text{paille de riz}} + \frac{e}{\lambda}_{\text{OSB}} + \frac{e}{\lambda}_{\text{fibre de bois}} + \frac{e}{\lambda}_{\text{enduit}} + R_{se}}$$

$$U_c = \frac{1}{0,13 + \frac{0,025}{0,25} + 0,18 + 3,72 + \frac{0,012}{0,13} + \frac{0,06}{0,039} + \frac{0,015}{1,3} + 0,04} = 0,172 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$$

(voir Annexe 3) La couche de fibre de bois ayant une résistance de  $0,06/0,039 = 1,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} > 0,75 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , elle doit être considérée comme une couche complémentaire. L'entraxe étant inconnu, on peut par exemple prendre le cas le plus défavorable (400 mm). La valeur de  $\Delta U$  est dentique pour des montants de 36 ou 50 mm. Les montants de la paroi étudiée étant de 45 mm, on peut adopter cette valeur.  $\Delta U = 0,05 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^2$ .

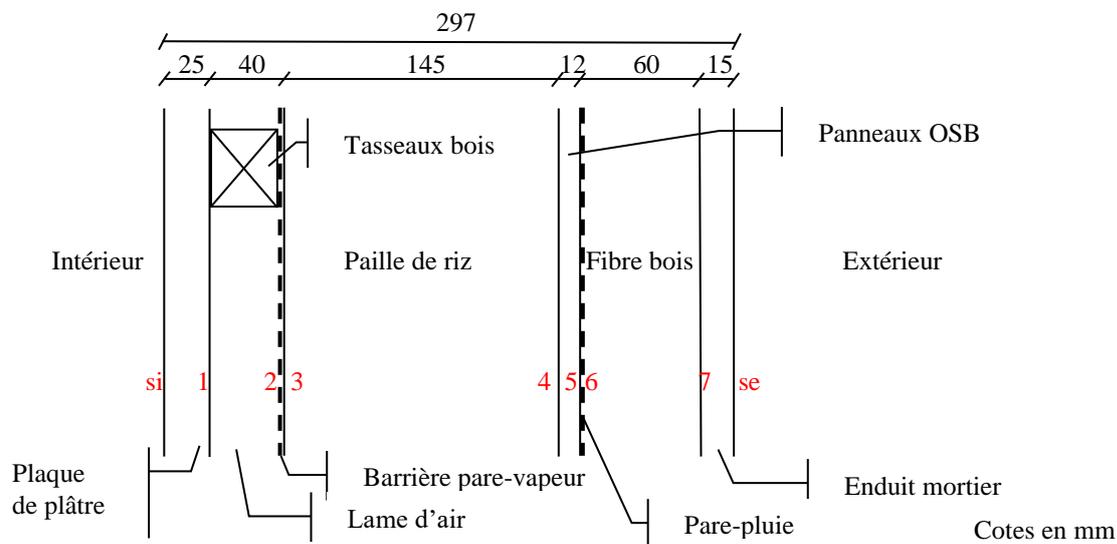
$$U_p = U_c + \Delta U = 0,172 + 0,05 = 0,222 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \text{m}^{-2}$$

### Q18 Démontrer qu'avec une barrière vapeur (...), il n'y pas de risque de condensation ...

Pour cela nous devons comparer les pressions de vapeur aux pressions de vapeur saturante en chaque point de la paroi.

Calcul des températures aux surfaces et interfaces de la paroi et déduction des pressions de vapeur saturante.

On peut par exemple repérer ainsi les surfaces et interfaces :



La densité de flux traversant la paroi dans les conditions données est :

$$\varphi = 0,172 \times (19 - (-4)) = 3,957 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Le flux étant continu dans la paroi :

$\theta_{si} = \theta_i - R_{si} \varphi = 19 - 0,13 \times 3,957 = 18,49 \text{ }^\circ\text{C}$  selon l'Annexe 6, la pression saturante pour cette température est d'environ 2131 Pa

$\theta_1 = \theta_{si} - R_{\text{plâtre}} \varphi = 18,49 - \frac{0,025}{0,25} \times 3,957 = 18,09 \text{ }^\circ\text{C}$  selon l'Annexe 6,  $P_{vs1} = 2077 \text{ Pa}$

$\theta_2 = \theta_1 - R_{\text{lame d'air}} \varphi = 18,09 - 0,18 \times 3,957 = 17,38 \text{ }^\circ\text{C}$  selon l'Annexe 6,  $P_{vs2} = 1986 \text{ Pa}$

Pas de résistance thermique entre 2 et 3 :  $\theta_3 = \theta_2 = 17,38 \text{ }^\circ\text{C}$  selon l'Annexe 6,  $P_{vs3} = 1986 \text{ Pa}$

$$\theta_4 = \theta_3 - R_{\text{paille riz}} \varphi = 17,38 - 3,72 \times 3,957 = 2,66 \text{ °C selon l'Annexe 6, } P_{vs_4} = 740 \text{ Pa}$$

$$\theta_5 = \theta_4 - R_{\text{OSB}} \varphi = 2,66 - \frac{0,012}{0,13} \times 3,957 = 2,29 \text{ °C selon l'Annexe 6, } P_{vs_5} = 721 \text{ Pa}$$

Pas de résistance thermique entre 5 et 6 :  $\theta_6 = \theta_5 = 2,29 \text{ °C}$  selon l'Annexe 6,  $P_{vs_6} = 721 \text{ Pa}$

$$\theta_7 = \theta_6 - R_{\text{fibre bois}} \varphi = 2,29 - \frac{0,012}{0,13} \times 3,957 = -3,80 \text{ °C selon l'Annexe 6, } P_{vs_7} = 445 \text{ Pa}$$

$$\theta_{se} = \theta_7 - R_{\text{mortier}} \varphi = -3,80 - \frac{0,015}{1,3} \times 3,957 = -3,84 \text{ °C selon l'Annexe 6, } P_{vs_{se}} = 440 \text{ Pa}$$

Il faut comparer ces pressions saturantes aux pressions de vapeur.

Température intérieure = 19 °C,  $P_{vs} = 2198 \text{ Pa}$ ,  $P_{v_{int}(60\%)} = 0,6 P_{vs} = 1319 \text{ Pa}$

Température extérieure = -4 °C,  $P_{vs} = 437 \text{ Pa}$ ,  $P_{v_{ext}(90\%)} = 0,9 P_{vs} = 393 \text{ Pa}$

Le flux de vapeur à travers la paroi s'écrit (voir annexe 6) :

$$\dot{m}_{\text{vap}} = \frac{\pi_{\text{air}} (P_{v_{int}} - P_{v_{ext}})}{\mu e_{\text{plâtre}} + \mu e_{\text{lame air}} + Sd_{\text{pare-vapeur}} + \mu e_{\text{paille riz}} + \mu e_{\text{OSB}} + Sd_{\text{pare-pluie}} + \mu e_{\text{fibre bois}} + \mu e_{\text{enduit}}}$$

Valeurs numériques à retrouver en annexe 6 et 3 :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{vap}} &= \frac{1,85 \times 10^{-10} (1319 - 393)}{4 \times 0,025 + 1 \times 0,04 + 6 + 1 \times 0,145 + 50 \times 0,012 + 0 + 1 \times 0,06 + 10 \times 0,015} \\ &= \frac{1,85 \times 10^{-10} \times 926}{7,095} = 2,414 \times 10^{-8} \text{ kg.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Profil des pressions de vapeur et comparaison avec  $P_{vsat}$ :

Surface intérieure  $P_{v_{si}} = 1319 \text{ Pa} < 2131 \text{ Pa}$

$$P_{v_1} = P_{v_{si}} - (P_{v_{int}} - P_{v_{ext}}) \left( \frac{\mu e_{\text{plâtre}}}{\sum \mu e + \sum Sd} \right) = 1319 - (1319 - 393) \times \frac{4 \times 0,025}{7,095} = 1306 \text{ Pa} < 2077 \text{ Pa}$$

$$P_{v_2} = P_{v_1} - (P_{v_{int}} - P_{v_{ext}}) \left( \frac{\mu e_{\text{lame air}}}{\sum \mu e + \sum Sd} \right) = 1306 - (1319 - 393) \times \frac{1 \times 0,04}{7,095} = 1301 \text{ Pa} < 1986 \text{ Pa}$$

$$P_{v_3} = P_{v_2} - (P_{v_{int}} - P_{v_{ext}}) \left( \frac{Sd_{\text{pare-vapeur}}}{\sum \mu e + \sum Sd} \right) = 1301 - (1319 - 393) \times \frac{6}{7,095} = 518 \text{ Pa} < 1986 \text{ Pa}$$

$$P_{v_4} = 518 - (1319 - 393) \times \frac{1 \times 0,145}{7,095} = 499 \text{ Pa} < 740 \text{ Pa}$$

$$P_{v_5} = 499 - (1319 - 393) \times \frac{50 \times 0,012}{7,095} = 420 \text{ Pa} < 721 \text{ Pa}$$

Le pare-pluie étant considéré parfaitement perméable à la vapeur,  $P_{v_6} = P_{v_5} = 420 \text{ Pa} < 721 \text{ Pa}$

$$P_{v_7} = 420 - (1319 - 393) \times \frac{1 \times 0,06}{7,095} = 413 \text{ Pa} < 445 \text{ Pa}$$

Surface extérieure  $P_{v_{se}} = 393 \text{ Pa} < 437 \text{ Pa}$

A toutes les interfaces on a  $P_v < P_{vs}$ . Il n'est pas nécessaire de réaliser le tracé. Dans cette configuration, il n'y aura pas de condensation dans ou sur la paroi.

A priori, placer un deuxième film avec un  $Sd = 6\text{m}$ , au sein du système d'isolation, et non uniquement en surface chaude est une mauvaise idée, car allant plutôt dans le sens de potentiellement provoquer des condensations internes.

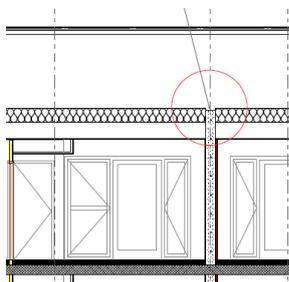
Que dit le calcul ? Le risque se situerait en priorité à l'interface 5. On aurait :

$$P_{v_5} = 1319 - (1319 - 393) \times \frac{4 \times 0,025 + 1 \times 0,04 + 6 + 1 \times 0,145 + 50 \times 0,012}{7,095 + 6} = 832 \text{ Pa} > 721 \text{ Pa}$$

On aurait bien dans cette configuration de la condensation, au moins au voisinage de l'interface 5.

## 2.2 Etude de la liaison refend/plancher haut

**Q19 Cas 1 : Quelle serait la valeur du coefficient  $\Psi$  à prendre en compte pour cette liaison si elle n'était pas traitée (comme pourrait le suggérer l'extrait de plan reproduit ci-après) ?**



liaison refend maçonnerie/plancher léger

sans traitement thermique de la liaison, selon l'annexe 3

$$\Psi = 0,38 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

La liaison étant symétrique on aurait  $\Psi_1 = \Psi_2 = 0,19 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

Dans la solution finalement adoptée, les agglos sont pleins de béton, si on prend d'ores et déjà en compte cette donnée, on adoptera les valeurs :

$$\Psi = 0,88 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \text{ et } \Psi_1 = \Psi_2 = 0,44 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

**Q20 Cas 2 : Quelle serait la valeur du coefficient  $\Psi$  à prendre en compte pour cette liaison si elle était traitée en ajoutant de l'isolant au-dessus du refend (mais sans isolant en surface du refend) comme représenté ci-dessous ?**

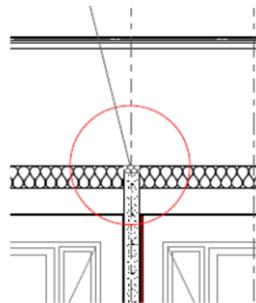
liaison refend

avec traitement

$$\Psi = 0,05 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

La liaison étant

(mêmes valeurs pour



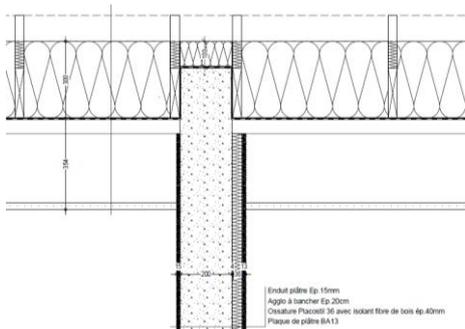
maçonnerie/plancher léger

thermique de la liaison, selon l'annexe 3 :

symétrique on aurait  $\Psi_1 = \Psi_2 = 0,025 \text{ W.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

des agglos pleins ou creux)

**Q21 Cas 3 : A quoi sert le complexe de doublage de 40 mm posé sur une face du mur (comme le montre l'extrait du carnet de détails représenté ci-dessous) ? Pourquoi le prolonger dans le faux plafond ? On ne dispose pas de valeur par défaut du coefficient  $\Psi$  dans ce cas. Mais comment pensez-vous qu'il doit évoluer par rapport au cas 2 ?**



C'est l'étude acoustique qui recommande ce traitement entre deux logements chauffés, pour améliorer l'isolement acoustique entre logements (voir annexe 4). L'isolant est prolongé dans le faux plafond pour limiter les transmissions de bruits aériens entre logements via le faux plafond.

La valeur du coefficient  $\Psi$  sera réduite par rapport au cas 2.

De plus la liaison n'étant plus symétrique, les coefficients  $\Psi_1$  et  $\Psi_2$  seront différents, le coefficient de droite devenant

négligeable.

## 2.3 VMC

**Q22 A partir des valeurs numériques renseignées sur le plan, préciser le type de VMC mis en place et son fonctionnement.**

Les débits indiqués au droit des ouvertures de la chambre et du séjour nous permettent de dire qu'il s'agit d'une VMC simple flux. La lettre H nous indique qu'il s'agit d'une solution hygro-réglable, plus précisément « hygro de type B » puisque les bouches d'entrée d'air sont hygro-réglables. La lettre H

est suivie des débits minimal et maximal en m<sup>3</sup>/h. En cuisine, le troisième débit indiqué correspond à la valeur obtenue si l'utilisateur demande une extraction maximale.

### **Q23 Quel est le lien avec la production d'ECS ?**

L'air repris dans la cuisine et dans la salle d'eau, transite en faux plafond pour passer par le système de production d'eau chaude sanitaire, puis rejoint la gaine technique dans le coin de salle d'eau. En effet, l'eau chaude sanitaire est produite par un chauffe-eau thermodynamique qui récupère des calories sur l'air extrait par la VMC.

## **2.4 Analyse résultats étude RT2012**

### **Q24 Commenter la répartition des consommations par poste telle qu'elle est présentée sur le camembert.**

L'ECS constitue de très loin le premier poste de consommation (63% des consommations totales). C'est une configuration classique pour des logements très bien isolés) alors que dans les bâtiments tertiaires la consommation d'eau est généralement beaucoup plus faible). Le chauffage constitue le deuxième poste, mais sur cet aspect l'enveloppe et les équipements sont très performants puisque le chauffage provoque 7,2 kWhep/(m<sup>2</sup>.an) (à « comparer » à Cepmax tous usages 47,5 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)).

### **Q25 Comparer la somme des Cep présentée dans ce camembert avec le Cep affiché dans le tableau. Commenter. Comment est-il possible que l'étiquette énergie affiche un résultat négatif ?**

Le Cep affiché dans le tableau est de 0,1 kWhep/(m<sup>2</sup>.an), alors que la somme des Cep affichés dans le camembert atteint 7,20 + 21,7 + 4,1 + 1,4 = 34,4 kWhep/(m<sup>2</sup>.an). Cela est dû à la production d'énergie par les panneaux photovoltaïques qui vient presque parfaitement compenser les consommations. De ce point de vue, le bâtiment peut être considéré comme proche d'un objectif de BEPOS (bilan quasiment nul). La production d'électricité photovoltaïque étant comptée négativement elle ne figure pas sur le camembert.

L'étiquette DPE affiche une valeur négative, car la production est considérée comme supérieure aux consommations, les méthodes de calcul étant différentes.

### **Q 26 Quels sont les éléments de conception du bâtiment et de ces équipements qui conduisent à une valeur très faible d'émission des gaz à effet de serre ? Quels sont les éléments ignorés ici, qui pourront dégrader ce résultat avec l'adoption de la RE2020 ?**

Le bâtiment est très bien conçu (isolation, orientation, vitrage...) comme le prouve le Bbio égal à 47% du Bbio max.

Les systèmes de production de chaleur sont performants (thermodynamique COP >1, énergie renouvelable : solaire).

L'énergie consommée est faiblement carbonée (électricité, pas d'énergie fossile).

La RE2020 présente un certain nombre de modifications par rapport à la RT2012 qui pourront dégrader ces résultats (prise en compte d'éclairage de parties communes, des consommations d'ascenseurs, prise en compte différentes de la production d'électricité photovoltaïque...), mais surtout la RE2020 affichera les émissions de GES dues à la construction du bâtiment, ce qui n'était pas fait jusque-là.

## **2.5 Pompe à Chaleur (PAC)**

**Q27 Quelle est la consommation d'électricité dédiée au chauffage, en énergie finale ? Ce résultat est-il en accord avec la consommation en énergie primaire donnée dans le camembert de l'annexe 8 ?**

La consommation annuelle du chauffage en énergie finale pour l'ensemble du bâtiment est de

$$C = \frac{\text{Besoins} \times \text{Surf}}{\text{SCOP}} = \frac{12 \times 997}{4,3} = 2782 \text{ kWh/ep/an}$$

L'énergie consommée étant de l'électricité cela donne  $C_{ep} = \frac{C}{\text{Surf}} = \frac{2,58 \times 2782}{997} = 7,2 \text{ kWh/ep/(m}^2 \cdot \text{an)}$ , ce qui correspond à la valeur donnée dans l'annexe 8.

**Q28 Quelle est la valeur du TEWI de cette installation ? A partir de la formule du TEWI, comparer les impacts liés :**

- à l'entretien
- à la consommation d'électricité
- à la fin de vie de l'installation

Si on développe l'expression du  $TEWI = GWP.m.[L.n + (1-a)] + n.E.b$ , on obtient  $TEWI = GWP.m.L.n + GWP.m.(1-a) + n.E.b$ . On peut alors identifier le premier terme de l'addition comme celui caractérisant l'impact en réchauffement climatique de l'entretien de l'installation, le deuxième, celui de la fin de vie de l'installation, et le troisième, celui de la consommation d'électricité :

$$\text{Entretien : } 2088 \times 2,8 \times 0,03 \times 20 = 3508 \text{ kg}_{eq}CO_2$$

$$\text{Fin de vie : } 2088 \times 2,8 \times (1-0,75) = 1462 \text{ kg}_{eq}CO_2$$

$$\text{Consommation d'électricité : } 20 \times 2782 \times 0,18 = 10015 \text{ kg}_{eq}CO_2$$

$$\text{Total} = 14985 \text{ kg}_{eq}CO_2$$

La consommation d'électricité est la phase qui provoque le plus d'émission de GES (67% des émissions totales). A priori cela doit limiter l'impact du changement de fluide frigorigène, puisque celui-ci impacte les deux autres postes (fin de vie et entretien). Toutefois l'amélioration peut être sensible si on choisit un fluide avec un GWP beaucoup plus bas que celui du fluide d'origine.

Le calcul du TEWI avec comme seul changement le remplacement du fluide par du R134a, sans autres conséquences sur les autres données, donne une valeur de 13419  $kg_{eq}CO_2$  soit 9% de réduction des émissions.

Le calcul du TEWI avec comme seul changement le remplacement du fluide par du R32, sans autres conséquences sur les autres données, donne une valeur de 11621  $kg_{eq}CO_2$  soit 22% de réduction des émissions.

L'impact est donc sensible mais ne peut pas décarboner totalement ces solutions étant donné qu'une partie majoritaire de l'impact ne dépend pas de la nature du fluide. A noter que le remplacement d'un fluide par un autre peut potentiellement aussi impacter les autres données (SCOP, charge, ...).

**Schéma de principe hydraulique**

**Q29 : Quelle est la fonction des éléments suivants :**

- du vase d'expansion ?

Le vase d'expansion amortit les variations de pression, en absorbant les variations de volume lors des montées et descentes de température. Cela limite les micro-fuites et les entrées d'air dans le circuit.

- du disconnecteur hydraulique ?

évite le retour de l'eau du circuit, potentiellement polluée, sur le réseau d'eau potable public, en cas de baisse de pression sur celui-ci (par exemple dans le cas d'un puisage important aux bornes incendie)

- **du pot à boues ?**

permet de collecter les particules solides en suspension dans l'eau du circuit

- **du pot d'injection ?**

permet d'injecter dans le circuit des produits de traitement de l'eau

- **le « ballon de stockage primaire » (appelé aussi parfois « ballon tampon ») ?**

- en stockant de l'eau dans ce ballon, on crée de l'inertie, ce qui évite la PAC fonctionne en courts cycles.
- par ailleurs, le ballon assure une fonction de découplage hydraulique.

### ÉTUDE 3. AMÉNAGEMENTS EXTERIEURS



#### 3.1 Étude du réseau d'évacuation des eaux pluviales et du bassin de rétention

**Q30. A partir du plan du réseau d'eaux pluviales ci-dessus, compléter le profil en long du tronçon R1-R4 sur le document réponse DR4.**

Réseau : EP  
 Axe : Profil R4 - R1  
 Echelle X : 1/1  
 Echelle Z : 1/1

Plan Comp : 6.00

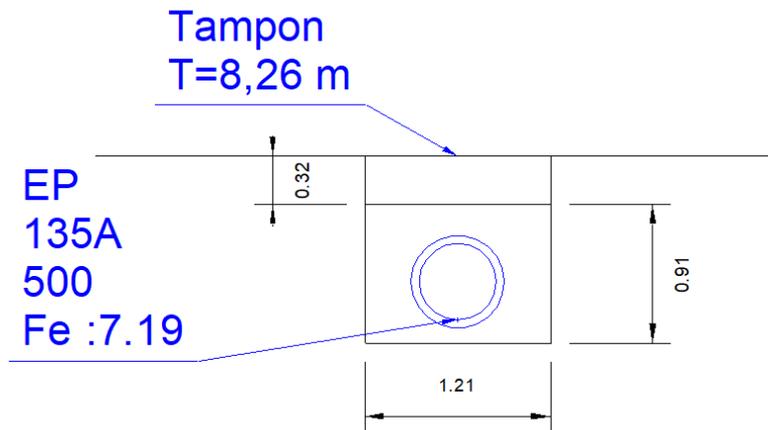


Cotes tampons EP	-7.19	-8.26	-8.21	-8.35		
Cotes radiers EP	-7.13	-7.19	-7.26	-7.30		
Profondeurs EP	-0.06m	-1.07m	-0.95m	-1.05m		
Longueurs EP	0.00m	11.84m	13.03m	24.87m	8.60m	33.47m
Canalisations EP		500 135A	300 135A			
Pentes EP		0.5%	0.5%	0.5%		

**Q31. A l'aide de l'annexe 11, calculer le débit capable en pleine section de la canalisation entre le regard R3 et le regard R4.**

$$Q = K \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = 70 \times \pi \cdot 0,25^2 \times 0,125^{2/3} \times 0,005^{1/2} = 0,242 \text{ m}^3 / \text{s}$$

**Q32. Réaliser la coupe AA de la tranchée pour la mise en œuvre du réseau, en indiquant les dimensions de la tranchée et en précisant les différents matériaux à mettre en œuvre. Expliquer le principe de la préconisation du CCTP : « Compactage donnant 98 % au moins du Proctor modifié ».**



*Il faut que la densité du sol compacté soit supérieure ou égale à 98% de la densité du sol obtenue à l'optimum de l'essai Proctor Modifié.*

**Q33. Élaborer le sous-détail de prix et calculer le prix unitaire de vente de 1 m de buse béton de diamètre 500 mm.**

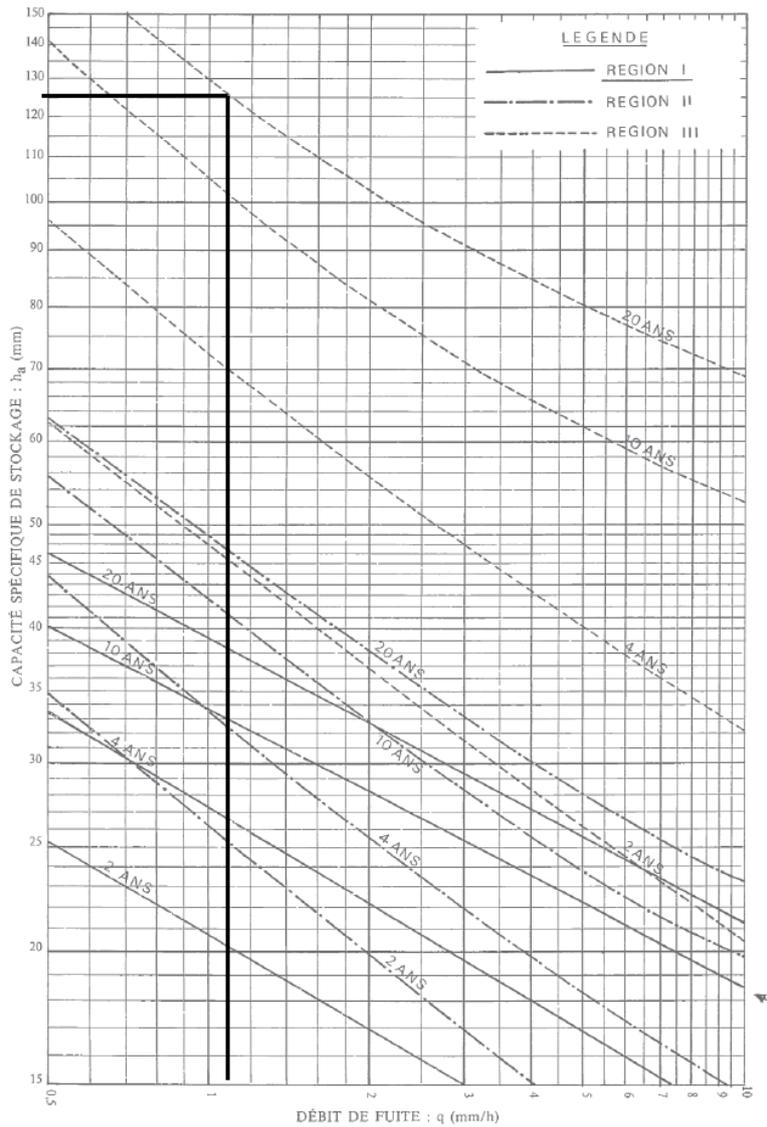
SOUS DETAIL DE PRIX UNITAIRE					
Chantier:					
Prix N°		Désignation		BUSE BETON D=500	
Quantité	11,84	m			
Rendement	3	m/h	Durée	3,95	h
				0,56	jours
<b>Déboursé sec Matériaux</b>					
Désignations	Quantité	Unité	Pertes	Prix Unitaire	TOTAL
Buse Béton	11,84	m	1	75,00 €	888,00 €
Grain de riz 2/4	17,44	T	1	12,00 €	209,29 €
Remblai 0/20	4,58	T	1	10,00 €	45,84 €
				<b>TOTAL</b>	<b>1 143,13 €</b>
<b>Déboursé sec Matériels</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Pelle	1	3,95	h	90,00 €	355,20 €
Camion 6x4	2	0,56	j	450,00 €	507,43 €
Compacteur	1	0,56	j	70,00 €	39,47 €
					- €
				<b>TOTAL</b>	<b>902,10 €</b>
<b>Déboursé Main d'œuvre</b>					
Désignations Matériel	Quantité	Durée	Unité	Coût Unitaire	TOTAL
Ouvriers	3	3,95	h	25,00 €	296,00 €
					- €
				<b>TOTAL</b>	<b>296,00 €</b>
<b>Déboursé TOTAL SEC</b>	<b>2 341,23 €</b>				
<b>Prix Unitaire en DS</b>	<b>197,74 €</b>	le m			
<b>Coefficient de Vente K</b>	1,3				
<b>Prix de vente Unitaire H.T.</b>	<b>257,06 €</b>	le m			

**Q34. Vérifier que le volume de remplissage du bassin de rétention de 683 m<sup>3</sup> est suffisant.**

*DÉBIT DE FUITE par rapport à la surface active :*

$$q = \frac{Q_f}{S_a} = \frac{1,5 \times 3600}{4880} = 1,107 \text{ mm / h}$$

ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ SPÉCIFIQUE DE STOCKAGE  
DES BASSINS DE RETENUE

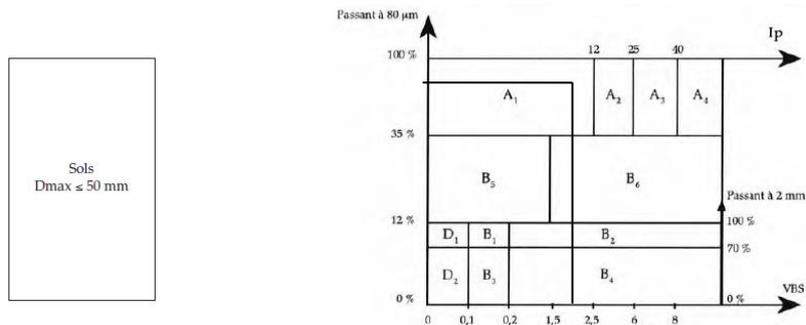


Le volume d'eau à stocker dans le bassin de rétention est obtenu en multipliant la CAPACITÉ SPÉCIFIQUE DE STOCKAGE par la surface active:

$$V = h_a \times S_a = 0,125 \times 4880 = 610 \text{ m}^3 \leq 683 \text{ m}^3$$

3.2 Étude des chaussées du parking

Q35. Réaliser la classification GTR des alluvions au droit du futur parking.



Sol de classe A1 suivant le GTR

**Q36. A l'aide de l'extrait du GTR, déterminer l'épaisseur et les conditions de compactage de la couche de forme. Expliquer le principe de l'essai qui permettra de valider la portance de la plateforme support de la chaussée.**

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée					
					PST n° 1	PST n° 2	PST n° 3	PST n° 4		
					AR 1	AR 1	AR 1	AR 2		
R <sub>21</sub> R <sub>41</sub> R <sub>61</sub>	Ces matériaux issus de roches saines et dures peuvent être utilisés en couche de forme : - soit dans leur état naturel après avoir éliminé ou fragmenté, les éléments grossiers ne permettant pas le réglage de la plate-forme conformément aux exigences formulées - soit traités avec un liant hydraulique. Le traitement n'est cependant envisageable que dans la mesure où un malaxage intime du liant avec le sol peut être réalisé soit en place avec des malaxeurs à outils animés (pulvimixers...) soit en centrale.	++ ou +	pluie même forte	G: Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme  Solution 1 : G : Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme	3 0 0 0	e = 0,6 ou (2) e = 0,45 PF2	e = 0,5 ou (2) e = 0,4 PF2	e = 0,4 ou (2) e = 0,3 PF2	e = 0,3 ou (2) e = 0,2 PF2	(3)
		= ou -	pas de pluie	Solution 2 : G : Elimination de la fraction grossière empêchant le malaxage correct du sol avec le liant  W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique du mélange sol + liant  T : Traitement avec un liant hydraulique  S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	2 1 1 1	(1)	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	e = 0,35 PF3

Pour une arase de terrassement PST N°2 et Arase AR1, l'épaisseur préconisée de la couche de forme est de 50 cm. On devrait ainsi bien obtenir une classe de plate-forme support de la chaussée de type PF2.

Compacteur / Matériau		Type de compacteur																
		P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4
R <sub>21</sub> (*) R <sub>41</sub> (*) R <sub>61</sub> (*)	Q/S		0,025	0,035		0,025	0,035	0,050	0,060									0,025
	e		0,20	0,30		0,25	0,30	0,35	0,30	0,50	0,30	0,60						0,20
	0	0			0													0
	V		5,0	5,0		2,0	2,5	2,0	3,0	2,0	4,0	2,0						1,0
	N		8	9		10	9	10	6	10	5	10						8
Q/L		125	175		50	90	70	150	100	240	120						25	

En choisissant un compacteur monocylindre de type V4, on pourra réaliser la couche de forme en une seule épaisseur e=0,50 m. Il faudra une vitesse du compacteur de 2 km/h et un nombre N d'application de charge de 10.

**Q37. Déterminer la classe de trafic pour une durée d'utilisation de 20 ans, puis à l'aide des extraits du catalogue des structures de chaussée, déterminer les épaisseurs des couches de la chaussée (couche de fondation, couche de base et couche de surface).**

Le nombre cumulé de PL  $TCi_{20} = 365 \times 50 \times 20 = 365000 PL$

La classe de trafic est donc TC2<sub>20</sub>

- Couche de surface (CS) :



Béton bitumineux pour chaussée souple à faible trafic.

2,5 millions PL (2,5 millions NE)			
TC4 <sub>20</sub>			
1,5 million PL (1,5 million NE)			
0,5 million PL (0,5 million NE)			

Pour une classe de trafic TC220 et une plateforme de type PF2, on obtient la structure de chaussée suivante :

La couche de surface a une épaisseur de 5 cm de BBS

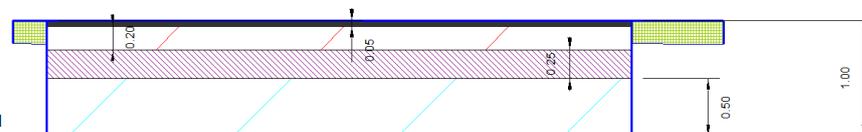
La couche de base a une épaisseur de 20 cm de GNT 0/20

La couche de fondation a une épaisseur de 25 cm de GNT 0/31,5

**Q38. Réaliser une coupe de la structure de la chaussée sur votre copie. Expliquer le mode opératoire pour la mise en œuvre des différentes couches du futur parking.**

Légende décaissement :

- Enrobés
- GNT 0/20
- GNT 0/31,5
- Couche de Forme R21



La couche de forme en matériaux d'apport, ainsi que la couche de fondation et la couche de base en GNT :

- approvisionnement des matériaux par camion depuis les carrières,
- régilage et réglage des matériaux avec une niveleuse,
- compactage des matériaux avec un compacteur monocylindre.

La couche de surface en béton bitumineux :

- approvisionnement du BBS par semi-remorque bâché depuis la centrale de fabrication des enrobés,
- vidage des enrobés dans le finisseur pour une application en une couche de 6 cm,
- compactage des enrobés avec un compacteur tandem.

### **III.2 Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation**

#### **ÉTUDE 1. STRUCTURE PORTEUSE DU BATIMENT COLLECTIF**

##### **1.1 Étude des poutres support de la toiture en bois lamellé collé**

Cette étude portant sur le dimensionnement d'une poutre en bois lamellé collé a été globalement bien traitée. On peut regretter que certains candidats n'aient pas réussi à traiter correctement cette étude qui est pourtant simple et fondamentale.

### **1.2 Étude d'une poutre de reprise en béton armé**

Cette étude portant sur le dimensionnement d'une structure en béton armé a été moins bien traitée. Les connaissances liées à la construction en béton armé sont moins bien connues, alors que c'est aspect très important du domaine de la construction. Nous conseillons les futurs candidats à mieux connaître ce domaine d'étude de la construction.

### **1.3 Étude des fondations**

Cette étude portant sur une descente de charge sur une semelle du bâtiment et sur le dimensionnement de cette semelle a été encore moins bien traitée. C'est également un aspect courant d'étude du domaine de la construction. Nous conseillons les futurs candidats à mieux connaître ce domaine d'étude.

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

### **2.1 Etude de deux parois type**

Les questions 16 et 17 ont été traitées par une majorité de candidats, et généralement de manière assez complète et exacte. Toutefois il transparait de nombreuses réponses, que la connaissance de la constitution des parois à ossature bois est parfois très mal connue.

La question 18, a été traitée par la moitié des candidats, et très peu de candidats ont apporté une réponse permettant d'attribuer plus de la moitié des points. Les transferts de masse dans les parois sont un sujet à connaître, et savoir établir un diagramme de Glaser paraît être une base nécessaire.

### **2.2 Etude de la liaison refend/plancher haut**

Les trois quarts des candidats ont répondu à ces questions, avec des fortunes diverses. Les interférences entre les problématiques thermiques et acoustiques sont de plus en plus présentes dans la construction.

### **2.3 VMC**

Environ trois quarts des candidats ont traité cette question, mais seule une petite minorité a obtenu plus de la moitié des points. Il est étonnant de voir qu'une majorité de candidats ne parvient pas à reconnaître une VMC simple flux d'une VMC double flux, d'autant plus que cela a des répercussions sur les lots autres que celui de la ventilation.

### **2.4 Analyse résultats étude RT2012**

Les candidats peuvent être grossièrement classés entre un quart qui n'a pas traité la question, une moitié qui a réalisé une analyse partielle des résultats de l'étude RT 2012, et un quart qui a réalisé une analyse plus complète. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance des grands principes de la RE2020.

### **2.5 Pompe à Chaleur (PAC)**

L'étude portait sur l'impact sur le réchauffement climatique d'une PAC. Elle a été abordée par 65% des candidats pour des résultats très variés.

### **2.6 Schéma de principe hydraulique**

Les candidats devaient donner le rôle de différents éléments présents sur un schéma de principe.

Vase d'expansion : une grosse moitié des candidats ont traité cette question, de manière satisfaisante dans la plupart des cas.

Disconnecteur hydraulique : seulement 33% des candidats ont traité la question et 17% de manière satisfaisante.

Pot à boues : idem

Pot à injection : 56% des candidats n'ont pas traité la question, 22% ont apporté une réponse fausse, 22% ont apporté une réponse satisfaisante

Ballon : seulement 16 % des candidats ont apporté une réponse satisfaisante.

### **ÉTUDE 3. AMÉNAGEMENTS EXTERIEURS**

#### **3.1 Étude du réseau d'évacuation des eaux pluviales et du bassin de rétention**

Cette étude portant sur le dimensionnement d'un réseau d'eau pluvial et d'un bassin de rétention a été bien traitée par tous les candidats. L'hydraulique est un aspect important lors de la conception des nouveaux projets de construction, nous conseillons aux futurs candidats à bien connaître les principales notions de ce domaine.

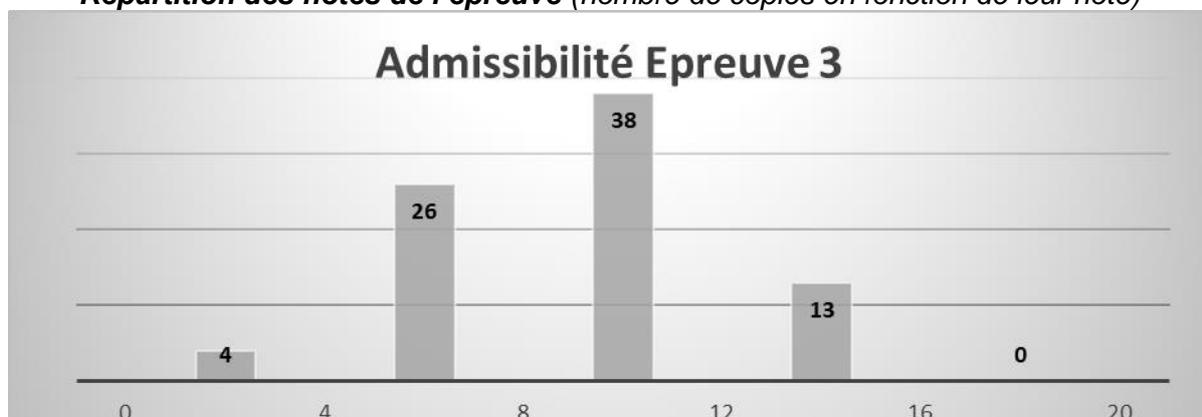
Cependant, dans cette étude, l'étude de prix n'a pas été bien traitée et nous conseillons aux futurs candidats de mieux se préparer et mieux connaître cet aspect financier qui est très particulier et très important dans le domaine de la construction.

#### **3.2 Étude des chaussées du parking**

Cette étude portait sur le dimensionnement d'une structure de chaussée pour la réalisation du parking. Cette étude a été bien traitée par certains candidats, mais pas du tout par d'autres. Nous conseillons à tous les candidats de mieux connaître les principes de ces dimensionnements et notamment de connaître les documents techniques de références sur les terrassements routiers et les chaussées neuves.

81 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 9/20, avec un écart-type de 2,7. La meilleure note est 13,88, la plus faible est 2,83.

***Répartition des notes de l'épreuve (nombre de copies en fonction de leur note)***



## B. Epreuves d'admission

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

#### I.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique

##### Étude d'un robot haptique

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

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

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

##### Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

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

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

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

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

##### Production attendue

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

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

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

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

Le candidat dispose des éléments suivants :

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

Les matériels suivants sont disponibles dans le laboratoire :

- un oscilloscope avec sondes ;
- un jeu de masses.

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

Un dossier technique sous forme papier fournit les éléments suivants :

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

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

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

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

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

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

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

**Activité 3** Suivre le protocole 1 (cf. page 8 du dossier technique) permettant, à l'aide du logiciel de pilotage Falcon-piloter (raccourci présent sur le bureau du poste noté PC RESEAU), d'acquérir la position du bras. Lancer une acquisition (appui sur le bouton « départ ») pour un échelon d'amplitude

400, avec un réglage de  $K_P = 5$ . Commenter les performances temporelles du système au regard du contexte en mode télé opération.

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

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

#### **Mise en évidence de la fonction haptique**

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

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

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

**Activité 6** Identifier certaines parties du programme :

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

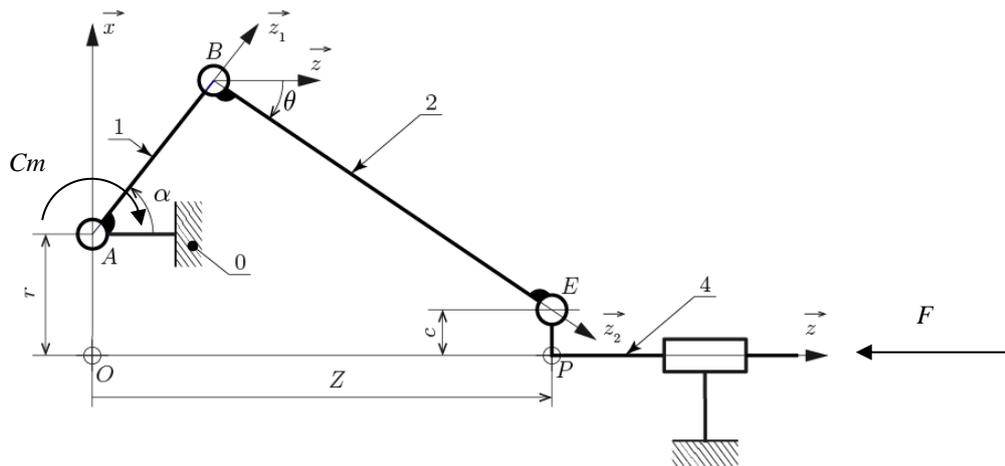
Prendre connaissance de l'annexe 12 « Brochage des sorties des codeurs sur la carte de mesure » page 20 du document technique.

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

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

#### **Identification de la loi de comportement en effort**

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



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

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

**Activité 11** En suivant le protocole 2 du document technique, téléverser le programme « mesure\_commande\_moteur\_lmot\_encodeur1\_F\_z.ino » dans la carte Arduino Mega. Ce programme permet de mesurer l'intensité  $I_{mot}$  des courants dans les moteurs, la force  $F$  de poussée du bras, une image de l'angle  $\alpha$  et la position du bras  $z$  pour une visualisation sur le moniteur série. Solliciter le capteur d'effort à l'aide des masses marquées (cf. page 22 du document technique). Analyser le résultat obtenu au regard du programme Arduino.

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

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

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

## Synthèse

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

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

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

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

### **Production attendue**

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

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Les éléments suivants sont fournis pour mener cette partie :

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

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

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

### **Production attendue**

Un document numérique doit être réalisé afin de :

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

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

## ***1.2 Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique***

### **A. Présentation de l'épreuve**

#### **Texte de référence**

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

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

- 10 points sont attribués à la partie liée aux activités pratiques et 10 points à la partie liée à l'exposé et à l'entretien avec le jury.

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

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

Pour la session 2021, l'exploitation pédagogique demandée est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D), de l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur du cycle terminal sciences de l'ingénieur de la voie générale du lycée ainsi que celui des classes préparatoires aux grandes écoles.

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

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

### **Déroulement de l'épreuve**

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

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

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

Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

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

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

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

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

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

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

Pour cette première partie, le candidat doit 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 œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux qu'il a effectués dans la troisième partie ;
- explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

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

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

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

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

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

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

L'exposé doit comporter :

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

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

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

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

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

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

### **Utilisation des logiciels pendant l'interrogation :**

Aucun 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 2022 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 ;
- robot haptique.

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

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

## **B. Commentaires du jury**

### **• Analyse des résultats**

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

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

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

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

Le jury constate que :

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

Le jury attend une séquence pédagogique structurée en lien avec la thématique. Elle doit faire apparaître les pré-requis, 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 structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet technologique).

### **Phase 1 : deuxième partie - prise en main du support**

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

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

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

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

Le candidat est amené à :

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

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

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

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

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

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

Le jury constate que :

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

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

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

### **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.

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 fautes d'orthographe dans les supports numériques présentés, elles nuisent à l'image du candidat. Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs

cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

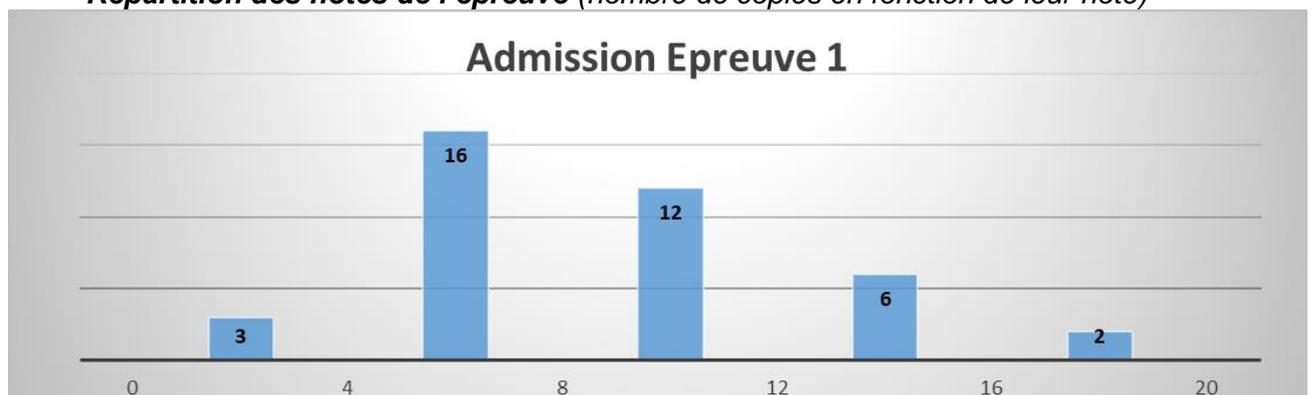
- **Conclusion**

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

### C. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 8,8/20. L'écart-type est de 3,9. La meilleure note est 16,9/20. La plus faible est 2,3/20.

**Répartition des notes de l'épreuve** (nombre de copies en fonction de leur note)



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

### A – DEROULEMENT DE L'EPREUVE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## B - TRAVAIL DEMANDE POUR L'ÉPREUVE (EXEMPLE DE SUJET)

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

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve
PHASE 1 (4h)	Partie 1 (1h)	I. CONTEXTE IMPOSE	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles
		II. POTENTIELS PÉDAGOGIQUES	Analyser et présenter les potentialités pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation, résultats d'essai...) <i>Point avec l'examineur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>
	Partie 2 (2h max)	III. EXPERIMENTATIONS	Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer... <i>Point avec l'examineur sur le scénario expérimental envisagé</i>
			Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)
			Analyser les résultats obtenus, les valider (échelle, fiabilité ...)
			<i>Point avec l'examineur sur les expérimentations et résultats</i>
	Partie 3 (1h)	IV. PROPOSITION PÉDAGOGIQUE  (le matériel expérimental reste disponible pour d'éventuelles manipulations complémentaires)	Préciser les compétences à développer dans la séquence
			Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation
			Définir une ébauche de trame de séquence pédagogique
			Définir les activités expérimentales et informatiques à réaliser pendant une séance pour un groupe classe de 15 élèves <i>Point avec l'examineur sur les propositions pédagogiques</i>
		V. CONCLUSION	Identifier en lien avec l'objectif visé, les forces et faiblesses des expérimentations et de la proposition pédagogique <i>Présenter les analyses et les conclusions</i>
PHASE 2 (1h)	VI. MISE EN LOGE	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)	
PHASE 3 (1h)	VII. EXPOSÉ ET ENTRETIEN	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles	
		Présenter les réflexions, stratégies pédagogiques, choix effectués	
		Décrire et analyser les expérimentations effectuées	
		Présenter la trame de séquence envisagée	
		Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe	
		Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe	
		Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves	
		Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves	
		Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...)	

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

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

## C - OBJECTIF PEDAGOGIQUE IMPOSE POUR L'EPREUVE

Sujet : Concevoir et présenter une séquence de formation sur le sujet du matériau béton, ses caractéristiques physiques et mécaniques et l'influence de ces caractéristiques dans le dimensionnement d'un ouvrage en béton armé.

On abordera tout ou partie des notions suivantes :

- Comportement mécanique du béton.
- Caractéristiques réglementaires et caractéristiques réelles du béton.
- Influence des caractéristiques du béton sur le dimensionnement d'un élément d'ouvrage en béton armé.
- La proposition pédagogique sera envisagée pour une formation de BTS Bâtiment.

## D - RESSOURCES PEDAGOGIQUES DISPONIBLES

<p>R1 : REFERENTIELS DE FORMATION</p> <p>BTS Bâtiment</p>	<p>R2 : INFORMATIQUE</p> <p>Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis. Une suite bureautique Un fichier REVIT et un fichier ROBOT de la structure du bâtiment « Fuji ».</p>
<p>R3 : RESSOURCES PEDAGOGIQUES</p> <p>DOSSIER SUPPORT : Projet de construction du bâtiment « Fuji » Cahier des Clauses Techniques Particulières du bâtiment « Fuji »</p> <p>PISTES D'EXPLOITATION pédagogiques du matériel disponible (*) Série de résultats d'essais (*) (* ) informations données dans le centre du concours</p>	<p>R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES</p> <p>Normes d'essai sur les bétons Techniques de l'Ingénieur – Du béton frais au béton durci, éléments de comportement Mode opératoire des machines d'essai Mode opératoire logiciels REVIT et Robot Structural Analysis Données relatives à l'étude</p>
<p>R5 : EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX</p> <p>Matériaux : 4 éprouvettes de béton cylindrique 15 x 30 cm. Une éprouvette de béton cylindrique 15 x 30 cm équipée d'un dispositif de mesures extensométriques.</p> <p>Matériel : Une presse et un dispositif d'acquisition des déformations sur éprouvette équipée Un bâti pour essai de traction par fendage Un scléromètre Petit matériel de laboratoire</p>	

### R3 – RESSOURCES PEDAGOGIQUES

#### DOSSIER SUPPORT

L'ouvrage support est un bâtiment d'habitation de type R+3 avec un niveau de sous-sol.

Il fait partie du projet nommé « Fuji » qui se compose d'un ensemble de trois bâtiments qui réuniront 85 logements sociaux. Le bâtiment étudié est le bâtiment numéro 2.

La structure porteuse de ce bâtiment est classique : voiles, poteaux, poutres et dalles B.A. coulés en place et fondés sur des semelles filantes et isolées.

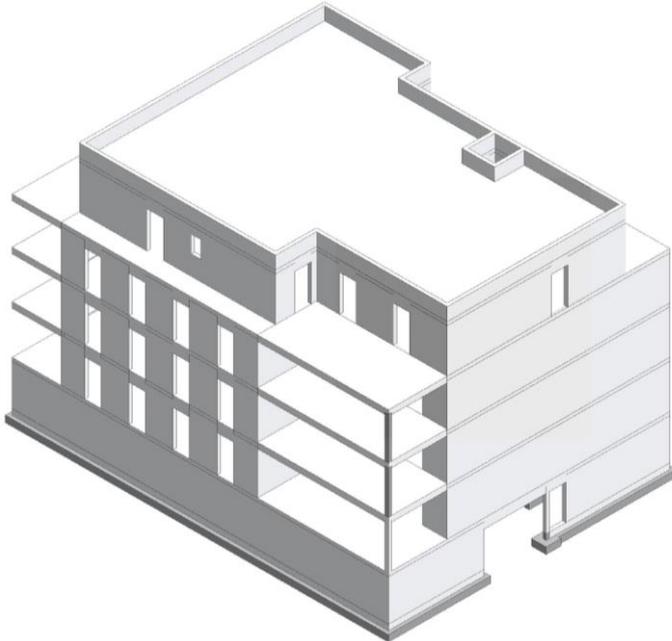


Fig. 1 : Vue en perspective de la structure du bâtiment

Afin de valider et d'optimiser une poutre se situant au niveau de la dalle de transfert entre le rez-de-chaussée et le sous-sol, un bureau d'études structure fait appel à un laboratoire pour préciser par des mesures, les caractéristiques physiques et mécaniques du béton utilisé pour la construction de ce bâtiment.

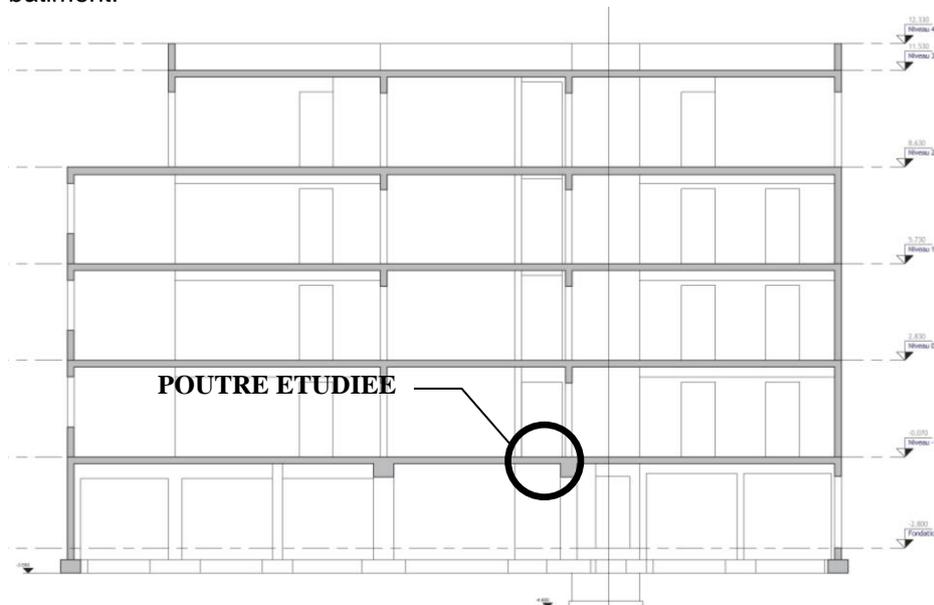


Fig. 2 : Coupe verticale de la structure du bâtiment

L'objectif du bureau d'étude est ensuite d'utiliser les résultats obtenus par le laboratoire pour affiner le dimensionnement de la poutre en comparaison avec la classe du béton qui était définie dans le CCTP du lot Gros-Œuvre de ce chantier.

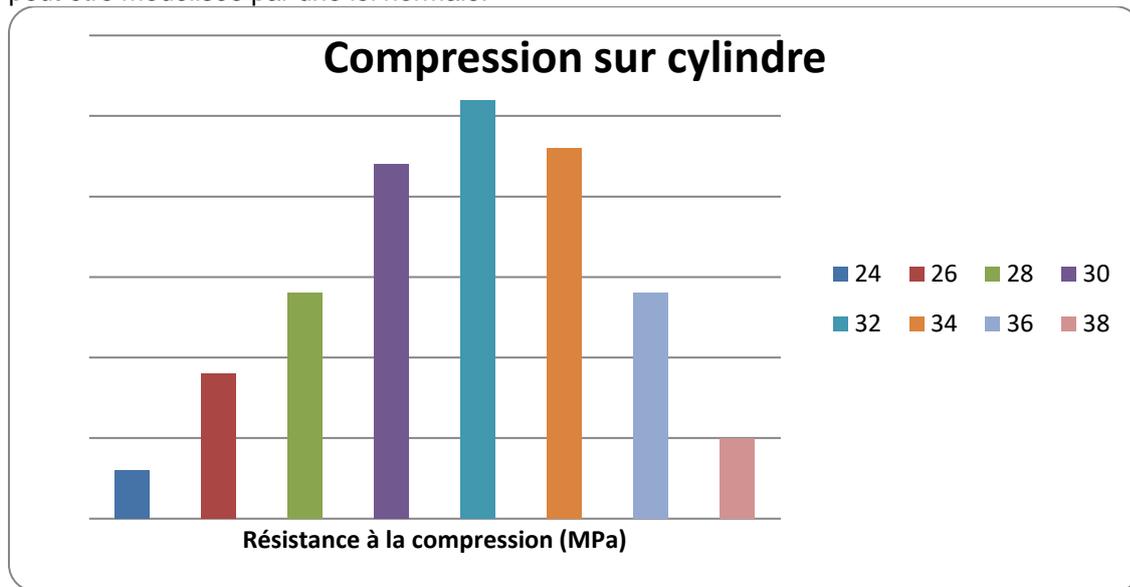
R4 - Données relatives à l'étude

Résistance à la compression du béton :

On vous donne dans le tableau ci-après des résultats d'essais de compression réalisés sur des éprouvettes cylindriques de béton. Ces essais ont été réalisés par la centrale de production de béton sur des éprouvettes de béton à propriétés spécifiées dont la composition est identique à celle qui sera utilisée pour le béton du chantier qui nous concerne. Ces essais (232) ont été effectués sur cylindre 15x30 à 28 jours en suivant le protocole de la norme en vigueur.

Nombre d'essais	6	18	28	44	52	46	28	6
$f_c$ en [MPa]	24	26	28	30	32	34	36	38

Ces résultats sont présentés sous la forme d'un histogramme (voir ci-dessous) dont la courbe enveloppe peut être modélisée par une loi normale.



La résistance caractéristique à la compression du béton ( $f_{ck}$ ) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% de la distribution des résistances.

Si la distribution des résistances suit une loi normale alors le fractile 5%  $f_{ck}$  est égal à :

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 u \quad (1)$$

avec  $f_{cm}$  la moyenne de la distribution et  $u$  l'écart type.

L'Eurocode 2 Béton adopte, pour simplifier, la relation suivante :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (2)$$

avec  $f_{cm}$  la résistance moyenne en compression à 28 j.

Résistance à la traction du béton :

La valeur de la résistance en traction moyenne du béton ( $f_{ctm}$ ) est obtenue à partir de la résistance caractéristique à la compression du béton :

$$f_{ctm} = 0,30.f_{ck}^{(2/3)} \quad (3)$$

La résistance caractéristique à la traction minimale du béton ( $f_{ctk}$ ) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% inférieur de la distribution des résistances.

L'Eurocode 2 Béton adopte la relation suivante :

$$f_{ctk} = 0,7.f_{ctm} \quad (4)$$

avec  $f_{ctm}$  la résistance moyenne en traction à 28 j.

Module d'élasticité longitudinal du béton :

Le module de déformation longitudinal du béton ou module sécant décrit le comportement élastique quasi linéaire de la relation contraintes-déformation du béton soumis à la compression.

Ce comportement élastique quasi-linéaire reste totalement réversible si la contrainte de compression est limitée à un certain pourcentage de la résistance à la compression du béton. Ce pourcentage est défini à la page 7 du document Technique de l'ingénieur. Pour qu'un essai de mesure du module

d'élasticité n'endommage pas l'éprouvette utilisée, il faut donc que les déformations du béton de l'éprouvette restent inférieures à ce pourcentage.

La valeur du module d'élasticité du béton étudié peut aussi être estimée théoriquement par la relation suivante :

$$E_{cm} \text{ (GPa)} = 22.[(f_{cm})/10]^{0.3} \text{ avec } f_{cm} \text{ en Mpa} \quad (5)$$

## ***II.2 Rapport du jury sur l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique***

### 1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système technique prend appui sur une situation professionnelle d'enseignement proposée au candidat dans le cadre de l'exercice de sa mission future de professeur.

Dans ce cadre, des ressources pédagogiques sont données au candidat afin de préparer une trame de séquence pédagogique dans laquelle une séance expérimentale sera détaillée. Cette séance devra permettre de montrer comment le candidat exploite avec pertinence les potentialités :

- De ressources documentaires
- De ressources expérimentales (échantillons, matériels, bancs d'essais, maquettes, éléments de structures ...)
- De ressources informatiques (logiciels modeleurs, simulateurs ...)

Cette épreuve permet au candidat d'élaborer une stratégie pédagogique, de réaliser des essais et mesures sur tout ou partie d'un système didactique ou professionnel, et d'en produire une analyse critique sur la pertinence et l'efficacité de la séquence envisagée.

Cette épreuve a également 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 technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation 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 technique.

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.

Cette épreuve d'activité pratique demande aux candidats de mobiliser les compétences (nécessitant les savoirs, savoir-faire et savoir-être associés) nécessaires à l'enseignement pouvant être confié à un professeur agrégé SII d'ingénierie de la construction. Pour répondre à cet objectif, les supports utilisés lors de cette épreuve sont relatifs à ce même champ de l'ingénierie.

### 2. Déroulement de l'épreuve

Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases :

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

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

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire. Cette première phase d'une durée totale de 4 h 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.**

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.

Deuxième partie - Expérimentation (durée ≈ 2h)

Le candidat exploite les informations proposées, prépare puis mène ses expérimentations, essais. Il réalise les mesures et observations, exploite les ressources logicielles. Il exploite ensuite les résultats obtenus : il les traite (calculs, représentations graphiques...), analyse leur justesse, fiabilité...

Il analyse obligatoirement les forces et faiblesses des expérimentations menées et formule des conclusions.

Troisième partie – Construction pédagogique (durée ≈ 1h)

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

La phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel figurent des supports<sup>2</sup>. 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 qui leur est proposé. 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.

La phase 2 – Mise en loge (durée 1 h).

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 l'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 veillera à identifier des possibilités de différenciation de l'enseignement visant à s'adapter aux différents niveaux des élèves. **Il devra conclure sur la proposition et sur les améliorations possibles.**

La phase 3 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

---

<sup>2</sup> systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

- 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 se borne à une durée maximale de 30 minutes.

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 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.

### 3. Travail demandé pour l'épreuve

Le travail et les activités imposés aux candidats dans les différentes phases de l'épreuve sont précisés dans l'exemple de sujet donné dans ce rapport. Les candidats sont évalués au regard de ces attentes.

### 4. Séquences pédagogiques demandées pendant l'épreuve

Les séquences pédagogiques demandées en 2022 étaient imposées pour les formations suivantes :

- Baccalauréat STI2D
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- BUT :
  - Génie Civil et Construction Durable
  - Métiers de la Transition et de l'Efficacité Energétiques
- BTS :
  - Architectures en métal : conception et réalisation
  - Bâtiment
  - Étude et réalisation des Agencements
  - Enveloppes du bâtiment : conception et réalisation
  - Finitions et aménagement du bâtiment : conception et réalisation
  - Fluides énergies domotique : options A (génie climatique), B (génie frigorifique) et C (domotique)
  - Management économique de la construction
  - Métiers du géomètre topographe et de la modélisation numérique
  - Systèmes constructifs bois et habitat
  - Travaux publics

Pour la session 2022, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issues de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses ;
- logiciels courants de bureautique ;
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...) ;
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM ;
- matériels et bancs d'essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- matériels et bancs d'essai en acoustique ;
- matériels et bancs d'essai de structures ;
- matériels et bancs d'essai du matériau béton ;
- matériels et bancs d'essai du matériau bois ;
- matériels et bancs d'essai du matériau acier ;
- pompe à chaleur ;

- chaudière bois ;
- système de production d'eau chaude sanitaire ;
- simulation thermique dynamique ;
- matériels de topographie (niveaux, théodolites, tachéomètres, GPS, scanner 3D ...).

## 5. Commentaires et conseils aux futurs candidats

À l'issue de la session 2022, le jury attire particulièrement l'attention des futurs candidats sur les points suivants :

Le jury rappelle que cette épreuve n'est absolument 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. A 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 ou des étudiants, il s'agit ici de présenter une analyse expérimentale, pédagogique, etc. devant des pairs. ;
- on constate trop souvent un déséquilibre entre la présentation des résultats expérimentaux, détaillée, et leur exploitation pédagogique ;
- l'exploitation pédagogique est l'objectif principal de cette épreuve. Elle reste trop évasive chez de nombreux candidats.

Les candidats doivent s'attacher :

- à justifier l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, BUT) ;
- à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique en détaillant notamment l'organisation pratique (gestion du temps, de l'espace, des activités...) en présence d'élèves ou d'étudiants, en classe entière ou en effectifs réduits ;
- à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte professionnel de l'ingénierie des constructions, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle (en formation, en entreprise...) ;
- à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation.

Le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;

- les fonctionnalités de base des principaux types de logiciels doivent être maîtrisés (tracé de courbes sur tableur par exemple)
- la structure des référentiels de formation doit être connue sans pour autant connaître ces derniers en détail. Il est indispensable d'étudier plusieurs référentiels représentatifs, et leur structure ;

Les compétences scientifiques, technologiques, professionnelles et pédagogiques des candidats doivent être suffisamment élevées pour accéder au grade de professeur agrégé en ingénierie des constructions. **Une connaissance du domaine du BTP est incontournable pour cette épreuve, et doit absolument amener le candidat à relier les enseignements proposés à la réalité industrielle de ce domaine. Le jury attire l'attention des futurs candidats sur les points suivants :**

- les bases techniques et industrielles des différents domaines proposés lors de cette épreuve doivent être connues et maîtrisées (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...) ;

- les organisations pédagogiques proposées doivent pouvoir utiliser des modalités actives et parfois plus innovantes que l'organisation systématique en « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants ». Les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC, SPOC ...) doivent être exploités au service de la réussite des élèves et étudiants ;
- les modalités d'évaluation doivent s'étendre à d'autres modalités que les seuls comptes-rendus de TP et évaluations sur table ;
- les principales stratégies de différenciation des apprentissages doivent être connues pour pouvoir s'adapter aux besoins des élèves ;
- la construction des acquisitions et des compétences des élèves doit être présentée avec des stratégies pédagogiques progressives,
- Les stratégies et modalités de suivi de l'acquisition des compétences par les élèves doivent également être précisées.

## 6. Résultats

La moyenne des notes obtenues est de 9/20. L'écart-type est de 2,3. La meilleure note est 18,8/20. La plus faible est 2,3/20.

**Répartition des notes de l'épreuve (nombre de copies en fonction de leur note)**



## III. Epreuve de soutenance d'un dossier industriel

### 1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : arrêté du 24 juin 2019) précise :

« 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 ».

Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes). »

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

### 2. Analyse globale des résultats

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**.

### 3. Conseils aux futurs candidats

#### a) Conseils sur le dossier présenté

- 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 **3 parties** :
  - **La première partie** contextualise et justifie l'intérêt du support choisi, tout en restant synthétique et succincte ;
  - **La seconde partie** est basée sur **une ou deux** problématiques **réelles** en lien avec les caractéristiques du support et en lien avec les domaines de l'ingénierie de la construction. Ces problématiques doivent permettre de développer des études **techniques et scientifiques du niveau de l'agrégation**. Ces études doivent être justifiées et montrer des connaissances calculatoires, réglementaires, techniques, environnementales applicables au dossier. **Les hypothèses posées doivent être claires** et le candidat doit être en mesure de les justifier ;
  - **La troisième partie** explique les potentialités pédagogiques du dossier au niveau lycée **et** au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, BUT). Des séquences pédagogiques doivent être présentées avec le développement d'une séance. La production de documents élèves est également très pertinente.

#### Remarques :

- Les plans de l'ouvrage support du dossier (propres et cotés) sont placés en annexe.
- Le candidat n'oubliera pas de préciser 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 de mentionner les auteurs des ressources utilisées.

L'épreuve sur dossier **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 « clés 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 cette 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.

b) *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 pourra 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. La rédaction d'une partie scientifique type exercice de TD n'est pas acceptée. 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 sera dans la mesure du possible 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 chaîne de réflexion.

c) *La stratégie pédagogique*

La commission d'interrogation de cette épreuve sur dossier 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,
- La documentation pédagogique fournie à l'élève,
- Les supports d'enseignement : dossier, système réel, didactisé ou virtuel, ressource...
- Les traces attendues : écrites, orales, virtuelles

Le candidat doit ensuite développer dans sa 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 ;
- 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. Quelques candidats ont présenté des modélisations totalement erronées ou des résultats aberrants, certains se sont contentés de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.

#### **4. Critères d'évaluation**

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 :

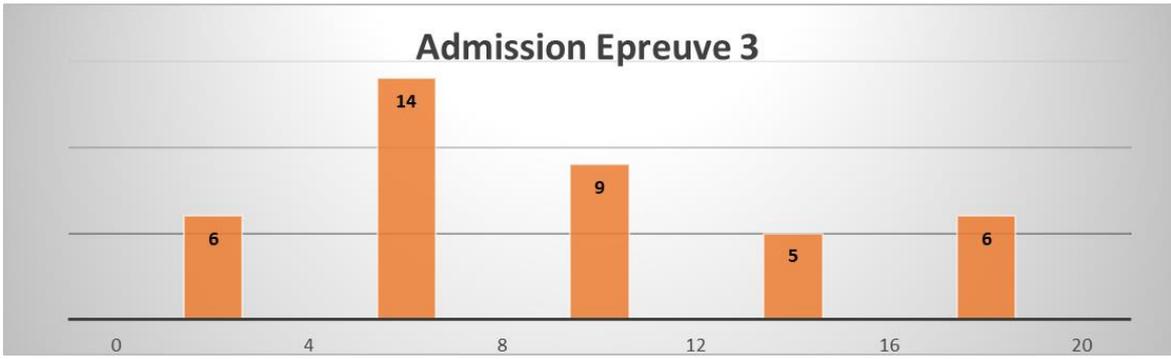
- la pertinence du choix de l'ouvrage qui doit être d'actualité récente (**en lien avec l'option Ingénierie des Constructions**) et ne présentant pas une obsolescence technique et réglementaire,
- les relations établies avec les milieux socio-économiques,
- la qualité et la pertinence des documents techniques,
- 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,
- la qualité de l'expression orale,
- 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.

#### **Notes obtenues à l'épreuve**

La moyenne des notes obtenues est de 9,2/20. L'écart-type est de 1,9. La meilleure note est 19/20.

La plus faible est 4,8/20.

#### ***Répartition des notes de l'épreuve (nombre de copies en fonction de leur note)***



## IV. Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité du candidat à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...) ;
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

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

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier. L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;

...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR – DGESCO) ;
- le parcours Avenir (NOR : MENE1514295A, arrêté du 1-7-2015 – JORF du 7-7-2015, MENESR - DGESCO A1-4) ;
- la banque de ressources « Pour une pédagogie de la laïcité à l'école » - Abdenour Bidar - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire sur la laïcité (<https://eduscol.education.fr/cid46673/ressources-nationales.html>).