



## **Concours du second degré**

### **Rapport de jury**

---

#### **Concours : Agrégation**

#### **Section : Sciences industrielles de l'ingénieur Option : Ingénierie des constructions**

#### **Concours externe**

#### **Session 2017**

# Sommaire

<b>RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2017 .....</b>	<b>4</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>5</b>
<b>A. EPREUVES D'ADMISSIBILITE .....</b>	<b>8</b>
I. EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR.....	8
<i>I.1 Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur.....</i>	<i>8</i>
<i>I.2 Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur.....</i>	<i>19</i>
II. EPREUVE DE MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION.....	25
<i>II.1 Eléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....</i>	<i>25</i>
<i>II.2 Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation .....</i>	<i>37</i>
III. ELEMENTS DE CORRECTION DE L'EPREUVE DE CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION .....	40
<i>III.1 Eléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....</i>	<i>40</i>
<i>III.2 Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....</i>	<i>51</i>
<b>B. EPREUVES D'ADMISSION.....</b>	<b>53</b>
I. EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UNE ACTIVITE PRATIQUE RELATIVE A L'APPROCHE GLOBALE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE	53
<i>I.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique.....</i>	<i>53</i>
<i>I.2 Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique.....</i>	<i>64</i>
II. RAPPORT DU JURY L'EPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE RELATIVES A L'APPROCHE SPECIALISEE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE .....	70
<i>II.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique.....</i>	<i>70</i>
<i>II.2 Rapport du jury sur l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique.....</i>	<i>75</i>
III. RAPPORT DU JURY DE L'EPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL .....	81
IV. RAPPORT SUR LA TRANSMISSION DES VALEURS ET PRINCIPES DE LA REPUBLIQUE .....	85

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 2017 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 du 24 juin inclus au 5 juillet 2017 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 2017

---

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
308	28	139	66	28

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	17,40
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	7,57
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	16,9
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	9,24

## 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. A 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 doivent être identifiés ainsi que leurs potentialités professionnelles et pédagogiques.

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

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

- Baccalauréats STI2D et SSI
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- DUT :
  - o Génie Civil Construction Durable
  - o Génie Thermique et Énergie
- BTS :
  - o Travaux Publics,
  - o Bâtiment,
  - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
  - o Constructions métalliques,
  - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation
  - o Fluides Énergies Domotique
  - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
  - o Étude et Réalisation des Agencements
  - o Aménagement et Finitions
  - o Étude et économie de la Construction
- Autres formations de l'ingénierie des constructions:
  - o Licences professionnelles, Masters...

Cette session est dans la continuité des précédentes au niveau des attentes du jury.

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 prés requis, il attend que le candidat décrive et justifie les activités et les démarches pédagogiques qui permettent d'atteindre les objectifs de formation. Ensuite, le candidat doit proposer une évaluation et éventuellement une remédiation.

La partie pédagogique de chacune des trois épreuves d'admission a pratiquement le même poids qu'une épreuve d'admissibilité. J'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
  - Etre 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
  - Etre 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 pluri technologique.

Il est donc fortement conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 25 novembre 2011 publié au JORF du 10 janvier 2012 et dans l'arrêté du 25 juillet 2014 publié au JORF du 12 août 2014 ainsi que les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport.

Les modalités de ces épreuves d'admissions 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 2017 a permis de pourvoir tous les postes et de recruter 28 nouveaux professeurs agrégés d'un bon niveau.

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 adaptée 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.

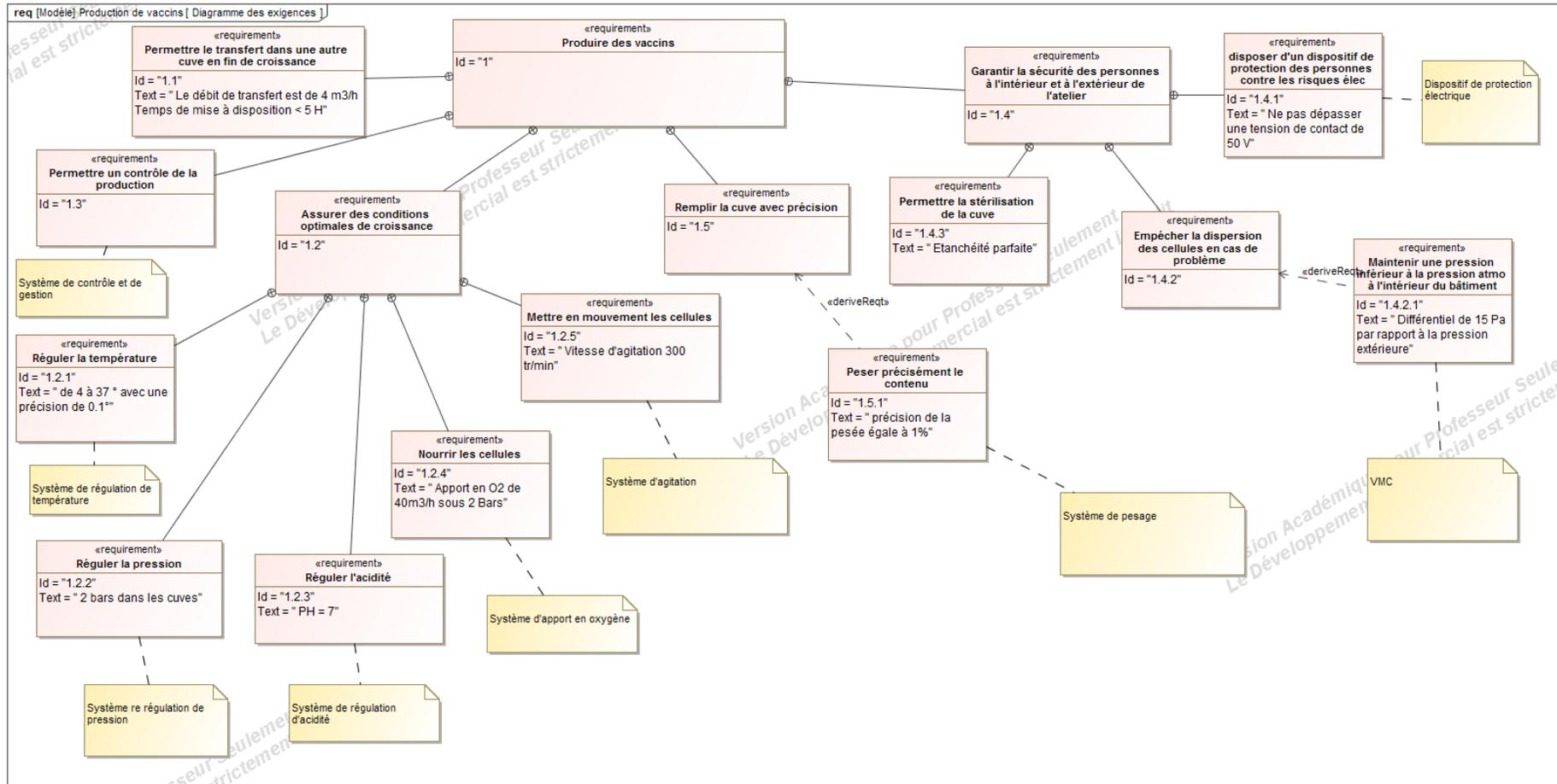
La présidente du jury de l'agrégation SII IC

# A. Epreuves d'admissibilité

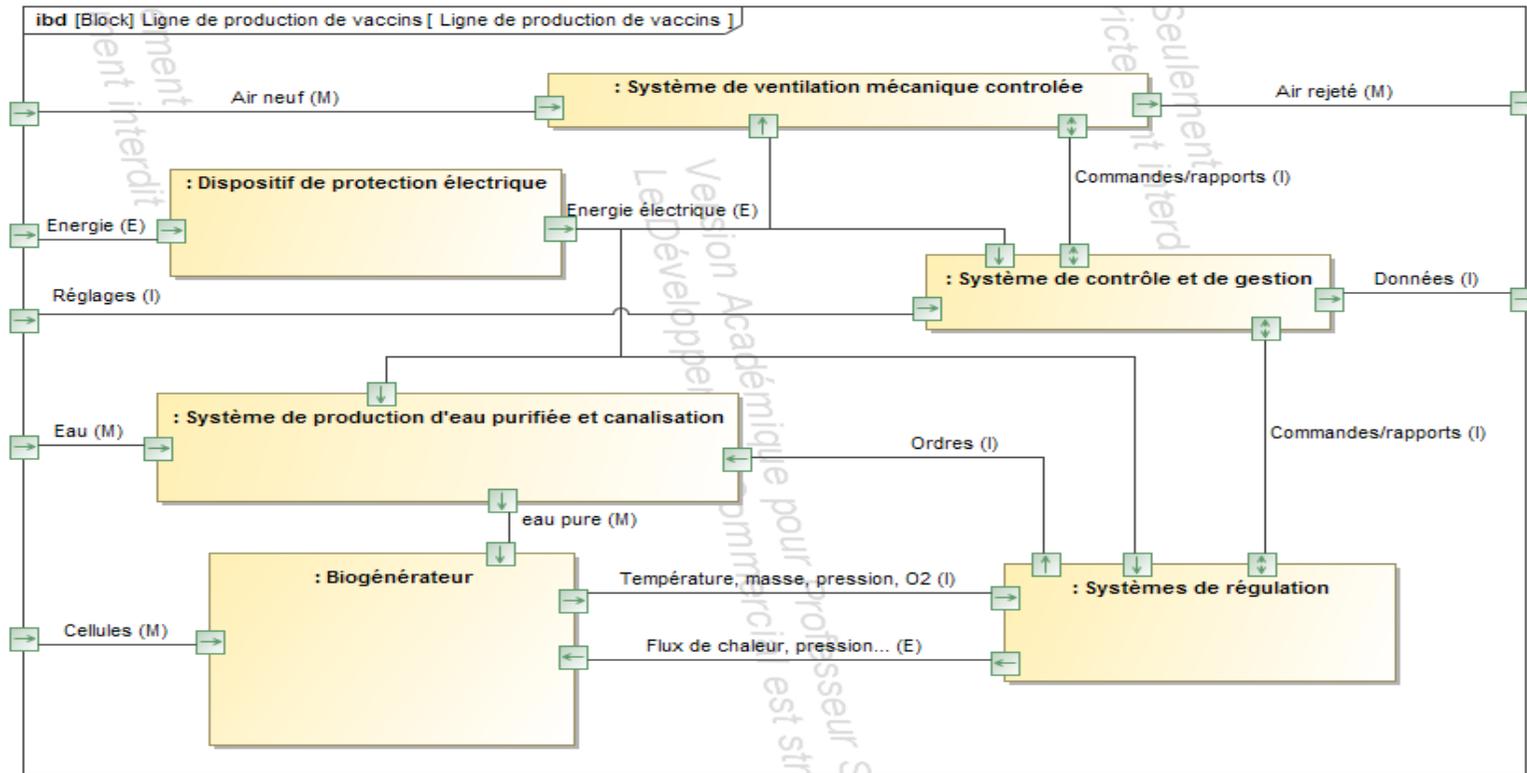
## I. Epreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

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

Question 1 :



**Question 2 :**



**Question 3 :**

Dans le cadre de ce process, il faut un matériau suffisamment résistant d'un point de vue mécanique pour résister à la pression, qui ne soit pas agressif pour le contenu de la cuve et qui ne se dégrade pas au contact du produit. L'acier inoxydable est également compatible d'un point de vue fabrication avec la forme souhaitée. Le critère économique ne convient pas ici car l'acier inoxydable est un matériau cher.

#### Question 4 :

On suppose que les temps de montée et de descente en température pour une cuve sont les mêmes.

La durée  $D$  avant disponibilité est donnée par la somme des termes suivants :

- temps de remplissage cuve de 300 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 1000 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température ;
- temps de remplissage cuve de 4500 L ;
- temps de montée en température ;
- temps agitation (1h) ;
- temps de descente en température.

avec temps de remplissage 300 L = volume/débit =  $0,3/4 = 0,075$  h

temps de remplissage 1000 L = volume/débit =  $1/4 = 0,25$  h

temps de remplissage 4500 L = volume/débit =  $4,5/4 = 1,125$  h

avec temps de montée en température 300 L = 12 min = 0,2 h

temps de montée en température 1000 L = 12 min x 1000/300 = 0,67 h

temps de montée en température 4500 L = 12 min x 4500/300 = 3h

soit  $D = 0,075 + 0,2 \times 2 + 1 + 0,25 + \frac{2}{3} \times 2 + 1 + 1,125 + 3 \times 2 + 1 = 12,18$  h soit 12 heures et 11 minutes.  $D$  est

inférieure à 13 heures donc l'exigence du cahier des charges est vérifiée.

#### Question 5 :

Il est nécessaire d'utiliser au moins trois pieds soit trois pesons, pour que la cuve soit en équilibre stable sur la dalle. La dalle a peu de chance d'être parfaitement plane, l'utilisation de trois pesons permet d'obtenir, par la somme des trois mesures, la masse totale de la cuve.

La liaison équivalente réalisée par les trois pesons est une liaison appui-plan de normale verticale.

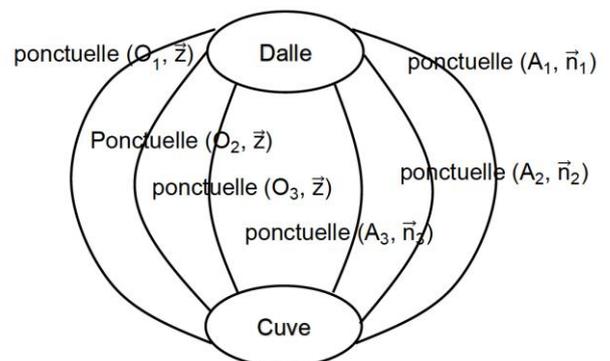
#### Question 6 :

La représentation 3D permet de proposer des liaisons rotules (surfaces de contact sphériques) entre la bielle et les plateaux inférieur et supérieur. Les deux rotules sont en série et réalisent ainsi une liaison ponctuelle d'axe identique à celui de la bielle.

#### Question 7 :

Le graphe des liaisons correspondant est donné ci-contre.

Les liaisons ponctuelles réalisées par les biellettes associées aux trois ponctuelles verticales des parties capteurs des pesons permettent de réaliser une liaison complète isostatique de la cuve par rapport à la dalle. Ainsi la cuve est fixe, elle repose sur trois points de mesure même si la dalle n'est pas parfaitement plane. Les biellettes permettent de compenser les défauts de planéité de la dalle grâce à un réglage de leur longueur.



**Question 8 :**

La longueur du tube est grande par rapport à sa section, on peut donc utiliser un modèle poutre. On applique un effort  $F$  égal au tiers du poids de la cuve pleine soit 30 000 N. Cet effort est modélisé ponctuel car la zone de contact est petite et presque centrée sur la poutre. Compte tenu de la coupe A-A, les tubes sont posés sur la feuillure sans blocage axial ce qui justifie un modèle de liaisons avec des conditions aux limites de déplacement vertical imposé nul et non un encastrement.

**Question 9 :**

Sachant que l'effort est centré au milieu de la poutre, et par symétrie, l'effort en  $x=0$  est égal à  $\frac{F}{2}$ . Le moment dans le premier tronçon de  $0$  à  $\frac{L}{2}$  est donc égal à  $\frac{F}{2} \cdot x$ .

Pour calculer la flèche  $v$ , on utilise la relation de comportement  $E \cdot I_z \cdot \frac{d^2v}{dx^2} = \frac{F}{2} \cdot x$  soit par double intégration

$$v(x) = \frac{F}{12 \cdot E \cdot I_z} \cdot x^3 + A \cdot x + B.$$

On utilise les conditions aux limites pour déterminer les constantes d'intégration :

$$v(0) = 0 \text{ et } \frac{dv}{dx}\left(\frac{L}{2}\right) = 0, \text{ d'où } B = 0 \text{ et } A = -\frac{F \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I_z}.$$

On en déduit alors la flèche au milieu de la poutre pour  $x = \frac{L}{2}$  à  $\delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z}$ .

**Question 10 :**

Pour faire l'application numérique il faut d'abord déterminer  $I_z$ . Pour une section carrée de côté  $a$  :  $I_z = \frac{a^4}{12}$ .

Ainsi le moment quadratique pour la section tubulaire de côté  $a$  et d'épaisseur  $e$  est égale à

$$I_z = \frac{a^4 - (a - 2 \cdot e)^4}{12} \approx \frac{2 \cdot e \cdot a^3}{3}.$$

D'où, pour un effort  $F = 30\,000$  N, l'épaisseur minimale du tube doit être de  $e = 3,5$  mm pour répondre au critère de flèche maximale.

**Question 11 :**

Pour chaque simulation, on relève le déplacement maximal, la contrainte maximale et on évalue la masse de la structure de longueur 14,4 m pour en déduire le coût de la structure. La section de la poutre est égale à  $a^2 - (a - 2 \cdot e)^2 \approx 4 \cdot e \cdot a$  ce qui correspond pour l'acier à un coût égal à  $4 \times e \times 0,2 \times 7300 \times 14,4 \approx 100915 \times e$  avec  $e$  en m.

Épaisseur	Déplacement	Contrainte	Coût
2	2,9 mm	490 MPa	673 euros
3	2,1 mm	123 MPa	1009 euros
4	0,8 mm	85 MPa	1345 euros

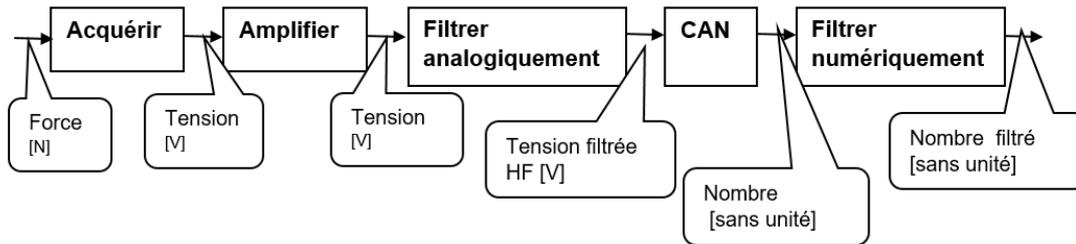
Par analyse des résultats, l'épaisseur de 2 mm ne convient pas car la contrainte dépasse la limite d'élasticité de 241 MPa.

Les deux épaisseurs 3 et 4 mm conviennent car le déplacement est inférieur à 5 mm et la limite élastique n'est pas atteinte.

Pour conclure, on choisit l'épaisseur de 3 mm pour limiter la masse et donc le coût.

On en déduit que l'intérêt de la simulation est d'optimiser le résultat obtenu par un modèle poutre simple.

**Question 12 :**



1

**Question 13 :**

L'analyse de la courbe montre :

- une courbe croissante au cours du temps ce qui traduit le remplissage de la cuve ;
- une oscillation de fréquence 5 Hz qui est due à l'agitation du produit dans la cuve. En effet,  $300 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  équivaut à une fréquence de  $f = \frac{300 \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot 2 \cdot \pi} = 50 \text{ Hz}$ , ce qui correspond bien à la fréquence de l'ondulation ;
- une ondulation à haute fréquence qui correspond à un bruit à haute fréquence, certainement dû à des parasites extérieurs lors de la mesure.

Le filtre analogique est un filtre passe-bas qui permet de limiter les fréquences hautes du signal et éliminer ainsi les bruits parasites.

Le deuxième filtre est numérique et permet de faire une moyenne du signal afin de retirer les ondulations de fréquence moyenne dues à l'agitation.

**Question 14 :**

On choisit le filtre passe-bas, c'est-à-dire le premier dans l'annexe car il permet de couper les fréquences supérieures à 500 Hz.

Pour que ce filtre soit efficace, il faut que sa fréquence de coupure soit au minimum inférieure d'une décade aux fréquences à couper. L'application numérique s'écrit alors  $\frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = 50 \text{ Hz}$ , soit une constante de temps

$$\tau = R \cdot C = 3,2 \text{ ms}.$$

**Question 15 :**

On discrétise l'équation différentielle à l'aide du schéma d'Euler :  $\frac{\tau \cdot (S_n - S_{n-1})}{T_e} + S_n = e_n$

$$\text{On en déduit que : } S_n = \frac{T_e}{T_e + \tau} \cdot \left( \frac{\tau}{T_e} \cdot S_{n-1} + e_n \right)$$

**Question 16 :**

$$\text{Si } T_e \ll \tau, S_n = S_{n-1} + \frac{T_e}{\tau} \cdot e_n.$$

$$\tau \text{ doit couper les fréquences égales à } 0,5 \text{ Hz, soit } \tau = \frac{1}{2\pi \cdot f} = 0,32 \text{ s}.$$

**Question 17 :**

On introduit deux vecteurs de taille 100 :  $\mathbf{e}$  (vecteur connu) et  $\mathbf{S}$ .

L'algorithme proposé pour obtenir le signal filtré est le suivant :

Initialisation des variables :  $n = 1, S_n = 0, T_e = 1 \cdot 10^{-7}, \tau = 0,32$

Boucle : Pour  $n$  variant de 1 à 99 faire :

$$S_{n+1} = S_n + \frac{T_e}{\tau} \cdot e_n$$

On peut alors sortir le vecteur  $S$ .

**Question 18 :**

La sortie peson varie de 0 à 20 mV soit, avec l'amplification, de 0 à 10 V. Si on retranche 5 V, on retire la moitié de ce que peut mesurer le peson. En effet, au départ, le peson pèse la masse de la cuve seule soit 4,5 tonnes, ce qui est bien la moitié de la masse totale (cuve + produit) et correspond à 5 V. Pour conclure l'entrée 5 V, représente l'image de la masse de la cuve à vide.

**Question 19 :**

L'étude porte sur la grosse cuve de 4 500 L. On souhaite obtenir une précision de mesure de 1 % du poids de la cuve soit 1 % de 9 000 kg, ce qui correspond à une précision sur le poids total de la cuve de 90 kg soit environ 900 N.

Chaque peson a une étendue d'échelle de 35 000 N. La précision de l'ensemble peson et chaîne de traitement est donc de  $\frac{35\,000}{2^n}$ . Avec un convertisseur 8 bits, la précision obtenue par peson est de 137 N.

Pour conclure sur la mesure du poids total de la grosse cuve, un convertisseur 8 bits permet d'obtenir une mesure du poids à  $3 \times 137 = 411$  N près et par conséquent de vérifier l'exigence du cahier des charges.

**Question 20 :**

L'eau met un certain temps à parcourir la longueur de la canalisation, ceci justifie donc la prise en compte d'un retard dans la régulation de niveau.

On considère qu'à chaque instant  $Q(t) = Q_c(t)$  car on fait l'hypothèse que l'eau est incompressible et qu'il n'y a de pertes ni dans la canalisation ni aux jonctions.

Étant donné que le débit  $Q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et sachant que le volume de la queue de chute est de  $V = \frac{L \cdot \pi \cdot D^2}{4}$ , on en déduit que le retard entre le moment où la vanne de remplissage se ferme et le moment où la queue de chute se vide dans la cuve est de  $T = \frac{V}{Q} = \frac{2 \times \pi \times (0,1)^2}{4 \times 4} \times 3600 = 14 \text{ s}$ .

**Question 21 :**

On note :

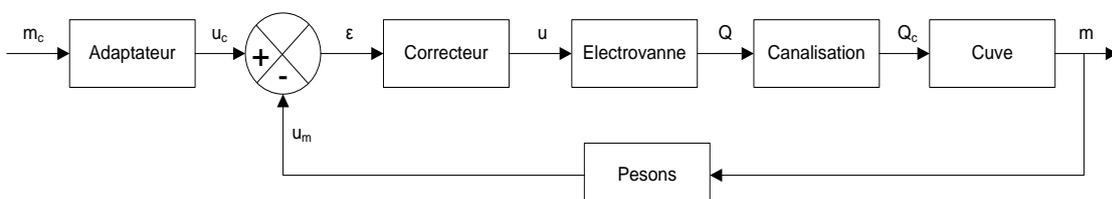
- $S$ , section de la cuve ;
- $h(t)$ , hauteur de remplissage instantané ;
- $Q(t)$ , débit instantané ;
- $\rho$ , masse volumique du produit.

Comme il y a conservation du débit, la hauteur d'eau est reliée au débit par  $h(t) = \int \frac{Q(t)}{S} \cdot dt$ .

La masse de produit dans la cuve à chaque instant s'exprime alors par :

$$m(t) = \rho \cdot V = \rho \cdot h(t) \cdot S = \rho \cdot \int Q(t) \cdot dt$$

**Question 22 :**



**Question 23 :**

Avec une commande tout ou rien, tant que la hauteur de consigne n'est pas atteinte, le débit est maximal. Ensuite, une fois la hauteur de consigne atteinte, le débit devient nul mais la fermeture de la vanne n'est pas instantanée. Il y a également un retard lié à la canalisation, d'où un dépassement de consigne inévitable. Étant donné que l'on ne peut pas vider facilement la cuve pour réajuster la hauteur, cette solution de régulation par un système TOR n'est absolument pas envisageable dans la situation d'un remplissage de biogénérateur.

**Question 24 :**

On constate que le système est précis (les 1000 kg sont atteints) et rapide car les 1000 kg sont atteints en un temps de réponse à 5 % de 80 s. Par contre, la tension de commande est supérieure à 12 V tension maximale supportée par l'électrovanne. Il est donc nécessaire d'ajouter dans le modèle une saturation en tension.

**Question 25 :**

On constate que le système est toujours précis (les 1000 kg sont atteints) mais moins rapide puisqu'il y a l'effet de la saturation au début. Il met maintenant environ 125 s pour atteindre les 95 % de la valeur finale ce qui reste satisfaisant.

On peut conclure que l'intérêt de la régulation de masse est qu'elle permet au système d'atteindre précisément la masse souhaitée en un temps raisonnable sans risque de surtension qui endommagerait l'électrovanne.

**Remarque :** une erreur sur l'échelle des temps s'est glissée dans le sujet. Le débit de remplissage de la cuve était de  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ce qui implique que le remplissage se fait en un peu plus d'une heure.

**Question 26 :**

La partie métallique a une masse de  $M_r = 2240 \text{ kg}$  avec un  $C_{pr} = 0,12 \text{ Kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

La quantité d'énergie nécessaire pour la chauffer est :  $M_r \cdot C_{pr}$ .

Ceci est équivalent à chauffer une masse de produit de  $M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}}$ .

On en déduit que la masse équivalente produit totale à chauffer est :  $M_p = M_e + M_r \cdot \frac{C_{pr}}{C_{pe}} = 4668 \text{ kg}$ .

**Question 27 :**

Expression du flux perdu à travers un élément d'échangeur  $dS$  :  $d\phi = k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS$ .

Expression du flux perdu par le mono fluide :  $d\phi = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$ .

**Question 28 :**

$$k \cdot (T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}}) \cdot dS = -(Q_m \cdot C_{pfl}) \cdot dT_{\text{fluide}}$$

$$\frac{dT_{\text{fluide}}}{(T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}})} = -\frac{k \cdot dS}{Q_m \cdot C_{pfl}}$$

**Question 29 :**

De l'expression précédente on en déduit :  $T_{\text{fluide}} - T_{\text{cuve}} = C_{ste} \cdot e^{-\frac{k \cdot S}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$ .

Au début du serpentin :  $S = 0$   $T_{\text{fluide}} = T_1$  d'où  $T_1 - T_{\text{cuve}} = C_{ste}$ .

Au bout du serpentin après toute la surface d'échange  $S = \Sigma$  :  $T_{\text{fluide}} = T_2$ .

$$T_2 - T_{\text{cuve}} = (T_1 - T_{\text{cuve}}) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}}$$

Ainsi par identification  $A = T_{\text{cuve}}$ ,  $B = (T_1 - T_{\text{cuve}})$  et  $C = \frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}$ .

La température du fluide varie de manière exponentielle au fur et à mesure que le fluide passe dans le serpentin.

**Question 30 :**

a- Ce transfert thermique traduit que la puissance thermique gagnée par la cuve est égale à la quantité de chaleur libérée par le passage du fluide dans le serpentin.

$$b- M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot (T_1 - T_2).$$

Avec l'expression précédente de  $T_2$  : 
$$M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot \left( T_1 - (T_1 - T_{cuve}) \cdot e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} - T_{cuve} \right).$$

$$M_P \cdot C_P \cdot \frac{dT_{cuve}}{dt} + Q_m \cdot C_{pfl} \cdot T_{cuve} \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) = Q_m \cdot C_{pfl} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right).$$

$$\frac{dT_{cuve}}{dt} + \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_{cuve} \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right).$$

Ainsi l'équation différentielle qui régit la température de la cuve s'écrit :  $\frac{dT_{cuve}}{dt} + a \cdot T_{cuve} = b.$

$$\text{Avec } a = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right) \text{ et } b = \frac{Q_m \cdot C_{pfl}}{M_P \cdot C_P} \cdot T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{k \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{pfl}}} \right).$$

**Question 31 :**

Courbe 1 :  $T_1$  est constante (température du serpentin en entrée).

Courbe 2 :  $T_2$  évolue de manière exponentielle et commence à une température supérieure à 4°C.

Courbe 3 :  $T_3$  évolue de manière exponentielle et commence à 4°C. C'est cette courbe qui correspond à l'évolution de la température de la cuve.

**Question 32 :**

On lit qu'il faut 9000 secondes soit 2 h 20 min pour atteindre  $T_{cuve} = 37^\circ\text{C}$ . L'exigence de montée en température de 4 h du cahier des charges est vérifiée.

**Question 33 :**

Le modèle ne prend pas en compte l'inertie du mono fluide. On ne vidange pas le mono fluide une fois la température de 37°C atteinte.

La température du mono fluide est toujours de 40°C lorsque la température de la cuve a atteint 37°C. Comme le serpentin n'est pas vidangé, le mono fluide apporte encore de la chaleur même quand la vanne est fermée. Donc il est certain qu'il y aura dépassement des 37°C et le risque d'atteindre les 39°C existe.

Cette solution sans aucune régulation de température est imprécise et risquée pour la production d'où la nécessité d'une régulation en température pour être sûr de ne pas dépasser les 39°C définis dans le cahier des charges.

**Question 34 :**

Bloc 1 : régulateur.

Bloc 2 : vanne.

Bloc 3 : échangeur.

Bloc 4 : serpentin + cuve.

Bloc 5 : capteur de température.

**Question 35 :**

Bloc 3 : l'allure des points est modélisable par une loi entrée et sortie. Donc la fonction de transfert est un gain

$$K, \text{ avec } K = \frac{\text{sortie}}{\text{entrée}} = \frac{400 \cdot 10^3}{3} = 1,333 \cdot 10^5 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} = 48 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Bloc 4 : loi de comportement d'un premier ordre.

$$T_{\text{cuve}} = K \cdot P_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ avec } 3\tau = 20\,000 \text{ s} = 5 \text{ h } 30 \text{ min d'où } \tau = 6\,668 \text{ s}.$$

Pour un entrée échelon  $P_0 = 90\,000 \text{ W}$

$$\text{Le gain de la fonction de transfert : } K = \frac{T_0}{P_0} = \frac{0,03}{9 \cdot 10^4} = 3,33 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}.$$

**Remarque** : une erreur sur l'unité de l'échelle des températures s'est glissée dans le sujet. La température atteinte par le contenu de la cuve est de  $34^\circ\text{C}$ .

### Question 36 :

La courbe de réponse ne présente :

- pas de dépassement de  $37^\circ\text{C}$  ;
- un temps de mise en chauffe plus rapide (en effet le bouclage augmente la rapidité) ;
- un temps de réponse de  $2\,000 \text{ s}$  soit  $35 \text{ min}$ .

Par contre il y a une erreur de plusieurs degrés ( $4^\circ\text{C}$ ) puisque la température maximale atteinte est de  $33^\circ\text{C}$ , il est donc nécessaire de régler le correcteur pour répondre à tous les critères du cahier des charges.

### Question 37 :

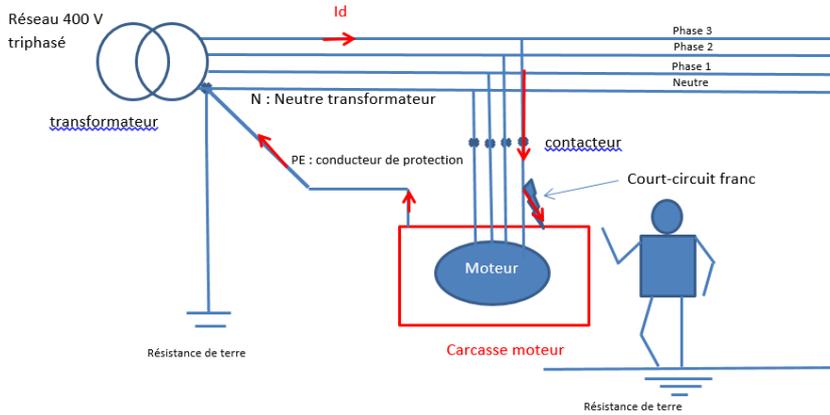
Le recensement des performances des différents réglages par analyse des courbes est résumé dans le tableau suivant :

	Cahier des charges			
	Dépassement	Erreur	Temps de réponse à 95 % ( $35^\circ\text{C}$ )	Choc thermique Temps pour atteindre $30^\circ\text{C}$
	$39^\circ\text{C}$ maxi	$0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$	$3\text{h} = 10\,800 \text{ s}$ maxi	$2\,000 \text{ s}$ mini
$K_p = 20$	non	$0,25^\circ\text{C}$	$110 \text{ s}$	
$K_p = 200$	oui	$<0,1^\circ\text{C}$	$50 \text{ s}$	
$K_p = 1$ et $K_p = 8 \cdot 10^{-5}$	non	$0^\circ\text{C}$	$4\,000 \text{ s}$	$1\,800 \text{ s}$
$K_p = 0,5$ et $K_p = 8 \cdot 10^{-5}$	non	$0^\circ\text{C}$	$5\,000 \text{ s}$	$2\,500 \text{ s}$

La fonction intégrale permet d'assurer une bonne précision sans dépassement.

La solution  $K_p = 0,5$  et  $K_p = 8 \cdot 10^{-5}$  est la seule qui permette de vérifier les quatre performances du cahier des charges.

### Question 38 :

**Question 39 :**

Le parcours du courant  $I_d$  passe par la phase 3, puis  $R_d$ , puis  $R_{pe}$ . Ces 3 résistances sont donc en série avec la phase 3.

**Question 40 :**

$$U_D = \frac{R_{pe}}{R_d + R_{pe} + R_{phase3}} \times 0.8 \times V_3.$$

Il fallait lire pour l'application numérique des valeurs  $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$ .

$$\text{A.N. : } U_D = \frac{50}{150} \times 0.8 \times 230 = 61 \text{ V}$$

$U_D$  est supérieur à 50 V ( $U_L$ ), il faut donc interrompre le transfert d'énergie.

**Question 41 :**

Le parcours du courant passe par  $R_{phase3}$ ,  $R_d$ ,  $R_{pe}$ ,  $R_a$  puis  $R_b$ . Toutes ces résistances sont en série. La tension  $U_D$  est donc celle aux bornes de l'ensemble ( $R_{pe} + R_a$ ).

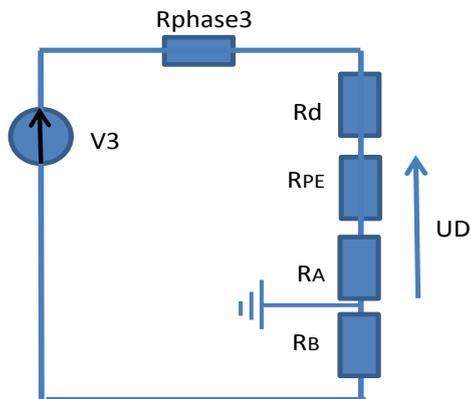
$$\text{Dans ce cas, } U_D = \frac{R_{pe} + R_a}{R_d + R_{pe} + R_{phase3} + R_a + R_b} \times V_3.$$

Il fallait, comme à la question précédente, lire pour l'application numérique les valeurs des résistances des conducteurs  $R_d = R_{pe} = R_{phase3} = 50 \text{ m}\Omega$ .

On obtient alors un courant de défaut  $I_D = 11.4 \text{ A}$ . Cette intensité du courant ne donne pas lieu à une chute de tension de 20 % à la source, contrairement à la question précédente.

$$\text{A.N.: } U_D = \frac{0,05+10}{0,05+0,05+0,05+10+10} \times 230 = 115 \text{ V}$$

$U_D > U_L$ , il est nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie : cela ne convient pas pour cette installation.



**Question 42 :**

Comme le suggère la figure 36, la prise de terre des masses est commune à celle du neutre. Sur le schéma équivalent n'est pas représenté l'ensemble  $(Z + R_b)$  entre le neutre N et la terre (point A). On peut négliger la valeur de  $R_b$  devant celle de  $Z$ .

$$\underline{U}_{NA} = \frac{\frac{V_1}{Z_1} + \frac{V_2}{Z_2} + \frac{V_3}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_n} + \frac{1}{Z}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{4 + \frac{Z_n}{Z}} = 0.$$

**Question 43 :**

$$I_f = \frac{V_1 - U_{AN}}{Z_1} + \frac{V_2 - U_{AN}}{Z_2} + \frac{V_3 - U_{AN}}{Z_3} + \frac{-U_{AN}}{Z_n} = -4 \frac{U_{AN}}{Z_n}.$$

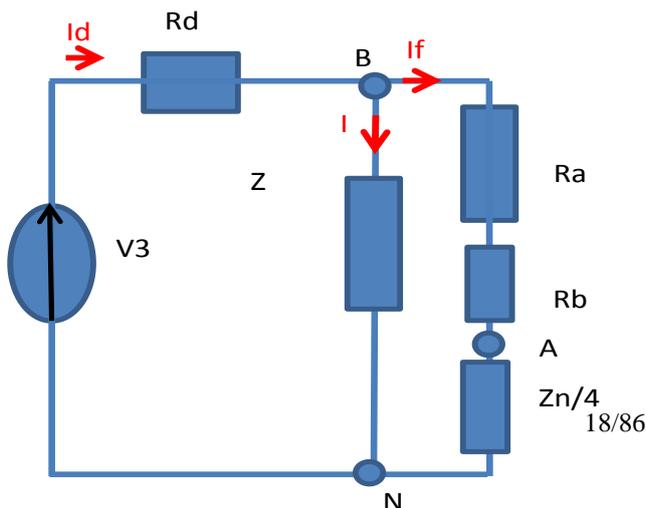
Et donc :  $\underline{U}_{AN} = -\frac{Z_n}{4} I_f$

**Question 44 :**

On appelle B le point correspondant au potentiel de prise de terre du neutre. En observant le parcours du courant, on s'aperçoit que  $R_d$  est entre  $V_3$  et B ;  $Z$  entre B et N ;  $\frac{Z_n}{4}$  entre N et A et  $R_b$  entre A et B, ce qui amène au schéma donné, si on néglige les résistances  $R_{phase3}$  et  $R_{pe}$ .

**Question 45 :**

En utilisant le pont diviseur de courant, on obtient d'après la figure suivante :



$$I_f = \frac{V_1 \times j4C_n \omega \times Z}{R_d \times j4C_n \omega \times Z + (R_d + Z)(R_a + R_b) \times j4C_n \omega + R_d + Z}$$

Ce qui donne si on néglige  $R_b + R_a$  devant  $\frac{Z}{4}$  :  $I_f = \frac{V_1 \times j4C_n \omega \times Z}{R_d \times j4C_n \omega \times Z + R_d + Z}$ .

**Question 46 :**

En assimilant l'impédance  $Z$  à une résistance, on obtient :

$$I_f = \frac{V_1 \times 4C_n \times 2\pi f \times Z}{\sqrt{(R_d \times 4C_n \times 2\pi f \times Z)^2 + (R_d + Z)^2}} = \frac{230 \times 4 \times 1.6 \cdot 10^{-6} \times 100\pi \times 1000}{\sqrt{(50 \times 4 \times 1.6 \cdot 10^{-6} \times 100\pi \times 1000)^2 + (50 + 1000)^2}} = 438 \text{ mA}$$

et donc  $U_c = 4.38 \text{ V}$ .

$U_c \ll U_L$ , il n'est pas nécessaire d'interrompre le transfert d'énergie. La tension de contact est largement inférieure à la tension limite (50V), la personne n'est donc pas en danger.

**Question 47 :**

Il fallait lire  $U$  à la place de  $V_3$  dans la formule donnée.

$$U_c = \frac{0.8 \times 400 \times 4}{2 \times (1 + 4)} = 128 \text{ V}.$$

La tension de contact dépasse les 50 V de la tension limite : la personne est en danger. Il faut intervenir rapidement.

Cette troisième solution permet de ne pas couper l'alimentation de l'installation en cas de premier défaut, ce qui préserve le contenu des cuves. Par contre, il faut que les techniciens interviennent rapidement pour éliminer le premier défaut avant l'apparition d'un deuxième défaut qui serait, lui, dangereux.

**Question 48 :**

Après une analyse de la structure et des exigences du système, certaines de ces exigences en lien avec les cellules souches ont été étudiées en détail.

Il a tout d'abord été question d'analyser la précision du système de remplissage de la cuve. La modélisation des liaisons et de la structure a permis de justifier que l'implantation de la cuve était satisfaisante. L'analyse de la chaîne d'information a ensuite permis de valider l'obtention d'une mesure précise de la masse.

Plusieurs régulations ont été mises en place afin d'assurer le bon développement des cultures : régulation de masse, régulation de température. Chaque régulation a nécessité la mise en place d'un correcteur adéquat.

Enfin, une étude de la sécurité de l'installation a permis de valider le choix du schéma de liaison à la terre IT pour assurer la continuité de service de l'installation.

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

Cette épreuve, coefficient 1 et d'une durée de 6 heures 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 19 avril 2016, « *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 pluri-technique automatique* ».

## 1. Présentation du sujet

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

[http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg\\_externes/42/8/s2017\\_agreg\\_externes\\_sii\\_1\\_735428.pdf](http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externes/42/8/s2017_agreg_externes_sii_1_735428.pdf)

Le sujet proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur s'appuie sur le projet d'un grand groupe pharmaceutique, relatif à la construction d'un nouveau site de production de vaccins en région lyonnaise. Avant la phase de construction, une étude d'avant-projet est confiée à un bureau d'études en ingénierie qui réalise les choix technologiques et les prés-dimensionnements des différents composants de la ligne d'amplification cellulaire et du bâtiment la contenant. Une usine de vaccins impose de exigences fortes pour assurer la stérilité des produits développés et la sécurité du monde extérieur en rendant impossible toute contamination externe, pour gérer la gestion des flux des produits et des opérateurs et, enfin, pour respecter le processus de fabrication rigoureux imposé par le commanditaire.

Le processus d'amplification cellulaire consiste à favoriser la reproduction de cellules vivantes, telles que des virus dans le cas de vaccins, en les plaçant dans une cuve appelée biogénérateur ou bioréacteur. Celui-ci contient un milieu adapté et contrôlé pour produire les conditions les plus favorables au développement cellulaire (eau purifiée, oxygène, pression, température, pH, etc.).

La reproduction cellulaire engendre une augmentation du nombre de cellules tout au long du procédé et donc une augmentation progressive du volume de produit. Ainsi l'échantillon initial de cellules passe successivement dans trois biogénérateurs de différents volumes tout au long de sa croissance. Au début du processus d'amplification, l'échantillon initial est cultivé dans une cuve de 300 litres. La culture se poursuit dans une cuve de 1 000 litres et enfin dans une dernière de 4 500 litres. Les vaccins sont ensuite conditionnés en doses individuelles dans une seringue. Par conséquent, une ligne de production est constituée de ces trois bioréacteurs, associés à d'autres éléments qui permettent de garantir des conditions de reproduction optimales, fiables et sûres.

Le candidat par le biais de vérification de différentes exigences du cahier des charges du biogénérateur montre ses capacités à appréhender une étude de conception d'une unité de production de vaccins et à répondre aux problématiques industrielles diverses et interdépendantes qu'une telle étude d'ingénierie exige. L'étude proposée vise à vérifier certaines exigences du cahier des charges du biogénérateur de 4500 litres. Les performances à valider rythment et organisent l'énoncé. Les différentes parties qui en découlent ont des objectifs indépendants qui sont :

- l'analyse par une approche systémique du procédé et la vérification du temps de production ;
- la vérification de l'exigence de mise en position isostatique des cuves ;
- la vérification du dimensionnement de la structure porteuse du biogénérateur ;
- la vérification de l'exigence de précision dans la mesure du poids du produit en phase de remplissage par l'étude de la chaîne de mesure de la pesée et de la régulation de masse ;
- la vérification des exigences imposées à la régulation de température à l'aide d'une modélisation, d'un dimensionnement et d'un réglage de la chaîne de régulation ;
- la vérification de l'exigence de sécurité des personnes et de la production en cas de défaut électrique.

## 2. Analyse globale des résultats

La grande majorité des candidats aborde l'ensemble des parties du sujet. La partie modélisation de l'échange thermique entre les cellules dans le bioréacteur et le monofluide obtient le taux de réponse le plus faible. Pourtant, cette partie faisait appel à des modèles classiques du domaine des échanges de flux de chaleur. Tous les modèles de connaissance étaient donnés. Le candidat devait s'appropriier les différentes équations, grandeurs physiques et notations mises en jeu pour ensuite les utiliser dans le cadre de l'étude spécifique de l'échange thermique proposé. De plus, réussir cette épreuve demande d'assimiler des problématiques industrielles par une approche globale des systèmes complexes et de posséder des compétences transversales de sciences de l'ingénieur afin de pouvoir les résoudre. Pour répondre à ces exigences, les candidats doivent fournir un réel investissement de capacité d'appropriation de modèles de connaissance des différents domaines d'étude de

l'ingénierie même quand ceux-ci sont fournis. Ils doivent chercher à enrichir leur culture technologique afin d'être capable de comprendre et d'analyser différents résultats d'études pour pouvoir formuler des conclusions qui ont du sens dans toutes les spécialités de l'ingénierie. Le jury encourage les futurs candidats à continuer à fournir ces efforts d'ouverture au cours de leur préparation à cette épreuve transversale dont les exigences sont spécifiques.

La difficulté des questions dans chaque partie est suffisamment progressive pour permettre d'identifier les candidats les plus performants dans les différents domaines abordés.

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

#### *Partie 2 – Analyse globale de la ligne de production*

L'objectif de cette partie est de vérifier le temps de production imposé par le cahier des charges.

L'utilisation d'outils de l'ingénierie système, tels un diagramme des exigences et un diagramme des blocs internes, permet au candidat de s'appropriier le processus et ses composants afin de pouvoir ensuite déterminer le temps de production.

95% des candidats ont abordé cette partie et l'ont globalement bien réussie avec une moyenne de 12/20 pour ceux qui l'ont abordée. Les outils de l'ingénierie système sont connus et maîtrisés par presque la totalité des candidats. L'identification des flux de matière, énergie, information n'a pas posé de problème particulier malgré la complexité du processus. Les difficultés ont été davantage dans le calcul du temps de production qui demandait d'adopter une démarche méthodique de recensement des temps à calculer.

#### *Partie 3 – Étude de l'exigence : « remplir la cuve avec précision »*

L'objectif de cette partie est de vérifier l'exigence de précision du remplissage de la cuve spécifiée dans le cahier des charges. Il est nécessaire de vérifier les quatre exigences. Tout d'abord, il faut s'assurer des bonnes conditions de mesurage en vérifiant la mise en position correcte de la cuve sur son support et en dimensionnant la structure porteuse adéquate. L'information délivrée par les capteurs de pesage doit ensuite être traitée et analysée pour assurer la précision demandée. Finalement, l'information de masse est utilisée dans un asservissement, afin d'assurer l'exigence de précision au cours du remplissage.

#### *3.1 Mise en position isostatique des cuves*

L'objectif de cette étude est de vérifier l'exigence d'une mise en position isostatique de la cuve de 4 500 litres.

L'étude se décline en trois étapes dans le but d'aboutir à un modèle de liaison complète isostatique entre la cuve et la dalle.

#### *3.2 Dimensionnement du support de la cuve*

L'objectif de l'étude est de justifier l'exigence d'une flèche maximale de 5 mm du support de cuve et de dimensionner les tubes métalliques de cette structure porteuse pour la cuve de 9 tonnes afin de vérifier cette exigence de déplacement maximal.

78% des candidats ont abordé cette partie mais très peu l'ont traitée de manière satisfaisante dans sa totalité. Le jury observe que peu de candidats maîtrisent les fondamentaux de l'ingénierie mécanique et des constructions. L'essentiel de cette partie ne faisait pas appel à des connaissances mais à des capacités d'analyse et de justification de modèle. Trop peu de candidats parviennent à réinvestir leurs connaissances dans un contexte industriel.

#### *3.3 Précision de la mesure par le capteur*

L'objectif de l'étude est de vérifier que le capteur de pesage permet d'obtenir la précision de mesure de la pesée de 1 % imposée par le cahier des charges.

Cette partie est consacrée à l'analyse d'une chaîne complète d'acquisition : depuis la capture de la grandeur physique jusqu'à la restitution de l'information numérique en passant par son traitement et son conditionnement sous forme analogique et numérique.

93% des candidats l'ont abordé mais les résultats sont décevants puisque la moyenne obtenue est de 10/20. Trop de candidats ont rencontré des difficultés à identifier et structurer la chaîne complète d'acquisition, telle qu'elle se présente classiquement dans tous les systèmes complexes. La discrétisation de l'équation différentielle par la méthode d'Euler et sa simplification ont été mal traitées par la plupart des candidats. Le jury note beaucoup d'erreurs dans les unités. Il est également important de savoir traduire dans un langage de programmation un algorithme simple comme celui exposé dans le sujet. Face à l'évolution des systèmes, davantage de compétences informatiques industrielles seront nécessaires pour traiter les problématiques aux chaînes d'acquisition.

### *3.4 Régulation de niveau de la cuve*

L'objectif de l'étude est de vérifier que la régulation de niveau de la cuve permet de respecter le critère de précision du cahier des charges au cours du remplissage.

L'objet de cette partie est tout d'abord de justifier la prise en compte de la « queue de chute » lors de la fermeture de la vanne de remplissage qui engendre un décalage de la mesure de poids de la cuve, puis de choisir le correcteur adéquat pour la régulation de niveau.

78% des candidats ont abordé cette partie mais les résultats sont un peu décevants puisque la moyenne obtenue est de 10/20. Il apparaît que trop de candidats éprouvent des difficultés à transcrire la description littérale de la régulation en un schéma bloc fonctionnel à boucle simple. La remise dans son contexte des conséquences de certains choix technologiques présente des difficultés pour nombre de candidats. Dans cette partie, il est demandé de justifier ou de décrire. Il est donc nécessaire, pour réussir, que les candidats prennent le temps d'écrire dans un français correct leur réponse en écrivant des phrases complètes et non une simple suite de mots clés. Il est également indispensable de donner des valeurs numériques qui valident les critères étudiés.

### *Partie 4 – Étude de l'exigence « permettre une mise en température rapide de la cuve »*

L'objectif de cette partie est de vérifier le temps de montée en température du produit présent dans la cuve. Le diagramme des exigences du cahier des charges impose que le produit dans la cuve passe de 4 °C à 37 °C en 3 h tout en ne dépassant jamais 39 °C avec une précision de 0,1 °C.

#### *4.1 Modélisation de l'échange thermique monofluide / produit*

L'objectif de cette partie est d'élaborer la loi de connaissance qui régit l'échange thermique entre le monofluide et le produit, pour ensuite analyser l'évolution de la température dans la cuve et finalement justifier la nécessité d'une régulation de température pour ne pas détruire les cellules.

Cette partie n'a été abordée que par 55% des candidats avec une moyenne de 7/20. Tous les modèles de connaissance de thermique étaient fournis. La démarche de modélisation était donnée par un questionnaire progressif et les résultats intermédiaires étaient fournis. Il était ainsi possible d'apporter des conclusions car les courbes de simulation du modèle obtenu étaient fournies en fin de partie. Le jury attire l'attention des candidats sur le fait que les problèmes de thermique sont l'occasion de mettre à profit une approche transversale de résolution de problème. Enfin, peu de candidats ont su prendre le recul nécessaire pour apprécier la réalité industrielle du biogénérateur et justifier la nécessité d'une régulation thermique en raison de la dynamique du système.

#### *4.2 Modélisation et réglage de la chaîne de régulation en température du bioréacteur dans la phase de mise en chauffe en début de production*

L'objectif de cette partie est de modéliser la chaîne de régulation puis de choisir le correcteur qui permet de répondre à tous les critères du cahier des charges. Cette partie privilégie une approche qualitative des performances d'un asservissement sans aucun calcul, simplement par l'analyse de courbes de simulation ou de résultats expérimentaux et par la justification de choix et modèles.

65% des candidats ont abordé cette partie et la moyenne obtenue par les candidats qui l'ont abordée est de 11,5/20. Certains candidats ont eu des difficultés à faire le lien entre le schéma blocs fonctionnel et le schéma structurel. Pourtant toutes les unités des grandeurs d'entrée et de sortie étaient données. Parfois l'étude s'est limitée à l'analyse d'un seul critère de performances. Or le cahier des charges en imposait cinq.

## *Partie 5 - Etude de l'exigence « assurer la sécurité de la production et des personnes »*

L'objectif de cette partie est de valider le schéma de liaison à la terre (SLT) de l'installation afin d'assurer la sécurité de la production et des personnes.

### *5.1 Transfert d'énergie et effet du courant lorsque le neutre est relié à la terre*

L'objectif de l'étude est de montrer que le premier schéma de liaison à la terre proposé, qui consiste à relier le conducteur de protection au neutre puis le neutre à la terre, ne permet pas de satisfaire les exigences de sécurité du cahier des charges.

Dans cette partie, les modèles étaient fournis, les candidats devaient mettre en œuvre les lois de bases de l'électricité pour conclure.

### *5.2 Transfert d'énergie et effet du courant lorsque le neutre est séparé de la terre par une impédance*

L'objectif de cette étude est de montrer que la solution consistant à séparer le neutre de la terre par une impédance permet de conserver le transfert d'énergie tout en garantissant la sécurité des personnes en présence d'un premier défaut.

L'étude donne tous les modèles y compris les équations intermédiaires, ce qui permet de conclure sur la pertinence du choix du schéma de liaison à la terre sur le site industriel dans le cas de l'apparition d'un unique défaut.

### *5.3 Dangers de l'apparition d'un second défaut entre phase 2 et neutre*

L'objectif de cette étude est de montrer que la solution choisie permet de répondre aux exigences du cahier des charges.

Seulement 30% des candidats ont traité cette question et ont obtenu une moyenne de 10/20. Il s'agissait de prendre du recul sur le sujet en se replaçant dans le contexte industriel.

## *Partie 6 - Synthèse*

Cette partie permet de faire une synthèse de la démarche proposée dans l'étude d'avant-projet d'ingénierie de conception d'une unité de production de vaccins et de vérifier que les exigences attendues par le commanditaire sont satisfaites.

Seulement 30% des candidats ont traité cette question. Il s'agissait de prendre du recul sur le sujet en se replaçant dans le contexte industriel.

### **Conseils aux futurs candidats**

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 les candidats qui refusent d'évoluer vers une approche transversale et opèrent une sélection parmi les différentes spécialités de l'ingénierie ne réussissent pas cette épreuve, leur note finale s'en trouvant *de facto* fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours.

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

Le jury a noté un laisser-aller dans la présentation des copies et la rédaction. La présentation doit être irréprochable et respecter les indications ci-après.

Le numéro des questions traitées doit être indiqué et respecté. Les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées.

De plus, les résultats doivent être impérativement présentés de la façon suivante :

- l'expression littérale, sans aucune application numérique, est présentée encadrée ;
- l'expression est ensuite donnée en remplaçant les termes littéraux par leurs valeurs numériques, dans le même ordre que l'expression littérale ;
- le résultat numérique est ensuite indiqué avec l'unité et encadré.

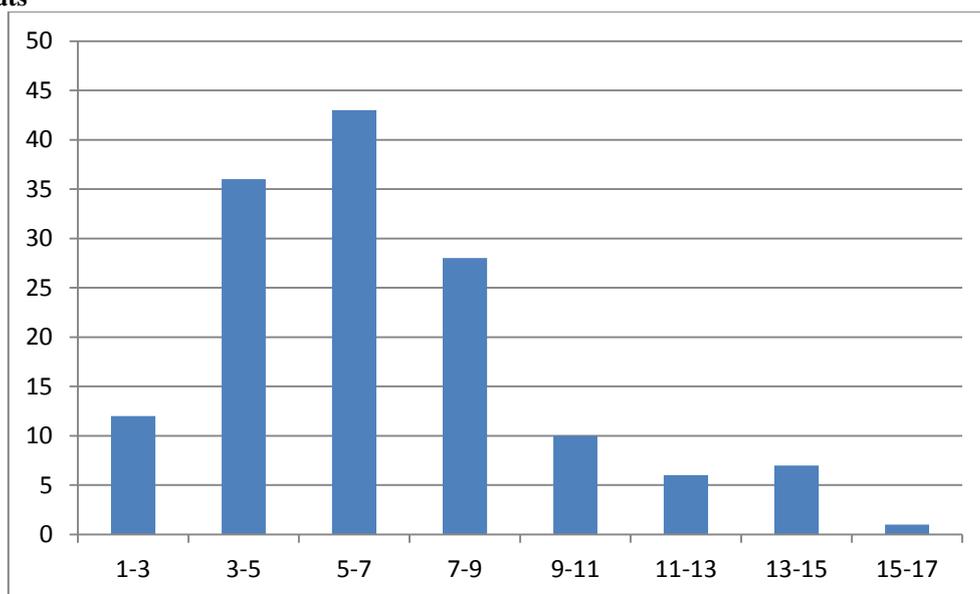
Enfin, il n'est pas inutile de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'état qu'il maîtrise convenablement la langue française et veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. Il doit aussi respecter dans une mesure raisonnable les règles de l'orthographe et de la grammaire française afin de s'assurer que ce qu'il souhaite exprimer sera non seulement lisible mais aussi compréhensible. Le jury ne peut valoriser une justification qui se limite à une suite de mots clés juxtaposés.

Il est conseillé aux candidats d'appuyer leur raisonnement sur des schémas qui sont une aide précieuse à la compréhension du phénomène mis en jeu et à la résolution des problématiques. Mais, pour que le schéma soit pris en compte et apporte une aide réelle, il faut qu'il soit lisible, en couleur, et paramétré si nécessaire.

#### 4. Conclusions

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences dans différents champs d'application d'un système pluri-technologique correspondant au cadre de cette épreuve transversale. Toutes les questions du sujet ont été abordées par les candidats, quelle que soit l'option choisie. Le jury engage fortement les futurs candidats à se préparer conformément aux attendus (arrêté du 19/04/2016).

#### 5. Résultats



143 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 6,5/20, avec un écart-type de 3. La meilleure note est 15,23, la plus faible est 1,43.

## 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

**Question 1 : Le rapport géotechnique distingue différents terrains.**

- Parmi ces derniers, définir les termes de marnes et argiles du point de vue de leur origine géologique.
- Quelles caractéristiques géotechniques particulières peut-on attendre de chacun de ces deux terrains (granulométrie, perméabilité, résistance, etc.) ?

Marnes et argiles sont des formations géologiques sédimentaires. L'argile est composée de particules fines à base de silicates. Les marnes sont composées d'une proportion variable, mais significative, de minéraux argileux et de carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$  - calcaire).

Les argiles sont généralement sensibles à l'eau et peuvent avoir des comportements très variables suivant leur teneur en eau. Elles sont néanmoins plutôt peu résistantes et peu perméables.

Les marnes ont un comportement s'approchant davantage de celui d'une roche que d'un sol. La résistance peut être élevée lorsque la teneur en  $\text{CaCO}_3$  est importante. La perméabilité est faible, mais peut devenir importante d'un point de vue macroscopique compte tenu de la présence de discontinuités.

**Question 2 : A quelles situations de projet (court terme ou long terme) devront être appliquées ces propriétés. Justifier la réponse.**

Les propriétés  $C_u$  et  $\varphi_u$  sont des propriétés obtenues à partir d'essais non drainés. Ils correspondent donc à une situation de projet à court terme lorsque les pressions interstitielles induites par un chargement (poids d'un ouvrage) n'ont pas pu se dissiper. Les propriétés  $C'$  et  $\varphi'$  correspondent à des essais drainés et donc une situation de projet à long terme

**Question 3 : Quelle est la différence entre ces trois coefficients ? Comment peut-on les estimer ?**

- $K_a$  est le coefficient de poussée des terres actifs, correspondant à la pression minimale que va induire un terrain sur un soutènement, dans l'hypothèse où ce dernier s'écarterait légèrement du terrain. Pour un critère

$$K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{4}\right)$$

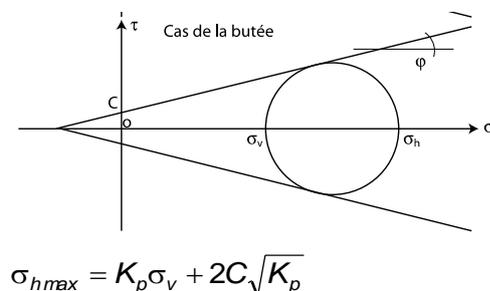
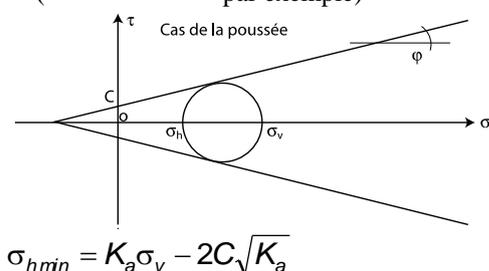
de Mohr-Coulomb, sa valeur est

- $K_p$  est le coefficient de poussée des terres passifs, correspondant à la pression maximale que va induire un terrain sur un soutènement, dans l'hypothèse où ce dernier se déplace vers le terrain. Pour un critère de

$$K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{4}\right)$$

Mohr-Coulomb, sa valeur est

- $K_0$  est le coefficient de poussée des terres au repos. On montre qu'il prend la valeur  $K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$  en condition œdométriques (chargement vertical avec déplacements horizontaux nuls). Il peut prendre d'autres valeurs, en particulier du fait de l'histoire géologique d'un site. Des formules empiriques existent également ( $K_0 = 1 - \sin\varphi$  par exemple)



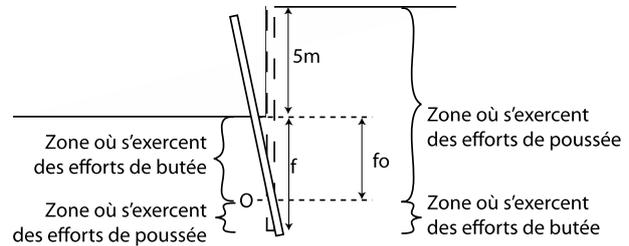
**Question 4 :**

- Tracer l'allure du déplacement attendu de la paroi en cas d'instabilité.
- A partir de ce dessin, justifier et / ou critiquer les hypothèses explicitées sur Figure 5.

Sous l'hypothèse que la paroi pivote autour du point O, la partie supérieure droite de la paroi tend à s'écartier du terrain. Le terrain va donc tendre vers un équilibre de poussée (coefficient de poussée active).

La partie inférieure droite tend au contraire à se déplacer vers le terrain. Le terrain va donc tendre vers un équilibre de butée (coefficient de poussée passive). On aura le contraire du côté gauche.

Le modèle est critiquable, en particulier car les déplacements de la paroi vers le terrain ou à l'opposé du terrain ne seront pas nécessairement suffisants pour permettre à ce dernier d'atteindre un état de poussée ou de butée.



**Question 5 :**

- **Exprimer les contraintes horizontales s'exerçant de part et d'autre de la paroi, jusqu'à l'extrémité de la fiche, en cohérence avec les hypothèses de la Figure 5 et en considérant les propriétés  $\{C', \varphi'\}$  des terrains pour les calculs. Dans un souci de simplification, on pourra également considérer le limon avec les mêmes propriétés mécaniques que les remblais en justifiant que cette hypothèse est sécuritaire.**
- **Tracer la répartition de ces contraintes de part et d'autre de la paroi.**

Les limons sont considérés avec les propriétés du remblai qui sont plus faibles ( $\varphi' = 20^\circ$ ). L'hypothèse proposée est sécuritaire car elle conduit à surestimer les efforts de poussée induits par les limons sur la paroi. On adoptera les formules suivantes :

$$\sigma_v = \gamma z \text{ où } z \text{ désigne la profondeur}$$

$$\sigma'_v = \gamma z - u = \gamma z - \gamma_w h_w \text{ où } h_w \text{ est la hauteur d'eau à la cote } z$$

$$\sigma'_h = K_a \sigma'_v - 2C \sqrt{K_a} \text{ en zone de poussée}$$

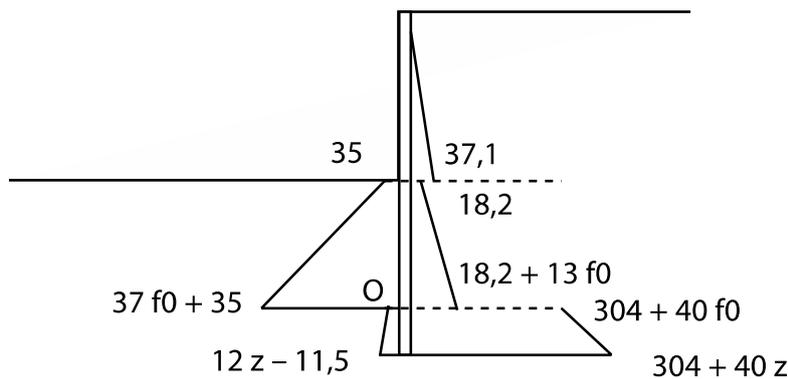
$$\sigma'_h = K_p \sigma'_v + 2C \sqrt{K_p} \text{ en zone de butée}$$

$$\sigma_h = \sigma'_h + u$$

		Côté droit						
		z [m]	$\sigma_v$ [kPa]	u [kPa]	$\sigma'_v$ [kPa]	K	$\sigma'_h$ [kPa]	$\sigma_h$ [kPa]
$C' = 5 \text{ kPa}$ $\varphi' = 20^\circ$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	0	0	0	0	$K_a = 0,49$	$-7 \Rightarrow 0$	0	
	0,8	14,4	0	14,4		0	0	
	5-	90	0	90		37,1	37,1	
$C' = 10 \text{ kPa}$ $\varphi' = 30^\circ$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	5 (+)	90	0	90	$K_a = 0,33$	18,2	18,2	
	$5+f_0 (-)$	$90 + 19 f_0$	$10 f_0$	$90 + 9 f_0$		$18,2 + 3 f_0$	$18,2 + 13 f_0$	
	$5+f_0 (+)$	$90 + 19 f_0$	$10 f_0$	$90 + 9 f_0$	$K_p = 3$	$304 + 30 f_0$	$304 + 40 f_0$	
	$5+z (z > f_0)$	$90 + 19 z$	$10 z$	$90 + 9 z$		$304 + 30 z$	$304 + 40 z$	

		Côté gauche						
		z [m]	$\sigma_v$ [kPa]	u [kPa]	$\sigma'_v$ [kPa]	K	$\sigma'_h$ [kPa]	$\sigma_h$ [kPa]
$C' = 10 \text{ kPa}$ $\varphi' = 30^\circ$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	0	0	0	0	$K_p = 3$	35	35	
	$f_0 (-)$	$19 f_0$	$10 f_0$	$9 f_0$		$27 f_0 + 35$	$37 f_0 + 35$	
	$f_0 (+)$	$19 f_0$	$10 f_0$	$9 f_0$	$K_a = 0,33$	$3 f_0 - 11,5$	$12 f_0 - 11,5$	
	$z (z > f_0)$	$19 z$	$10 z$	$9 z$		$3 z - 11,5$	$12 z - 11,5$	

contraintes horizontales totales en kPa



**Question 6 :** Quel principe mécanique peut-on appliquer pour obtenir deux équations indépendantes. On se limitera à expliquer comment obtenir ces équations.

On appliquera le principe fondamental de la statique.

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$\sum \vec{M} = \vec{0}$$

**Question 7 :** Justifier que la seconde hypothèse est sécuritaire.

La contre-butée induit un moment résistant qui s'oppose à la rotation de la paroi autour du point O. En considérant que la résultante s'applique en O, on néglige ce moment résistant.

**Question 8 :** Sur la base des hypothèses de la question précédente, calculer la fiche f nécessaire pour garantir la stabilité de l'ouvrage. On appliquera des coefficients de sécurité forfaitaires de 1,35 pour la majoration des efforts de poussée et 1,4 pour la minoration des efforts de butée.

	Moment induit en O
Moment dû à la poussée dans remblais	$1,35 * (37,1 * \frac{4,2}{2} (1,3 * 4,2 + f_0))$
Moment dû à la poussée dans Marnes	$1,35 (18,2 * \frac{f_0^2}{2} + 1,3 * \frac{f_0^3}{6}) (1,3 * 4,2 + f_0)$
Moment butée dans Marnes	$(-35 * \frac{f_0^2}{2} - 37 * \frac{f_0^3}{6}) / 1,4$
TOTAL	$147,25 + 105,2 f_0 - 0,215 f_0^2 - 1,48 f_0^3$

La résolution (Total = 0) donne une valeur de  $f_0 = 9m$ , soit une fiche totale d'environ  $1,2 * 9 = 10,8m$

**Question 9 :** Justifier et / ou critiquer le choix de ce diagramme pour une couche de terrain homogène. Exprimer alors les contraintes horizontales  $p_g(z)$  et  $p_d(z)$  en fonction de la déformée de la paroi  $y(z)$ , de  $k_{max}$ ,  $k_{min}$ ,  $\delta_{max}$  et  $\delta_{min}$  et de la contrainte verticale dans le terrain  $\sigma_v(z)$ .

Le diagramme suppose que le déplacement de la paroi nécessaire pour produire un état de butée et supérieur à celui nécessaire pour la poussée, conformément à ce qui peut être observé expérimentalement.

On peut critiquer le fait que les déplacements nécessaires pour atteindre les états de poussée ou de butée sont indépendants de l'état de contrainte. On peut également reprocher au modèle de ne pas tenir compte d'un couplage entre les ressorts.

Enfin, le modèle ne tient pas compte de la cohésion.

A droite on a $y(z) = \delta$	Une flèche positive correspond à un déplacement vers la droite et donc à une valeur positive de $\delta$
Si $y(z) = \delta > \delta_{max}$	Alors $p_d(z) = k_{max} \sigma_v(z)$
Si $y(z) = \delta < -\delta_{min}$	Alors $p_d(z) = k_{min} \sigma_v(z)$
Si $-\delta_{min} < y(z) = \delta < \delta_{max}$	Alors $p_d(z) = k(\delta) \sigma_v(z)$ avec $k(\delta) = a\delta + b$

	$a = \frac{k_{max} - k_{min}}{\delta_{max} + \delta_{min}}$	$b = \frac{k_{max}\delta_{min} + k_{min}\delta_{max}}{\delta_{max} + \delta_{min}}$
Donc	$p_d(z) = \left[ \left( \frac{k_{max} - k_{min}}{\delta_{max} + \delta_{min}} \right) y(z) + \frac{k_{max}\delta_{min} + k_{min}\delta_{max}}{\delta_{max} + \delta_{min}} \right] \sigma_v(z)$	

A gauche on a $y(z) = -\delta$	Une flèche négative correspond à un déplacement vers la gauche et donc à une valeur négative de $\delta$	
Si $y(z) = \delta > \delta_{min}$	Alors $p_g(z) = k_{min} \sigma_v(z)$	
Si $y(z) = \delta < -\delta_{max}$	Alors $p_g(z) = k_{max} \sigma_v(z)$	
Si $-\delta_{max} < y(z) < \delta_{min}$	Alors $p_g(z) = k(\delta) \sigma_v(z)$ avec $k(\delta) = a\delta + b$	
	$a = \frac{k_{max} - k_{min}}{\delta_{max} + \delta_{min}}$	$b = \frac{k_{max}\delta_{min} + k_{min}\delta_{max}}{\delta_{max} + \delta_{min}}$
	Dons $p_g(z) = \left[ - \left( \frac{k_{max} - k_{min}}{\delta_{max} + \delta_{min}} \right) y(z) + \frac{k_{max}\delta_{min} + k_{min}\delta_{max}}{\delta_{max} + \delta_{min}} \right] \sigma_v(z)$	

**Question 10 :**

- Montrer que la combinaison du modèle de la paroi et du terrain conduit à une équation différentielle de la forme suivante :  $Ay^{(4)}(z) = q(y(z))$ .
- Déterminer la valeur de A et l'expression de  $q(y(z))$  en fonction des propriétés de la poutre (module de Young E et inertie I) et des contraintes horizontales  $p_g(z)$  et  $p_d(z)$ .

On adopte un repère local de la paroi orienté selon l'axe z. L'équation différentielle d'une poutre d'Euler-Bernoulli est alors :

$EIy^{(2)}(z) = Mf(z)$  (signe positif compte tenu du repère local et de l'orientation choisi pour le déplacement y)

Or  $dMf(z)/dz = -V(z)$

Et  $dV(z)/dz = Pd(z) - Pg(z)$

On en déduit que  $EIy^{(4)}(z) = Pg(z) - Pd(z)$

**Question 11 : Justifier que ces quantités sont connues et exprimer ces conditions limites en fonction des dérivées de y(z).**

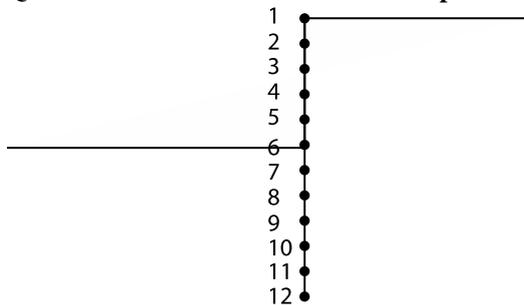
$V(0) = 0 \Rightarrow y^{(3)}(0) = 0$

$Mf(0) = 0 \Rightarrow y^{(2)}(0) = 0$

$V(N) = 0 \Rightarrow y^{(3)}(N) = 0$

$Mf(N) = 0 \Rightarrow y^{(2)}(N) = 0$

**Question 12 : Tracer un schéma de la paroi étudiée pour N = 12 en supposant que f = 6 m.**



**Question 13 : Justifier que la dérivée d'ordre 1 de la déformée  $y^{(1)}(z)$  au nœud i peut s'approximer par  $(y_{i+1} - y_i)/\Delta$ . En déduire l'expression des dérivées d'ordre 2 à 4 :  $y^{(2)}(z)$ ,  $y^{(3)}(z)$ ,  $y^{(4)}(z)$  pour le nœud i en fonction de  $y_i$ ,  $y_{i+1} \dots y_{i+4}$ .**

Par définition de la dérivée :  $y^{(1)}(z) = (y(z+dz) - y(z))/dz$

Si la discrétisation est suffisante  $\Delta$  joue le rôle de dz,  $y(z+dz) = y_{i+1}$  et  $y(z) = y_i$

D'où :  $y_i^{(1)}(z) = (y_{i+1} - y_i)/\Delta$

Par suite,

$$y_i^{(2)}(z) = (y_{i+1}^{(1)} - y_i^{(1)})/\Delta = (y_{i+2} - 2 y_{i+1} + y_i)/\Delta^2$$

$$/y_i^{(3)}(z) = (y_{i+1}^{(2)} - y_i^{(2)})/\Delta = (y_{i+3} - 3 y_{i+2} + 3 y_{i+1} - y_i)/\Delta^3$$

$$y_i^{(4)}(z) = (y_{i+1}^{(3)} - y_i^{(3)})/\Delta = (y_{i+4} - 4 y_{i+3} + 6 y_{i+2} - 4 y_{i+1} + y_i)/\Delta^4$$

**Question 14 :** En considérant qu'il est possible d'exprimer  $y^{(4)}(z)$  pour le nœud  $i$  en fonction de  $y_i, y_{i+1} \dots y_{i+4}$ , justifier qu'il sera possible d'obtenir un nombre maximum de  $N-4$  équations à partir de l'équation différentielle  $Ay^{(4)}(z) = q(y(z))$ . En déduire que le nombre total d'équations disponibles est bien égal au nombre d'inconnues du problème et que ce dernier pourra être résolu.

On ne peut avoir que  $N-4$  équations car il y a un décalage de 4 nœuds dans la définition et le calcul de  $y_i^{(4)}$ .  
On ne pourra donc définir  $y_i^{(4)}$  que jusqu'à  $y_{N-4}^{(4)}$ . Si on rajoute les 4 conditions aux limites, on obtient un système de  $N$  équations à  $N$  inconnues.

**Question 15 :** On suppose que les matériaux modélisés sont homogènes, continus et isotropes. Définir chacun de ces trois termes. On suppose également qu'on est en petits déplacements et petites déformations. Définir en quelques lignes ces hypothèses et ce qu'elles impliquent en terme de limitation du domaine de validité des résultats obtenus par la modélisation par éléments finis.

Homogène : même matériau partout et donc mêmes propriétés mécaniques partout.  
Continu : absence de discontinuités pouvant induire une discontinuité du champ de déplacement.  
Isotrope : mêmes propriétés mécaniques dans toutes les directions  
Petits déplacements : les changements de géométrie du modèle sont suffisamment petits pour qu'ils n'aient pas d'influence sur sa sollicitation et son comportement.  
Petites déformations : hypothèse simplificatrice permettant de linéariser l'expression des déformations en fonction des déplacements.

**Question 16 :** Justifier le sens physique et donc la pertinence de cette hypothèse pour le problème traité. Quelles autres hypothèses peuvent être considérées ? (illustrer chacune par un exemple issu du secteur de l'ingénierie de la construction où le choix de l'hypothèse s'avérerait pertinent).

Déformations planes : hypothèse consistant à imposer que la direction perpendiculaire au plan du modèle 2D est une direction de déformation principale et que cette déformation principale est nulle ( $\epsilon_{zz} = \epsilon_{zx} = \epsilon_{zy} = 0$ ).  
Concrètement, cette hypothèse se justifie lorsque le problème physique modélisé est très étendu selon cette direction.

La paroi étudiée dans le sujet présente une grande extension. Le modèle 2D sera pertinent pour une partie courante de la paroi, c'est-à-dire pour des sections éloignées des angles.

Hypothèse des contraintes planes : hypothèse consistant à imposer que la direction perpendiculaire au plan du modèle 2D est une direction de contrainte principale et que cette contrainte principale est nulle ( $\sigma_{zz} = \sigma_{zx} = \sigma_{zy} = 0$ ). Concrètement, cette hypothèse se justifie lorsque le problème physique modélisé est mince et que les deux frontières du problème sont des surfaces libres. Ex : mur dont la section modélisée est longitudinale.

Hypothèse d'axisymétrie: hypothèse consistant à imposer que l'axe verticale d'abscisse  $x=0$  est axe d'axisymétrie. Cela signifie que tout plan passant par cet axe est un plan de symétrie. En coordonnées cylindriques, l'hypothèse se traduit par  $\sigma_{\theta r} = \sigma_{\theta z} = \sigma_{\theta \theta} = 0$ . Cette hypothèse conviendrait par exemple à la modélisation d'une structure cylindrique telles qu'un silo, un réservoir cylindrique, etc.

**Question 17 :** Définir chacun de ces paramètres en insistant sur leur sens physique.

module de Young $E$	Le module d'Young ou module d'élasticité longitudinale relie la <u>contrainte</u> de <u>traction</u> (ou de <u>compression</u> ) notée $\sigma$ et la <u>déformation</u> du matériau (allongement relatif) dans sa phase élastique notée $\epsilon$ par la loi de Hooke $\sigma = E \epsilon$ . Le module de Young est donc la contrainte qui produirait le doublement de la longueur initiale d'un matériau si c'était possible.
coefficient de Poisson $\nu$	Le coefficient de Poisson caractérise les déformations transversales associées à une déformation longitudinale lors d'un essai de compression simple.
cohésion $C$	cohésion correspondant à l'un des paramètres du critère de Mohr-Coulomb. Il correspond concrètement à la résistance initiale au cisaillement d'un matériau non chargé.
angle de frottement $\phi$	angle de frottement interne correspondant à l'un des paramètres du critère de Mohr-Coulomb. Il correspond concrètement à l'angle de talus naturel d'un matériau

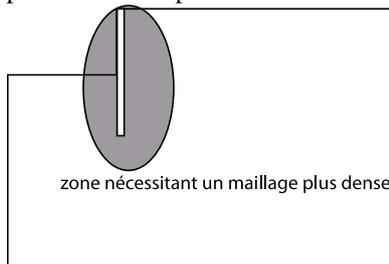
angle de dilatance $\psi$	angle de dilatance correspondant à l'un des paramètres du critère de Mohr-Coulomb pour le calcul des déformations plastiques lors d'un calcul numérique élasto-plastique.
---------------------------	---

**Question 18 : La Figure 2 présente 4 zones spécifiques de la paroi (zone A, B, C et D). Expliquer pour chacune de ces 4 zones si le modèle de la Figure 8 peut s'appliquer. Préciser en quoi les dimensions, les conditions limites et le choix d'une modélisation 2D est pertinent ou non.**

Zones B, C et D	Les zones B, C et D correspondent à des sections courantes de la paroi pour lesquelles l'influence des angles peut être jugée faible du fait de leur éloignement, ce qui permet d'accepter un modèle 2D. La zone C présente néanmoins des tunnels qui ne sont pas modélisés ici. La dimension de fouille ( $45 - 30 = 15$ m) correspond à la demi largeur de la fouille réelle à l'endroit le plus étroit. L'extension à droite (30 m) permet raisonnablement de modéliser une éventuelle instabilité d'ensemble (glissement circulaire).
Zone A	La zone A est un angle de la paroi. Un modèle 2D ne permet pas de modéliser correctement le comportement de la paroi dans cette zone. Une modélisation 3D est indispensable.

**Question 19 : Illustrer par un schéma les endroits où une densité plus élevée serait pertinente. Quelle serait la plus petite dimension en deçà de laquelle il ne serait pas raisonnable de descendre ? Justifier les choix.**

Un maillage plus dense est nécessaire dans les zones où des variations de contraintes sont attendues, soit à proximité de la paroi.



**Question 20 :**

- Les résultats obtenus aux points 1 et 2 sont-ils réalistes ?
- Commenter les courbes représentant les contraintes  $S_{xx}$  selon la coupe 1 et la coupe 2. En quoi ces résultats sont-ils cohérents avec les hypothèses de la Figure 5.

De nombreux points peuvent être évoqués ici :

Les contraintes verticales en partie inférieures du modèle (points 1 et 2) sont proches des contraintes géostatiques  $24 * 0,018 = 0,43$  MPa à gauche et  $29 * 0,018 = 0,52$  MPa.

Les contraintes horizontales sont proches de 50% de la contrainte verticale, ce qui est un ordre de grandeur classique (coefficient  $K_0$ )

Les courbes indiquent des variations de contraintes significativement différentes des répartitions analytiques. Si on peut observer une zone de fortes contraintes à l'endroit attendu pour la butée (profondeur 5 – 6m de la coupe 1), on n'observe en revanche pas la contre butée sur la coupe 2. Pour observer ces zones, il aurait fallu que le modèle soit en limite de stabilité, ce qui n'est pas le cas ici, alors que c'est l'hypothèse qui a été considérée par l'approche à l'équilibre limite.

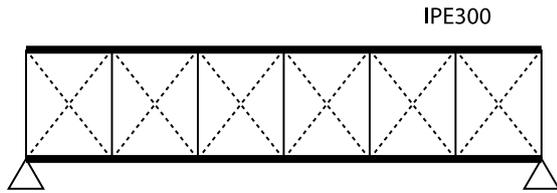
**Question 21 : Justifier la modélisation proposée et les hypothèses simplificatrices.**

De nombreux points peuvent être évoqués ici :

- la pertinence des liaisons idéales du modèle par rapport aux liaisons réelles (absence de déplacement du point d'attache des haubans en particulier),
- l'influence de la superstructure (montants verticaux, étage) sur la rigidité globale,
- la simplification de la charge supposée uniformément répartie.

**Question 22 : Proposer un autre modèle structurel qui permettrait de dimensionner les éléments de la passerelle contribuant à sa résistance vis-à-vis de charges horizontales telles que le vent.**

L'observation des plans montre les niveaux supérieurs et inférieurs de la passerelle constituent une structure réticulée qui assure le contreventement de la passerelle.



- CAE 60x6
- IPE300
- HEA300A

**Question 23 :**

- Dessiner le modèle.
- Calculer et tracer les diagrammes des efforts intérieurs dans une poutre IPE300 en fonction de  $q$  et  $L$ . Quelle serait l'expression analytique de la contrainte normale maximale dans la poutre si la section restait dans le domaine élastique (on note  $E$  le module de Young de l'acier et  $I_{300}$  l'inertie d'une section IPE300) ?

On trouvera la solution d'une poutre sur deux appuis chargée par une charge uniformément répartie dans n'importe quel enseignement de résistance des matériaux.

$$M_{f \max} = \frac{q L^2}{8} \text{ avec } q \text{ charge uniformément répartie sur chaque poutre.}$$

$$\sigma_{\max} = M_{f \max} \frac{h}{2I_{300}} \text{ avec } h \text{ la hauteur de la section.}$$

**Question 24 : Calculer le déplacement théorique maximal en fonction de  $q$ ,  $L$ ,  $E$  et  $I$ .**

On trouvera la solution d'une poutre sur deux appuis chargée par une charge uniformément répartie dans n'importe quel enseignement de résistance des matériaux.

$$Y_{\max} = \frac{5q L^4}{384 E I_{300}}$$

**Question 25 : Justifier que ce système est équivalent à celui de Figure 14-b vis-à-vis du calcul de la déformée de la passerelle et de ses efforts intérieurs.**

On considèrera que les haubans restent dans le domaine élastique. Il existe donc une relation linéaire entre l'allongement d'un hauban et son effort intérieur. La symétrie de la structure (géométrie et chargement) implique par ailleurs que les deux haubans auront le même effort normal ; la résultante appliquée à la passerelle sera donc un effort vertical. La symétrie implique également que le point de fixation des haubans à la passerelle aura un déplacement vertical uniquement (car situé au centre). En conséquence l'action des deux haubans est équivalente à celle d'un appui élastique.

**Question 26 : Calculer la raideur  $k$  du ressort en fonction des paramètres géométriques du problème :  $L$ ,  $H$  et  $D$  (diamètre d'un hauban) et du module de Young  $E$  des haubans.**

Le déplacement vertical  $y$  d'un hauban (associé à un déplacement horizontal nul) est associé à une déformation

$$\varepsilon = \frac{y}{H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

longitudinale  $\varepsilon$  du hauban :

L'effort normal dans le hauban associé à ce déplacement vaut donc :

$$F = ES\varepsilon = E\pi \frac{D^2}{4} \frac{y}{H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

$$F_y = \frac{FH}{\sqrt{H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}}$$

La projection verticale de cet effort vaut :

$$k = \frac{E\pi HD^2}{2} \frac{y}{\left(H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^{3/2}}$$

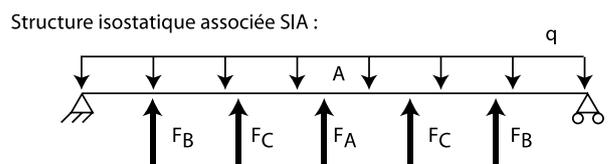
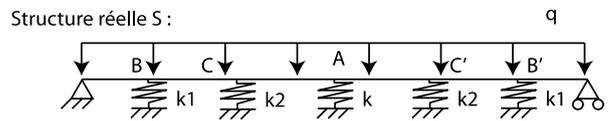
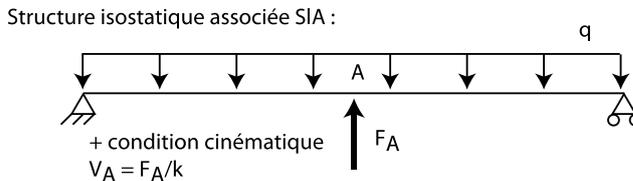
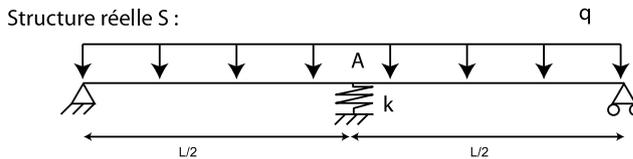
La raideur k associée à 2 haubans vaut donc :

**Question 27 :**

- Calculer la flèche à mi-travée en fonction de la rigidité k, en supposant une charge verticale uniformément répartie « q » agissant sur un ensemble composé de 2 poutres IPE300 et 4 haubans (2 pour chaque poutre).
- Tracer les diagrammes des efforts intérieurs.

On pourra appliquer le Principe des Travaux Virtuels (PTV) à la structure S en considérant une poutre sur deux appuis pour la structure isostatique associée SIA et la structure virtuelle S\*.

$$\int_L \frac{M_{f_{SIA}} M_{f_{S^*}}}{EI} dx = 2 F^* V_A = 2 F^* F_A / k$$



La condition cinématique de SIA est  $F_A = kV_A$  avec  $V_A$  le déplacement vertical du point A (positif vers le haut).

On obtient :

$$F = (5qL^4/384EI)/(1+kL^3/48EI)$$

$$\text{Et } V = (5qL^4/384EI)/(1+kL^3/48EI)$$

+ conditions cinématiques

$$V_A = F_A/k$$

$$V_B = V_{B'} = F_B/k_1$$

$$V_C = V_{C'} = F_C/k_2$$

**Question 28 :**

- Quelle serait la démarche à suivre pour traiter le cas de la passerelle réelle du projet (6 haubans pour chaque poutre IPE300) ?
- Identifier de manière claire et précise les inconnues du problème et décrire la procédure permettant d'obtenir les équations nécessaires à la résolution, sans effectuer la résolution.

Pour une structure à 6 haubans, on pourra dans un premier temps calculer la raideur verticale équivalente au niveau de chaque liaison poutre-hauban (même démarche que question 26).

Pour 6 haubans, la structure est hyperstatique de degré 5. La symétrie permet de réduire le nombre d'inconnues hyperstatiques à 3. Il faudra donc appliquer 3 fois le PTV.

La SIA est la même qu'à la question 27 avec 3 conditions cinématiques :

$$F_B = k_1 V_B$$

$$F_C = k_2 V_C$$

$$F_A = kV_A \text{ (k calculé à la question 26)}$$

Trois structures virtuelles  $S_1^*$ ,  $S_2^*$  et  $S_3^*$  doivent être considérées.

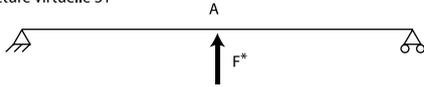
L'application du PTV permet alors d'écrire :

$$\int_L \frac{Mf_{S1A}Mf_{S1^*}}{EI} dx = 2 F^* V_1 = 2 F^* F_1/k_1$$

$$\int_L \frac{Mf_{S1A}Mf_{S2^*}}{EI} dx = 2 F^* V_2 = 2 F^* F_2/k_2$$

$$\int_L \frac{Mf_{S1A}Mf_{S3^*}}{EI} dx = 2 F^* V_3 = F^* F_3/k$$

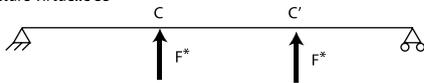
Structure virtuelle  $S1^*$  :



Structure virtuelle  $S2^*$  :



Structure virtuelle  $S3^*$  :



### Question 29 :

- Justifier / critiquer cette modélisation. A quoi correspond la raideur  $K_1$  ?
- Calculer la fréquence propre de ce système en fonction de  $K_1$  [N/m] et  $M$  [kg] la masse de la passerelle.

La modélisation correspond à un oscillateur à 1 degré de liberté. Elle ne permet donc que d'estimer la première fréquence propre de la structure. Elle considère une masse concentrée, alors que la masse réelle est répartie. Cela revient à étudier la passerelle comme si toute sa masse était appliquée à mi-portée.

On trouvera aisément (livre ou internet) la démonstration de la solution d'un oscillateur à 1 degré de liberté.

$$\text{La fréquence propre vaut } \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_1}{M}}$$

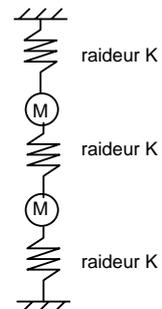
### Question 30 :

- A partir des résultats de la Figure 16, estimer la raideur  $K_1$  à considérer pour calculer la fréquence propre de l'ouvrage.
- En supposant que la masse de la passerelle est d'environ 40 T, calculer la première fréquence propre de l'ouvrage.

Les résultats du modèle numérique permettent d'estimer la valeur de  $K_1$  à partir du déplacement à mi portée (2,8 cm) pour une charge de 100 kN/m

$K_1 = 100 \times 25/0,028 = 89 \text{ kN/m}$  pour une face de la passerelle, soit 188 kN/m pour toute la passerelle.

$$\text{La fréquence propre estimée vaut alors } \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{188000}{40000}} = 0,34 \text{ Hz}$$



### Question 31 :

- Comment justifier que la fréquence du 1<sup>er</sup> mode propre soit un peu supérieure à la valeur trouvée au moyen du modèle de la Figure 15 ?
- Quel modèle permettrait d'estimer analytiquement la fréquence du second mode propre ?

On constate une différence assez significative avec les résultats de l'analyse modale proposée. Le modèle surestime  $M$  (effet de considérer une masse ponctuelle dans l'oscillateur simple) et sous-estime  $K_1$  (non prise en compte des autres éléments de la passerelle).

Pour obtenir une estimation du second mode propre (et une meilleure estimation du premier) il faut considérer un oscillateur à 2 degrés de liberté.

**Question 32 :** A l'aide la Figure 19, exprimer les valeurs de  $E_S$  et  $E_O$  en fonction de  $E_{VL}$ ,  $H$  et  $A$  pour  $0 < A < 90^\circ$ . En déduire la valeur de  $E_E$ .

$$\begin{aligned} E_{VL} &= -E \sin H \\ E_S &= -E \cos H \cos A \\ E_O &= -E \cos H \sin A \end{aligned}$$

$$E_S = \frac{\cos H \cos A}{\sin H} E_{VL}$$

$$E_O = \frac{\cos H \sin A}{\sin H} E_{VL}$$

Question 33 : Calculer les valeurs numériques de  $E_S$  et  $E_O$  à la date du 14 Août.

$$E_S = \frac{\cos 60^\circ \cos 29^\circ}{\sin 60^\circ} 522 = 265 \text{ W.m}^{-2}$$

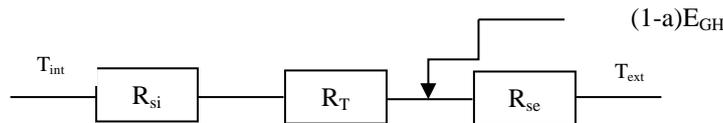
$$E_O = \frac{\cos 60^\circ \sin 29^\circ}{\sin 60^\circ} 522 = 146 \text{ W.m}^{-2}$$

$$E_E = 0 \text{ W.m}^{-2}$$

Question 34 : Compléter le tableau suivant pour la situation critique étudiée :

flux solaire	notation	valeur
flux solaire transmis au travers de la paroi vitrée SUD	$\Phi_{STS} = F_S E_{GS} S_S$	3544 W
flux solaire transmis au travers de la paroi vitrée EST	$\Phi_{STE} = F_S E_{GE} S_E$	3655 W
flux solaire transmis au travers de la paroi vitrée OUEST	$\Phi_{STO} = F_S E_{GO} S_O$	37733 W

Question 35 : Proposer sous forme d'un schéma un modèle analogique de la paroi toiture prenant en compte le rayonnement solaire et les échanges superficiels.



avec  $R_T = R_{Lm} + R_{TA} + R_l + R_{TA}$

Question 36 : Déterminer la valeur de la résistance thermique de la paroi, notée «  $R_T$  », sans prendre en compte les échanges superficiels.

$$R_T = \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}$$

AN 
$$R_T = \frac{0,15}{0,037} + \frac{0,004}{50} + \frac{0,09}{0,04} + \frac{0,004}{50} = 6,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Question 37 : A partir du modèle précédent, exprimer  $T_{sext}$  température de la surface extérieure en fonction de  $E_{GV}$ ,  $a$ ,  $R_T$ ,  $R_{se}$ ,  $R_{si}$ ,  $T_{int}$  et  $T_{ext}$  en régime permanent établi pour une situation critique correspondant au 14 août à 17 heures :  $T_{ext} = 33^\circ \text{C}$ ,  $E_{GV} = 492 \text{ W.m}^{-2}$ . Effectuer l'application numérique.

$$(1-a)E_{GV} = \frac{T_{sext} - T_{int}}{R_T + R_{si}} + \frac{T_{sext} - T_{ext}}{R_{se}}$$

$$(1-a)E_{GV} = \frac{T_{sext}}{R_T + R_{si}} - \frac{T_{ext}}{R_{se}} - \frac{T_{int}}{R_T + R_{si}} + \frac{T_{sext}}{R_{se}}$$

$$(1-a)E_{GV} = \left( \frac{1}{R_T + R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} \right) T_{sext} - \frac{T_{ext}}{R_{se}} - \frac{T_{int}}{R_T + R_{si}}$$

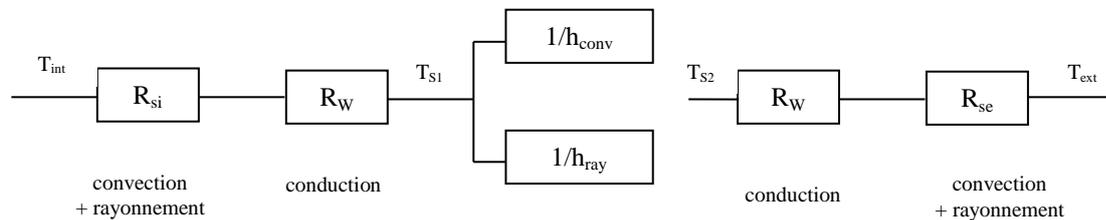
$$T_{sext} = \frac{(1-a)E_{GV} + \frac{T_{ext}}{R_{se}} + \frac{T_{int}}{R_T + R_{si}}}{\frac{1}{R_T + R_{si}} + \frac{1}{R_{se}}}$$

$$T_{sext} = 50,4^\circ\text{C}$$

Question 38 : En déduire  $\Phi_T$  flux de chaleur transmis en régime permanent pour la situation critique correspondant au 14 août à 17 heures :  $T_{ext} = 33^\circ\text{C}$ ,  $E_{GV} = 492 \text{ W.m}^{-2}$ .

$$\Phi_T = \frac{T_{sext} - T_{int}}{R_T + R_{si}} S_T \quad \text{AN} \quad \Phi_T = \frac{50,4 - 24}{6,3 + 0,05} 200 = 826 \text{ W}$$

Question 39 : Proposer une modélisation analogique de la paroi vitrée (échange superficiel / verre / lame d'air / verre / échange superficiel), faisant apparaître la nature des transferts de chaleur mis en jeu.



Question 40 : Montrer, en justifiant vos démarches, que l'expression de  $\Phi_{net_{12}}$  flux net échangé entre les deux plaques de verre indicées 1 et 2 s'exprime en régime permanent sous la forme

$$\Phi_{net_{12}} = \frac{\sigma S_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$$h_{ray} = \frac{(T_{S1}^4 - T_{S2}^4)}{T_{S1} - T_{S2}} \cdot \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

On a  $\Phi_{net_{12}} = h_{ray} S (T_{s1} - T_{s2})$  avec

$$\Phi_{net_{12}} = \frac{\sigma S_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Question 41 : Déterminer la valeur de  $h_{ray}$  coefficient d'échange radiatif au sein de la lame de gaz. En déduire la valeur de  $R_{lame}$  résistance thermique de la lame d'air dans les 3 situations suivantes :

$$h_{ray} = \frac{T_{S1}^4 - T_{S2}^4}{T_{S1} - T_{S2}} \cdot \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \text{et} \quad R_{lame} = \frac{1}{h_{conv} + h_{ray}}$$

- pas de film faible émissivité

$$h_{ray} = 4,54 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \quad \text{et} \quad R_{lame} = 0,175 \text{ W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K}^1$$

- film faible émissivité sur la face 1

$$h_{ray} = 4,54 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \quad \text{et} \quad R_{lame} = 0,635 \text{ W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K}^1$$

- film faible émissivité sur les faces 1 et 2

$$h_{ray} = 0,19 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \quad \text{et} \quad R_{lame} = 0,71 \text{ W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K}^1$$

**Question 42 : Justifier le choix du constructeur quant à la solution retenue.**

	<i>pas de film faible émissivité</i>	<i>film faible émissivité sur la face 1 uniquement</i>	<i>film faible émissivité sur les faces 1 et 2.</i>
R <sub>lame</sub>	0,175 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	0,635 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	0,710 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
Variation relative	référence	+362 %	406 %

- Un film faible émissivité est très efficace
- Un second film est moins efficace car plus coûteux à mettre en place.

**Question 43 : Ecrire le bilan thermique, en régime permanent, de la passerelle modélisée Figure 18 en**

**fonction des différents flux transmis par les parois (vitrées et opaques) et de  $P_{CLIM}$  puissance de climatisation nécessaire. Préciser les signes des différentes grandeurs mises en jeu dans le cas où la température intérieure est supérieure à la température de l'air extérieur. En déduire la valeur de  $P_{CLIM}$ .**

$$\Phi_{STE} > 0 \quad \Phi_{STS} > 0 \quad \Phi_{STO} > 0$$

$$\Phi_{ST} > 0 \quad \Phi_T < 0 \quad \Phi_P < 0$$

$$\Phi_{WS} < 0 \quad \Phi_{WO} < 0 \quad \Phi_{WE} < 0$$

$$P_{CLIM} < 0$$

$$\Phi_{STE} + \Phi_{STS} + \Phi_{STO} + \Phi_{ST} + \Phi_{WE} + \Phi_{WS} + \Phi_{WO} + \Phi_T + \Phi_P + P_{CLIM} = 0$$

$$P_{CLIM} = \Phi_{STE} + \Phi_{STS} + \Phi_{STO} + \Phi_{ST} + \Phi_{WE} + \Phi_{WS} + \Phi_{WO} + \Phi_T + \Phi_P$$

$$P_{CLIM} = 20 \text{ kW}$$

**Question 44 : Exprimer, en régime transitoire,  $\frac{dU}{dt}$  variation d'énergie interne de l'ensemble des masses thermiques intérieures à la passerelle modélisée Figure 18, en fonction de  $\Phi = \sum \Phi_i$  somme algébrique des différents flux transmis par les parois (vitrées et opaques) et de  $P_{CLIM}$  puissance de climatisation nécessaire.**

$$\frac{dU}{dt} = \sum \Phi_i + P_{CLIM}$$

$$\sum \Phi_i = \Phi_{STE} + \Phi_{STS} + \Phi_{STO} + \Phi_{ST} + \Phi_{WE} + \Phi_{WS} + \Phi_{WO} + \Phi_T + \Phi_P$$

avec

**Question 45 : À quelles conditions peut-on écrire  $\frac{dU}{dt} = \sum m_i C_{Pi} \frac{dT_{int}}{dt}$  ? Que représentent les paramètres  $m_i$  et  $C_{Pi}$  ?**

$m_i$  masse en kg des composants

$C_{Pi}$  capacité massique en J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>

$$\sum \Phi_i = H_{eq}(T_{int} - T_{ext})$$

Question 46 : À quelles conditions peut-on écrire

? Que représente le

paramètre  $H_{eq}$  ?

$$H_{eq} = \sum U_i S_i$$

Question 47 : En déduire l'équation différentielle donnant l'évolution de  $T_{int} - T_{ext}$  en fonction de

$$H_{eq}, P_{CLIM} \text{ et } \sum m_i C_{Pi} \quad \tau \frac{d(T_{int} - T_{ext})}{dt} + (T_{int} - T_{ext}) = K$$

. Mettre cette équation sous la forme

$$\sum m_i C_{Pi}, H_{eq}, T_{ext}$$

Exprimer  $\tau$  et  $K$  en fonction de

et  $P_{CLIM}$ .

$$\frac{dT_{int}}{dt} \sum m_i C_{Pi} = -H_{eq}(T_{int} - T_{ext}) + P_{CLIM}$$

$$\frac{\sum m_i C_{Pi}}{H_{eq}} \frac{dT_{int}}{dt} + T_{int} = T_{ext} + \frac{P_{CLIM}}{H_{eq}}$$

$$\tau = \frac{\sum m_i C_{Pi}}{H_{eq}}$$

$$\tau \frac{dT_{int}}{dt} + T_{int} = T_{ext} + \frac{P_{CLIM}}{H_{eq}}$$

avec

$$K = T_{ext} + \frac{P_{CLIM}}{H_{eq}}$$

(1)

Question 48 : Le comportement simulé vous paraît-il cohérent avec le modèle établi précédemment ? Justifier votre réponse.

D'après la figure 20

- La température extérieure est constante et vaut  $T_{ext} = -7^\circ\text{C}$ .
- La température initiale intérieure est  $T_{int}(0) = 20^\circ\text{C}$ .
- Il y a arrêt du chauffage au bout de 33 min environ (2000s).
- La courbe obtenue montre une décroissance qui tend vers  $T_{ext} = -7^\circ\text{C}$  au bout d'un temps suffisamment long.

$$T_{int}(t) = T_{ext} + \frac{P_{CLIM}}{H_{eq}} + T_{int}(0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- La résolution de l'équation (1) donne

Question 49 : Identifier les valeurs de  $\tau$  et  $K$  et conclure sur la pertinence du modèle étudié et des résultats obtenus.

$$\tau = 2.10^5 \text{ s}$$

$$K = -7^\circ\text{C}$$

## 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 le projet « Bâtiment de jonction de l'aéroport d'Orly » dont le but est de relier la partie Sud du terminal Ouest à l'extrémité Ouest du terminal Sud. Ce nouveau bâtiment, permettra, outre une meilleure fluidité des passagers entre les deux terminaux, d'augmenter les surfaces commerciales et d'améliorer la flexibilité sur l'emplacement des compagnies aériennes.

Le sujet comportait les deux études suivantes :

- l'étude de la paroi moulée nécessaire aux fouilles initiales décomposée ainsi :
  - partie 1.1 : paroi rigide étudiée selon une approche de type équilibre limite ;
  - partie 1.2 : paroi flexible étudiée selon une approche de type « module de réaction » ;
  - partie 1.3 : paroi étudiée par une modélisation par éléments finis.
  
- l'étude de la passerelle d'accès aux avions décomposée ainsi :
  - partie 2.1 : modélisation de la structure de la passerelle ;
  - partie 2.2 : modélisation du comportement thermique de la passerelle.

Pour chaque question, en complément des résultats de calculs proprement dits, il était demandé de justifier les choix effectués, les calculs réalisés et de commenter les résultats obtenus.

La partie 1 du sujet (Q1 à Q31), construite pour accompagner les candidats non experts, a été traitée par un nombre significatif de candidats (85%). Néanmoins, on ne peut que regretter que 15% des candidats n'aient même pas essayé d'aborder cette partie géotechnique.

La philosophie générale du sujet était d'évaluer la capacité des candidats à comprendre les démarches de modélisation proposées dans chaque partie. Bien qu'appliqués ici à une problématique géotechnique, les connaissances testées concernent plus globalement les problématiques spécifiques à la modélisation en ingénierie des constructions.

La partie 1.1 (Q1 à Q8) portait sur la paroi moulée modélisée comme rigide et étudiée selon une approche de type équilibre limite.

Plusieurs questions avaient vocation à évaluer les connaissances des candidats et leur compréhension des phénomènes étudiés et des paramètres utilisés. Si de nombreux candidats ont démontré une bonne compréhension, il est manifeste que certains candidats ont peu ou pas de connaissance en géotechnique. En particulier, les notions de poussée et butée des terrains sont parfois totalement inconnues.

Les réponses demandées étaient assez peu calculatoires.

La partie 1.2 (Q9 à Q14) portait sur la paroi moulée modélisée comme flexible et étudiée selon une approche de type « module de réaction ».

Cette partie du sujet revêtait un aspect plus mathématique, sans toutefois nécessiter de savoir-faire approfondi en la matière. Les candidats qui ont su se laisser guider par les questions ont pu répondre avec pertinence à la majorité d'entre elles.

La partie 1.3 (Q15 à Q20) portait sur la paroi moulée modélisée comme déformable et étudiée à l'aide d'une approche par éléments finis.

Cette partie a montré que les candidats semblent assez peu familiers avec la modélisation numérique, alors que ces outils se généralisent à toute l'industrie de la construction. Il semble nécessaire que les candidats se forment en la matière afin de pouvoir développer leur sens critique et ainsi être en mesure d'apporter un éclairage pertinent à leurs futurs élèves/étudiants.

La partie 2.1 (Q21 à Q31) portait sur une modélisation de la structure de la passerelle. Elle a été traitée par 85% des candidats.

Cette partie visait à tester les candidats sur leurs connaissances et compétences en mécanique des structures et résistance des matériaux. Les questions, portant sur la justification des modèles présentés, ont été dans l'ensemble bien traitées. Les techniques calculatoires mises en œuvre pour la résolution du problème d'équilibre isostatique étaient aisées et ont permis à de nombreux candidats d'obtenir des points très facilement.

Le jury se félicite que l'étude de la structure hyperstatique ait permis à certains candidats de montrer une très bonne compréhension des méthodes de résolution.

La partie 2.2 (Q32 à Q49) portait sur la modélisation du comportement thermique de la passerelle. Elle a été envisagée par 88% des candidats. Seuls 17 candidats n'ont pas entamée cette partie dans laquelle on s'intéressait à l'évolution de la température de l'air intérieur de la passerelle soumise au flux solaire et donc au confort des passagers lors de leur transfert vers les avions.

L'étude proposée permettait au candidat de :

- valider les choix effectués par le constructeur concernant la nature et le type des parois vitrées et de prévoir la puissance de climatisation nécessaire au travers d'un bilan thermique de la passerelle en régime permanent ;

- déterminer l'inertie thermique de la passerelle due à ses composants (parois vitrées, plafond, plancher, escalier mécanique et structure acier de la structure "passerelle").

La modélisation et le calcul des flux solaire et thermique au travers des surfaces vitrées (est, ouest et sud) et du flux thermique aux travers de la toiture ont été globalement bien traités.

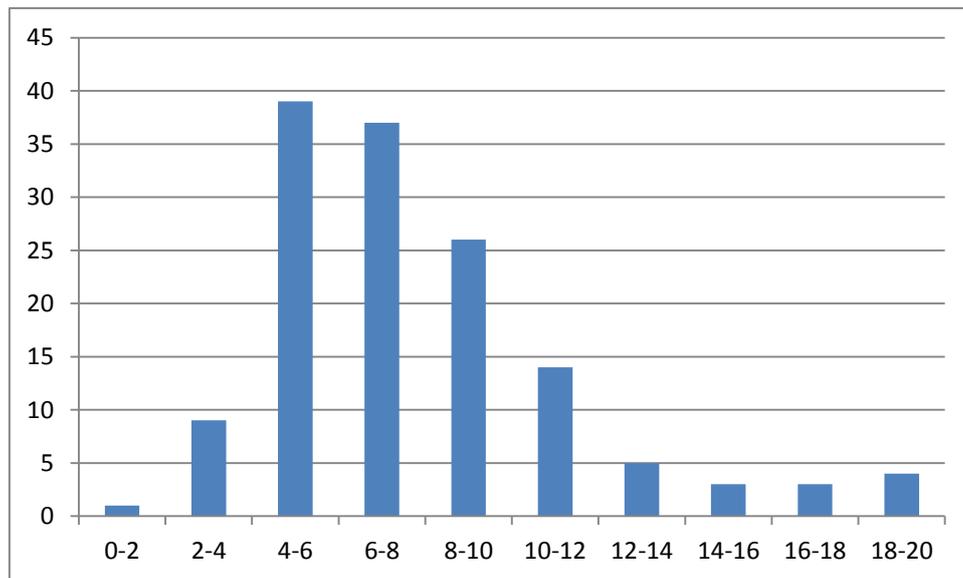
La mise en place d'un film à faible émissivité et les avantages y afférent n'a été abordée que par un nombre réduit de candidats (49 sur 140). Pour une majorité d'entre eux (33 sur 49) cela a été bien traité.

Le bilan thermique de la passerelle n'a été abordé que par 31 candidats sur 140. Parmi eux, 16 candidats fournissent d'excellentes copies.

Enfin, la cohérence modèle numérique / modèle simulé a été traitée par 20 candidats sur 140 dont une dizaine a fourni une copie de grande qualité.

### Résultats :

140 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 8/20 et l'écart type est de 3,48 avec 20 comme meilleure note et 2,72 comme note la plus basse.



### III. Eléments de correction de l'épreuve 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

Q1	<p>On ne raisonne plus uniquement en termes de qualité environnementale mais en termes de bâtiment durable et cela concerne tous les types de bâtiment, toutes les étapes de la vie du bâtiment et tous les territoires. Ce cadre de référence s'appuie sur 4 engagements :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la qualité de la vie,</li> <li>• le respect de l'environnement,</li> <li>• la performance économique,</li> <li>• le management responsable.</li> </ul> <p>Il vise à faciliter et à généraliser la construction, la rénovation et l'exploitation durable. La déconstruction du bâtiment est aussi prise en compte, ce qui ne va pas de soi pour un maître d'ouvrage lorsqu'il fait construire ou rénover un bâtiment. La construction représente uniquement 20% du coût d'un bâtiment. Le maître d'ouvrage grâce à cette étude globale de la vie du bâtiment peut anticiper ses coûts de maintenance, voire même de déconstruction à la fin de vie de l'ouvrage.</p>																																																																				
Q2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom de l'élément</th> <th>Matériau</th> <th>Forme</th> <th>Mise en œuvre</th> <th>Localisation/Niveau</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Pieux</b></td> <td>Béton Armé</td> <td>Colonnes circulaires</td> <td>Coulés en place</td> <td>Dans le sol</td> </tr> <tr> <td><b>Têtes de pieu</b></td> <td>Béton Armé</td> <td>Cubes</td> <td>Coulés en place</td> <td>Sur chaque pieu</td> </tr> <tr> <td><b>Longrines</b></td> <td>Béton Armé</td> <td>Poutres</td> <td>Préfabriquées</td> <td>Reliant chaque tête de pieu</td> </tr> <tr> <td><b>Dalle plancher bas R-d-C</b></td> <td>Béton Armé</td> <td>Plaque</td> <td>Coulée en place</td> <td>plancher bas R-d-C</td> </tr> <tr> <td><b>Murs périmétriques</b></td> <td>Bois</td> <td>Panneau ouverts + plaques OSB</td> <td>Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier</td> <td>Murs de façade R-d-C et 1<sup>er</sup> étage</td> </tr> <tr> <td><b>Murs de refends</b></td> <td>Bois</td> <td>Panneau ouverts + plaques OSB</td> <td>Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier</td> <td>Murs de refends R-d-C et 1<sup>er</sup> étage</td> </tr> <tr> <td><b>Poteaux</b></td> <td>acier</td> <td>H</td> <td>Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier</td> <td>R-d-C et 1<sup>er</sup> étage</td> </tr> <tr> <td><b>Poutres</b></td> <td>acier</td> <td>H</td> <td>Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier</td> <td>R-d-C</td> </tr> <tr> <td><b>Poutres</b></td> <td>Bois lamellé collé</td> <td>rectangulaires</td> <td>Préparées en usine assemblées sur le chantier</td> <td>1<sup>er</sup> étage</td> </tr> <tr> <td><b>Plancher</b></td> <td>Bois massif</td> <td>plaques</td> <td>Préparées en usine assemblées sur le chantier</td> <td>PH R-d-C et PH 1<sup>er</sup> étage</td> </tr> <tr> <td><b>Plancher</b></td> <td>Dalle collaborante Acier et béton</td> <td>plaque</td> <td>Coulée sur le chantier</td> <td>PH 1<sup>er</sup> sous la toiture terrasse accessible.</td> </tr> <tr> <td><b>Voiles</b></td> <td>Béton armé</td> <td>mur</td> <td>Coulés sur le chantier</td> <td>Murs d'échiffre de l'escalier et cage d'ascenseur</td> </tr> </tbody> </table>	Nom de l'élément	Matériau	Forme	Mise en œuvre	Localisation/Niveau	<b>Pieux</b>	Béton Armé	Colonnes circulaires	Coulés en place	Dans le sol	<b>Têtes de pieu</b>	Béton Armé	Cubes	Coulés en place	Sur chaque pieu	<b>Longrines</b>	Béton Armé	Poutres	Préfabriquées	Reliant chaque tête de pieu	<b>Dalle plancher bas R-d-C</b>	Béton Armé	Plaque	Coulée en place	plancher bas R-d-C	<b>Murs périmétriques</b>	Bois	Panneau ouverts + plaques OSB	Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier	Murs de façade R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage	<b>Murs de refends</b>	Bois	Panneau ouverts + plaques OSB	Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier	Murs de refends R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage	<b>Poteaux</b>	acier	H	Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier	R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage	<b>Poutres</b>	acier	H	Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier	R-d-C	<b>Poutres</b>	Bois lamellé collé	rectangulaires	Préparées en usine assemblées sur le chantier	1 <sup>er</sup> étage	<b>Plancher</b>	Bois massif	plaques	Préparées en usine assemblées sur le chantier	PH R-d-C et PH 1 <sup>er</sup> étage	<b>Plancher</b>	Dalle collaborante Acier et béton	plaque	Coulée sur le chantier	PH 1 <sup>er</sup> sous la toiture terrasse accessible.	<b>Voiles</b>	Béton armé	mur	Coulés sur le chantier	Murs d'échiffre de l'escalier et cage d'ascenseur			
Nom de l'élément	Matériau	Forme	Mise en œuvre	Localisation/Niveau																																																																	
<b>Pieux</b>	Béton Armé	Colonnes circulaires	Coulés en place	Dans le sol																																																																	
<b>Têtes de pieu</b>	Béton Armé	Cubes	Coulés en place	Sur chaque pieu																																																																	
<b>Longrines</b>	Béton Armé	Poutres	Préfabriquées	Reliant chaque tête de pieu																																																																	
<b>Dalle plancher bas R-d-C</b>	Béton Armé	Plaque	Coulée en place	plancher bas R-d-C																																																																	
<b>Murs périmétriques</b>	Bois	Panneau ouverts + plaques OSB	Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier	Murs de façade R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage																																																																	
<b>Murs de refends</b>	Bois	Panneau ouverts + plaques OSB	Préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier	Murs de refends R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage																																																																	
<b>Poteaux</b>	acier	H	Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier	R-d-C et 1 <sup>er</sup> étage																																																																	
<b>Poutres</b>	acier	H	Poutrelle laminées préparées en usine et assemblées sur le chantier	R-d-C																																																																	
<b>Poutres</b>	Bois lamellé collé	rectangulaires	Préparées en usine assemblées sur le chantier	1 <sup>er</sup> étage																																																																	
<b>Plancher</b>	Bois massif	plaques	Préparées en usine assemblées sur le chantier	PH R-d-C et PH 1 <sup>er</sup> étage																																																																	
<b>Plancher</b>	Dalle collaborante Acier et béton	plaque	Coulée sur le chantier	PH 1 <sup>er</sup> sous la toiture terrasse accessible.																																																																	
<b>Voiles</b>	Béton armé	mur	Coulés sur le chantier	Murs d'échiffre de l'escalier et cage d'ascenseur																																																																	
Q3	<p>La démarche de projet BIM, correspond à une nouvelle façon de construire. Des états (Singapour, Grande Bretagne) ont rendu obligatoire cette démarche pour les appels d'offres publics. Une directive européenne le prévoit pour la CE en 2017. A ce titre les donneurs d'ordre publics comme la commune de Gennevilliers, peuvent l'utiliser.</p>																																																																				

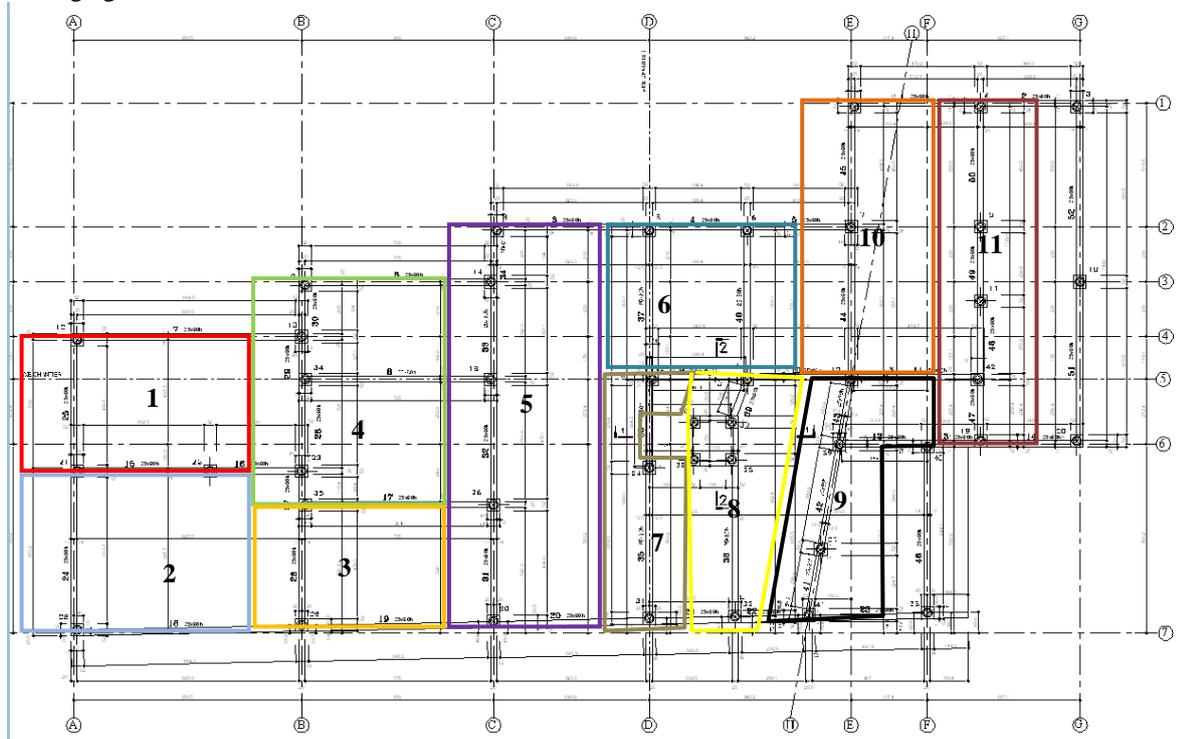


Il y a 51 longrines à mettre en place a raison de 5 longrines par jour cela donne  $51/5 = 10.2$  jours soit 11 jours.  $650\text{m}^2$  de dalle à raison de  $60\text{ m}^2$  par jour donne  $650/60=10.83$  jours soit 11 jours.

Il faut imaginer le décalage entre le début de la mise en place des longrines et le coulage de la première zone de dalle.

Ce décalage tient compte de trois facteurs

- La fermeture d'une zone avec des longrines
- La mise en place des réseaux enterrés
- Le réglage de la forme en sablon

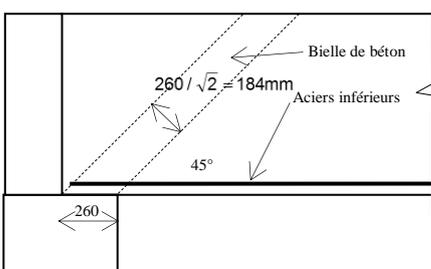
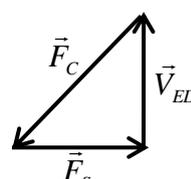


Pour couler la zone 1 il faut avoir mis en place les longrines 28, 29, 7, 25, 15, et 16 ce qui fait 1.20 jours, puis il faut mettre en place les réseaux enterrés (1 jour) et le sablons de forme (1 jour), 1 jour pour le ferrailage et les incorporations. On a donc approximativement 4 jours de décalage entre le début de la pose des longrines et le coulage de la première zone de dalle.

Ce qui donne un temps de réalisation de  $4+11$  jours = 15 jours

Une alternative est de couler sur des prédalles précontraintes, on peut éviter la forme de coulage, cela donne une cadence de réalisation plus rapide, coût plus important.

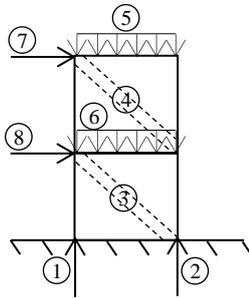


Q14	<p>La répartition des isocontraintes suit finalement assez rarement l'hypothèse de Navier et Bernoulli. Dès qu'il y a un accident dans la continuité du matériau les isocontraintes prennent des formes quelconques (cf photoélasticimétrie ou résultat d'un maillage aux éléments finis). A l'ELU, c'est-à-dire dans un état où on considère le béton armé comme fissuré, on peut choisir de conduire les efforts en imaginant des bielles qui correspondront au béton comprimé et des tirants qui seront réalisés par des aciers travaillant en traction.</p>
Q15	<p>Les zones D concernent les parties de structure proche de l'application de charges ponctuelles (appuis, croisements de charges), de consoles courtes, de baies dans un mur, de charge ponctuelle sur une poutre voile. L'appui 21 est un appui de rive, on est dans une région D on reste dans une zone comprise entre le nu de l'appui et 80 cm (hauteur de la longrine).</p>
Q16	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2;"> <p><math>V_{ed}</math> est l'effort tranchant sur l'appui, <math>F_c</math> est l'effort dans le béton, et <math>F_s</math> est l'effort dans les aciers. On a le dynamique des forces suivant :</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 20px;">  <div style="margin-left: 20px;"> <math display="block">\ \vec{V}_{ED}\  = \ \vec{F}_s\  \text{ et } \ \vec{F}_c\  = \sqrt{2}\ \vec{V}_{ED}\ </math> <p>D'où <math>\ \vec{F}_s\  = 175kN</math> et <math>\ \vec{F}_c\  = 247.5kN</math></p> <math display="block"> \sigma_c  = 247.5 \times 10^3 / (250 \times 184) = 5.38 \text{ MPa} &lt; 0.6 \times 0.9 \times 25 / 1.5 = 9 \text{ Mpa } \odot</math> <math display="block"> \sigma_s  = 175 \times 10^3 / (3 \times \pi \times 14^2 / 4) = 379.13 \text{ MPa} &lt; 500 / 1.15 = 434 \text{ Mpa } \odot</math> </div> </div> </div> </div>
Q17	<p>Le point 22 correspond à l'interface entre le profilé métallique en H et le mur à ossature bois. Le point 23 correspond à l'interface entre la poutre en lamellé collé et le mur à ossature bois. Il convient dans les deux cas d'assurer la liaison, de vérifier le poinçonnement du bois et de vérifier la contrainte dans le poteau en bois situé en dessous.</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Q18</p>	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Q19</p>	<p>Le profilé HEA 240 est de classe 1 ce qui signifie que le rapport entre l'épaisseur de l'âme et la hauteur reste suffisamment petit pour que le profilé soit faiblement sensible au déversement. Le calcul en résistance peut être mené à l'ELUR. Il faut néanmoins faire une vérification au déversement et en déplacement à l'ELS.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Q20</p>	<p>Avec la combinaison d'action 1.35G+1.5Q le moment agissant <math>M_{ed} = 47,62 + 9,93 = 57.55 \text{ kN.m}</math>      La section de la poutre est <math>160 \times 560 \text{ mm}^2</math>      La contrainte de flexion dans le domaine élastique vaut :  <math>\sigma_{m,d} = M_{Ed} / (I_{gz} / h / 2) = 57.55 \times 10^6 / (160 \times 560^2 / 6) = 6.88 \text{ MPa}</math>  <math display="block">f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{sys} \cdot k_h</math> <math>k_h = \min(1.1 ; (600/560)^{0.1}) = 1</math>      Ce qui donne <math>f_{m,d} = 28 \times (0.6/1.25) \times 1 \times 1 = 13.44 \text{ MPa}</math>  <math>6.88 / (1 \times 13.44) = 0.511 &lt; 1 \text{ ☺}</math></p> <p>Il faudrait également une vérification à l'ELS pour les déplacements maximum dans la poutre. Une vérification est à faire sous les charges permanentes seules et sous charge permanente et charge variable conjuguées.</p>

Le voile en béton armé, en forme de L, à l'intérieur du bâtiment constitue une palée de stabilité au regard des actions horizontales. C'est en quelque sorte un élément de structure qui contribue à raidir la structure.

Cette palée de stabilité constitue une console verticale à même de résister aux charges latérales. Elle permet d'accroître la rigidité du bâtiment. Sa présence permet de répartir les charges latérales sur les autres éléments de structure soulageant ainsi les organes de fondations.



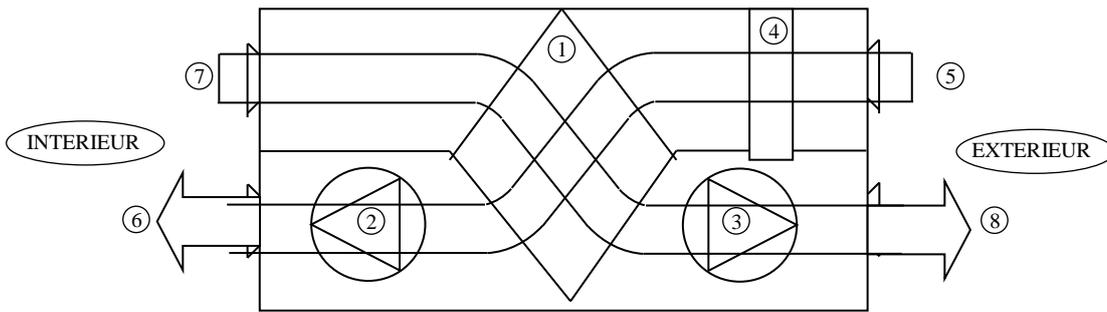
- 1 et 2** : Réactions des fondations
- 3 et 4** : Bielles de compression dans le voile béton
- 5** : Charges apportées par la couverture.
- 6** : Charges apportées par le voile et le plancher du 1<sup>er</sup>
- 7 et 8** : Charges horizontales amenées par les poutres

La réaction 1 peut prendre un signe négatif suivant le rapport qu'il y a entre les charges horizontales et les charges verticales. Dans ce cas la partie gauche du voile doit être ferrillée comme un tirant.

Q21

Dans le cadre d'une démarche B.I.M., les logiciels de simulation et de calculs thermiques, utilisent principalement le squelette .ifc du modèle B.I.M. Les données essentielles extraites sont : la géométrie des volumes et des parois, les compositions des parois, l'exposition du bâtiment. Il est à noter que la modélisation des flux d'air est un apport énorme aux bilans thermiques calculés sur un bâtiment.

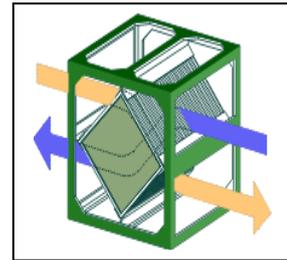
Q22



- 1 : Echangeur, en hiver l'air extérieur est réchauffé par l'air intérieur.
- 2 : Ventilateur de renouvellement d'air
- 3 : Ventilateur d'extraction d'air vicié
- 4 : Filtre
- 5 : Air extérieur
- 6 : Air soufflé dans le bâtiment
- 7 : Air intérieur vicié
- 8 : Air vicié extrait à l'extérieur

Q23

Q24	<p>Avantages de la ventilation double flux</p>	<p>Inconvénients de la ventilation double flux</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récupération de chaleur, réchauffage de l'air frais extérieur en hiver.</li> <li>• Filtrage de l'air extérieur</li> <li>• Assainissement de l'air intérieur</li> <li>• Peut être complétée par une batterie chaude ou une batterie froide.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation électrique plus importante qu'une simple flux : deux ventilateurs et éventuellement un moteur pour un échangeur à roue.</li> <li>• Le « free cooling » n'est pas toujours possible sans bypass.</li> <li>• Pertes de charge induites par l'échangeur.</li> <li>• Problème de moisissures dues aux condensations.</li> </ul>	
Q25	<p>Le récupérateur de chaleur est un échangeur à plaques. L'inconvénient est la perte de charge au passage dans l'échangeur. L'échange de chaleur est uniquement sensible. L'échangeur de chaleur est constitué de plaques, de tubes ou de gaufrages de type "nid d'abeilles", de faible épaisseur en aluminium ou matière plastique qui séparent les veines d'air. Le matériau utilisé pour la fabrication des plaques est variable, ce peut être du verre (il est insensible à la corrosion mais est lourd et cassant) ou bien de l'aluminium, de l'acier inoxydable ou un matériau synthétique. Les plaques sont assemblées entre elles par collage ou soudage et placées dans un châssis rigide. L'épaisseur d'une plaque oscille généralement entre 0,1 et 0,8 mm, la distance entre les plaques est très faible, entre 5 et 10 mm, et les courants sont généralement croisés. Afin de maximiser l'échange convectif, les plaques peuvent être gaufrées et créer de la sorte une turbulence.</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple et fiable,</li> <li>• Grande durée de vie et pratiquement pas de panne,</li> <li>• Absence de pièces en mouvement, sécurité de fonctionnement,</li> <li>• Peu de maintenance nécessaire,</li> <li>• Faible risque de contamination de l'air frais en cas de bonne conception,</li> <li>• Exécution en divers matériaux et nombreuses combinaisons possibles,</li> <li>• La solution la plus adaptée (rentabilité) aux petits débits d'air (&lt; 5 000 m<sup>3</sup>/h).</li> </ul> <p>Désavantages</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposition Air neuf/Air rejeté proche,</li> <li>• Sans by-pass, il n'y a pas de régulation de température et donc un risque de surchauffe en été,</li> <li>• Danger de givre par température extérieure basse et par dépassement du point de rosée, il faut être attentif à la régulation si on souhaite tenir compte du récupérateur pour dimensionner les chaudières et les batteries de chauffe,</li> <li>• L'échangeur présente une perte de charge relativement importante, surtout à de grands débits,</li> <li>• En cas de panne des équipements mal conçus peuvent être source de bruit ainsi que de fuites et donc de contamination.</li> </ul>		



Il n'y a pas de perte de puissance dans le récupérateur d'où  
 $P_{\text{NEUF}} = P_{\text{EXTRAIT}}$  c'est-à-dire  $0.34 \times \Delta\theta_1 \times q_{v1} = 0.34 \times \Delta\theta_2 \times q_{v2}$   
d'où  $\Delta\theta_1 = (q_{v2}/q_{v1}) \times \Delta\theta_2$   
Comme  $q_{v1} > q_{v2}$  alors  $\Delta\theta_1 < \Delta\theta_2$

Alors  $\varepsilon = \Delta\theta_2 / \Delta\theta_e$  il vient  $\Delta\theta_2 = \Delta\theta_e \times \varepsilon$ ,

$$\Delta\theta_2 = 0.75 \times (20 - (-5)) = 18.75^\circ\text{C}$$

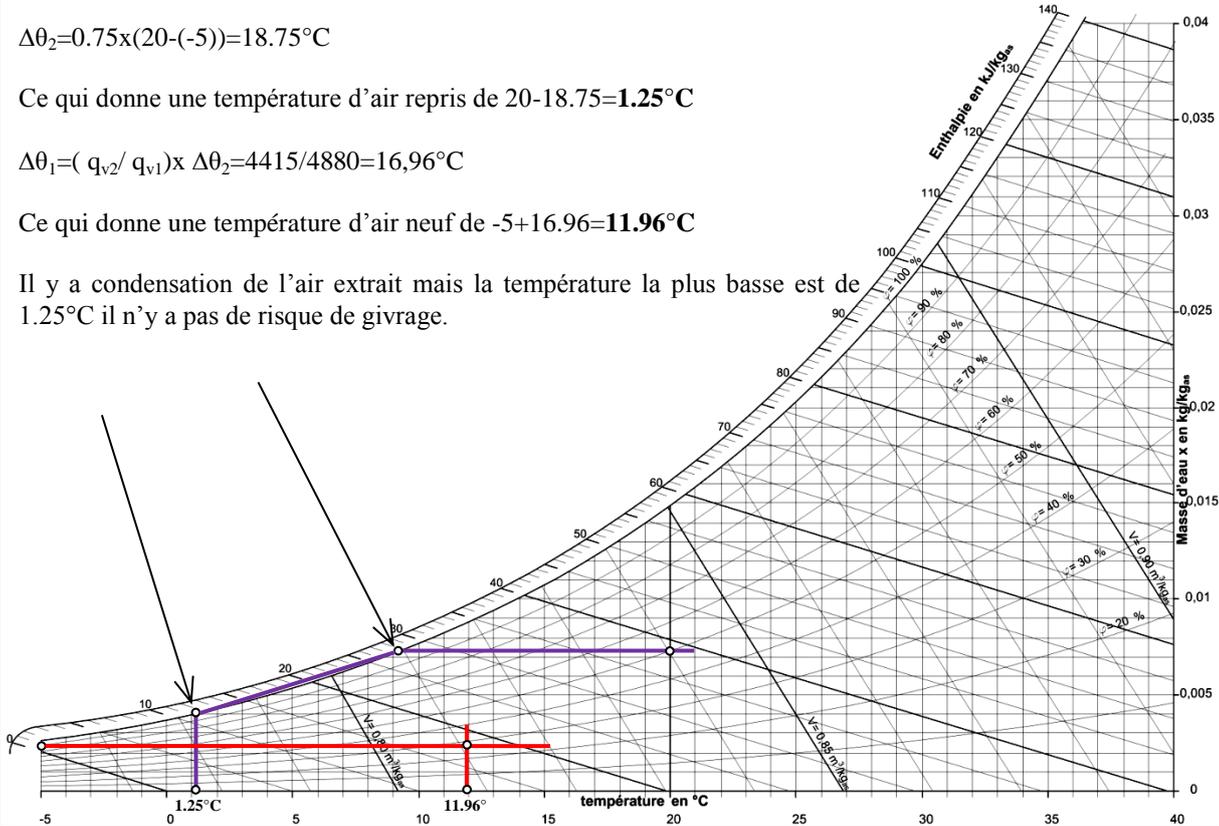
Ce qui donne une température d'air repris de  $20 - 18.75 = 1.25^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_1 = (q_{v2}/q_{v1}) \times \Delta\theta_2 = 4415/4880 = 16.96^\circ\text{C}$$

Ce qui donne une température d'air neuf de  $-5 + 16.96 = 11.96^\circ\text{C}$

Il y a condensation de l'air extrait mais la température la plus basse est de  $1.25^\circ\text{C}$  il n'y a pas de risque de givrage.

Q26



La puissance récupérée est de  $0.34 \times q_{v2} \times \Delta\theta_2 = 0.34 \times (4415) \times (18.75) = 28,145 \text{ kW}$

Q27

La perte par renouvellement d'air est de  $P = C_{\text{air}} \times q_v \times T_x (1 - \eta)$ ,

Q28

Ce qui donne  $P = 0.34 \times 360 \times (20 - 15) \times (1 - 0.75) = 153 \text{ W}$

Le  $Q_{4Pa}$  est le débit de fuite lorsqu'une le bâtiment est mis en dépression. Une porte est remplacée par un ventilateur intégré dans une porte souple étanche.

Q29

Ce débit de fuite est très important dans les bâtiments à faible consommation d'énergie, en effet la perte par renouvellement d'air est sensiblement affectée par ces fuites.

L'intérêt principal du caisson adiabatique est qu'il consomme très peu d'énergie. La vaporisation de l'eau permet d'absorber une partie de la chaleur contenue dans l'air extérieur.

Q30

Le « free cooling » ou rafraîchissement gratuit, consiste à ventiler le bâtiment la nuit en ouvrant les fenêtres. Avec le système de récupération de chaleur à échangeur à plaque il faut alors ouvrir le bypass. L'air extérieur frais est alors directement soufflé dans le bâtiment sans échange avec l'air extrait.

Q31

La sous station délivre de l'eau chaude vers la batterie chaude de la CTA, vers les planchers chauffants, vers les panneaux rayonnants intégrés dans le faux plafond. La batterie chaude permet un ajustement de la température de l'air neuf (on a vu à la question 26 qu'avec un air extérieur à  $-5^\circ\text{C}$  la température l'air neuf est à  $12^\circ\text{C}$ ), les planchers assurent le fond du chauffage en hiver, les panneaux rayonnants sont installés où il est impossible d'avoir un plancher chauffant (petites surfaces).

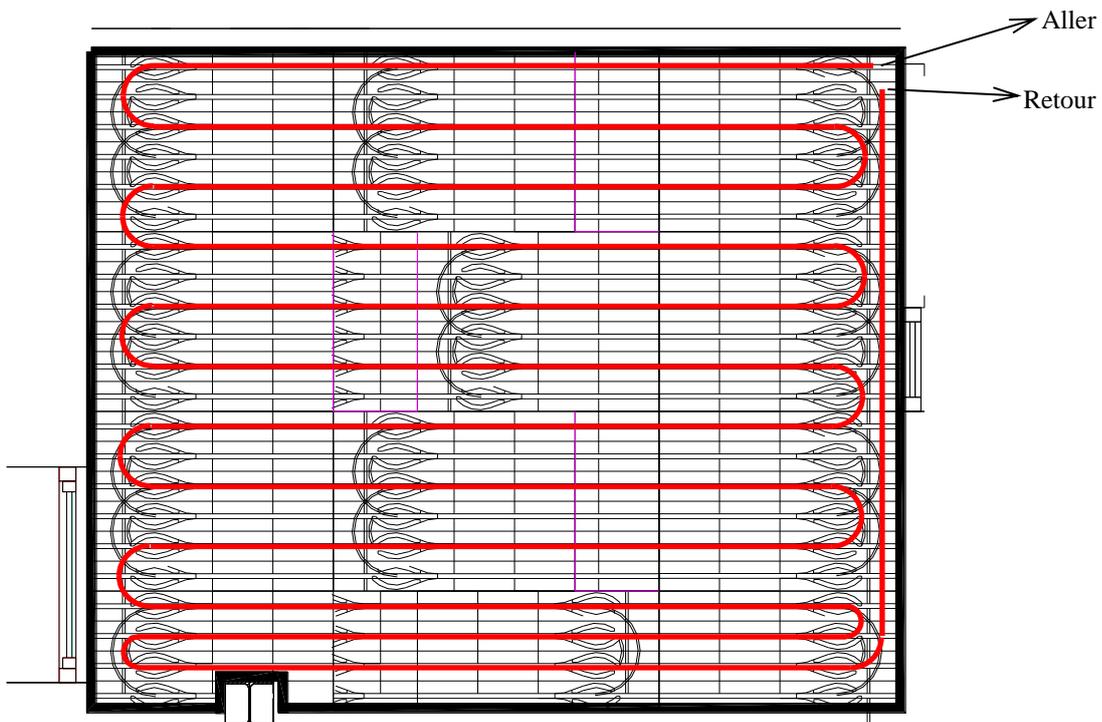
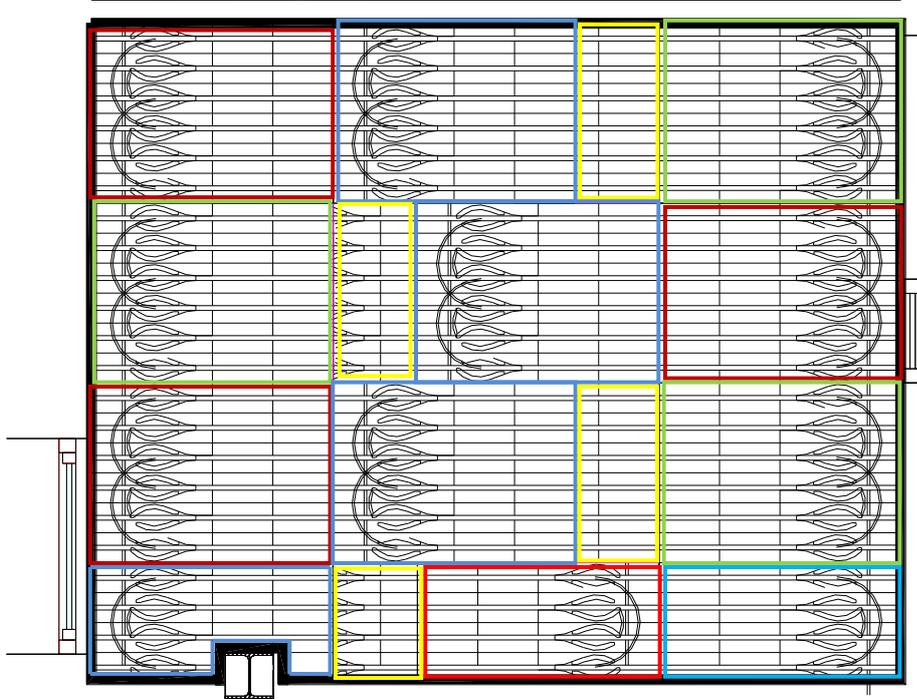
Q32

Les charges dynamiques sont dues au renouvellement de l'air et aux fuites. L'apport d'air plus frais venant de l'extérieur.  
Les charges statiques sont dues : Aux déperditions des surfaces opaques (verticales et horizontales)  
Aux déperditions des surfaces vitrées  
Aux déperditions linéiques (ponts thermiques)

La puissance minimum du plancher chauffant devra être de  $275+75 = 350$  W.

Cette technologie est intéressante, elle est très légère comparée avec une technologie avec une chape de mortier. Elle est démontable simplement, ce qui est très intéressant au regard de l'entretien du bâtiment au cours de sa période d'utilisation et en fin de vie ou dans le cas d'une rénovation.

Calepinage des panneaux d'isolant et parcours du tuyau.



Q34

Du point de vue du développement durable, ce bâtiment a été envisagé sur l'ensemble de sa durée d'utilisation. Ainsi un bâtiment en béton armé est très énergivore à déconstruire, sans compter les nuisances sonores et la poussière. Ici la structure est entièrement démontable simplement (vissage, cloutage), même le système de chauffage des planchers a été choisi dans ce sens.

Le bois qui constitue l'essentiel de la structure a un bilan carbone excellent. Les parties en charpente métallique sont entièrement recyclables.

Le chauffage est peu coûteux dans la phase d'utilisation, la production d'eau chaude est mutualisée puisque c'est de l'eau chaude urbaine qui est échangée avec utilisation dans le bâtiment.

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

Le sujet portait sur la construction d'une crèche à Gennevilliers. La ville est dans une démarche de création d'éco-quartiers, le bâtiment étudié a été conçu dans l'esprit d'un développement durable.

Le sujet a été rédigé pour être traité par tous, quelle que soit la spécialité d'origine. Certaines questions étaient certainement simples pour les candidats spécialistes. Cependant peu de candidat abordent la totalité des questions.

Toutes les questions ont été abordées mais 10 % des candidats ont traité l'ensemble des questions.

Q1 à Q4 : Ces questions ont été traitées par quasiment tous. Le concept du BIM est globalement bien compris. Les éléments de base d'une structure, comme les poutres métalliques sont oubliés par de nombreux candidats.

Q5 Cette question a été mal comprise, beaucoup ont décrit un mode opératoire de mise en œuvre, alors qu'on attendait un mode opératoire d'implantation. La topographie de chantier est méconnue de près de 80% des candidats.

Q6 Quasiment aucune coupe n'a été dessinée correctement. Même si un dessin à main levée est demandé, le jury suggère aux futurs candidats de soigner la qualité du trait et de garder les proportions du dessin. La cotation en altimétrie est peu connue des candidats.

Q7 et Q8 L'analyse des cadences de poses de longrines et du coulage de la dalle a été bien faite par les candidats, en revanche la notion de décalage et d'enclenchement de tâches n'a pas été vue par la moitié des candidats. Une solution alternative réaliste est envisagée par la moitié des candidats.

Q9 De trop nombreux candidats font un calcul qui aboutit à une résultante, qui n'est pas linéarisée sur la longueur de la poutre.

Q10 Question bien traitée.

Q11 à Q13 Beaucoup de candidats n'ont pas vu que le dimensionnement se fait sur appui et que donc la section longitudinale calculée est placée dans la partie supérieure de la poutre. Les règles de réalisation des cages d'armatures sont souvent mal maîtrisées.

Q14 à Q16 Questions traitées par 10% des candidats. Seuls quelques candidats proposent un modèle de fonctionnement correct de type treillis tirant/bielle de Ritter Mörsch sur l'appui.

Q17 et Q18 Ces deux questions évaluent la capacité des candidats à comprendre les enjeux technologiques aux interfaces au niveau des liaisons. Les questions sont traitées par 80% des candidats, malheureusement les analyses sont souvent très pauvres voire complètement erronées.

Q19 Aucun calcul est demandé dans cette question, le calcul en résistance est proposé par un grand nombre de candidats, en revanche les vérifications au déversement et de déplacement vertical sont souvent oubliées.

Q20 Question bien traitée lorsqu'elle est abordée.

Q21 Question abordée par très peu de candidats, un seul candidat propose une solution correcte.

Q23 et Q24 Questions bien traitées par un grand nombre de candidats. En revanche la question Q25 n'est traitée correctement que par des spécialistes.

Q26 La question n'est traitée correctement que par très peu de candidat. Le diagramme de l'air humide est ignoré par la grande majorité des candidats.

Q27et Q28 Questions bien traitées par ceux qui les abordent.

Q29 La RT 2012 est assez méconnue des candidats. Beaucoup de candidats ont néanmoins donné des réponses assez satisfaisantes à cette question.

Q30 et Q32 Ce sont des questions avec des réponses très simples ce qui semblent avoir déroutés les candidats.

Q33 La notion de charges statiques et charges dynamiques n'est connu que de quelques candidats.

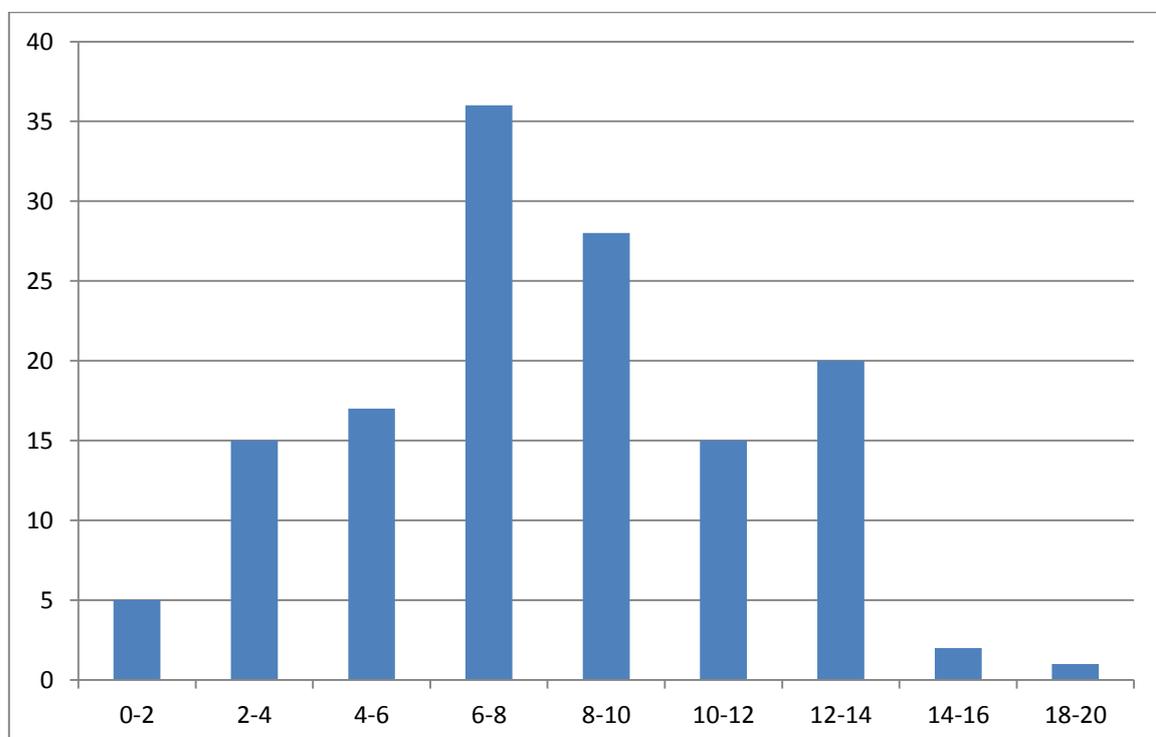
Q34 Il s'agissait d'un simple calepinage de panneaux et du tracé du circuit d'eau. Seuls deux candidats ont proposé un rendu satisfaisant à cette question. Ce qui semble étonnant pour une question qui demandait juste un peu de bon sens technologique.

Q35 On attendait pour cette question, la prise en compte de la vie totale de l'ouvrage, en particulier sa déconstruction qui n'a été évoquée que par seulement quelques candidats.

Pour conclure, le jury insiste sur le fait que les candidats doivent se préparer à acquérir des compétences de base dans tous les domaines de l'ingénierie de la construction. Aussi bien le dimensionnement des structures que l'étude de prix, l'organisation de chantier, le fonctionnement et le dimensionnement des équipements énergétiques ou la top

## Résultats

139 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 8/20 et l'écart type est de 3,49 avec 18,44 comme meilleure note et 0,68 comme note la plus basse.



## **B. Epreuves d'admission**

---

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

#### ***I.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique***

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de SII est de permettre d'évaluer chez les candidats leurs capacités à s'inscrire dans la démarche d'un agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur capable de réaliser une exploitation pédagogique à partir d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique.

De fait, une problématique pédagogique à caractère expérimental est proposée au candidat. Ce dernier doit alors préparer la trame détaillée de sa séquence, en s'aidant des manipulations nécessaires et en précisant et validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

Pour la session 2017, les compétences attendues par le jury sont scientifiques, comportementales et pédagogiques. Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- 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 ;
- concevoir, organiser et décrire une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné.

**L'évaluation du candidat s'effectue en trois phases.**

#### **Première phase – Manipulations expérimentales au laboratoire (durée 4 h 00)**

Cette première phase d'une durée totale de 4 h 00 se déroule en trois parties.

- Première partie (durée  $\approx$  0 h 30)

Pour cette partie, les manipulations et les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système et de vérifier une ou plusieurs performances du support. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de travaux pratiques.

- Deuxième partie (durée  $\approx$  2 h 00)

Pour cette partie, après la présentation du système et des activités menées dans la première partie à l'examineur, le candidat doit répondre au questionnement proposé, qu'il pourra réinvestir ou adapter pour atteindre les objectifs de formation de la séquence pédagogique qu'il développera.

Cette partie, permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre les problèmes posés, d'en exploiter les résultats obtenus (hypothèses, modèles, valeurs numériques...) et de mettre en évidence les écarts entre le souhaité, le mesuré et le simulé et d'éventuellement de proposer des solutions pour les réduire.

### **Troisième partie (durée ≈ 1 h 30)**

Pour cette troisième partie, une problématique pédagogique expérimentale est proposée au candidat.

Ce dernier doit concevoir la trame de la séquence pédagogique demandée en respectant les contraintes mentionnées ci-dessous :

Positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;

Préciser les objectifs, compétences ou capacités visés du référentiel ainsi que les prérequis de la séquence ;

- indiquer les modalités et organisations pédagogiques de la séquence (TP, TD, cours, projet...) ;
- décrire de manière détaillée la séance à caractère expérimental :
  - en situant la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique ;
  - en précisant l'organisation matérielle et pédagogique des activités (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
  - en décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet...) ;
  - en détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves, ainsi que les données de départ et le matériel dont ils disposent pour répondre à la problématique choisie ;
  - en proposant et validant au moins un protocole expérimental défini dans son exploitation pédagogique ;
- préciser les conditions d'évaluation et de remédiation.

Pendant toute la durée de cette partie, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat peut donc entreprendre de réaliser toutes nouvelles simulations ou expérimentations utiles pour étayer et créer la trame de sa séquence.

### **Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée 1 h 00)**

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent. 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 des phases précédentes qu'il aura stockés dans un espace dédié sur un serveur.

Pour la présentation devant le jury, le candidat aura à sa disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur.

### **Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)**

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 30 minutes maximum.

Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système et sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 20 minutes).

Un entretien avec le jury (durée maximale 30 minutes) suit l'exposé oral du candidat.

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

## Maquette de pont Chaban Delmas

Problématique d'ordre pédagogique associée à l'exploitation pédagogique demandée.

La séquence d'enseignement à développer s'intégrera l'extrait suivant du programme :

### **B - Programme**

#### **2 - Outils et méthodes d'analyse et de description des systèmes**

##### **2.3 - Approche comportementale**

##### **2.3.3 - Comportement mécanique des systèmes**

Équilibre des solides : modélisation des liaisons, actions mécaniques, principe fondamental de la statique, résolution d'un problème de statique plane

Au sein de cette séquence d'enseignement, une séance à caractère expérimental de deux heures dans le laboratoire de STI2D est à élaborer. Le laboratoire dispose de plusieurs systèmes, dont la maquette du pont Chaban-Delmas. Les élèves ont déjà découvert et manipulé ces systèmes et l'effectif de la classe est de 35 élèves.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- une maquette du pont Chaban-Delmas instrumentée ;
- un poste informatique équipé ;
- des logiciels usuels (traitement de texte, tableur, logiciel de modélisation multi physique Scilab) ;
- le référentiel STI2D ;
- un sujet ;
- un dossier technique ;
- une notice d'utilisation de la maquette didactisée.

### **1. Présentation de l'étude**

Le pont Chaban-Delmas est un pont routier et piéton qui permet de relier les deux rives de la Garonne au nord de Bordeaux. Ce pont, ouvert à la circulation en mars 2013, possède un tablier levant afin de permettre le passage des bateaux de grande hauteur.



Figure 1 - Vue d'artiste du pont Chaban-Delmas

D'une longueur totale de 433 m, ce pont comporte 2 voies de transports en commun, 4 voies pour véhicules routiers et 2 passerelles pour cycles et piéton.

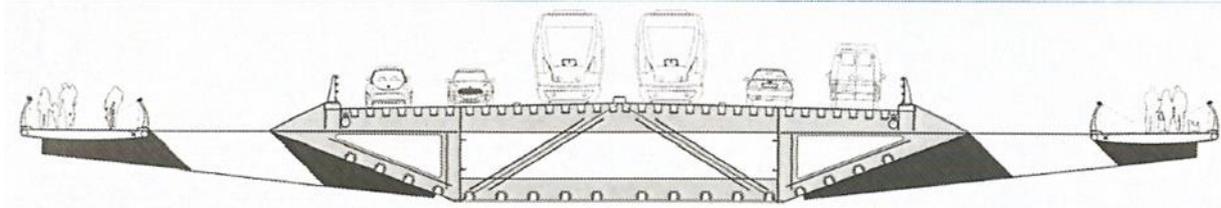


Figure 2 - Vue transversale du pont Chaban-Delmas

Les figures 3 et 4 présentent de façon plus détaillée le pont qui est principalement constitué :

- d'une travée centrale levante en caisson métallique de  $2\,850 \cdot 10^3$  kg, de 117 m de longueur et 45 m de largeur ;
- de 4 pylônes de 77 m de hauteur, reposant sur des deux embases oblongues de 44 m de long, 18 m de large, 18 m de haut implantées dans le lit du fleuve, et protégées par 4 îlots de protection en béton armé de 18 m de diamètre cloués au sol ;
- de pieux en béton armé de 1,60 m de diamètre et 20 m de profondeur pour fonder les embases des pylônes ;
- de 4 travées fixes, de part et d'autre de la travée centrale, permettant l'accès à celle-ci.

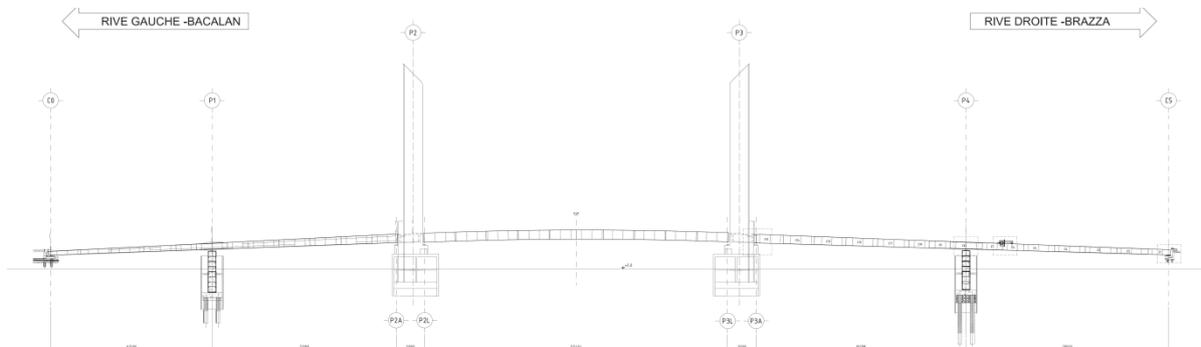


Figure 3 – Vue longitudinale et implantation générale

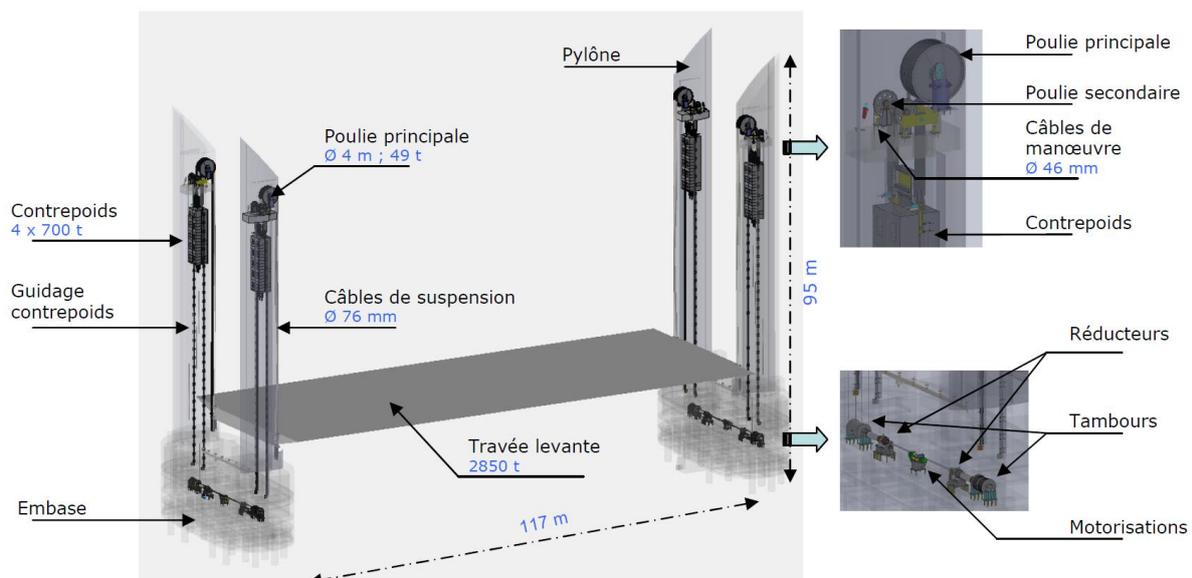


Figure 4 – Représentation des principaux éléments liés à la travée levante

Chaque embase est constituée :

- d'un moteur de 132 kW ;
- de deux réducteurs (un pour chaque pylône) ;

- de deux tambours permettant de mettre en mouvement les câbles de manœuvre.

Chaque pylône est équipé d'un contrepoids de  $700 \cdot 10^3$  kg lié aux câbles et de poulies de levage :

- les règles de sécurité du pont imposent qu'en cas de panne, la travée levante doit pouvoir redescendre par son seul poids ;
- en cas de choc extrême, les gabions de défense peuvent être endommagés sans que l'ouvrage ne bouge.

Afin de ne pas détériorer le pont, il est nécessaire que la travée reste en permanence à l'horizontale avec un angle maximal de  $0,2^\circ$ .

Les activités proposées par la suite vont permettre d'établir un modèle de comportement du pont lors du mouvement de la travée mobile. Ce modèle sera utilisé pour vérifier le critère d'horizontalité.

## 2. Le système de laboratoire

Une maquette du pont à l'échelle 1 / 100 de structure fonctionnelle équivalente à celle de l'ouvrage réel est présente dans le laboratoire et permettra la mise en œuvre d'expérimentations.



Figure 5 - Maquette du pont Chaban-Delmas

La maquette à l'échelle 1 / 100 représente les quatre pylônes de levage et la travée centrale en caisson métallique. Deux moteurs sans balais de 25 W pilotés par des variateurs et synchronisés assurent le levage de la travée centrale en 20 s.

Deux capteurs analogiques à câble permettent d'obtenir une image de la hauteur de la travée.

Deux freins électromagnétiques assurent le maintien en position en cas de défaut ou de perte d'alimentation.

Le pilotage par l'interface homme / machine permet d'activer les moteurs, de mesurer et de contrôler la synchronisation des deux rives. Si l'écart de hauteur est trop important, le logiciel de commande déclenche l'arrêt instantané des moteurs.

### Première phase – Manipulations expérimentales au laboratoire (4 h 00)

#### Partie 1 : comprendre le fonctionnement global ( $\approx$ 0 h 30)

Objectifs : découvrir le système et s'appropriier l'environnement et la structure du support technique.

### **Activité 1**

À l'aide du logiciel « Le Pont » et du manuel d'utilisation, piloter le pont pour déterminer la course de la travée mobile entre les positions haute et basse. Sur le pont réel, la course est de 45 m.  
Vérifier que la course obtenue sur la maquette respecte bien l'échelle (1 / 100).

### **Activité 2**

Repérer, à l'aide du dossier technique, les différents éléments constituant la chaîne d'énergie de la maquette.  
Proposer une représentation de celle-ci.

### **Activité 3**

Indiquer les éléments qui, sur le système réel, peuvent conduire à perturber l'horizontalité de la travée lors de la montée. Conclure sur la capacité à reproduire sur la maquette la perturbation d'horizontalité et, si cela est possible, décrire la mise en œuvre de cette perturbation.

**Partie 2 :** activités aidant à répondre aux problèmes techniques proposés ( $\approx 2$  h 00)

Objectifs : proposer un modèle de comportement du mouvement de la travée.

#### **a) Analyse d'un modèle multiphysique du comportement de la maquette**

L'étude exploite les caractéristiques physiques de la maquette. Les résultats peuvent être ensuite transposés à l'ouvrage réel.

Les caractéristiques de la maquette sont :

- une motorisation par moteurs brushless ;
- une vitesse nominale des moteurs de  $2500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$  ;
- une vitesse du tablier correspondante de  $23,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- une durée d'un cycle de montée inférieure à 20 s.

Le système se met en sécurité si l'écart de hauteur entre les deux rives est supérieur ou égal à 35 mm.

Sur la maquette, lorsqu'un mouvement est demandé, la vitesse angulaire de consigne est envoyée à un contrôleur central. Celui-ci génère une nouvelle consigne progressive et l'envoie au variateur de vitesse de chaque rive.

Chaque variateur pilote un moteur brushless et réalise un asservissement de la vitesse de rotation de ce moteur.

La vitesse de sortie du moteur est ensuite adaptée. Il en résulte une vitesse de déplacement de chaque rive.

Le modèle de comportement proposé est donné dans le fichier de simulation Scilab : « modele\_sans\_synchronisation.zcos ».

Double-cliquer l'icône associée à ce fichier sur le bureau de l'ordinateur.

### **Activité 4**

Expliquer la structure retenue pour la modélisation (ne pas étudier le contenu des blocs du fichier de simulation Scilab).

À l'aide du dossier technique, repérer sur la maquette l'emplacement des capteurs permettant de mesurer les grandeurs affichées dans le modèle. Le positionnement à une hauteur médiane du pont facilite le repérage des capteurs.

Les activités suivantes ont pour but de déterminer les valeurs numériques des paramètres du modèle proposé.

#### **b) Étude de la cinématique des mécanismes de levage**

L'objectif de cette partie est de déterminer les paramètres caractéristiques de la chaîne cinématique de la maquette du Pont Chaban-Delmas pour en établir un modèle.

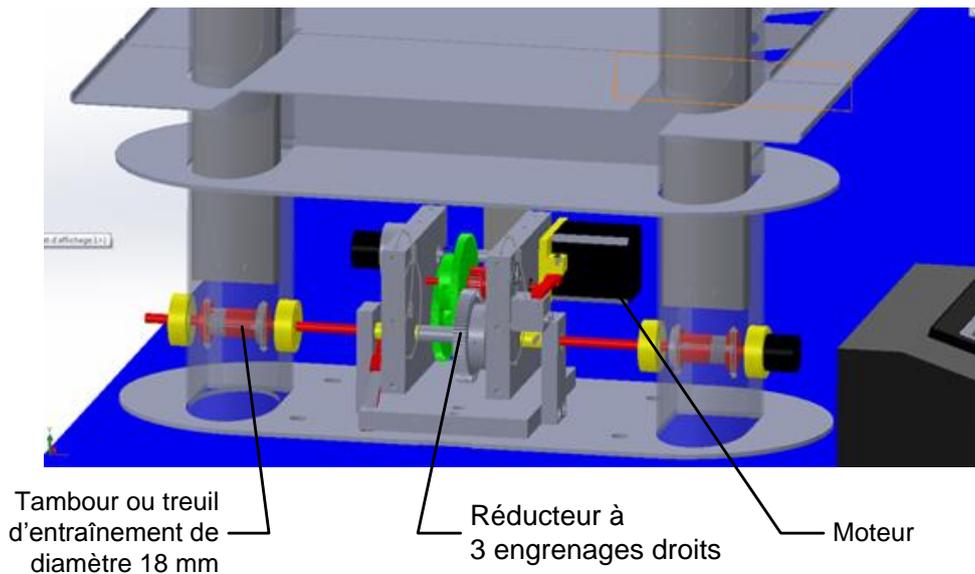


Figure 6 - Mécanisme global de transmission d'une pile

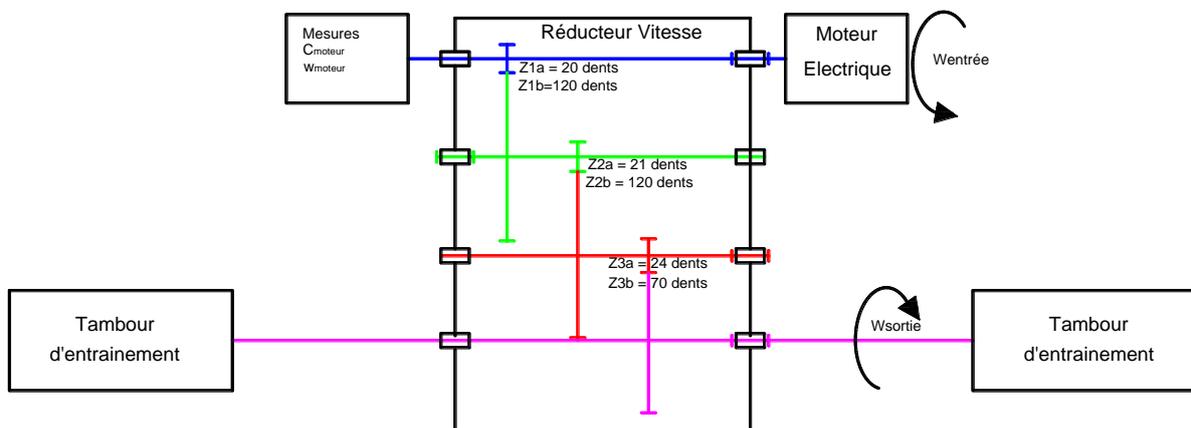


Figure 7 - Modélisation du réducteur de vitesse

Les mesures des différentes vitesses de la chaîne cinématique de la maquette sont possibles à l'aide du logiciel d'acquisition et en sélectionnant l'onglet « E1-Cinématique ».

### Activité 5

Déterminer la relation théorique entre la vitesse du tablier et la vitesse du moteur. Vérifier ce résultat expérimentalement.

#### c) Étude du modèle de la travée

Le modèle multiphysique permet de prendre en compte simultanément la cinématique et les actions mécaniques. Le modèle de la travée est construit à l'aide des équations suivantes :

- $M \cdot \frac{dv(t)}{dt} = M \cdot g + F_g + F_d$  ;
- $v(t) = \frac{v_g(t) - v_d(t)}{2}$  ;
- $\omega(t) = \frac{v_g(t) - v_d(t)}{L}$  ;
- $J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = (F_d - F_g) \cdot \frac{L}{2}$ .

Avec :

- $v_g$  et  $v_d$  respectivement les composantes verticales des vitesses des rives gauche et droite ;
- $F_g$  et  $F_d$  respectivement les composantes verticales des actions mécaniques des câbles sur les rives gauche et droite ;
- $M$  et  $J$  respectivement la masse et le moment d'inertie de la travée exprimé en son centre de gravité  $G$  et autour de l'axe transversal ;
- $L$  la longueur de la travée mobile.

Pour établir ces équations, un repère direct orthonormé a été introduit. Ce repère est représenté sur la figure 8.

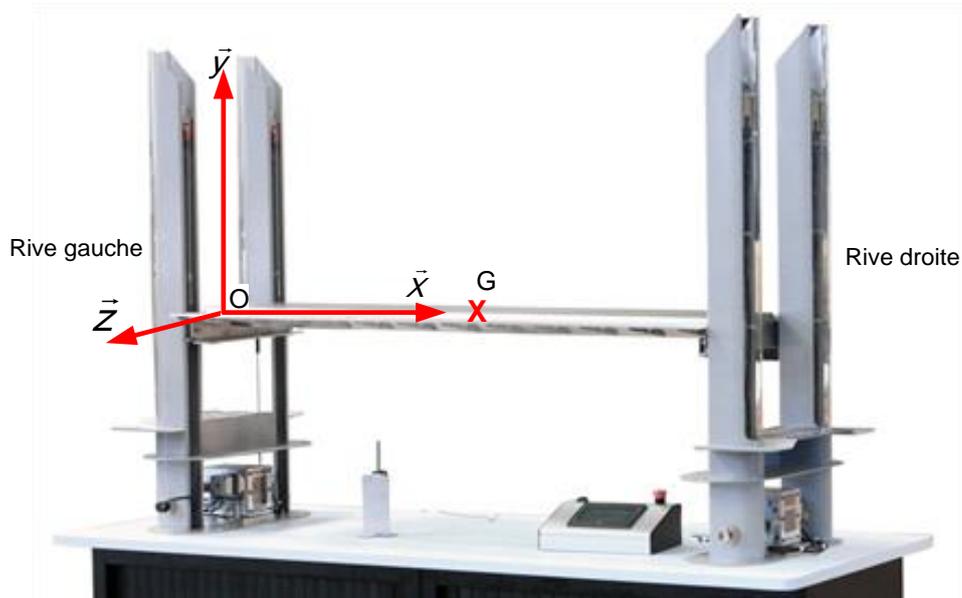


Figure 8 - Repère pour l'étude mécanique

### Activité 6

Préciser la signification des termes  $v(t)$  et  $\omega(t)$  et l'origine de des équations.

Pour reproduire une action extérieure localisée, placer sur la travée, à une distance notée  $x$  de la rive gauche, des « bus » accolés, perpendiculaires à la direction longitudinale de la travée. La masse de chaque bus est d'environ 2 kg. La longueur de la travée est de 1,17 m.

### Activité 7

Indiquer comment sont modifiées les équations précédentes.

Dans le modèle mis en place sur Scilab, il est possible d'imposer une charge ponctuelle  $F$  à une position  $x$  donnée sur la travée ( $x = 0$  au niveau de la rive gauche et  $x = L$  au niveau de la rive droite). Pour cela, double-cliquer sur le bloc « Charge Ponctuelle » puis cliquer sur le bouton « OK » à l'ouverture de fenêtre (figure 9).

Renseigner les champs  $F$  (en N) et  $x$  (en m) conformément à la figure suivante (une charge de 10 N s'exerçant vers le bas doit être renseignée « -10 »).

Valider ensuite avec le bouton « OK (2 fois) ».

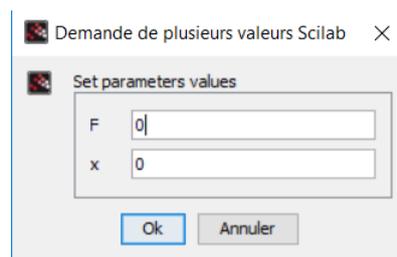


Figure 9 - Bloc « Charge Ponctuelle »

Les autres paramètres du modèle ont été renseignés préalablement conformément aux caractéristiques de la maquette.

Lancer une simulation en cliquant sur le bouton « lecture » (figure 10).

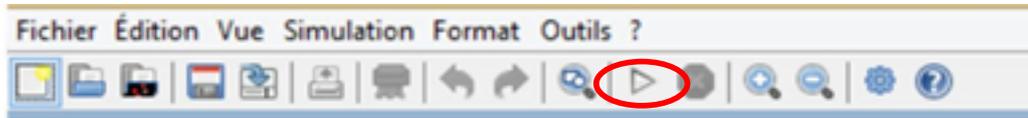


Figure 10 - Bouton de lecture

Pour afficher les valeurs des points des courbes, cliquer sur le bouton «  » puis sur la courbe étudiée. Le curseur sélectionné peut être glissé sur la courbe à l'aide la souris.

Dans le logiciel du pont, il est possible d'afficher les efforts dans les câbles et au niveau de chaque rive en sélectionnant l'activité « M3 - La résistance des câbles ».

### Activité 8

Proposer et réaliser une expérience et une simulation permettant de valider la prise en compte par le modèle d'une charge supplémentaire ponctuelle sur le tablier.

#### d) Influence d'une charge sur le comportement du pont en montée

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence l'influence d'une charge sur le pont lors de la montée de la travée et de minimiser l'influence de cette charge à partir du modèle.

### Activité 9

Renseigner le modèle afin de prendre en compte une action correspondant à une charge de 2 bus placés à l'extrémité gauche du pont.

Observer en simulation l'influence de cette action en analysant les différentes courbes. Conclure quant au respect de l'exigence d'horizontalité de la travée (angle maximal de  $0,2^\circ$ ).

Pour réduire l'écart de hauteur du tablier entre les deux rives, plusieurs solutions sont utilisées :

- asservissement de vitesse des moteurs par le correcteur PID du variateur de vitesse ;
- synchronisation de la commande d'une rive par rapport à l'autre en fonction de l'écart de hauteur.

L'étude se porte sur la synchronisation uniquement.

Elle fonctionne selon le principe suivant :

- la consigne de l'un des moteurs reste inchangée par rapport au mode précédent (sans synchronisation) ;
- la consigne de l'autre moteur est variable. Elle est déterminée en ajoutant à la consigne du premier moteur une fonction dépendant de l'écart de hauteur entre les deux rives.

Pour la suite de l'étude, on suppose que le moteur « à consigne constante » est le moteur « rive gauche » et que le moteur à consigne variable est le moteur « rive droite ». Cette configuration est appelée dans le système « rive droite suit rive gauche ».

### Activité 10

Modifier le modèle en ajoutant des blocs de manière à modéliser la boucle de synchronisation. On considérera qu'un écart de hauteur entre les deux rives de  $20 \cdot 10^{-3}$  m doit entraîner une variation de consigne de  $400 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $40 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$  dans la simulation).

Lancer la simulation pour vérifier le fonctionnement correct de la synchronisation.

Pour modifier le modèle :

- insérer des blocs de la palette SIMM/Signaux/Math (fenêtre navigateur de palette du menu Vue de la figure 11) ;
- modifier si besoin les signes du bloc « sommateur » en double cliquant dessus.

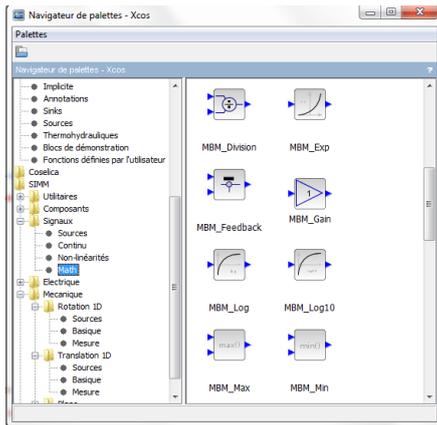


Figure 11 - Palette « SIMM/Signaux/Math »

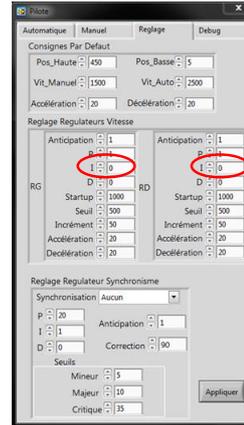


Figure 12 - Boîtier de réglage du PID

Pour mettre en évidence l'action de la synchronisation uniquement, supprimer l'action intégrale sur le PID du variateur de vitesse (figure 12) :

- sélectionner l'onglet « Réglage » du pilote ;
- renseigner les cases « I » à 0 dans les 2 régulateurs de vitesse.

Remarque : pour éviter le blocage du pont, penser à enlever les bus lors de la descente du tablier.

### Activité 11

Choisir l'activité « Synchronisation » dans le logiciel.

Activer la synchronisation « RD suit RG » (onglet réglage du pilote, I restant à 0) et mesurer en montée uniquement la différence de hauteur avec 2 bus placés tout à gauche du pont. Réaliser la simulation correspondante.

Conclure sur les écarts modèles / réel. Proposer une ou des solutions pour améliorer la synchronisation.

#### e) Mise en œuvre d'un mode de synchronisation personnalisé

La maquette du Pont Chaban-Delmas permet d'utiliser plusieurs modes de synchronisation, dont un mode dit personnalisé (« CUSTOM »). On se propose de coder et valider un mode de synchronisation personnalisé. Le principe de la correction à implémenter est décrit ci-après.

À chaque appel de la procédure de synchronisation :

- la consigne de vitesse du moteur rive gauche n'est pas modifiée ;
- la consigne de vitesse du moteur rive droite augmente ou diminue de  $30 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  de manière à réduire l'écart de hauteur entre les deux rives.

L'écart de synchronisation est défini par :

$$\text{Écart de synchronisation} = \text{hauteur rive droite} - \text{hauteur rive gauche}$$

### Activité 12

Pour chaque cas de la figure suivante indiquer la nouvelle valeur de la consigne de vitesse du moteur rive droite.

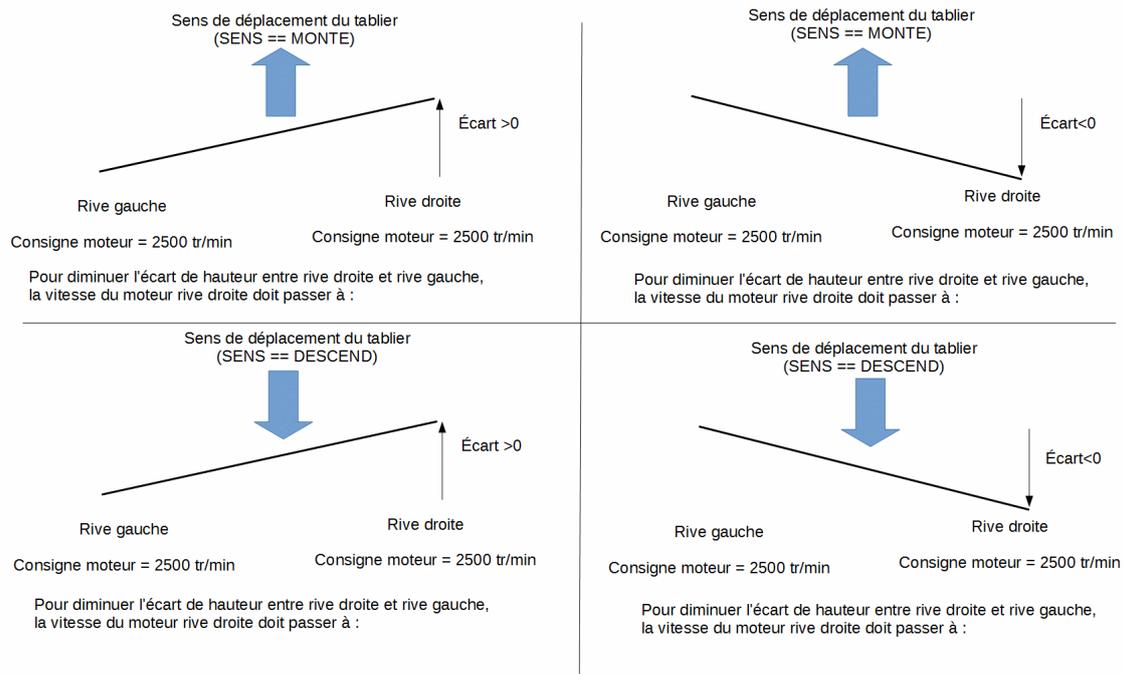


Figure 13 - Représentations des décalages

### Activité 13

À partir des résultats précédents, proposer un algorithme, un algorithme ou un pseudo-code permettant d'agir sur la consigne du moteur de la rive droite en fonction du sens de déplacement (MONTE ou DESCEND) et du signe de l'écart.

Le contrôleur de la maquette du pont Chaban-Delmas utilise un microcontrôleur « mbed LPC1768 ». Le code implémenté dans le microcontrôleur est écrit en C++.

L'outil de développement « mbed » est accessible à partir d'un navigateur web. Un document « Utilisation de l'outil de développement mbed » est fourni.

### Activité 14

À l'aide du document « Implantation de la synchronisation dans la carte mbed » et en s'inspirant du code existant (regarder et analyser la portion de code située après l'instruction « case DEUX\_VITESSES »), écrire le code correspondant à la synchronisation définie précédemment. L'incrément de vitesse sera défini à  $30 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Utiliser la variable nommée « delta » (entier signé sur 16 bits) déjà définie pour stocker la valeur de la variation de consigne de vitesse. Cette variable est initialisée dans la procédure « vSynchro\_Initialise () ». Le candidat n'a pas à étudier l'obtention de l'écart de synchronisation (variable Ecart\_Synchro dans le code).

### Activité 15

Valider expérimentalement le fonctionnement de cette régulation. Discuter des intérêts et inconvénients de cette régulation.

### Activité 16

Indiquer les phénomènes qui n'ont pas été pris compte (ou négligés) dans le modèle. Proposer une méthode pour les identifier.

## Partie 3 : problématique pédagogique expérimentale (≈ 1 heure 30)

### Objectif :

Créer une séquence pédagogique dans laquelle une séance à caractère expérimental sera explicitée.

Niveau : première STI2D ;

Connaissance du matériel : les élèves ont déjà manipulé le système.

Concevoir la trame de la séquence pédagogique, réaliser les manipulations et simulations à destination des élèves en s'appuyant sur les points suivants :

- positionnement de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- objectifs et prérequis de la séquence ;
- modalités et organisation pédagogiques de la séquence (activités pratiques, études de dossiers, etc.) ;
- description détaillée de la séance d'activités pratiques de deux heures ;
- évaluation et remédiation.

Le candidat devra éviter de reproduire les activités de la partie 2 et les utiliser pour sa séance sans adaptation.

## ***1.2 Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluri technique***

### **1. Présentation de l'épreuve**

L'épreuve « exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluri technique » permet au jury d'évaluer l'aptitude des candidats à :

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

L'exploitation pédagogique proposée, directement liée aux activités pratiques réalisées, est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) » et/ou sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (SSI) du lycée et des classes préparatoires aux grandes écoles.

### **Déroulement de l'épreuve**

Cette épreuve, de coefficient 2, dure 6 heures et comporte trois phases.

#### **Phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4 h).**

##### **Cette première phase se décompose en trois temps.**

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 mesurage ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

##### **Premier temps (durée ≈ 0h30)**

Une étude fonctionnelle et structurelle permet au candidat de s'approprier la problématique proposée et le système pluri technique support de l'activité pratique. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat a bien atteint cet objectif.

### **Deuxième temps (durée ≈ 2h00)**

Ce deuxième temps est consacré à la résolution de la problématique posée. Le questionnement du sujet et les échanges avec l'examineur permettent de mobiliser des compétences, des connaissances technologiques et scientifiques, communes aux quatre options, caractéristiques du niveau de l'agrégation.

### **Troisième temps (durée ≈ 1h30)**

Ce dernier temps est destiné à la construction d'une trame de séquence pédagogique et à l'élaboration d'une séance détaillée de travaux pratiques. La trame de séquence et la séance doivent permettre de répondre aux attendus de la présentation orale de la phase 3. À ce stade, le candidat dispose des travaux déjà réalisés qu'il peut compléter par des manipulations ou des mesures pertinentes destinées à valider ses choix pédagogiques et à étayer la conception détaillée des activités proposées. Le jury apprécie cette prise d'initiative.

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

Le candidat prépare, la présentation qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat n'a plus accès au système pluri technologique, support de l'activité pratique et aux logiciels de simulation. Il dispose d'un poste informatique relié à internet, des logiciels courants de bureautique et de ses résultats obtenus lors de la phase 1.

### **Phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1 h).**

L'exposé oral, d'une durée maximale de 30 minutes, comporte :

- la présentation du système en lien avec la séquence pédagogique demandée d'une durée conseillée de 5 minutes ;
- la synthèse des activités, menées dans la deuxième partie de la première phase de l'activité pratique, d'une durée conseillée de 5 minutes. Cette synthèse doit mettre en évidence la cohérence des travaux menés avec la séquence pédagogique demandée ;
- l'exploitation pédagogique d'une durée conseillée de 20 minutes.

L'entretien avec le jury est d'une durée maximale de 30 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à :

- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus des investigations conduites au cours des activités dans la perspective de la séquence et séance pédagogique demandée ;
- positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- présenter et justifier la structure de la séquence pédagogique ;
- définir les objectifs de formation ;
- identifier les prérequis et les conditions matérielles nécessaires pour la séance ;

Le candidat doit également s'attacher à :

- définir précisément les compétences abordées lors de la séance détaillée ;
- mettre en adéquation les objectifs visés de la séance et de la séquence ;
- exploiter et adapter au niveau de formation demandé (STI2D, S-SI et CPGE) les informations, les données et les résultats issus des activités ou des investigations conduites au cours de l'activité pratique ;
- détailler les activités proposées aux élèves lors de la séance ;
- présenter une synthèse ou une structuration des connaissances ;
- définir les stratégies d'évaluation des acquis des élèves (évaluation sommative, évaluation formative...).

Le jury peut être amené à interroger le candidat en vue d'apprécier, d'une part sa connaissance du fonctionnement d'un EPLE (établissement public local d'enseignement), et d'autre part ses capacités à faire partager aux élèves les valeurs et principes de la République.

Au cours de l'entretien, le candidat est amené à :

- préciser certains points de sa présentation ;

- expliquer et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'il a opérés.

Lors de la présentation devant le jury, le candidat dispose d'un vidéoprojecteur, d'un tableau et d'un poste informatique relié à Internet, doté des logiciels courants de bureautique. Le candidat accède à toutes ses productions numériques réalisées pendant l'épreuve.

Les supports retenus lors de la session 2017 sont :

- banc d'étude sismique ;
- incubateur d'œufs ;
- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- système de déplacement de caméra ;
- robot haptique ;
- maquette de pont levant.

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'algorithme simple ou de quelques lignes de programme simple ;
- recalage d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

## **2. Analyse des résultats**

Le jury observe une grande disparité dans les prestations des candidats.

Les candidats pertinents mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique demandée. Ils positionnent convenablement leur future exploitation pédagogique et réinvestissent de façon pertinente les résultats obtenus lors des expérimentations. Les prérequis, les objectifs, les démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité.

Une majorité des candidats est bien préparée à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats au plus haut niveau d'expertise. La présentation du système et des résultats lors de la présentation orale se résume à un compte-rendu souvent chronologique sans que soient mis en perspective le ou les liens entre les manipulations effectuées et la séquence pédagogique. Les candidats n'abordent que très partiellement l'exploitation pédagogique des manipulations.

Un nombre très restreint de candidats ne réalise que quelques rares manipulations liées généralement à une connaissance parcellaire des champs scientifiques et techniques à mobiliser. De plus, la qualité de raisonnement et la rigueur ne sont pas au niveau que l'on peut attendre d'un candidat à l'agrégation. L'exploitation pédagogique associée est souvent décevante.

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

### **Compréhension du système pluri technique support des activités pratiques**

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'approprier le support du travail pratique et de la

problématique 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.

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

- 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 contextualisation des activités et supports proposés est souvent omis. Elle permet de correctement appréhender 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, les diagrammes SysML).

### **Résolution des problèmes posés et d'exploitation des résultats**

Pour cette partie de l'épreuve, le candidat est amené à :

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

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

Les activités permettent aux candidats de mobiliser l'ensemble des compétences fondamentales des sciences de l'ingénieur.

Lors de l'activité pratique, 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 et fonctionnels) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corrélérer les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique posé ;
- proposer aux examinateurs une présentation et/ou justification des protocoles ;
- présenter les résultats de façon claire et précise.

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

### **Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental**

Une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans laquelle il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental. Il précise les manipulations nécessaires et les protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique tout en étant en accord avec le niveau de formation demandé.

Ces manipulations et protocoles de mesures insérés dans la séance pédagogique doivent être adaptés au niveau requis. De ce fait, il est attendu que le candidat propose des protocoles qui ne soient pas la copie conforme de ceux effectués durant la phase de manipulation en laboratoire (partie 2 de la phase 1).

Le jury attire l'attention des candidats sur l'importance première à accorder à la préparation de l'activité pédagogique. La phase de conception de la séquence pédagogique d'une heure et trente minutes est suivie d'une phase de préparation de l'exposé d'une heure pour aboutir à une présentation d'une durée de trente minutes

(maximum). Passer outre les recommandations portant sur les différents temps consacrés aux phases 1 et 2 est rarement pertinent et obère souvent la qualité de la présentation orale et de l'exploitation pédagogique.

Le jury invite les candidats, lors de la conception de la séquence pédagogique, à :

- définir la place de la séquence proposée dans le plan de formation annuel pour le niveau proposé ;
- préciser de façon argumentée la place de l'exploitation pédagogique dans la séquence ;
- connaître les horaires officiels, les épreuves du baccalauréat relatives aux classes de STI2D, S-SI et de classes préparatoires aux grandes écoles ;
- dégager et formaliser les objectifs pédagogiques (compétences à faire acquérir et les connaissances à transmettre) ;
- analyser le choix de la modalité pédagogique en vue de répondre à l'objectif de formation de la séance ;
- préciser ses choix sur l'organisation du groupe classe lors de la séance d'activité pratique ;
- structurer une démarche cohérente conduisant à la transmission de compétences nouvelles au niveau imposé et à identifier les centres d'intérêt associés au système étudié ;
- proposer des protocoles expérimentaux ;
- connaître les différents modes d'évaluation et leur finalité pédagogique ;
- respecter la durée de préparation de l'exploitation pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats S (option sciences de l'ingénieur), STI2D, et des CPGE, ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra 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).

### **Présentation orale devant un jury**

Le jury attend, lors de cette phase de restitution des investigations menées et de présentation de la séquence pédagogique, que le candidat soit capable :

- de décrire le système en présentant sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée ;
- de décrire les mesures effectuées en rappelant la problématique donnée et en précisant la démarche mise en œuvre et les conclusions obtenues ;
- de proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- d'expliciter les compétences, et les connaissances associées, visées par la séance, les moyens de leur évaluation et de s'assurer du respect des textes officiels en vigueur ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de définir des modalités d'évaluation des niveaux de maîtrise des compétences des élèves.

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 et de donner du sens aux connaissances développées.

Les candidats ayant réussi cette épreuve se sont attachés à répondre et à mettre en œuvre les conseils et attendus du jury.

Le jury a été extrêmement attentif au positionnement du candidat sur les valeurs de la République. Ces points ont été systématiquement abordés et ont fait l'objet de questions au travers de mises en situations pédagogiques ou de conduite de classe.

### Comportement des candidats

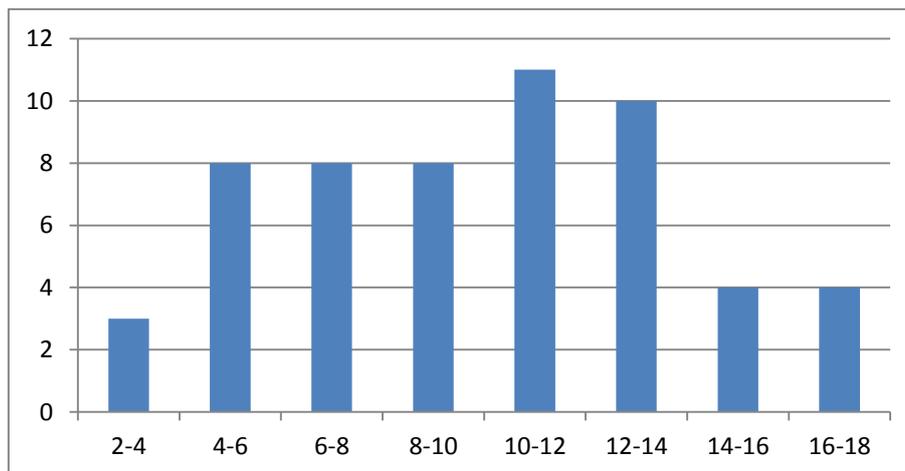
Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluri technique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluri technique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer 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 candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

### 4. Conclusion et résultats

Cette session pour l'agrégation externe sciences industrielles de l'ingénieur confirme les évolutions engagées lors des deux années précédentes. Le laboratoire unique composé de systèmes pluri techniques communs aux quatre options de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur impose au candidat une appropriation de tous les champs disciplinaires transversaux liés au triptyque matière, énergie et information. L'ingénierie pédagogique à mettre en œuvre impose aux candidats une bonne connaissance des différents programmes ou référentiels de formation et des objectifs de formation associés.

57 candidats se sont présentés à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 9,94/20. L'écart-type est 2,23. La meilleure note est 17,87/20. La plus faible est 02,23/20.

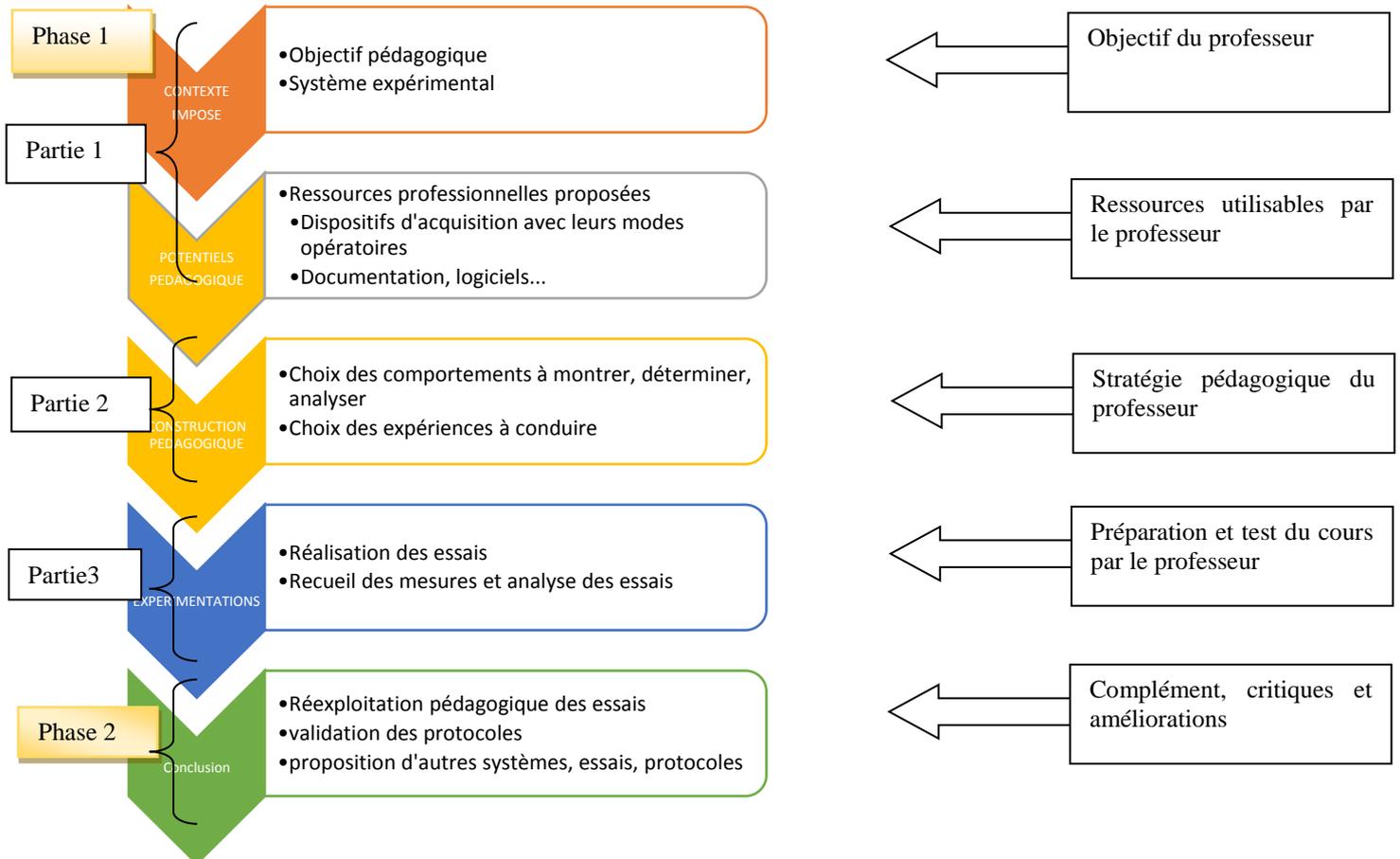


## II. Rapport du jury l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluri technique

### II.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche spécialisée d'un système pluri technique

#### A - protocole d'évaluation du candidat

Cette évaluation se déroule en trois phases :



#### **1. PHASE 1 – Préparation pédagogique en laboratoire (durée 4 h 00)**

##### **1.1. Première partie (durée 0 h 30) : découverte de l'objectif et des ressources**

L'objectif de cette phase est de découvrir l'objectif pédagogique imposé et les ressources pédagogiques fournies. Ces ressources peuvent comprendre des systèmes expérimentaux, des documents, des dossiers techniques, des logiciels.

À la fin de cette partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié la problématique pédagogique, les ressources à disposition, et en a identifié les principaux potentiels pédagogiques.

##### **1.2. Deuxième partie (durée 1 h 00) : analyse et préparation pédagogique**

Dans cette partie, le candidat élabore une stratégie pédagogique permettant de construire une séquence répondant aux objectifs fixés, et l'amenant à utiliser les ressources disponibles. Il est demandé d'exploiter les potentialités des ressources expérimentales et numériques.

##### **1.3. Troisième partie (durée 2 h 30) : préparation pédagogique avec expérimentation**

Le candidat met en œuvre les expérimentations et applications numériques préparées afin de les tester, valider leur intérêt pédagogique et leur faisabilité en séance de cours. Il exploite les résultats et conclut.

## **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)
- La présentation de la séquence & séance pédagogique proposée (15 minutes environ) ;
- Le compte – rendu des expérimentations effectuées et des résultats obtenus (10 minutes) ;

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

## **B - TRAVAIL DEMANDE**

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

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve	
<b>PHASE 1</b> <i>(4h)</i>	<b>Partie 1</b> <i>(30 min)</i>	<b>I. CONTEXTE IMPOSE</b>	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury	
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles	
	<b>Partie 2</b> <i>(1h)</i>	<b>II. POTENTIELS PEDAGOGIQUES</b>		Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...)
				Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence
				Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation
				Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche)
				Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées
				Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. Valider avec le jury les expérimentations et application numériques à mettre en œuvre ensuite.
	<b>Partie 3</b> <i>(2h30)</i>	<b>IV. EXPERIMENTATIONS</b>		Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer
				Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues
			Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...)	
<b>V. CONCLUSION</b>			Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité...)	
		Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.		
<b>PHASE 2</b> <i>(1h)</i>		<b>Mise en loge</b>	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)	
<b>PHASE 3</b> <i>(1h)</i>		<b>Exposé et entretien</b>	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles	
			Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les 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
- Etre 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><b>R1 : Référentiels de formation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BTS Bâtiment</li> </ul>	<p><b>R2 : INFORMATIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis.</li> <li>• Une suite bureautique</li> <li>• Un fichier REVIT et un fichier ROBOT de la structure du bâtiment « Fuji ».</li> </ul>
<p><b>R3 : DOSSIER SUPPORT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projet de construction du bâtiment « Fuji »</li> <li>• Cahier des Clauses Techniques Particulières du bâtiment « Fuji »</li> </ul>	<p><b>R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Normes d'essai sur les bétons</li> <li>• Techniques de l'Ingénieur – Du béton frais au béton durci, éléments de comportement</li> <li>• Mode opératoire des machines d'essai</li> <li>• Mode opératoire logiciels REVIT et Robot Structural Analysis</li> <li>• Données relatives à l'étude</li> </ul>

## R5 : EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX

### Matériaux :

- 4 éprouvettes de béton cylindrique 15 x 30 cm.
- Une éprouvette de béton cylindrique 15 x 30 cm équipé d'un dispositif de mesures extenso métriques.

### Matériel :

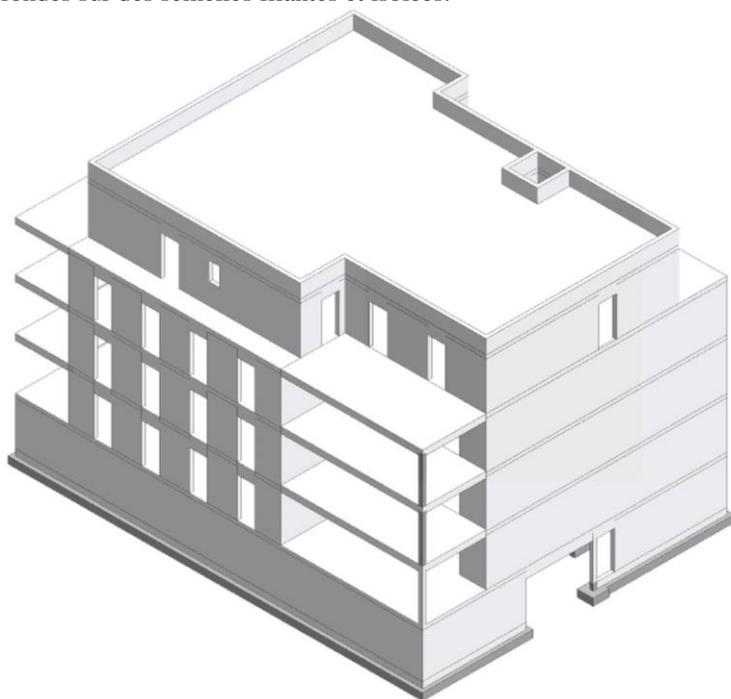
- Une presse et un dispositif d'acquisition des déformations sur éprouvette équipée
- Un bâti pour essai de traction par fendage
- Un scléromètre
- Petit matériel de laboratoire

## R3 – 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.**

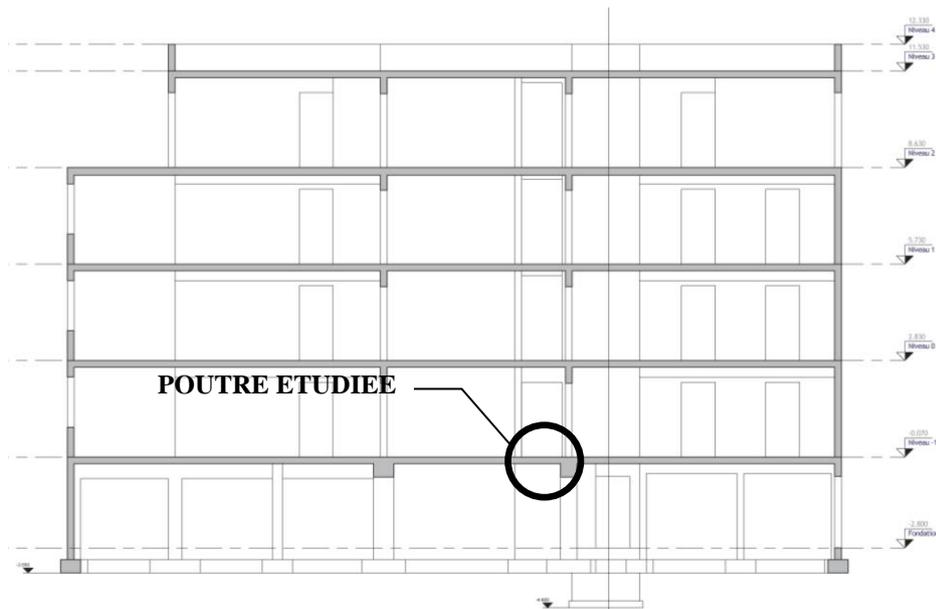


Fig. 2 : Coupe verticale de la structure du bâtiment

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.

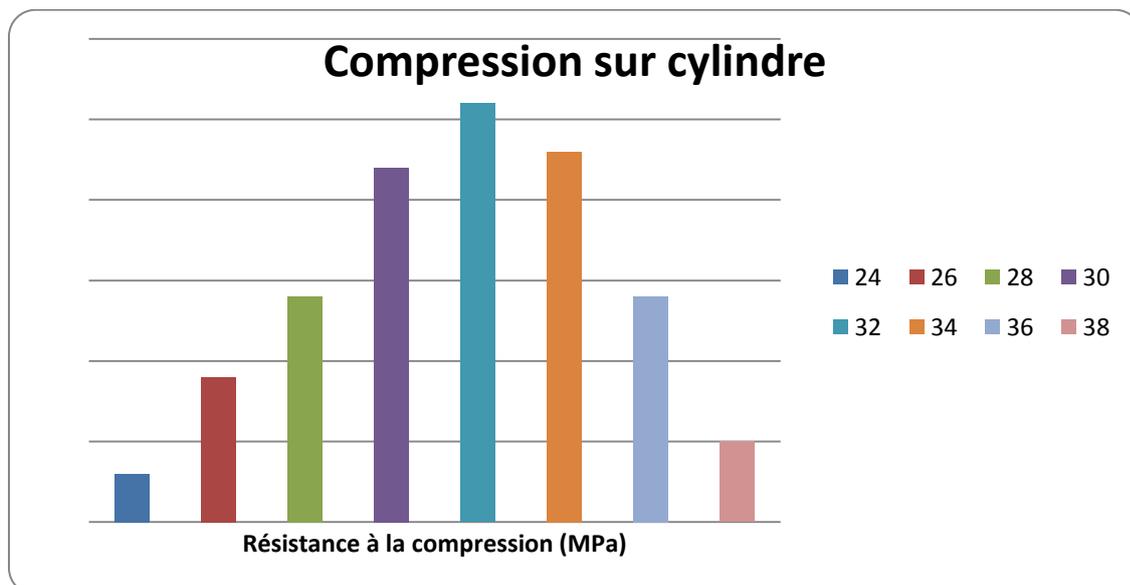
#### R4 - Données relatives à l'étude

Résistance à la compression du béton : (Technique de l'ingénieur page 5)

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 :** (Technique de l'ingénieur page 9)

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 :** (Technique de l'ingénieur page 7)

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 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 pluri technique***

### **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-clefs des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système 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 ≈ 0h30)**

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 – Construction pédagogique (durée ≈ 1h)**

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

**Troisième partie - Expérimentation (durée ≈ 2h30)**

Le candidat prépare puis mène ses expérimentations, essais, ou ceux proposés par le jury. Il réalise les mesures et observations, exploite les ressources logicielles le cas échéant. Il exploite ensuite les résultats obtenus : il les traite (calculs, représentations graphiques...), analyse leur justesse, fiabilité...

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

La phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel figurent des supports<sup>1</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

---

<sup>1</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.

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 conclura 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
- 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 demande pour l'épreuve

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

Phase	Durée	Objet	Attentes et production évaluée par les jurys de l'épreuve	
PHASE 1 (4h)	Partie 1	I. CONTEXTE IMPOSE	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury	
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles	
	II. POTENTIELS PEDAGOGIQUES	Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...)		
	Partie 2	III. CONSTRUCTION PEDAGOGIQUE		Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence
				Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation
				Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche)
			Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées	
		Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. Valider avec le jury les expérimentations et application numériques à mettre en œuvre ensuite.		

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

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

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

#### 4. Séquences pédagogiques demandées pendant l'épreuve

Les séquences pédagogiques demandées étaient imposées pour les formations suivantes :

- Baccalauréats STI2D et SSI
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- DUT :
  - o Génie Civil Construction Durable
  - o Génie Thermique et Énergie
- BTS :
  - o Travaux Publics,
  - o Bâtiment,
  - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
  - o Constructions métalliques,
  - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation
  - o Fluides Énergies Domotique
  - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
  - o Étude et Réalisation des Agencements
  - o Aménagement et Finitions
  - o Étude et économie de la Construction

Pour la session 2017, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issus de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses
- logiciels courants de bureautique
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...).
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM.

- banc d’essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- banc d’essai en acoustique ;
- banc d’essai de structures;
- banc d’essai du matériau béton ;
- banc d’essai du matériau bois ;
- banc d’essai du matériau acier ;
- pompe à chaleur ;
- chaudière 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 2017, le jury attire particulièrement l’attention des futurs candidats sur les points suivants :

- le jury rappelle que cette épreuve n’est pas un compte-rendu de laboratoire mais la contextualisation pédagogique d’une problématique d’enseignement donnée, basée sur une manipulation expérimentale et l’exploitation de 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 une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n’utilisent pas pleinement le temps qui leur est accordé. À contrario, d’autres candidats cherchent à meubler ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé ;
- il est déconseillé de tout écrire au tableau. Le candidat doit exploiter au mieux les outils informatiques de présentation fournis. Le contexte n’est pas celui d’une leçon faite devant des élèves ;
- on constate trop souvent un déséquilibre entre la présentation des résultats expérimentaux, parfois trop détaillée, et leur exploitation pédagogique qui reste trop peu développée (pas de support formalisé, idées trop générales, pas d’application concrète,...) ;
- l’exploitation pédagogique est l’objectif principal de cette épreuve. Elle reste trop succincte chez la majorité des candidats. Les candidats doivent s’attacher :
  - à préciser l’insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
  - à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison de CM, TD, TP...) en détaillant notamment l’organisation pratique en présence d’élèves ou d’étudiants ;
  - à situer l’intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
  - à préciser et à justifier les modalités d’évaluation et/ou de remédiation.
- le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l’exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;
- trop de candidats ne peuvent pas exploiter les fonctionnalités de base des logiciels tableurs (maîtrise insuffisante du tracé de courbe notamment)
- trop de candidats ne connaissent pas la structure des référentiels de formation. 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 :
  - trop de candidats déclarent découvrir le domaine proposé lors de cette épreuve (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...) ;
  - trop de candidats ne sont pas capables de proposer une autre organisation pédagogique que le « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants ». Les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC ...) doivent être exploitées au service de

la réussite des élèves ;

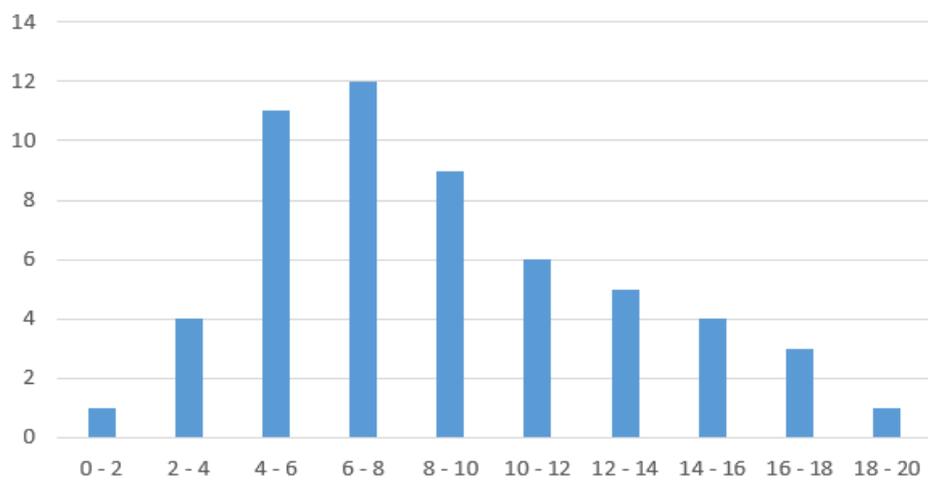
- trop de candidats ne sont pas capables de proposer d'autres modalités d'évaluation que le compte-rendu de TP noté et l'évaluation sur table ;
- trop de candidats ne peuvent pas élaborer de stratégie de différenciation des apprentissages pour s'adapter aux besoins des élèves ;
- trop de candidats ne savent pas élaborer de progressivité dans la construction des compétences

## 6. Résultats

57 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 08,8/20 avec :

- 18,46 comme meilleure note ;
- 01,68 comme note la plus basse.
- 19 notes au-dessus de 10 (18% des candidats)

Répartition des notes obtenues au TP2



# III. Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel

## 1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : août 2014) 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 collège ou en lycée.»

«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

De très bons résultats témoignent de la qualité de la préparation et de la prestation de certains candidats. Les soutenances de dossier remarquées ont été celles qui associaient :

- des liens étroits du candidat avec les intervenants du dossier (maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage ou entreprises ;
- une présentation des problématiques spécifiques des ouvrages proposés ;
- une étude technique et scientifique du niveau de l'agrégation ;
- une stratégie pédagogique pertinente, réaliste et innovante.

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

### Le dossier présenté

Les dossiers doivent être paginés et comporter le nom et le prénom du candidat.

Voici quelques conseils pour la rédaction du dossier écrit :

- le plan du dossier peut avantageusement dégager 3 parties :
- la première partie contextualise et justifie l'intérêt du dossier support choisi ;
- une seconde partie développe l'analyse technique et scientifique. En plus d'une description, des justificatifs sont produits (sur une variante par exemple) et montrent des connaissances calculatoires, réglementaires, techniques, environnementales applicables au dossier. Les hypothèses posées doivent être claires
- une troisième partie explique les potentialités pédagogiques du dossier tant au niveau STI2D que BTS et IUT. Celles-ci doivent pouvoir être pluridisciplinaires. La production de documents élèves est ici très pertinente. 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.

Enfin, l'épreuve sur dossier ne doit pas consister à présenter seulement un système industriel ou constructif. 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... La présentation de systèmes « clés en main » qui ne seraient pas placés au sein d'un projet de construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage ne conviendraient pas à l'intitulé de cette agrégation ingénierie des constructions.

### L'analyse technique et scientifique

Le jury a constaté la présence de dossiers sans apport scientifique. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante. Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser le cadre réglementaire associé.

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.

Le choix des analyses techniques et scientifiques détaillées sera dans la mesure du possible en lien avec les développements pédagogiques.

Le jury souligne néanmoins que certains dossiers étaient de qualité exceptionnelle.

Il convient de ne pas faire qu'une exploitation simpliste des résultats de logiciels de simulations (Couramment observé sur les logiciels de bilans thermiques) sans mettre en évidence la maîtrise par le candidat des notions scientifiques et technologiques utilisées par le logiciel.

### **La stratégie pédagogique**

La commission d'interrogation de cette épreuve sur dossier souhaite rappeler aux candidats que cette épreuve est 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. Les exploitations pédagogiques doivent être détaillées **et concerner plusieurs référentiels**.

Pour la partie pédagogique, **la présentation des séquences pédagogiques** et la proposition d'une séance **doivent** préciser :

- le cadre de la séquence ou de la séance
  - 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

De plus les stratégies pédagogiques développées doivent être innovantes.

Les candidats doivent maîtriser un certain nombre de concepts pédagogiques afin de présenter des séances qui s'appuient sur :

- la motivation des élèves ;
- la pédagogie inversée ;
- 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,
- ...

### **Le numérique**

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 potentiels 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 capable 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.

#### **4. Critères d'évaluation**

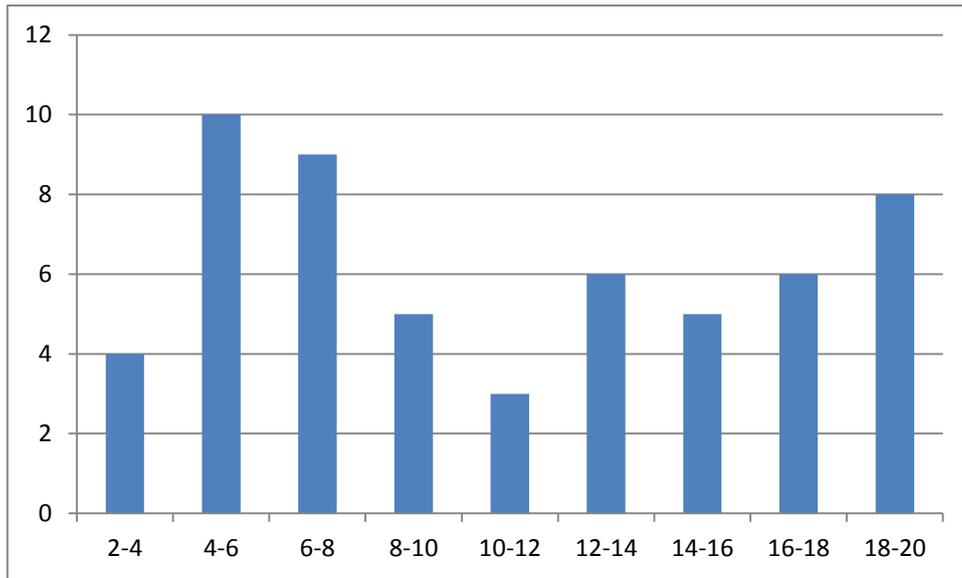
Pour pouvoir délivrer une note à l'issue de l'examen du dossier, de la soutenance et de l'entretien sur cette partie d'épreuve, la commission d'interrogation observe les critères suivants :

- la pertinence du choix de l'ouvrage,
- 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.

#### **5. Résultats**

57 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 10,92/20 et l'écart-type est de 5,6 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 2,3 comme note la plus basse.



## 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 » - Abdennour 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.