



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE

Concours de recrutement du second degré

Rapport de jury

Concours : Agrégation

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

Concours externe

Session 2018

**Rapport du jury présenté par Mme Carcassès Myriam
Professeure des universités**

Sommaire

RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2018	4
AVANT-PROPOS	5
A. EPREUVES D'ADMISSIBILITE	8
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.....	24
<i>II.1 Eléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....</i>	<i>24</i>
<i>II.2 Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i>	<i>43</i>
III. EPREUVE DE CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION	46
<i>III.1 Eléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation.....</i>	<i>46</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>61</i>
B. EPREUVES D'ADMISSION.....	64
I. EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UNE ACTIVITE PRATIQUE RELATIVE A L'APPROCHE GLOBALE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE	64
<i>I.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique : Incubateur d'œufs.....</i>	<i>64</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>68</i>
II. RAPPORT DU JURY L'EPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE RELATIVES A L'APPROCHE SPECIALISEE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE	74
<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>74</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>79</i>
III. RAPPORT DU JURY DE L'EPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL	85
IV. RAPPORT SUR LA TRANSMISSION DES VALEURS ET PRINCIPES DE LA REPUBLIQUE	88

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 2018 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 15 au 23 juin 2018 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 2018

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
267	20	107	47	20

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	12,46
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	4,63
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	14,8
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	8,6

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 Architectures en métal : conception et réalisation,
 - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation,
 - o Fluides Énergies Domotique, options A,B et C
 - 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 pré 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
 - Être conscient de la relativité de ses savoirs
 - Aider les élèves à développer leur esprit critique et à distinguer les savoirs, les opinions et les croyances
 - Aider les élèves à savoir argumenter et respecter le point de vue des autres
 - Se mobiliser et mobiliser les élèves contre les stéréotypes et les discriminations
 - Participer à l'éducation aux usages responsables du numérique
- Compétences relationnelles
 - Adopter une démarche d'écoute active
 - Participer à la conception et à la mise en œuvre de projets collectifs disciplinaires et éducatifs
 - Gérer les conflits
 - Travailler en équipe
 - Installer avec les élèves une relation de confiance et de bienveillance
 - Savoir conduire un entretien, animer une réunion
- Compétences pédagogiques et éducatives
 - Maintenir une veille sur les recherches des différentes formes et pratiques pédagogiques et éducatives
 - Connaître les processus d'apprentissage
 - Proposer des processus d'apprentissage innovants
 - Contribuer à la mise en place de projets interdisciplinaires
- Compétences de communication
 - Intégrer dans son activité l'objectif de maîtrise de la langue orale et écrite
 - Utiliser les technologies du numérique pour échanger et se former
 - Maîtriser au moins une langue vivante au niveau B2
 - Mettre en place du travail collaboratif
- Compétences d'analyse et d'adaptation de son action
 - Exercer son analyse critique, seul ou entre pairs, de ses propres pratiques professionnelles
 - Identifier ses besoins de formation
 - Être capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps. L'objectif du dossier est de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers l'Éducation nationale, afin d'enrichir son enseignement par

des exploitations pertinentes de supports techniques modernes et innovants. Il n'est pas demandé aux candidats de concevoir ou de reconcevoir un système ou un sous-système 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 directeur du jury ; ils ne peuvent donc pas les ignorer.

Cette session 2018 a permis de pourvoir tous les postes et de recruter 20 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

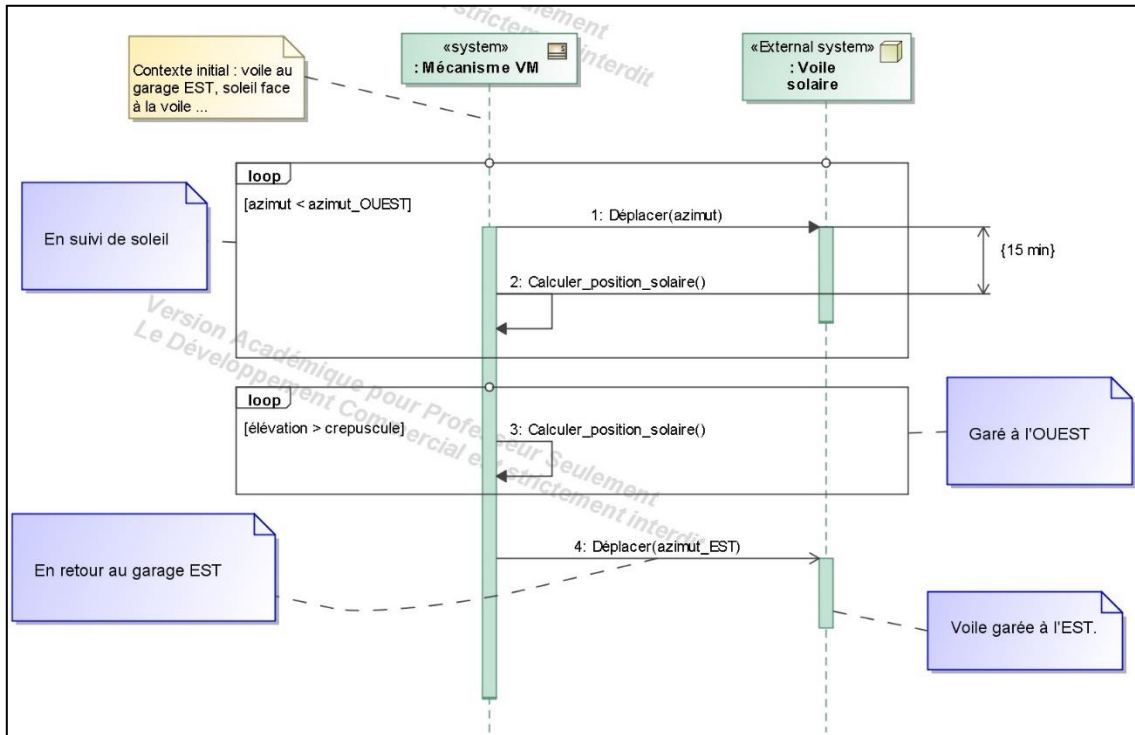
A. Epreuves d'admissibilité

I. Epreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

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

Vérifier que la voile suit le soleil en sécurité :

Question 1 :



Question 2 :

La trajectoire de la voile étant un cercle de 22,75 m de rayon, la vitesse angulaire de la voile correspondant à la phase de vitesse constante est $\Omega_{voile/0} = \frac{0,08 \times 180}{22,75 \times \pi} = 0,2015 \text{ } ^\circ \cdot \text{s}^{-1}$.

Les phases d'accélération et de décélération étant symétriques, on peut obtenir le déplacement angulaire par intégration directe de la vitesse angulaire en phase d'accélération, soit donc:

$$q_{acc} = q_{dec} = \int_0^{t_{acc}} \frac{\Omega_{voile/0}}{t_{acc}} \cdot t \cdot dt = \left[\frac{\Omega_{voile/0}}{2 \cdot t_{acc}} \cdot t^2 \right]_0^{t_{acc}} = \frac{\Omega_{voile/0}}{2} \cdot t_{acc} = \frac{0,2015 \times 5}{2} \approx 0,5 \text{ } ^\circ$$

Le même résultat pourrait être obtenu plus rapidement de manière géométrique, l'intégrale de la vitesse en phase d'accélération correspondant à l'aire du triangle de base t_{acc} et de hauteur $\Omega_{voile/0}$, soit donc $\frac{\Omega_{voile/0} \cdot t_{acc}}{2}$, comme obtenu précédemment.

Question 3 :

Pour une rotation de 360° en une journée, le déplacement angulaire durant 15 minutes vaut

$$\Delta\theta_{sol/cycle} = \frac{360}{24 \times 4} = 3,75 \text{ } ^\circ$$

Ce déplacement angulaire comprenant ceux effectués lors des phases d'accélération et de décélération, on obtient le temps de déplacement à vitesse constante

$$t_{cmoy} = \frac{(\Delta\theta_{sol/cycle} - q_{acc} - q_{dec})}{\Omega_{voile/0}} = \frac{3,75 - 0,5 - 0,5}{0,2015} = 13,65 \text{ s ; soit donc au final :}$$

$$t_{0/moy} = t_{acc} + t_{cmoy} + t_{dec} = 5 + 13,65 + 5 = 23,65 \text{ s .}$$

Question 4 :

L'amplitude de déplacement maximale vaut $\Delta\theta_{\max} = \text{azimut_OUEST} - \text{azimut_EST} = 95^\circ$, soit un déplacement maximal à vitesse constante de $\Delta\theta_{\max} - q_{\text{acc}} - q_{\text{dec}} = 95 - 0,5 - 0,5 = 94^\circ$.

Le temps de déplacement maximal correspondant est :

$$T_{\text{ONgarage}} = t_{\text{acc}} + \frac{\Delta\theta_{\max} - q_{\text{acc}} - q_{\text{dec}}}{\Omega_{\text{voile}/0}} + t_{\text{dec}} = 5 + \frac{94}{0,2015} + 5 \approx 477 \text{ s} = 7 \text{ min et } 57 \text{ s, que l'on pourra}$$

considérer comme proche des 8 min pour toutes analyses ultérieures et synthèses.

Question 5 :

Pour la configuration donnée et le format attendu, les deux premiers octets se déduisent par identification, le troisième octet étant l'intervalle de polling de 64 s, soit 2^6 s :

<p>Indicateur de décalage (LI) : code de 2 bits indiquant un décalage éventuel de plus ou moins une seconde dans la dernière minute du jour courant. Les différentes valeurs possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> 00 pas de décalage 01 la dernière minute dure 61 secondes 10 la dernière minute dure 59 secondes 11 horloge non synchronisée <p>Numéro de version (VN) : entier de 3 bits donnant le numéro de version NTP. = 3</p> <p>Mode : Entier indiquant le mode d'association. Les valeurs possibles sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 non spécifié 1 symétrique actif 2 symétrique passif 3 client 4 serveur 5 broadcast 6 réservé pour les messages de contrôle 7 réservé pour un usage personnel <p>Stratum : Entier de 8 bits indiquant le niveau de stratum de l'horloge locale, dont les valeurs sont définies comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 niveau non spécifié 1 référence primaire (c.a.d, horloge atomique calibrée, horloge radio) 2-25 référence secondaire (via NTP) 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">7</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">LI</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">VN</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">Mode</td> <td colspan="2" style="border: 1px solid black; text-align: center;">Stratum</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td style="text-align: center;">↓</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">011</td> <td style="text-align: center;">011</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">00000000</td> </tr> </table> <p>= (1101 1011 0000 0000)₂</p> <p>= (DB00)₁₆</p> <hr/> <p>Intervalle de requêtes (Poll) : Entier signé 8 bits indiquant l'intervalle de temps minimum entre 2 messages transmis (en secondes) exprimé en puissance de 2. Pour exemple, une valeur de 6 indique un intervalle minimum de $2^6 = 64$ secondes entre deux messages transmis.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">15</td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; text-align: center;">23</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: 1px solid black; text-align: center;">Poll</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">↓</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">(00000110)₂ = (06)₁₆.</td> </tr> </table>	0	1	4	7	15	LI	VN	Mode	Stratum		↓	↓	↓	↓		11	011	011	00000000		15	23	Poll		↓		(00000110) ₂ = (06) ₁₆ .	
0	1	4	7	15																									
LI	VN	Mode	Stratum																										
↓	↓	↓	↓																										
11	011	011	00000000																										
15	23																												
Poll																													
↓																													
(00000110) ₂ = (06) ₁₆ .																													

Soit au final (DB0006)₁₆.

Question 6 :

La lecture des premiers octets d'une trame serveur est obtenue de la même manière que l'écriture d'une trame client, soit pour les deux premiers octets de la trame 93 :

0	1	4	7	15
LI	VN	Mode	Stratum	
↓	↓	↓	↓	
00	011	100	0000 0011	

(00 011 100 0000 0011)₂ = (1C03)₁₆

#00 1C030

Par identification, on a :

- une horloge serveur sans décalage ;
- un protocole version 3 (comme le client, prévisible) ;
- un mode serveur (prévisible aussi) ;
- un niveau de stratum de 3, référence secondaire de niveau 3 (passe donc par une horloge de niveau 2 pour se synchroniser à l'horloge primaire la plus proche).

Remarque : la lecture de cette trame permet de lever toute ambiguïté quant au sens du codage utilisé, les indices des bits utilisés dans le format ne donnant qu'une position dans la trame, et non un rang comme en numération.

A la lecture de toutes les trames reçues, les serveurs sont uniquement de stratum 2 ou 3. La sélection des sources est effectuée en choisissant :

- en termes de précision, celle de plus faible « root dispersion », indiquant l'erreur relative maximale de la source par rapport à une horloge primaire ;
- en termes de temps de réponse, celle de plus faible « root delay », délai de transmission depuis la source (paramètre pouvant bien souvent être prépondérant devant la précision).

Question 7 :

Par identification directe des temps (selon DT4), il vient :

[11:19:31]	093	5896FC33 B5D94C00	#00	1C0306E8 000006DD 00001145 3ED2FB2A
			#16	DC417378 4DB79341 DC417AB1 A56E1000
			#32	DC417ABA F963048 DC417ABA F91AE32

$$T1 = (DC417AB1)_{16}$$

$$T'1 = (DC417ABA)_{16}$$

$$T'2 = (DC417ABA)_{16}$$

Question 8 :

Le temps $T2 = (DC417AB3)_{16}$ est donné, les temps $T1$, $T'1$ et $T'2$ sont obtenus précédemment.

Pour répondre à cette question de la manière la moins calculatoire possible, il est avantageux de

réécrire l'équation permettant d'obtenir l'écart d'horloge $\theta = \frac{T'2 + T'1}{2} - \frac{T2 + T1}{2}$ (voir DT3), et de ne

raisonner que sur l'octet de poids faible, les autres étant invariablement identiques. On obtient ainsi :

$$\theta = \left(\frac{DC417ABA + DC417ABA}{2} - \frac{DC417AB3 + DC417AB1}{2} \right)_{16} = (BA - B2)_{16} = (08)_{16} = 8 \text{ s}$$

L'horloge locale accuse donc un retard de 8 s par rapport à l'horloge de référence.

Question 9 :

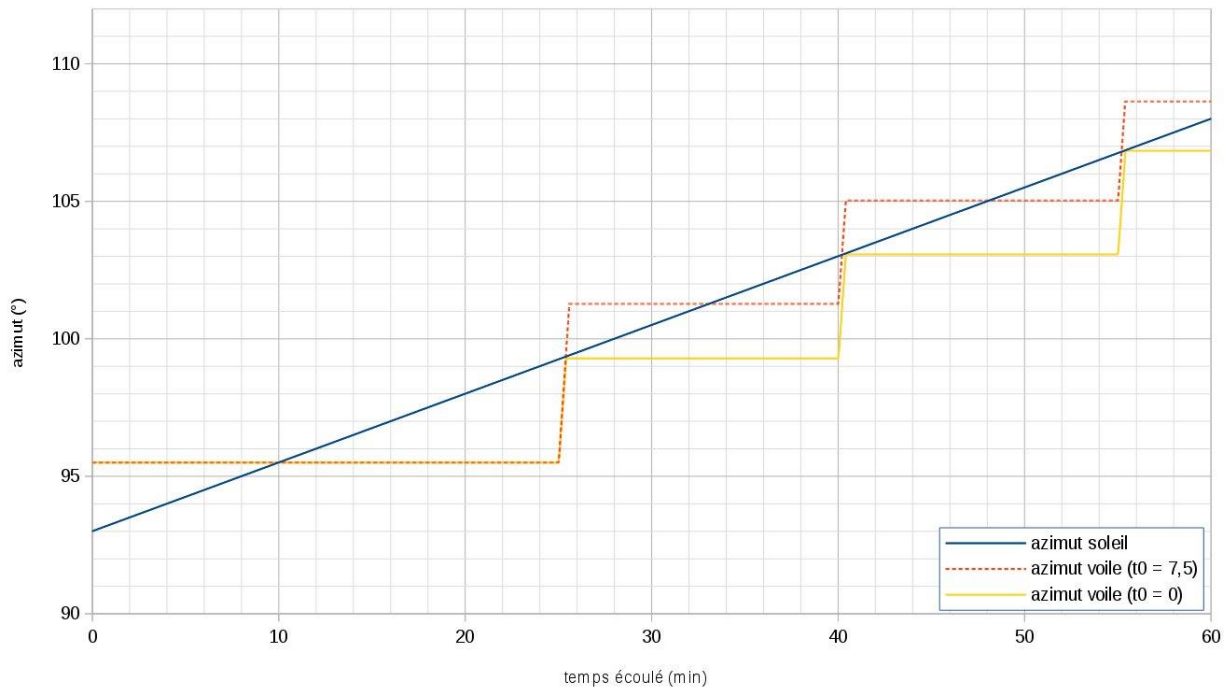
La voile met environ 30 s pour parcourir la même rotation que le soleil en 15 min. Si l'on effectue un déplacement à la position de l'heure courante tous les quarts d'heure, on sera toujours en retard par rapport au soleil. A l'inverse, si on anticipait la position du soleil de 15 min, on serait toujours en avance sur celui-ci (d'un écart de $3,75^\circ$). En négligeant les 30 s de déplacement par rapport à la période de 15 min, et comme le déplacement du soleil est supposé linéaire durant cette période, la valeur permettant de limiter les écarts de poursuite correspond à une demi-période, soit pour

$$t_0 = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ min.}$$

Le premier tracé pour $t_0 = 0$ est obtenu en rattrapant le soleil toutes les 15 min, depuis le temps où les azimuts de la voile et du soleil se croisent.

Le second tracé pour $t_0 = 7,5$ est obtenu en rattrapant le soleil toutes les 15 min à la position qu'il occupera 7,5 min plus tard.

Evolution en azimut depuis le garage EST, le 21 septembre 2016 à 6h00



Question 10 :

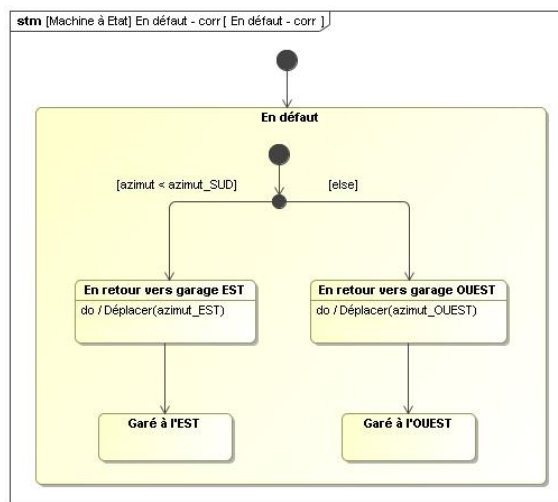
Le crépuscule civil apparaît entre 16h20 et 20h30 selon la période de l'année. Durant cette plage horaire, des concerts sont susceptibles d'avoir lieu dans l'auditorium. Le retour à 2 heures du matin permet de ne pas créer de nuisances sonores lors de concerts.

Question 11 :

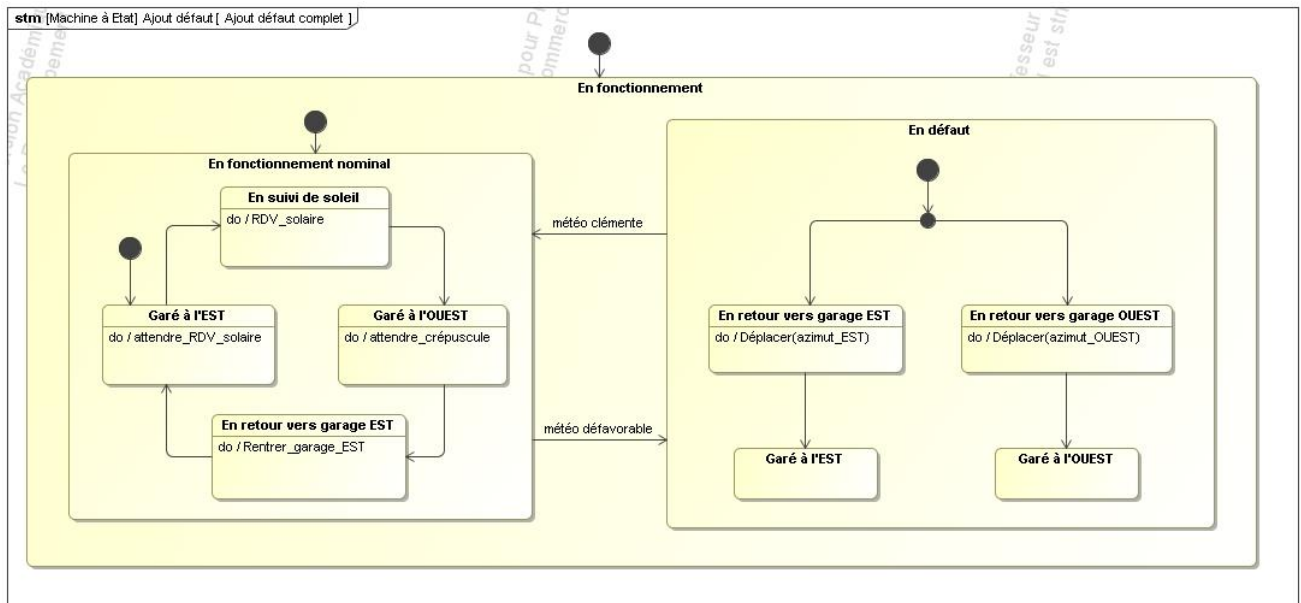
En notant $azimut_SUD$ l'azimut de mi-parcours, tel que :

$$azimut_SUD = \frac{azimut_EST + azimut_OUEST}{2} = \frac{190,5 + 95,5}{2} = 143^\circ, \text{ on obtient comme}$$

diagramme d'états du mode « En défaut » le diagramme ci-dessous, les états « Garé à l'EST » et « Garé à l'OUEST » faisant office d'états finaux de cet état composite, en attente de l'évènement « météo clémente ».



Le diagramme d'états complet est alors le suivant :



Remarque : lors d'un retour au fonctionnement nominal, la voile étant au mieux garée, le comportement ainsi implémenté permettra un rattrapage automatique de la course dans les 15 prochaines minutes, puisqu'au plus il faudra 8 min pour revenir en suivi de soleil, ce qui est inférieur aux 15 minutes du cycle de déplacement.

Question 12 :

On a vu que le déplacement selon un profil trapézoïdal permettait de déplacer la voile en une position de consigne, quel que soit le déplacement à effectuer dans un intervalle de 15 min (de 30 s environ de temps moyen à moins de 8 min pour un retour complet). Cela valide l'EF2 « Déplacer en une position précise ».

De plus, l'utilisation du protocole NTP permettant une synchronisation de l'heure locale à l'heure UTC, on connaît à chaque instant précis la position du soleil. En adaptant la commande du déplacement de la voile aux modalités de déplacement (déplacement de seulement 30 s environ toutes les 15 min) par une avance temporelle de 7,5 min, on suit de manière optimale la trajectoire du soleil puisque cela revient à minimiser l'angle d'incidence de l'intensité lumineuse reçue, et donc de maximiser l'énergie lumineuse reçue (dans l'optique de récupérer celle-ci via les cellules photovoltaïques). Cela valide l'EF3 « Suivre la trajectoire du soleil », et plus particulièrement l'EP1 : « récupérer au maximum le rayonnement solaire direct » (quand bien même il n'a pas été quantifié...).

Enfin, le comportement lié aux mauvaises conditions climatiques permet d'assurer un retour au garage le plus proche, et donc un fonctionnement de la voile en toute sécurité, le rattrapage de course en sortie de mode par défaut ne posant aucun souci. Cela valide l'EF4 « Rentrer au garage le plus proche en cas de mauvaise météo ».

Le système permet donc de manière fonctionnelle de déplacer la voile suivant le soleil en toute sécurité.

Vérifier que le mécanisme entraîne la voile en mouvement :

Question 13 :

La contrainte en traction correspond au rapport de l'effort de traction $N_{Ed,t}$ par la section de la bielle,

$$\text{soit : } \frac{N_{Ed,t}}{\pi \cdot \left[(D/2)^2 - (D/2 - e)^2 \right]} = \frac{300000}{\pi \times (26227 - 24320)} = 50 \text{ Mpa} \leq Re, \text{ donc la bielle est bien}$$

dimensionnée en traction. Vis-à-vis de l'effort en compression, il faudrait vérifier que cela n'engendre pas de flambement.

Question 14 :

L'expression littérale et la valeur numérique de l'allongement δl_{\max} de la bielle haute sous l'effet de l'effort de traction extrême $N_{Ed,t}$ sont :

$$\delta l_{\max} = \frac{N_{Ed,t} \cdot L_b}{S \cdot E} = \frac{N_{Ed,t} \cdot L_b}{\pi \cdot \left[(D/2)^2 - (D/2 - e)^2 \right] \cdot E} = \frac{300000 \times 9500}{\pi \times (26227 - 24320) \times 210000} = 2.2 \text{ mm} < 4 \text{ mm}$$

La bielle est donc correctement dimensionnée vis-à-vis du critère d'allongement maximal.

Question 15 :

D'après le diagramme, certains alliages d'aluminium contenus dans la bulle « alliage d'aluminium » possèdent un Re supérieur à 355 MPa. Ces alliages pourront supporter l'effort $N_{Ed,t}$ vis-à-vis de la contrainte maxi, cependant l'allongement δl_{\max} sera supérieur aux 4 mm autorisés.

Les principaux avantages de ce type d'alliage sont la légèreté, l'absence de corrosion ; les principaux inconvénients sont le coût et l'aptitude au soudage qui peut être plus délicat.

Question 16 :

On isole la couronne 2, soumise :

- à l'action des deux bielles hautes ;
- au couple résistant à vide dont la valeur maxi vaut, d'après l'abaque, $Cr_v = 1,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$;
- au couple résistant dû aux frottements sous charge Cr_c ;
- au couple recherché $C_{red \rightarrow 2}$;
- à l'action du bâtiment sur la couronne, transmise par la liaison pivot ;
- à la pesanteur.

Puisque la direction de l'action des deux bielles hautes passe par le centre de la couronne, $M_T = 0$

D'après la relation donnée, $Cr_c = (3 \cdot (F_{A_bh} + m_{cour} \cdot g) + 11,34 \cdot F_{R_bh}) \cdot D \cdot 10^{-3}$ d'où $Cr_c = 2,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$

La vitesse angulaire maximale de la couronne 2 par rapport à l'auditorium 1 vaut :

$$\omega_{\max} = \frac{V_{\max}}{R} = \frac{0,08}{22,75} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

On en déduit la valeur de l'accélération maximale : $\dot{\omega}_{\max} = \frac{\omega_{\max}}{5} = \frac{3,52 \cdot 10^{-3}}{5} = 7,03 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$

En appliquant le PFD, le théorème du moment au centre de la couronne, en projection sur l'axe de la couronne, il donne : $C_{red \rightarrow 2} = Cr_c + Cr_v + J_{cour} \cdot \dot{\omega}_{\max} = 3,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

On peut noter que le terme lié à l'accélération est négligeable face aux autres termes.

Question 17 :

Puisque la direction de l'action axiale des deux bielles hautes ne passe plus par le centre de la couronne, $M_T = F_{A_bh} \cdot r_{\max} = 170 \cdot 10^3 \times 150 \cdot 10^{-3} = 25,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$

D'après la relation donnée, $Cr_c = \left(\frac{13,11 \cdot M_T}{D} + 3 \cdot (F_{A_bh} + m_{cour} \cdot g) + 11,34 \cdot F_{R_bh} \right) \cdot D \cdot 10^{-3}$ d'où

$$Cr_c = 2,8 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

En appliquant le PFD, le théorème du moment au centre de la couronne, en projection sur l'axe de la couronne et en négligeant le terme lié à l'accélération, donne $C'_{red \rightarrow 2} = Cr_c + Cr_v + F_{R_bh} \cdot r_{\max} = 11,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Question 18 :

$$P_{red \rightarrow 2/1} = C_{red \rightarrow 2} \cdot \omega_{2/1} = 11,1 \cdot 10^3 \times 3,52 \cdot 10^{-3} = 39,2 \text{ W}$$

Question 19 :

D'après les résultats précédents, la puissance mécanique nécessaire au niveau du pignon est de 39,2 W. Avec les deux étages de réduction parfaits, on obtient donc également 39,2 W.

La vitesse angulaire souhaitée est $\omega_{\max} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. On en déduit $N_c = \frac{30 \cdot \omega_{\max}}{\pi} = 0,0336 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

$$\text{d'où } N_m = N_c \cdot i_{\text{réducteur}} \cdot i_{\text{pignon/couronne}} = 0,034 \times 3514 \times \frac{245}{24} = 1204 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$$

Question 20 :

Ces moteurs de 1,1 kW paraissent surdimensionnés par rapport aux calculs effectués dans des conditions de vent défavorables. Leur couple nominal est de 7,4 Nm soit 265 kN.m en sortie de réducteur. Ceci permet d'avoir encore plus de « sécurité » vis à vis du couple à fournir. Leur vitesse nominale est de 1420 tr·min⁻¹ et est donc correcte pour pouvoir faire tourner la couronne à la vitesse souhaitée via un variateur de vitesse.

Question 21 :

On isole l'ensemble (1/2 voile + chariot central + chariot latéral), soumis :

- à la pesanteur ;
- à la résistance au roulement ;
- aux efforts liés aux vents ;
- à l'action motrice.

On applique le PFD et le théorème de la résultante, en projection sur \bar{x} donne :

- En phase d'accélération, en tenant compte du coefficient de 0,7 sur l'effort de vent :

$$F = 0,7 \times 17,1 \cdot 10^3 + \frac{(1191+147+73,6) \cdot 10^3}{9,81} \times 200 \cdot 10^{-3} + \frac{(1191+147+73,6) \cdot 10^3}{9,81} \times \frac{0,08}{5} = 43,1 \text{ kN}$$

Puissance nécessaire : $P_{acc} (mot \rightarrow dv / 0) = F \cdot V = 43,1 \cdot 10^3 \times 0,08 = 3,4 \text{ kW}$

- A vitesse constante :

$$F = 17,1 \cdot 10^3 + \frac{(1191+147+73,6)}{9,81} \times 200 \cdot 10^{-3} = 45,9 \text{ kN}$$

Puissance nécessaire : $P_{vcst} (mot \rightarrow dv / 0) = F \cdot V = 45,9 \cdot 10^3 \times 0,08 = 3,7 \text{ kW}$

Il faut donc un moto-réducteur capable de fournir une puissance de 3,7 kW

Question 22 :

La puissance obtenue précédemment est de 3,7 kW.

La puissance utile du moteur doit donc être $P_u = 3,7 \text{ kW}$ puisque les réducteurs sont supposés parfaits.

La vitesse de rotation des galets est de $0,31 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le couple nécessaire est de $\frac{3,7}{0,31} = 11816 \text{ N}\cdot\text{m}$ et se répartit sur les deux galets, soit 5908 N.m, ce qui reste inférieur aux 6200 N.m. Les accouplements sont donc bien dimensionnés.

Question 23 :

Le type de service est S5 car le fonctionnement est intermittent avec un démarrage et un freinage électrique via un variateur. La puissance utile P_u est, d'après la question précédente, de 3,7 kW.

$$n = 4 + 3 \times 4 + 0,5 \times 0 = 16 \quad F_{dm} = \frac{5 + 15 + 5}{5 + 15 + 5 + 865} = \frac{25}{900} = 2,78 \%$$

On obtient donc une puissance apparente :

$$P_a = \sqrt{\frac{4 \times 16 \times 5 \times (3 \times 4)^2 + (3600 - 4 \times 16 \times 5) \times 3,7^2 \times 0,0278}{3600}} = 3,63 \text{ kW}$$

Avec les moments d'arrêt assez longs, le moteur ne surchauffe absolument pas et on obtient une puissance équivalente en S1 moindre que le calcul initial.

D'autre part, si le moteur fonctionne de manière continue (urgence ou retour au garage le soir), on est alors en service S1 et la puissance est de 3,7 kW.

Les moteurs d'une puissance de 4 kW sont donc bien dimensionnés.

Question 24 :

On obtient les résultats suivants :

$$P_{R_2/g} = \frac{R_2}{g} \cdot I_{1T}^2 \quad \text{avec} \quad I_{1T} = \frac{V_1}{R_2/g + j \cdot X_2} \quad \text{d'où :} \quad C_u = \frac{3 \cdot P_{R_2/g}}{\Omega_s} = \frac{3 \cdot R_2}{g \cdot \Omega_s} \cdot \left(\frac{V_1}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + (X_2)^2}} \right)^2$$

et donc l'expression recherchée : $C_u = \frac{3 \cdot V_1^2}{\Omega_s} \cdot \frac{R_2/g}{(R_2/g)^2 + (X_2)^2}$

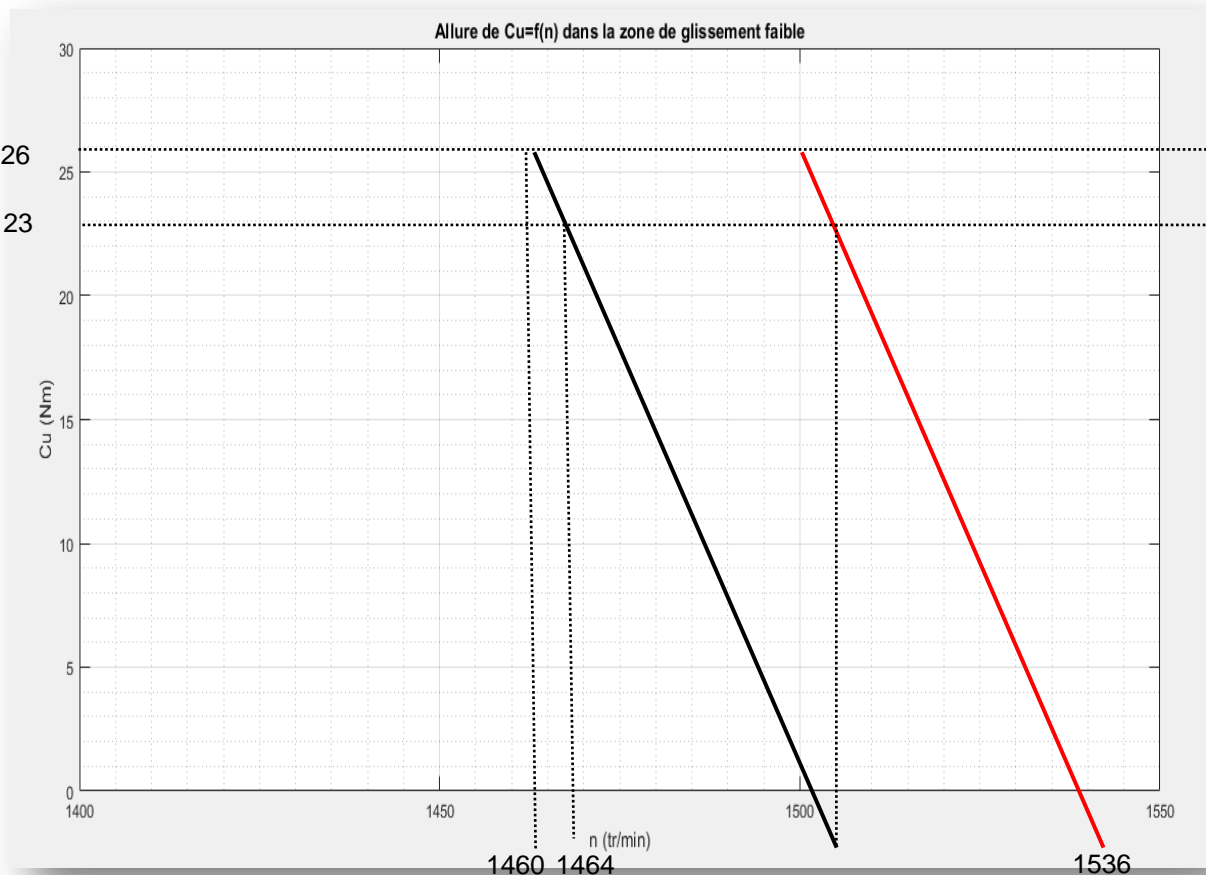
Question 25 :

si g est faible alors $\frac{R_2}{g} \gg X_2$ et donc $C_u \approx \frac{3 \cdot V_1^2}{\Omega_s} \cdot \frac{g}{R_2}$ avec $g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$

donc $C_u \approx \frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s} \cdot \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = \left(\frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s}\right) - \left(\frac{3 \times V_1^2}{R_2 \times \Omega_s^2}\right) \times \Omega$, ce qui est bien une équation de droite.

Question 26 :

On place le point de synchronisme (0 N.m et 1500 tr·min⁻¹) et le point nominal d'après les caractéristiques du moteur (Pu = 4 kW, N = 1460 tr·min⁻¹, Cu = 26 N.m). On obtient $C_u = f(\Omega) = 975 - 0,65 \cdot N$.



Question 27 :

Pour un couple de 23 N·m, on obtient $1464 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question 28 :

La vitesse souhaitée est de $0,08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et le diamètre du galet est de 520,5 mm.

On en déduit $N_{\text{galet}} = \frac{30 \cdot V}{\pi \cdot R} = 2,93 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ d'où $N_m = N_c \cdot i_{\text{reducteur}} = 2,93 \times 511 = 1500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

et $\Omega = 157 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

On veut donc un point de fonctionnement avec 23 N·m pour $1500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$. En traçant une parallèle passant par ce point, on en déduit $N_s = 1536 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et donc $f = 51,2 \text{ Hz}$.

Question 29 :

Le premier modèle de poutre bi-encastree signifie qu'aucun déplacement n'est possible entre le point A2 et le point B2. Cependant, sur le système réel, le point A2 est encastree au chariot et le point B2 est encastree sur l'ossature de la demi-voile. Des déplacements sont donc en fait possibles entre ces deux points.

Le second modèle considère des déplacements possibles entre le point A2 et le point B2, ce qui est plus proche du comportement réel.

Question 30 :

D'après la valeur des efforts, le bras est sollicité en compression (1300 kN), cisaillement (34 kN et 12 kN) et flexion (35 et 100 kN.m). Le cisaillement est négligeable devant la compression.

Question 31 :

Les points de la ligne moyenne A2 ($x = 0$) et B2 ($x = 5,25 \text{ m}$) cumulent toutes les sollicitations extrêmes et sont les plus sollicités. Dans la section où se situe le point A2 ($x=0$), la contrainte est maximale au point de coordonnées $x = 0$, $y=b/2$, $z=h/2$ et l'expression littérale de la contrainte normale maximale σ_{max} prend en ce point la forme :

$$\sigma_{\text{max}} = \left| \frac{N(x=0)}{A} + \frac{M_y(x=0) \cdot \frac{h}{2}}{I_{Gy}} + \frac{M_z(x=0) \cdot \frac{b}{2}}{I_{Gz}} \right|$$

Question 32 :

La contrainte normale maximale au point le plus critique de la section est due à la somme des contraintes en compression générées par les trois sollicitations suivantes:

$$\sigma_{N_pc} = \frac{-13 \cdot 10^5}{27 \cdot 10^3} = -48,1 \text{ MPa}; \quad \sigma_{My_pc} = \frac{-28 \cdot 10^6 \times 225}{9 \cdot 10^8} = -7 \text{ MPa};$$

$$\sigma_{Mz_pc} = \frac{-785 \cdot 10^5 \times 245}{10^9} = -19,3 \text{ MPa}. \text{ Par conséquent la contrainte maximale au point le plus}$$

critique de la section peut s'exprimer sous la forme $\sigma_{\text{max}} = |\sigma_{N_pc} + \sigma_{My_pc} + \sigma_{Mz_pc}| = 74,4 < R_e$.

Le bras 2 est donc correctement dimensionné et comme il correspond au bras le plus sollicité de la structure, le quadripode est donc également correctement dimensionné vis-à-vis de la limite élastique.

Question 33 :

L'exigence EF5, « Entraîner la voile solaire en mouvement » se décline en quatre points avec leurs critères qui ont permis de vérifier l'EF5 :

- lier chaque demi voile à la couronne d'orientation : limite élastique et allongement maxi non dépassés (module d'Young E) pour des conditions météorologiques défavorables (système arrêté) ;
- entraîner en rotation la couronne d'orientation : couple transmissible et puissance disponible ;
- entraîner chaque demi voile en mouvement : puissance moteur et détermination de la fréquence de commande nécessaire pour un déplacement de la voile à la vitesse souhaitée ;
- lier chaque demi voile à son chariot motorisé : contrainte inférieure à la limite élastique.

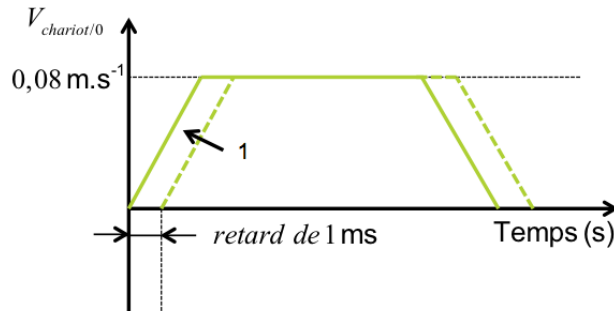
Vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé.

Question 34 :

Ce capteur détecte une nouvelle position tous les 0,8 mm pour une précision de $\pm 0,4$ mm. Si aucun jeu n'est envisagé dans la barre de remorquage, elle sera sollicitée en permanence et l'alarme se déclenchera de manière intempestive. Un jeu dans la barre est donc nécessaire. La règle codeuse peut générer un écart de $\Delta x_1 = 0,8$ mm bien inférieur au jeu de 15 mm. Ce jeu de 15 mm est suffisant vis-à-vis de la règle.

Question 35 :

En raisonnant graphiquement, la valeur maximale du décalage en position due au décalage temporel des consignes de vitesse, correspond à l'aire du parallélogramme repéré 1 ci-dessous. Le décalage de synchronisation temporelle peut ainsi générer un écart max de $\Delta x_2 = 0,08$ mm.



Cet écart est bien inférieur au jeu de 15 mm donc la barre ne sera pas sollicitée intempestivement à cause d'un décalage temporel de réception des consignes par les chariots.

Question 36 :

La barre de remorquage n'est pas prise en compte, les deux chariots sont indépendants. Chaque chariot est soumis à une consigne de vitesse identique et on visualise :

- la vitesse de chaque chariot ;
- la position de chaque chariot en m ;
- l'écart de position entre les deux chariots en mm.

Le tracé de l'écart est obtenu en soustrayant les deux positions en [m]. Le gain de 1000 permet d'obtenir un tracé en [mm].

Ce modèle ne prend pas en compte la barre de traction, il n'est donc pas représentatif du système réel.

Question 37 :

Les caractéristiques de la barre de remorquage qu'il faut prendre en compte pour déterminer la valeur numérique de la raideur du ressort k qui la modélise sont les grandeurs définies par la relation

suivante : $F = k \cdot (L - L_0) = E \cdot S \cdot \frac{(L - L_0)}{L_0}$, à savoir : la section S de la barre, sa longueur initiale L_0 et son module d'élasticité longitudinal E .

Question 38 :

L'effort dans la barre de traction est nul car on observe, sur la simulation, un écart de 0,08 mm correspondant au décalage temporel. La valeur de cet écart n'engendre pas de sollicitation dans la barre de remorquage grâce à la présence du jeu de 15 mm.

Question 39 :

Dans cette simulation, le chariot droit subit une action de -17100 N due au vent, et cela 10 secondes après le début du déplacement. Puisque les chariots sont pilotés en vitesse, cette action mécanique n'a aucun effet sur la barre de remorquage et l'alarme ne sera pas déclenchée.

Question 40 :

Cette valeur de jeu de 15 mm semble largement suffisante pour les phénomènes étudiés puisque la chaîne d'acquisition et le décalage temporel ne pourraient générer un écart de position que de 0,2 mm.

D'autres phénomènes, non encore évoqués, pourraient générer des écarts de position entre les deux chariots, à savoir : la précision de l'asservissement de position ou l'effet de la conversion analogique numérique.

Question 41 :

- dans l'intervalle [0 ; 5] sec : I est constant (en valeur efficace), il doit vaincre les frottements et les effets d'inertie (phase à accélération constante) ;
- dans l'intervalle [5 ; 10] sec : I est constant et plus petit qu'avant pour vaincre les frottements (phase à accélération nulle) ;
- dans l'intervalle [10 ; 18] sec : I est constant et plus grand que précédemment pour vaincre les frottements et l'action du vent (phase à accélération nulle) ;
- dans l'intervalle [18 ; 23] sec : I est constant et plus faible puisqu'on est en phase de décélération ;
- après 23 sec : le chariot est à l'arrêt, le courant consommé pour le déplacer est nul.

Question 42 :

On a en sortie du capteur : $I = 4 + \frac{16}{40} \cdot (F + 20)$, I exprimé en mA et F en kN ; soit donc $I_{\max} = 15,6$ mA (pour $F = 9$ kN) et $I_{\min} = 8,4$ mA (pour $F = -9$ kN) pour les seuils de courant.

La tension U en sortie du convertisseur U/I vaut : $U = \frac{5}{16} \cdot (I - 4)$, U en V et I en mA ; soit donc $U_{\max} = 3,625$ V et $U_{\min} = 1,375$ V pour les seuils de tension.

Le quantum de conversion du CAN vaut $q = \frac{5}{2^{12} - 1} = \frac{5}{4095} \approx 1,22$ mV. On obtient ainsi les seuils en traction $N_{\min} = 1126$ et en compression $N_{\max} = 2969$; soit en binaire $N_{\max} = (1011\ 1001\ 1001)_2$ et $N_{\min} = (0100\ 0110\ 0110)_2$, les résultats pouvant varier de 1 à 2 unités selon l'emploi de la valeur arrondie ou exacte pour q.

Question 43 :

En mode normal, les 15mm de jeu suffisent à compenser les écarts inhérents aux constituants du système (résolution du capteur de position, synchronisation temporelle). Lors de l'apparition d'une perturbation, la loi de commande est aussi respectée grâce à une adaptation de la chaîne d'énergie.

Pour finir, un réglage adapté des seuils de déclenchement de l'alarme permet d'assurer un fonctionnement correct.

Par ailleurs l'alarme pourrait être déclenchée dans les cas suivants :

- obstacle sur rail ;
- chariot coincé ;
- moteur d'un chariot central défaillant ;
- mode remorquage.

Analyser le bilan énergétique global

Question 44 :

La distance journalière parcourue par la voile équivaut à un aller-retour soit $D = 2 \times \frac{\pi \times 22,75 \times 95}{180} = 75,4$ m. En considérant ce trajet effectué à vitesse constante, le temps

d'alimentation des moteurs vaut $t_a = \frac{D}{V} = \frac{75,4}{0,08} = 943$ s. La consommation énergétique sur une journée

vaut alors $W_{\text{jour}} = \frac{943}{3600} \times 10 + (24 \times 0,5) = 14,6$ kW · h ; soit sur une année :

$$W_{\text{année}} = 365 \cdot W_{\text{jour}} = 365 \times 14,6 = 5329 \text{ kW} \cdot \text{h} = 5,3 \text{ MW} \cdot \text{h}.$$

Question 45 :

Energie récupérée sur une année par la voile mobile $W_{VM} = 1200 \times 0,16 = 192 \text{ MWh}$.

Energie récupérée sur une année par une voile fixe $W_{VF} = \frac{190}{1,15} = 167 \text{ MWh}$.

Le gain énergétique apporté par la solution de voile mobile vis-à-vis d'une solution de voile fixe est donc de $192 - 167 = 25 \text{ MWh}$, auquel il faut soustraire l'énergie consommée par tous les éléments permettant la mobilité, soit un surplus global effectif de $25 - 5,3 = 19,7 \text{ MWh}$.

Question 46 :

L'énergie récupérée est donc de $192 - 5,3 = 186,7 \text{ MWh}$ avec la solution mobile contre 167 MWh pour la solution fixe, soit un gain proche de 12%.

Dans un premier temps, on constate donc que la solution mobile engendre un gain énergétique vis-à-vis de l'énergie récupérée, malgré la consommation de tous les éléments participant à la mobilité de la voile : c'est donc une solution viable.

Néanmoins, cette faible différence serait à comparer avec l'énergie nécessaire à la fabrication, au transport et à l'implantation sur le site de tous ces éléments ainsi qu'à toute l'énergie grise mise en œuvre.

De plus, cette énergie récupérée est réinjectée dans le réseau et facturée à EDF, solution la plus simple de mise en œuvre. Une amélioration potentielle serait d'utiliser localement cette énergie produite pour l'alimentation, l'éclairage, le chauffage de certains locaux de la « Seine musicale » ; mais cela nécessiterait un stockage et une gestion de l'énergie, et donc une complexité accrue du système.

En conclusion, le choix de l'architecte est avant tout un choix esthétique et montre un exemple de récupération d'énergie renouvelable.

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 proposé pour cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externes/23/7/s2018_agreg_externes_sii_1_917237.pdf

Il s'appuie sur le projet de construction du bâtiment de la Seine Musicale, sur l'île Séguin en région parisienne et plus particulièrement sur la conception du mécanisme de mise en mouvement de la structure mobile équipée de panneaux photovoltaïques, autour de l'auditorium.

Avant la phase de construction, une étude d'avant-projet est confiée à un bureau d'études ingénierie qui réalise les choix technologiques et les pré-dimensionnements des différents composants du système étudié. L'objectif de l'étude consiste à vérifier la conformité du mécanisme de mise en mouvement de la Voile Mobile, appelé « mécanisme VM » vis-à-vis des exigences imposées par la mission principale « déplacer la voile suivant le soleil ». Les exigences à vérifier rythment les différentes parties qui se concluent par une question de synthèse. Le questionnement permet de :

- vérifier que la voile suit le soleil en sécurité : déplacement en une position précise ; suivi du soleil, retour au garage en cas de mauvaise météo ;
- vérifier que le mécanisme VM entraîne la voile en mouvement : liaison demi voile/couronne, entraînement en rotation de la couronne d'orientation, entraînement de chaque demi voile en mouvement à la vitesse souhaitée, liaison demi voile à son chariot motorisé ;
- vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé : effet des défauts dus à la chaîne d'acquisition, dus à la synchronisation temporelle, dus à la présence d'une perturbation extérieure, validation du choix du capteur d'effort ;
- analyser le bilan énergétique global de la solution et conclure.

2. Analyse globale des résultats

Réussir cette épreuve demande :

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

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.

Globalement, les candidats ont eu des difficultés à faire preuve de transversalité et se sont trop souvent concentrés sur les parties abordant leur spécialité en restant dans leur « zone de confort ». Pourtant, la difficulté des questions dans chaque partie était 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

1 – Présentation :

La lecture et l'assimilation du sujet est indispensable pour avoir le recul nécessaire face aux problématiques posées. La maîtrise des outils de l'ingénierie système permet au candidat de s'approprier rapidement le système.

2 – Vérifier que la voile suit le soleil en sécurité :

Q1 à Q4 : Déplacer précisément la voile :

Tous les candidats ont abordé cette partie. Des difficultés ont été observées dans le calcul des grandeurs cinématiques et temporelles qui demandait un minimum de rigueur de la part d'un candidat qui présente le concours de l'agrégation.

Q5 à Q10 : Suivre précisément le soleil :

Ces questions nécessitaient la compréhension et l'exploitation d'informations issues de documents techniques. Le jury se réjouit qu'une large majorité des candidats ait abordé les questions nécessitant des compétences en ingénierie informatique et encourage les futurs candidats à améliorer sa maîtrise de ce champ de compétences, aujourd'hui indispensable à un enseignant de SII, quelle que soit l'option.

Q11 : Prendre en compte des conditions météorologiques non clémentes :

Cette question nécessitait de compléter un diagramme d'état, outil commun des programmes de STI2D. Beaucoup trop de candidats ne maîtrisent ni les notions de base associées à ce type de diagramme, ni la syntaxe en vigueur.

Q12 : Synthèse.

Cette question nécessitait de conclure sur les sous-exigences qui ont été vérifiées durant la partie 2. Il était attendu de la part du candidat une prise de recul face à la problématique énoncée en début de partie.

3 – Vérifier que le mécanisme VM entraîne la voile en mouvement

Q13 à Q15 : Vérifier la liaison demi voile à la couronne d'orientation.

Ces questions nécessitaient des compétences en dimensionnement de structure en traction pour vérifier les choix retenus pour la bielle et envisager un matériau alternatif. Les candidats ont majoritairement bien traités ces questions malgré de nombreuses erreurs dans le calcul de la surface de la section de la bielle. Pour parer ces erreurs, il est indispensable que le candidat transcrive d'une part, l'expression littérale et d'autre part, l'application numérique détaillée avant de donner la valeur finale qui n'est juste que sur 15% des copies.

Q16 à Q20 : Vérifier l'entraînement en rotation de la couronne d'orientation.

Ces questions nécessitaient d'utiliser le Principe Fondamental de la Dynamique en rotation afin de déterminer la puissance nécessaire et de valider le moteur proposé. Les résultats à ces questions sont trop peu nombreux. Le jury déplore le manque de rigueur des candidats qui se lancent dans des calculs de grandeurs sans énoncer auparavant le théorème envisagé sous sa forme littérale. Par ailleurs, le terme lié à l'accélération angulaire n'est que très rarement évoqué, les calculs permettant de déterminer les différents couples sont rarement menés à bien, à l'exception de C_{r_v} correctement relevé sur l'abaque.

Q21 à Q28 : Vérifier le dimensionnement du moteur entraînant chaque demi voile en mouvement.

Ces questions nécessitaient une lecture attentive des documents techniques. Le type de service est rarement bien identifié, et les calculs sur la puissance apparente rarement menés à bien. Bien que la démarche de résolution pour obtenir l'expression littérale C_u (Q24) soit généralement correcte, le jury attend des candidats qu'ils soient capables d'utiliser correctement et indifféremment les notations (temporelle, complexe,...), d'autant qu'un rappel sur les notations était donné dans le sujet. Les simplifications proposées en zone de glissement (Q25) n'ont pas toujours été celles attendues, parfois même peu pertinentes ; et souvent mal justifiées. La partie concernant le synchronisme de la machine asynchrone (Q26 à Q28) a été rarement traitée.

Q29 à Q32 : Vérifier la liaison d'une demi voile à son chariot central.

Ces questions nécessitaient des compétences en dimensionnement de structure soumises à des sollicitations multiples : analyse d'une modélisation, identification des sollicitations négligeables et du point de sollicitation maximale, validation du dimensionnement de la structure étudiée. Les candidats ont majoritairement bien traité ces questions malgré de nombreuses erreurs dans l'application numérique de la contrainte maximale. Pour parer ces erreurs, il ne semble pas inutile de rappeler qu'il est indispensable de transcrire l'expression littérale et l'application numérique détaillée avant d'en donner la valeur numérique finale.

Q33 : Synthèse :

Le jury attendait de la part des candidats qu'ils soient capables d'associer des critères de dimensionnement aux sous-exigences de l'exigence principale EF5 « Entraîner la voile solaire en mouvement ». Pour répondre correctement à ce type de question de synthèse, il est indispensable de maîtriser un minimum le vocabulaire et les notions de l'analyse fonctionnelle des systèmes.

4 – Vérifier que le déplacement de chaque chariot central est synchronisé.

Q34 : Vérifier l'effet des défauts dus à la chaîne d'acquisition.

Cette question nécessitait de comparer l'erreur due à la chaîne d'acquisition au jeu dans la barre de remorquage. Cette question a dans l'ensemble été bien traitée.

Q35 à Q38 : Vérifier l'effet des défauts dus à la synchronisation temporelle.

Ces questions nécessitaient des compétences d'analyse de résultats de simulation numérique couramment utilisées dans les filières S et ST12D et dont un professeur agrégé de SII ne peut plus aujourd'hui ignorer l'existence. Les modélisations proposées s'affinaient au cours du questionnement afin de s'approcher de plus en plus du système réel. Les réponses à ces questions sont souvent correctes quand elles ont été traitées.

Q39 à Q41 : Vérifier l'effet des défauts dus à la présence d'une perturbation extérieure.

Les réponses à ces questions sont souvent correctes quand elles ont été traitées, les candidats ayant bien expliqué l'allure du courant efficace I en fonction des accélérations, décélérations et perturbations extérieures.

Q42 : Valider le choix du capteur d'effort.

Cette question nécessitait de connaître le rôle d'un convertisseur analogique/numérique afin de déterminer les seuils numériques correspondants aux efforts dans la barre susceptibles de déclencher l'alarme. Hormis les conversions forces/courant puis courant/tension qui ont amené leur lot d'erreurs de calcul (se résumant à des produits en croix) ; les principes d'un CAN et ses notions afférentes (résolution, pleine échelle, quantum de conversion, ...) ne semblent pas acquis de tous les candidats, ce que déplore le jury.

Q43 : Synthèse.

Le jury attendait du candidat une prise de recul sur le fonctionnement de l'alarme et une réflexion sur des raisons pouvant expliquer son déclenchement. Rares sont les candidats à avoir synthétisé avec pertinence les éléments de l'étude précédente.

5-Analyser le bilan énergétique global

Q44 : Estimer la consommation énergétique de l'ensemble assurant la mise en mouvement des voiles.

Cette question nécessitait de bien différencier énergie et puissance, ce qui n'est malheureusement pas le cas de tous les candidats. Le jury attend de la part d'un candidat à l'agrégation que ces notions soient parfaitement assimilées. Cette question, bien que souvent traitée, a donné lieu à des résultats erronés.

Q45 à Q46 : Estimer l'énergie fournie par les panneaux solaires de la voile.

Le jury attendait dans cette partie une analyse de la solution voile mobile par rapport à l'installation d'une voile fixe de panneaux photovoltaïques et une prise de recul des candidats d'un point de vue général sur le système étudié dans ce sujet.

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).

Le jury encourage fortement les candidats à aborder toutes les parties du sujet. Les résultats démontrent que les candidats qui n'évoluent pas vers une approche transversale ne réussissent pas cette épreuve car forcément la note finale est 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, choix technologiques doivent être toujours menés en gardant à l'esprit les enjeux du contexte industriel spécifique à l'étude.

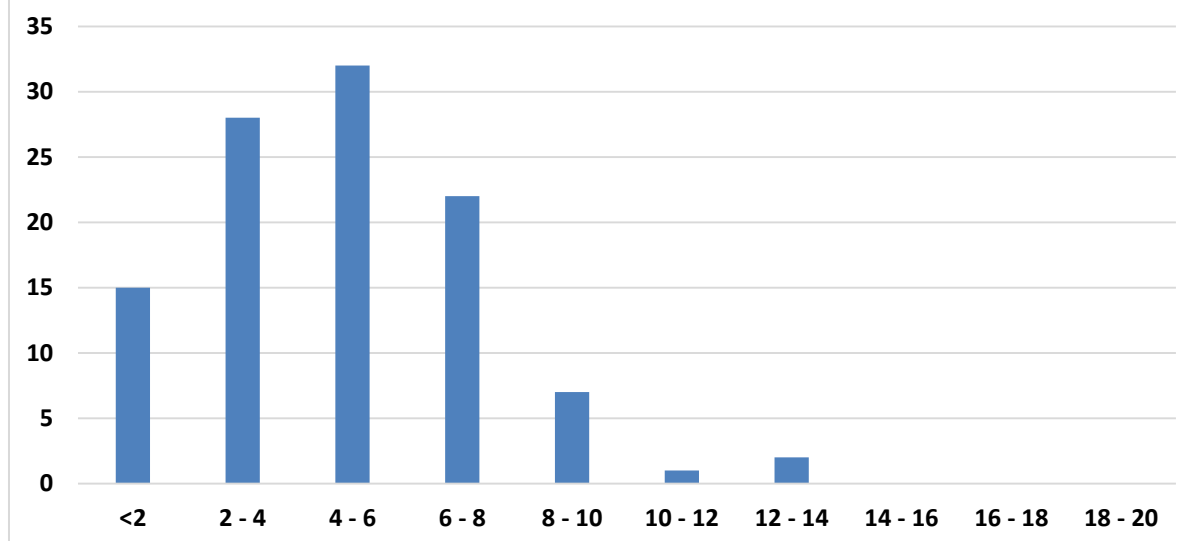
Le jury a noté un laisser aller dans la présentation des copies et la rédaction. La présentation doit être irréprochable, les notations imposées dans le sujet doivent être scrupuleusement respectées et il n'est pas inutile de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'état qu'il maîtrise convenablement 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 compréhensible et lisible. Le jury ne peut valoriser une justification qui se limite à une suite de mots clés juxtaposés. Le jury apprécie lorsque les relations littérales sont données avant le passage à l'application numérique et lorsque des analyses pertinentes des résultats sont faites, plus particulièrement lorsque les valeurs numériques données sont physiquement aberrantes.

Le jury invite les candidats à préparer l'épreuve en s'aidant des annales de l'épreuve transversale des dernières années. Maîtriser les connaissances nécessaires de ces sujets et comprendre comment aborder l'épreuve est un bon moyen de maximiser sa réussite.

5. Résultats

107 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 4,86/20, avec un écart-type de 2,53, la meilleure note est 13,33, la plus faible est 0,16.

Répartition notes épreuve admission 1



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

PARTIE 1 – Etude mécanique d'une poutre sous-tendue de la verrière ouest

Question 1 :

Degré d'hyperstaticité externe de la structure :

$$h_e = (\text{Nombre d'inconnues extérieures}) - (\text{Nombre d'équations d'équilibre})$$

Nombre d'inconnues extérieures = 2 inconnues (X_A ; Y_A) au pivot A + 1 inconnue (Y_B) à l'appui simple B

Alors $h_e = (2+1) - 3 = 0$ Le système est isostatique extérieurement.

Efforts de liaisons aux appuis A et B :

$$\text{Principe Fondamental de la Statique : } \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_z^A = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A + Y_B - 2F = 0 \\ Y_B \cdot L - F \cdot \frac{L}{3} - 2F \cdot \frac{L}{3} = 0 \end{cases} \quad \text{alors } X_A = 0 \text{ et } Y_A = Y_B$$

= F

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_z^A = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_A = 0 \\ Y_A + Y_B - 2F = 0 \\ Y_B \cdot L - F \cdot \frac{L}{3} - 2F \cdot \frac{L}{3} = 0 \end{cases} \quad \text{alors } X_A = 0 \text{ et } Y_A = Y_B = F$$

Efforts internes à la barre :

Ecriture de l'équilibre d'un tronçon de la barre :

$$\text{Effort normal : } N(x) + \sum F_x = 0 \Rightarrow N(x) = 0$$

$$\text{Effort tranchant : } V_y(x) + \sum F_y = 0$$

$$x \in [0; L/3] \Rightarrow V_y(x) = -F$$

$$x \in [L/3; 2L/3] \Rightarrow V_y(x) = -F + F = 0$$

$$x \in [2L/3; L] \Rightarrow V_y(x) = F$$

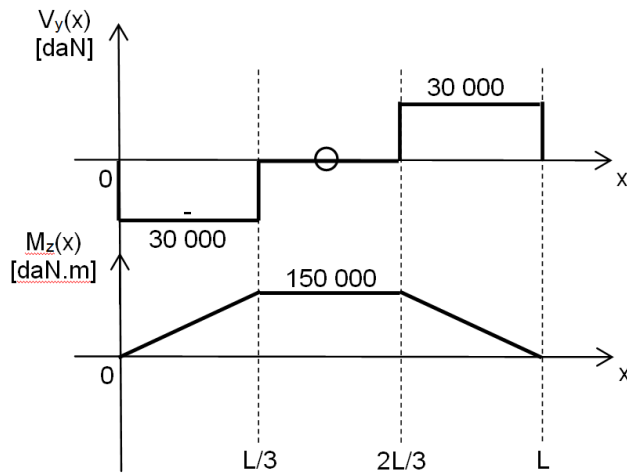
$$\text{Moment fléchissant : } M_z(x) + \sum M_z^G = 0$$

$$x \in [0; L/3] \Rightarrow M_z(x) = -(-F \cdot x) = Fx$$

$$x \in [L/3; 2L/3] \Rightarrow M_z(x) = -(-F \cdot x + F \cdot (x - \frac{L}{3})) = \frac{FL}{3}$$

$$x \in [2L/3; L] \Rightarrow M_z(x) = F \cdot L - F \cdot (x - \frac{2L}{3}) = F \cdot L - F \cdot x$$

Tracé et valeurs des efforts internes :



Question 2 :

Dans une section droite (S), le système des forces de cohésion est égal au système des forces agissant à gauche de la section droite.

Cet équilibre permet d'écrire :

$$\begin{cases} N = \iint_S \sigma_x \cdot dS \\ M_z = - \iint_S \sigma_x \cdot y \cdot dS \\ M_y = \iint_S \sigma_x \cdot z \cdot dS \end{cases}$$

D'après le principe de Navier-Bernouilli, les variations de longueur sont des fonctions linéaires des coordonnées y et z des fibres dans la section droite.

Les déformations prennent la forme : $\epsilon_x = a + b \cdot y + c \cdot z$

La loi de Hooke permet d'écrire : $\sigma_x = E \cdot \epsilon_x = E \cdot (a + b \cdot y + c \cdot z) = A + B \cdot y + C \cdot z$ d'où :

$$\begin{cases} N = \iint_S (A + B \cdot y + C \cdot z) \cdot dS \\ M_z = - \iint_S (A + B \cdot y + C \cdot z) \cdot y \cdot dS \\ M_y = \iint_S (A + B \cdot y + C \cdot z) \cdot z \cdot dS \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N = A \iint_S dS + B \iint_S y \cdot dS + C \iint_S z \cdot dS \\ M_z = -A \iint_S y \cdot dS - B \iint_S y^2 \cdot dS - C \iint_S y \cdot z \cdot dS \\ M_y = A \iint_S z \cdot dS + B \iint_S y \cdot z \cdot dS + C \iint_S z^2 \cdot dS \end{cases}$$

Par définition du moment statique au centre de gravité de la section :

$$\iint_S y \cdot dS = \iint_S z \cdot dS = \iint_S y \cdot z \cdot dS = 0 \quad \text{d'où :} \begin{cases} N = A \iint_S dS \\ M_z = -B \iint_S y^2 \cdot dS \\ M_y = C \iint_S z^2 \cdot dS \end{cases}$$

En considérant la définition des moments d'inertie :

$$\text{Moment d'inertie par rapport à } Gy : I_y = \iint_S z^2 \cdot dS$$

$$\text{Moment d'inertie par rapport à } Gz : I_z = \iint_S y^2 \cdot dS$$

$$\text{Alors } \begin{cases} N = A \cdot S \\ M_z = -B \cdot I_z \\ M_y = C \cdot I_y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = \frac{N}{S} \\ B = -\frac{M_z}{I_z} \\ C = \frac{M_y}{I_y} \end{cases}$$

On obtient donc :

$$\sigma_x = \frac{N}{S} - \frac{M_z}{I_z} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

Question 3 :

Valeur minimale du rapport I_z/h :

Les efforts internes à la barre sont tels que $N = 0$ et $M_y = 0$ alors l'équation de la contrainte normale se réduit à :

$$\sigma_x = -\frac{M_z}{I_z} \cdot y$$

La condition sur la contrainte normale est : $\sigma_x \leq f_y$

La valeur de σ_x est maximale pour : $\begin{cases} M_z = M_z^{\max} = 1,5 \text{ MN} \cdot \text{m} \\ y = \pm \frac{h}{2} \end{cases}$

La condition sur σ_x conduit alors à : $\frac{I_z}{h} \geq \frac{1,5}{2f_y}$

La valeur minimale du rapport $\frac{I_z}{h}$ est donc : $\frac{I_z}{h} = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Valeur minimale de h pour que la condition sur σ_x soit respectée :

Le moment d'inertie I_z d'un tube rectangulaire de largeur b et d'épaisseur e s'écrit :

$$I_z = \frac{bh^3 - (b-2e) \cdot (h-2e)^3}{12}$$

En remplaçant I_z par son expression dans le rapport $\frac{I_z}{h}$, on a alors :

$$\frac{bh^3 - (b-2e) \cdot (h-2e)^3}{12h} = 3,19 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \frac{bh^3 - (b-2e) \cdot (h^3 - 6h^2e + 12he^2 - 8e^3)}{12h} = 3,19 \cdot 10^{-3}$$

L'épaisseur e étant très petite par rapport à la largeur b et la hauteur h , on peut négliger les termes en e^2 et en e^3 (l'expression du développement limité de $(h-2e)^3$ pour $e/h \rightarrow 0$ permet de montrer le même résultat).

L'expression précédente se réduit alors à :

$$\frac{bh^3 - (b-2e) \cdot (h^3 - 6h^2e)}{12h} = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ Soit : } \frac{e}{6} \cdot h^2 + \left(\frac{be}{2} - e^2\right) \cdot h - 3,19 \cdot 10^{-3} = 0$$

Application numérique : $1,3 \cdot 10^{-3} \cdot h^2 + 9,36 \cdot 10^{-4} \cdot h - 3,19 \cdot 10^{-3} = 0$

On obtient : $h = 1,235 \text{ m}$

Question 4 :

Degré d'hyperstaticité externe de la structure :

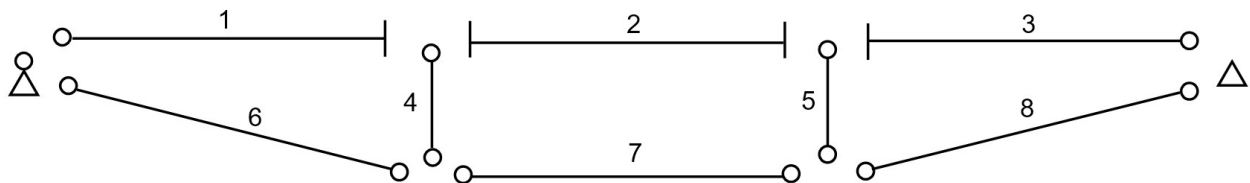
Idem question 1 : $h_e = 0$

Degré d'hyperstaticité global de la structure :

$h = (\text{Nombre d'inconnues globales}) - (\text{Nombre d'équations utiles})$

Avec : Nombre d'équations utiles = Nombre d'équations d'équilibre + Nombre d'équations de liaisons

Décomposition de la structure :



Nombre d'inconnues globales :
 4 encastresments x 3
 13 pivots x 2
 1 appui simple x 1

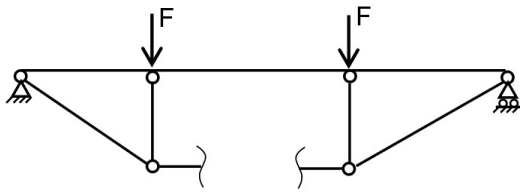
Nombre d'équations d'équilibre : 8 barres x 3
 Nombre d'équation de liaisons : 2 liaisons encastrement x 3
 4 liaisons pivots x 2

Alors $h = 39 - (24 + 14) = 1$

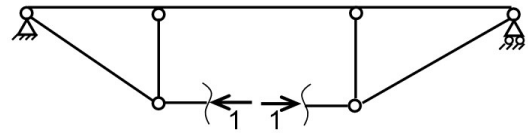
La structure est globalement hyperstatique de degré 1

Levée de l'hyperstaticité par la méthode des forces :

La structure est rendue isostatique en faisant une coupure dans la barre centrale de la membrure basse.



Etat 0
Structure isostatique associée soumise au chargement initial



Etat 1
Structure isostatique associée soumise à un chargement virtuel unitaire appliqué à la coupure

Equation de la méthode : $\lambda_{10}^0 + X_1 \cdot \lambda_{11}^0 = 0$

Avec : λ_{10}^0 : Déplacement au point de coupure de la structure isostatique associée sous chargement réel dans la direction X_1 .

λ_{11}^0 : Déplacement au point de coupure de la structure isostatique associée sous chargement virtuel unitaire dans la direction X_1 .

Les déplacements sont déterminés à l'aide de l'équation de Bertrand de Fontviolat :

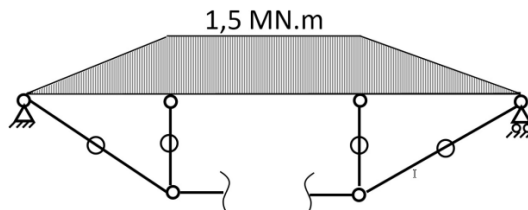
$$\lambda_{ij} = \int_{\text{structure}} \left(\frac{M_i \cdot M_j}{EI} + \frac{N_i \cdot N_j}{ES} \right) \cdot dx$$

Etat 0 :

L'état 0 est similaire à la poutre isostatique étudiée à la question 1 car les barres bi-articulées (membrure inférieure et montants) ne sont soumises à aucun effort.

Diagrammes des efforts normaux N_0 : Efforts normaux nuls dans l'ensemble des barres

Diagramme des moments fléchissant M_{z0} :

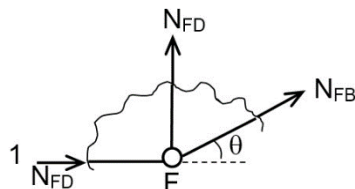


Etat 1 :

Réactions aux appuis : $X_A = Y_A = Y_B = 0$

Efforts normaux dans les barres bi-articulées :

Nœud F isolé :



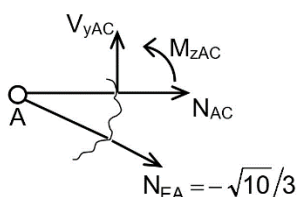
$$\cos\theta = 3/\sqrt{10}$$

$$N_{FB} = -\sqrt{10}/3$$

$$\sin\theta = 1/\sqrt{10}$$

$$N_{FD} = 1/3$$

Nœud A :



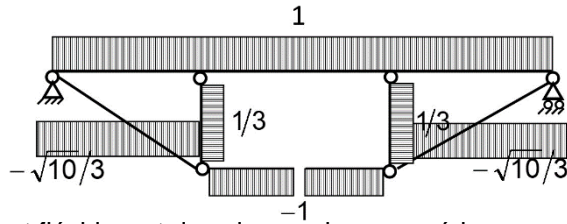
$$N_{AC} = 1$$

$$V_{yAC} = -1/3$$

$$M_{zAC} = x/3$$

$$N_{EA} = -\sqrt{10}/3$$

Diagrammes des efforts normaux N_1 :



Moment fléchissant dans la membrure supérieure :
Si on isole la membrure supérieure, on a alors :

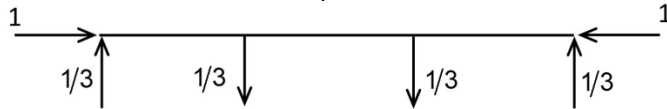
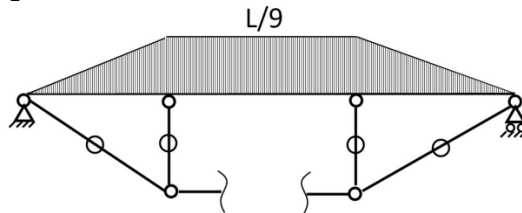


Diagramme des moments fléchissant M_{z1} :



Au point où est exercée la coupure, la méthode des forces consiste à écrire : $\lambda_{10}^0 + X_1 \cdot \lambda_{11}^0 = 0$

Avec :

$$\lambda_{10} = \int_{\text{structure}} \left(\frac{M_1 \cdot M_0}{EI} + \frac{N_1 \cdot N_0}{ES} \right) \cdot dx \quad \text{et} \quad \lambda_{11} = \int_{\text{structure}} \left(\frac{M_1 \cdot M_1}{EI} + \frac{N_1 \cdot N_1}{ES} \right) \cdot dx$$

A l'état 0, les efforts normaux dans les barres sont nuls donc $\int_{\text{structure}} \frac{N_1 \cdot N_0}{ES} \cdot dx = 0$

A l'état 1, dans la membrure haute, l'effet des efforts normaux sur le déplacement est négligeable par rapport à l'effet des moments fléchissants.

On a alors :

$$\lambda_{10} = \int_{AB} \frac{M_1 \cdot M_0}{EI_z} \cdot dx = \frac{5FL^3}{243EI_z}$$

$$\lambda_{11} = \int_{AB} \frac{M_1 \cdot M_1}{EI_z} \cdot dx + 2 \cdot \int_{CE} \frac{N_1 \cdot N_1}{ES_2} \cdot dx + 2 \cdot \int_{AE} \frac{N_1 \cdot N_1}{ES_3} \cdot dx + \int_{EF} \frac{N_1 \cdot N_1}{ES_3} \cdot dx$$

$$\lambda_{11} = \frac{5L^3}{729EI_z} + \frac{2L}{81ES_2} + \frac{20\sqrt{10}L}{81ES_3} + \frac{L}{3ES_3}$$

L'équation de la méthode des forces s'écrit alors :

$$\lambda_{10}^0 + X_1 \cdot \lambda_{11}^0 = \frac{5FL^3}{243EI_z} + X_1 \cdot \left(\frac{5L^3}{729EI_z} + \frac{2L}{81ES_2} + \frac{20\sqrt{10}L}{81ES_3} + \frac{L}{3ES_3} \right) = 0$$

$$\text{Et donc : } X_1 = - \frac{F}{\frac{1}{3} + \frac{3}{5} \cdot \frac{I_z}{L^2} \cdot \left(\frac{2}{S_2} + \frac{20\sqrt{10}}{S_3} + \frac{27}{S_3} \right)}$$

Question 5 :

Avec : $F = 30000 \text{ daN}$; $L = 15 \text{ m}$

$$I_{z1} = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$S_2 = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$S_3 = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

L'application numérique de l'expression de X_1 déterminée à la question précédente donne comme résultat :

$$X_1 = -0,886$$

Moment maximum dans la membrure haute :

$$M_z^{\max} = M_{z0}^{\text{CD}} + X_1 \cdot M_{z1}^{\text{CD}} = \frac{FL}{3} + X_1 \cdot \frac{L}{9} = 23,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Effort normal maximum dans la membrure haute :

$$N^{\max} = N_0^{\text{CD}} + X_1 \cdot N_1^{\text{CD}} = 0 + X_1 \cdot 1 = -886 \text{ kN}$$

Question 6 :

En flexion composée, l'expression de la contrainte normale dans la poutre s'écrit : $\sigma_x = \frac{N}{S} - \frac{M_z}{I_z} \cdot y$

L'effort normal N étant inférieur à 0 (compression), la contrainte maximale est obtenue en fibre supérieure de la poutre donc en $y = \frac{h}{2}$.

L'application numérique permet d'obtenir la valeur : $\sigma_x^{\max} = -119 \text{ MPa}$

Cette valeur est nettement inférieure à la valeur de la limite élastique de l'acier. Cette différence s'explique par :

- Les différences (liaisons) entre le modèle analytique utilisé et un modèle numérique qu'utiliserait un BE ;
- La vérification de la résistance au déversement de la poutre ;
- Le dimensionnement des assemblages entre les éléments de la poutre ;
- La vérification des conditions sur la déformation de la poutre (flèche maximale très contraignante avec une verrière).

Question 7 :

L'expression de la contrainte de cisaillement est la suivante :

$$\tau = \frac{V_y \cdot S_z^*}{I_z \cdot b(y)}$$

Avec :

S_z^* : Moment statique par rapport à l'axe Gz de la partie de section droite se trouvant au-dessus du niveau y.

I_z : Moment d'inertie par rapport à l'axe Gz de la section droite complète.

$b(y)$: Longueur dans la direction de l'axe Gz de la section droite au niveau y.

En considérant que e est petit devant b et h et en écrivant le transport de Huygens, on a alors :

$$I_z = \frac{2eh^3}{12} + 2be \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 = \frac{h^2e}{6} \cdot (3b+h)$$

A l'intersection de l'âme et de l'axe Gz :

$$b(y) = 2e$$

$$S_z^* = be \cdot \frac{h}{2} + 2e \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{4} = \frac{eh}{4} \cdot (2b+h)$$

En remplaçant I_z , $b(y)$ et S_z^* , dans l'expression de τ , on a alors :

$$\tau = \frac{3}{4} \cdot \frac{2b+h}{he \cdot (3b+h)} \cdot V_y$$

Il est possible de réduire la quantité d'acier de cette poutre en augmentant la longueur des montants, en utilisant pour la traverse supérieure un profilé en I, en utilisant un acier de qualité supérieure.

PARTIE 2 – Etude de la reconnaissance des sols et des fondations des poteaux de la verrière ouest

Question 8 :

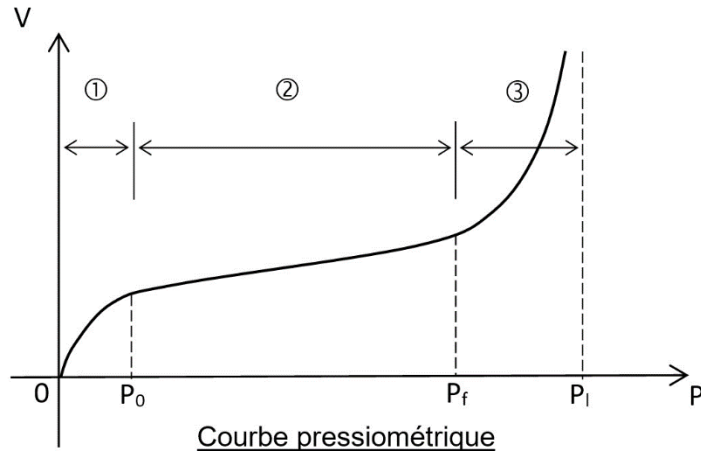
L'essai pressiométrique est un essai de dilatation cylindrique qui consiste à introduire dans le terrain au moyen d'un forage réalisé au préalable, une sonde cylindrique dilatable.

Cette sonde est reliée à un système permettant de mesurer la pression appliquée au terrain et la variation de volume de la sonde.

E_M : Module pressiométrique qui caractérise la phase de déformation pseudo-élastique de l'essai.

P_f : Pression de fluage qui correspond au passage du domaine des déformations pseudo-élastiques du terrain au domaine des déformations plastiques

P_l : Pression limite qui correspond à la rupture du terrain à la paroi de la cavité cylindrique.



P : Pression de l'eau injectée dans la sonde
 V : Volume de l'eau injectée dans la sonde

Etape 1 : Recompaction du terrain autour de la sonde qui s'était décomprimée au forage.

Etape 2 : Phase pseudo-élastique au cours de laquelle la déformation de la sonde varie à peu près linéairement en fonction de la pression appliquée. La pente de cette phase est l'inverse du module E_M .

Etape 3 : Phase plastique, lorsque la pression P dépasse la pression de fluage P_f , le terrain entourant la sonde développe des surfaces de rupture.

Question 9 :

Le caractère unidimensionnel du champ de déplacement conduit à : $\underline{u} = \begin{pmatrix} u \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Le champ de déformation s'écrit : $\underline{\underline{\Delta\varepsilon}} \equiv \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon_r \\ \Delta\varepsilon_\theta \\ \Delta\varepsilon_z \end{pmatrix}$. En coordonnées cylindriques, on aura donc l'écriture :

$$\underline{\underline{\Delta\varepsilon}} \equiv \begin{pmatrix} \frac{d\Delta u}{dr} \\ \frac{\Delta u}{r} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Le champ de contraintes s'écrit : $\underline{\underline{\Delta\sigma}} \equiv \begin{pmatrix} \Delta\sigma_r \\ \Delta\sigma_\theta \\ \Delta\sigma_z \end{pmatrix}$

On obtient alors une seule équation d'équilibre : $\text{div}\underline{\underline{\Delta\sigma}} = 0 \Rightarrow \frac{d\Delta\sigma_r}{dr} + \frac{\Delta\sigma_r - \Delta\sigma_\theta}{r} = 0$

La loi de comportement élastique s'écrit :

$$\Delta\sigma_r = \frac{E}{1+\nu} \cdot \left[\Delta\varepsilon_r + \frac{\nu}{1-2\nu} (\Delta\varepsilon_r + \Delta\varepsilon_\theta) \right] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot [(1-\nu)\Delta\varepsilon_r + \nu\Delta\varepsilon_\theta]$$

$$\Delta\sigma_\theta = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot [\nu\Delta\varepsilon_r + (1-\nu)\Delta\varepsilon_\theta]$$

$$\Delta\sigma_z = \nu \cdot (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_\theta)$$

On remplace les déformations par leur expression :

$$\Delta\sigma_r = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \left[(1-\nu) \frac{d\Delta u}{dr} + \nu \frac{\Delta u}{r} \right]$$

$$\Delta\sigma_\theta = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \left[\nu \frac{d\Delta u}{dr} + (1-\nu) \frac{\Delta u}{r} \right]$$

On peut alors écrire l'équation d'équilibre avec les expressions des contraintes ci-dessus :

$$\frac{d^2\Delta u}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\Delta u}{dr} - \frac{\Delta u}{r^2} = 0$$

La résolution de cette équation différentielle s'obtient à partir de l'équation caractéristique :

$$\Delta u(r) = A \cdot r + \frac{B}{r}$$

Alors $\frac{d\Delta u}{dr} = A - \frac{B}{r^2}$ et $\frac{\Delta u}{r} = A + \frac{B}{r^2}$ que l'on remplace dans l'expression de $\Delta\sigma_r$:

$$\Delta\sigma_r = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \left[A - (1-2\nu) \frac{B}{r^2} \right]$$

Les conditions aux limites nous donnent :

Pour $r \rightarrow \infty$, $\Delta\sigma_r = 0$ alors $A = 0$

Pour $r = r_0$, $\Delta\sigma_r = -P + P_0$ alors $B = \frac{(1+\nu)}{E} \cdot (P - P_0) \cdot r_0^2$

Donc :

$$\Delta u = \Delta P \cdot \frac{(1+\nu)}{E} \cdot \frac{r_0^2}{r}$$

Question 10 :

On a vu à la question précédente que $u(r) = \Delta P \cdot \frac{(1+\nu)}{E} \cdot \frac{r_0^2}{r}$ les déplacements étant initialement nuls.

A la paroi du forage, le déplacement radial sera égal à : $u(r_0) = \Delta P \cdot \frac{(1+\nu)}{E} \cdot r_0$

La variation du volume de la sonde s'écrit : $\Delta V = V - V_i = \pi r^2 h - \pi r_0^2 h = \pi (r_0 + u(r_0))^2 h - \pi r_0^2 h$

En considérant les déformations comme petites alors : $\Delta V = 2\pi r_0 h \cdot u(r_0)$

On remplace $u(r_0)$ par son expression dans ΔV : $\Delta V = 2\Delta P \frac{(1+\nu)}{E} \pi r_0^2 h$

Avec $\pi r_0^2 h = V_i$ alors $\Delta V = 2\Delta P \frac{(1+\nu)}{E} V_i$

Donc :

$$E = 2(1+\nu) \cdot \Delta P \cdot \frac{V_i}{\Delta V}$$

On peut déterminer à partir de cette relation la valeur du module pressiométrique du sol E_M . Pour cela il est nécessaire de considérer que :

- La pente de la partie linéaire de courbe pressiométrique est sensiblement constante entre P_0 et P_f ainsi le module pressiométrique est considéré comme étant le module moyen correspondant à la pression :

$$P = \frac{P_0 + P_f}{2}$$

- La valeur du coefficient de Poisson est choisie arbitrairement. Cette valeur est généralement prise égale à 0,33 sans qu'il y ait une influence significative de la valeur retenue.

Question 11 :

Le critère de Tresca se base sur l'écart entre les contraintes principales. Il se représente dans l'espace des contraintes principales par un prisme droit à base hexagonal. Il est uniquement fonction de la cohésion c du sol et sera donc adapté aux sols purement cohérents (sols fins argileux).

Le critère de Mohr-Coulomb est une généralisation du critère de Tresca et introduit la contrainte moyenne dans le sol. Cela sous-entend que le cisaillement maximal que peut subir le matériau est d'autant plus grand que la contrainte de compression est élevée. Il se représente dans l'espace des contraintes principales par une pyramide hexagonale. Il fait intervenir la cohésion c du sol et son angle de frottement interne φ . Il est donc adapté aux sols pulvérulents et cohérents.

L'apparition de la zone plastique correspond à la valeur de P pour laquelle les contraintes élastiques vont vérifier le critère de plasticité. On sait également que la plasticité dans le sol va apparaître à la surface du forage en $r = r_0$. Il faut donc l'établir l'expression des contraintes dans le sol au niveau de cette surface.

Les conditions aux limites permettent d'écrire : En $r = r_0$, $\sigma_r = -P$

Les relations de la question 8 permettent d'écrire : $\Delta\sigma_\theta = \frac{E}{1+\nu} \frac{B}{r^2}$. En remplaçant B par son expression

et en se plaçant en $r = r_0$, on a alors : $\Delta\sigma_\theta = P - P_0$. Soit $\sigma_\theta = -2P_0 + P$

Comme $\Delta\sigma_z = \nu \cdot (\Delta\sigma_r + \Delta\sigma_\theta)$, on a alors : $\Delta\sigma_z = 0$ et $\sigma_z = -P$

Les contraintes à la paroi du forage sont donc tel que : $\sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta < 0$ ainsi $\sigma_I = \sigma_\theta$ et $\sigma_{III} = \sigma_r$

Application au critère de Mohr-Coulomb :

$$f = K_a \cdot (\sigma_{III} - H) - (\sigma_I - H) = K_a \cdot (-P - H) - (-2P_0 + P - H) = 0$$

Donc :

$$P = \frac{2P_0 - H \cdot (K_a - 1)}{K_a + 1}$$

Application au critère de Tresca :

$$f = \sigma_I - \sigma_{III} - 2 \cdot c = -2P_0 + P + P - 2c = 0$$

Donc :

$$P = P_0 + c$$

Question 12 :

L'expression de P définie à la question précédente correspond à la valeur de la pression de fluage P_f qui correspond au passage entre le comportement élastique et le comportement plastique du sol.

Les hypothèses qui expliquent les différences que l'on obtient entre la valeur de P calculée par les formules de la question précédente et son équivalent mesuré par un essai in-situ sont :

- La longueur de la sonde est supposée infinie (déformations planes) ;
- Le sol est assimilé à un milieu homogène et isotrope ;
- Le comportement du sol débute par une phase élastique linéaire ;
- Le volume de terrain est supposé constant (sol incompressible) ce qui est particulièrement juste pour des terrains de faible perméabilité pour lesquels on peut admettre que l'essai se déroule sans drainage ;
- Le terrain est remanié autour du forage, il est difficile d'évaluer les conséquences de ce remaniement.

Question 13 :

La pression limite équivalent de pointe s'obtient par l'expression :

$$p_{le}^* = \frac{1}{b+3a} \int_{D-b}^{D+3a} p_l^*(z) \cdot dz$$

Avec :

- Ancrage dans la couche porteuse : $h = 3 \cdot B = 2,4 \text{ m}$
- Epaisseur de sol à considérer au-dessus de la pointe du pieu :
 $a = \max\left(\frac{B}{2}; 0,5 \text{ m}\right) = \max(0,8 / 2; 0,5) = 0,5 \text{ m}$
- Epaisseur de sol à considérer en-dessous de la pointe du pieu :
 $b = \min(h; a) = \min(2,4; 0,5) = 0,5 \text{ m}$
- Profondeur du pieu : $D = 8 + h = 10,4 \text{ m}$

On a alors :

$$p_{le}^* = 0,5 \cdot \int_{9,9}^{11,9} p_i^*(z) \cdot dz$$

Les résultats de l'essai pressiométrique indiquent les valeurs suivantes :

Profondeur (m)	10	11,5	13
p_i^* (MPa)	5,21	4,26	1,19

On découpe la profondeur comprise entre 9,9 m et 11,9 m en trois intervalles :

- De 9,9 à 10 m : On peut considérer que dans cet intervalle la valeur de p_i^* est constante et égale à 5,21 MPa ;
- De 10 à 11,5 m : La valeur moyenne de p_i^* est égale à $\frac{5,21+4,26}{2} = 4,74$ MPa
- De 11,5 à 11,9 m : La valeur de p_i^* à 11,9 m est proportionnellement égale à : $1,19 + \frac{0,9}{1,5} \cdot (4,26 - 1,19) = 3,03$ MPa. Sur cet intervalle, la valeur moyenne de p_i^* est égale à $\frac{4,26+3,03}{2} = 3,65$ MPa

A partir de ce découpage, la valeur de p_{le}^* sera donc égale à : $p_{le}^* = 0,5 \cdot [5,21 \cdot 0,1 + 4,74 \cdot 1,5 + 3,65 \cdot 0,4] = 4,55$ MPa

La contrainte limite en pointe d'un pieu isolé sera donc égal à : $q_p = k_p \cdot p_{le}^* = 4,55 \times 1,2 = 5,46$ MPa

PARTIE 3 – Etude de la présence de la nappe alluviale dans les sols

Question 14 :

La perméabilité k d'un sol granulaire représente la capacité du sol à se laisser traverser par un fluide, en particulier par l'eau, sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique. La perméabilité s'exprime en $m \cdot s^{-1}$ (Volume d'eau traversant une section unitaire de sol par unité de temps et par unité de gradient hydraulique).

La transmissivité T d'un aquifère caractérise le flux d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère et par unité de gradient hydraulique. Elle s'obtient par le produit de la perméabilité moyenne de l'aquifère par la puissance aquifère. La transmissivité s'exprime en $m^2 \cdot s^{-1}$.

La porosité d'un sol représente le rapport entre le volume des vides dans le sol et son volume total. Les sols fins peuvent avoir une porosité élevée mais une perméabilité faible (argile) tandis que des sols grenus peuvent avoir une porosité faible mais une perméabilité élevée (sable).

En laboratoire, la mesure de la perméabilité d'un sol peut se faire avec :

- Un perméamètre à charge constante : Un échantillon de sol est traversé par de l'eau qui provient d'un réservoir dont le niveau est maintenu constant. La perméabilité est alors fonction du débit mesuré en sortie de l'échantillon, de la perte de charge hydraulique et des dimensions de l'échantillon. Ce type d'essai est à réserver aux sols grenus pour lesquels le débit sera élevé ;
- Un perméamètre à charge variable : L'eau qui traverse l'échantillon provient d'un tube de faible diamètre. Au fur et à mesure que l'écoulement se produit, le niveau de l'eau dans le tube baisse. En considérant que le phénomène est lent, on suppose que la loi de Darcy reste applicable et la perméabilité est alors fonction du temps t qui s'est écoulé pour obtenir la variation de niveau Δh . Ce type d'essai est à privilégier avec les sols fins pour lesquels les débits au perméamètre à charge constante seraient trop faibles.

In situ, la mesure de la perméabilité d'un sol peut se faire avec :

- Un essai ponctuel de type Lefranc : L'essai consiste à injecter ou à pomper de l'eau dans une cavité qui peut être un sondage de reconnaissance des sols dont le tubage a été légèrement relevé. La perméabilité est alors déterminée en fonction de la variation de la hauteur d'eau.
- Un essai de pompage : L'essai consiste à rabattre par pompage la surface d'une nappe, à partir d'un puits filtrant tout en mesurant le débit pompé et le niveau d'eau. Les mesures sont effectuées dans le puits et dans des piézomètres situés à différentes distances du puits.

La mesure de la perméabilité en laboratoire n'est intéressante que si le massif de sol est homogène ce qui est rarement le cas. Les essais in situ sont donc recommandés dans les sols hétérogènes. Les essais de type Lefranc créent des écoulements dans une zone limitée autour du dispositif de mesure et donnent donc une estimation de la perméabilité locale du sol. Les essais de pompage donnent une

valeur globale de la perméabilité, représentative du comportement hydraulique du sol et des éventuels passages privilégiés de l'eau (joints, fissures...).

Question 15 :

Si l'eau ne circule que dans les vides alors on peut écrire que :

$$v' = \frac{q}{S_v}$$

Avec S_v l'aire occupée par les vides dans le tube de sol.

Si le tube de sol a une longueur L alors le volume des vides s'écrit :

$$V_v = S_v \cdot L$$

Et comme la porosité n d'un sol est défini par le rapport $n = \frac{V_v}{V}$ alors on peut écrire que :

$$V_v = n \cdot S \cdot L \text{ et } S_v = n \cdot S$$

La vitesse réelle moyenne a donc pour expression : $v' = \frac{q}{S_v} = \frac{q}{n \cdot S}$ et donc : $v' = \frac{v}{n}$

Question 16 :

La loi de Darcy généralisée s'écrit : $\vec{v} = \underline{k} \cdot \vec{\text{grad}} h$

Les hypothèses du problème permettent de faire les simplifications suivantes :

Le massif est homogène et isotrope : Le tenseur de perméabilité \underline{k} peut donc se réduire au scalaire k

Le phénomène est de révolution, le régime est permanent et la nappe est constamment réalimentée par sa surface latérale : Le gradient hydraulique $\vec{\text{grad}} h$ en un point de la surface

libre est donc égal à $\frac{dz}{ds}$

La pente de la surface libre est faible : Le vecteur vitesse d'écoulement de l'eau \vec{v} peut donc se réduire à sa composante horizontale v_x et ds peut être assimilé à dx

On a alors la loi de Darcy qui s'écrit : $v_x = k \cdot \frac{dz}{dx}$

Le débit d'eau qui entre dans le puit a pour valeur :

$$q = S \cdot v_x = 2\pi \cdot x \cdot z \cdot v_x = 2\pi \cdot x \cdot z \cdot k \cdot \frac{dz}{dx}$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{2\pi \cdot k}{q} \cdot z \cdot dz$$

$$[\ln x]_r^R = \frac{\pi \cdot k}{q} \left[z^2 \right]_{H_p}^H$$

On arrive donc à l'expression pour le débit : $q = \pi \cdot k \cdot \frac{(H^2 - H_p^2)}{\ln \frac{R}{r}}$

Question 17 :

La formule de Sichardt permet de calculer la valeur du rayon d'action du pompage :

Avec : $H = 20 - (167 - 164) = 17\text{m}$

$H_p = 20 - (167 - (1628 - 2)) = 13,8\text{m}$

Le rayon d'action du pompage est alors égal à : $R = 3000 \cdot (17 - 13,8) \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-4}} = 192\text{m}$

Le débit de pompage nécessaire est donc de : $q = \pi \cdot 4 \cdot 10^{-4} \frac{(17^2 - 13,8^2)}{\ln\left(\frac{192}{0,5}\right)} = 2,08 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Question 18 :

On cherche l'expression de la perméabilité k_h du terrain fictif homogène dans le cas d'un écoulement horizontal dans un terrain stratifié.

Si l'écoulement est parallèle au plan de stratification alors on peut considérer que :

- La perte de charge est la même pour toutes les couches et le gradient hydraulique est donc aussi le même ;
- Le débit total est la somme des débits de chaque couche.

Le débit total s'écrit donc : $q = S \cdot v = \sum_{i=1}^n S_i \cdot v_i$

En raisonnant pour une épaisseur unité, on a alors : $q = H \cdot v = \sum_{i=1}^n H_i \cdot v_i$

La loi de Darcy permet d'écrire les vitesses d'écoulement : $v = k_h \cdot i$ et $v_i = k_{hi} \cdot i$

En remplaçant dans l'expression de q , on arrive ainsi à : $k_h = \frac{1}{H} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot H_i$

A partir de cette formule, l'application numérique pour les deux couches de sols donne :

$$k_h = \frac{1}{20} \cdot (3 \cdot 10^{-3} \cdot 6 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 14) = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Avec cette nouvelle valeur de perméabilité, le rayon d'action du pompage est alors égal à :

$$R = 3000 \cdot (17 - 13,8) \cdot \sqrt{1,04 \cdot 10^{-3}} = 309,6 \text{ m}$$

Le débit de pompage nécessaire devient donc : $q = \pi \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} \frac{(17^2 - 13,8^2)}{\ln\left(\frac{309,6}{0,5}\right)} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Question 19 :

Contraintes totales : $\sigma_v = \gamma \cdot z$

Pressions interstitielles : $u = \gamma_w \cdot z$

Contraintes effectives : $\sigma'_v = \sigma_v - u$

z (m)	Avant pompage			Après pompage		
	σ_v (kPa)	u (kPa)	σ'_v (kPa)	σ_v (kPa)	u (kPa)	σ'_v (kPa)
0	0	0	00	0	0	0
3	57	0	57	57	0	57
4	76	10	66	76	0	76
12	220	90	130	220	58	162
20	364	170	194	364	138	226

Question 20 :

Le sol étant un sol grenu dont la perméabilité est élevée, l'eau interstitielle est évacuée immédiatement et les variations de contraintes et les déformations sont à peu près instantanées. Il n'est donc pas nécessaire de considérer de degré de consolidation.

La théorie de Terzaghi repose sur l'hypothèse que l'écoulement de l'eau et les déformations du sol se produisent uniquement selon la direction verticale. La perméabilité et la déformabilité du sol sont supposés homogènes et indépendant du temps.

La valeur de l'indice de compression C_c est estimé car il est normalement obtenu en effectuant un essai oedométrique sur un échantillon de sol prélevé, ce qui est rare et difficile sur un sol grenu d'autant plus lorsqu'il s'agit d'un sable à galets.

Le calcul du tassement s'effectue en considérant la valeur moyenne de la variation de contrainte effective située au milieu de la couche compressible. Pour $z = 12 \text{ m}$, on a donc $\sigma'_{v0} = 130 \text{ kPa}$ et $\Delta\sigma'_v = 32 \text{ kPa}$ alors :

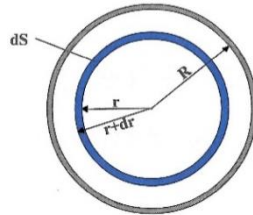
$$s = 16 \cdot \frac{0,04}{1+0,7} \cdot \log\left(1 + \frac{32}{130}\right) = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Le tassement dû au rabattement de la nappe phréatique est assez important mais il s'agit d'un tassement d'ensemble, il faudrait effectuer une analyse des risques de tassement différentiel. De plus le niveau de la nappe qui a été considéré avant pompage est celui de la crue décennale donc le niveau d'eau est habituellement plus faible et le niveau du TN plus proche de celui obtenu après pompage.

PARTIE 4 – Etude de la ventilation : mesure de débit aéraulique

Question 21 :

En coordonnées cylindriques $dS = 2\pi \cdot r \cdot dr$:



$$dQ_v = v(r) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = V \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr \quad \rightarrow \quad Q_v = V \cdot 2\pi \cdot \int_0^R r \cdot dr = V \cdot 2\pi \cdot \left[\frac{r^2}{2} \right]_0^R = V \cdot \pi R^2$$

Question 22 :

$$\frac{\mu}{r} \times \frac{d}{dr} \left(r \times \frac{dv}{dr} \right) = \frac{dp}{dx} \quad \rightarrow \quad \frac{d}{dr} \left(r \times \frac{dv}{dr} \right) = \frac{r}{\mu} \times \frac{dp}{dx}$$

$$r \times \frac{dv}{dr} = \frac{r^2}{2\mu} \times \frac{dp}{dx} + C_1$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{r}{2\mu} \times \frac{dp}{dx} + \frac{C_1}{r}$$

$$v = \frac{r^2}{4\mu} \times \frac{dp}{dx} + C_1 \ln(r) + C_2$$

en $r = 0$, la vitesse est finie : $C_1 = 0$ et $v = C_2 = V_0$

en $r = R$, $v = 0$: on en déduit $C_2 = -\frac{R^2}{4\mu} \times \frac{dp}{dx}$

$$v = \frac{r^2}{4\mu} \times \frac{dp}{dx} - \frac{R^2}{4\mu} \times \frac{dp}{dx} = -\frac{R^2}{4\mu} \times \frac{dp}{dx} \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = V_0 \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

Question 23 :

$$dQ_v = v(r) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = V_0 \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \times 2\pi \times r \times dr$$

$$Q_v = 2\pi \times V_0 \times \int_0^R \left(r - \frac{r^3}{R^2} \right) \times dr = 2\pi \times V_0 \times \left[\frac{r^2}{2} - \frac{r^4}{4 \times R^2} \right]_0^R = 2\pi \times V_0 \times \frac{R^2}{4} = \frac{V_0}{2} \times \pi R^2$$

L'écoulement est assimilable à un écoulement unidimensionnel de vitesse $V = V_0/2$. Cela peut surprendre car laisse penser à une évolution linéaire de $v(r)$ alors qu'elle est parabolique. La raison est évidemment le caractère cylindrique de l'écoulement.

Question 24 :

$$dQ_v = v(r) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = V_0 \times \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/8} \times 2\pi \times r \times dr \quad \rightarrow \quad Q_v = 2\pi \times V_0 \times \int_0^R \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{1/8} r \times dr$$

En intégrant par parties on obtient : $Q_v = \frac{128}{153} V_0 \times \pi R^2$

L'écoulement est assimilable à un écoulement unidimensionnel de vitesse $V = \frac{128}{153} V_0 \approx 0,85 V_0$. Le profil de vitesse se rapproche effectivement du profil plat de l'écoulement unidimensionnel, constat d'autant plus flagrant que la vitesse moyenne (a fortiori Re donc n) sera élevée.

Question 25 :

Régime laminaire :

En considérant l'axisymétrie : $\bar{v} = \frac{1}{R} \times \int_0^R v dr$ avec $v = V_0 \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$

On obtient $\bar{v} = \frac{2}{3} V_0$ soit $Q_v = \frac{2}{3} V_0 \times \pi R^2$

Soit une erreur de mesure sur le débit : $e = \frac{\frac{2}{3} V_0 \times \pi R^2 - \frac{V_0}{2} \times \pi R^2}{\frac{V_0}{2} \times \pi R^2} = \frac{\frac{2}{3} - \frac{1}{2}}{\frac{1}{2}} = +33\%$

L'erreur est manifeste : le débit est surévalué de 33% ! Il est donc important d'éviter cette pratique malheureusement courante et, après avoir vérifié l'axisymétrie, d'évaluer la vitesse moyenne de l'écoulement à partir de la vitesse axiale V_0 : $\bar{v} = \frac{1}{2} V_0$.

Régime turbulent :

En considérant l'axisymétrie : $\bar{v} = \frac{1}{R} \times \int_0^R v dr$ avec $v = V_0 \times \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/8}$

On obtient $\bar{v} = \frac{8}{9} V_0$ soit $Q_v = \frac{8}{9} V_0 \times \pi R^2$

Soit une erreur de mesure sur le débit : $e = \frac{\frac{8}{9} V_0 \times \pi R^2 - \frac{128}{153} V_0 \times \pi R^2}{\frac{128}{153} V_0 \times \pi R^2} = \frac{\frac{8}{9} - \frac{128}{153}}{\frac{128}{153}} = +6\%$

L'erreur est tolérable. La mesure d'une vitesse moyenne par balayage est donc acceptable.

Question 26 :

Hypothèse : régime turbulent

La vitesse moyenne $\bar{v} = \frac{128}{153} V_0 = 7,11 \text{ m/s}$

$Re = \frac{\rho \times \bar{v} \times D}{\mu} = 2,37 \times 10^5 \rightarrow$ hypothèse vérifiée : $10^5 < Re < 10^6$

On peut utiliser $Q_v = \frac{128}{153} V_0 \times \pi R^2 = 1,4 \text{ m}^3/\text{s} = 5\,026 \text{ m}^3/\text{h}$

Ce débit permet d'alimenter en air neuf 200 personnes, soit 25 m³/h par personne, valeur correspondant aux prescriptions minimales du Règlement Sanitaire Départemental Type.

Question 27 :

Appliquons le théorème Bernoulli entre un point I situé en amont de la sonde et le point A où la vitesse est nulle (point d'arrêt) :

$$p_I + \frac{1}{2} \times \rho \times v_I^2 + \rho \times g \times z_I = p_A + \rho \times g \times z_A \rightarrow p_A = p_I + \frac{1}{2} \times \rho \times v_I^2$$

Appliquons le théorème Bernoulli entre le même point I et le point B :

$$p_I + \frac{1}{2} \times \rho \times v_I^2 + \rho \times g \times z_I = p_B + \frac{1}{2} \times \rho \times v_B^2 + \rho \times g \times z_B \rightarrow p_B = p_I$$

$$\Delta p_{AB} = p_A - p_B = \frac{1}{2} \times \rho \times v_f^2 \text{ (notion de pression dynamique)}$$

On en déduit $v = \sqrt{\frac{2 \times \Delta p_{\text{pitot}}}{\rho}}$ avec v en [m/s] et Δp en [Pa]

Question 28 :

A l'équilibre thermique : $P_{\text{chauffage}} = \Phi_{\text{conv}}$
 $R \times I^2 = U^2/R = h \times S \times (T_f - T_{\text{air}})$

En y intégrant $S = \pi \times d_f \times L_f$, $h = \frac{Nu \times \lambda_{\text{air}}}{d_f}$, $Nu = 0,4 + 0,5 \times \sqrt{Re}$ et $Re = \frac{\rho_{\text{air}} \times v \times d_f}{\mu_{\text{air}}}$, on obtient :

$$U^2/R = \lambda_{\text{air}} \times \pi \times L_f \times (T_f - T_{\text{air}}) \times \left(0,4 + 0,5 \times \sqrt{\frac{\rho_{\text{air}} \times d_f}{\mu_{\text{air}}} \times \sqrt{v}} \right)$$

$$U = \sqrt{R \times \lambda_{\text{air}} \times \pi \times L_f \times (T_f - T_{\text{air}}) \times \left(0,4 + 0,5 \times \sqrt{\frac{\rho_{\text{air}} \times d_f}{\mu_{\text{air}}} \times \sqrt{v}} \right)}$$

$$U = \sqrt{A + B \times \sqrt{v}} \quad \text{avec} \quad \begin{matrix} A = 0,4 \times R \times \lambda_{\text{air}} \times \pi \times L_f \times (T_f - T_{\text{air}}) \\ B \end{matrix} =$$

$$0,5 \times R \times \lambda_{\text{air}} \times \pi \times L_f \times (T_f - T_{\text{air}}) \times \sqrt{\frac{\rho_{\text{air}} \times d_f}{\mu_{\text{air}}}}$$

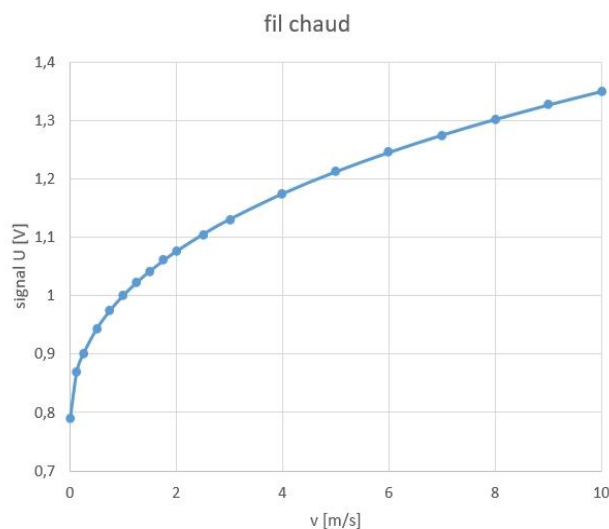
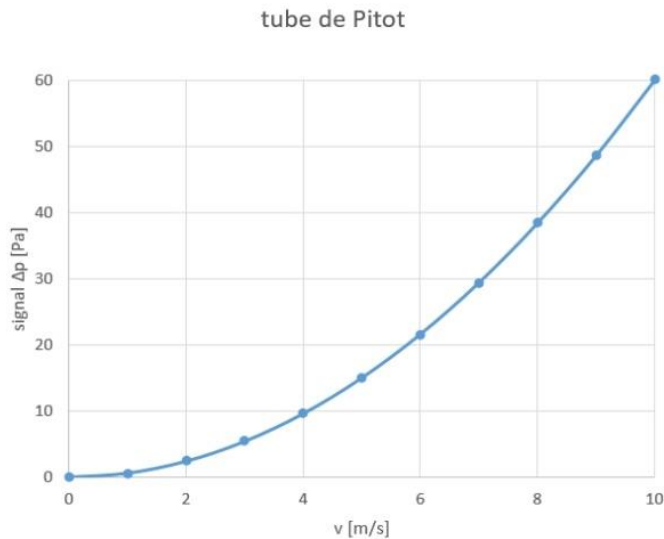
Question 29 :

Tube de Pitot :

$$\Delta p = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 = 0,6 \text{ v}^2$$

Anémomètre à fil chaud : $A = 0,622$ et $B = 0,379$

$$U = \sqrt{A + B \sqrt{v}} = \sqrt{0,622 + 0,379 \sqrt{v}}$$



On visualise la non linéarité signal-vitesse pour les 2 sondes et donc une variation de sensibilité avec la vitesse.

Concernant le tube de Pitot, cette non linéarité est problématique à faible vitesse : la mesure sera difficilement crédible en dessous de 10 Pa compte tenu des fluctuations de pression constatées. En pratique, le tube de Pitot n'est pas adapté aux mesures de vitesses inférieures à 4 m/s.

Concernant l'anémomètre à fil chaud, la non linéarité est problématique à vitesse élevée : la faible variation du signal entraîne une erreur qui peut être importante sur la vitesse compte tenu de l'incertitude ΔU . En pratique, l'utilisation de l'anémomètre à fil chaud est délicate à vitesse élevée.

PARTIE 5 – Etude de la ventilation : récupération d'énergie et mesure de température

Question 30 :

$$P = q_m C_{air} \Delta T = \rho_{air} q_v C_{air} \Delta T = \rho_{air} \frac{Q_v}{3600} C_{air} \Delta T = Q_v C_v \Delta T$$

$$\text{Par analogie } C_v = \frac{\rho_{air} \times C_{air}}{3600} \approx 0,35 \text{ Wh/m}^3\text{°C}$$

Question 31 :

Au contact d'une surface froide (à température inférieure à la température de rosée), l'humidité de l'air ambiant extrait va se condenser puis se transformer en glace lorsque la température locale sera négative. Il suffit donc d'évaluer la température extérieure à partir de laquelle l'air ambiant rejeté sera refroidi en dessous de 0°C.

$$E = \frac{P_{air\text{ambiantrejeté}}}{P_{MAX}} = \frac{Q_v \times C_v \times (20 - 0)}{Q_v \times C_v \times (20 - T_{ext})} = \frac{20}{20 - T_{ext}} = 0,8 \quad \rightarrow \quad T_{ext\text{critique}} = -5^\circ\text{C}$$

Question 32 :

By-pass de l'échangeur :

$$G = 0$$

Chauffage électrique amont :

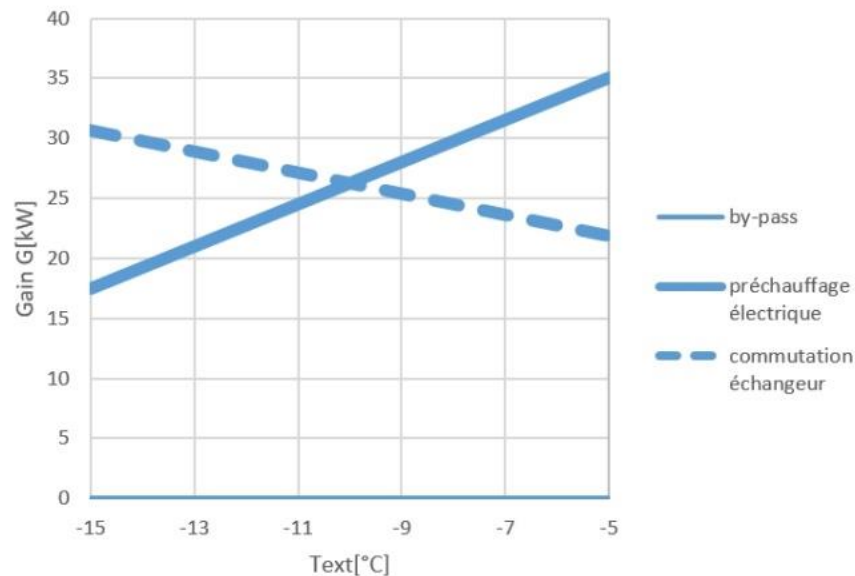
$$\text{Consommation (chauffage de } T_{\text{ext}} \text{ à } -5) : C[W] = Q_v C_v (-5 - T_{\text{ext}})$$

$$\text{Récupération } R[W] = 0,8 \times P_{\text{MAX}} = 0,8 \times [Q_v C_v (20 - -5)]$$

$$G[W] = R - C = Q_v C_v (25 + T_{\text{ext}}) = 1750 (25 + T_{\text{ext}})$$

Commutation de l'échangeur :

$$G[W] = 0,5 \times P_{\text{MAX}} = 0,5 \times [Q_v C_v (20 - T_{\text{ext}})] = 875 (20 - T_{\text{ext}})$$



Lorsque $T_{\text{ext}} < -10^\circ\text{C}$, la solution "commutation échangeur" est plus avantageuse.

Lorsque $T_{\text{ext}} > -10^\circ\text{C}$, la solution "préchauffage électrique" est plus avantageuse.

Si l'on se réfère au relevé de températures extérieures, T_{ext} n'est jamais inférieur à -10°C : le préchauffage de l'air neuf est donc à préconiser.

Question 33 :

La puissance utile de chauffage d'air neuf est $P_{\text{ut}} [W] = Q_v C_v (20 - T_{\text{ext}})$

Sur une période de temps élémentaire $\Delta t[h]$ pendant laquelle T_{ext} est constante, on peut calculer :

$$E_{\text{ut}} [Wh] = Q_v C_v (20 - T_{\text{ext}}) \times \Delta t$$

Sur l'année complète, en l'occurrence la saison de chauffage, T_{ext} varie : il est donc nécessaire d'utiliser le relevé des températures extérieures :

$$E_{\text{ut}} = \sum_{\text{année}} [Q_v \times C_v \times (20 - T_{\text{ext}}) \times \text{nbj}_{T_{\text{ext}}} \times 12] = 12 \times Q_v \times C_v \times \sum_{\text{année}} [(20 - T_{\text{ext}}) \times \text{nbj}_{T_{\text{ext}}}] = 12 \times Q_v \times C_v \times DJ_{20}$$

$$E_{\text{ut}} = 12 \times 5\,000 \times 0,35 \times 2878 = 60\,438\,000 \text{ Wh} = 60\,438 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{conso}} = E_{\text{ut}} / \text{COP} = 60\,438 / 3,5 = 17\,268 \text{ kWh (1\,727 €/an)}$$

Question 34 :

Coût annuel du ventilateur supplémentaire :

$$E_{\text{ventilateur}} = P_{\text{ventilateur}} \times \text{durée de marche} = 0,16 \times Q_v \times 365 \times 12 = 7\,000 \text{ kWh (350 €/an)}$$

(on note que le ventilateur supplémentaire pénalise d'autant plus le gain du système qu'il fonctionne toute l'année !)

Coût du préchauffage par la batterie électrique quand $T_{\text{ext}} < -5^\circ\text{C}$:

$$P [W] = Q_v C_v (-5 - T_{\text{ext}})$$

$$E = 12 Q_v C_v \sum_{T_{\text{ext}} < -5} [(-5 - T_{\text{ext}}) \times \text{nbj}_{T_{\text{ext}}}] = 12 Q_v C_v 19 = 400 \text{ kWh (40 €/an)}$$

Coût du chauffage de l'air neuf de -5°C à 20°C quand $T_{\text{ext}} < -5^\circ\text{C}$:

L'échangeur récupère 80% de $P_{\text{MAX}} = Q_v C_v (20 - -5)$, puissance correspondant au chauffage de l'air neuf de -5°C à 20°C . Il faut donc produire 20% de cette puissance durant les 9 jours où $T_{\text{ext}} < -5^\circ\text{C}$:

$$P_{ut} [W] = 0,2 \times Q_v C_v (20 + 5)$$

$$E_{ut} = 12 \times 9 \times [0,2 \times Q_v C_v (20 + 5)] = 945 000 \text{ Wh} = 945 \text{ kWh}$$

$$E_{conso} = E_{ut}/COP = 945/3,5 = 270 \text{ kWh (27 €/an)}$$

Coût du chauffage de l'air neuf de T_{ext} à 20°C quand $T_{ext} > -5^\circ\text{C}$:

L'échangeur récupère 80% de $P_{MAX} = Q_v C_v (20 - T_{ext})$, puissance correspondant au chauffage de l'air neuf de T_{ext} à 20°C . Il faut donc produire 20% de cette puissance durant la période où $T_{ext} > -5^\circ\text{C}$:

$$P_{ut} [W] = 0,2 \times Q_v C_v (20 - T_{ext})$$

$$E_{ut} = \sum_{\text{période où } T_{ext} > -5} [0,2 \times Q_v \times C_v \times (20 - T_{ext}) \times nbj_{T_{ext}} \times 12]$$

$$= 0,2 \times 12 \times Q_v \times C_v \times \sum_{\text{période où } T_{ext} > -5} [(20 - T_{ext}) \times nbj_{T_{ext}}]$$

$$= 0,2 \times 12 \times Q_v \times C_v \times (DJ_{20} - \sum_{\text{période où } T_{ext} < -5} [(20 - T_{ext}) \times nbj_{T_{ext}}])$$

$$= 0,2 \times 12 \times 5 000 \times 0,35 \times (2878 - 244) = 11 063 000 = 11 063 \text{ kWh}$$

$$E_{conso} = E_{ut}/COP = 11 063/3,5 = 3 161 \text{ kWh (316 €/an)}$$

Total coût: **733 €/an** soit une économie de **57%**

On remarque que si l'on ne prend pas en compte la consommation du ventilateur supplémentaire, le coût annuel est ramené à $733 - 350 = 383 \text{ €}$, soit une économie de 78%, valeur proche de l'efficacité du récupérateur : la consommation du procédé antigivre est donc anecdotique.

Question 35 :

Consommation d'énergie de chauffage avec le procédé antigivre quand $T_{ext} < -5^\circ\text{C}$: $40 + 27 = 67 \text{ €/an}$

Lorsque l'on « by-pass » l'échangeur, la puissance de chauffage à fournir s'élève alors à $P_{ut} [W] = Q_v C_v (20 - T_{ext})$

$$E_{ut} = 12 Q_v C_v \sum_{T_{ext} < -5} [(20 - T_{ext}) \times nbj_{T_{ext}}] = 12 Q_v C_v 244 = 5 124 \text{ kWh}$$

$$E_{conso} = E_{ut}/COP = 5 124/3,5 = 1 464 \text{ kWh (146 €/an)}$$

L'économie réalisée grâce au procédé antigivre est dérisoire : $146 - 67 = 79 \text{ €/an}$.

L'investissement dans la batterie électrique de préchauffage (de puissance $P = Q_v C_v (-5 - T_{ext \text{ mini}}) = 7 \text{ kW}$) ne semble donc pas justifié. Cependant, le fait de « by-passer » l'échangeur lorsque $T_{ext} < -5^\circ\text{C}$ impose de surdimensionner la puissance de chauffage du bâtiment, notamment les émetteurs (ici planchers chauffants et panneaux rayonnants). En effet, ceux-ci sont dimensionnés pour couvrir l'ensemble des déperditions statiques (enveloppe) et dynamiques (renouvellement d'air). Sans récupération aux températures extérieures minimales, les déperditions dynamiques deviennent conséquentes : elles correspondent au chauffage de l'air neuf depuis la température extérieure minimale (-9°C) jusqu'à la température ambiante (20°C) soit $P = Q_v C_v (20 + 9) = 51 \text{ kW}$!

Avec le préchauffage antigivre, l'échangeur est toujours fonctionnel et récupère 80% de la puissance : les déperditions dynamiques sont alors réduites d'un facteur 6 :

20% du chauffage de l'air depuis -5°C jusqu'à 20°C soit $0,2 \times Q_v C_v (20 + 5) = 9 \text{ kW}$

Question 36 :

Le thermocouple est indicé « t »

L'air est indicé « air »

Le conduit est indicé « c »

$$\Phi_{ray} [W] = \varphi_t \times S_t = \frac{\sigma \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1 - \epsilon_t}{S_t \times \epsilon_t} + \frac{1}{F_{tc} \times S_t} + \frac{1 - \epsilon_c}{S_c \times \epsilon_c}}$$

$$\Phi_{ray} [W] = \frac{\sigma \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1}{S_t} \times \left(\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} + \frac{1}{F_{tc}} + \frac{S_t \times (1 - \epsilon_c)}{S_c \times \epsilon_c} \right)} = \frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_t} - 1 + \frac{1}{F_{tc}} + \frac{S_t \times (1 - \epsilon_c)}{S_c \times \epsilon_c}}$$

Le thermocouple est sphérique (et de surcroît ponctuel) : $F_{tc} = 1$ et $S_t \ll S_c$:

$$\Phi_{ray} [W] = \frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_t}} = \epsilon_t \times \sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4)$$

Le flux échangé par rayonnement entre le thermocouple et le conduit ne dépend pas de l'émissivité du conduit ϵ_c .

A l'équilibre thermique du thermocouple, les flux radiatif et convectif s'annulent : $\Phi_{\text{ray}} + \Phi_{\text{conv}} = 0$

$$\epsilon_t \times \sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4) + h \times S_t \times (T_t - T_{\text{air}}) = 0$$

$$\epsilon_t \times \sigma \times (T_t^4 - T_c^4) + h \times (T_t - T_{\text{air}}) = 0$$

Application numérique : $0,8 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (T_t^4 - 278,15^4) + 30 \times (T_t - 263,15) = 0$

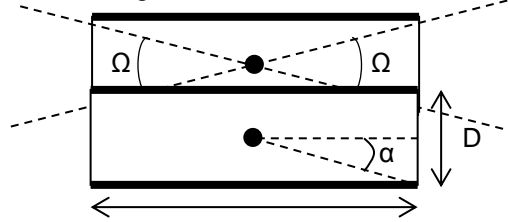
$$4,536 \times 10^{-8} \times T_t^4 + 30 \times T_t - 8166 = 0$$

Par approche ou itérations, on trouve $T_t = 264,77 \text{ K} = -8,4^\circ\text{C}$. L'erreur de mesure est donc non négligeable, l'air neuf étant à -10°C .

Question 37 :

F_{tc} définit la fraction du rayonnement émis par le thermocouple arrivant sur le conduit d'air neuf. Cette quantité ne dépend que de la géométrie du milieu. Dans la configuration présente, la proportion spatiale est définie par $F_{\text{tc}} = 2\Omega/4\pi$, $4\pi \text{ sr}$ représentant l'angle solide ouvert sur l'espace entier :

En considérant un demi-angle au sommet α , l'angle solide Ω se déduit aisément par intégration :



$$\Omega = 2\pi \int_0^\alpha \sin\theta \, d\theta = 2\pi [-\cos\theta]_0^\alpha = 2\pi(1 - \cos\alpha)$$

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + (D/2)^2}} \right)$$

d'où $F_{\text{tc}} = \frac{2\Omega}{4\pi} = 1 - \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + (D/2)^2}}$

Question 38 :

Le thermocouple est indicé « t »

L'air est indicé « air »

Le conduit est indicé « c »

Le tube est indicé « e » comme « écran »

A l'équilibre thermique du thermocouple, les flux radiatifs et convectif s'annulent :

$$\Phi_{\text{ray t c}} + \Phi_{\text{ray t e}}$$

+ $\Phi_{\text{conv}} = 0$

$$\Phi_{\text{ray t c}} = \frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} + \frac{1}{F_{\text{tc}}}}$$
 après simplification ($S_t \ll S_c$)

$$\Phi_{\text{ray t e}} = \frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_e^4)}{\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} + \frac{1}{F_{\text{te}}}}$$
 après simplification ($S_t \ll S_e$)

$$\Phi_{\text{conv}} = h \times S_t \times (T_t - T_{\text{air}})$$

D'où : $\frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_c^4)}{\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} + \frac{1}{F_{\text{tc}}}} + \frac{\sigma \times S_t \times (T_t^4 - T_e^4)}{\frac{1 - \epsilon_t}{\epsilon_t} + \frac{1}{F_{\text{te}}}} + h \times S_t \times (T_t - T_{\text{air}}) = 0$

Application numérique : $F_{\text{tc}} = 1 - \frac{2,5}{\sqrt{2,5^2 + 1^2}} = 0,07$ et $F_{\text{te}} = 1 - 0,07 = 0,93$

L'équation se réduit à : $4,668 \times 10^{-8} \times T_t^4 + 30 \times T_t - 8123 = 0$

Par approche ou itérations, on trouve $T_t = 263,29 \text{ K} = -9,85^\circ\text{C}$. L'erreur est cette fois acceptable, de l'ordre de la précision du capteur.

Protéger la sonde de température du rayonnement des surfaces environnantes est donc essentiel lorsque l'on souhaite mesurer une température d'air. En pratique, le conduit d'air neuf est isolé afin d'éviter la condensation de l'humidité de l'air ambiant sur la surface extérieure. La température du conduit étant alors proche de celle de l'air qu'il canalise, le tube de protection devient donc superfétatoire.

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 la réhabilitation de la prison Saint-Paul – Saint-Joseph à Lyon et en particulier sur la transformation de l'îlot Saint-Paul en campus universitaire. Ce nouveau centre universitaire permet d'accueillir depuis la rentrée 2015, 5 000 étudiants sur une surface de 35 000 m².

Le sujet comportait **5 parties indépendantes** :

Partie 1 – Etude mécanique d'une poutre sous-tendue de la verrière ouest (4 points)

Partie 2 – Etude de la reconnaissance des sols et des fondations des poteaux de la verrière ouest (3 points)

Partie 3 – Etude de la présence de la nappe alluviale dans les sols (3 points)

Partie 4 – Etude de la ventilation : mesure de débit aéraulique (5 points)

Partie 5 – Etude de la ventilation : récupération d'énergie et mesure de température (5 points)

La **partie 1** portait sur l'étude mécanique d'une poutre sous-tendue. Cette partie a été traitée par 75% des candidats.

Globalement, les résultats obtenus sont tous juste passables. Quelques excellentes copies ont traité correctement la quasi-totalité de cette partie.

La résolution mécanique d'une poutre en flexion 4 points a été traitée par une large majorité des candidats. Il est cependant regrettable de relever autant d'erreurs et de constater que des candidats ont passé beaucoup de temps pour résoudre un exercice aussi basique. Très peu de candidats ont su démontrer l'expression de la contrainte normale dans une poutre en flexion. La détermination de la hauteur de la poutre est fautive pour un grand nombre de candidats en raison d'un manque de rigueur dans le développement des calculs. Enfin l'utilisation de la méthode des forces pour résoudre un système hyperstatique en pratiquant une coupure dans une barre semble inconnue ou très mal maîtrisée chez la majorité des candidats.

Nous conseillons vivement aux candidats de travailler les bases de la résolution mécanique des systèmes de poutres et de répéter les exercices aussi souvent que possible afin de gagner en efficacité lors du tracé des diagrammes des efforts internes.

La **partie 2** portait sur la reconnaissance des sols et des fondations de poteaux. Cette partie a été traitée par 43% des candidats.

Globalement, les résultats obtenus sont faibles.

La plupart des candidats avait connaissance de l'essai pressiométrique mais n'ont pas toujours su expliquer les différentes phases de l'essai et les caractéristiques de sol mesurées au cours de ces phases. La suite de cette partie avait pour objectif d'évaluer leurs connaissances en mécanique des milieux continus et leur degré d'aisance avec l'outil mathématique. Très peu de candidats ont essayé d'aborder le développement de la loi de Hooke en coordonnées cylindriques. L'état de contraintes dans un sol et les critères de plasticité des sols simples ne sont pas des notions connues.

Enfin cette partie théorique se terminait par une question très abordable d'application de l'ancienne méthode de calcul de la résistance de pointe des pieux au DTU 13.2. Une large majorité de candidat s'est essayée à la question mais avec plus ou moins de réussite.

La **partie 3** portait sur l'influence de la nappe alluviale dans les sols. Cette partie a été traitée par 45% des candidats.

Globalement, les résultats obtenus sont très faibles alors que quelques candidats sont parvenus à rendre une copie presque parfaite.

Cette partie avait pour but de tester les candidats sur leur niveau de connaissances en mécanique des sols. Perméabilité, porosité et indice des vides sont des notions qui ont été trop souvent

confondues. Il est important que les candidats se familiarisent avec les caractéristiques des sols et les essais permettant de les évaluer.

Très peu de candidats ont réussi à établir l'expression du débit de pompage à partir de la loi de Darcy, l'outil mathématique étant de nouveau insuffisamment maîtrisé, alors que la plupart des candidats sont parvenus à faire l'application numérique. Les relations entre contraintes totales, effectives et pressions interstitielles sont bien connues mais beaucoup d'erreurs se sont produites lors du passage entre contraintes verticales et contraintes horizontales. Le calcul du tassement à l'aide du modèle du Terzaghi a été assez bien effectué. Il est néanmoins dommage que les candidats ne parviennent pas à prendre un peu de recul vis-à-vis de ce calcul et que les notions de tassements instantanés, différés, différentiels... ne soient évoquées que dans un nombre très limité de copies.

Les **deux dernières parties** concernaient l'étude de la ventilation double flux de la rotonde centrale. La **partie 4** visait principalement des connaissances de base en mécanique des fluides et la **partie 5** des connaissances en énergétique et thermique.

Les résultats sont particulièrement faibles : ces parties ont été négligées dans plus de la moitié des copies et à peine 5% des candidats ont obtenu une moyenne supérieure à 4/10. Cela est d'autant plus regrettable que ces deux parties représentaient la moitié de l'épreuve et qu'elles ne comportaient aucune difficulté majeure :

- Le niveau mathématique requis se limitait au calcul d'intégrales simples.
- Les domaines abordés restaient classiques (mesures aérodynamiques en gaine, récupération et consommation d'énergie, bilan thermique, flux radiatif simplifié, ...) et les savoirs nécessaires étaient généralement fournis.
- Aucune question ne demandait un développement fastidieux ou nécessitait des données manquantes, des hypothèses laissées à l'initiative du candidat.

Le jury constate que la majorité des candidats ayant composé peinent à manipuler des outils mathématiques fondamentaux, notamment le calcul intégral.

Un nombre non négligeable de copies présentait des erreurs de développement inquiétantes ou des résultats extravagants. A titre d'exemples :

- Confondre périmètre (m) et section (m^2) d'un conduit cylindrique en écrivant $S = \pi D$.
- Évaluer les coûts d'exploitation annuels d'une ventilation destinée à 200 personnes à plusieurs millions voire milliards d'euros.

Même si un candidat n'est pas expert dans les domaines concernés, le jury attend qu'il fasse au moins preuve de logique et de bon sens.

Conseils du jury :

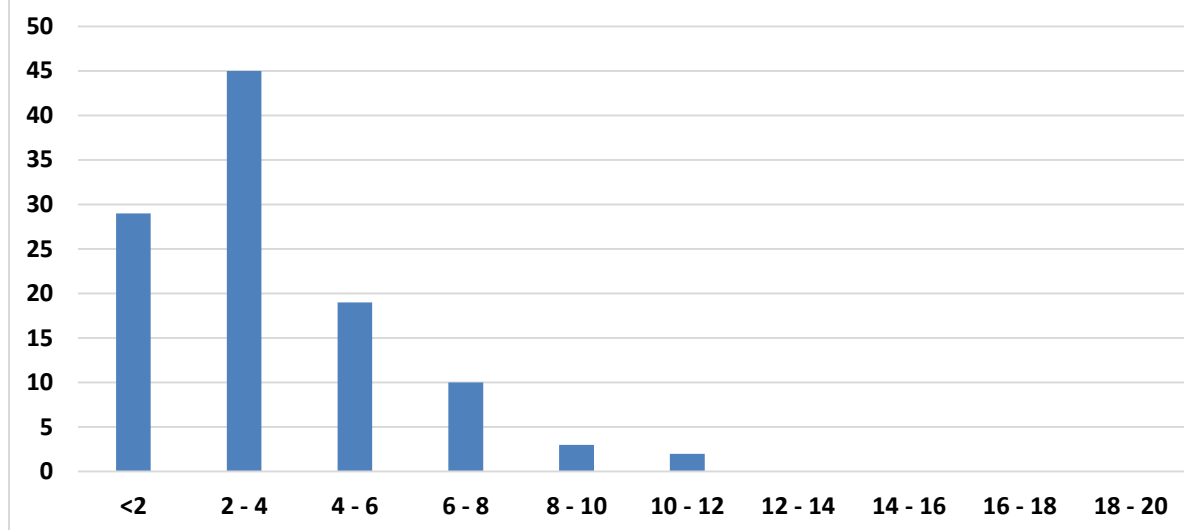
A l'issue de la correction de l'épreuve et au vu des résultats, le jury rappelle aux futurs candidats qu'il est important :

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

Résultats :

108 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 3,5/20, avec un écart-type de 2,3, la meilleure note est 10,1, la plus faible est 0,1.

Répartition notes épreuve admission 2



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

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

PARTIE 1 – CHOIX TECHNIQUES

Q1

Le joint de dilatation permet la libre déformation des éléments en béton.
 Sur la vue en plan, on positionne ce joint tous les 20m environ. C'est le cas sur le projet en question. On peut observer que le joint contourne le bassin de la zone rizière de façon à ne pas avoir à gérer les problèmes d'étanchéité sur cette zone.
 En élévation, le joint de dilatation se trouve sur toute la hauteur du bâtiment y compris en infrastructure car le sous-sol est partiel et est donc soumis au risque de dilatation thermique par le biais de la toiture terrasse du sous-sol.

Q2

Au niveau de la réalisation des murs périphériques mitoyens plusieurs solutions techniques existent, il s'agissait de décrire 3 méthodes différentes en détaillant les avantages et inconvénient de chaque méthode.

	Avantages	Inconvénients
Mur banché 1 face	Mise en œuvre utilisant le matériel déjà employé sur le chantier Technique simple	Force de poussée sur le mitoyen existant Utilisation de la grue
Prémur	Rapidité d'exécution Ne s'appuie pas sur les murs existants	Prix Mise en œuvre délicate et différente du reste du chantier
Préfabrication toute épaisseur	Rapidité de mise en œuvre Qualité du parement (même si cela ne nous intéresse pas vraiment ici)	Très lourd et risque de surdimensionner la grue. Prix
Blocs à bancher	Manuportable – pas d'utilisation de moyen de levage	Résistance Temps de mise en œuvre Aspect

Q3

Parking 69 places – d'après l'extrait de l'arrêté du 9/05/2006 fourni, on peut utiliser une ventilation naturelle car nous n'avons qu'un seul niveau de sous-sol.
 Les ouvertures d'amenées d'air sont en partie basse et les évacuations sont en partie haute. Il s'agit de vérifier que la surface de ces ventilations est supérieure à $12 \text{ dm}^3/\text{véhicule}$, soit $8,28\text{m}^2$
 La distance maxi entre VB et VH est de 75 m
 La largeur de l'ouverture doit être inférieure à 2 fois la hauteur
 Cette ventilation doit être constituée de matériaux Mo SF14h et elles peuvent être installée en façade sous certaines conditions
 Sur le plan du sous-sol, on peut repérer une zone d'extraction et une zone d'amenée d'air qui représentent une surface insuffisante, il faut donc trouver d'autres positionnements.

Q4

Les poutres ont une portée de 12,6m
 D'après l'annexe 5, pour une poutre isostatique, on peut déterminer la hauteur minimum à respecter :

Béton armé	Construction métallique	Béton précontraint
$h \geq 1,26 \text{ m}$	$h \geq 0,63 \text{ à } 0,52 \text{ m}$	$h \geq 0,84\text{m}$

On constate que le plus intéressant en termes de hauteur est la construction métallique.

Q5

On constate sur le plan d'exécution que la dalle est réalisée à l'aide d'une dalle alvéolaire d'une portée de 12,6 m. C'est en effet le seul système envisageable sur une telle portée. Ce système de dalle nécessite la mise en œuvre d'un faux plafond pour dissimuler les joints apparents en sous face de la dalle.

Q6

Les murs du local technique n'apparaissent que sur les plans de RDC. Ils jouent le rôle de coupe-feu et de protection face aux risques d'effraction.

Ces murs sont non porteurs pour 2 raisons :

- Ils ne sont présents que sur le plan du RDC
- Ils sont inutiles pour la reprise des dalles alvéolaires de portée 12,6 m

Il est donc indispensable de désolidariser ces éléments des dalles afin de ne pas ajouter un point d'appui perturbateur et de ne pas entraver leur bon fonctionnement. On peut par exemple préconiser l'utilisation de blocs d'agglomérés de béton, montés après les dalles du PH RDC en laissant un espace de mouvement possible en tête de mur.

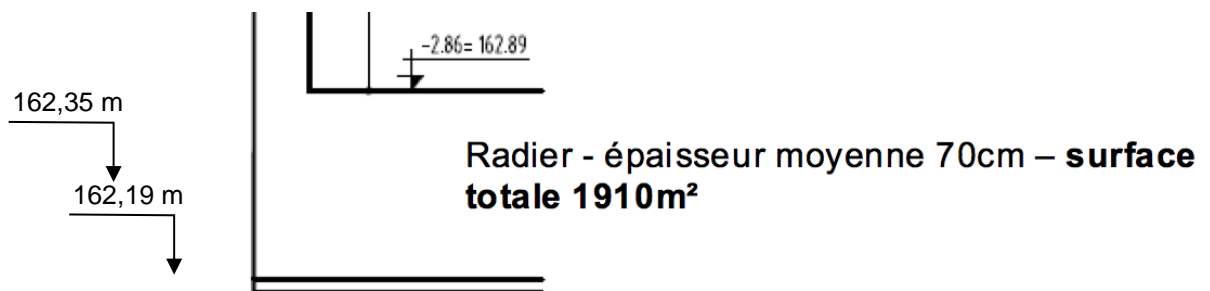
Q7

- En phase de réalisation, on doit prévoir un système de pompage de la nappe phréatique, rabattement de nappe utile pour la réalisation d'une partie au moins de l'infrastructure et permettre un « travail au sec ». Outre le risque d'inondation, on doit également se prémunir contre le risque de soulèvement du bâti dû à la poussée hydrostatique.
- En phase d'exploitation, il faut prévoir un système de cuvelage et éventuellement de contre cuvelage. Ici un système de cuvelage de type « Volclay » a été mis en œuvre. Une autre solution consisterait à mettre en place un système de pompage permanent...cela serait peu économique à long terme. Il faudra également intégrer le traitement des joints de dilatation.

Q8

L'étude porte sur l'équilibrage de la structure en phase de réalisation. Celle-ci est soumise à son propre poids qui s'oppose à la poussée d'Archimède. Il s'agit d'étudier cet équilibre sous la combinaison de charge aux ELU/EQU définie par l'Eurocode : $0,9G + 1,5Q$

où G est la charge permanente de poids propre et Q la poussée d'Archimède.



$$G = 0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 25 \text{ kN}/\text{m}^3 = 17,5 \text{ kN}/\text{m}^2$$

$$Q = 0,16 \text{ m} \times 1\text{T}/\text{m}^3 \times 9,81 \text{ kN}/\text{T} = 1,57 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Avec les pondérations de l'eurocode EC0 :

$$0,9 G = 15,75 \text{ kN}/\text{m}^2 > 1,5Q = 2,355 \text{ kN}/\text{m}^2$$

On peut conclure que la structure est bien stable.

Q9

Le volume apporté par les verticaux est de : poteaux 22m^3 et voiles 162 m^3 soit un poids de **4600 kN**

Le poids du radier vaut $0,7 \times 1910 \times 25 = \mathbf{33425 \text{ kN}}$

Au total le poids surfacique est de $19,91 \text{ kN}/\text{m}^2$

La hauteur de la nappe phréatique ne doit pas dépasser : $z_{\text{lim}} \leq 19,91 \times 0,9 / (9,81 \times 1,5) = \mathbf{1,22 \text{ m}}$

On en déduit une altitude limite à ne pas dépasser de **163,41 m**

Q10

Si l'altitude de la nappe phréatique dépasse cette altitude limite, on peut soit prévoir de pomper l'eau de la nappe de façon à diminuer cette altitude, soit inonder le sous-sol de façon à équilibrer la charge de soulèvement.

PARTIE 2 – ETUDE DE PRIX ET METHODES

Q11

L'étude porte sur l'étude de prix de la solution 2, soit Talutage et voile banché. On s'attachera dans l'objectif d'effectuer la comparaison, de calculer le déboursé en €/m.

L'altitude 0,00 m projet = 165,75 m NGF

Le voile à étudier à une épaisseur de 25 cm et une hauteur de 3,64m (2,86 + 0,78)

	Déboursés unitaires	TU ou Qté unitaire	Déboursés en €/m
MO Bétonnage	35€/h	$0,7 \times 0,25 \times 3,64 = 0,637$ h/m	22,30
MO Aciers HA	35€/h	$0,025 \times 16 \times 0,25 \times 3,64 = 0,364$ h/m	12,74
MO Aciers TS	35€/h	$10 \times 3,64 \times 0,25 \times 0,04 = 1,456$ h/m	50,96
MO Aciers de reprise	35€/h	0,4 h/m	14,00
MO Reprise finition	35€/h	$0,05 \times 3,64 = 0,182$ h/m	6,37
MO Coffrage	35€/h	$0,3 \times 2$ faces = 0,6 h/m	21,00
Mtx Aciers HA	2 €/kg	$1,03 \times 16 \times 3,64 \times 0,25 = 15,014$ kg/m	30,08
Mtx Acier TS	1,40 €/kg	$1,03 \times 10 \times 3,64 = 37,49$ kg/m	52,49
Mtx Acier de reprise	7,00 €/m	2 dalles de reprise	14,00
Mtx Béton	$(98 + 100/9) = 109,11$ €/m ³	$0,25 \times 3,64$ m ²	99,29
M Banche	20 €/m ²	Selon calcul d'amortissement	11,07

On loue 2 faces X 16 m X 2,8 m + 2 faces X 16 m X 1 m = 121,6 m²

Et cela pour 1,5 mois pour réaliser 1200 m² donc $121,6 \times 1,5/1200 \times 3,64 = 0,553$ m² coffré / m²

Talutage sur une hauteur de 2,86 m	4,5 €/m ³	$2,86 \times (1,5+2,86/2) = 8,38$ m ³ /m	37,71 €/m
Remblaiement compacté	5 €/m ³	$2,86 \times (1,5+2,86/2) = 8,38$ m ³ /m	41,90 €/m

Au total on obtient un déboursé sec de **413,91 €/m**

On constate que cette solution est la plus économique

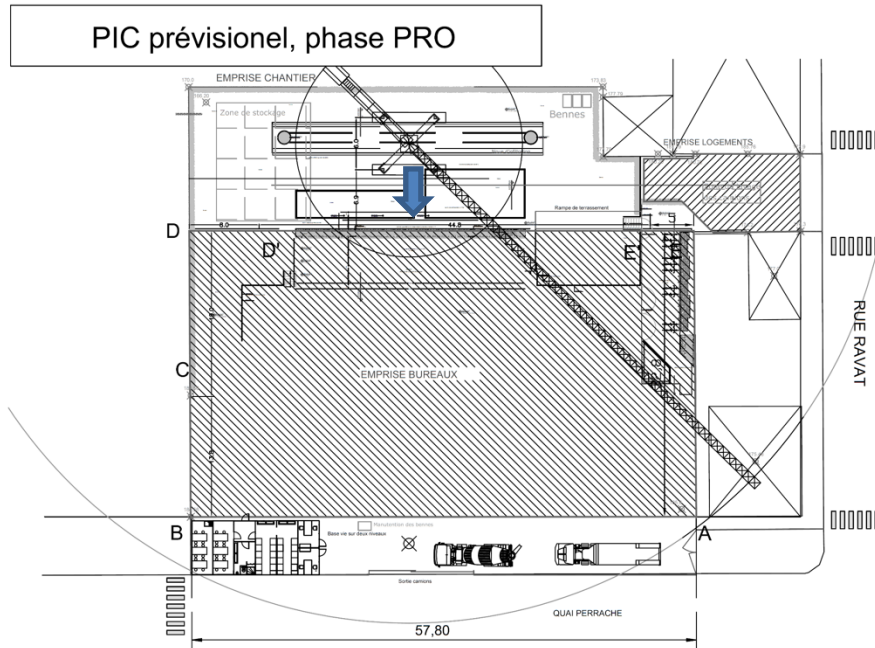
- Par rapport à la solution 1, la différence de déboursé est de 90,65€/m soit une économie de 18%
- Par rapport à la solution 3, la différence de déboursé est de 819,88 €/m soit une économie de 66%

Il reste à vérifier les conséquences de ces choix sur les frais de chantier et les autres frais liés à l'opération. Il serait également intéressant de comparer les durées d'exécution de chaque solution ainsi que les implications sur l'installation de chantier.

Q12

Si l'entreprise opte pour la réalisation de l'infrastructure à l'aide de parois berlinoises, le surcoût par rapport à la solution 2 est de 819,88 €/m soit une augmentation de presque 200%. Outre le fait que la technique de la paroi berlinoise est déjà préconisée sur une partie du chantier, la longueur du mur impacté par cette variante est de 45m ce qui représente un surcoût de 36 895€. Pour un budget de plusieurs millions, ce surcoût n'est pas si important qu'il n'y paraît au premier abord.

Par rapport au plan d'installation de chantier, l'absence de talus engendré par l'utilisation de la paroi berlinoise permettrait de rapprocher la grue de l'ouvrage par rapport au PIC prévisionnel. Cela pourrait représenter une économie intéressante en diminuant la flèche de la grue.



Le choix de la paroi berlinoise permet également de limiter le terrassement et par la même le stockage sur le chantier ou l'évacuation du déblai. Cette étape d'évacuation et de stockage est une contrainte non négligeable sur un chantier en ville.

Q13

Les critères à prendre en compte sont :

- La charge maximum à lever en bout de flèche
- La valeur de la flèche
- Et la hauteur sous crochet

On va dans un premier temps déterminer les valeurs de dimensionnement nécessaires

- Il s'agit donc de déterminer la charge la plus lourde à soulever. Grâce aux documents fournis, on voit que les dalles alvéolaires sont les plus lourdes : 5,55T et son éloignement par rapport à la grue est de 28m
- Pour la flèche et la hauteur sous crochet, on trouve :
 - Pour le PIC prévisionnel : flèche 54 m et HSC = 26 + 2 + 8 = 36 m
 - Pour le PIC Entreprise : flèche 37 m et HSC = 29,8 + 2 + 8 = 40 m

Pour les différentes grues proposées :

Grue	PIC Prévisionnel	PIC Entreprise
MCT 78	Capacité de charge insuffisante	Capacité de charge insuffisante
MD509M20	Convient	Convient mais surdimensionnée
MDT189	Capacité de charge insuffisante	La capacité de charge peut être suffisante à 28m
MDT259J10	Capacité de charge insuffisante pour la flèche nécessaire	Convient
MDT319	Capacité de charge insuffisante	Convient

3 solutions pourraient convenir au PIC entreprise et une seule au PIC Prévisionnel.

PARTIE 3 – APPROCHE ENERGETIQUE

Q14

Le coefficient de transmission surfacique des parois opaques situées sur les façades Est et Ouest est obtenu par :

$$U_p = U_c + \sum_i (\psi_i / E_i) + n \cdot \chi_j$$

Avec :

- $U_c = 1 / R$ et $R = 0,17 + (0,15/0,035 + 0,015 / 0,13) = 4,57 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- $\sum_j (\psi_j / E_j) = 0,07 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
 - $\chi_j = 0$
- Nous obtenons $U_p = 1 / 4,57 + 0,07 = 0,289 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Q15 - Calcul de la déperdition thermique statique pour l'étage

Façade	surfaces	Coefficient de conductivité W/(m².K)	Déperdition en W/K
Ouest + Est	Parties opaques : (60,20+57,90) x 3,30 = 389,73 - 152,82 = 236,91 m²	0,289	68,47
	Parties vitrées : 152,82 m²	1,6	244,51
Nord	22,70 x 3,30 = 74,91 m²	0,220	16,48
Sud	Paroi mitoyenne d'un bâtiment chauffé		0
TOTAL			329,46

Soit une déperdition totale $D = 329,46 \times (19 - (-10)) = 9\,554 \text{ W}$

La valeur de la déperdition statique pour l'ensemble du bâtiment est utile pour :

- une simulation thermique dynamique
- le calcul de la puissance maximale du système de chauffage (en ajoutant les déperditions dynamiques)

Q16 – Pour calculer les consommations d'énergie réelles du besoin en chauffage du bâtiment pour une période donnée, il convient de prendre en compte :

- les variations climatiques quotidiennes et annuelles, par une simulation thermique dynamique
- les pertes liées aux ponts thermiques linéiques
- les pertes par renouvellement d'air
- les pertes dues aux défauts d'étanchéité à l'air de l'enveloppe
- les différents apports : solaires, éclairage, occupants, équipements (informatique notamment)
- les rendements et efficacités des différents organes de production, distribution et émission de chaleur

Q17 – calcul de l'estimation de consommation annuelle de chauffage pour l'étage courant.

Calcul du besoin en chauffage avec $B = \frac{D-A}{\Delta T}$, avec :

- $D = 9\,554 + 5\,300 = 14\,854 \text{ W}$
- $A = 14\,854 \times 0,35 = 5\,199 \text{ W}$

$$B = \frac{14\,854 - 5\,199}{19 - (-10)} = 333 \text{ W/K}$$

Pour la période de chauffe les DJU sont de 219,6 + 279,5 + 320,7 + 450,5 + 421,2 + 307,1 + 173,4, soit 2 172 DJU pour 212 jours.

Pour la plage horaire 8h/20h : $DJ_{19} = 2\,172 + (19-18) \times 212 = 2\,384 \text{ °C}\times\text{J}$

Pour la plage horaire 20h/8h : $DJ_{16} = 2\,172 + (16-18) \times 212 = 1\,748 \text{ °C}\times\text{J}$

L'énergie consommée est obtenue par :

$$E_{conso} = \frac{B \times DJ \times 24}{\text{rendement}} = \frac{333 \times (2\,384 \times \frac{12h}{24h} \times \frac{5 \text{ jours}}{7} + 1\,748 \times (\frac{12h}{24h} \times \frac{5 \text{ jours}}{7} + \frac{2 \text{ jours}}{7})) \times 24}{300\%} = 5\,261 \text{ kWh}$$

Q18 – Label E+/C-

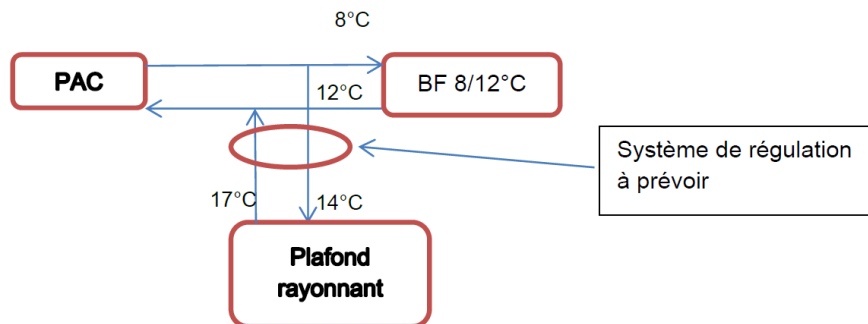
La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixe l'objectif d'une réglementation ambitieuse pour les bâtiments neufs avec la prise en compte de l'émission de gaz à effet de serre (GES) tout au long du cycle de vie, une faible empreinte carbone et la généralisation des bâtiments à énergie positive.

Afin de préparer cette future réglementation, une expérimentation nationale a été lancée en novembre 2016, avec la création du label E+ C – pour appuyer la démarche :

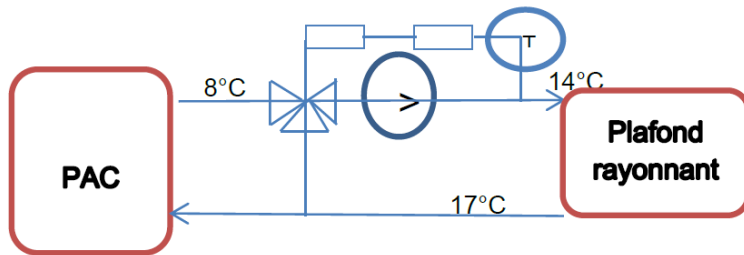
- Le volet E+ pour Energie positive (suivant un bilan Bepos) avec 4 niveaux de performance
- Le volet C – pour « moins de Carbone », avec 2 niveaux de performance

L'expérimentation (accompagnée ou pas d'une démarche de labellisation) est ouverte à tous les maîtres d'ouvrages volontaires, pour la construction de bâtiments neufs d'habitation et de bureaux.

- Q19** - Le risque est un risque de condensation au niveau des panneaux rayonnants. La température à la surface ne doit pas être inférieure à la température du point de rosée afin d'éviter la condensation. L'air ambiant est estimé à 26°C et 40% d'humidité relative. Sur le diagramme de l'air humide, on trouve alors un point de rosée entre 11 et 12°C. Or, notre système de plafond rayonnant a un régime de 14/17°C...ce qui laisse une petite marge de sécurité.
- Q20** - La surface du local est de 276.79m², la surface minimale est de 8m²/pers.*32pers. soit 252m². Le minimum est respecté.
- Q21** - La surface de vitrage est de 26.2*2.70=70.74m²
 Les charges internes et externes valent donc :
 75W/pers*32pers.+8W/m²*276.79m²+100W/poste*32postes+500W/m²de vitrage*70.74m²*0.2
 soit 14.89 kW
- Q22** - La température moyenne de l'eau est de (14+17)/2=15.5°C
 Donc deltaT=26-15.5=10.5°C
 Si on choisit des panneaux de 600*600, la puissance d'un panneau est de 39W
 Il faut donc 14888/39=382 panneaux donc une surface de 137.43 m²
 La surface disponible est de : surf fx plfd x 75 % = 131,8 m² x 75 % = 98,9 m²
 On ne peut donc pas rafraichir uniquement en utilisant les plafonds rayonnants, il faut prévoir un système complémentaire.
- Q23** – Surface d'un panneau : 0,60x0,60 = 0,36 m²
 Nbre maxi de panneaux mis en œuvre : 100 m² / 0,36 m² = 277 panneaux
 Puissance apportée par 277 panneaux : 277 x 39 W = 10 803 W
 Le déficit de puissance est donc de l'ordre de 14,888-10,803 = 4 kW, à apporter par la BF
- Q24** - La difficulté est que la PAC alimentera les plafonds rayonnants et la batterie froide. La BF avec une température à 8°C et le plafond avec une température à 14°C.



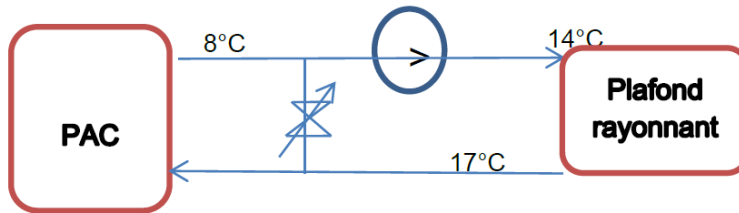
Deux systèmes de régulation sont possibles :



Système piloté-régulé en température :

Avantage : température fixe

Inconvénient : prix



Système avec vanne de mélange fixe

Avantage = économique

Inconvénient = risque que la température descende sous la valeur entraînant de la condensation

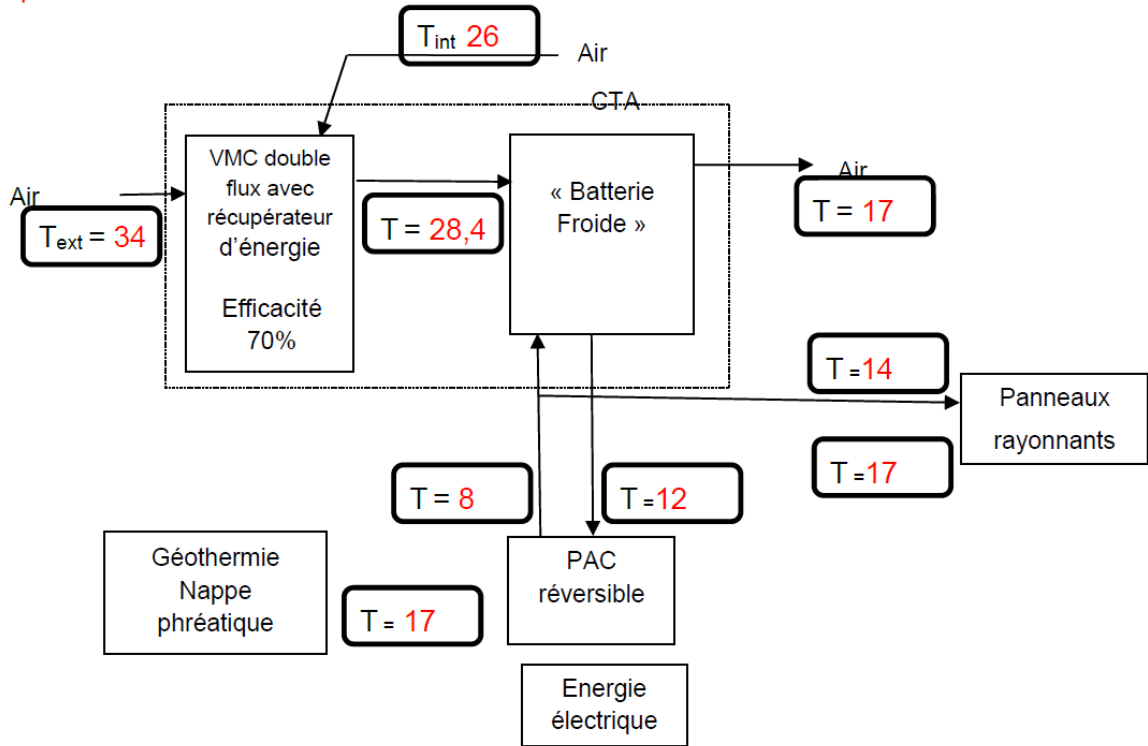
Q25 - Le débit minimum peut être estimé au maximum des 2 exigences en fonction soit du nombre de personnes, soit de la surface. Il s'agit de bureaux dont la destination est une salle de dessin
 $30\text{m}^3/\text{h}/\text{personnes} \times 32 \text{ pers} = 960\text{m}^3/\text{h}$
 $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2 \times 276,79\text{m}^2 = 830\text{m}^3/\text{h}$
 On retient donc $960\text{m}^3/\text{h}$

Q26 – L'échange thermique se fait entre l'air soufflé et l'air repris. La puissance à considérer est donc la puissance sensible et la puissance latente. L'air est repris à 26°C .
 La puissance s'écrit : $P = 0,34 \times 960 \text{ m}^3/\text{h} \times \Delta T = 4 \text{ kW}$, soit $\Delta T = 12,25^\circ\text{C}$ d'où $T_{\text{souffl}} = 13,75^\circ\text{C}$
 Si on ne considère que la puissance sensible, $T_{\text{souffl}} = 28,4 - 12,25 = 16,15^\circ\text{C}$
 Cette température de soufflage plutôt froide risque de générer de l'inconfort auprès des occupants, surtout si les bouches de soufflages sont trop directives.

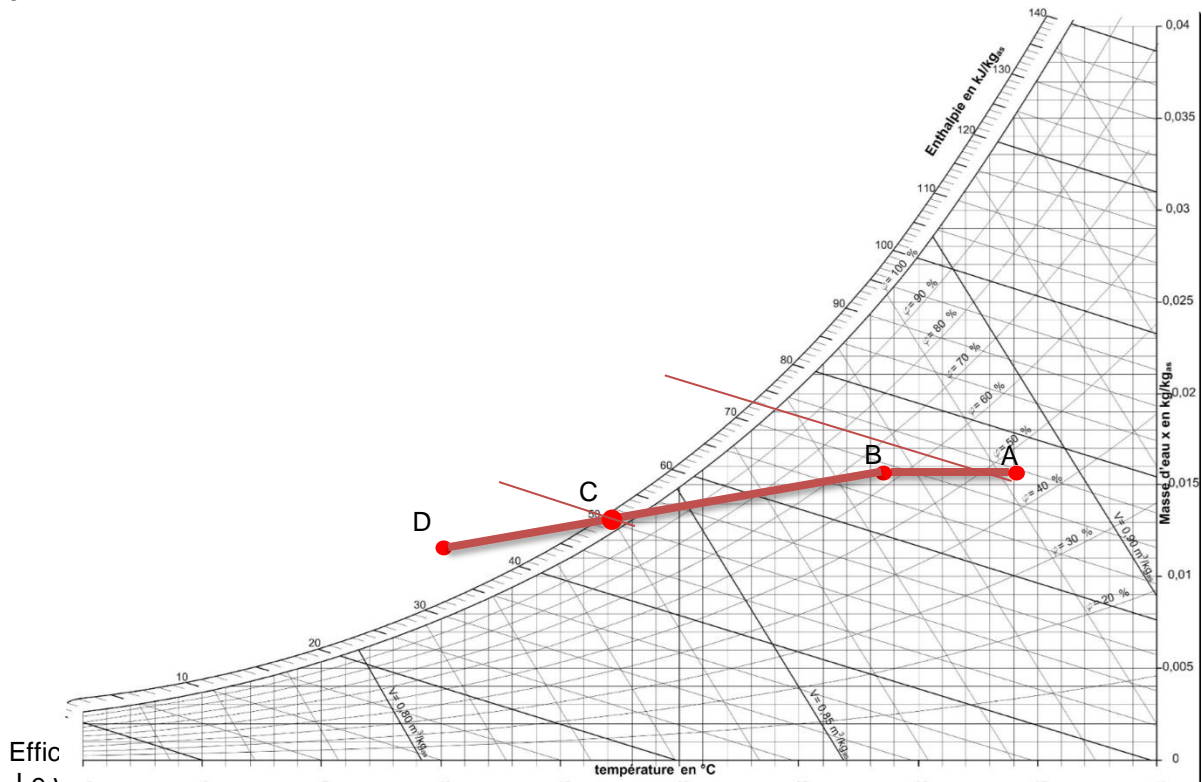
Q27 – Efficacité VMC = $(T_{\text{ext}} - T_{\text{sortie}}) / (T_{\text{ext}} - T_{\text{amb}}) = (34 - T_{\text{sortie}}) / (34 - 26) = 70 \%$

D'où $T_{\text{sortie}} = 28,4^\circ\text{C}$

Températures en °C :



Q28



Puissance totale = $Q_m \times \Delta H = ((1300 \text{ m}^3/\text{h} / 0,833 \text{ m}^3/\text{kgas}) / 3600 \text{ s/h}) \times (65 - 41) = 0,433 \text{ kg/s} \times 20 \text{ KJ/kgas} = 10,4 \text{ kW}$

Q29

L'ensemble fonctionne correctement puisque la puissance nécessaire à la CTA devait être de 4kW pour compenser le déficit des panneaux rayonnants et nous obtenons une puissance de 10kW. On peut donc diminuer la quantité de panneaux rayonnants.

Pour un bon fonctionnement à long terme, les performances du matériel peuvent diminuer avec le temps, il est donc préférable de surdimensionner les éléments préconisés.

PARTIE 4 - POUTRES MIXTES

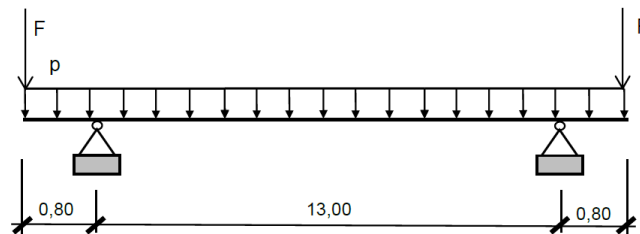
Q30 Fonctionnement mécanique poutres mixtes acier-béton :

L'analyse simple du fléchissement du plancher, sous charges gravitaires descendantes, met en évidence que la poutrelle métallique située en partie inférieure a pour rôle principal de reprendre les efforts de traction tandis que la dalle BA située en partie supérieure devra reprendre les efforts de compression.

Les goujons connecteurs doivent permettre d'avoir un fonctionnement « monolithique » entre ces deux parties, en reprenant les efforts de cisaillement longitudinal.

L'association des deux composants permet d'optimiser la résistance de l'ensemble et de diminuer la hauteur totale de la section eu égard à la portée assez importante rencontrée sur ce projet.

Q31 Fonctionnement mécanique poutres mixtes acier-béton :



Les appuis sont matérialisés par les poteaux BA 40x40, distants de 13,00 m entre axes, les liaisons peuvent être considérées comme des articulations.

La charge uniformément répartie p comprend :

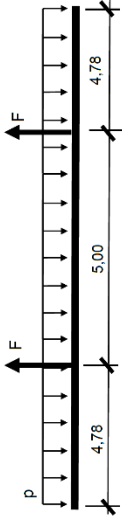
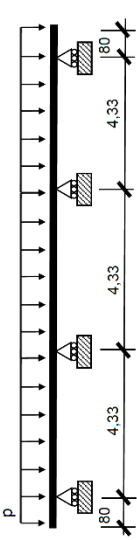
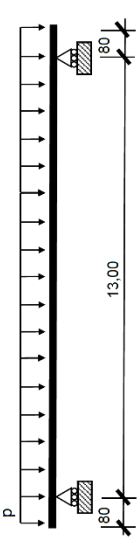
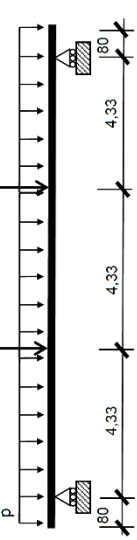
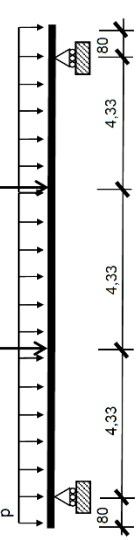
- La charge d'exploitation
- Les charges permanentes : poids du plancher, poids de la poutrelle HEB, poids du faux plafond

Les forces ponctuelles F comprennent les charges apportées par le poids des façades.

Il conviendrait aussi de prendre en compte :

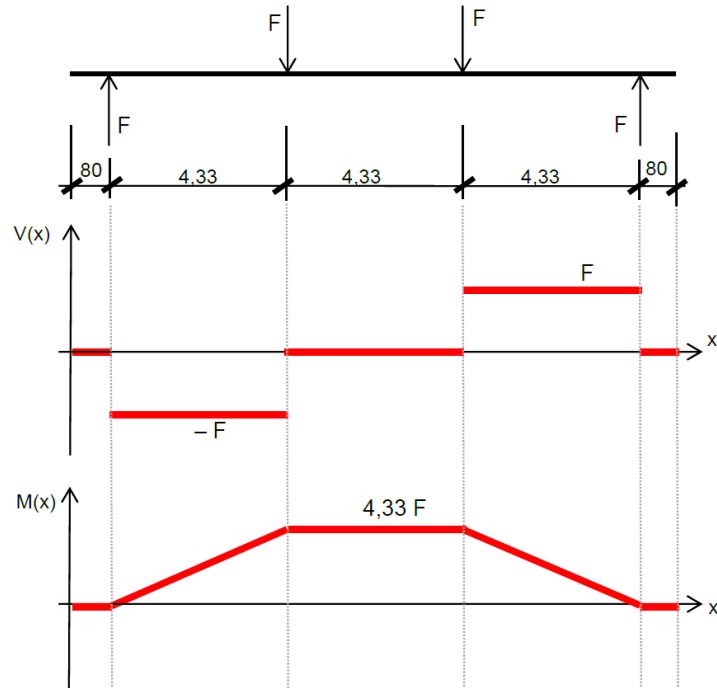
- Les charges horizontales dues au vent et transmises par les façades
- Les charges provisoires de chantier
- Les charges résultantes de conditions accidentelles : incendie, séisme

Q32 voir page suivante

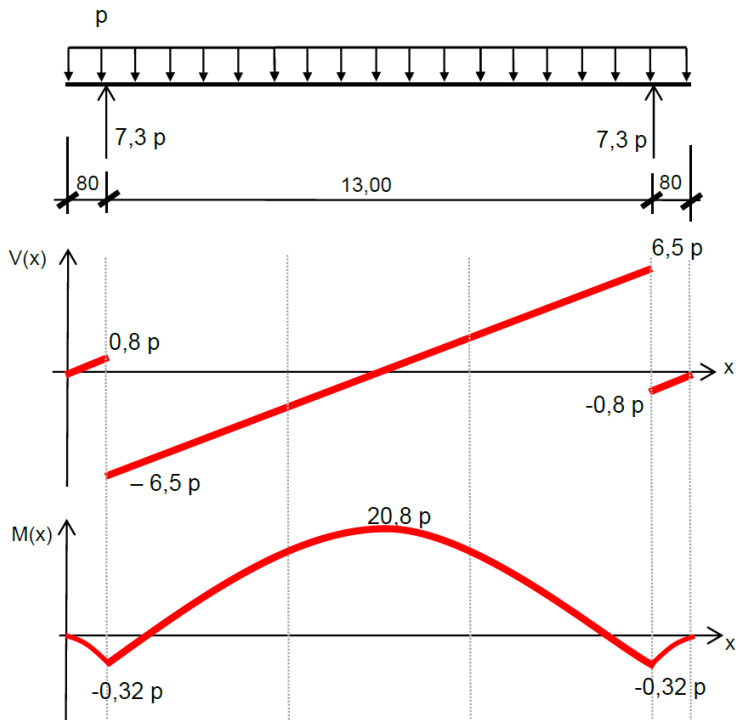
Cas d'étude	Schéma mécanique retenu	Actions mécaniques à prendre en compte
Manutention poutre acier pour mise en place sur poteaux		<p>p = poids propre de la poutre</p> <p>F = effort de soulèvement (hypothèse : palonnier de longueur 5,00m)</p>
Bétonnage du plancher		<p>p comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le poids propre de la poutre - Le poids propre des prédalles - Le poids du béton frais - La surcharge de chantier <p>Les appuis sont constitués par 2 poteaux et par l'étalement de la poutre</p>
Enlèvement étaie		<p>p comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le poids propre de la poutre - Le poids propre des prédalles - Le poids du béton durci - La surcharge de chantier <p>Les appuis sont constitués par 2 poteaux</p>
Etalement du plancher du niveau supérieur		<p>p inchangé</p> <p>F charge apportée par l'étalement de la poutre du plancher supérieur, comprenant le poids de la poutre et une partie du poids des prédalles et de la surcharge de chantier</p>
Ferrillage et bétonnage du plancher du niveau supérieur		<p>p inchangé</p> <p>F : en plus des charges de l'étape précédente, il convient d'ajouter le poids du béton non durci du plancher supérieur</p>

Q33 et Q34 Etudes mécaniques de 3 modèles de poutre

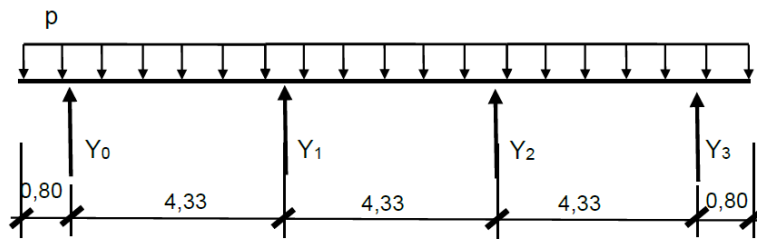
Modèle n°1 : poutre sur deux appuis soumise à deux forces ponctuelles d'intensité F



Modèle n°2 : poutre sur deux appuis soumise à une charge répartie constante d'intensité p



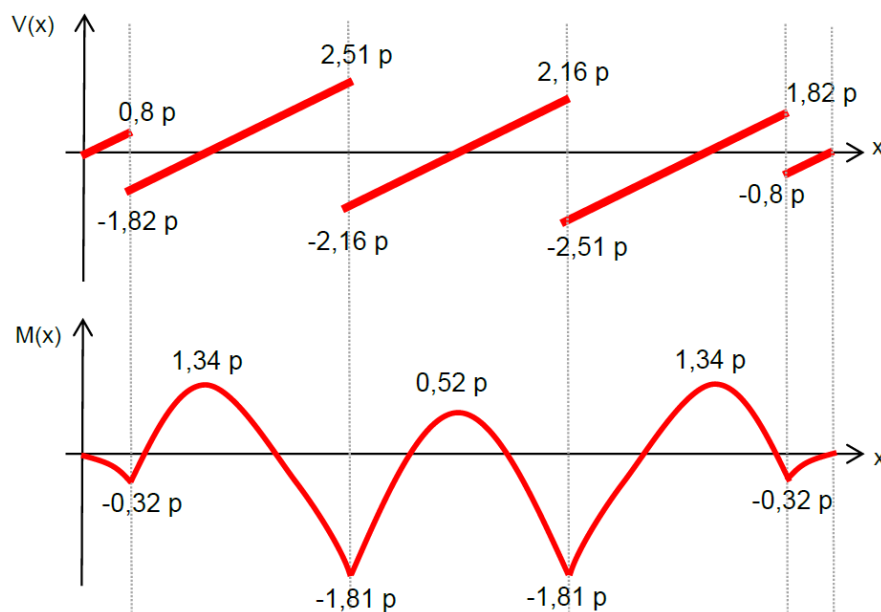
Modèle n°3 : poutre sur quatre appuis soumise à une charge répartie constante d'intensité p



L'équation des 3 moments permet d'écrire :

$$4,33 M_0 + 2 \times (4,33 + 4,33) M_1 + 4,33 M_2 = 6 \times EI \times \left(\frac{-p \times 4,33^3}{EI} \times 2 \right)$$

Avec $M_0 = M_3 = -0,32p$ et $M_1 = M_2$ il vient : $M_1 = M_2 = -1,81 p$



Q 35 – Vérification ELU d'un HEB 500 en phase de coulage du plancher

L'entraxe des HEB est de 5,40 m, les prédalles sont étayées à la moitié de leur portée.

Charges permanentes :

Prédalles : $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,05 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} = 3,375 \text{ kN/m}$

Béton frais : $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,13 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} = 8,775 \text{ kN/m}$

HEB 500 : $1,870 \text{ kN/m}$

Soit un ensemble de $14,0 \text{ kN/m}$

Surcharge de chantier : $1,00 \text{ kN/m}^2 \times 2,70 \text{ m} = 2,70 \text{ kN/m}$

Charge pondérée $1,35 G + 1,5 Q = 22,95 \text{ kN/m}$

Remarque : il était tout à fait accepté que la charge de béton frais soit considérée, à ce stade, comme une charge variable.

La poutre est étayée au $1/3$ et $2/3$ de sa portée, elle correspond donc modèle d'étude numéroté 3 dans les questions précédentes, et le moment maximal est égal (en valeur absolue) à $1,81p$.

Nous avons $M_{ED} = 1,81 \times 22,95 = 41,5 \text{ m.kN}$

Et $M_{RD} = 4 \ 815 \cdot 10^{-6} \times 275 \cdot 10^6 = 1 \ 324 \cdot 10^3 \text{ mN} = 1 \ 324 \text{ m.kN}$ (section de classe 1)

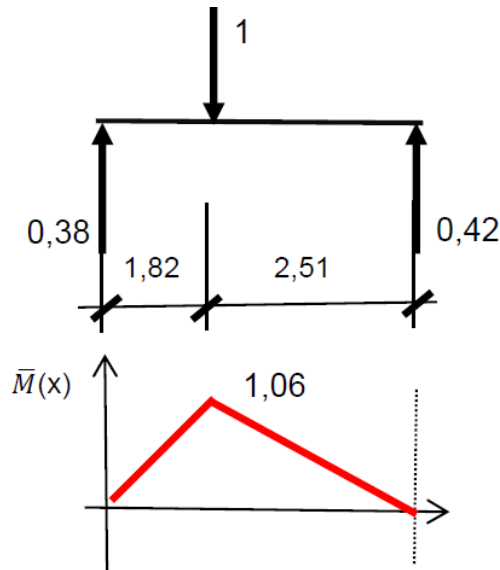
Le profil HEB 500 est donc largement vérifié à l'ELU vis-à-vis du moment fléchissant.

Q 36 – Vérification ELS d'un HEB 500 en phase de coulage

La charge ELS calculée à partir des résultats de la question précédente vaut : $16,7 \text{ kN/m}$

Calculons la flèche maximale à la verticale du moment maximal en travée à l'aide du théorème de la charge unitaire :

Système isostatique associé :



En utilisant les intégrales Mohr fournies il vient :

$$\text{Flèche} = \frac{1}{EI} \times \left(\frac{4,33 \times 1,06 \times (p \times 4,33^2 \div 8)}{3} \times \left(1 + \frac{1,82}{4,33} \times \frac{2,51}{4,33} \right) + \frac{4,33 \times 1,06 \times \left(-0,32p \times \left(1 + \frac{2,51}{4,33} \right) - 1,81p \times \left(1 + \frac{1,82}{4,33} \right) \right)}{6} \right) = \frac{2,11 \times p}{EI}$$

Soit une flèche de : 0,16 mm

Il était également acceptable d'effectuer un calcul approché en milieu de travée avec une flèche de :

$$\frac{5 \times p \times l^4}{384 \times EI} + \frac{(M_A + M_B)}{16 \times EI} = 0,34 \text{ mm} - 0,18 \text{ mm} = 0,16 \text{ mm}$$

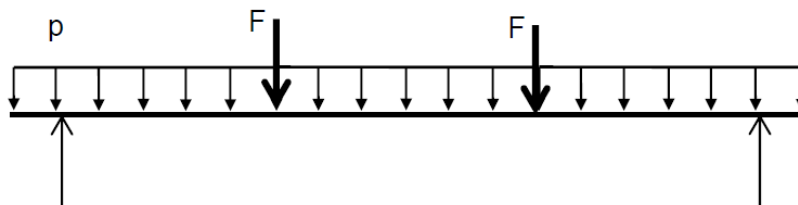
La flèche obtenue est bien inférieure aux 20 mm admissibles.

Q 37 – charge et moment ELU d'une poutre lors du coulage du plancher supérieur

La poutre étudiée supporte :

- Les charges transmises par l'étalement de la poutre du plancher supérieur, sous la forme de deux forces ponctuelles
- Les charges transmises par l'étalement des prédalles du plancher supérieur
- Le plancher du même niveau avec sa surcharge de chantier
- Son poids propre

Le schéma mécanique correspondant est le suivant :



Charges apportées par l'étalement de la poutre du plancher supérieur :

Charge répartie sur la poutre HEB du niveau supérieur

Prédalles + béton frais + HEB 500 : 14,0 kN/m

Surcharge de chantier : 2,70 kN/m

Soit 22,95 kN/m après pondération

(calculé en question 35)

L'étude du modèle mécanique numéro 3 (Q33 et Q34) permet de calculer la force ponctuelle F du schéma précédent : $F = 4,67 p = 4,67 \times 22,95 = 107,2 \text{ kN}$

Charges apportées par l'étalement des prédalles du niveau supérieur :
 1 file d'étais reprend une largeur de 2,70 m de plancher
 Prédalles + béton frais : 12,15 kN/m
 Surcharge de chantier : 2,70 kN/m
 Charge pondérée : 20,45 kN/m

Charges apportées par le plancher du niveau coulé 18 jours plus tôt dont l'étalement est enlevé
 La poutre étudiée reprend 5,40 m de largeur de plancher, soit une charge pondérée de
 20,45 kN/m x 2 = 40,90 kN/m
 Poids propre du HEB 500 : 1,87 kN/m

Charge répartie (notée p sur le schéma précédent) pondérée :
 $p = 20,45 + 40,90 + 1,87 \times 1,35 = \mathbf{63,87 \text{ kN/m}}$

La superposition des modèles n°1 et n°2 des questions 33 et 34 permet de calculer le moment maximal au centre de la poutre : $4,33 F + 20,8 p = 1\,793 \text{ m.kN}$

Q 38 – Vérification ELU de la poutre mixte

Calcul de la largeur de la table de compression à la mi-portée de la poutre :

Du fait de la présence des 2 portes à faux on peut considérer $L_e = 0,70 L_2 = 9,10 \text{ m}$

$$b_{e1} = b_{e2} = \min\left(\frac{L_e}{8}; b_i\right) = 1,14 \text{ m} \quad \text{et} \quad b_{\text{eff}} = b_o + \sum b_{ei} = 0 + 2 \times 1,14 = 2,28 \text{ m}$$

Caractéristiques du béton à 18 jours d'âge :

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}} = 0,95 \quad \text{et} \quad f_{cm}(18) = \beta_{cc}(18) \times f_{cm} = 0,95 \times 38 = 36,1 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(18) = f_{cm}(18) - 8 \text{ MPa} = 28,1 \text{ MPa} \quad \text{et} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 18,7 \text{ MPa}$$

Calcul du moment résistant plastique :

$$\text{Effort de traction dans le HEB : } N_{pl,a} = 238,6 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \times 275 \text{ MPa} = 6,562 \text{ MN}$$

$$\text{Effort de compression dans le béton : } N_{c,f} = 2,28 \text{ m} \times hc \times 0,85 \times 18,7 \text{ MPa}$$

L'équilibre des efforts permet de calculer $hc = 0,18 \text{ m}$. L'axe neutre se situe donc à la limite acier-béton.

$$\text{Il vient : } M_{pl,rd} = N_{pl,a} \times \left(\frac{0,50}{2} + 0,18 - \frac{0,18}{2}\right) = 2\,231 \text{ m.kN} > 1\,800 \text{ m.kN}$$

La section de poutre mixte est suffisante vis-à-vis du moment fléchissant en travée

Q 39 – Vérifications complémentaires pour la poutre mixte

On pouvait notamment citer :

- Vérification du moment fléchissant au droit des appuis, armatures tendues dans la dalle BA, non déversement du HEB
- Vérification à l'effort tranchant, cisaillement des goujons connecteurs
- Conditions de flèche
- Vibration du plancher
- Vérification du HEB au droit des ouvertures dans son âme, nécessaires aux passages d'éléments CVC perpendiculaires

A combiner avec les chargements rencontrés aux différentes phases : provisoires, définitives, accidentelles.

PARTIE 5 - RESISTANCE AU FEU

Q 40 – exigences de résistance au feu

Commerces : ERP type M, 350 personnes, 3° catégorie

Bureaux ERP type W, 250 personnes, 4° catégorie

Le plancher bas du niveau le plus haut est situé à plus de 8 mètres du sol et moins de 28 m

La structure devra donc être SF 1h et les planchers CF 1h

Q 41 – charge accidentelle et moment fléchissant au centre de la poutre

Charges permanentes :

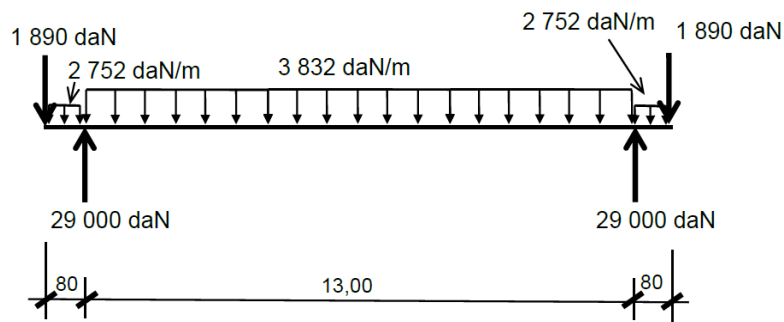
- Faux-plancher + équipements + plancher BA : $15 + 10 + 2500 \times 0,18 = 475 \text{ daN/m}^2$
Pour une largeur reprise de 5,40 m : $2 565 \text{ daN/m} + \text{ poids HEB} = 2 752 \text{ daN/m}$
- Façades : nous formulons l'hypothèse qu'elles sont portées par les planchers, les efforts horizontaux (vent) ne sont pas pris en compte.
 $100 \text{ daN/m}^2 \times 3,50 \text{ m} \times 5,40 \text{ m} = 1 890 \text{ daN}$

Charges variables :

- Cloisons + exploitation : $50 + 350 = 400 \text{ daN/m}^2 \times 5,40 \text{ m} = 2 160 \text{ daN/m}$

Combinaison accidentelle : $G + 0,5 Q$ soit $2 752 + 2 160 \times 0,5 = 3 832 \text{ daN/m}$

Schéma mécanique d'étude : pour avoir le moment fléchissant maximal en travée, on ne place pas de charge variable sur les portes à faux :



Moment fléchissant maximal en milieu de travée : $78 561 \text{ m.daN} = 785,6 \text{ m.kN}$

Q 42 – caractéristiques de l'acier après 1 heure d'incendie :

Température : $863 \text{ }^\circ\text{C}$

Facteur de réduction pour la limite d'élasticité : interpolation linéaire entre 800°C et 900°C , soit

$$k_{y,\theta} = 0,11 - \frac{(0,11 - 0,06) \times 63^\circ\text{C}}{100^\circ\text{C}} = 0,0785$$

Limite d'élasticité $f_{y,0} = 0,0785 \times 275 = 21,6 \text{ MPa}$

Q 43 – calcul du moment résistant plastique

$$T^+ = 238,6 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \times 21,6 \text{ MPa} = 515 \text{ kN} \quad \text{et} \quad y_T = 250 \text{ mm}$$

Epaisseur de béton comprimé :

$$h_u = T^+ / (b_{\text{eff}} f_c / \gamma_{M,fi,c}) = 515 \cdot 10^3 / (2,28 \times 30 \cdot 10^6 / 1,30) = 0,010 \text{ m}$$

Température du béton comprimé :

D'après le tableau D5 de l'EC4 $h_{cr} = 50 \text{ mm}$ (pour 250°C et 60 mn)

$$(h_c - h_u) = 180 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 170 \text{ mm} \geq h_{cr}$$

Le béton comprimé est donc considéré à une température inférieure à 250°C

Point d'application de l'effort de compression : $y_F \approx h + h_c - (h_u / 2) = 675 \text{ mm}$

$$\text{Calcul du moment résistant : } M_{fi,Rd+} = T^+ (y_F - y_T) = 219 \text{ m.kN}$$

Q 44 – Conclusion sur la stabilité en cas d'incendie :

$M_{fi,Rd+} = 219 \text{ m.kN} < M_{sd} = 785,6 \text{ m.kN}$, la stabilité au feu n'est donc pas assurée pour une durée de 1 heure.

Q 45 – Protection par peinture intumescente :

Principe de fonctionnement : les peintures intumescentes contiennent des éléments qui, sous l'effet de la chaleur d'un incendie, provoquent un gonflement du revêtement. La « meringue » ainsi formée peut atteindre 50 fois l'épaisseur initiale de la couche de peinture, créant une

protection passive retardant l'élévation de température (et donc l'abaissement significatif des caractéristiques de résistance) du support.

L'extrait de documentation technique fournie peut conduire aux choix suivants :

- Peinture PROMAPAIN SC4 d'épaisseur 312 μm : solution optimale
- Peinture PROMAPAIN SC3 d'épaisseur 1 845 μm : solution juste adaptée

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

Le sujet proposé portait sur la construction d'un immeuble de bureaux et commerces au RDC, R+6 avec 1 niveau de sous-sol, pour une surface de plancher de 4 895 m².

Le questionnaire se composait de 5 parties indépendantes :

- Etude 1 : étude et analyse de choix techniques
- Etude 2 : étude de prix et méthodes de construction
- Etude 3 : Approche énergétique
- Etude 4 : poutres mixtes
- Etude 5 : Résistance au feu

Le jury regrette que de trop nombreux candidats choisissent de n'aborder que les parties correspondant à leur spécialité : *structure et ouvrages* ou *thermique et énergétique*. Dans chaque étude le questionnaire est de difficulté graduelle, et chaque candidat à l'agrégation option IC, qu'il soit spécialisé ou non, doit pouvoir appréhender la problématique de chaque étude et traiter au moins une partie du questionnement. Le jury invite donc les candidats les plus spécialisés à s'ouvrir plus aux domaines connexes de l'ingénierie des constructions et à compléter leurs connaissances sur ces thèmes.

Pour la majorité des questions, en complément des résultats de calculs proprement dits, il était demandé de justifier les choix effectués, les calculs réalisés et d'analyser et commenter les résultats obtenus.

De trop nombreuses copies sont mal rédigées, que ce soit sur la forme (graphisme, qualité des schémas : proportions, cotation, clarté), ou la rigueur des calculs menés (exactitude, cohérence des unités, analyse des ordres de grandeur), ce qui semble refléter un manque de prise de recul et de hauteur dans les démarches engagées.

Enfin la syntaxe et l'orthographe sont trop souvent très perfectibles, eu égard aux attendus d'un concours de recrutement de futurs professeurs agrégés. Pour répondre aux questions « ouvertes », les candidats doivent impérativement faire preuve d'esprit de synthèse, en hiérarchisant les éléments essentiels vis-à-vis des éléments « accessoires », et en exprimant clairement leur argumentation.

Etude 1 : questions 1 à 10

Résultats : partie non traitée par 11 candidats/107, moyenne 7/20, écart type de 4,4

Cette première partie était en majorité composée de questions portant sur les techniques de construction de bâtiment assez courantes. Outre des connaissances techniques de base relatives aux joints de dilatation, méthodes de réalisation d'éléments verticaux et horizontaux, pré dimensionnement d'éléments simples, il était également demandé d'aborder un choix de ventilation des sous-sols grâce à un document normatif ainsi que l'étude de la stabilité d'ensemble du bâtiment en phase de réalisation. Les compétences essentielles sur cette partie concernaient la rédaction, l'analyse et la synthèse sur des questions ouvertes, la capacité d'utilisation de documents normatifs et la lecture de plan.

Trop peu de candidats ont su argumenter de façon structurée leur connaissance technique. Il n'y avait aucun calcul complexe dans cette première partie, y compris dans l'étude de la stabilité d'ensemble en phase de construction de l'ouvrage. En effet, celui-ci était simplement soumis à la poussée d'Archimède due à la présence de la nappe phréatique. Il est regrettable de constater des erreurs d'unités entre masse et poids pour des candidats à l'agrégation.

Etude 2 : questions 11 à 14

Résultats : partie non traitée par 35 candidats/107, moyenne 9,15/20, écart type de 5,43

L'objectif de cette seconde partie était une étude de variante entre plusieurs possibilités de réalisation du sous-sol suivant deux axes : d'une part une approche exclusivement économique et d'autre part un

raisonnement basé sur le choix de matériel nécessaire à l'exécution. Trop peu de candidats ont abordé cette partie alors que la compétence principale était de l'analyse de données (prix, temps unitaire, données fournisseurs...). L'étude de prix a souvent été traitée de façon désordonnée, avec des erreurs d'unités regrettables.

Pour le choix d'installation de chantier et en particulier le choix de la grue, il s'agissait d'exploiter les documents fournisseurs. Le peu de candidats qui ont abordé cette partie l'ont fait de façon correcte malgré un manque de clarté dans les critères de choix et les conclusions finales.

Etude 3 : questions 14 à 29

Résultats : partie non traitée par 28 candidats/107, moyenne 5,9/20, écart type de 4,44

Cette étude 3 se redivisait en 2 sous-parties : étude des déperditions (Q14 à Q18) puis l'étude du refroidissement (Q19 à Q29).

L'étude des déperditions, afin de limiter les calculs, n'était abordée que de manière partielle : 1 seul étage et déperditions statiques uniquement. En utilisant des résultats complémentaires fournis, les candidats devaient calculer une estimation de l'énergie annuelle consommée pour la partie chauffage. Enfin, la question 18 abordait les évolutions du cadre réglementaire.

Les calculs à mener n'exigeaient aucun développement mathématique, il s'agissait surtout d'exploiter les ressources réglementaires et les relations de calcul fournies. Peu de candidats semblent mener une veille réglementaire régulière. Pourtant une actualisation régulière des connaissances est indispensable pour pouvoir enseigner au sein de sections professionnalisantes telles les BTS et DUT.

Concernant l'étude du refroidissement (Q19 à 29), l'objectif était de mettre en évidence le choix d'utilisation d'une CTA avec batterie froide connectée sur une PAC alimentée par la nappe phréatique. Ce système venait compléter l'utilisation de panneaux rayonnants en été. Dans un premier temps, il s'agissait de montrer la défaillance du système de panneaux rayonnants seul, ce qui permettait dans un second temps de déterminer la température de soufflage, l'efficacité nécessaire de la batterie froide et la puissance de la CTA à mettre en place.

Là encore, la problématique était abordée de façon progressive et un non spécialiste pouvait tout à fait traiter la plupart des questions. Il est à noter qu'il est parfois complexe pour les candidats de tirer des conclusions techniques à partir de résultats de calcul. Cela dénote d'une difficulté de prise de recul et d'analyse face aux résultats obtenus.

Etude 4 : questions 30 à 39

Résultats : partie non traitée par 26 candidats/107, moyenne 6,28/20, écart type de 3,92

Cette étude proposait d'étudier le système de plancher mixte utilisé pour cet ouvrage.

Les 3 premières questions permettaient d'analyser le fonctionnement du système, les charges appliquées puis les principales phases rencontrées avant la mise en place définitive. Les questions 33 et 34 étaient relatives à l'étude de 3 modèles mécaniques simples, d'un point de vue équilibre statique et sollicitations, et qui permettaient de faciliter les études des questions suivantes. Les questions 35 et 36 proposaient d'étudier le profilé métallique HEB lorsqu'il est support du plancher BA en cours de coulage. Enfin, après avoir déterminé les charges appliquées il fallait vérifier la section mixte acier-béton du plancher, en s'appuyant sur les extraits de l'Eurocode 4 fournis en annexe.

L'exploitation de réglementations de calcul tels les Eurocodes est largement développée dans les formations post-bac type BTS et DUT, et doit être bien maîtrisée par les candidats au concours de l'agrégation. Seuls quelques candidats ont abordé l'équilibre de la section mixte, qui ne fait pourtant appel qu'à un équilibre statique d'efforts de traction dans l'acier et de compression dans le béton, puis à un équilibre du moment de ces efforts.

Etude 5 : questions 40 à 45

Résultats : partie non traitée par 50 candidats/107, moyenne 3,8/20, écart type de 3,35

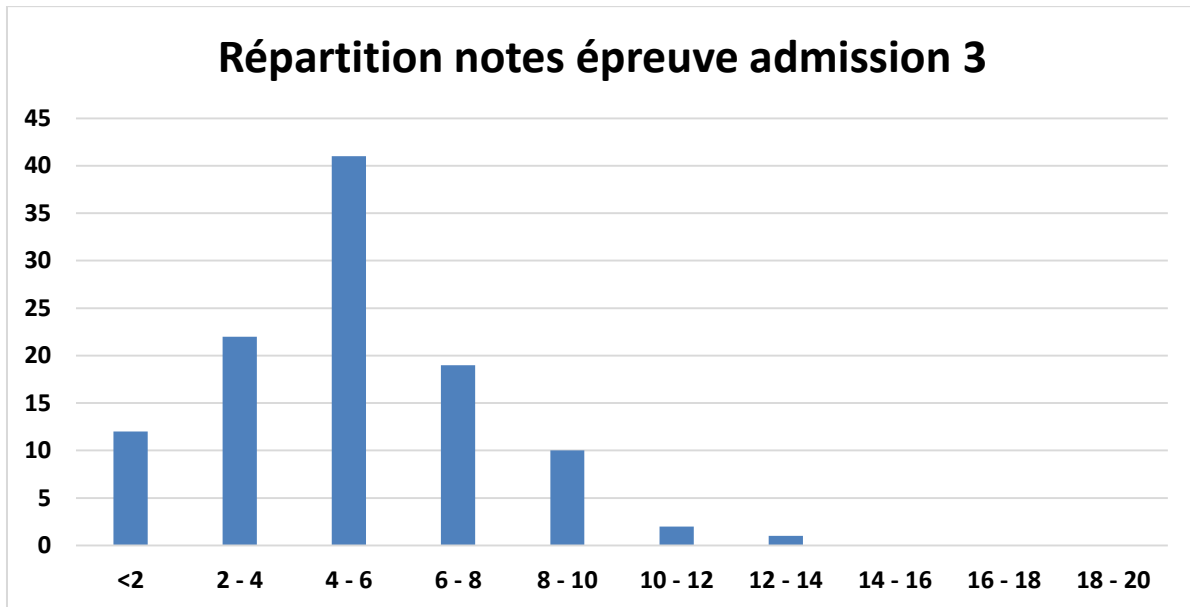
Dans cette dernière étude on se proposait de mettre en évidence que la stabilité au feu des planchers utilisant le matériau acier ne pouvait pas être assurée sans protection de celui-ci. Après avoir déterminé les éléments du classement du bâtiment et l'exigence de stabilité correspondante, les candidats devaient calculer le moment sollicitant sous combinaison d'actions accidentelles, puis les caractéristiques des matériaux soumis à l'incendie et enfin le moment résistant.

Pour terminer il fallait proposer un système de protection en exploitant un extrait de documentation technique relatif à de la peinture intumescente.

Près d'un candidat sur deux n'a pas abordé cette étude, ce qui est regrettable car les calculs à mener et les exploitations des extraits de réglementation et de documentations techniques fournis peuvent être considérés comme plutôt simples.

Résultats :

107 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 5,03/20 et l'écart type est de 2,43 avec 13,96/20 comme note maximale et 0,28/20 comme note minimale.



B. Epreuves d'admission

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

1.1 Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique : Incubateur d'œufs

Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée : 4h00)

Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0 heure 45)

Objectifs : s'approprier le besoin pédagogique imposé par le jury et concevoir l'architecture de la séquence de formation.

Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée :

La séquence pédagogique à construire est associée au contexte pédagogique suivant :

- Titre de la séquence : vérification des performances énergétiques d'un système ;
- Niveau de formation visé : Terminale série S – enseignement spécifique de Sciences de l'Ingénieur ;
- Supports pédagogiques à disposition dans le laboratoire de Sciences de l'Ingénieur. Ces supports sont judicieusement choisis pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée :
 - Incubateur à œufs ;
 - Robot cueilleur de fruits (MaxPid) ;
 - Ventilation double flux ;
 - Drone didactique D2C ;
 - Pompe à chaleur air-eau et eau-eau PRODILAC ;
 - Direction Assistée Electrique DAE ;
 - Robot tondeuse RL500 ;
 - Système de portail automatisé et autonome SET ;
 - Banc didactique d'étude combiné d'une éolienne et d'un panneau solaire – RE58.
- Effectif : classe de 36 élèves, groupe à effectif réduit de 18 élèves ;
- Volume horaire : 8 heures hebdomadaires (2 h cours + 2 h TD + 2h TP + 2h Projet Interdisciplinaire).

Documents fournis et accessibles dans le dossier Contexte pédagogique :

- le programme du niveau de formation visé (fichier Programme Bac SSI.pdf) ;
- le document d'accompagnement (fichier Document Ressource SSI.pdf) ;
- une proposition de liste de séquences adaptée au niveau de formation visé (fichier Séquences Pédagogiques SSI.pdf).

Production attendue : l'architecture de la séquence pédagogique en s'assurant de la cohérence, de la faisabilité et de la pertinence des choix effectués après avoir :

- recensé les compétences à développer et les savoir-faire et savoirs à faire acquérir aux élèves ;
- identifié les prérequis et le positionnement temporel de la séquence dans une progression pédagogique (vis-à-vis de la proposition de liste de séquences fournie) ;
- spécifié les modalités pédagogiques et didactiques (TP, TD, cours, projet, évaluation, remédiation, etc.), leurs coordinations et leurs organisations. (Référence Doc ressources S SI.pdf)

Partie 1.2 – prise en main du support didactisé (durée : 0h30)

Objectif : s'approprier l'environnement et la structure du support didactisé du laboratoire.

Le candidat dispose des éléments suivants :

- le banc incubateur représenté figure 1 ;
- un oscilloscope ;
- une sonde de courant ;
- un logiciel de simulation multi-physique (Matlab Simulink V2018a) ;

- un logiciel de type tableur ;
- Un wattmètre ou compteur d'énergie ;
- Un thermo-hygromètre portatif ;
- Une balance électronique de précision.



Figure 1 : Le banc incubateur instrumenté

Un dossier technique est fourni sous forme papier. Il comprend notamment :

- la définition du contexte d'utilisation de l'incubateur ;
- la présentation documentée des principaux constituants du produit (documents constructeurs, etc) ;
- un dossier Ressources comprenant BDD, IBD, Document Techniques, Notices d'utilisation de Matlab, procédures ou modes opératoires.


Activité 1 Découverte du banc de mesure (10')

En manipulant le matériel d'essai mis à votre disposition et en vous appuyant sur les documents de description structurelle du système (IBD, BDD) du dossier Ressources :

- identifier physiquement les composants ;
- identifier la fonction de chacun des éléments des chaînes d'énergie et de la chaîne d'information ;
- présenter brièvement, à l'examineur de salle, les constituants et le fonctionnement de l'incubateur.

Activité 2 Découverte du modèle de simulation (10').

Dans le répertoire Dossier candidat \ Modèles et Soft \ Fichiers MATLAB :

- ouvrir le modèle « IncubateurModèle1.slx » de l'incubateur qui vous permet de simuler le comportement hygrothermique de l'incubateur en régime permanent, lors d'une injection d'eau ;
- simuler le comportement hygrothermique de l'incubateur en vous référant à la notice de présentation du modèle et en appuyant sur le bouton dans la barre de menu en haut  ;

Pour la suite il est recommandé de consulter le document ressource : « Notice de présentation des modèles MATLAB ».

- identifier les entrées sorties de cette simulation.

- interpréter les évolutions des températures et d'hygrométrie correspondant à cette première simulation.

Activité 3 Découverte de la solution de modulation de puissance (10').

Mettre en œuvre le protocole expérimental N°1 (dossier technique).

Exploiter vos résultats de mesure pour évaluer les valeurs des paramètres du modèle PR (puissance de chauffe nominale de la résistance) et PV (puissance nominale du ventilateur), ainsi que la puissance moyenne de chauffe P_{mrp} en régime permanent.

Partie 1.3 – expérimentations pour répondre à la problématique technique et scientifique (durée : 2h00)

Problématique technique et scientifique :

Caractériser et optimiser la solution technique permettant le maintien d'une hygrométrie stable au sein de l'incubateur.

La solution de maintien de l'hygrométrie utilisée par le constructeur est une injection d'eau via un brumisateur piloté en tout ou rien. L'objet de ce travail est de caractériser cette solution technique, de vérifier qu'elle permet de respecter le cahier des charges et de proposer des améliorations permettant de réduire la consommation en eau et d'améliorer le confort d'utilisation.

1. Étude de l'impact de la brumisation sur le comportement énergétique de l'incubateur.

Les activités suivantes ont pour but :

- de déterminer expérimentalement le débit volume d'eau apporté par le brumisateur ;
- de mettre en évidence l'impact de la brumisation sur la consommation énergétique, l'humidité relative et la température intérieure de l'enceinte.

Activité 4 Définir et mettre en œuvre un protocole expérimental (30').

- Proposer un protocole d'essai et un mode opératoire permettant de déterminer le débit masse d'eau apporté par le brumisateur dans l'enceinte.

Lors de cet essai, relever l'impact de la brumisation sur le comportement hygrothermique de l'incubateur (tracé des évolutions de la température et de l'hygrométrie).

Veiller à fermer les ouïes de ventilation pour éviter le renouvellement d'air.

Veiller à ne pas dépasser 10 minutes d'essai.

- Mettre en œuvre l'ensemble des manipulations nécessaires à la réalisation de cet essai.

2. Renseigner et valider le modèle de l'incubateur

Activité 5 Exploitation des résultats d'un essai pour enrichir un modèle (20').

- Exploiter et interpréter les résultats de l'essai précédent.
- Renseigner le modèle « IncubateurModèle1.slx » de manière à simuler l'essai réalisé dans l'activité N°4.

Activité 6 Comparaison du modèle et du réel (20').

- Simuler et identifier les écarts de comportement entre le modèle et la réalité réel dans les conditions de l'essai.

Ouvrir la ressource « Calculette air humide.xls ».

- Utiliser la calculette air humide et déterminer la valeur du débit d'eau obtenue par analyse de la variation des conditions hygrothermiques de l'enceinte durant l'essai.
- Identifier et analyser les erreurs intrinsèques au protocole qui mènent aux écarts constatés entre ces deux méthodes d'évaluation du débit d'eau.

3. Exploiter le modèle de l'enceinte de manière à optimiser le choix du mode de pilotage de l'humidification.

Dans sa version de base l'incubateur est piloté en mode tout ou rien. Dans cette partie il s'agit d'observer l'influence de ce pilotage sur le comportement hygrothermique de l'incubateur.

Activité 7 Exploitation du modèle pour améliorer la gestion de l'humidité (15').

L'objectif de cette activité est d'exploiter le modèle de l'enceinte de manière à valider la solution technique de pilotage de l'humidité vis-à-vis des exigences du cahier des charges :

- Variation de l'humidité +/-2% pour une consigne de 50% ;

- Simuler le fonctionnement de l'enceinte thermique à l'aide des modèles PID « IncubateurModèle2.slx » et Tout Ou Rien (TOR) « IncubateurModèle3.slx ».
- Vérifier si les critères de performance attendus en humidité sont respectés, dans ces deux modes de pilotage.
- Faire une analyse multicritères permettant de comparer ces deux solutions de pilotage.

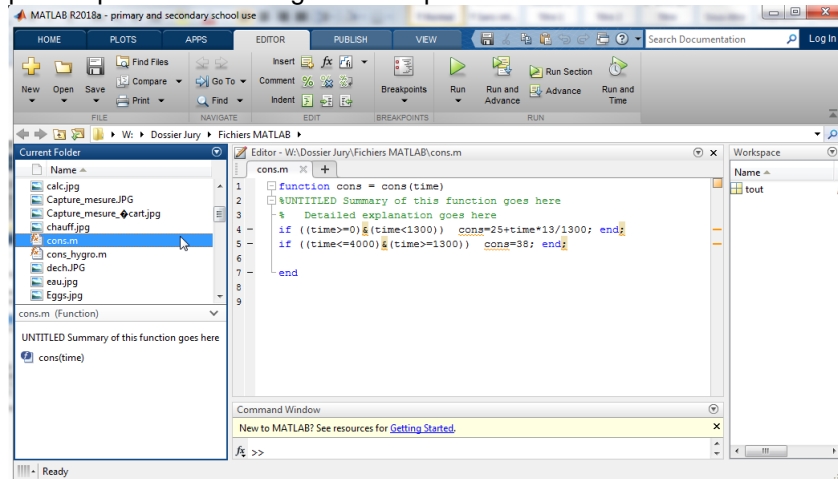
4. Profil de consigne d'hygrométrie.

La consigne d'hygrométrie est de 50% pendant la phase d'incubation et doit passer à 60% pendant la phase d'éclosion.

Activité 8 Création d'une loi de pilotage permettant d'améliorer la gestion de l'humidité (15').

- Ouvrir le modèle « IncubateurModèle4.slx ».

Dans la fenêtre MatLab principale, ouvrir le fichier « cons.m » qui contient la fonction programmée pour le profil de la consigne de température.



- En vous aidant de cette fonction, programmer et tester une fonction MATLAB « cons_hygro.m » permettant de créer le profil de consigne de l'hygrométrie suivant :
 - o Pour $t \in [0, 2000s]$, consigne_hygrométrie=50%
 - o Pour $t \in]2000s, 2100s]$, consigne_hygrométrie varie linéairement jusqu'à 60%
 - o Pour $t > 2100s$, consigne_hygrométrie = 60%

Activité 9 Bilan des activités menées (5').

- Conclure par rapport à la problématique initiale.

Partie 1.4 – élaboration du scénario d'une séance à caractère expérimental (durée : 0h45)

Objectif : développer une séance à caractère expérimental s'intégrant dans la séquence pédagogique proposée dans la partie 1.1.

Production attendue – une séance à caractère expérimental pertinente après avoir :

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet, etc.) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;
- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

Phase 2 – préparation de l'exposé (durée : 1h00)

Objectif : finaliser le support de présentation pour l'exposé devant le jury.

Production attendue – un document numérique de présentation afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;

- présenter la séance à caractère expérimental.

Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)

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

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 (hypotheses, comparaison multicritère des choix techniques et des organisations, évaluations économiques, etc.) au 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 des cycles terminaux « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) » et/ou sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (SSI) du lycée ainsi que des classes préparatoires aux grandes écoles.

Déroulement de l'épreuve

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

Phase 1 – Conception et organisation d'une séquence de formation à un niveau imposé (durée 4h00)

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 se déroule en quatre 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 l'Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

Premier temps (durée 0h45)

Dans ce premier temps, le candidat doit élaborer une séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre de la séquence ;
- du niveau de formation visé ;
- d'un plan de formation annuel adapté au niveau de formation ;
- du référentiel du niveau de formation visé ;
- d'un document d'accompagnement (ressource) pour faire la classe ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit recenser les compétences à développer en intégrant les savoir-faire et savoirs du référentiel du niveau imposé en lien avec le titre de la séquence, et proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les prérequis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression pédagogique proposée et présentés. Le candidat doit justifier ses choix de modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet, etc.). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique.

Deuxième temps (durée 0h30)

Pour ce deuxième temps, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de ce temps de travail, l'examineur s'assure que le

candidat s'est bien approprié le support de TP afin de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

Troisième temps (durée 2h00)

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

Quatrième temps (durée 0h45)

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

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

Pendant toute la durée de la phase 1, le candidat a accès aux logiciels de simulation, au système et aux matériels de travaux pratiques. Le candidat a tout loisir pour entreprendre de réaliser de nouvelles simulations ou expérimentations utiles afin de créer et étayer la trame de sa séance.

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 pluritechnologique, support de l'activité pratique et aux logiciels de simulation. Le candidat conserve cependant à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à l'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 les présentations de :

- la séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé (durée maximale de 0h15) ;
- la pertinence du support par rapport à la séquence pédagogique imposée (durée maximale de 0h05) ;
- la séance à caractère expérimentale envisagée dans le cadre de la séquence pédagogique exposée (durée maximale de 0h10) .

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

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

- 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 ;
- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus de ses propres investigations dans la perspective de la séquence pédagogique imposée et de la séance à caractère expérimentale développée.

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, etc.).

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 l'Internet, doté des logiciels habituels de bureautique. Le candidat accède à toutes ses productions numériques réalisées pendant l'épreuve.

Les supports retenus lors de la session 2018 étaient les suivants :

- un banc d'étude sismique ;
- un incubateur d'œufs de volaille ;
- un robot collaboratif ;
- une monture de télescope ;
- une ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- un système de déplacement de caméra ;
- un robot haptique ;
- un robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique.

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 qui réussissent cette épreuve 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 de candidats est bien préparée à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats au plus haut niveau d'expertise. Toutefois, certains candidats n'ont pas su intégrer la consigne qui excluait la reprise chronologique des résultats obtenus au cours des manipulations lors de la présentation orale. Ces candidats n'ont pas su mettre en perspective le ou les liens entre les manipulations effectuées et la séquence pédagogique imposée. Les candidats mettent difficilement en œuvre des manipulations spécifiques qui leur permettraient d'étayer la séance à caractère expérimental élaborée.

Un faible nombre de candidats limite sa proposition expérimentale spécifique à 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 de ressources ainsi que de diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel et/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 omise. 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, 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, etc.).

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou pour la 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 ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique 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 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 (deuxième et troisième temps de la phase1).

Le jury attire l'attention des candidats sur l'importance première à accorder à la préparation de l'activité pédagogique. Les phases de conception de la séquence pédagogique, quarante-cinq minutes avant et après la phase de manipulation, 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 ;
- 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 du cycle terminal S (option sciences de l'ingénieur), du cycle terminal STI2D et des CPGE ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que les lectures des « 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 présenter la pertinence du système par rapport à 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 proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- 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 attentif au positionnement du candidat vis-à-vis des réformes en cours ou à venir.

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 porter la plus grande attention aux consignes et recommandations que les examinateurs formulent, tout particulièrement en début d'épreuve, sans préjuger de leur essentialité au vu de leur éventuelle expérience du concours. Cette attitude permet également de se prémunir des effets du tropisme d'une pratique professionnelle personnelle parfois bien établie. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle.

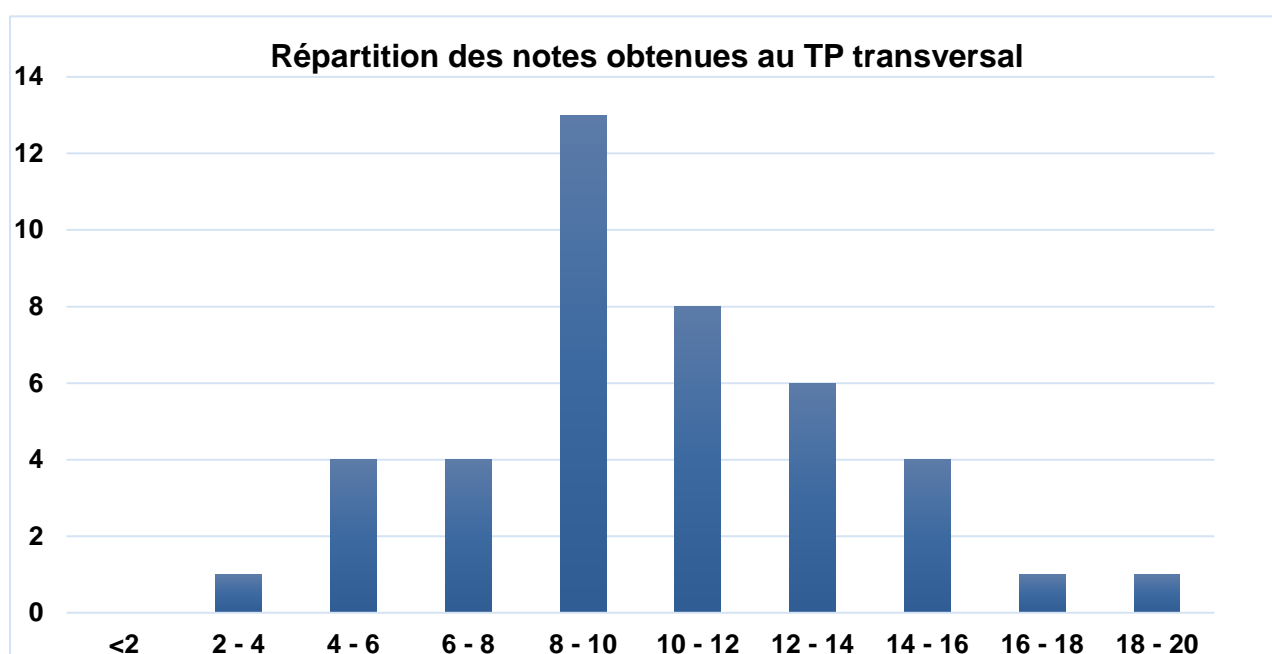
Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant.

4. Conclusion et résultats

La session 2018 de l'agrégation externe de sciences industrielles de l'ingénieur confirme les évolutions engagées lors des 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.

42 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 10,38 / 20 et l'écart-type 3,39 avec :

- 18,28 comme meilleure note ;
- 3 comme note la plus basse.



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

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

A – DEROULEMENT DE L'EPREUVE

Cette épreuve 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 (5 minutes).

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

B - TRAVAIL DEMANDE POUR L'EPREUVE

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
PHASE 1 (4h)	Partie 1 (30 min)	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...)

		<i>Point avec l'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>	
	Partie 2 (1h)	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
			<i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation</i>
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique.
			<i>Valider avec l'examinateur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite.</i>
	Partie 3 (2h30)	IV. EXPERIMENTATIONS	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...)
		V. CONCLUSION	Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...)
	Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.		
		<i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>	
PHASE 2 (1h)	Mise en loge	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)	
PHASE 3 (1h)	Exposé et entretien	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles	
		Présenter 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
- Être pertinent et réactif aux questions posées
- Dégager l'essentiel et donner du sens
- Captiver l'auditoire

C - OBJECTIF PEDAGOGIQUE IMPOSE POUR L'EPREUVE

Sujet : Concevoir et présenter une séquence de formation sur le sujet du matériau béton, ses caractéristiques physiques et mécaniques et l'influence de ces caractéristiques dans le dimensionnement d'un ouvrage en béton armé.

On abordera tout ou partie des notions suivantes :

- Comportement mécanique du béton.
- Caractéristiques réglementaires et caractéristiques réelles du béton.

- Influence des caractéristiques du béton sur le dimensionnement d'un élément d'ouvrage en béton armé.

La proposition pédagogique sera envisagée pour une formation de BTS Bâtiment.

D - RESSOURCES PEDAGOGIQUES DISPONIBLES

<p style="text-align: center;">R1 : REFERENTIELS DE FORMATION</p> <ul style="list-style-type: none"> • BTS Bâtiment 	<p style="text-align: center;">R2 : INFORMATIQUE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis. • Une suite bureautique • Un fichier REVIT et un fichier ROBOT de la structure du bâtiment « Fuji ».
<p style="text-align: center;">R3 : DOSSIER SUPPORT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projet de construction du bâtiment « Fuji » • Cahier des Clauses Techniques Particulières du bâtiment « Fuji » 	<p style="text-align: center;">R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normes d'essai sur les bétons • Techniques de l'Ingénieur – Du béton frais au béton durci, éléments de comportement • Mode opératoire des machines d'essai • Mode opératoire logiciels REVIT et Robot Structural Analysis • Données relatives à l'étude
<p>R5 : EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX</p> <p>Matériaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 éprouvettes de béton cylindrique 15 x 30 cm. • Une éprouvette de béton cylindrique 15 x 30 cm équipé d'un dispositif de mesures extensométriques. <p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.

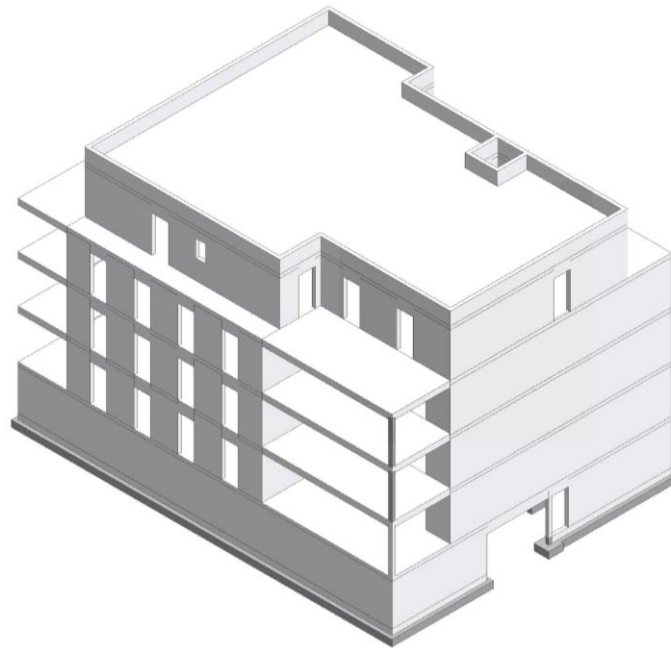


Fig. 1 : Vue en perspective de la structure du bâtiment

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.

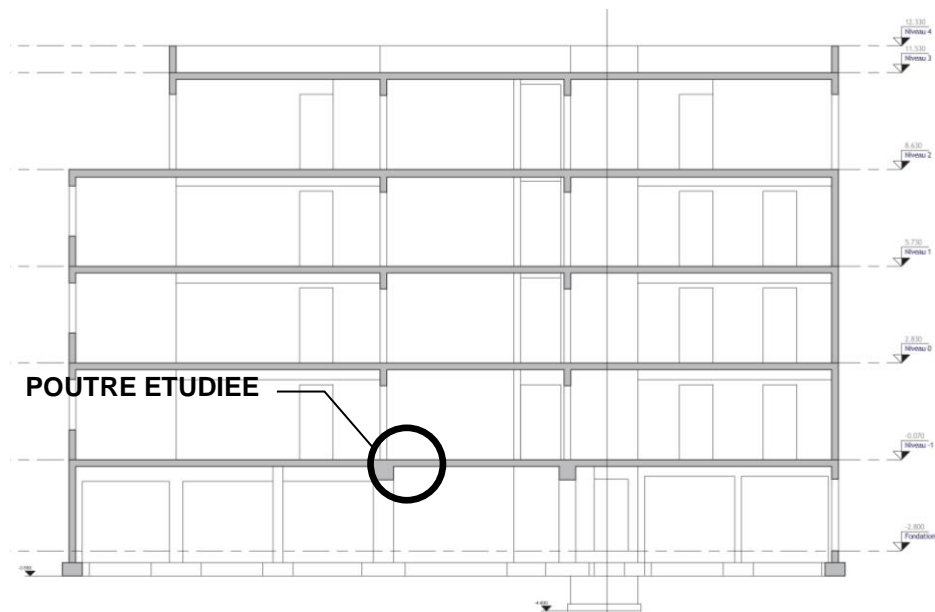


Fig. 2 : Coupe verticale de la structure du bâtiment

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 - DONNEES RELATIVES A L'ETUDE

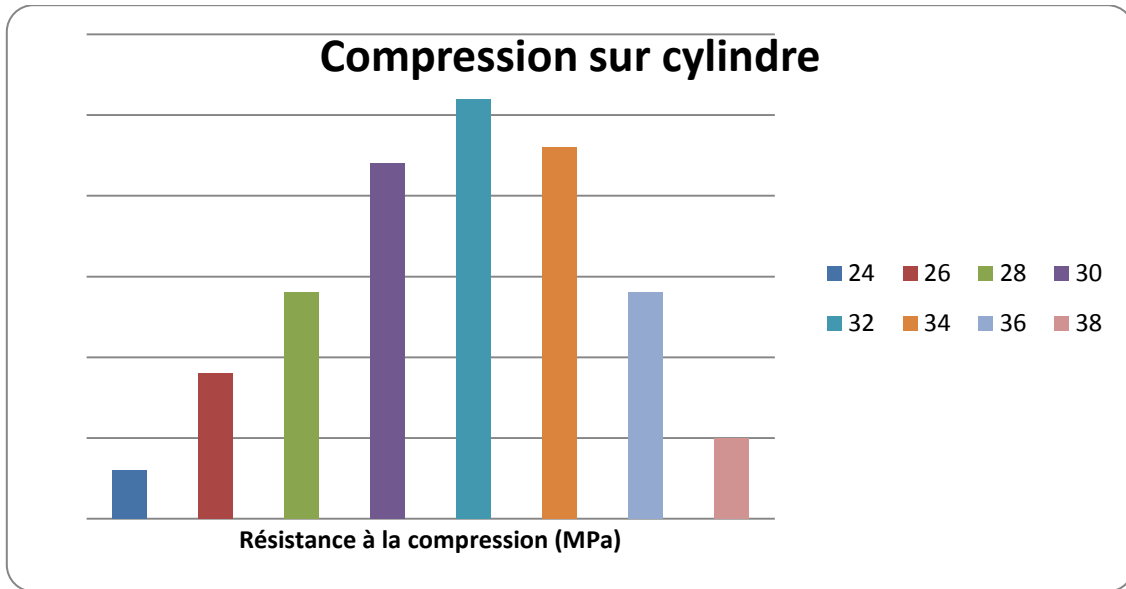
Résistance à la compression du béton :

On vous donne dans le tableau ci-après des résultats d'essais de compression réalisés sur des éprouvettes cylindriques de béton. Ces essais ont été réalisés par la centrale de production de béton sur des éprouvettes de béton à propriétés spécifiées dont la composition est identique à celle qui sera Agrégation externe SII-IC 2018

utilisée pour le béton du chantier qui nous concerne. Ces essais (232) ont été effectués sur cylindre 15x30 à 28 jours en suivant le protocole de la norme en vigueur.

Nombre d'essais	6	18	28	44	52	46	28	6
f_c en [MPa]	24	26	28	30	32	34	36	38

Ces résultats sont présentés sous la forme d'un histogramme (voir ci-dessous) dont la courbe enveloppe peut être modélisée par une loi normale.



La résistance caractéristique à la compression du béton (f_{ck}) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% de la distribution des résistances.

Si la distribution des résistances suit une loi normale alors le fractile 5% f_{ck} est égal à :

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 u \quad (1)$$

avec f_{cm} la moyenne de la distribution et u l'écart type.

L'Eurocode 2 Béton adopte, pour simplifier, la relation suivante :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (2)$$

avec f_{cm} la résistance moyenne en compression à 28 j.

Résistance à la traction du béton :

La valeur de la résistance en traction moyenne du béton (f_{ctm}) est obtenue à partir de la résistance caractéristique à la compression du béton :

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} \quad (3)$$

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 :

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad (4)$$

avec f_{ctm} la résistance moyenne en traction à 28 j.

Module d'élasticité longitudinal du béton :

Le module de déformation longitudinal du béton ou module sécant décrit le comportement élastique quasi linéaire de la relation contraintes-déformation du béton soumis à la compression.

Ce comportement élastique quasi-linéaire reste totalement réversible si la contrainte de compression est limitée à un certain pourcentage de la résistance à la compression du béton. Ce pourcentage est

défini à la page 7 du document Technique de l'ingénieur. Pour qu'un essai de mesure du module d'élasticité n'endommage pas l'éprouvette utilisée, il faut donc que les déformations de l'éprouvette restent inférieures à ce pourcentage.

La valeur du module d'élasticité du béton étudié peut aussi être estimée théoriquement par la relation suivante :

$$E_{cm} \text{ (GPa)} = 22.[(f_{cm})/10]^{0.3} \text{ avec } f_{cm} \text{ en Mpa} \quad (5)$$

II.2 Rapport du jury sur l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système technique prend appui sur une situation professionnelle d'enseignement proposée au candidat dans le cadre de l'exercice de sa mission future de professeur.

Dans ce cadre, des ressources pédagogiques sont données au candidat afin de préparer une trame de séquence pédagogique dans laquelle une séance expérimentale sera détaillée. Cette séance devra permettre de montrer comment le candidat exploite avec pertinence les potentialités :

- De ressources documentaires
- De ressources expérimentales (échantillons, matériels, bancs d'essais, maquettes, éléments de structures ...)
- De ressources informatiques (logiciels modeleurs, simulateurs ...)

Cette épreuve permet au candidat d'élaborer une stratégie pédagogique, de réaliser des essais et mesures sur tout ou partie d'un système didactique ou professionnel, et d'en produire une analyse critique sur la pertinence et l'efficacité de la séquence envisagée.

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie.

Cette épreuve d'activité pratique demande aux candidats de mobiliser les compétences (nécessitant les savoirs, savoir-faire et savoir-être associés) nécessaires à l'enseignement pouvant être confié à un professeur agrégé SII d'ingénierie de la construction. Pour répondre à cet objectif, les supports utilisés lors de cette épreuve sont relatifs à ce même champ de l'Ingénierie.

2. Déroulement de l'épreuve

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

- phase 1 mise en œuvre des équipements du laboratoire et exploitation pédagogique (durée 4 h) ;

- phase 2 - préparation de la présentation (mise en loge pendant 1 h) ;
- phase 3 - présentation des travaux devant un jury (durée 1 h).

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

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire. Cette première phase d'une durée totale de 4 h se décompose en trois parties.

Dans cette phase, les candidats ont à leur disposition les différents supports étudiés, qu'ils utiliseront pour proposer une séquence pédagogique. **L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées.**

Première partie – Contexte et potentiels pédagogiques (durée ≈ 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 supports¹. Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé. Tout ou partie des manipulations se déroulent en présence de l'examineur auprès de qui le candidat justifie et discute les essais et expérimentations menées ainsi que les résultats obtenus.

La phase 2 – Mise en loge (durée 1 h).

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

Il finalise la présentation de sa séquence pédagogique et détaille un ou plusieurs points-clés 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

¹ 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.

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 demandé pour l'épreuve

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

Phase	Durée	Objet	Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve	
PHASE 1 (4h)	Partie 1 (30 min)	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...)	
				<i>Point avec l'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques</i>
	Partie 2 (1h)	III. CONSTRUCTION PEDAGOGIQUE	Preciser 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	
			<i>Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques du candidat. Le jury fournit ensuite des possibilités d'expérimentation</i>	
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique.	
				<i>Valider avec l'examinateur les expérimentations et applications numériques à mettre en œuvre ensuite.</i>
	Partie 3 (2h30)	IV. EXPERIMENTATIONS	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...)		
	V. CONCLUSION	Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...)		

		Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.
		<i>Présenter les expérimentations et les conclusions</i>
PHASE 2 (1h)	Mise en loge	Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)
PHASE 3 (1h)	Exposé et entretien	Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles
		Présenter 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
- Être 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 Architectures en métal : conception et réalisation,
 - o Enveloppes du bâtiment : conception et réalisation
 - o Fluides Énergies Domotique : options A, B et C
 - 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 2018, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issues de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses
- logiciels courants de bureautique
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...).
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM.
- banc d'essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- banc d'essai en acoustique ;
- banc d'essai de structures;
- banc d'essai du matériau béton ;

- banc d'essai du matériau bois ;
- banc d'essai du matériau acier ;
- pompe à chaleur ;
- chaudière 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 2018, 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

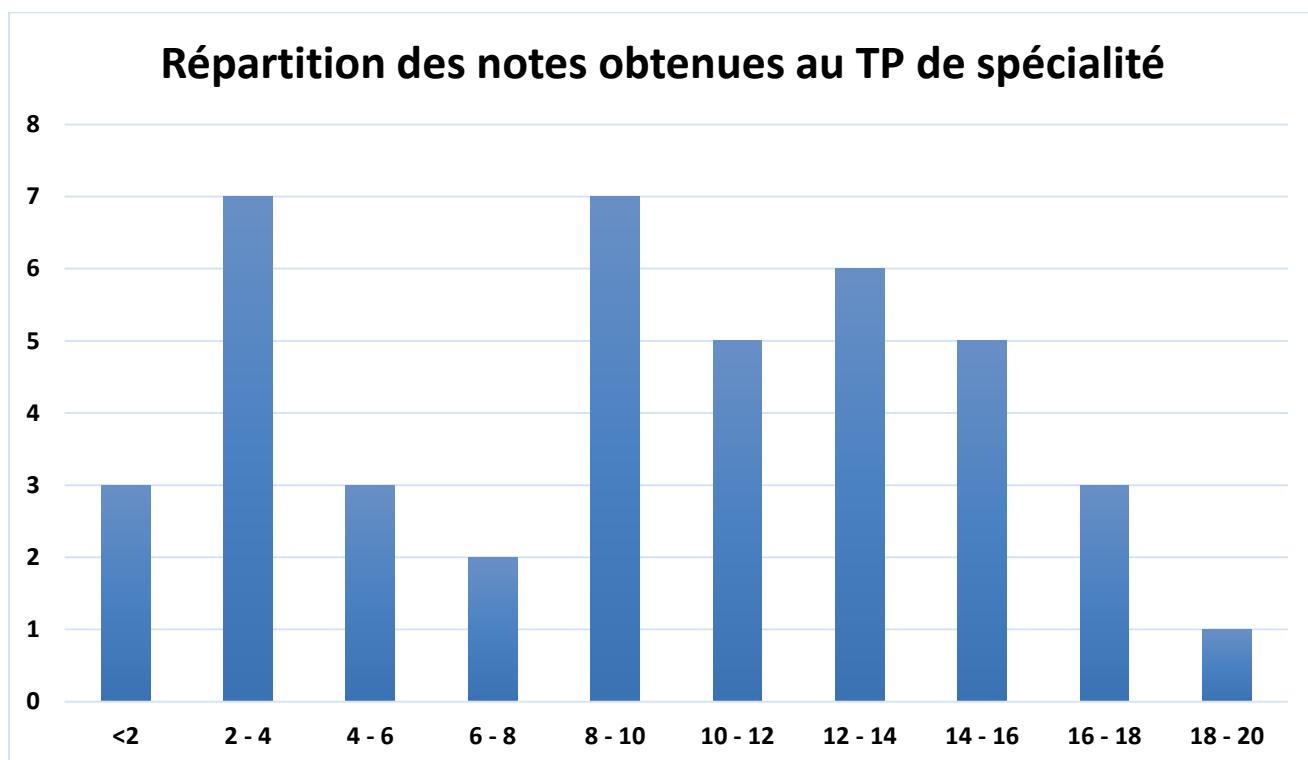
que le compte-rendu de TP noté et l'évaluation sur table ;

- 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

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

- 18,0 / 20 comme meilleure note ;
- 01,2 / 20 comme note la plus basse.
- 20 notes au-dessus de 10 (48% des candidats).



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.

La rédaction du dossier écrit peut s'appuyer sur les conseils suivants :

- le plan du dossier peut avantageusement dégager 3 parties ;
- la première partie contextualise et justifie l'intérêt du 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 au niveau lycée et au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, 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 conviendrait 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 et technologique. 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. Deux séquences pédagogiques doivent être **développées : une au niveau lycée et une au niveau de l'enseignement supérieur.**

Cette séquence doit préciser les éléments suivants :

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

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 potentiel des outils numériques de conception, de simulation, d'organisation et de suivi.

Le jury de l'agrégation d'Ingénierie des constructions insiste sur l'obligation pour les candidats de disposer de ces compétences autour des outils numériques.

En effet, les élèves et étudiants maîtrisent déjà, en partie, la technicité propre à ces outils. Les candidats doivent présenter une visualisation de leur travail sur ces outils numériques (simulation, conception...) pendant la soutenance. Les candidats ne doivent pas se contenter de fournir, sous forme numérique, une série de fichiers, ils doivent démontrer leurs compétences à utiliser ces outils. Il est donc conseillé, en particulier pour des maquettes de type BIM, d'installer le logiciel utilisé ou un outil de visualisation dynamique permettant d'échanger lors de la discussion avec le jury. Pour les logiciels de calculs, les candidats doivent être 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

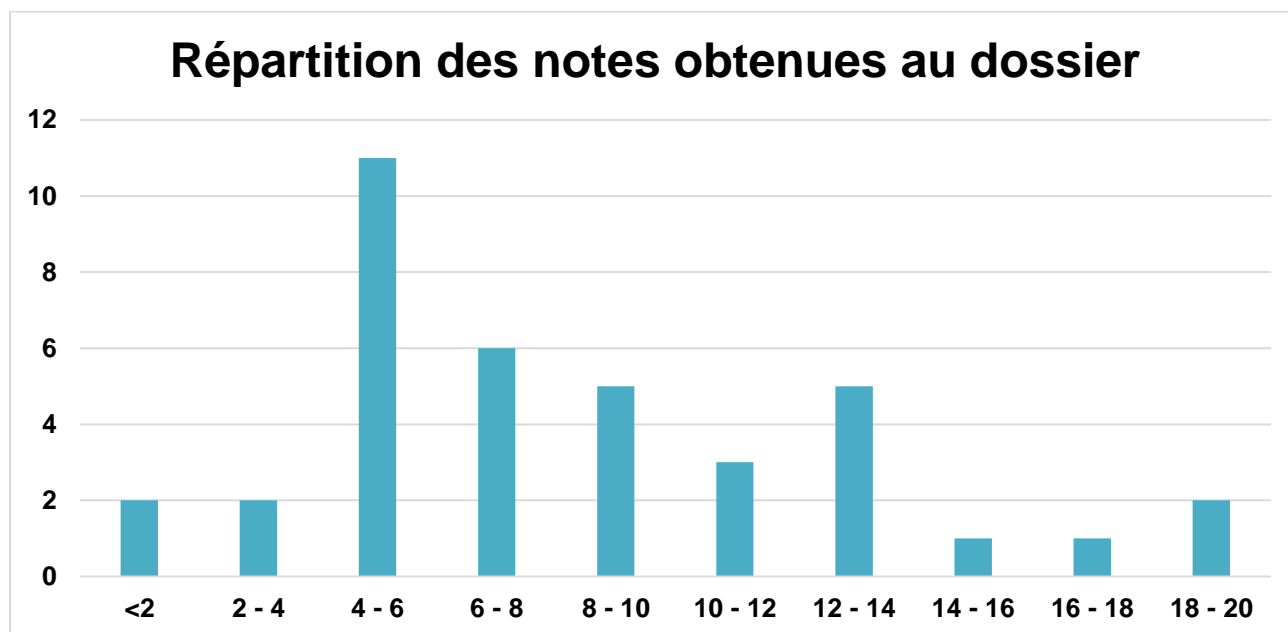
Pour pouvoir délivrer une note à l'issue de l'examen du dossier, de la soutenance et de l'entretien sur cette partie d'épreuve, la commission d'interrogation observe les critères suivants :

- 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

42 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 9,4/20 et l'écart-type 5,4 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 0,8 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 » - Abdenour Bidar - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire.