



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : agrégation externe

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie des constructions

Session 2020

Rapport de jury présenté par : Myriam CARCASSES, présidente du jury

Sommaire

RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2020	3
AVANT-PROPOS	4
A. EPREUVES D'ADMISSIBILITE	7
I. EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR	7
I.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur</i>	7
I.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur</i>	16
II. EPREUVE DE MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION	19
II.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i>	19
II.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i>	37
III. EPREUVE DE CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION	42
III.1 <i>Eléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i>	42
III.2 <i>Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation</i>	55
B. EPREUVES D'ADMISSION.....	58
I. RAPPORT DU JURY DE L'EPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL	58
II. RAPPORT SUR LA TRANSMISSION DES VALEURS ET PRINCIPES DE LA REPUBLIQUE	61

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

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli l'épreuve d'admission de la session 2020 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions. L'épreuve s'est déroulée dans de très bonnes conditions du 20 juin au 23 juin 2020 malgré les contraintes imposées par la crise sanitaire. 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.

Conformément aux dispositions de l'arrêté du 27 mai 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours externe et du concours externe spécial de recrutement de professeurs agrégés de l'enseignement du second degré ouverts au titre de l'année 2020 en raison de la crise sanitaire née de l'épidémie de covid-19, les deux épreuves d'admission « Exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique » et « Activité pratique et exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique » ont été supprimées. Seule l'épreuve d'admission « Soutenance d'un dossier industriel » a été maintenue.

Résultats statistiques de la session 2020

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
189	25	98	56	25

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	17,16
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	7,57
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	17,2
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	10,47

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 connaissance des programmes de formation dans lesquels ils peuvent être amenés à exercer. Ces programmes sont détaillés dans les référentiels des diplômes et formations suivants :

- 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 Aménagement et Finitions,
 - o Architectures en Métal : Conception et Réalisation,
 - o Bâtiment,
 - o Enveloppe du Bâtiment : Conception et Réalisation,
 - o Étude et Économie de la Construction,
 - o Étude et Réalisation des Agencements,
 - o Fluides Énergies Domotique, options génie climatique, génie frigorifique et domotique,
 - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique,
 - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
 - o Travaux Publics,
- Autres formations de l'ingénierie des constructions :
 - o Licences professionnelles, Masters...

Le constat établi dans les rapports des précédentes sessions doit être rappelé. En particulier, il paraît nécessaire de rappeler que l'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Celles-ci sont évaluées dans les trois épreuves d'admission. C'est pourquoi cette année, malgré la crise sanitaire, nous avons souhaité maintenir au moins l'une de ces trois épreuves. 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 prérequis, 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.

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

La troisième épreuve d'admission mérite une attention particulière. Constituer un dossier demande du temps. L'objectif du dossier est de vérifier que le candidat est capable de réaliser un transfert de technologie du milieu de l'entreprise vers l'Éducation nationale, afin d'enrichir son enseignement par des exploitations pertinentes de supports techniques modernes et innovants. Il n'est pas demandé aux candidats de concevoir ou de reconcevoir un système ou un sous-système pluritechnologique.

Il est donc fortement conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié¹ fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, ainsi que les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport.

Cette session 2020 a permis de pourvoir tous les postes offerts au concours et de classer 2 candidats sur liste complémentaire.

L'agrégation est un concours prestigieux qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochables. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue et un positionnement adaptés 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

¹ Cf. arrêtés du 19 avril 2016 et du 24 juin 2019.

A. Epreuves d'admissibilité

I. Epreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

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

Question 1

En considérant la consommation $E_{\text{annuelle consommée en Bretagne}} = 11,27 \text{ TW}\cdot\text{h}$ (particuliers et professionnels) pour toute la Bretagne, la consommation énergétique annuelle de l'île d'Ouessant est par un modèle proportionnel :

$$E_{\text{annuelle consommée sur l'île Ouessant}} = E_{\text{annuelle consommée en Bretagne}} \times \frac{\text{Nbre habitants sur l'île Ouessant}}{\text{Nbre habitants total en Bretagne}}$$

$$E_{\text{annuelle consommée sur l'île Ouessant}} = 11,27 \cdot 10^{12} \times \frac{1000}{3,2 \cdot 10^6} = 3,5 \cdot 10^9 \text{ W}\cdot\text{h} = 3,5 \text{ GW}\cdot\text{h}$$

En considérant la consommation $E_{\text{annuelle consommée en Bretagne}} = 22,29 \text{ TW}\cdot\text{h}$ le même modèle de proportionnalité donne comme résultat $E_{\text{annuelle consommée sur l'île Ouessant}} = 7 \text{ GW}\cdot\text{h}$ mais le résultat est surestimé car il n'y a pas de grande industrie sur l'île.

Question 2

L'électricité de l'île d'Ouessant est produite actuellement à partir de fioul :

$$M_{\text{CO}_2 \text{ produite sur l'île Ouessant}} = E_{\text{annuelle consommée sur l'île Ouessant}} \cdot M_{\text{CO}_2 \text{ par MW de fioul}}$$

$$M_{\text{CO}_2 \text{ produite sur l'île Ouessant}} = 3,5 \cdot 10^3 \times 0,67 = 2\,345 \text{ tonnes de CO}_2$$

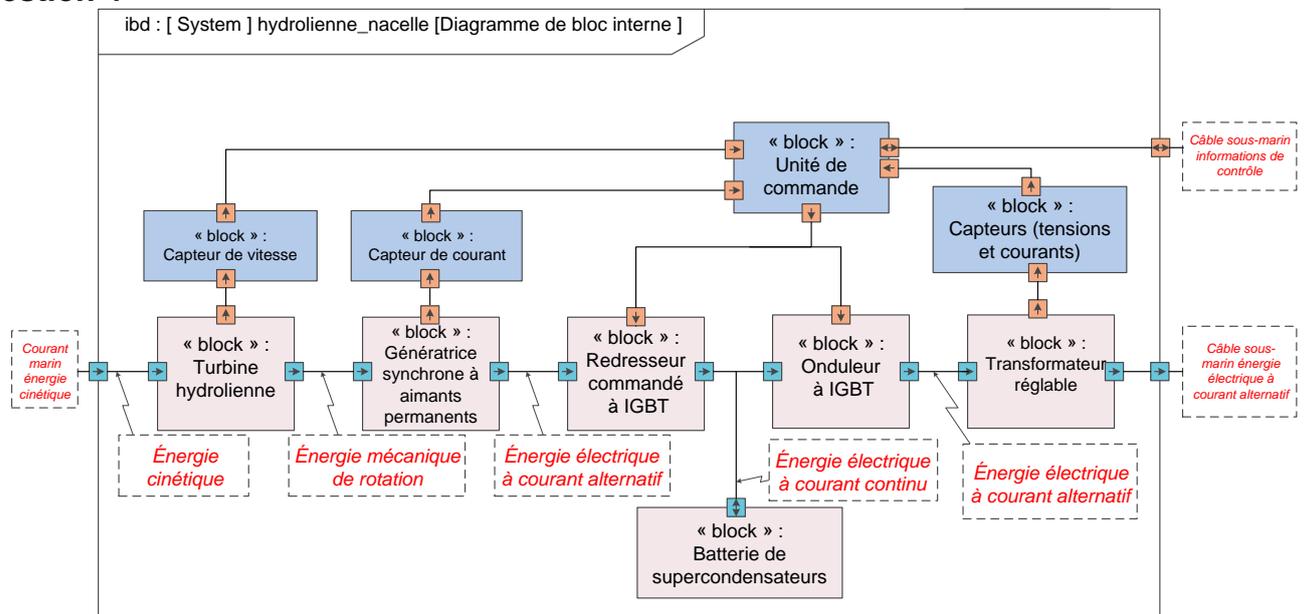
Question 3

Il faut comparer $M_{\text{CO}_2 \text{ par kWh de fioul}}$ et $M_{\text{CO}_2 \text{ par kWh moyen en métropole}}$

$$0,67 \text{ tCO}_2 \cdot \text{MWh}^{-1} = 670 \text{ gCO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1} \text{ et } 90 \text{ gCO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Les émissions de CO_2 de l'île d'Ouessant sont donc 7,5 fois supérieures à la moyenne. Il est donc nécessaire de décarboner la production électrique de l'île.

Question 4



Question 5

Composant	Nature de la puissance sortante	Grandeur de flux		Grandeur d'effort	
		Nom de la grandeur physique	Alternative / continue	Nom de la grandeur physique	Alternative / continue
Turbine	mécanique	Fréquence de rotation	Continue	Couple de forces	continue

			$N \in [5 ; 15]$ $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$		
Génératrice	électrique	Courant électrique	Alternative $F = pN/60$ $F \in [10 ; 30]$ Hz	Tension électrique	Alternative $F = pN/60$ $F \in [10 ; 30]$ Hz
Onduleur	électrique	Courant électrique	Alternative $F = 50$ Hz	Tension électrique	Alternative $F = 50$ Hz

Question 6

La génératrice fournit un courant alternatif et une tension alternative qui ne répondent pas à l'exigence Id 1.6 du diagramme des exigences « puissance électrique sous tension triphasée 50 Hz ».

Question 7

Valeur1 : I valeur efficace de $i(t)$ en Ampère (A) ;

Valeur2 : P puissance active = $\langle 3v(t).i(t) \rangle$ valeur moyenne des puissances instantanées en Watt (W) ;

Valeur3 : F_p facteur de puissance, nombre sans unité.

Question 8

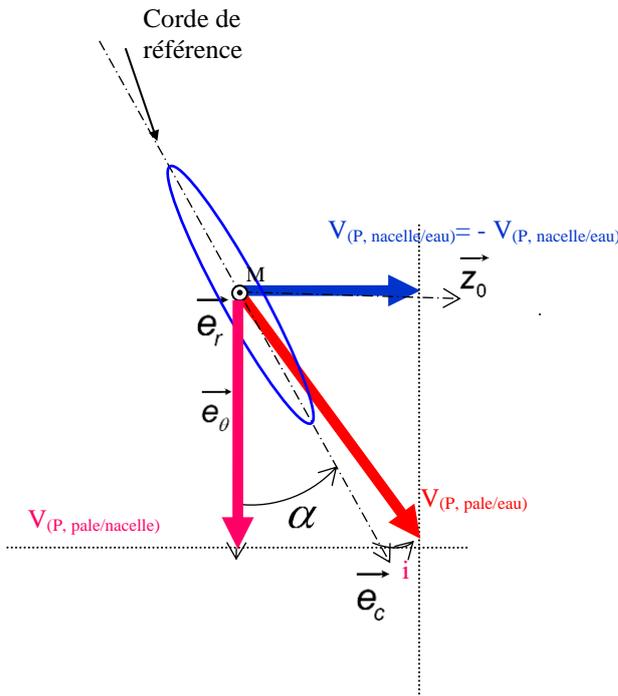
Composition des vitesses : $\vec{V}_{(P \in \text{pale/eau})} = \vec{V}_{(P \in \text{pale/nacelle})} + \vec{V}_{(P \in \text{nacelle/eau})}$

$$\vec{V}_{(P \in \text{nacelle/eau})} = -\vec{V}_{(P \in \text{eau/nacelle})} = V_C \cdot \vec{z}_0$$

$$\vec{V}_{(P \in \text{pale/nacelle})} = \vec{PO} \wedge \vec{\Omega}_{(\text{turbine/nacelle})} = -r \cdot \vec{e}_r \wedge \Omega \cdot \vec{z}_0 = r \cdot \Omega \cdot \vec{e}_\theta$$

Finalement :

$$\vec{V}_{(P \in \text{pale/eau})} = r \cdot \Omega \cdot \vec{e}_\theta + V_C \cdot \vec{z}_0$$



Question 9

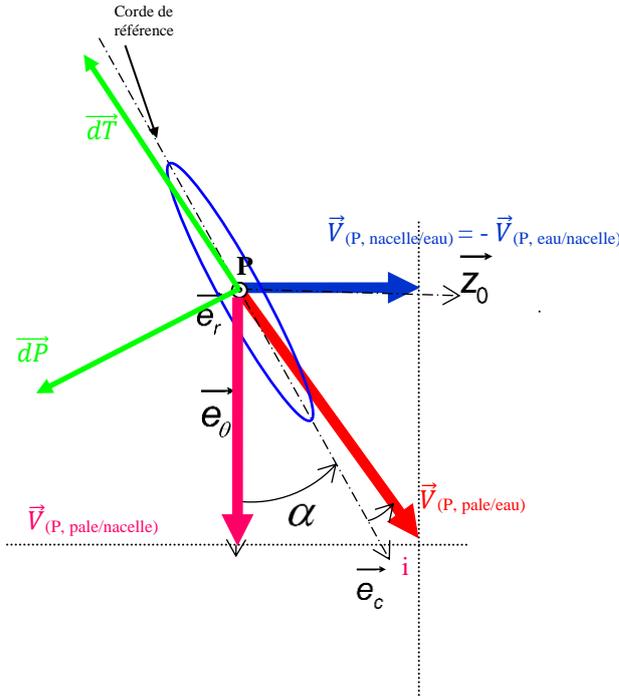
$$\begin{cases} V_{(P \in \text{pale/eau})} \cos(i + \alpha) = r\Omega \\ V_{(P \in \text{pale/eau})} \sin(i + \alpha) = V_C \end{cases} \Rightarrow \tan(i + \alpha) = \frac{V_C}{r\Omega} \Rightarrow i = \arctan\left(\frac{V_C}{r\Omega}\right) - \alpha$$

Autre méthode : $\|\vec{V}_{(P \in \text{pale/eau})}\| = \sqrt{(r\Omega)^2 + V_C^2}$ d'où $i = \arccos\left(\frac{r\Omega \cos\alpha + V_C \sin\alpha}{\sqrt{(r\Omega)^2 + V_C^2}}\right)$

Question 10

$$\left\{ \begin{aligned} \|\vec{dT}\| &= \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot C_x \cdot V_C^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot C_x \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) \\ \|\vec{dP}\| &= \frac{1}{2} \rho \cdot dS \cdot C_z \cdot V_C^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot C_z \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) \end{aligned} \right.$$

Question 11



Question 12

$$d\Gamma = (\vec{OM} \wedge \vec{F}(\text{eau} \rightarrow \text{pale})) \cdot \vec{Z}_0 = (\vec{z}_0 \wedge \vec{OP}) \cdot \vec{F}(\text{eau} \rightarrow \text{pale}) = r \cdot \vec{e}_\theta \cdot \vec{F}(\text{eau} \rightarrow \text{pale})$$

$$d\Gamma = r \cdot \vec{e}_\theta \cdot (\vec{dT}(\text{eau} \rightarrow \text{pale}) + \vec{dP}(\text{eau} \rightarrow \text{pale}))$$

$$= r \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) \left(C_x \cdot \cos(\pi - (\alpha + i)) + C_z \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - (\alpha + i)\right) \right)$$

$$\Rightarrow \|\vec{d\Gamma}\| = r \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) (-C_x \cdot \cos(\alpha + i) + C_z \cdot \sin(\alpha + i))$$

Autre solution

$$\vec{d\Gamma} = \vec{OP} \wedge (\vec{dP} + \vec{dT})$$

$$\vec{d\Gamma} = r \cdot \vec{e}_r \wedge \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) \cdot \left[C_z \cdot (-\cos(\alpha + i) \vec{z}_0 + \sin(\alpha + i) \vec{e}_\theta) + C_x \cdot (\cos(\alpha + i) \vec{e}_\theta - \sin(\alpha + i) \vec{z}_0) \right]$$

$$\vec{d\Gamma} \cdot \vec{z}_0 = r \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot dr \cdot \sin(i) \cdot (r^2 \Omega^2 + V_C^2) \cdot [C_z \cdot \sin(\alpha + i) - C_x \cdot \cos(\alpha + i)]$$

Question 13

Le cahier des charges impose de convertir l'énergie cinétique à marée montante et à marée descendante. Donc l'hydrolienne va tourner dans les deux sens de rotation, il est indispensable de choisir une forme elliptique ou en amande.

Question 14

La finesse est définie par le rapport $f = \frac{c_z}{c_x}$.

Soit un point M appartenant à la polaire d'Eiffel. Soit α l'angle entre la droite \overline{OM} (passant par l'origine et tangente au point M à la polaire d'Eiffel) et l'horizontale. Dans ce cas la finesse peut être définie par le rapport $f = \tan \alpha$. La finesse est bien maximale si la tangente à la polaire d'Eiffel passant par l'origine possède un angle α maximal.

La comparaison des différents profils montre que pour :

- les profils en amande de toutes les épaisseurs, la finesse est inférieure à celle des autres profils ;
- le profil en ellipse d'épaisseur 15% permet d'augmenter le coefficient de portance entre 3 et 4 % par rapport à celui de l'ellipse d'épaisseur 10% mais avec un coefficient de trainée supérieur.

D'où la nécessité de regarder la polaire d'Eiffel qui montre que le coefficient directeur de la tangente passant par l'origine du profil ellipse 10% est supérieur à celui de la tangente à l'ellipse 15%, donc que la finesse du profil à 10% est supérieure à la finesse du profil à 15%.

Conclusion : le choix de profil de pale est elliptique d'épaisseur 10%.

Question 15

Pour chaque valeur il existe une valeur optimale de l'angle α (optimale dans le sens où bien évidemment, le but est de rendre le couple maximal). Cette valeur optimale de α dépend de la distance radiale r le long de la pale. Pour optimiser le rendement de la pale, la solution constructive consiste à avoir une pale « vrillée », avec un angle α plus important près de l'axe de rotation. Par ailleurs le couple élémentaire sur chaque élément est plus important loin de l'axe, ce qui est normal car la vitesse $r\Omega$ est supérieure d'une part, et parce que l'on est plus loin de l'axe d'autre part (« bras de levier » plus important).

Il est également possible d'accepter un angle de calage constant à condition de caler pour la zone la plus productive, c'est à dire loin du moyeu, mais cette solution est moins satisfaisante.

Question 16

Il y a 6 pales, il faut donc additionner les 6 moments créés par chaque pale.

Et chaque moment créé par chaque pale est calculé par l'intégrale du moment élémentaire en fonction de l'abscisse radiale r : $\Gamma = \sum_{i=1}^6 \int_2^5 d\Gamma_i$ ou $6 \times \int_2^5 d\Gamma_i$

Question 17

Pour une vitesse de courants marins $V_C = 4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ une puissance de $P = 1 \text{ MW}$ pour une vitesse de rotation de la turbine d'environ $13 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Pour obtenir le couple, $P = \Gamma \cdot \Omega$ ou une lecture sur le DR3.

Le couple Γ est de l'ordre de $734 \text{ kN} \cdot \text{m}$, et $\lambda_{opt} = \frac{R\Omega}{V_C} = \frac{5 \times 13 \times 2\pi}{4,2 \times 60} = 1,62$

Question 18

Le cas le plus "défavorable" (worst case) pour l'apparition du phénomène de cavitation est lorsque :

la pression de vapeur saturante est la plus élevée (c'est-à-dire à température élevée ici 15°C). La lecture permet de définir une pression de vapeur saturante de 2100 Pa ;

pour une température donnée la pression locale est minimale, P_{atm} faible $990 \text{ h} \cdot \text{Pa}$;

la pression hydrostatique est faible : $h_{minimal} = 15 \text{ m}$, avec un creux de houle important de (-8 m) . $h = 15 - 8 = 7 \text{ m}$;

la pression hydrodynamique est faible : $Cp_{minimum} = -19,8$ et une vitesse spécifique faible $\lambda = 1,16$.

Question 19

La vitesse amont à partir de laquelle il peut y avoir un risque de cavitation vérifie : $P_{locale} \leq P_{vap_sat}$

$$P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{p_{min}} \cdot V^2 \leq P_{sat} \Rightarrow \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{p_{min}} \cdot V^2}_{\leq 0} \geq \underbrace{P_{sat} - P_{atm} - \rho \cdot g \cdot h}_{\leq 0}$$

$$V \geq \sqrt{\frac{P_{vap_sat} - P_{atm} - \rho gh}{\frac{1}{2} \rho C_{pmin}}} \Rightarrow V_{min} = \sqrt{\frac{P_{vap_sat} - P_{atm} - \rho gh}{\frac{1}{2} \rho C_{pmin}}}$$

Dans le pire des cas, il y a risque de cavitation pour une vitesse de courant de marée supérieure à :

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2100 - 99000 - 1025 \times 9,81 \times (15 - 8)}{\frac{1}{2} \times 1025 \times (-19,86)}} = 4,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 20

La Sabella D10 est placée à 40 mètres de fond. La profondeur d'immersion de l'hydrolienne écarte le risque de cavitation. Le calcul pour $h = 40 - 8 = 32 \text{ m}$ et $\rho = 1035 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ la masse volumique de l'eau moyenne entre 1 et 4 bars : $V_{cmin} = 6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \gg 4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Cette vitesse n'est jamais atteinte au fond du Fromveur donc il n'y a aucun risque de cavitation.

Question 21

La cavitation peut être éliminée en augmentant C_p (diminution en valeur absolue), ce qui est obtenu en augmentant la vitesse spécifique λ , donc en augmentant la vitesse de rotation de la turbine.

Le moyen mis en œuvre pour sécuriser l'hydrolienne est de mettre la turbine à l'arrêt avec des freins mécaniques si les courants marins excèdent $4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 22

Exigence 1 : développer la puissance maximale possible pour le courant de marée amont à un instant donné ;

Exigence 2 : éviter l'apparition de phénomènes contraignants, comme la cavitation ;

Pour cela l'étude a montré qu'il fallait maintenir une vitesse spécifique de fonctionnement $\lambda_{opt} = 1,6$.

La grandeur d'entrée est la vitesse amont du courant de marée V_c imposée par les phénomènes extérieurs ;

La grandeur de sortie à commander est la vitesse de rotation de la turbine Ω .

Question 23

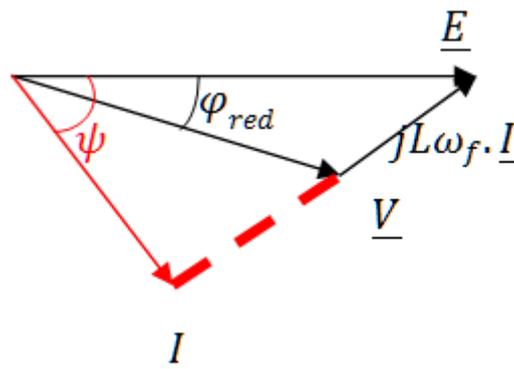
$$\omega_{gen_13} = p \Omega = 120 \times 13 \times 2 \times \frac{\pi}{60} = 163,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 24

La génératrice est synchrone, la pulsation des forces électromotrices générées $\omega_{gen} = p \Omega$ doit être égale à la pulsation imposée par le redresseur ω_{red} afin que le couple ait une valeur moyenne non nulle et ne contienne pas de termes pulsatoires.

Question 25

$$\underline{V} = \underline{E} - jL\omega_f \underline{I}$$



Question 26

$$P_{gen} = 3EI \cos(\psi)$$

$$Q_{gen} = 3EI \sin(\psi)$$

$\psi = 0$ maximise P (à I constant et donc Ω constant)

Question 27

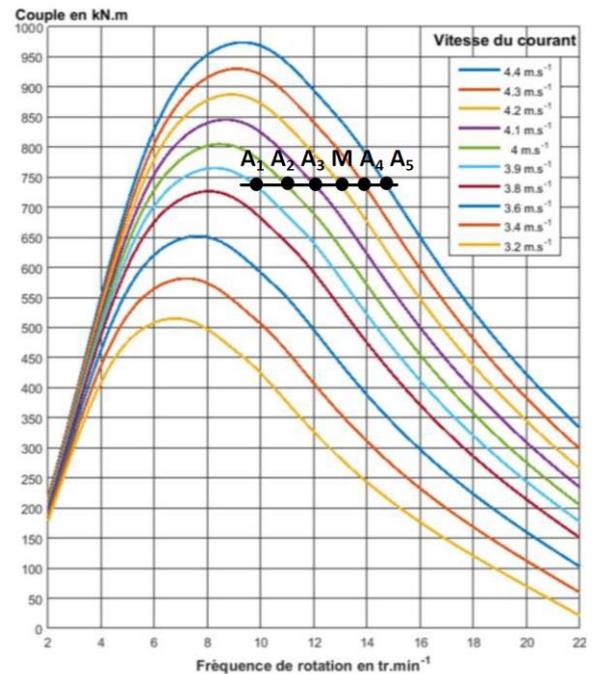
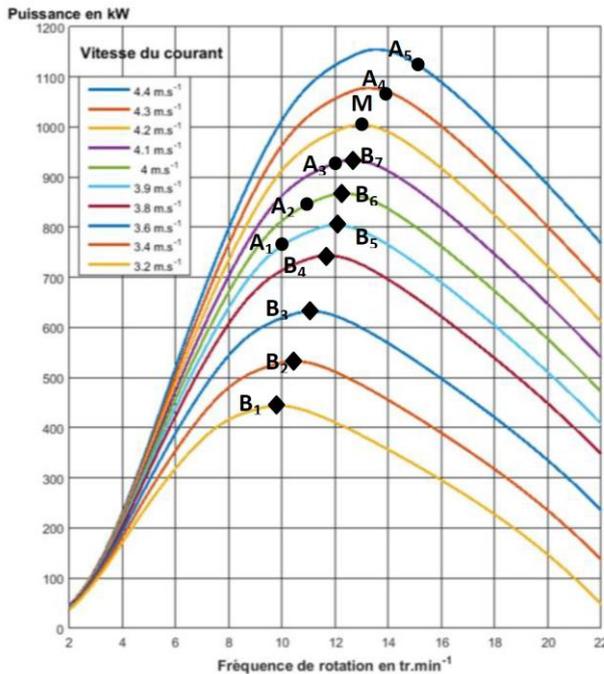
Il faut augmenter le couple Γ_r appliqué à la turbine pour diminuer la vitesse Ω , donc augmenter le courant I . Ceci est obtenu en augmentant $\underline{E-V}$, donc en diminuant \underline{V} . Il faut donc diminuer S_{amp} pour ralentir la turbine.

Il n'y a pas d'autre moyen de réglage, car les pales ne sont pas orientables, le flux incident n'est pas contrôlable.

Question 28

$$P_M = 1 \text{ MW}, N_M = 13 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} \Rightarrow \Gamma_M = 734 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Question 29



Tracé d'une droite horizontale à $740 \text{ kN} \cdot \text{m}$, il existe 2 points d'intersection avec chaque caractéristique de la turbine. Il faut retenir les points de droite pour le point de fonctionnement car c'est celui qui est stable. $[A_1, \dots, A_5]$.

Point de fonctionnement à $V_C = 3,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($9,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$)

Point de fonctionnement à $V_C = 4,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($15,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$)

$V_C \in [3,9 ; 4,4]$

Pour des courants inférieurs à $3,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, le couple résistant est supérieur au couple que la turbine peut fournir, l'équilibre des couples est impossible, pas de point de fonctionnement, la turbine cale.

Question 30

Positionner les points $[A_1, \dots, A_5]$ et lire la puissance $P \in [750 \text{ kW}; 1150 \text{ kW}]$

Question 31

Les points ne sont pas optimaux car ils ne sont pas au maximum des courbes de puissance alors que l'installation est conçue pour fournir de la puissance, et non pas du couple.

Une stratégie de recherche du maximum de puissance serait meilleure.

Pour $V_C > 4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ il y a dépassement des 1000 kW ainsi que de la fréquence maximale. Cela peut être acceptable sur un temps limité mais pas en fonctionnement permanent.

Cette stratégie de commande à couple constant n'est pas optimale car elle ne permet pas d'extraire le maximum de puissance quand les vitesses de courants diminuent.

Question 32

$[B_1, \dots, B_7]$ (cf figure question 29).

Question 33

Au-delà d'une vitesse de courant de $4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, le MPPT donne des puissances qui dépassent 1000 kW . Ce n'est pas acceptable de manière permanente.

Aménagements acceptés :

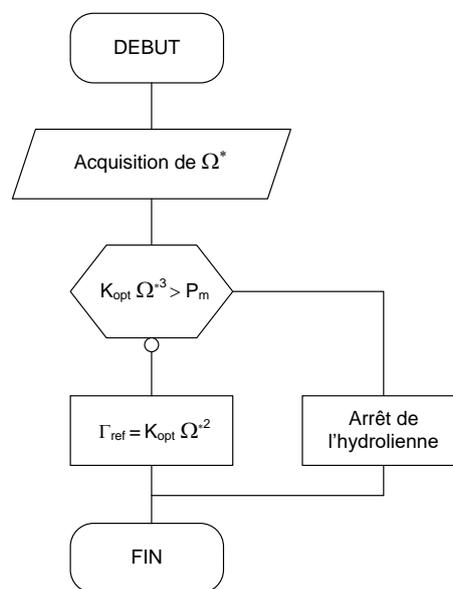
- limiter la puissance à $P = P_{max}$, en acceptant une survitesse (diminution du couple) ;
- stopper la génératrice quand les courants sont supérieurs à $4,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question 34

Il faut extraire le maximum de puissance jusqu'à 1000 kW puis écrêter la puissance à 1000 kW . Il s'agit de la solution habituelle mise en œuvre sur les éoliennes ("rated-output speed" = vitesse à laquelle on cesse de suivre le MPPT pour travailler à puissance constante, au prix d'un écrêtage)

Question 35

Algorithme MPPT connaissant Ω



Question 36

```
// Initialisation
Lire P // puissance reçue par l'hydrolienne
P1 ← P
P2 ← P

// P & O : « Perturb and observe »
Boucle
  Lire P
  P2 ← P
  SI P2 > P1 alors
    Cref = Cref + δ
  SINON
    Cref = Cref - δ
  FIN_SI
  P1 ← P2
  Attendre 1s
  Aller à Boucle
```

Question 37

$P = 3 E \cdot I \cdot \cos(\psi)$; $\Gamma_{resist} = 3E \cdot I \cdot \frac{\cos(\psi)}{\Omega}$ maximal pour $\psi = 0$.

Question 38

$$\Gamma_{resist} = 3 E \cdot I \cdot \frac{\cos(\psi)}{\Omega} = 3 K_e \cdot I \cdot \cos(\psi) = K_I \cdot I$$

$$K_I = 3 K_e$$

Question 39

$$C(p) = \frac{S(p)}{\varepsilon(p)} \Leftrightarrow \left(K \frac{1 + T_i \cdot p}{T_i \cdot p} \right) = \frac{S(p)}{\varepsilon(p)} \Leftrightarrow S(p) T_i \cdot p = K (1 + T_i \cdot p) \varepsilon(p)$$

$$T_i \cdot \frac{ds(t)}{dt} = K \cdot \varepsilon(t) + K \cdot T_i \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

Question 40

Approximation du nombre dérivé par le taux d'accroissement :

$$T_i \cdot \frac{ds(t)}{dt} = K \cdot \varepsilon(t) + K \cdot T_i \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \Leftrightarrow \frac{ds(t)}{dt} = \frac{K}{T_i} \cdot \varepsilon(t) + K \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

$$\frac{s_k - s_{k-1}}{T_e} = \frac{K}{T_i} \cdot \varepsilon_k + K \cdot \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}}{T_e} \Leftrightarrow s_k = s_{k-1} + \frac{K \cdot T_e}{T_i} \cdot \varepsilon_k + K(\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1})$$

$$s_k = s_{k-1} + K \left(1 + \frac{T_e}{T_i} \right) \cdot \varepsilon_k - K \cdot \varepsilon_{k-1}$$

$$A = 1, B = K \left(1 + \frac{T_e}{T_i} \right), C = -K$$

Question 41

La solution MPPT sans capteur est plus robuste car elle ne requière pas de capteur de vitesse.

Le maximum mesuré ne dépend plus d'une courbe théorique obtenue avec un certain nombre d'hypothèses.

C'est une boucle fermée avec asservissement de puissance, ce qui garantit une maximisation effective de celle-ci en s'affranchissant des possibles erreurs de modèle.

Question 42

Le bilan thermique entre la nacelle à plein régime et les serpentins remplis d'eau de mer s'écrit, pour une température nominale de l'eau d'entrée de 15°C et une température de sortie n'excédant pas $T_{entrée}$ de plus de 10°C :

$$Q_m = \frac{P_{evacuée}}{C_{p,eau}(T_{entrée} - T_{sortie})} = \frac{61000}{3875(15 - 25)} = 1,57 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 43

Flux perdu à travers un élément d'échangeur dS : $d\Phi = \theta \cdot (T_{eau \text{ de mer}} - T_{nacelle}) \cdot dS$

Flux gagné par l'eau de mer : $d\Phi = -(Q_m \cdot C_{p,eau}) \cdot dT_{eau \text{ de mer}}$

Question 44

$$\theta \cdot (T_{eau \text{ de mer}} - T_{nacelle}) \cdot dS = -Q_m \cdot C_{p,eau} \cdot dT_{eau \text{ de mer}}$$

$$\frac{dT_{eau \text{ de mer}}}{T_{eau \text{ de mer}} - T_{nacelle}} = -\frac{\theta \cdot dS}{Q_m \cdot C_{p,eau}}$$

Question 45

De l'expression précédente on déduit : $T_{eau \text{ de mer}} - T_{nacelle} = A \cdot e^{-\frac{\theta \cdot S}{Q_m \cdot C_{p,eau}}}$

À $x = 0, S = 0$ et $T_{eau \text{ de mer}} = T_{entrée}$ donc $T_{entrée} - T_{nacelle} = A$

Au bout du serpentin après toute la surface d'échange $S = \Sigma$:

$$T_{eau \text{ de mer}} = T_{sortie}$$

$$T_{\text{sortie}} - T_{\text{nacelle}} = A \cdot e^{-\frac{\theta \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{p,\text{eau}}}}$$

$$T_{\text{sortie}} = T_{\text{nacelle}} + (T_{\text{entrée}} - T_{\text{nacelle}}) \cdot e^{-\frac{\theta \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{p,\text{eau}}}}$$

d'où :

$$\alpha = T_{\text{nacelle}} \quad ; \quad \beta = T_{\text{entrée}} - T_{\text{nacelle}} \quad ; \quad \gamma = \frac{\theta \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{p,\text{eau}}}$$

Question 46

$$\alpha = T_{\text{nacelle}} = 35^\circ\text{C} \quad ; \quad \beta = T_{\text{entrée}} - T_{\text{nacelle}} = -25^\circ\text{C} \quad ; \quad \gamma = \frac{\theta \cdot \Sigma}{Q_m \cdot C_{p,\text{eau}}} = \frac{500.20}{1,57.3875} = 1,64$$

$$T_{\text{sortie}} = 35 - 25 \cdot e^{-1,64} = 30^\circ\text{C}$$

30°C est supérieur à $10^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C}$ donc l'exigence « respecter le milieu marin » n'est pas validée.

Une solution est d'augmenter le débit de la pompe

Avec un débit = $1,57 \times 4 = 6,28 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ et une température de sortie $T_{\text{sortie}} = 18,4^\circ\text{C}$, le cahier des charges est alors validé même dans ces conditions extrêmes.

Question 47

$$1,5 \cdot F_H \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - (\alpha + \gamma)\right) \cdot Y_K < m_C \cdot g \cdot d_{KC}$$

$$1,5 \cdot F_H \cdot \sin(\alpha + \gamma) \cdot Y_K < m_C \cdot g \cdot d_{KC}$$

avec

$$d_{KC} = \sin(2\gamma) \cdot \sqrt{x_C^2 + z_C^2}$$

$$m_C > \frac{1,5 \cdot F_H \cdot \sin(\alpha + \gamma) \cdot Y_K}{g \cdot \sin(2\gamma) \cdot \sqrt{x_C^2 + z_C^2}} = 49 \text{ tonnes}$$

Question 48

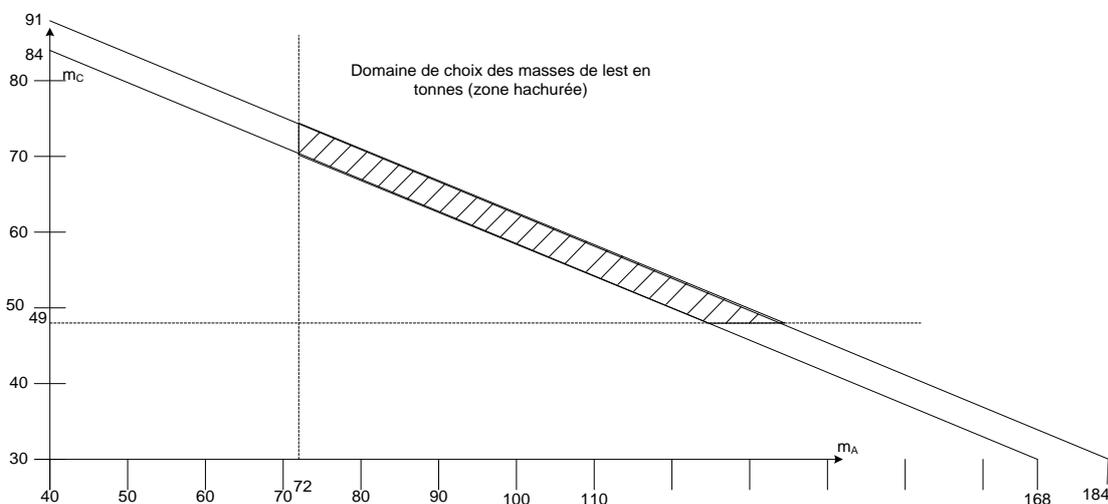
$$(m_A + m_B + m_C) \cdot 9,81 > 660 \cdot 2,5 = 1650 \text{ kN} \quad \text{et} \quad m_B = m_C$$

$$(m_A + 2 m_C) > 168 \text{ tonnes} \quad (1650 \text{ kN})$$

Question 49

Le système d'inéquations est le suivant (en tonnes) :

$$m_C > 49 \quad ; \quad m_A > 72 \quad ; \quad (m_A + 2 m_C) > 168 \quad ; \quad (m_A + 2 m_C) + 66,238 < 250$$



Question 50

1. L'exploitation du document 4 conduit à trouver un besoin en puissance sur l'île compris entre 1360 kW et 1100 kW.
2. Les hydroliennes, éoliennes et solaire photovoltaïque ne produisent pas 24 h/24 h.
3. Exemple d'une capacité installée supérieure à la puissance maximale nécessaire comprenant par exemple 2 hydroliennes (1 MW mécanique : probablement 700 kW électrique), une éolienne 3 MW, une installation photovoltaïque pour 1 MW)
Un mix énergétique entre les 3 augmente la disponibilité d'une énergie verte tout au long de la journée sans pour autant la garantir à 100%.
4. Il convient donc d'envisager un stockage de cette énergie verte sous forme par exemple de batteries ou/et de conserver un groupe électrogène pour assurer la disponibilité de l'électricité aux habitants (ce qui revient à stocker de l'énergie sous forme fossile).
5. Si les énergies renouvelables rentrent à hauteur de 80% dans la production électrique de l'île les émissions de CO₂ passeront de 670 gCO₂·kWh⁻¹ à 134 gCO₂·kWh⁻¹.

I.2 Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Arrêté du 19 avril 2016

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

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

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

1. Présentation du sujet

Le sujet proposé pour la session 2020 prenait pour support l'hydrolienne Sabella D10 immergée en 2015 dans le passage du Fromveur au large de l'île d'Ouessant. D'un diamètre de 10 mètres, cette hydrolienne, dont la puissance atteint 1 MW, participe activement à l'évolution de l'île d'Ouessant vers une production moderne et décarbonée d'énergie électrique.

La répartition des problématiques scientifiques et techniques était telle que les connaissances des champs technologiques des options II, IE, IM et IC étaient équitablement mobilisées.



Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse : https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agregation_externes/95/6/s2020_agreg_externes_sii_1_1259956.pdf

2. Analyse globale des résultats

Le sujet comportait six parties indépendantes. Les chiffres qui suivent concernent uniquement les candidats de l'option IC.

La première partie permettait de découvrir les exigences du support étudié et mettait en évidence, à partir des données de production et de consommation, la nécessité de décarboner la production d'énergie sur l'île d'Ouessant. Cette partie généraliste a été presque entièrement traitée par les candidats (93 % de taux de réponse), avec des résultats satisfaisants pour la moitié d'entre eux (43 % de bonnes réponses).

La seconde partie vérifiait les qualités hydrodynamiques de la turbine au regard des exigences portant sur la puissance et le champ de pression.

Cette partie a été abordée par près des deux tiers des candidats (61 % de taux de réponse), quelques difficultés ont été rencontrées pour progresser efficacement (33 % de taux de bonnes réponses pour les candidats ayant abordé cette partie).

La troisième partie analysait en détail la chaîne de conversion d'énergie menant de la ressource en courant marin à la fourniture à terre d'énergie électrique compatible avec les besoins.

Cette partie a été traitée par un bon tiers des candidats (36 %). Le taux de bonnes réponses à cette partie est assez faible (22 %).

La quatrième partie analysait le bien-fondé de plusieurs lois de commande du système automatique visant à optimiser la fourniture d'énergie.

Cette partie a été fort peu abordée (20 % des candidats), avec des résultats globalement faibles (taux de bonnes réponses : 15 %).

La cinquième partie vérifiait le bon dimensionnement du dispositif principal d'évacuation de chaleur ainsi que celui de la structure porteuse gravitaire.

La sous-partie portant sur l'analyse thermique de la machine a inspiré plus d'un tiers des candidats (37 %), les résultats qu'ils obtiennent restent modestes (taux de bonnes réponses : 26 %).

Pour la sous-partie qui étudiait la structure porteuse, 42 % des candidats s'y sont intéressés, avec seulement 20 % de bonnes réponses.

La sixième et dernière partie abordait, sous forme d'une analyse et d'une synthèse, l'inclusion de l'hydrolienne dans un contexte de mix énergétique permettant d'atteindre le but d'une production décarbonée à hauteur de 70 %.

Plus de la moitié des candidats (53 %) a traité cette partie, et parmi ceux-ci 19 % obtiennent des résultats intéressants.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Le sujet, pour être traité de manière extensive, demandait à la fois des qualités scientifiques précises et une bonne vision globale des enjeux techniques dans les différents champs impliqués.

Le niveau général observé sur cette épreuve à large spectre est assez satisfaisant ; quelques copies remarquables sortent du lot par la précision de leurs réponses, la qualité de leur rédaction et la gamme des thématiques traitées.

Un nombre assez important de copies montre cependant des connaissances parcellaires, incompatibles avec les objectifs de cette épreuve à vocation transversale. Qui plus est, un certain nombre de copies est insuffisant techniquement jusque dans les domaines directement liés à l'ingénierie des constructions.

L'étude hydrodynamique de la turbine a permis à de nombreux candidats d'obtenir des résultats corrects. Il en va en partie de même pour l'étude thermique, même si des lacunes sur les outils traditionnels du calcul opérationnel (transformation de Laplace) et des équations différentielles sont constatées.

L'étude statique de la structure fait apparaître quelques très bonnes copies, mais encore trop peu nombreuses.

Les champs de l'énergie électrique et de l'algorithmique ont été très insuffisamment traités, alors même que l'intégration croissante dans les constructions des technologies issues de ces domaines demanderait une meilleure connaissance des principes de base de ces domaines.

Les questions de synthèse, en particulier la conclusion de l'étude, permettaient de situer le niveau de recul qu'un candidat professeur pouvait dégager à partir de données et de savoir-faire techniques. Trop peu de copies donnent satisfaction de ce point de vue : soit elles manquent de perspective sur les enjeux pluri-techniques, soit elles expriment des banalités en n'utilisant pas les données factuelles précises exigées par l'analyse.

4. Conseils aux futurs candidats

Il est rappelé que les diverses branches de l'ingénierie ne sont pas indépendantes. Une collaboration entre des spécialistes demande un corpus commun de connaissances suffisamment étoffé pour être fructueuse, et il en va de même pour le travail d'un enseignant amené à situer son action dans le cadre de projets pluri-techniques, et ce à tous les niveaux de formation.

Il est donc recommandé au candidat :

- de travailler à mesurer l'importance en ingénierie des constructions des champs techniques qu'il croyait étrangers à sa spécialité ;

- d'étudier dans le programme du concours la partie commune aux quatre options :

https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/70/1/p2020_agreg_ext_sii_1107701.pdf ;

- de s'appropriier, en utilisant par exemple des manuels d'un bon niveau, les méthodes et principes de base des domaines de l'ingénierie électrique, informatique et mécanique en plus des connaissances directement liées à son domaine d'élection ;

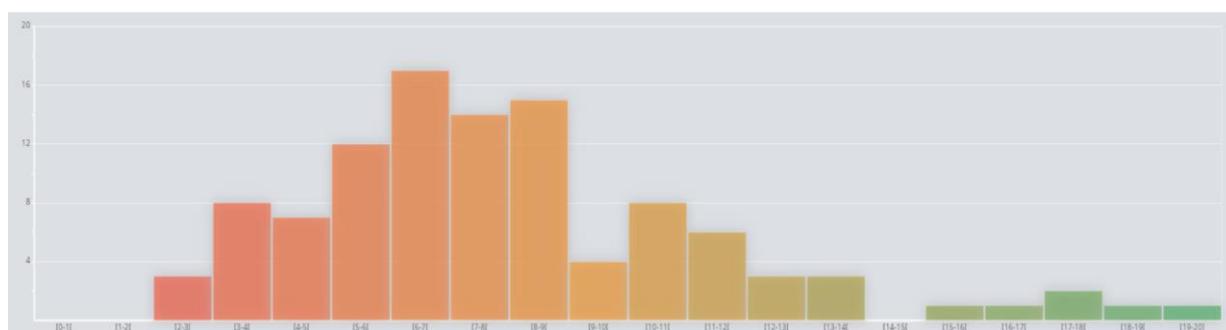
- de s'entraîner à articuler entre elles les connaissances mobilisées par ces divers domaines à l'aide d'études de cas réels, qui peuvent être trouvés en particulier dans les rapports de jury des années précédentes (<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/pid34315/se-preparer-pour-les-concours-second-degre-jurys.html>).

5. Résultats

106 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5.

La meilleure note est 20, la plus faible est 2,25/20.

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



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

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

Partie A – Structure et Matériaux

Partie A1 – Etude d'une poutre voile

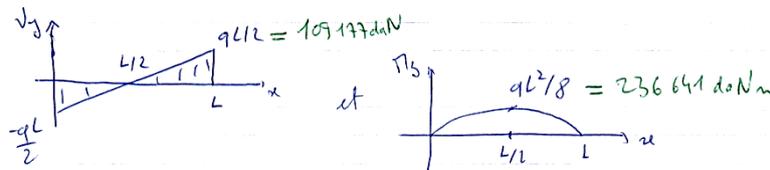
Rq : la convention de signe adoptée est celle de la MMC pour les contraintes (compression négative et traction positive) et celle correspondant aux efforts de réduction définis comme les actions du tronçon de droite sur le tronçon de gauche pour la RDM.

Question 1:

La théorie des poutres requiert que la section soit petite devant la portée ce qui n'est pas le cas ici, notamment vis-à-vis de la hauteur de la section qui est supérieure au tiers de la portée. Celle-ci n'est donc pas complètement adéquate pour la structure proposée.

Question 2:

L'effort normal N_x est nul (pas d'effort horizontal). L'effort tranchant et le moment fléchissant évoluent comme suit :

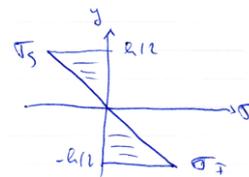


La contrainte normale dans la poutre s'exprime en fonction de l'effort normal et du moment fléchissant :

$$\sigma_{xx}(x, y) = \frac{N_x(x)}{S} - \frac{M_z(x)}{I_{Gz}} y$$

A mi-travée ($x=L/2$) on a donc pour la poutre concernée : $N_x = 0$ et $M_z = \frac{qL^2}{8}$ donc la contrainte le long de la hauteur de la section à mi travée s'exprime comme suit :

$$\sigma_{xx}(L/2, y) = -\frac{qL^2}{8} \frac{y}{\frac{bh^3}{12}} = -\frac{3qL^2}{2bh^3} y$$



En fibre inférieure et supérieure on obtient : $\sigma_I = \sigma_{xx}\left(\frac{L}{2}, -h/2\right) = \frac{3qL^2}{4bh^2}$ et $\sigma_S = \sigma_{xx}\left(\frac{L}{2}, h/2\right) = -\frac{3qL^2}{4bh^2}$

AN : $\sigma_I = 7.9MPa$ et $\sigma_S = -7.9MPa$

Question 3:

Le voile n'est pas chargé perpendiculairement à son plan moyen (O, \vec{x}, \vec{y}) donc le vecteur contrainte $\vec{T}(m, \vec{z})$ est nul sur les surfaces latérales du voile. Le voile étant de plus assimilable à une plaque mince de par son épaisseur très inférieure aux deux autres dimensions (x et y), la contrainte dans le voile peut être considérée comme nulle suivant \vec{z} ($\sigma_{zz} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$).

L'hypothèse de formulation 2D contrainte planes (dans le plan (O, \vec{x}, \vec{y})) est donc validée.

Question 4:

Les conditions aux limites choisies bloquent totalement la rotation de la 1^{ère} rangée d'éléments finis sur les zones d'appuis et rigidifient en conséquence la structure car elles équivalent à prendre en compte les poteaux comme infiniment rigides

Pour une modélisation plus proche de la réalité d'un voile isostatique reposant sur deux poteaux il faudrait mailler les poteaux et considérer ainsi leur comportement élastique dans le calcul.

Question 5:

La modélisation par la théorie des poutres (schéma RDM de la figure 3 du sujet) autorise totalement la rotation au niveau des appuis, là où le calcul EF bloque la rotation sur la rangée d'éléments au niveau des appuis. On note également que les sections extrêmes du voile dans le calcul EF sont libres et ne restent pas droites comme cela est supposé dans le calcul RDM.

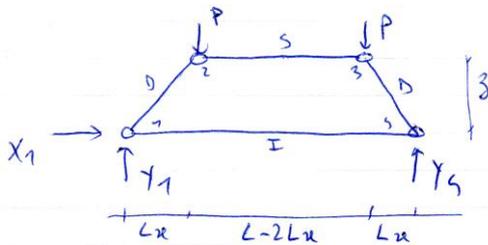
Question 6 :

Le champ de la contrainte normale σ_{xx} présenté sur la figure 6 du sujet montre une distribution globalement similaire à ce qui serait obtenu par un calcul RDM. On retrouve en effet des contraintes nulles sur la fibre à mi-hauteur du voile (axe neutre), ainsi que sur les sections d'extrémités (zones de moment nul en RDM). On retrouve les contraintes maximales à mi-travée avec une distribution donnant des contraintes de compression en fibre supérieure et de traction en fibre inférieure (valeurs proches du calcul RDM). La différence se situe aux voisinages des appuis où l'on observe sur le champ de contrainte une concentration de contrainte.

Concernant le champ de contrainte normale σ_{yy} , on constate que, contrairement au calcul RDM où cette contrainte est supposée nulle (seules contraintes non nulles en RDM pour cet élément d'axe x et de hauteur z sont la contrainte normale σ_{xx} et la contrainte de cisaillement τ_{xz}), la contrainte dans le voile n'est pas nulle en tout point du voile. On constate en effet une zone comprimée au-dessus des zones d'appui et une contrainte en fibre supérieure légèrement comprimée également (la zone supérieure du voile est donc soumise à un état de compression dans 2 directions).

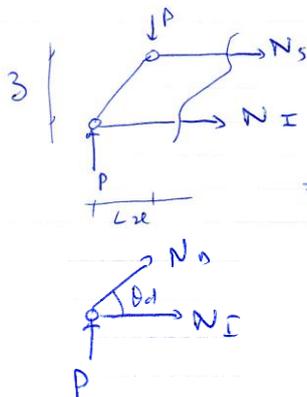
Question 7 :

Le PFS appliqué sur le treillis complet permet de déterminer les réactions d'appui :



$$\begin{aligned} \Sigma_{/x}: X_1 &= 0 & X_1 &= 0 \\ \Sigma_{/y}: Y_1 + Y_4 - 2P &= 0 & \Rightarrow Y_1 &= P \\ \Sigma_{M1}: PL_x - P(L - L_x) + Y_4L &= 0 & Y_4 &= P \end{aligned}$$

Le système étant entièrement réticulé, les barres sont uniquement sollicitées par un effort normal. La méthode des coupures est utilisée afin de déterminer les efforts dans les membrures. L'écriture de l'équilibre du nœud 1 (en bas à gauche) permet ensuite de déterminer l'effort dans la diagonale (identique dans les deux diagonales du fait de la symétrie).



$$\begin{aligned} \Sigma_{M1}: -N_S \cdot z - PL_x &= 0 & \Rightarrow N_S &= -P \frac{L_x}{z} \\ \Sigma_{M2}: N_I \cdot z - PL_x &= 0 & N_I &= P \frac{L_x}{z} \end{aligned}$$

$$\Sigma_{/y}: N_D \cdot \sin\theta_d + P = 0 \Rightarrow N_D = -\frac{P}{\sin\theta_d}$$

Les diagonales et la barre supérieure sont comprimées (effort normal négatif), ce sont donc les bielles tandis que la barre inférieure est tendue et représente donc le tirant.

Question 8 :

D'après la figure 8 du sujet on a $\tan\theta_d = \frac{z}{L_x}$. Donc $\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{z}{L_x}\right)$.

Voile de longueur entre axes 8.67 m :

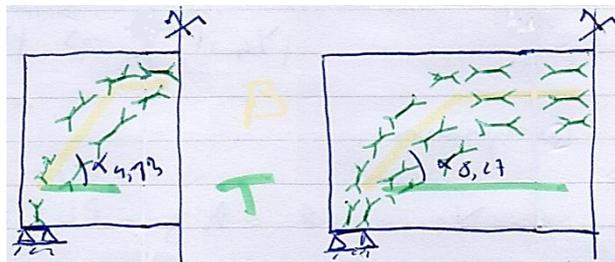
$h=3\text{m}$ donc $2 \leq L/h \leq 3$. On a donc $z = \frac{2h}{3} = 2\text{ m}$ et $L_x = \frac{L-a}{4} = 2.07\text{ m}$. Ceci donne $\theta_d = 44\text{ deg}$.

Voile de longueur entraxe 4.53 m :

$h=3\text{m}$ donc $1 \leq L/h \leq 2$. On a donc $z = 0.54h + 0.06L = 1.89\text{ m}$ et $L_x = \frac{L-a}{4} = 1.03\text{ m}$. Ceci donne $\theta_d = 61\text{ deg}$.

Question 9 :

La contrainte présentée est la contrainte mineure et on n'observe que des valeurs négatives ou nulles, donc la figure permet de visualiser le cheminement de la contrainte de compression maximale. On constate que les contraintes de compression cheminent depuis la fibre supérieure où elles sont orientées selon x vers les appuis où elles sont orientées selon y.



On retrouve bien la présence d'une bielle horizontale en fibre supérieure (sur une longueur plus ou moins importante selon la longueur du voile). On retrouve également la présence de bielles inclinées (inclinaison progressive des contraintes de compression de x vers y) avec des inclinaisons comparables à la méthode bielle-tirant. Pour le voile court on retrouve une inclinaison moyenne des bielles plus importante sur le voile court, comme c'est le cas dans la méthode bielle-tirant.

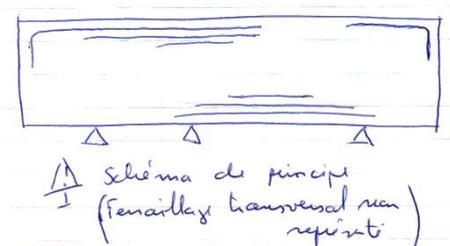
Question 10 :

Pour le chargement subi par la poutre continue on constate en observant le diagramme du moment fléchissant (tracé avec la convention de signe usuelle donnant les efforts internes positifs s'ils représentent les efforts du tronçon de droite sur le tronçon de gauche) que l'on a l'apparition de moments négatifs sur les appuis, sur la travée 1 et sur les éléments en console. On aura donc une inversion des signes de contraintes sur ces appuis. Ces inversions de signe de moment nécessitent un ferrailage adapté.

Les aciers principaux permettent en effet de reprendre les contraintes de tractions subies par la poutre, on devra donc les placer en fibre supérieure là où le moment est négatif (sur appui et en console) et en fibre inférieure lorsque le moment est positif.

Pour les cadres, le choix du placement se ferait à partir du diagramme de l'effort tranchant.

Une représentation schématique de la répartition du ferrailage longitudinal (schéma de principe seulement) dans la longueur de la poutre serait celle présentée ci-contre.



Question 11 :

La poutre est hyperstatique de degré 1 donc on appliquera une seule fois la formule des 3 moments afin d'identifier le moment sur l'appui intermédiaire (noté A1 dans ce corrigé). Les moments sur les appuis d'extrémités (A0 à gauche et A1 à droite) ne sont en-effet pas des inconnues hyperstatiques et peuvent être calculés par simple coupure.

$$M_0 = M_2 = -\frac{qL_a^2}{2} (= -455 \text{ kN.m})$$

Ces moments au droit des consoles étant connus, on peut alors déterminer le moment sur l'appui intermédiaire avec l'équation suivante :

$$M_0L_b + 2M_1(L_b + L_c) + M_2L_c = 6EI(\omega'_{1,2} - \omega'_{1,1})$$

Dans cette équation on a :

$$\omega'_{1,2} = -\frac{qL_c^3}{24EI} \text{ et } \omega'_{1,1} = \frac{qL_b^3}{24EI}$$

Ceci donne au final :

$$M_1 = q \left[\frac{L_a^2}{4} - \frac{L_b^3 + L_c^3}{8(L_b + L_c)} \right] (= 1549 \text{ kN.m})$$

Question 12 :

Connaissant les valeurs des moments sur appuis (question 10) et en utilisant la formule donnée appliquée à l'appui central (i=1) on trouve : $Y_{A1} = 2030 \text{ kN}$. (A titre indicatif, non demandé dans le sujet on a $Y_{A0} = 807 \text{ kN}$ et $Y_{A2} = 1444 \text{ kN}$)

Question 13 :

Sur la travée principale on retrouve une distribution de contrainte normale similaire à celle observée en isostatique avec une contrainte de traction en fibre inférieure et une compression en fibre supérieure, ceci étant cohérent avec la distribution du moment qui donne un moment positif sur une grande partie de la travée. La contrainte maximale est obtenue au voisinage de la mi-travée (ce qui correspond au moment maximal obtenu en RDM) avec une valeur inférieure à celle obtenue en isostatique (env +/- 5 MPa contre +/- 7.5 MPa en isostatique). Ceci est en concordance avec les observations obtenues par le calcul RDM puisque le moment maximal obtenu en travée est également inférieur au cas isostatique (résultat classique de poutres continues chargées sur toute la longueur de la poutre suite à la redistribution du moment du fait de la continuité).

Sur les appuis, de la même façon que l'on observait une inversion du signe du moment sur les calculs RDM, on retrouve ici une inversion de la distribution de contraintes normales longitudinale avec une fibre inférieure comprimée et une fibre supérieure légèrement tendue.

Il est également intéressant de noter que des contraintes de traction se développent à environ 1 m au-dessus des appuis entourant la travée principale, en conséquence de la continuité du voile. Dans une méthode bielle-tirant on aurait ici un tirant secondaire à positionner.

Question 14 :

Le calcul RDM donne une réaction d'appui $Y_{A1} = 2030 \text{ kN}$. Dans le calcul RDM le poteau étant articulé en tête il est soumis à une compression simple (pas de moment transmis au poteau). La contrainte subie est $\sigma_{yy A1} = -Y_{A1}/S_{pot} = -25 \text{ MPa}$. Le champ de contrainte montre une répartition de contrainte normale dans le poteau (σ_{yy}) qui peut être considéré comme uniforme et de valeur environ -24 MPa.

Question 15 :

On constate tout d'abord que les poteaux latéraux sont moins sollicités que le poteau central. Contrairement au poteau central, la distribution de la contrainte σ_{yy} n'est pas uniforme. On constate par exemple sur le poteau A2 (droite) que la contrainte varie dans l'épaisseur du poteau (selon x) de -12 MPa à environ -7 MPa. Les poteaux latéraux sont donc sollicités en flexion composée, sous l'effet d'un moment induit par l'encastrement voile-poteau.

Question 16 :

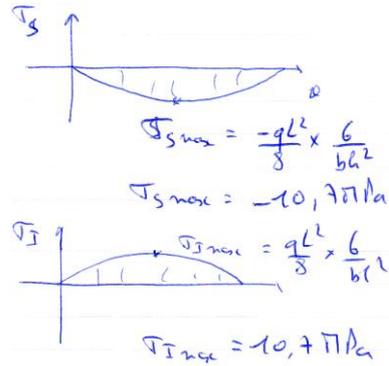
La contrainte normale se calcule comme suit :

$$\sigma_{xx}(x, y) = \frac{N_x(x)}{S} - \frac{M_z(x)}{I_{Gz}} y$$

Dans le cas de l'application des seules charges en service $N_x(x) = 0 \forall x$. On a donc :

En fibre supérieure $\sigma_{xx\ sup}(x) = -\frac{6 M_z(x)}{bh^2}$

En fibre inférieure $\sigma_{xx\ inf}(x) = \frac{6 M_z(x)}{bh^2}$



Question 17 :

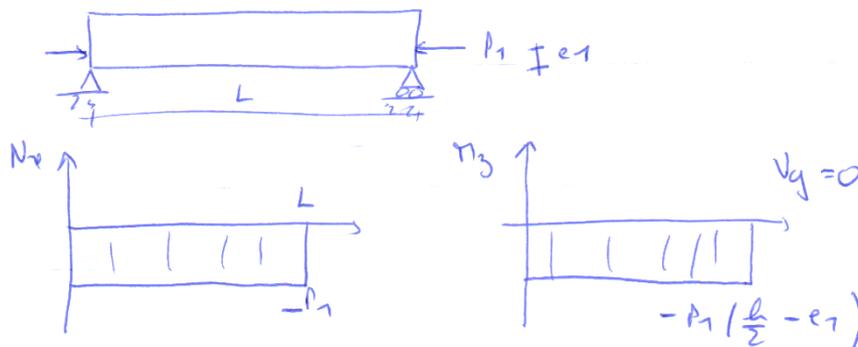
Le système de précontrainte permet d'appliquer un effort de compression (excentré ou non) à un élément en béton de façon à compenser tout ou partie des contraintes de tractions induites dans l'élément par le chargement extérieur (et le poids propre). On distingue deux technologies différentes : la pré-tension et la post-tension.

Dans le cas de la pré-tension le câble est tendu dans le coffrage. Le béton est coulé autour du câble tendu. Une fois le béton durci, le câble est relâché du coffrage et la tension du câble se transmet au béton. Avec cette technologie le câble est obligatoirement rectiligne.

Dans le cas de la post-tension le béton est coulé autour d'une gaine. Une fois le béton durci on vient tendre le câble et bloquer la tension du câble à l'aide de cales d'ancrage.

Avec cette technique le câble peut être excentré (il peut même être placé hors de la section du béton) et il peut adopter une forme curviligne (afin d'adapter son excentrement à la distribution des moments fléchissants par exemple)

Question 18 :



Question 19 :

Sous l'effet de la seule précontrainte l'effort normal et le moment fléchissant étant constant le long de la poutre (qu. 18) la contrainte sera elle aussi constante en fonction de x.

Soit en fibre supérieure :

$$\sigma_{xx\ sup} = cste = -\frac{P_1}{bh} + \frac{6P_1}{bh^2} \left(\frac{h}{2} - e_1 \right)$$

Et en fibre inférieure :

$$\sigma_{xx\ inf} = cste = -\frac{P_1}{bh} - \frac{6P_1}{bh^2} \left(\frac{h}{2} - e_1 \right)$$

Pour simplifier l'expression, dans le cas présent où l'excentrement est fixé, on peut exprimer l'excentrement en fonction de la hauteur : $e_1 = 0.25 m = \frac{5}{18} \times 0.9 m$ donc on peut remplacer e_1 par $5h/18$ dans l'expression des contraintes.

On obtient ainsi au final :

En fibre supérieure :	$\sigma_{xx \text{ Sup}}(P_1) = \frac{P_1}{3bh}$	Traction (valeur qui doit rester faible)
Et en fibre inférieure :	$\sigma_{xx \text{ Inf}}(P_1) = -\frac{7P_1}{3bh}$	Compression (qui va compenser la traction induite par le chargement)

Question 20 :

Lorsque la poutre est en service sans précontrainte, une contrainte de traction de 10.7 MPa se développe à mi travée de la poutre en fibre inférieure (voir question 16). On souhaite donc annuler cette contrainte de traction par l'application de la précontrainte. On cherche donc P_1 qui permet de développer une contrainte de compression au moins égale à 10,7 MPa soit P_1 telle que $\sigma_{xx \text{ Inf}}(P_1) \leq -10,7 \text{ MPa}$.

D'après la question 19 cela nous donne : $-\frac{7P_1}{3bh} \leq -10,7 \text{ MPa}$ et donc $P_1 \geq 1.86 \text{ MN}$.

Cette précontrainte permettra d'annuler la contrainte de traction en travée qui se serait développée lors de la mise en charge.

Il est à noter que la précontrainte développera également une contrainte de traction en fibre supérieure sur toute la longueur de la poutre égale à $P_1/3bh = 1.5 \text{ MPa}$ (d'après la question 19 et avec la valeur minimale de précontrainte trouvée ci-dessus). Ceci n'était pas à étudier dans cette question car dans la réalité la contrainte induite par la précontrainte se développe progressivement sur les extrémités (du fait de l'adhérence acier-béton qui entre en jeu dans le cas d'une pré-tension) et donc la traction est vite compensée par le développement des contraintes de compression induites par le chargement en fibre supérieure.

Question 21 :

Dans cette question on souhaite s'assurer que les contraintes développées avant la mise en charge (donc sous l'effet de la précontrainte seule) seront bien reprises par le béton à l'âge de la mise en précontrainte. D'après le diagramme fourni la résistance en compression dépasse 11 MPa à partir de 1.38 j et la résistance en traction dépasse 1.6 MPa à partir de 1.5 j.

Si on veut que le béton ne subisse pas une contrainte plus importante que sa capacité résistante au moment de la mise en précontrainte il faut donc attendre au moins 1.5 jours.

Question 22 :

Si on maintient une cure de 40°C (313K) de 0 à une date t_0 on obtient une maturité équivalente à celle obtenue par une cure à 20°C maintenue pendant le temps équivalent suivant :

$$t_{eq \text{ } 20^\circ\text{C}} = \int_0^{t_0} \exp\left(-\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{313} - \frac{1}{293}\right)\right) dt = \exp\left(-\frac{Ea}{R}\left(\frac{1}{313} - \frac{1}{293}\right)\right) [t]_0^{t_0} = 2.145 t_0$$

Le temps nécessaire à 40°C pour obtenir une maturité équivalente à celle obtenue par une cure à 20°C maintenue 1.5 j est donc :

$$2.145 t_0 = \frac{t_{eq \text{ } 20^\circ\text{C}}}{2.145} = \frac{1.5}{2.145} = 0.7 \text{ j}$$

Question 23 :

Le phénomène à l'origine des élévations de température à cœur à jeune âge est l'hydratation du ciment. C'est en effet une réaction exothermique qui joue un rôle de source interne de chaleur.

A 2h, l'hydratation est très lente donc la poutre chauffe seulement sous l'effet de la cure extérieure, la surface est donc à une température équilibrée avec la cure (40°C) et plus élevée que le cœur (encore à 20°C du fait de la conduction faible de la chaleur par le béton).

A 8.5h, l'hydratation a produit une importante chaleur interne qui conduit à une élévation de température dans le béton. Cette élévation est plus importante au cœur car en surface le flux de convection avec l'air ambiant (à 40°C) évacue une partie de la chaleur produite.

A 5j, les réactions d'hydratation se sont très fortement ralenties et l'exothermie devient négligeable. La température de la section de béton s'équilibre donc avec la température extérieure.

Question 24 :

Avec une précontrainte par pré-tension on recense 2 types de pertes :

- Les pertes instantanées : elles sont liées à la déformation élastique du béton au moment où on « relâche » le câble
- Les pertes différées : elles sont dues à la relaxation du câble au cours du temps et aux déformations différées du béton (retrait, fluage). Une partie peut également être due à une perte d'adhérence.

Avec un système de post-tension on trouve en supplément des pertes associées au recul d'ancrage ainsi qu'aux effets de frottement du câble lorsque ceux-ci sont courbes.

Question 25 :

La valeur du module instantané E_0 peut être déterminée à partir de la déformation instantanée (mesurée au moment de l'application de la charge). Cette déformation est de $300 \mu\text{m/m}$ d'après la figure 20.

$$\varepsilon_{zz}(0) = \frac{\sigma_0}{E_0} \Rightarrow E_0 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{zz}(0)} = \frac{11.55 \text{ MPa}}{300 \times 10^{-6}} = 38.5 \text{ GPa}$$

Question 26 :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right) = 0 \text{ donc } \lim_{t \rightarrow \infty} (\varepsilon_{zz}(t)) = \sigma_0 \left(\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_1} \right)$$

Si l'on considère que la déformation est stabilisée à $416 \mu\text{m/m}$ on peut écrire : $\varepsilon_{zz}(416 \mu\text{m/m}) = \sigma_0 \left(\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_1} \right)$

Comme E_0 est connu (voir question 25) on est alors capable d'identifier E_1 .

Question 27 :

On constate que l'évolution de la déformation est asymptotique pour atteindre la valeur utilisée pour l'identification de E_1 ($\varepsilon_{zz}(416 \mu\text{m/m})$). Avec un temps caractéristique très court, on surestime fortement le fluage dans les premières semaines. Avec un temps caractéristique long on le sous-estime au contraire, y compris à plus long terme.

Question 28 :

On constate que quelle que soit l'identification du temps caractéristique, le modèle donne une valeur asymptotique de la déformation. La déformation expérimentale de fluage montre quant à elle une réduction de cinétique de fluage mais une évolution de la déformation croissante malgré tout (déformation en log du temps).

Le risque à long terme est que, dans le cas où on utilise une valeur « moyen terme » (comme ici à $416 \mu\text{m/m}$) pour identifier la valeur de l'asymptote, on sous-estime fortement les déformations de fluage à long terme (au-delà de la date choisie pour l'identification). On sous-estime donc les pertes de précontrainte associées et il y a un risque de ruine de l'ouvrage induite par une baisse trop importante de la précontrainte.

Partie B - Hydraulique et Energétique

Partie B1 – Etude hydraulique de la distribution d'eau chaude

Question 29:

En circuit fermé, la hauteur manométrique totale de la pompe est égale à la somme des pertes de charge de l'ensemble des tronçons constituant un circuit.

Le tableau ci-dessus nous donne les valeurs des pertes de charge des tronçons du circuit alimentant la batterie chaude de la CTAN 4.2 :

Ainsi

$$H_{MT} = J_{A'-ECHANGEUR-A} + J_{AB+B'A'} + J_{BC+C'B'} + J_{CD-D'C'} + J_{DE+E'D'} + J_{EF+F'E'} + J_{F-BATTERIE-F'}$$

$$H_{MT} = 3924 + 1324 + 294 + 736 + 196 + 343 + 2600 = 9417 \text{ daPa}$$

La pompe est placée sur le tronçon AB, ce qui donne un débit de :

$$q_v = 6,38 \text{ m}^3/\text{h}$$

L'équation de Bernoulli entre les points B et B' donne :

$$P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g z_B = P_{B'} + \frac{1}{2}\rho v_{B'}^2 + \rho g z_{B'} + J_{BB'}$$

Avec :

- $v_B = v_{B'}$, car $q_{VB} = q_{VB'}$ et $D_B = D_{B'}$
- $z_B = z_{B'}$
- $\Delta P_{BB'} = P_B - P_{B'}$
- $J_{BB'} = J_{BC+C'B'} + J_{CD-D'C'} + J_{DE+E'D'} + J_{EF+F'E'} + J_{F-BATTERIE-F'}$

Ce qui donne :

$$\Delta P_{BB'} = J_{BC+C'B'} + J_{CD-D'C'} + J_{DE+E'D'} + J_{EF+F'E'} + J_{F-BATTERIE-F'}$$

$$\Delta P_{BB'} = 294 + 736 + 196 + 343 + 2600 = 4169 \text{ daPa}$$

Question 30 :

Débit en régime nominal de la pompe : $q_v = 6,38 \text{ m}^3/\text{h}$

Calcul de la H_{MT} de la pompe par rapport à l'équation de la pompe donnée pour une vitesse de rotation de $N=4065$ T/min :

$$H_{MT} = -17,1 \times 6,38^2 + 103 \times 6,38 + 9455,9 = 9417 \text{ daPa}$$

Cette valeur correspond bien à la valeur déterminée précédemment.

Calcul de la puissance absorbée en régime nominal :

$$P_{abs} = -0,07 \times 6,38^3 + 1,66 \times 6,38^2 + 8,7 \times 6,38 + 258 = 363 \text{ W}$$

Question 31 :

A partir des équations de la pompe à la vitesse de rotation N :

$$H_{MT} = a q_v^2 + b q_v + c$$

$$P_{abs} = d q_v^3 + e q_v^2 + f q_v + g$$

et des lois de comportement de la pompe en fonction du rapport de la vitesse de rotation $n = \frac{N'}{N}$:

$$q_v = \frac{q'_v}{n}, \quad H_{MT} = \frac{H'_{MT}}{n^2} \text{ et } P_{abs} = \frac{P'_{abs}}{n^3}$$

on obtient :

$$\frac{H'_{MT}}{n^2} = a \left(\frac{q'_v}{n} \right)^2 + b \frac{q'_v}{n} + c \Leftrightarrow H'_{MT} = an^2 \frac{q'^2_v}{n^2} + bn^2 \frac{q'_v}{n} + cn^2$$

$$H'_{MT} = aq'^2_v + bnq'_v + cn^2$$

$$\text{et } \frac{P'_{abs}}{n^3} = d \left(\frac{q'_v}{n} \right)^3 + e \left(\frac{q'_v}{n} \right)^2 + f \frac{q'_v}{n} + g$$

$$P'_{abs} = dn^3 \frac{q'^3_v}{n^3} + en^3 \frac{q'^2_v}{n^2} + fn^3 \frac{q'_v}{n} + n^3 g$$

$$P'_{abs} = dq'^3_v + enq'^2_v + fn^2 q'_v + n^3 g$$

Question 32 :

Pour un fonctionnement quelconque, l'équation de Bernoulli appliquée sur le circuit fermé alimentant la batterie chaude de la CTAN 4.2 donne :

$$H_{MT} = J_{A'-ECHANGEUR-A} + J_{AB+B'A'} + J_{BC+C'B'} + J_{CD-D'C'} + J_{DE+E'D'} + J_{EF+F'E'} + J_{F-BATTERIE-F'}$$

$$\text{avec } J_{BC+C'B'} + J_{CD-D'C'} + J_{DE+E'D'} + J_{EF+F'E'} + J_{F-BATTERIE-F'} = \Delta P_{BB'}$$

Ce qui donne :

$$H_{MT} = J_{A'-ECHANGEUR-A} + J_{AB+B'A'} + \Delta P_{BB'}$$

Avec

$$J_{A'-ECHANGEUR-A} = Z_1 q_{v1}^2 \text{ et } J_{AB+B'A'} = Z_2 q_{v2}^2$$

Ainsi on a bien la relation suivante :

$$H_{MT} = Z_1 q_{v1}^2 + Z_2 q_{v2}^2 + \Delta P_{BB'}$$

Question 33 :

On calcule les valeurs des deux résistances à partir des valeurs en régime nominal données dans le tableau.

$$Z_1 = \frac{J_{A'-ECHANGEUR-A}}{q_{v1}^2} = \frac{3924}{27,72^2} = 5,107 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

$$Z_2 = \frac{J_{AB+B'A'}}{q_{v2}^2} = \frac{1324}{6,38^2} = 32,527 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

Question 34 :

L'équation de la pompe donnée pour une vitesse de rotation différente de celle du régime nominal peut s'écrire de la manière suivante :

$$H_{MT} = -17,1q_v^2 + 103nq_v + 9455,9n^2$$

La puissance de la pompe absorbée donnée pour une vitesse de rotation différente de celle du régime nominal peut s'écrire de la manière suivante :

$$P_{abs} = -0,07q_v^3 + 1,66nq_v^2 + 8,7n^2q_v + n^3258$$

CAS 1 : mode de régulation à ΔP constante :

Débit dans l'échangeur de la sous station : $q_{V1} = \frac{27,72}{2} = 13,86 \text{ m}^3/h$

Débit de la pompe : $q_{V2} = \frac{6,38}{2} = 3,19 \text{ m}^3/h$

Détermination de $\Delta P_{BB'}$:

$$\Delta P_{BB'} = \text{constante} = 4169 \text{ daPa}$$

Calcul de la H_{MT} de la pompe :

$$H_{MT} = Z_1q_{v1}^2 + Z_2q_{v2}^2 + \Delta P_{BB'} = 5,107 \times 13,86^2 + 32,527 \times 3,19^2 + 4169 = 5481 \text{ daPa}$$

Déterminer la vitesse de rotation de la pompe permettant d'obtenir le point de fonctionnement souhaité revient donc à résoudre l'équation d'inconnue n suivante :

$$5481 = -17,1 \times 3,19^2 + 103n \times 3,19 + 9455,9n^2$$

Ce qui donne la résolution du trinôme suivant :

$$9455,9n^2 + 328,57n - 5655,011 = 0$$

On obtient après résolution la valeur de $n=0,756$

Ce qui fait une vitesse de rotation de :

$$N = 0,756 \times 4065 = 3074 \text{ T/min}$$

Calcul de la puissance de la pompe :

$$P_{abs} = -0,07 \times 3,19^3 + 1,66 \times 0,756 \times 3,19^2 + 8,7 \times 0,756^2 \times 3,19 + 0,756^3 \times 258 = 138 \text{ W}$$

CAS 2 : mode de régulation à ΔP variable :

Débit dans l'échangeur de la sous station : $q_{V1} = \frac{27,72}{2} = 13,86 \text{ m}^3/h$

Débit de la pompe : $q_{V2} = \frac{6,38}{2} = 3,19 \text{ m}^3/h$

Détermination de $\Delta P_{BB'}$:

$$\Delta P_{BB'} = 162q_v + 3135 = 162 \times 3,19 + 3135 = 3651,8 \text{ daPa}$$

Calcul de la H_{MT} de la pompe :

$$H_{MT} = Z_1q_{v1}^2 + Z_2q_{v2}^2 + \Delta P_{BB'} = 5,107 \times 13,86^2 + 32,527 \times 3,19^2 + 3651,8 = 4963,9 \text{ daPa}$$

Déterminer la vitesse de rotation de la pompe permettant d'obtenir le point de fonctionnement souhaité revient donc à résoudre l'équation d'inconnue n suivante :

$$4963,9 = -17,1 \times 3,19^2 + 103n \times 3,19 + 9455,9n^2$$

Ce qui donne la résolution du trinôme suivant :

$$9455,9n^2 + 328,57n - 5137,911 = 0$$

On obtient après résolution la valeur de $n=0,720$

Ce qui fait une vitesse de rotation de :

$$N = 0,720 \times 4065 = 2927 \text{ T/min}$$

Calcul de la puissance de la pompe :

$$P_{abs} = -0,07 \times 3,19^3 + 1,66 \times 0,720 \times 3,19^2 + 8,7 \times 0,720^2 \times 3,19 + 0,720^3 \times 258 = 121 \text{ W}$$

Question 35 :

Dans ce cas de figure (fermeture de l'ensemble des tronçons permettant l'alimentation des batteries), la partie du réseau entre les points B et B' correspond aux tronçons BC, CD, DE, EF, F-BIPASSE-F', F'E', E'D', D'C' et C'B', montés en série.

Le débit traversant l'ensemble de ces tronçons est identique et égal à q_{vMIN} .

La perte de charge de l'ensemble peut s'exprimer en fonction de la résistance hydraulique équivalente Z_3 .

On a donc :

$$J_{BB'} = \Delta P_{BB'} = Z_3 q_{vMIN}^2$$

Avec

$$Z_3 = Z_{BC+C'B'} + Z_{CD+D'C'} + Z_{DE+E'D'} + Z_{EF+F'E'} + Z_{F-BIPASSE-F'}$$

Question 36 :

Le calcul des différentes résistances se fait à partir des valeurs en régime nominal données dans le tableau.

$$Z_{BC+C'B'} = \frac{294}{6,38^2} = 7,22 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

$$Z_{CD+D'C'} = \frac{736}{4,45^2} = 37,17 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

$$Z_{DE+E'D'} = \frac{196}{2,96^2} = 22,37 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

$$Z_{EF+F'E'} = \frac{343}{1,48^2} = 156,59 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

Dans le cas du tronçon F-BIPASSE-F', il est précisé que le bipasse a été équilibré afin d'obtenir la même résistance hydraulique que le tronçon F-BATTERIE-F', donc :

$$Z_{F-BIPASSE-F'} = Z_{F-BATTERIE-F'} = \frac{2600}{0,77^2} = 4385,23 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

Ainsi,

$$Z_3 = 7,22 + 37,17 + 22,37 + 156,59 + 4385,23 = 4602,58 \text{ daPa} \cdot \text{h}^2 \cdot \text{m}^{-6}$$

Question 37 :CAS 1 : mode de régulation à ΔP constante :

Détermination de $\Delta P_{BB'}$:

$$\Delta P_{BB'} = \text{constante} = 4169 \text{ daPa}$$

Calcul du débit minimum :

$$\Delta P_{BB'} = Z_3 q_{vMIN}^2$$

Ce qui donne,

$$q_{vMIN} = \sqrt{\frac{\Delta P_{BB'}}{Z_3}} = \sqrt{\frac{4169}{4602,58}} = 0,95 \text{ m}^3/\text{h}$$

CAS 2 : mode de régulation à ΔP variable :

Détermination de $\Delta P_{BB'}$ au débit minimum :

$$\Delta P_{BB'} = 162 q_{vMIN} + 3135$$

Calcul du débit minimum :

$$\Delta P_{BB'} = 162 q_{vMIN} + 3135 = Z_3 q_{vMIN}^2$$

Ce qui donne la résolution du trinôme suivant :

$$Z_3 q_{vMIN}^2 - 162 q_{vMIN} - 3135 = 0$$

On obtient après résolution la valeur de :

$$q_{vMIN} = 0,84 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le cahier des charges impose un débit minimum au moins de 10% du débit nominal de la pompe :

$$(q_{vMIN})_{\text{cahier des charges}} = 0,1 \times 6,38 = 0,638 \text{ m}^3/\text{h}$$

On constate que cette contrainte est respectée pour les deux modes de régulation.

Partie B2 – Etude et analyse de l'efficacité du système de récupération d'énergie

Question 38 :

Calcul de l'enthalpie du point intérieur :

$$h_I = c_{PAS} t_I + w_I (L_V + C_{PVE} t_I)$$

$$h_I = 1,006 \times 28 + 10,7 \cdot 10^{-3} (2501 + 1,83 \times 28) = 55,48 \text{ kJ/kg}_{AS}$$

Calcul du volume massique de l'air humide dans les conditions intérieures :

$$v_I = 462 \times (0,622 + w_I) \frac{T_I}{P_I}$$

$$v_I = 462 \times (0,622 + 10,7 \cdot 10^{-3}) \times \frac{273,15 + 28}{101325 + 30} = 0,869 \text{ m}^3_{AH}/\text{kg}_{AS}$$

Calcul du débit massique d'air repris :

$$q_{MAR} = \frac{q_{vAR}}{v_I} = \frac{11565}{3600 \times 0,869} = 3,697 \text{ kg}_{AS}/\text{s}$$

Question 39 :

Bilan enthalpique sur l'humidificateur à pulvérisation de gouttelettes :

$$\underbrace{\frac{q_{MAR} h_I}{\text{FLUX ENTHALPIQUE AIR HUMIDE ENTRANT}}}_{\text{FLUX ENTHALPIQUE AIR HUMIDE ENTRANT}} + \underbrace{\frac{q_{me} c_{peau} t_{eau}}{\text{FLUX ENTHALPIQUE EAU ENTRANT}}}_{\text{FLUX ENTHALPIQUE EAU ENTRANT}} + \underbrace{\frac{\dot{Q}}{\text{PUISSANCE THERMIQUE ECHANGEE=0}}}_{\text{PUISSANCE THERMIQUE ECHANGEE=0}} = \underbrace{\frac{q_{MAR} h_H}{\text{FLUX ENTHALPIQUE AIR HUMIDE SORTANT}}}_{\text{FLUX ENTHALPIQUE AIR HUMIDE SORTANT}}$$

Ce qui donne

$$h_H = h_I + \frac{q_{me} c_{peau} t_{eau}}{q_{MAR}} \quad (1)$$

Bilan hydrique sur l'humidificateur à pulvérisation de gouttelettes :

$$\underbrace{\frac{q_{MAR} w_I}{\text{FLUX HYDRIQUE AIR HUMIDE ENTRANT}}}_{\text{FLUX HYDRIQUE AIR HUMIDE ENTRANT}} + \underbrace{\frac{q_{me}}{\text{DEBIT MASSIQUE EAU PULVERISEE}}}_{\text{DEBIT MASSIQUE EAU PULVERISEE}} = \underbrace{\frac{q_{MAR} w_H}{\text{FLUX HYDRIQUE AIR HUMIDE SORTANT}}}_{\text{FLUX HYDRIQUE AIR HUMIDE SORTANT}}$$

Ce qui donne

$$w_H = w_I + \frac{q_{me}}{q_{MAR}} \quad (2)$$

Expression de l'enthalpie du point H :

$$h_H = c_{PAS} t_H + w_H (L_V + C_{PVE} t_H)$$

Expression de la température du point H en fonction de w_H et h_H :

$$t_H = \frac{h_H - w_H L_V}{c_{PAS} + w_H C_{PVE}} \quad (3)$$

En combinant les équations (1), (2) et (3), on obtient :

$$t_H = \frac{\frac{q_{me}}{q_{mAR}} \times c_{peau} \times t_{eau} + h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}{c_{PAS} + C_{PVE} \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}$$

Question 40 :

$$t_H = \frac{\frac{37,5}{3600 \times 3,697} \times 4,18 \times 20 + 55,48 - 2501 \times \left(10,7 \cdot 10^{-3} + \frac{37,5}{3600 \times 3,697} \right)}{1,006 + 1,83 \times \left(10,7 \cdot 10^{-3} + \frac{37,5}{3600 \times 3,697} \right)} = 21,25 \text{ °C}$$

Question 41 :

Evolution isenthalpique : $h_H = h_I$

L'équation 1 devient : $h_H = h_I$ (1)

L'équation 2 est inchangée.

L'équation 3 devient :

$$t'_H = \frac{h_I - w_H L_V}{c_{PAS} + w_H C_{PVE}}$$

Ce qui donne :

$$t'_H = \frac{h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}{c_{PAS} + C_{PVE} \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}$$

Erreur commise :

$$e = \frac{t_H - t'_H}{t_H}$$

$$e = \frac{\frac{\frac{q_{me}}{q_{mAR}} \times c_{peau} \times t_{eau} + h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}{c_{PAS} + C_{PVE} \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)} - \frac{h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}{c_{PAS} + C_{PVE} \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}}{\frac{\frac{q_{me}}{q_{mAR}} \times c_{peau} \times t_{eau} + h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}{c_{PAS} + C_{PVE} \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}}$$

$$e = \frac{\frac{q_{me}}{q_{mAR}} \times c_{peau} \times t_{eau}}{\frac{q_{me}}{q_{mAR}} \times c_{peau} \times t_{eau} + h_I - L_V \left(w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} \right)}$$

$$e = \frac{\frac{37,5}{3600 \times 3,697} \times 4,18 \times 20}{\frac{37,5}{3600 \times 3,697} \times 4,18 \times 20 + 55,48 - 2501 \times \left(10,7 \cdot 10^{-3} + \frac{37,5}{3600 \times 3,697} \right)} = 0,011 = 1,1\%$$

Question 42 :

La température de rosée est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser.

Ce qui revient à déterminer pour quelle température la pression partielle de vapeur d'eau de l'air extérieur ($t_E=32^\circ\text{C}$, $w_E=10,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}_{VE}/\text{kg}_{AS}$, $P_E=101325 \text{ Pa}$) correspond à une pression de saturation.

Calcul de la pression partielle de vapeur d'eau dans les conditions de l'air extérieur :

$$P_{VE} = \frac{w_E \times P_E}{0,622 + w_E} = \frac{10,5 \cdot 10^{-3} \times 101325}{0,622 + 10,5 \cdot 10^{-3}} = 1682,1 \text{ Pa}$$

On cherche donc à résoudre l'équation suivante :

$$10^{\frac{7,625 \times t_{ROSEE} + 2,7877}{241 + t_{ROSEE}}} = 1682,1 \text{ Pa}$$

Ce qui donne :

$$t_{ROSEE} = \frac{241 \times (\log(1682,1) - 2,7877)}{7,625 - \log(1682,1) + 2,7877} = 14,7^\circ\text{C}$$

Sachant que la température de surface du récupérateur t_{SURF} ne peut pas être inférieure à la température la plus basse, c'est-à-dire celle correspondant au point H t_H .

On a donc toujours $t_{SURF} \geq t_H > t_{ROSEE}$

Il n'existe donc pas de risque de condensation à l'intérieur du récupérateur.

L'évolution de l'air extérieur à l'intérieur du récupérateur est donc isohyde.

Question 43 :

Puissance échangée entre 2 états A et B :

$$P = q_m(h_B - h_A)$$

$$P = q_m(c_{PAS}t_B + w_B(L_V + C_{PVE}t_B) - c_{PAS}t_A - w_A(L_V + C_{PVE}t_A))$$

$$P = q_m(c_{PAS}t_B + w_B C_{PVE}t_B - c_{PAS}t_A - w_A C_{PVE}t_A + w_B L_V - w_A L_V)$$

Evolution isohyde, donc :

$$w_B = w_A$$

Ce qui donne

$$P = q_m(c_{PAS} + w_A C_{PVE}) \times (t_B - t_A)$$

On a bien

$$P = q_m c_{PAH} (t_B - t_A) \text{ avec } c_{PAH} = c_{PAS} + w_A C_{PVE}$$

Question 44 :

Calcul du volume massique de l'air humide dans les conditions extérieures :

$$v_E = 462 \times (0,622 + w_E) \frac{T_E}{P_E}$$

$$v_E = 462 \times (0,622 + 10,5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{273,15 + 32}{101325} = 0,880 \text{ m}_{AH}^3/\text{kg}_{AS}$$

Calcul du débit massique d'air neuf :

$$q_{mAN} = \frac{q_{vAN}}{v_E} = \frac{12225}{3600 \times 0,880} = 3,859 \text{ kg}_{AS}/s$$

Calcul de la teneur en eau du point H :

$$w_H = w_I + \frac{q_{me}}{q_{mAR}} = 10,7 \cdot 10^{-3} + \frac{37,5}{3600 \times 3,697} = 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}_{VE}/\text{kg}_{AS}$$

Calcul de la chaleur massique de l'air neuf :

$$c_{PAHE} = c_{PAS} + w_E c_{PVE} = 1,006 + 10,5 \cdot 10^{-3} \times 1,83 = 1,025 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{AS}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Calcul de la chaleur massique de l'air repris :

$$c_{PAHH} = c_{PAS} + w_H c_{PVE} = 1,006 + 13,5 \cdot 10^{-3} \times 1,83 = 1,031 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{AS}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Question 45 :

Calcul de la capacité thermique de l'air neuf :

$$C_{AN} = q_{mAN} \times c_{PAHE} = 3,859 \times 1,025 = 3,96 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}$$

Calcul de la capacité thermique de l'air repris :

$$C_{AR} = q_{mAR} \times c_{PAHH} = 3,697 \times 1,031 = 3,81 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}$$

Rapport des capacités thermiques :

$$R = \frac{C_{MIN}}{C_{MAX}} = \frac{C_{AR}}{C_{AN}} = \frac{3,81}{3,96} = 0,96$$

Nombre d'unités de transfert :

$$NUT = \frac{US}{C_{MIN}} = \frac{11,9}{3,81} = 3,12$$

Efficacité du récupérateur :

$$E = \frac{1 - e^{-NUT(1-R)}}{1 - R \times e^{-NUT(1-R)}} = \frac{1 - e^{-3,12 \times (1-0,96)}}{1 - 0,96 \times e^{-3,12 \times (1-0,96)}} = 0,77$$

Puissance échangée dans le récupérateur :

$$P_R = E \times C_{MIN} \times \Delta T_{ENTREES} = E \times C_{MIN} \times (t_E - t_H) = 0,77 \times 3,81 \times (32 - 21,3) = 31,4 \text{ kW}$$

Calcul de la température de l'air neuf en sortie du récupérateur :

$$t_R = t_E - \frac{P_R}{C_{AN}} = 32 - \frac{31,4}{3,96} = 24,1^\circ\text{C}$$

Question 46:

Ecart de températures aux entrées du récupérateur :

- Sans humidificateur : $\Delta T_{ENTREES} = t_E - t_I$
- Avec humidificateur : $\Delta T_{ENTREES} = t_E - t_H$

L'efficacité ne dépend pas des températures :

Expression de la puissance du récupérateur :

- Sans humidificateur : $P_R = E \times C_{MIN} \times (t_E - t_I)$
- Avec humidificateur : $P'_R = E \times C_{MIN} \times (t_E - t_H)$

Expression du gain :

$$G = 100 \times \frac{P'_R - P_R}{P_R} = \frac{E \times C_{MIN} \times (t_E - t_H) - E \times C_{MIN} \times (t_E - t_I)}{E \times C_{MIN} \times (t_E - t_I)}$$

$$G = 100 \times \frac{(t_E - t_H) - (t_E - t_I)}{(t_E - t_I)} = 100 \times \frac{t_I - t_H}{t_E - t_I}$$

$$G = 100 \times \frac{28 - 21,3}{32 - 28} = 167,5\%$$

Partie B3 - Etude de l'isolant thermique de la canalisation d'eau surchauffée du piquage entre le réseau urbain et l'échangeur de la sous-station.

Question 47 : Pourquoi peut-on considérer la température de la paroi intérieure de l'isolant pratiquement égale à celle de l'eau surchauffée ?

La résistance thermique entre l'eau et la surface interne de l'isolant est faible (coefficient de convection forcée entre l'eau et la surface interne du fluide grand, épaisseur du tube acier faible et coefficient de conductivité thermique du tube grand).

On peut donc négliger leur effet et poser $T_{R2}=T_{eau}$

Question 48 :

Expression de la surface d'échange isotherme à une distance r de l'axe :

$$S(r) = 2\pi rL$$

L'équation de Fourier en regroupant les variables devient :

$$dT = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda L} \times \frac{dr}{r}$$

En régime permanent il y a conservation du flux thermique et comme on fait également l'hypothèse d'un matériau isotrope, le groupement $\frac{\Phi}{2\pi\lambda L}$ est constant.

L'expression du flux échangé sur une longueur L de tube s'obtient en intégrant l'équation de Fourier entre la surface interne de l'isolant et sa surface externe.

On obtient donc

$$\int_{T_{eau}}^{T_S} dT = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$$

$$T_S - T_{eau} = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda L} \times \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

Ce qui donne

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda L}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} (T_{eau} - T_S)$$

Question 49 :

Equation donnant la variation de la conductivité thermique de l'isolant, exprimée en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, en fonction de la température :

$$\lambda = 0,159 \cdot 10^{-3}T + 31,89 \cdot 10^{-3}$$

Par identification on obtient :

$$\lambda = \lambda_0(1 + KT) = 31,89 \cdot 10^{-3} \left(1 + \frac{0,159}{31,89} T\right)$$

Avec

$$\lambda_0 = 31,89 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ et } K = 0,005 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Question 50 :

L'équation de Fourier dans le cas où la conductivité du matériau varie linéairement avec la température devient :

$$\Phi = -\lambda_0(1 + KT)2\pi rL \frac{dT}{dr}$$

En regroupant les différents termes on obtient :

$$(1 + KT)dT = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda_0L} \frac{dr}{r}$$

L'expression du flux échangé sur une longueur L de tube s'obtient en intégrant l'équation de Fourier entre la surface interne de l'isolant et sa surface externe.

$$\int_{T_{eau}}^{T_S} (1 + KT)dT = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda_0L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$$

$$\left[T + K \frac{T^2}{2} \right]_{T_{eau}}^{T_S} = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda_0L} \times \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$\frac{K}{2} (T_S^2 - T_{eau}^2) + (T_S - T_{eau}) = -\frac{\Phi}{2\pi\lambda_0L} \times \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

Ce qui donne :

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda_0L}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} \left(\frac{K}{2} (T_{eau}^2 - T_S^2) + T_{eau} - T_S \right)$$

Question 51 :

Expression du flux en tenant compte du comportement linéaire de la conductivité de l'isolant :

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda_0L}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} \left(\frac{K}{2} (T_{eau}^2 - T_S^2) + T_{eau} - T_S \right)$$

Expression du flux en considérant la conductivité de l'isolant constante :

$$\Phi' = \frac{2\pi\lambda_0L}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} (T_{eau} - T_S)$$

Expression de l'erreur en W :

$$e = \Phi' - \Phi = \frac{2\pi\lambda_0L}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} (T_{eau} - T_S) - \frac{2\pi\lambda_0L}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} \left(\frac{K}{2} (T_{eau}^2 - T_S^2) + T_{eau} - T_S \right)$$

$$e = -\frac{2\pi\lambda_0 L K}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)^2} (T_{eau}^2 - T_S^2)$$

Application numérique de l'erreur en W :

Calcul des rayons r_2 et r_3 :

$$r_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{76,1 \cdot 10^{-3}}{2} = 38,05 \cdot 10^{-3} m$$

$$r_3 = r_2 + e_i = 38,05 \cdot 10^{-3} + 70 \cdot 10^{-3} = 108,05 \cdot 10^{-3} m$$

$$e = -\frac{2\pi\lambda_0 L K}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)^2} (T_{eau}^2 - T_S^2) = -\frac{2\pi \times 31,89 \cdot 10^{-3} \times 1}{\ln\left(\frac{108,05}{38,05}\right)} \times \frac{0,005}{2} \times (180^2 - 30^2) = -15,1 W$$

Question 52 :

Calcul de la conductivité thermique pour une température de $T_{eau}=180^\circ C$:

$$\lambda' = 31,89 \cdot 10^{-3} \times (1 + 0,005 \times 180) = 0,0605 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

Calcul des rayons r_2 et r_3 :

$$r_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{76,1 \cdot 10^{-3}}{2} = 38,05 \cdot 10^{-3} m$$

$$r_3 = r_2 + e_i = 38,05 \cdot 10^{-3} + 70 \cdot 10^{-3} = 108,05 \cdot 10^{-3} m$$

Calcul du flux en considérant la conductivité de l'isolant constante et égale à λ' :

$$\Phi' = \frac{2\pi\lambda' L}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} (T_{eau} - T_S) = \frac{2\pi \times 0,0605 \times 1}{\ln\left(\frac{108,05}{38,05}\right)} \times (180 - 30) = 54,6 W$$

Calcul du flux en tenant compte du comportement linéaire de la conductivité de l'isolant :

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda_0 L}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \left(\frac{K}{2} (T_{eau}^2 - T_S^2) + T_{eau} - T_S \right)$$

$$\Phi = \frac{2\pi \times 31,89 \cdot 10^{-3} \times 1}{\ln\left(\frac{108,05}{38,05}\right)} \times \left(\frac{0,005}{2} \times (180^2 - 30^2) + 180 - 30 \right) = 43,9 W$$

Calcul de l'erreur :

$$e = \Phi' - \Phi = 54,6 - 43,9 = 10,7 W$$

Le choix du bureau d'études entraîne une estimation plus haute du flux thermique perdu que si on tient compte de la variation de la conductivité avec la température.

Cette surévaluation assure une sécurité sur la valeur de la température de surface de l'isolant obtenu.

Question 53 :

Il y a continuité du flux à la surface de l'isolant entre l'échange par conduction dans l'isolant et l'échange superficiel entre la surface extérieure et l'ambiance. Ceci se traduit par l'équation suivante :

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda L}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}(T_{eau} - T_S) = h_{amb}2\pi r_3 L(T_S - T_{LT})$$

$$r_3 \times \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \frac{\lambda}{h_{amb}} \times \frac{(T_{eau} - T_S)}{(T_S - T_{LT})}$$

Cette équation implicite d'inconnue r_3 se résout par itérations. On obtient :

$$r_3 = 0,05978 \text{ m}$$

Ce qui donne une épaisseur d'isolant minimum de :

$$e_i = r_3 - r_2 = 59,78.10^{-3} - 38,05.10^{-3} = 21,73.10^{-3} \text{ m}$$

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

Remarques générales

Si l'on regarde la répartition des crédits obtenus par partie thématique on obtient les distributions suivantes (épreuve donnant droit à 100 crédits, chaque partie étant sur 50).



Figure 1 : Répartition statistique des crédits par grandes parties thématiques (crédits en abscisse et distribution en ordonnée)

Sur ces 2 répartitions statistiques on constate une distribution montrant une meilleure réussite de la partie « Structures-Matériaux ». Si l'on regarde le cumul des crédits obtenus par les candidats sur les deux parties (voir figure ci-dessous, total des crédits attribuables 100 dont 50 sur chaque partie), on constate que, à l'exception des 10% correspondant aux meilleurs copies, une majorité des copies obtenant plus de 25 crédits sur 100 les obtiennent majoritairement grâce à cette partie.

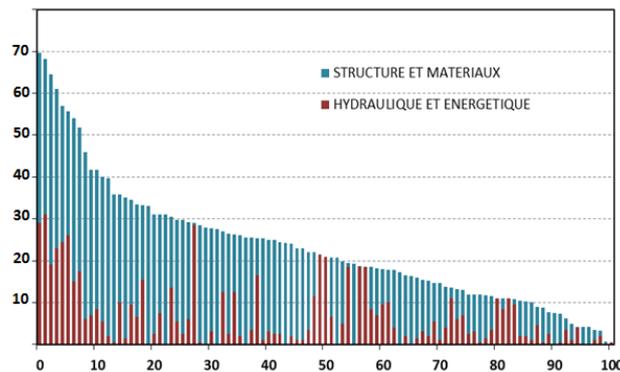


Figure 2 : Cumul des crédits obtenus par les candidats – numéro de candidat en abscisse – (l'épreuve donnant droit à 100 crédits au maximum)

De façon générale sur les différentes parties de ce sujet de modélisation, le jury déplore que :

- sur de nombreuses copies, l'expression écrite est défailante (orthographe, grammaire, absence de ponctuation).
- un nombre de copies significatif affiche une présentation confuse (mise en page désordonnée, ratures, écriture hors des lignes, schémas mal tracés).
- des candidats proposent des formules non homogènes ou des résultats physiquement aberrants sans mettre de commentaires en ce sens dans leur copie.

Remarques sur la partie Structures et Matériaux

Remarques générales

Le sujet proposé sur la partie Structures et Matériau était peu calculatoire. Les calculs se limitaient à de la RDM classique (poutre iso et poutre continue hyperstatique de degré 1 seulement) et un calcul simple de treillis. Le sujet cherchait également à évaluer des connaissances simples spécifiques au Génie Civil (en dehors d'aspect MMC) comme le principe de fonctionnement d'un élément BP, le lien entre sollicitation et ferrailage pour les éléments BA, des notions sur le béton également (hydratation, fluage).

Sur les 50 crédits attribués à cette partie, 27 faisaient appel à des compétences et connaissances d'un niveau DUT (calculs RDM ou principes simples d'éléments BA et BP). Les 23 autres crédits traitaient de modélisation plus avancée : analyse critiques d'hypothèses (conditions aux limites, etc...) et de résultats donnés par des modèles EF sur plaques (donc avec des notions de mécanique en 2D) ou de modèles analytiques (pour la partie modèle rhéologique).

La figure suivante représente la répartition des crédits obtenus entre les 2 grandes thématiques de cette partie (partie A1 RDM-MEF et parties A2 et A3 BP-Matériau).

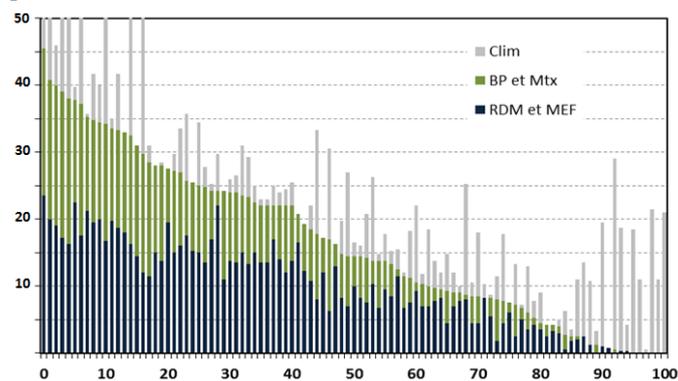


Figure 3 : Cumul des crédits obtenus par les candidats sur la partie structure – numéro de candidat en abscisse – (crédits de la partie B indiqués en gris à titre indicatif mais échelle tronquée à 50 crédits)

On constate que la partie Béton Précontraint et Matériau (24 crédits) a été globalement moins réussie (voire pas traitée) alors qu'elle faisait appel à des connaissances plutôt générales sur le principe de fonctionnement du béton précontraint et sur le matériau béton (connaissances spécifiques GC).

On constate que les 25 candidats (sur 101) qui arrivent à obtenir plus de la moitié des crédits (25 sur 50 attribués à cette partie A) ont obtenu des points de façon globalement équilibrée sur les deux grandes thématiques.

Partie A1

Cette partie traitait d'une analyse de comportement d'un voile avec différentes étapes :

- voile isostatique traité comme une poutre, analyse résultats EF en 2D, puis comparaison méthode bielle-tirant (calcul treillis)
- voile hyperstatique traité comme une poutre (application méthode des 3 moments sur poutre hyper 1) puis analyse résultats EF en 2D

5 candidats sur 101 n'ont pas du tout traité cette partie. Pour les autres la distribution des crédits obtenus (sur les 26 attribués à cette partie) est présentée ci-dessous :

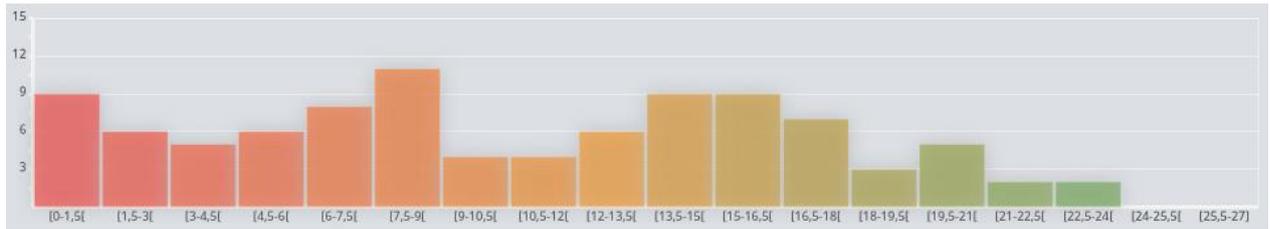


Figure 4 : Distribution des crédits obtenus sur la partie RDM-MEF (26 crédits au total étaient attribués à cette partie, crédits en abscisse et distribution en ordonnée)

Cette partie a été la plus traitée et la mieux réussie, elle faisait moins appel à des connaissances spécifiques GC par rapport aux parties A2 et A3 (environ la moitié des crédits portaient sur de la RDM ou de la mécanique du solide et analyse éléments finis).

Les principales difficultés rencontrées (par les candidats qui avaient malgré tout réussi une partie des questions) ont été sur :

- l'application de la méthode des 3 moments sur la poutre pourtant hyperstatique de degré 1 (difficultés des candidats à voir que les 2 moments d'extrémités n'étaient pas des inconnues hyperstatiques et pouvaient être déterminés par simple coupure)
- l'analyse critique des choix de modélisation – effet de la modélisation des appuis (fonctionnement structure globale)
- le comportement mécanique 2D – confusion sur la contrainte normale σ_{yy} qui a souvent été associé à l'effort tranchant et donc au cisaillement par les candidats (alors que c'est une contrainte normale !).

Partie A2

Cette partie traitait du comportement mécanique d'une poutre en béton précontraint. Le problème avait été volontairement simplifié (pas de prise en compte du poids propre, excentrement fixé, pas d'analyse du comportement aux appuis demandé, pas de calcul de pertes, ...) et la démarche était guidée pas à pas dans le sujet.

22 candidats sur 101 n'ont pas du tout traité cette partie (+ 9 candidats ont eu 0). Pour les autres, la distribution des crédits obtenus (sur les 26 attribués à cette partie) est présentée ci-dessous :

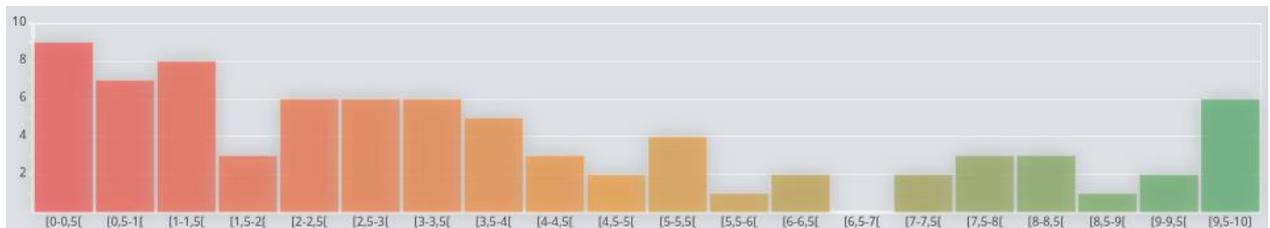


Figure 5 : Distribution des crédits obtenus sur la partie Béton Précontraint (10 crédits au total étaient attribués à cette partie, crédits en abscisse et distribution en ordonnée)

Malgré la simplification et le guidage pas à pas proposé dans le sujet cette partie a été peu traitée et assez peu réussie par une bonne moitié des candidats. On constate cependant une très bonne réussite pour 17 candidats sur 101.

Un nombre non négligeable de candidats semblaient totalement ignorants sur le principe même du béton précontraint, ce que le jury trouve problématique pour une agrégation de spécialisation IC.

Partie A3

Cette dernière partie traitait d'aspects plus matériau. Il était demandé une analyse assez simple du comportement évolutif dans le temps du béton (effet de l'hydratation puis effet du fluage).

16 candidats sur 101 n'ont pas du tout traité cette partie. Pour les autres, la distribution des crédits obtenus (sur les 26 attribués à cette partie) est présentée ci-dessous :

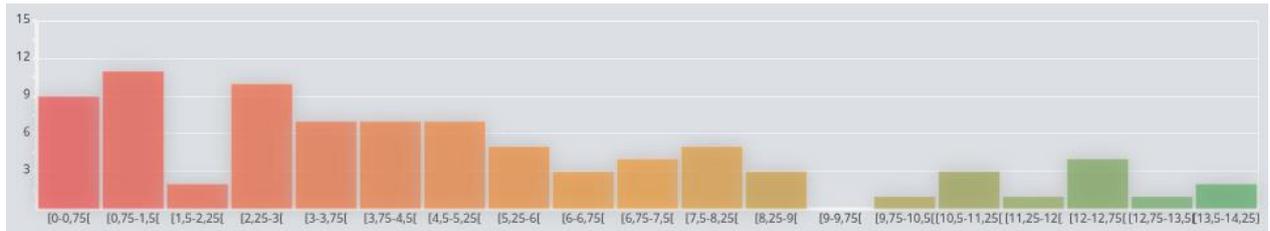


Figure 6 : Distribution des crédits obtenus sur la partie Matériau (14 crédits au total étaient attribués à cette partie)

Certaines questions étaient simplement de la lecture de courbes, et auraient pu être très facilement traitées par tous les candidats. Le fait que cette partie arrive à la fin explique peut-être que malgré tout 25 candidats n'ont pas traité la partie ou ont obtenu 0. Comme pour la partie A2 une douzaine de candidats a très bien réussi cette partie.

On note également ici qu'un nombre significatif de candidats ne connaissaient pas le phénomène d'hydratation du béton, ce que le jury trouve là encore problématique pour une agrégation de spécialité IC. Un certain nombre de candidats ont eu également des difficultés dans l'identification des paramètres du modèle proposé à partir de résultats expérimentaux (pourtant très peu calculatoires).

Remarques sur la partie Hydraulique et Energétique

Partie B1

L'étude portait sur le comportement hydraulique du réseau de distribution d'eau chaude des 8 batteries des centrales de traitement d'air neuf. Cette partie a été partiellement traitée par 67% des candidats et fut la mieux réussie. On note néanmoins que la plupart des candidats se sont contentés de traiter la partie concernant l'étude du régime nominal. Des notions de base comme la résistance hydraulique d'un circuit ou les nombres de Rateau sont mal utilisées. Le principe de régulation des pompes à vitesse variable semble connu par les candidats ayant traité les questions concernant l'étude d'une situation différente du régime nominal. On constate dans un grand nombre de copies un manque de rigueur dans l'établissement des différentes relations demandées. Le lien entre certaines questions n'a pas été vu et a entraîné des erreurs de raisonnement. On remarque néanmoins quelques bonnes copies.

Partie B2

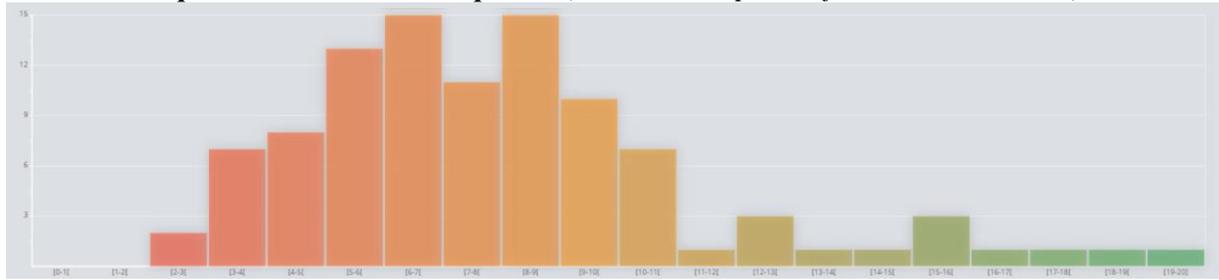
Cette partie portait sur l'étude de l'influence d'un humidificateur de vapeur sur l'efficacité de l'échangeur récupérateur de la centrale de traitement d'air neuf. Dans un premier temps, il était demandé d'établir à partir d'un bilan enthalpique et d'un bilan hydrique les caractéristiques de l'air en sortie de l'humidificateur. Le sujet ne proposait pas de diagramme de l'air humide mais donnait un formulaire complet des différentes relations psychrométriques. L'utilisation de ces formules n'a pas posé de problèmes majeurs à part quelques erreurs d'unités. La principale difficulté a été l'établissement correct des bilans. Très peu de candidats ont su trouver la relation demandée, ce qui est fort regrettable quand on sait l'importance de ce type de tâche en génie énergétique. Dans un deuxième temps, il était demandé de déterminer une température de rosée. Cette notion semble inconnue chez une majorité des candidats. La fin de cette partie s'intéressait aux calculs de la puissance du récupérateur et de son efficacité. Une méthode (celle des NUT) était proposée. Les candidats ayant traité les caractéristiques de l'échangeur l'ont dans l'ensemble bien fait. La partie B2 a été partiellement traitée par 63%. Les résultats de cette partie sont faibles.

Partie B3

Cette partie s'intéressait aux échanges thermiques par conduction, en géométrie cylindrique et en régime permanent. Elle fût partiellement traitée par 82% des candidats. Cette importante proportion s'explique par le caractère transversal de la thermique entre les différents profils de candidats (structure et/ou énergie). Elle fût malheureusement assez mal traitée, peut-être par manque de temps (dernière partie du sujet) mais certainement par manque de rigueur dans la résolution des équations. On constate également des résultats aberrants, issus de formules non homogènes, ce qui est regrettable à ce niveau de concours.

101 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5. La meilleure note est 19,01/20, la plus faible est 2,59/20.

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



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

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

Q1. Sur la photo de la figure 2, vous remarquerez des dispositifs en plafond ; quelle est l'utilité et le mode de fonctionnement de ce dispositif (en 5 ou 6 lignes maxi) ?

Ce dispositif appelé également Baffles, se substitue au faux plafond pour améliorer le confort acoustique des locaux. En effet ces éléments sont disposés pour diminuer le temps de réverbération dans les locaux. Ils ont la capacité d'absorber les ondes sonores et leur disposition verticale permet d'accroître facilement la surface d'absorption ; surface qui intervient pour le calcul du temps de réverbération T_r

Q2. Que signifie l'acronyme PMR. Dans ce type d'ouvrage, citer 3 exemples de dispositions à mettre en œuvre.

PMR : Personne à Mobilité Réduite. Dans les établissements recevant du public (ERP) les normes d'accessibilité doivent permettre aux personnes handicapées de circuler avec la plus grande autonomie possible, d'accéder aux locaux et aux équipements, de se repérer et de communiquer et aussi d'utiliser les différents équipements. Cet accès concerne tout type de handicap (Moteur, Visuel, auditif, etc.).

Il est donc important d'avoir des emplacements réservés pour le stationnement des véhicules avec des largeurs suffisantes, supérieures à 3,30 m et dont l'accès est raccordé au cheminement extérieur évoqué ci-après avec les ressauts maxi de 2 cm.

Les installations sanitaires, équipées entre-autres d'un lave-main dont le plan supérieur est à 0.85 m avec les surfaces d'assise des sanitaires à une hauteur comprise entre 0,45 et 0,50.

Enfin les cheminements nécessaires, d'une largeur minimum de 1,40 m doivent respecter les conditions de pentes et de palier de repos en fonction des pourcentages de pentes qui ne doivent en aucun cas excéder 10%.

Q3. A partir des différents plans de charpente on voit que la structure est doublée sur les files 1-11. Quel est l'intérêt ?

Ce joint de dilatation permettra d'absorber les déformations de la structure due notamment aux variations climatiques sur cette surface importante de couverture.

Q4. Justifier pour cet ouvrage l'utilité du contreventement et citer les principes retenus pour le dimensionnement des éléments.

Le contreventement de la structure assure la stabilité de celle-ci sous les actions du vent. Le contreventement de la charpente est ainsi assuré dans le plan de la couverture ; on parle alors de Poutre Au Vent. Structure triangulée et donc indéformable les barres travaillent en compression et / ou en traction. Il faut alors s'assurer de leur stabilité en intégrant les risques de flambement. La réalisation des assemblages doit engendrer le moins d'excentricité possible pour ne pas créer de moments parasites.

La stabilité verticale pour cet ouvrage est assurée par les différents panneaux en BA qui font office de diaphragme.

Q5. Les éléments de charpente sont réalisés en lamellé-collé. Quel est l'intérêt de cette technique ? Expliquer succinctement le mode de réalisation de ce type de produit en usine ?

La technique du lamellé collé permet de réaliser les ouvrages structurels, poutres et poteaux, en fonction des besoins réels pour reprendre les sollicitations de flexion ou de cisaillement dus aux chargements et respecter les conditions de déformation. La géométrie des ouvrages se façonne à la demande. Cela permet de franchir des portées importantes sans la contrainte du poids de la structure. La technique réside en un assemblage des lamelles triées pour leur résistance (purge des bois avec des défauts importants), précédemment séchées, calibrées et aboutées par collage. Mises sous presse pour la mise en forme d'éléments éventuellement cintrés, ces pièces sont alors rabotées et taillées aux dimensions voulues.

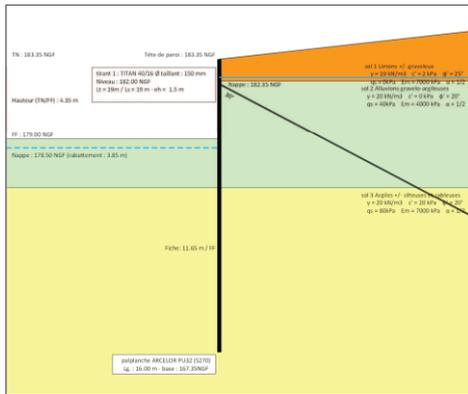
Q6. A partir des données disponibles sur le plan masse et la coupe transversale AA vous donnerez les grandes étapes de réalisation des travaux pour la construction de l'ouvrage de la réalisation de la plateforme au clos et couvert en une dizaine d'étapes.

Avec une dénivellation de terrain de 8 m environ (cotes de niveau entre 186 et 178.5) la réalisation de l'ouvrage devra suivre les grandes étapes suivantes :

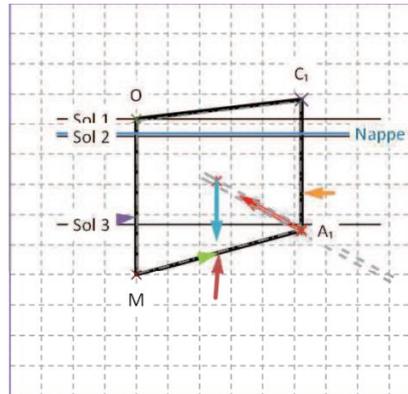
- 1. Implantation générale après décapage effectué*
- 2. Terrassement général en pleine masse qui prend en compte la stabilité des pentes du talus en amont de la construction.*

facilement le point de pression nulle qui nous servira pour le calcul par la méthode de la poutre équivalente de la longueur de fiche et des caractéristiques mécaniques de la palplanche après définition des sollicitations de flexion et de cisaillement dans le rideau.

Par la méthode de Kranz on pourra alors s'assurer de l'équilibre statique du massif à l'arrière du rideau. Massif de sol soumis à la poussée des terres sur A1C, à la résistance au frottement et à la cohésion du sol sur MA1, à la réaction de la poussée des terres sur MO, au poids du massif au cdg de l'élément de sol OCA1M et à l'action du tirant en A1.



Point de départ ...



Equilibre du massif à l'arrière du rideau

Q12. Quels sont les différents essais de laboratoire qui permettent d'obtenir les caractéristiques mécaniques des sols ; vous en décrivez le principe de réalisation?

La caractérisation des sols est possible en laboratoire à partir des essais de cisaillement à la boîte de cisaillement direct (boîte de Casagrande) ou à l'essai triaxial. Il est nécessaire de réaliser 3 à 4 essais pour caractériser le sol.

- Essai de cisaillement direct :
 - Mode Op :
 - Préparation de l'échantillon dans la boîte de cisaillement.
 - Application d'une charge verticale perpendiculaire au plan de cisaillement qui modélise le confinement du sol.
 - Application d'une charge horizontale croissante parallèle au plan de cisaillement imposé jusqu'à rupture du sol après désolidarisation des deux éléments de la boîte. Mesure des déplacements horizontaux δ_h entre les deux "demi-boîtes" et des déplacements verticaux δ_v
 - Interprétation
 - Analyse de la courbe $\delta_v = f(\delta_h)$ (Indication compacité du sol...)
 - Tracé de la courbe intrinsèque $\tau = f(\sigma)$ avec tous les résultats obtenus
 - Caractérisation du sol par connaissance de l'angle de frottement interne φ et la cohésion c .
- Essai de cisaillement au triaxial :
 - Mode Op :
 - Préparation de l'éprouvette de sol maintenue dans une membrane souple et mise en place dans une cellule remplie d'eau
 - Application d'une pression uniforme, de confinement du sol, dans la cellule, contrainte principale horizontale σ_3
 - Application d'un chargement vertical V croissant par l'intermédiaire d'un piston au contact de l'éprouvette. Mesure des déplacements verticaux induits δ_v .
 - Interprétation
 - Calcul de la contrainte verticale principale σ_1 pour chacun des essais
 - Tracé de la courbe intrinsèque $\tau = f(\sigma)$ à partir des différents résultats
 - Caractérisation du sol par connaissance de l'angle de frottement interne φ et la cohésion c .

Q13. Quels sont les modes opératoires à mettre en œuvre pour caractériser les sols à court terme et à long terme?

La caractérisation des sols à court et à long terme permet de prévoir la stabilité des ouvrages sur des sols consolidés ou en cours de consolidation. On parle de caractéristiques de sols drainés ou non drainés. Les différents

essais réalisables sont les essais UU (Non Consolidé non Drainé), CU (Consolidé et Non drainés) et CD (Consolidés Drainés).

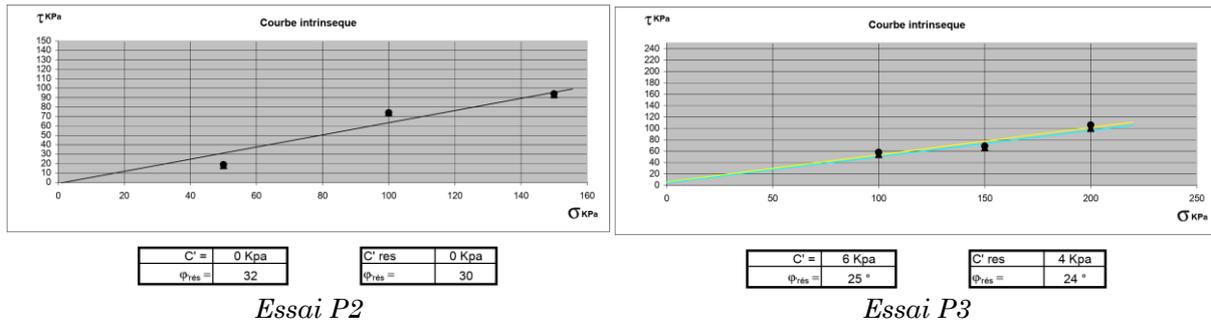
La consolidation des échantillons de sol consiste à les soumettre à une pression de confinement.

Le drainage des sols consiste à autoriser la dissipation des surpressions interstitielles induites par le chargement.

On peut aussi pour des essais triaxiaux mesurer l'évolution de la pression interstitielle en cours d'essai tout en travaillant avec des vitesses de chargement plus importantes.

Q14. En vous aidant des résultats d'essais CD réalisés à partir des échantillons prélevés en P2 et P3, vous définirez les caractéristiques mécaniques des sols concernés.

L'exploitation des résultats d'essais CD en P2 et P3 donne les résultats suivants :



Q15. En vous aidant des résultats précédents et à partir des données des courbes granulométriques, vous justifierez la raison et l'intérêt de pouvoir retenir en phase chantier une très faible cohésion pour les graves sablo limoneuses.

L'essai sur les graves sablo-limoneuses correspond à l'essai P2. A long terme on n'a donc pas de cohésion. A court terme on peut retenir une légère cohésion du fait de la présence importante, de l'ordre de 20%, de particules fines passant au tamis de 80 µ.

Q16. En considérant une pente moyenne sur le parking de 2% et en prenant en compte une ligne d'écoulement de 23.23 m vous déterminerez le débit entrant dans le regard EPG01, pour un retour de pluie à 10 ans, en fonction du bassin versant de cette grille et vous proposerez un diamètre du tuyau EP à la sortie de EP G01. Il ne vous est pas demandé de vérifier les règles d'autocurage.

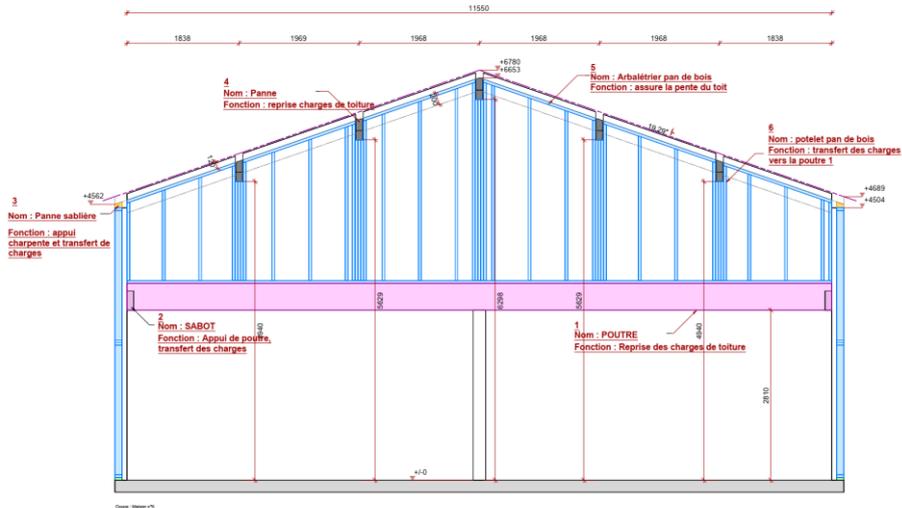
La surface considérée est de 0,014 ha, la distance entre EP G01 et EP R15 est de 2,05 m.

Le débit de pointe est donné par $Q_p = K \cdot C \cdot A \cdot i = 0.167 \cdot 0.95 \cdot 0.014 \cdot i$ avec $i = a \cdot t_c^b$ et $t_c = t_s + t_r$ et $t_s = 0.0195 \cdot F \cdot L^{0.77} \cdot I^{0.385}$. Dans notre cas $t_c = t_s = 0.40$ min. On trouve alors $i = 7.38$ mm/min et $Q_p = 0.016$ m³/s

Le diamètre du tuyau s'obtient par $r = \left(\left(\frac{Q_p}{k \cdot \pi \cdot i^{1/2}} \right) \cdot 2^{2/3} \right)^{3/8} = 0.035$ m. On retiendra un diamètre minimum de 300 mm. On peut noter la pente très importante de 27.3% environ...

Q17. Vous tracerez le profil en long du tronçon EP G01 - EP R10 en mentionnant toutes les données nécessaires à la bonne réalisation du projet sur le DR4.

Q20. Complétez les légendes sur le **DR2** en indiquant la terminologie des différents éléments et en précisant leur fonction.

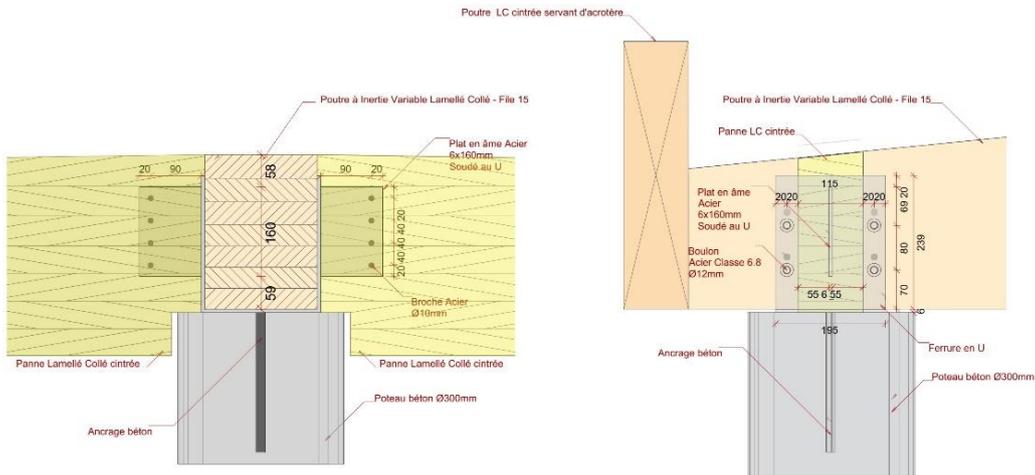


Q21. Proposez un schéma mécanique de l'élément repéré 1, tracez l'allure du diagramme des moments.

On peut considérer la poutre comme étant sur 3 appuis avec charges ponctuelles à l'aplomb des potelets.



Q22. Vous complétez le document réponse **DR3** pour définir les organes de liaison poteau - poutre LC à Inertie Variable. Vous dessinerez aussi les organes de liaison entre les différents éléments de charpente (Pannes cintrées LC et Poutre LC à IV)



Q23. Quelles sont les situations de projet à prendre en compte ?

Les situations de projet à prendre en compte comme le précisent les Eurocodes sont :

1. les situations de projet durables (utilisation normale de la structure)
2. les situations de projet transitoires (Pendant la construction par exemple ou en cours de réparation)
3. les situations de projet accidentelles (choc, défaillance localisée, etc.)
4. les situations de projet sismiques

Q24. Déterminer les charges de neige au sol.

Castres se trouve en région A2. Les charges de neige au sol pour une construction édifiée à 180 m d'altitude sont donc $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$ et $s_{Ad} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ respectivement les charges normales et accidentelles de neige.

Q25. Déterminer les charges de neige s sur la toiture

Les charges de neige sur la toiture sont données par $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k + s_{maj}$ pour le cas de projet durable et/ou transitoire et par $s_{Ad} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad} + s_{maj}$ pour le cas accidentel. Pour une pente de toiture à $5,70^\circ$ $\mu = 0,8$ et en considérant $C_e = 1$ et $C_t = 1$ et aussi $s_{maj} = 0$ on trouve :

- $s = 0,8 \cdot 0,45 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- $s_{Ad} = 0,8 \cdot 1,00 = 0,80 \text{ kN/m}^2$

Q26. Calculer la pression du vent w agissant sur la toiture : $w = c_{p,net} \cdot q_p(z_e)$

Il y a deux types de vent à considérer :

- Vent en pression sur la toiture avec $c_{p,net} = 0,3$; $w = 14,73 \text{ daN/m}^2$
- Vent en dépression sur la toiture (et risque de soulèvement) avec $c_{p,net} = -0,9$; $w = -42,76 \text{ daN/m}^2$

Q27. Déterminer les charges appliquées sur la panne centrale en négligeant la pente

La panne a une surface de reprise de $2,63 \text{ m}^2/\text{m}$. La descente de charge nous donne alors :

- $g = 2,63 \cdot (8 + 13,5 + 5) + (0,14 \cdot 0,56 \cdot 420) = 102,62 \text{ daN/m}$
- $q = 2,63 \cdot 80 = 210,40 \text{ daN/m}$
- $s = 2,63 \cdot 36 = 94,68 \text{ daN/m}$
- $s_{Ad} = 2,63 \cdot 80 = 210,40 \text{ daN/m}$
- $w_p = 2,63 \cdot 14,73 = 38,74 \text{ daN/m}$
- $w_s = 2,63 \cdot (-42,76) = 112,46 \text{ daN/m}$

Q28. Expliquer en quoi le fait de faire cette hypothèse conditionne le fonctionnement en flexion.

Le fait de négliger la pente nous donne des actions verticales qui n'ont aucune composante horizontale. Si l'on ne négligeait pas la pente la structure fonctionnerait en **flexion déviée**.

Q29. Déterminer la combinaison la plus défavorable à l'ELU en situation durable et/ou transitoire

A partir des seules situations de projet en transitoire et durable la combinaison aux ELU est donnée par :

$$E_d = \sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

Avec $\gamma_{G,j} = 1,35$ ou 1 , $\gamma_{Q,1} = 1,5$ ou 0 et $\gamma_{Q,i} = 1,5$ ou 0 et

$\Psi_0 = 0$ pour les charges d'exploitation, $\Psi_0 = 0,5$ pour la neige et $\Psi_0 = 0,6$ pour le vent

On trouve $E_d = 454,14 \text{ daN/m}$ comme résultat le plus défavorable en associant g et q .

Q30. Déterminer la combinaison la plus défavorable à l'ELS

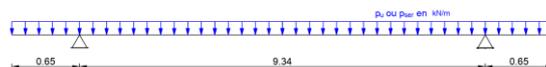
A partir du même raisonnement et de la seule combinaison caractéristique aux ELS :

$$E_d = \sum_{j=1}^n G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

On trouve $E_d = 313,02 \text{ daN/m}$ comme résultat le plus défavorable en associant g et q .

Q31. Calculer alors les sollicitations de flexion et de cisaillement

On considère le schéma mécanique suivant :



Le calcul des sollicitations de flexion et de cisaillement avec ce modèle mécanique donne.

$$M_{appui} = -95,95 \text{ mdaN} \text{ et } M_{max\text{travée}} = +4856,21 \text{ mdaN}$$

Et

$$V_{cons} = 295,19 \text{ daN} \text{ et } V_{travée} = -2120,83 \text{ daN}$$

Q32. Vérifier la section en flexion conformément à l'EC5

Il faut vérifier que $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$ avec $\sigma_{m,d} = \frac{M_{f,y}}{I_y} \cdot z$, $f_{m,d} = k_h \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$ et $\gamma_M = 1,25$

La poutre sera en classe de service 2, on considérera $k_{mod} = 0,8$ et on retiendra $k_h = 1,01$ avec $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$ on vérifie bien $\sigma_{m,d} = 6,64 \text{ MPa} < f_{m,d} = 15,51 \text{ MPa}$ Le taux de travail de la poutre n'est que de 45%.

Q33. Vérifier la section courante au cisaillement conformément à l'EC5

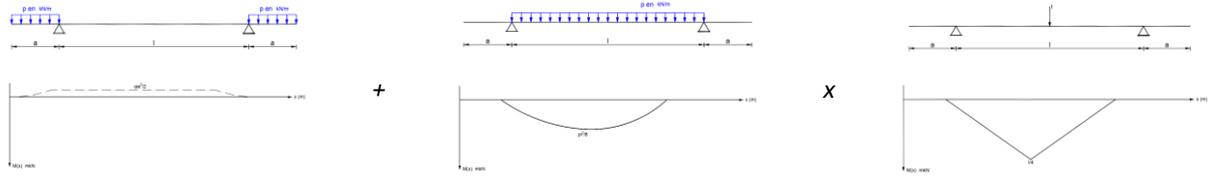
Il faut vérifier que $\tau_d \leq f_{v,d}$ avec $\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_{Ed}}{S_{eff}}$, $f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$, $\gamma_M = 1,25$ et $S_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h$

Pour du LC $k_{cr} = 0,67$ si $\frac{G_k}{G_k + Q_k} \geq 0,7$; nous trouvons $0,32$ donc on retiendra $k_{cr} = 1$. On vérifie bien que $\tau_d = 0,41 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,73 \text{ MPa}$ Le taux de travail de la poutre n'est que de 24%.

Q34. Donner l'expression littérale de la flèche maxi à mi-portée de la travée centrale

A partir du schéma mécanique précédent et en s'aidant des résultats des intégrales de Mohr pour le calcul du déplacement on obtient l'expression littérale demandée :

$$\Delta = \frac{1}{EI} \int_0^l M(x) \cdot M_0(x) \cdot dx = \frac{1}{EI} \left(\left(\frac{-pa^2}{2} \cdot \frac{l}{4} \right) \cdot 1 + \left(\frac{pl^2}{8} \cdot \frac{l}{4} \right) \cdot 1 \right) = \frac{5pl^4}{384EI} \left(1 - \frac{24a^2}{5l^2} \right)$$



Q35. Vérifier les conditions de flèches conformément à l'EC5

Il convient de vérifier les critères suivants, à partir de la combinaison ELS retenue :

$$w_{ins}(Q) \leq \frac{l}{300}, w_{net,fin} \leq \frac{l}{250} \text{ et } w_{fin} \leq \frac{l}{125} \text{ avec :}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = w_{inst,G}(1 + k_{d\acute{e}f}) + w_{inst,Q}(1 + k_{d\acute{e}f} \cdot \Psi_{2,1}) \text{ et } \Psi_{2,1} = 0$$

On trouve avec $E = 11.6 \text{ MPa}$, $I = 2.049 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$, $a = 0.65 \text{ m}$ et $l = 9.34 \text{ m}$: $w_{inst,G} = 4.18 \text{ mm}$,

$w_{inst,Q} = 8.58 \text{ mm}$ et $w_{fin,G} = 7.52 \text{ mm}$

Les différentes conditions sont respectées

Q36. Que faudrait-il contrôler également vis-à-vis de la résistance au cisaillement?

Il faudrait aussi vérifier la résistance au cisaillement au niveau du changement de section.

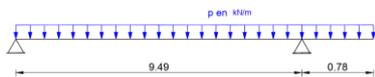
Q37. Expliquer quel est l'intérêt d'utiliser des poutres LC à inertie variable.

Les poutres à inertie variable permettent d'optimiser la quantité de matière à mettre en place en fonction des contraintes internes dans le matériau. Elles permettent aussi de limiter les flèches en augmentant l'inertie de la poutre, qui caractérise sa rigidité.

Q38. Proposer un schéma mécanique de la structure.

Estimer les charges permanentes, de neige et de vent en kN/m réparties sur cette poutre sachant que $g = 63 \text{ daN/m}^2$, $s = 36 \text{ daN/m}^2$, $w_p = 14,73 \text{ daN/m}^2$ et $w_s = 42,76 \text{ daN/m}^2$

Le schéma mécanique retenu avec une charge uniformément répartie sur la poutre est le suivant :



La descente de charge en considérant la surface de reprise maximum de $\frac{5.12+7.00}{2} = 6.06 \text{ m}^2$ donne :

$$g = 3.81 \text{ kN/m}, s = 2.18 \text{ kN/m}, w_p = 0.9 \text{ kN/m}, w_s = -2.59 \text{ kN/m}$$

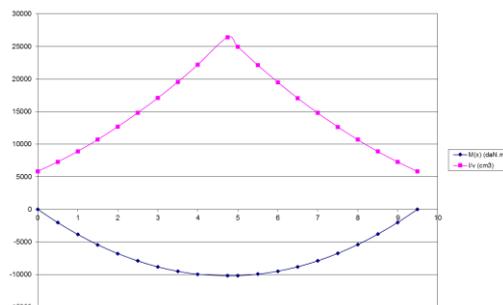
Q39. Ecrire l'équation de variation du moment fléchissant le long de la poutre et tracer le diagramme du moment fléchissant.

Le résultat de l'équation des moments est : $M(x) = \frac{pu \cdot 1}{2} \cdot x - \frac{pu \cdot x^2}{2}$. La valeur du moment maxi obtenu est de $M_{max} = 102 \text{ mkn}$

Q40. Ecrire l'expression du module de flexion I/v en fonction de x . Tracer la courbe de cette évolution du module élastique.

Sachant que $w_{el}(x) = \frac{b \cdot h(x)^2}{6}$ pour une section rectangulaire, et en considérant $h(x) = h_s + \frac{2 \cdot (h_p - h_s)}{L}$

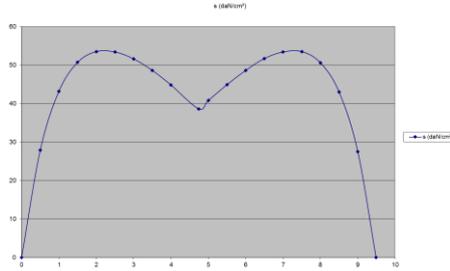
pour $x \in [0; \frac{l}{2}]$ on obtient $w_{el}(x) = \frac{b}{6} \cdot \left(\frac{4 \cdot (h_p - h_s)^2}{L^2} \cdot x^2 + \frac{4 \cdot (h_p - h_s)}{L} \cdot x + h_s^2 \right)$ pour l'intervalle considéré. En prenant $h_s = 418 \text{ mm}$, $h_p = 890 \text{ mm}$ et $L = 9.49 \text{ m}$ on trouve une évolution de ce module élastique définie sur le graphe suivant.



Evolution des moments et du module élastique.

Q41. Que dire de l'évolution des contraintes normales de flexion.

La contrainte maximale ne se trouve pas à l'abscisse $x = L/2$; l'évolution de σ suit l'allure du graphe suivant.



Evolution des contraintes le long de la poutre.

Q42. Quelle est la hauteur H_m de la poutre dans cette section ? En déduire la valeur du module de flexion I/v .

A l'abscisse $x = 2.23$ m on trouve $h(2.23) = 640$ mm et $w_{el}(2.23) = 1.36 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

Q43. Vérifier alors la résistance en flexion au niveau de cette section.

On doit vérifier que $\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}$ avec $f_{m,d} = 15.36$ MPa et $k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1.5 \cdot f_{v,d}} \tan \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha\right)}}$. En

considérant $k_{mod} = 0.8$ $f_{m,k} = 24$ MPa, $f_{v,k} = 3.5$ MPa et $f_{c,90,k} = 2.5$ MPa on trouve

$f_{m,d} = 15.36$ MPa, $f_{v,d} = 2.24$ MPa et $f_{c,90,d} = 1.6$ MPa. Avec $\alpha = 5.7^\circ$ on trouve alors $k_{m,\alpha} = 0.88$.

La contrainte de flexion à l'abscisse $x = 2.23$ m vaut $\sigma_{m,\alpha,d}(2.23) = 5.40$ MPa. La condition est respectée ; le taux de travail de la section est de 40% environ.

Q44. Les résultats donnés par le BE, dans la zone de faitage, sont précisés dans le tableau ci-après. Que conclure à partir de ces valeurs et des vérifications demandées réglementairement.

$\sigma_{m,d} = 4,61$ MPa	$k_r = 1$	
$\sigma_{t,90,d} = 0,07$ MPa	$k_{dis} = 1$	$k_{vol} = 0,58$

En zone de faitage il est nécessaire de vérifier que la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ respecte $\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{md}$ et que la contrainte de traction perpendiculaire au fil $\sigma_{t,90,d}$ respecte $\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$.

En considérant $f_{md} = 15.36$ MPa et $f_{t,90,d} = 0.18$ MPa les deux conditions sont respectées.

Q45. Vous justifierez, en considérant une charge d'exploitation prise à 4 kPa sur l'ensemble du projet le fait de négliger le frottement négatif en zone 3.

En zone 3 le terrain naturel a une altimétrie qui est supérieure à 180,50 NGF. Le terrassement de la plateforme à la cote 178.80 NGF a pour effet de provoquer un léger gonflement du sol, jusqu'alors normalement consolidé. Le chargement en remblai pour amener la plateforme à la cote 180,00 NGF, qui est la cote définitive du projet revient à remettre le sol dans son "état initial".

Q46. Quel serait le moyen de s'affranchir du frottement négatif ; est-ce réaliste pour ce projet ?

Pour s'affranchir des risques de frottement négatif il faudrait obtenir préalablement à la construction de l'ouvrage sa consolidation totale en fonction des chargements définitifs. Cela suppose d'édifier un remblai de pré chargement.

Q47. Vous vérifierez la stabilité mécanique de ce pieu aux ELS Caractéristiques à partir de la méthode appelée "modèle du terrain". (Classe des pieux forés tarière creuse : n°6).

Les données pour effectuer cette vérification sont les suivantes : $\Phi_{pieu} = 52$ cm, $P_{ELS} = 875$ kN, ancrage de 1.60 m dans le substratum rocheux et hauteur du remblai de 1.50 m.

Les données géotechniques sont résumées dans le tableau ci-après.

Nature des sols	Courbe (q _{pieu} sol)	Epaisseur moyenne de la couche (m / sol naturel) Au droit de SP3	P _i * (MPa)	E _{si} (MPa)	α (1)	q _s (kPa)	K _{sp}	K _r en kPa (2)	
								Courte durée	Longue durée
Mort terrain	-	H _{REMBLAI}	0,5	5	0,5	0 (3)	-	22000	11000
Sols limono-sableux et graveleux Argiles rougeâtres altérées	Q	6,50	0,4	7	0,66		-	26000	13000
Argile silteuse	Q1 (α = 1,5)	7,00	0,7	8	0,5	57	-	35000	17500
Substratum sain (argile raide à marno-calcaire)	Q4 (α = 1,6)	D	2,5	45	0,5	160	1,6	202000	101000

Il s'agit de vérifier que $F_d \leq R_{c,cr,d}$ avec $R_{c,cr,d} = \frac{R_{c,cr,k}}{\gamma_{cr}}$. On sait aussi que $R_{c,cr,k} = 0.5 \cdot R_{b,k} + 0.7 \cdot R_{s,k}$ et $\gamma_{cr} = 0.9$. La résistance de pointe $R_{b,k}$ est donnée par $R_{b,k} = A_b \cdot q_{b,k} = A_b \cdot \frac{q_b}{\gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2}}$. La résistance au frottement du pieu est $R_{s,k} = \sum_i A_{s,i} \cdot q_{s,i,k} = \sum_i A_{s,i} \cdot \frac{q_{s,i}}{\gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2}}$. Les coefficients de réduction ayant pour valeur $\gamma_{Rd1} = 1.15$ et $\gamma_{Rd2} = 1.1$.

Résistance de pointe :

- pression de rupture du sol

$$q_b = k_p \cdot p l e^* = 1.6 \cdot \left(\frac{1}{b+3a} \cdot \int_{D-b}^{D+3a} p l^*(z) \cdot dz \right). \quad a = 0.5 \text{ et } b = 0.5$$

$$q_b = 1.6 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2.5 \right) = 4 \text{ MPa}$$

- valeur caractéristique de la résistance de pointe

$$R_{b,k} = A_b \cdot q_{b,k} = \frac{\pi \cdot 0.52^2}{4} \cdot \frac{4}{1.15 \cdot 1.1} = 0.671 \text{ MN}$$

Résistance au frottement axial :

- résistance du sol

$$R_s = P_s \cdot \int_0^D q_s(z) \cdot dz$$

$$q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} \cdot f_{\text{sol}}(p l^*(z))$$

$$q_s(8 - 15) = 1.5 \cdot 0.038 = 0.057 \text{ MPa} \text{ et } q_s(15 - 16.60) = 1.6 \cdot 0.104 = 0.166 \text{ MPa}$$

Avec $P_s = \pi \cdot 0.52 = 1.63 \text{ m}$ on trouve

$$R_s = 1.63 \cdot (7 \cdot 0.057 + 1.6 \cdot 0.166) = 1.08 \text{ MN}$$

- valeur caractéristique de la résistance au frottement

$$R_{s,k} = \frac{R_s}{\gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2}} = \frac{1.08}{1.15 \cdot 1.1} = 0.787 \text{ MN}$$

Vérification :

- Il faut vérifier que

$$F_d \leq R_{c,cr,d} \text{ avec } F_d = 875 \text{ kN et } R_{c,cr,d} = \frac{R_{c,cr,k}}{\gamma_{cr}} = \frac{0.5 \cdot 0.671 + 0.7 \cdot 0.787}{0.9} = 0.985 \text{ MN}$$

Condition vérifiée.

Q48. Quelle autre vérification serait nécessaire pour valider la section des pieux ?

Il s'agirait de vérifier la capacité portante du pieu aux ELS

Q49. A partir des informations ci-dessous, déterminer le coefficient d'échange surfacique U (en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) du plancher sur local non chauffé (parking).

Le coefficient d'échange surfacique : $U = \frac{1}{R_{tot}}$

$$R_{tot} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_{se} = R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

	e (mm)	λ (W/m/K)	R (K.m ² /W)
Linoléum	0,005	0,19	0,026
Chape liquide de finition	0,05	1,65	0,030
Dalle PCBT	0,1	0,042	2,381
Prédalle	0,05	1,65	0,030
Isotherm d'Eurisol	0,11	0,039	2,821

$$R_{tot} \quad 5,628 \quad K \cdot m^2 / W$$

$$U \quad 0,178 \quad W / m^2 / K$$

Q50. Pourquoi le coefficient d'échange surfacique d'un plancher sur terre-plein est plus compliqué à déterminer que celui d'une paroi horizontale sur local non chauffé ? Quels sont les paramètres qui peuvent avoir un impact sur la valeur de ce coefficient ?

Le transfert de chaleur se fait vers le sol puis du sol vers l'air à l'extérieur du bâtiment. Il s'agit d'un transfert de chaleur 3D, en plus de la composition du plancher il faudra prendre en compte :

- *Le type de sol (conductivité thermique)*
- *La forme du plancher (surface et périmètre).*

Q51. Pourquoi les besoins en éclairage sont affectés d'un coefficient 5 alors que le chauffage et le refroidissement d'un coefficient 2 ?

C'est une manière de prendre en compte la conversion en énergie primaire. Le rapport entre 2 et 5 donne 2,5 qui est proche du coefficient de conversion en énergie primaire de l'électricité (2,58).

Q52. Déterminer le $B_{bio_{max}}$ et le Cep_{max} du bâtiment à partir de la méthode de calcul. Pour le Cep_{max} expliquer quel est l'objectif des différents coefficients de modulation.

$$B_{bio_{max}} = B_{bio_{maxmoyen}} \cdot (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})$$

$B_{bio_{maxmoyen}}$	55	CE1
$M_{bgéo}$	1	zone H2c
M_{balt}	0	250m
M_{bsurf}	0	
B_{biomax}	55	points

$$Cep_{max} = 50 \cdot M_{ctype} \cdot (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{cGES})$$

M_{ctype}	1,3	CE1
$M_{cgéo}$	0,9	zone H2c
M_{calt}	0	250m
$M_{c surf}$	0	
M_{cGES}	0	
Cep_{max}	58,5	kWhEP/m ² /an

Les coefficients de modulation permettent de prendre en compte les particularités du bâtiment. Plus le Cep_{max} sera grand moins il sera difficile d'obtenir un bâtiment réglementaire.

Les particularités qui sont prises en compte : usage du bâtiment, zone géographique, altitude, type de production de chaleur.

Q53. Quelle est la différence entre le SCOP et le COP ? Comparez et analysez leur valeur. Pourquoi utiliser SCOP plutôt que le COP pour estimer la consommation électrique de la pompe à chaleur ?

Le COP est la performance de la pompe à chaleur dans certaines conditions de températures des sources chaudes et froides (généralement 7°C ext ; eau à 50°C)

Le SCOP est la performance globale de la PAC sur la saison de chauffe. Il dépend des conditions climatiques du lieu où est installée la PAC (comprenant l'automne et le printemps).

Q54. A partir des valeurs de consommation en énergie finale ci-dessous, déterminer la consommation en énergie primaire du bâtiment (Cep en kWhEP/m²(S_{RT})/an) et vérifier que celui-ci est réglementaire.

$$S_{RT} = 1303,2 \text{ m}^2$$

Postes	Energie finale (MWh)	kWhEP/m ² /an
Chauffage	82,87	36,30

<i>Refroidissement</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>
<i>ECS</i>	<i>1,26</i>	<i>2,50</i>
<i>Eclairage</i>	<i>4,24</i>	<i>8,40</i>
<i>Auxil. ventilation</i>	<i>3,84</i>	<i>7,60</i>
<i>Auxil. distribution</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>
<i>Total</i>		<i>54,8</i>

On peut vérifier que le Cep est inférieur au Cepmax, cet indicateur est donc conforme du point de vue de la réglementation.

Q55. Quels sont les éléments qui ont une influence sur l'accès à l'éclairage naturel ? Quelle est la différence entre les apports solaires thermiques et les apports lumineux ? Analyser et commenter l'illustration.

L'accès à l'éclairage naturel est défini à partir :

- de la surface de vitrage,*
- du type de vitrage (coefficient de transmission lumineuse)*
- de l'orientation de la paroi qui porte le vitrage,*
- de la hauteur du linteau et de la forme de la pièce.*
- des masques proches et lointains*

Apports solaires : Ce sont les apports de chaleur (en W) issus du flux solaire, ils sont déterminés par de l'orientation et des facteurs solaires des vitrages.

Apports lumineux : Ils correspondent à la lumière qui pénètre dans les pièces, ces apports permettent de diminuer l'utilisation de l'éclairage artificiel (donc la consommation du bâtiment).

On constate sur les diagrammes que globalement les apports font diminuer le Bbio.

Logiquement les apports solaires font baisser la consommation de chaleur et les apports lumineux celle d'éclairage.

On constate que lorsqu'on néglige les apports lumineux la consommation de chauffage diminue. Ceci s'explique par l'utilisation de l'éclairage artificiel qui apporte également de la chaleur dans les pièces.

Q56. Pourquoi est-il obligatoire de ventiler un bâtiment ? Expliquer en quoi la ventilation joue un rôle dans le confort thermique et dans le comportement thermique du bâtiment ? Quel est l'intérêt de souffler de l'air à la température intérieure ?

L'air intérieur contient moins d'oxygène, plus de vapeur d'eau, des virus, polluants (COV), ...

La ventilation consiste à apporter de l'air extérieur qui permet de diminuer la concentration en vapeur d'eau et polluant tout en assurant un taux d'O₂ satisfaisant.

En hiver l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur, il faut donc prendre en compte cette quantité de chaleur à apporter dans les locaux.

La ventilation joue aussi un rôle dans le confort thermique par le mouvement d'air qu'elle crée.

L'air neuf doit permettre de brasser l'air de toute la pièce (importance des bouches de soufflage et d'extraction).

Il est intéressant de souffler dans les conditions intérieures pour des questions de confort thermique.

L'objectif étant d'éviter les sensations de courant d'air froid (ou chaud en été) dans les locaux.

Q57. Comment justifier l'utilisation des différents modes de régulation dans les locaux ? Que se passe-t-il lorsque la salle de formation, initialement entièrement occupée, se vide ? Comment évoluent alors les pressions et les débits dans les réseaux ainsi que les vitesses de rotation des ventilateurs ?

La régulation du débit de ventilation est adaptée à l'utilisation de la salle.

La salle de formation peut accueillir jusqu'à 25 personnes mais celle-ci n'est pas forcément pleine. Le capteur de CO₂ permet d'ajuster le débit au nombre d'occupants. Pour les bureaux en revanche un simple capteur de présence permet de vérifier l'utilisation du local.

Lorsque la salle se vide le capteur de CO₂ fait fermer le volet de réglage. Le débit terminal diminue. Sans régulation la pression augmenterait alors dans le réseau ce qui aurait pour conséquence de faire augmenter le débit dans les autres bouches.

La prise de pression dans le réseau va faire diminuer la vitesse de rotation du ventilateur pour maintenir la pression constante et conserver les débits proches des débits nominaux dans toutes les bouches.

Q58. A partir des contraintes (débit, niveau acoustique, portée,...) sélectionner :

- Les bouches de soufflage et reprise de la salle de multimédia dans le catalogue
- La VMC de la bibliothèque dans la gamme Rotatech

Bouches de soufflage – reprise :

Salle multimédia : 22 personnes soit un débit de 400m³/h

Il faut choisir une bouche qui permette de respecter les différentes contraintes de débit, de portée et les contraintes acoustiques

Choix / catalogue : 675-2 ou 600-3

VMC Rotatech bibliothèque :

Etant donné le débit (1800 m³/h) et la pression statique (P_{stat} = 900 Pa) le choix se porte sur : Rotatech 27

Q59. Déterminer la puissance de la batterie chaude à installer sur la gaine de soufflage en aval de la VMC.

Efficacité de l'échangeur rotatif : e = 82%

On peut en déduire la puissance de la batterie chaude qui permette de souffler à la température intérieure :

$$P = 0,34 \cdot Q_v \cdot (1 - e) \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) = 2864 \text{ W}$$

Q60. Expliquer comment est régulée la température de soufflage de l'air. Préciser si les V3V sont montées en mélange ou en répartition, si la régulation de température de l'air se fait par variation de débit ou de température d'eau.

Le schéma hydraulique montre que les batteries sont montées en mélange, la régulation de la puissance se fait en débit. L'eau arrive toujours à 50°C mais la variation du débit permet de réguler la température de l'air en sortie.

Q61. A partir des puissances des batteries, calculer les débits nominaux. Pourquoi une autorité proche de 0,5 est généralement préconisée pour les vannes de régulation ? Sélectionner les quatre V3V adaptées dans le catalogue. Quelle sera l'autorité réelle des V3V ?

	Débit L/h	Puissance e W	PdC Echan. (mmCE)	dP Vanne mini bar	Kvs th	Kvs vanne	dP Vanne	a
Salle de T.	525,4	3050	612	0,0606	2,13	2,5	442	0,42
Biblio.	633	3675	612	0,0606	2,57	2,5	641	0,51
Admin.	183,4	1065	510	0,0505	0,82	1	336	0,40
Traiteur	143,8	835	510	0,0505	0,64	0,6	574	0,53

Une autorité de 0,5 est un compromis entre la performance de la régulation (autorité importante) et un coût de fonctionnement faible (autorité faible).

Une autorité faible diminue les pertes de charge du réseau et donc le coût de pompage mais la régulation du débit est plus compliquée et incertaine.

Une autorité forte permet une régulation précise mais pour un coût de pompage plus important.

Q62. En vous aidant des documents ressources, compléter les cases grisées du **DR6**. En déduire la hauteur manométrique du circulateur.

Le document réponse permet de synthétiser les pertes de charge du tronçon le plus résistant et ainsi en déduire les caractéristiques du point de fonctionnement à savoir le débit nominal et la hauteur manométrique nominale.

Débit	1486	L/h
Hauteur manométrique	9000	mmCE

Q63. Sélectionner le circulateur alimentant le circuit de batterie CTA.

Le débit et la hauteur manométrique issus de la question précédente permettent de choisir un circulateur parmi ceux proposés : Sirius 32-65 F

Pour la vitesse de rotation maximale, le circulateur pourra fournir 10,5 mCE.

Q64. Faire l'équilibrage hydraulique du réseau de batteries CTA. Sélectionner les vannes et préciser leur position de réglage.

Des vannes d'équilibrage devront être installée sur les 4 tronçons terminaux afin d'assurer les débits prévus. La prise en compte des pertes de charge de tous les tronçons intermédiaires permettent d'obtenir les caractéristiques suivant :

Emetteurs	Débit (l/h)	dP équilibr. (mCE)	Kv	Vanne	Ouverture
Salles de travail	525,36	1,50	1,37	STAD 10/09	3,9 tours
Biblio	633,01	1,50	1,65	STAD 10/09	4,0 tours
Admin	183,44	6,66	0,23	STAD 10/09	1,8 tours
Traiteur	143,83	7,38	0,17	STAD 10/09	1,7 tours

Q65. Au vu du travail que vous avez effectué, indiquer quels sont les points forts de ce projet concernant son bilan énergétique et environnemental ?

De nombreux points ont été traités dans cette 4^{ème} partie ; Tous les résultats montrent que le bâtiment a été conçu de manière à limiter les consommations énergétiques et l'impact du bâtiment sur l'environnement.

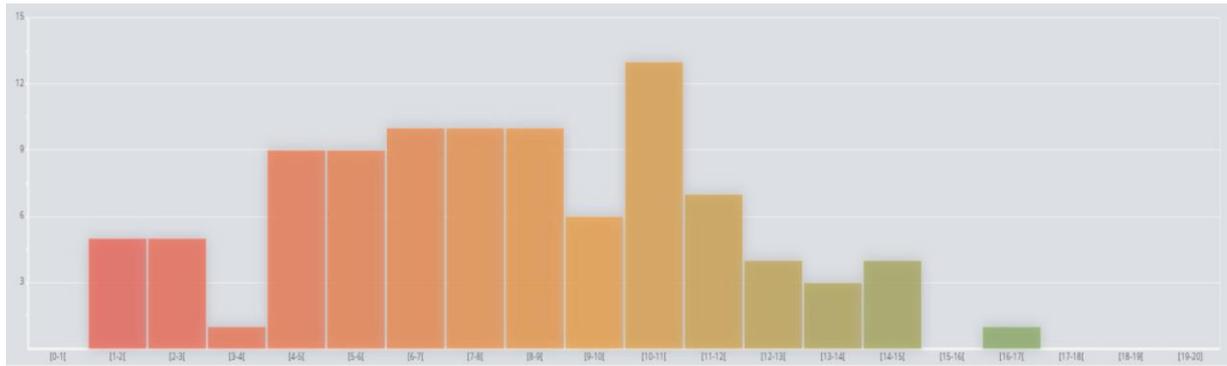
Par le niveau d'isolation ou par la valorisation des apports solaires et lumineux les besoins en chauffage ont été limités.

Par sa régulation adaptée, le système de ventilation permet d'assurer un confort suffisant dans tous les locaux tout en réduisant les débits d'air et donc la consommation liée à la ventilation (consommation électrique des ventilateurs et consommation de chauffage).

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

97 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 8/20, avec un écart-type de 3,5. La meilleure note est 16,80, la plus faible est 1,04.

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



Le sujet proposé portait sur l'étude de la réalisation et conception d'un bâtiment universitaire sur le campus de Castres.

Cette étude comportait 4 grandes parties.

La première permettait d'aborder les principes constructifs de ce bâtiment.

La deuxième partie permettait de faire une synthèse d'une étude de sol et proposait une approche de dimensionnement d'un réseau EP.

La troisième partie se voulait avec une approche réglementaire pour aborder le volet dimensionnement de structure et d'ouvrages de fondations. Elle permettait de faire le point sur la réglementation en vigueur avec l'analyse de différents articles extraits des Eurocodes, mais aussi de faire appel aux notions de construction de ces ouvrages en bois.

La quatrième partie traitait du confort thermique, hygrothermique et acoustique du bâtiment à travers 4 sous-parties abordant l'aspect réglementaire, la ventilation, le chauffage et une synthèse.

Résultats :

1^{ère} partie

Les questions 1 à 6 ont été traitées par 80 % des candidats. Certains candidats ne répondent que partiellement en oubliant de justifier ou quantifier les éléments apportés. Les questions 5 et 6 n'ont été abordées que par 55% des candidats. Il en ressort des difficultés de lecture de plan et des réponses surprenantes quant à la définition de la cour anglaise... (Non sans humour peut être !)

2^{ème} partie

Sur la partie soutènement les deux premières questions ont été traitées par 65% des candidats ; les connaissances générales sont démontrées ; les justifications le sont moins. La troisième question a été abordée par seulement 35% des candidats ; le manque de connaissance des principes de dimensionnement d'un ouvrage de soutènement est flagrant.

Concernant la partie approche géotechnique, l'exploitation des résultats pour obtenir les caractéristiques mécaniques du sol est réalisée par seulement 50% des candidats avec des résultats très disparates et la confusion entre essai triaxial et essai à la boîte de Casagrande comme source d'erreur importante.

La caractérisation à long terme semble tout aussi vague. Pour la première question il ne s'agissait pas de faire un inventaire des essais de laboratoire, il fallait seulement évoquer ceux qui permettaient d'obtenir des résultats mécaniques et pas ceux qui ne permettent que d'obtenir des caractéristiques physiques.

La partie sur l'étude du réseau d'EP abordée par 1/3 des candidats seulement fait état du peu de connaissance dans ce secteur. Même la première question, décrite dans les annexes, pour le calcul du débit n'a pas été abordée par plus de candidats.

3^{ème} partie

La partie sur l'analyse de la charpente bois a été abordée par 65% des candidats. Les deux premières questions ont été dans l'ensemble traitées correctement. Le tracé de l'allure du diagramme des moments sur la poutre support du pan de bois de la maison 6 a donné lieu à des diagrammes surprenants avec des diagrammes paraboliques pour des charges concentrées par exemple. Les fondamentaux de la RDM ne semblent pas totalement maîtrisés par certains candidats. L'approche technologique sur l'assemblage de la poutre LC à IV sur le poteau montre la difficulté de certains candidats à appréhender le fonctionnement de la structure. La liaison avec deux petites cornières vissées dans le bois et le béton est à proscrire.

L'étude de la panne de l'abri vélo fait apparaître que 80% des candidats ont abordé les 4 premières questions qui portaient sur la définition des charges climatiques sur la structure. Il n'y avait pas, comme l'ont précisé un certain nombre de candidats, d'erreur dans le sujet sur les données des coefficients de pression extérieure du vent qui peuvent être positifs ou négatifs selon le risque de soulèvement possible. Il y a aussi beaucoup de confusions entre flexion déviée et composée...

Ils n'étaient plus que 65% à aborder le dimensionnement de la panne avec l'approche des ELU et ELS et la définition des sollicitations.

Pour les vérifications réglementaires il ne restait plus que 40% des candidats. Le calcul littéral de la flèche d'une poutre iso avec deux consoles soumises à un chargement uniformément réparti n'a été mené à son terme que par 5% des candidats. Beaucoup ont proposé de négliger les consoles, ce qui était acceptable, mais un certain nombre d'entre eux confond encore longueur de poutre et portée de calcul pour le calcul de la flèche. La vérification des sections ne se fait pas à partir des seules lois de la RDM ; l'approche réglementaire est obligatoire. Pour le calcul des flèches il faut analyser le comportement "à court terme" ou instantané et à "long terme" avec la prise en compte du fluage. L'approche EC est capitale.

Ces mêmes 40% de candidats ont abordé la partie de la poutre à Inertie Variable (Poutre à double décroissance). Les 2 premières questions n'ont pas posé beaucoup de problème. L'analyse de la variation du module élastique de la section n'a été réussie que par seulement 5% des candidats. Combien ont écrit que "la variation de hauteur étant linéaire ; l'évolution du module élastique est donc linéaire" ... ? Les commentaires précédents sur l'exploitation des EC pour les vérifications de sections sont tout aussi fondés. Seuls 20% des candidats ont abordé ces 2 questions. En ce qui concerne l'étude des fondations profondes, seuls 20% des candidats ont abordé cette partie avec des résultats partagés pour les deux premières questions et faibles pour les deux autres.

4ème partie

Un nombre important de candidats n'ayant pas abordé cette partie, les résultats moyens sont globalement mauvais. Toutefois les candidats ayant passé du temps sur la partie s'en sont assez bien sortis. Les premières questions de chacune des sous-parties étaient aisément abordables par tous les candidats puisqu'elles ne nécessitaient que des connaissances basiques du domaine. Il est à noter certaines très belles copies.

La première sous-partie, qui portait sur l'analyse de certains points de la Réglementation Thermique, a été traitée par environ 60% des candidats. Les 3 premières questions ne nécessitaient que des connaissances de bases sur la thermique du bâtiment. Les questions suivantes faisant davantage appel à des capacités de compréhension et de synthèse de documents.

La seconde sous-partie portait sur le système de ventilation double flux de la bibliothèque, elle a été traitée par moins de 40% des candidats. Pour les 2 premières questions des connaissances de base en ventilation permettaient d'apporter des réponses satisfaisantes. Pour la suite un esprit de synthèse et d'analyse des documents (catalogue constructeur) permettait de répondre aux questions. Les candidats ayant abordé les questions s'en sont assez bien sortis.

La troisième sous-partie portait sur le réseau de chauffage alimentant les batteries chaudes des CTA. Elle nécessitait une certaine maîtrise des réseaux d'eau et des pertes de charges. La sous-partie a été très peu traitée, moins de 20% des candidats se sont lancés dans le dimensionnement du circulateur.

La dernière sous-partie, concernant la synthèse des parties précédentes, a davantage été traitée mais de manière souvent très superficielle.

B. Epreuves d'admission

En raison de la crise sanitaire liée à la COVID 19, l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnologique et l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnologique n'ont pas pu avoir lieu². La partie du rapport du jury 2020 relative aux épreuves d'admission ne contient donc que le rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel. Pour les deux autres épreuves il conviendra de se reporter au rapport du jury 2019.

I. 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 : arrêté du 24 juin 2019) précise :

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

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

« Durée totale de l'épreuve : 1 heure (présentation : 30 minutes maximum ; entretien avec le jury : 30 minutes) ».

Le jury cherche également à apprécier la capacité du candidat, en qualité de futur agent du service public d'éducation, à se représenter la diversité des conditions d'exercice du métier et les valeurs qui le portent, dont celles de la République.

2. Analyse globale des résultats

Les résultats de cette épreuve sont très variables.

Les soutenances de dossier remarquées ont été celles qui associaient :

- des liens étroits du candidat avec le monde professionnel (maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage ou entreprises) ;
- un support représentatif d'au moins un des domaines de l'option Ingénierie des Constructions ;
- une présentation des problématiques spécifiques des 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, tout en restant synthétique et succincte ;
- 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 et le candidat doit être en mesure de les justifier ;
- une **troisième partie** explique les potentialités pédagogiques du dossier au niveau lycée et au niveau de l'enseignement supérieur (BTS, IUT). Des séquences pédagogiques doivent être présentées. 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 en aucun cas 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... Toute étude sur un système « clés en main » **qui ne serait pas placée au sein d'un projet de**

² Cf. arrêté du 27 mai 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours externe et du concours externe spécial de recrutement de professeurs agrégés de l'enseignement du second degré ouverts au titre de l'année 2020 en raison de la crise sanitaire née de l'épidémie de covid-19.

construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage dans le domaine du BTP ne convient pas à l'intitulé de cette agrégation **ingénierie des constructions**.

Les candidats qui n'ont pas pu être lauréats de cette session peuvent, s'ils le souhaitent, conserver le même support lors d'une prochaine session, mais des modifications significatives dans les développements et/ou l'objet d'étude sont demandées.

Le développement scientifique et technique proposé doit être choisi dans leur domaine de compétences.

L'analyse technique et scientifique

Le jury a constaté la présence de dossiers **sans apport scientifique et technologique**. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante, la présentation d'un support de cours ne correspond pas non plus aux attentes. L'analyse technique et scientifique présentée par le candidat doit être au niveau d'une agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur et doit s'ancrer dans leur domaine de compétences. **Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser le cadre réglementaire associé.**

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.

Il convient de ne pas faire qu'une exploitation simpliste ou simplifiée des résultats de logiciels de simulations (couramment observé sur les logiciels de bilans thermiques ou de calculs de structures) sans mettre en évidence la maîtrise par le candidat des notions scientifiques et technologiques utilisées par le logiciel. Il convient aussi de ne pas faire du BIM la seule vérité sans analyser les résultats obtenus des différents logiciels métiers utilisés. La description du processus BIM n'est pas non plus en adéquation avec les attendus, ce ne sont que des outils utilisés dans une chaîne de réflexion (voir développement de cette problématique dans le paragraphe ci-après).

La stratégie pédagogique

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

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

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,
 - ressources,
- 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 différenciation et l'adaptation aux différents besoins ;
- la pédagogie active (projets, démarches inversées ...) ;
- 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 requises à la maîtrise des démarches et outils numériques.

En effet, les élèves et étudiants maîtrisent déjà, en partie, la technicité propre à ces outils.

Les candidats doivent présenter une visualisation de leur travail sur ces outils numériques (simulation, conception...) pendant la soutenance. Les candidats ne doivent pas se contenter de fournir, sous forme numérique, une série de fichiers, ils doivent démontrer leurs compétences à utiliser ces outils. Il est donc conseillé, en particulier pour des maquettes de type BIM, d'installer le logiciel utilisé ou un outil de visualisation dynamique permettant d'échanger lors de la discussion avec le jury. Pour les logiciels de calculs, les candidats doivent être capables d'expliquer la pertinence des modélisations, des données d'entrée, le principe de calcul du logiciel ainsi que la prise en compte du cadre réglementaire. Il est attendu une analyse critique des résultats. Quelques candidats ont présenté des modélisations totalement erronées ou des résultats aberrants, certains se sont contentés de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.

Enfin, la fourniture de grande quantité de données ou ressources livrées par les candidats en annexes ne saurait suffire, une présentation minimale des ressources fournies est demandée.

4. Critères d'évaluation

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

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

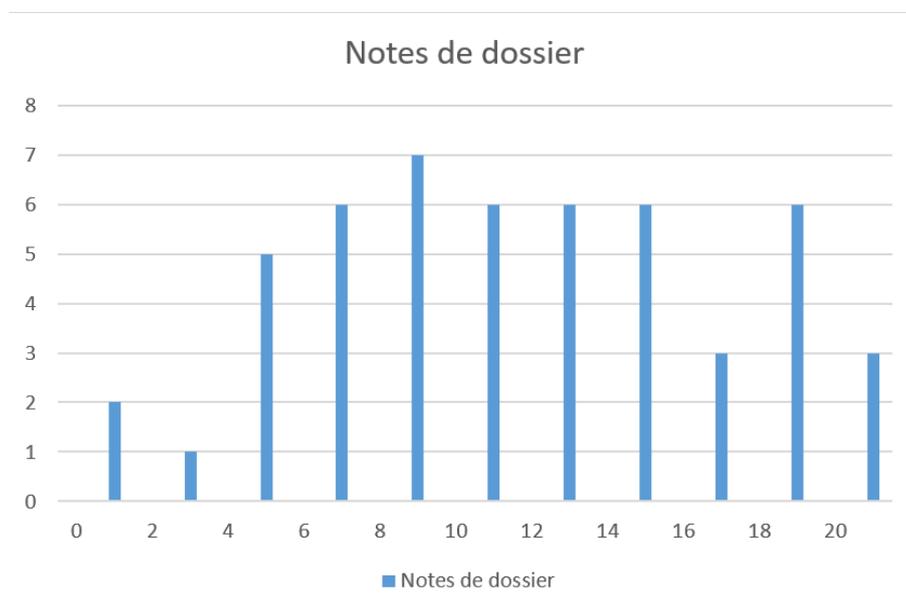
5. Comportement lors de l'oral

L'oral d'une épreuve de concours constitue une phase de la démarche de recrutement et sélection de nouveaux professionnels de l'enseignement. Si la qualité des présentations, les postures, y compris les tenues vestimentaires, sont de plus en plus adaptées et ne posent pas de question, le jury regrette que certains candidats ne semblent pas maîtriser totalement leur gestuelle, leur présentation et leur rapport au jury, certaines postures étant parfois peu adaptées au cadre d'un entretien de recrutement.

Notes obtenues à l'épreuve

51 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 11,6/20 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 01 comme note la plus basse.
- 58% des notes sont supérieures à 10/20



II. Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

Lors des épreuves d'admission, le jury évalue la capacité du candidat à agir en agent du service public d'éducation, en vérifiant qu'il intègre dans l'organisation de son enseignement :

- la conception des apprentissages des élèves en fonction de leurs besoins personnels ;
- la prise en compte de la diversité des conditions d'exercice du métier et la connaissance réfléchie des contextes associés ;
- le fonctionnement des différentes entités éducatives existant au sein de la société et d'un EPLE (institution scolaire, établissement, classe, équipe éducative...) ;
- les valeurs portées par l'Éducation nationale, dont celles de la République.

Le candidat doit prendre en compte ces exigences dans la conception des séquences pédagogiques présentées au jury. Il s'agit de faire acquérir, à l'élève, des compétences alliant des connaissances scientifiques et technologiques et des savoir-faire associés, mais également d'installer des comportements responsables et respectueux des valeurs républicaines.

Cet objectif exigeant induit une posture réflexive du candidat lors de la préparation et de la présentation d'une séquence pédagogique. En particulier, les stratégies pédagogiques proposées devront permettre d'atteindre l'objectif de formation visé dans le cadre de « l'école inclusive ». Il est indispensable de donner du sens aux enseignements en ne les déconnectant pas d'un contexte sociétal identifiable. Cela doit contribuer à convaincre les élèves du bien-fondé des valeurs républicaines et à se les approprier.

L'éducation aux valeurs républicaines doit conduire à adopter des démarches pédagogiques spécifiques, variées et adaptées. Il s'agit en particulier de doter chaque futur citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. À dessein, il est nécessaire de lui faire acquérir des comportements fondateurs de sa réussite personnelle et le conduire à penser et construire son rapport au monde. Les modalités pédagogiques, déployées en sciences industrielles de l'ingénieur, sont nombreuses et sont autant d'opportunités offertes à l'enseignant pour apprendre aux élèves :

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;

- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;
- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;

...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite. Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;
- l'instruction relative au déploiement de l'éducation au développement durable dans l'ensemble des écoles et établissements scolaires pour la période 2015-2018 (NOR : MENE1501684C, circulaire n° 2015-018 du 4-2-2015, MENESR – DGESCO) ;
- le parcours Avenir (NOR : MENE1514295A, arrêté du 1-7-2015 – JORF du 7-7-2015, MENESR - DGESCO A1-4) ;
- la banque de ressources « Pour une pédagogie de la laïcité à l'école » - Abdennour Bidar - la documentation française 2012 ;
- les ressources numériques en ligne du réseau de création et d'accompagnement pédagogiques CANOPÉ – éducation et société ;
- les ressources du portail national des professionnels de l'éducation – Éduscol – établissements et vie scolaire sur la laïcité (<https://eduscol.education.fr/cid46673/ressources-nationales.html>).