



Concours de l'enseignement du second degré

Rapport de jury

AGREGATION CONCOURS EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : ingénierie des constructions

Session 2019

Rapport de jury présenté par : Myriam CARCASSES
Professeure des universités
Présidente du jury

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| RESULTATS STATISTIQUES DE LA SESSION 2019 | 4 |
| AVANT-PROPOS | 5 |
| A. EPREUVES D'ADMISSIBILITE | 8 |
| I. EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR | 8 |
| <i>I.1 Eléments de correction</i> | <i>8</i> |
| <i>I.2 Rapport du jury</i> | <i>20</i> |
| II. EPREUVE DE MODELISATION D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION | 26 |
| <i>II.1 Eléments de correction</i> | <i>26</i> |
| <i>II.2 Rapport du jury</i> | <i>36</i> |
| III. ELEMENTS DE CORRECTION DE L'EPREUVE DE CONCEPTION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME, D'UN PROCEDE OU D'UNE ORGANISATION | 38 |
| <i>III.1 Eléments de correction</i> | <i>38</i> |
| <i>III.2 Rapport du jury</i> | <i>56</i> |
| B. EPREUVES D'ADMISSION..... | 63 |
| I. EXPLOITATION PEDAGOGIQUE D'UNE ACTIVITE PRATIQUE RELATIVE A L'APPROCHE GLOBALE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE | 63 |
| <i>I.1 Exemple de sujet</i> | <i>63</i> |
| <i>I.2 Rapport du jury</i> | <i>72</i> |
| II. RAPPORT DU JURY DE L'EPREUVE D'ACTIVITE PRATIQUE ET D'EXPLOITATION PEDAGOGIQUE RELATIVES A L'APPROCHE SPECIALISEE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE | 79 |
| <i>II.1 Exemple de sujet</i> | <i>79</i> |
| <i>II.2 Rapport du jury</i> | <i>84</i> |
| III. RAPPORT DU JURY DE L'EPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL..... | 89 |
| IV. RAPPORT SUR LA TRANSMISSION DES VALEURS ET PRINCIPES DE LA REPUBLIQUE | 92 |

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

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2019 de l'agrégation externe section sciences industrielles de l'ingénieur, option sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions, ainsi que les épreuves d'admission qui se sont déroulées dans de très bonnes conditions du 16 juin inclus au 21 juin 2019 inclus. Les membres du jury adressent de vifs remerciements à monsieur le Proviseur de cet établissement ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs pour l'accueil chaleureux qui leur a été réservé.

Résultats statistiques de la session 2019

| Inscrits | Nombre de postes | Présents aux trois épreuves d'admissibilité | Admissibles | Admis |
|----------|------------------|---|-------------|-------|
| 243 | 22 | 107 | 54 | 19 |

| | |
|--|------|
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible | 13,0 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible | 05,3 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis | 16,1 |
| Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis | 07,5 |

Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier et recruter des **candidats capables d'enseigner** les Sciences Industrielles, principalement dans le domaine de l'Ingénierie des Constructions, pour des sections pré-baccalauréat et post-baccalauréat en relation avec l'option.

Les épreuves du concours contrôlent la capacité des candidats à former des élèves et de futurs professionnels du domaine concerné. A ce titre, le candidat à l'enseignement doit également **être crédible lorsqu'il interagit dans un milieu professionnel de l'Ingénierie des Constructions**, pour lui permettre de travailler en lien avec des techniciens, des ingénieurs et des chercheurs.

Le vocabulaire technique courant de l'acte de construire doit être maîtrisé. Les principales démarches de conception mais aussi de réalisation des ouvrages, et d'organisation de chantier, **doivent être connues**. Les principaux outils doivent être identifiés ainsi que leurs potentialités professionnelles et pédagogiques.

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

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

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

Cette session répond aux attentes de l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation et de l'arrêté du 19 avril 2016 modifiant certaines modalités d'organisation des concours de recrutement de personnels enseignants du second degré. Les programmes des lycées généraux et technologiques changeant à la rentrée 2019, un nouvel arrêté est en cours de publication pour la session 2020.

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

Le constat établi dans les rapports des précédentes sessions doit être rappelé. En particulier, il paraît nécessaire de rappeler que l'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Celles-ci sont évaluées dans les

trois épreuves d'admission. Il importe donc de les préparer dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique ne s'improvise pas, cela nécessite entraînement et réflexion.

Si le jury apprécie que le candidat positionne sa séquence dans la progression pédagogique annuelle et précise les objectifs ainsi que les 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.

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

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

Les compétences pédagogiques attendues sont :

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

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

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

Il est donc fortement conseillé aux futurs candidats et à leurs formateurs de lire attentivement la définition des épreuves, décrite dans l'arrêté du 25 novembre 2011 (publié au JORF du 10 janvier 2012) et dans l'arrêté du 25 juillet 2014 (publié au JORF du 12 août 2014) modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation, ainsi que les commentaires du jury qui figurent dans le présent rapport.

Les modalités de ces épreuves d'admissions et leurs objectifs sont rappelés aux candidats lorsqu'ils sont accueillis, avant leur première épreuve, par le directoire du jury ; ils ne peuvent donc pas les ignorer.

Cette session 2019 n'a pas permis de pourvoir tous les postes offerts au concours : seuls 19 nouveaux professeurs agrégés d'un niveau suffisant ont pu être recrutés.

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 adaptée aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Pour conclure cet avant-propos, l'ensemble des membres du jury et moi-même espérons sincèrement que ce rapport sera très utile aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

Myriam CARCASSES
Présidente du jury

A. Epreuves d'admissibilité

I. Epreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

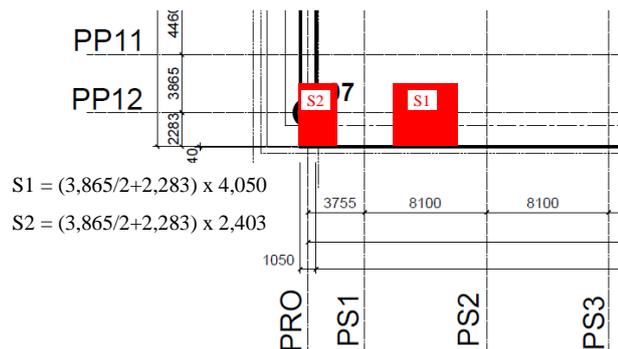
I.1 Eléments de correction

Étude de la structure du plateau mobile

Pré-dimensionnement d'une poutre principale du plateau

Question 1 :

Les surfaces et les longueurs d'influence des éléments sont évaluées à partir des surfaces et des longueurs d'influence des éléments sur chaque nœud :



$F_{1,2} = S1 \times \text{charge majorée}$

$$F_{1,2} = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 4,05 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 204,2 \text{ kN}$$

Pour F_2 , $S2$ est déterminée, au choix, à partir de la figure 8 ou à partir du DT2. Selon le cas, le résultat est :

$$F_2 = S2 \times \text{charge surfacique majorée}$$

Figure 8 : $F_2 = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 1,876 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 94,6 \text{ kN}$

DT2 : $F_2 = \left(\left(\frac{3,865}{2} + 2,283 \right) \times 2,403 \right) \times (8,43 \times 1,33 + 0,5 \times 1,5) = 121,2 \text{ kN}$

Question 2 :

Les réactions d'appuis en A et B peuvent être déterminées par application du Principe Fondamental de la Statique (PFS).

Le treillis est considéré symétrique en géométrie et en chargement, ce qui implique que $Y_A = Y_B$.

En isolant, comme système, le treillis complet :

$X_A = 0$ (pas de composante de force selon \vec{x})

$$Y_A = Y_B = -(204,2 \times 17 - 94,6 \times 2 - 111,7 \times 2 - 152,5 \times 9) / 2 = 2\,628,2 \text{ kN (ou } 2\,654,8 \text{ kN si DT2)}$$

Question 3 :

Les intensités des efforts normaux dans la diagonale la plus sollicitée, soit la barre 3, sont déterminées en utilisant le principe fondamental de la statique par une méthode de résolution au choix.

Seul l'équilibre des efforts selon \vec{y} est nécessaire pour résoudre :

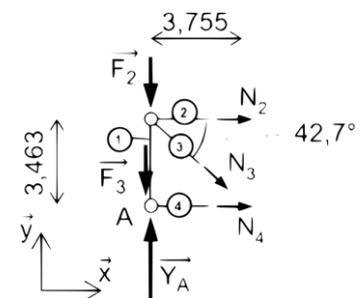
$$\sum \vec{F} \cdot \vec{y} = 0$$

Projection selon $Y_A - F_2 - F_3 - N_3 \sin(42,7^\circ) = 0$

AN : $N_3 = (2\,628,2 - 94,6 - 111,5) / \sin(42,7^\circ)$

$$N_3 = 3\,571,5 \text{ kN (idem si DT2)}$$

Le résultat est positif, la barre 3 est tendue.



Question 4 :

Les contraintes normales sont obtenues par la relation $\sigma = N/S$ pour chaque barre.

La démarche étant réalisée vis-à-vis de la rupture (à l'ELU : États Limites Ultimes), la limite à la rupture est utilisée pour le coefficient de sécurité (« Le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture »).

$$\text{Coefficient de sécurité} = f_u / |\sigma|$$

| | σ (MPa) | N (kN) | Sections (mm ²) | f_u (MPa) | coef. sécurité |
|-----------|----------------|----------|-----------------------------|-------------|----------------|
| 27 (sup) | -129,3 | -13130,5 | 101590 | 470 | 3,64 |
| 26 (inf) | 172,3 | 12921,8 | 75000 | 470 | 2,73 |
| 3 (diag) | 178,6 | 3571,3 | 20000 | 470 | 2,63 |
| 23 (mont) | -34,0 | -204,2 | 6000 | 470 | 13,81 |

Les coefficients sont tous supérieurs à 2,5. Le pré dimensionnement est validé.

Question 5 :

Les phénomènes mécaniques à évaluer et à contrôler sont les suivants :

- flambement des barres (diagonales et montants) ;
- cisaillement des barres (accepter efforts tranchants et contraintes tangentielles) ;
- déformations et déplacements limités. Démarche ELS (États limites de service) ;
- qualité des liaisons entre barres (visseries, soudures) ;
- fluage ;
- torsion ;
- déversement.

Simulation et analyse des sollicitations dans la poutre principale PP12 - modèle aux éléments finis

Question 6 :

D'après les résultats des simulations, le critère de Von Mises est respecté pour l'ensemble des éléments étudiés.

| | σ (MPa) | τ (MPa) | Von Mises (MPa) |
|------------|----------------|--------------|-----------------|
| Memb. sup. | 174 | 22 | 178,1 |
| | 153 | 41 | 168,7 |
| | | | |
| Memb. inf. | 89 | 11 | 91,0 |
| | 19 | 27 | 50,5 |
| | | | |
| diagonales | 281 | 129 | 359,0 |
| | 210 | 72 | 244,2 |

La limite élastique de l'acier est $f_y=355$ MPa. Les membrures supérieure et inférieure semblent correctement dimensionnées pour l'étude du levage. On constate qu'une diagonale est sous-dimensionnée : la diagonale 7.

Question 7 :

Augmenter de 20% la section assure la diminution de la contrainte normale dans la diagonale en des proportions équivalentes, soit une contrainte normale de 225 MPa dans l'élément le plus sollicité.

La contrainte de cisaillement diminue également, donc la contrainte de Von Mises sera au maximum de 317 MPa. Ce qui permet de valider le critère.

Question 8 :

Liste des exigences à vérifier :

- coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture pour le pré dimensionnement : 2,5 aux ELU. Ce critère est respecté ;
- limite élastique de l'acier : 355 MPa. Cette limite élastique ne doit jamais être dépassée, lors du levage, dans toutes les configurations de chargement possibles. Ce critère est respecté dans les membrures inférieures et supérieures. En revanche, ce critère n'est pas respecté dans le cas des diagonales. Une solution possible est de remplacer les HEM240 par des HEM 280.

Le modèle aux éléments finis permet de réaliser une étude en tenant compte :

- des efforts tranchants dans les éléments constitutifs du plateau ;
- des moments fléchissant dans les éléments constitutifs du plateau ;

- d'une étude mécanique tridimensionnelle en tenant compte de la tôle, des augets, des poutres secondaires, des poutres de rive ;
- d'une approche des charges extérieures appliquées au plateau, plus proche de la réalité et dans différentes configurations ;
- des efforts horizontaux appliqués au plateau, lors du recentrage et lors du début de la translation.

Étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage

Étude du cycle de chauffe au sein du cycle de levage

Question 9 :

Risque d'échauffement :

- lors de la descente gravitaire où le fluide est « laminé » au travers du régulateur de débit (élévation peu importante de la température) ;
- lors du levage à pleine charge ;
- s'il y a dysfonctionnement d'un groupe motopompe qui fonctionnerait à pleine puissance un long moment.

Conséquences : s'il y a échauffement (Capteurs T_EST_25) ou défaut capteur (T_EST), les conditions permanentes ne seront pas validées.

Question 10 :

Le calcul du temps nécessaire pour le chauffage des lignes prend en compte les volumes d'huile dans les circuits aller et retour et la nécessité de parcourir 10 fois la ligne avant d'atteindre la température en régime permanent :

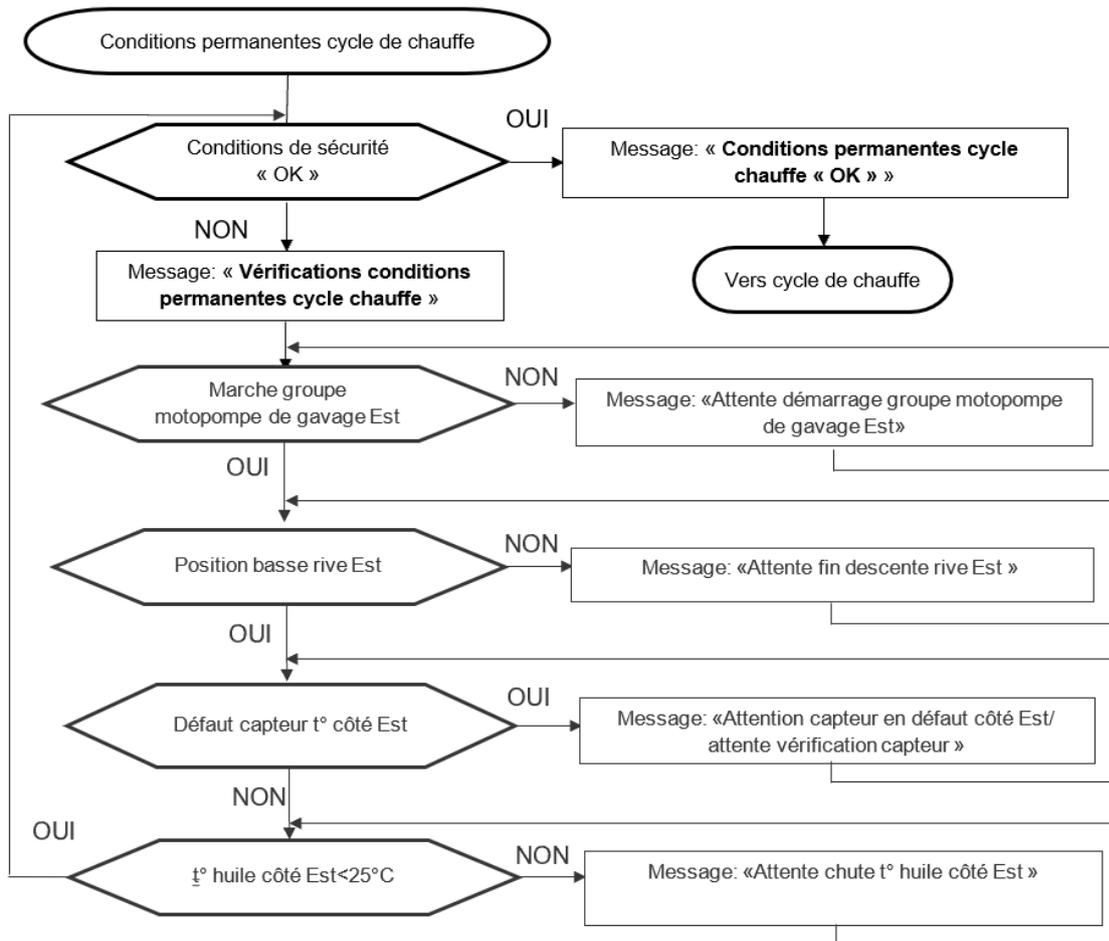
- circuit aller : $2,1 \times 75 = 157,5 \text{ l}$;
- circuit retour : $(4,6 + 2,1) \times 75 = 502,5 \text{ l}$;
- volume total équivalent pour 10 parcours : 6600l.

Pour un débit total de $260 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, il faut une durée de chauffe de 25,4 min soit 1524 s.

La consigne de programmation est supérieure à celle nécessaire à la régénération prévue $1524 \text{ s} < 1800 \text{ s}$, afin d'assurer la température requise de 12°C en tout point du circuit et ainsi limiter les pertes de charges. L'écart provient aussi de l'approximation faite sur le débit estimé.

Question 11 :

Le logigramme de vérification des conditions permanentes du fonctionnement d'un cycle de chauffe pour la rive Est permet de faire apparaître les messages à afficher sur l'écran de l'IHM de façon à guider l'opérateur dans le suivi des étapes.



Question 12 :

On trouve ci-après la liste des variables nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Variables identifiées à partir de l'IHM :

| | |
|--|---------|
| BP_OMCC (Bouton Poussoir Ordre de Marche Cycle de Chauffe) | binaire |
| tempo_chauffe_lignes | entier |
| BP_OACC (Ordre d'Arrêt Cycle de Chauffe) | binaire |
| tempo_chauffe_bloc | entier |
| tempo_filtration | entier |

Variables identifiées à partir du séquençage :

| | |
|-------------------------------|----------|
| GMPGAV_ES | binaire |
| EST_BAS | binaire |
| T_EST_25 | binaire |
| T_EST: binaire ou TEMP_°C_EST | flottant |

Variables identifiées à partir des documentations techniques

| | |
|-------|---------|
| EV_RD | binaire |
| EV_SA | binaire |
| EV_N | binaire |
| EV_IG | binaire |
| GMPHP | binaire |

Question 13 :

Liste des conditions initiales nécessaires à la mise en place d'un algorithme de commande du cycle de chauffe de la rive Est :

Conditions initiales des variables identifiées à partir de l'IHM :

```
BP_OMCC=0
tempo_chauffe_ligne = 1800
BP_OACC=0
tempo_chauffe_bloc = 1800
tempo_filtration = 60
```

Conditions initiales des variables identifiées à partir du séquençement :

```
GMPGAV_EST=0
EST_BAS=1
T_EST_25=1 ou TEMP_°C_EST <25
T_EST=1
```

Conditions initiales des variables identifiées à partir des documentations techniques

```
EV_RD=0
EV_SA=0
EV_N=0
EV_IG=0
GMPHP=0
```

L'initialisation de la consigne de température est également possible : `temperature_chauffe = 12`.

Question 14 :

L'algorithme permettant la gestion de l'état de BP_OMCC consiste en une boucle d'attente du bouton poussoir d'ordre de marche de type « Tant que » en ayant au préalable précisé les conditions initiales. Par exemple :

```
Tant que BP_OMCC est égal à 0
|
Fin tant que
programme « cycle de chauffe »
```

Question 15 :

L'algorithme partiel du cycle de chauffe consiste par exemple en l'utilisation de deux boucles de type « tant que » pour la gestion des variables GMP_GAV et EV_RD.

sous-programme « cycle de chauffe »

```
début
||  toptime = time
|  Tant que (time - toptime ) < tempo_filtration
|  |      Afficher («Filtration en cours »)
|  |      GMP_GAV = 1
|  Fin tant que
|
|  Tant que TEMP_°C_EST < 12°C
|  |      Afficher («Chauffage réservoir en cours »)
|  |      GMP_GAV = 1
|  |      EV_RD = 1
|  Fin tant que
|  .....
|
fin
```

Étude du capteur de température et de la transmission de données

Question 16 :

Une étude classique du pont de Wheatstone permet d'établir :

$$U_{CB} = \frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{DB} = \frac{R'}{R + R'} U_{cc} \text{ (diviseur de tension)}$$

$$U_{mes} = U_{CB} - U_{DB} = \left(\frac{R_{Pt100}}{R + R_{Pt100}} - \frac{R'}{R + R'} \right) U_{cc}$$

Le pont est dit équilibré lorsque $U_{mes} = 0$ c'est-à-dire lorsque $R' = R_{Pt100}$.

$$R_{Pt100}(-10^\circ) \approx 100 \times (1 + 3,98 \cdot 10^{-3} \times (-10)) = 96 \Omega$$

Conclusion : pour obtenir $U_{mes} = 0$ V à -10°C , il faut choisir $R' = 96 \Omega$.

Question 17 :

Une relation de type pont diviseur de tension permet d'écrire :

$$U_r = \frac{R_{r1}}{2R_{L1} + R_{r1}} U_t = \frac{1}{1 + \frac{2R_{L1}}{R_{r1}}} U_t \approx \left(1 - \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \right) \times U_t \text{ avec } R_{r1} \text{ supposée grande devant } R_{L1}.$$

$$\varepsilon_{\%} = \frac{U_t - U_r}{U_t} \times 100 = \frac{2R_{L1}}{R_{r1}} \times 100$$

AN : pour une distance de 150 m, $R_{L1} = 0,1 \times 150 = 15 \Omega$ et $\varepsilon_{\%} = \frac{2 \times 15}{2500} \times 100 = 1,2 \%$.

Conclusion : l'erreur de liaison est supérieure à la condition sur la tension au niveau du récepteur. De plus, cette erreur est fonction de la longueur de fil, ce qui n'est pas satisfaisant.

Question 18 :

Application de la loi des mailles : $U_s = U_{DC} - R_{r2} \times I_b$

$$\text{Valeur de tension minimale : } U_{smax} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_min} = 24 - 500 \times 4 \cdot 10^{-3} = 22 \text{ V}$$

$$\text{Valeur de tension maximale : } U_{smin} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_max} = 24 - 500 \times 20 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ V}$$

La plage de tension indiquée par le constructeur étant de 12 V à 30 V, l'exigence est vérifiée.

Question 19 :

Pour respecter la valeur minimale de 12 V en sortie du conditionneur, il faut s'assurer que la chute de tension liée aux fils de la boucle n'excède pas 2 V.

Soit L la longueur maximale de boucle, pour un courant maximal de 20 mA, on a :

$$U_{smin} = 14 \text{ V} = U_{DC} - R_{r2} \times I_{b_max} - 2 \times L \times 0,1 \times I_{b_max}$$

D'où $L = \frac{14 - 12}{2 \times 0,1 \times 20 \cdot 10^{-3}} = 500$ m. Cette distance est nettement supérieure aux 150 m qui séparent le capteur de l'automate de contrôle. Cette solution est donc valide.

Question 20 :

Soit I_b l'intensité du courant dans la boucle 4-20 mA.

Avantages d'une transmission analogique par boucle de courant :

- transmission sur de grandes distances. Le courant est constant le long d'un câble et ne dépend pas de la longueur de la ligne ;
- très bonne immunité aux bruits électromagnétiques (fils torsadés) ;
- seulement 2 fils pour l'alimentation du capteur et le codage de l'information ;
- détection de panne du capteur intégrée (lorsque $I_b < 4$ mA ou $I_b > 20$ mA). La détection du défaut capteur est gérée comme demandé dans les conditions permanentes.

Étude du levage du plateau mobile

Dimensionnement du système hydraulique de levage

Question 21 :

Pour l'huile référencée PANOLIN HLP SYNTH 32, courbe bleue, les valeurs de viscosité sont :

- 150 cSt à 0°C : température minimale en salle hydraulique ;
- 50 cSt à 20°C : température ambiante normale ;
- 22 cSt à 40°C : température maximale de fonctionnement normal ;
- 14 cSt à 60°C : température de coupure du circuit.

La viscosité dynamique étant une fonction décroissante de la température, la viscosité retenue pour le modèle de dimensionnement est celle correspondant à la température minimale de la salle hydraulique (soit 0°C) et donc une viscosité de 150 cSt.

Question 22 :

Vérification des données numériques pour la portion de ligne hydraulique V4/V3 :

- vitesse moyenne d'écoulement $v_m = 4 \times \frac{Q_v}{\pi D^2} = 4 \times \frac{210 \cdot 10^{-3} / 60}{\pi \times (50,80 \cdot 10^{-3})^2} = 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- avec $u = 150 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
nombre de Reynolds $R_e = \frac{v_m D}{u} = \frac{1,7 \times 50,80 \cdot 10^{-3}}{150 \cdot 10^{-6}} = 576$;
- pertes de charge régulières : $\lambda = \frac{64}{R_e} = \frac{64}{576} = 0,11$ et $\Delta p = \lambda \frac{\rho v_m^2 L}{2 D} = 0,35 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 0,35 \text{ bar}$.

Au total, les pertes de charges régulières de la ligne de gavage s'élèvent à :

$$\Delta p = 0,09 + 0,20 + 0,38 + 0,42 + 0,40 + 1,40 = 2,89 \text{ bar}$$

La valeur retenue pour le dimensionnement est bien cohérente avec les valeurs annoncées par le bureau d'étude.

Question 23 :

La résistance à l'écoulement provoquée par les accidents de parcours (coudes, élargissements ou rétrécissement de la section, organes de réglage, filtre électrovanne etc.) ; ce sont les pertes de charge accidentelles ou singulières.

Question 24 :

Il faut appliquer le théorème de Bernoulli entre (1) le point d'aspiration et (2) l'entrée de la pompe de levage V6 la plus éloignée de la centrale.

$$\underbrace{\left(p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \right)}_{\text{charge à la sortie}} - \underbrace{\left(p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 \right)}_{\text{charge à l'entrée}} = \underbrace{\frac{P_H}{Q_v}}_{\substack{\text{pression hydraulique} \\ \text{de la pompe}}} - \underbrace{\Delta p}_{\text{perte de charge}}$$

Calcul des pertes de charges totales : $\Delta p_{\text{total}} = 2,9 + 14 + 2 + 1 + 1 + 1 = 21,9 \text{ bar}$

Données en aval de la ligne de courant : $p_2 = 10^5 \text{ Pa}$; $v_2 = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $z_2 = -7 \text{ m}$;

Données en amont de la ligne de courant : $p_1 = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $v_1 = 3,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $z_1 = 0 \text{ m}$;
 $\rho g = 0,93 \times 1000 \times 10 = 9300 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$

$$\frac{P_H}{Q_v} = (p_2 - p_1) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (z_2 - z_1) + \Delta p_{\text{total}}$$

$$\frac{P_H}{Q_v} = (1 - 1,9) \cdot 10^5 + \frac{1}{2} \times 0,93 \times 1000 \times (0,6^2 - 3,4^2) + 0,93 \times 1000 \times 10 \times (-7 - 0) + 21,9 \cdot 10^5$$

$$\frac{P_H}{Q_v} = 20,3 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 20,3 \text{ bar}$$

Avec une majoration de 20%, la valeur de pression est alors de 24,4 bars. Le choix d'une pompe de 30 bars est validé.

Validation mécanique d'un choix de vérin

Question 25 :

Les efforts \vec{F}_L et \vec{F}_T s'appliquent en tête de tige de vérin et sont les valeurs maximales en situation dégradée. Le cas le plus défavorable correspond à la situation dégradée 12 sur le vérin 2.

D'après la figure 21 : $\|\vec{F}_L\| = 9412 \text{ kN}$; $\|\vec{F}_T\| = 188 \text{ kN}$.

Question 26 :

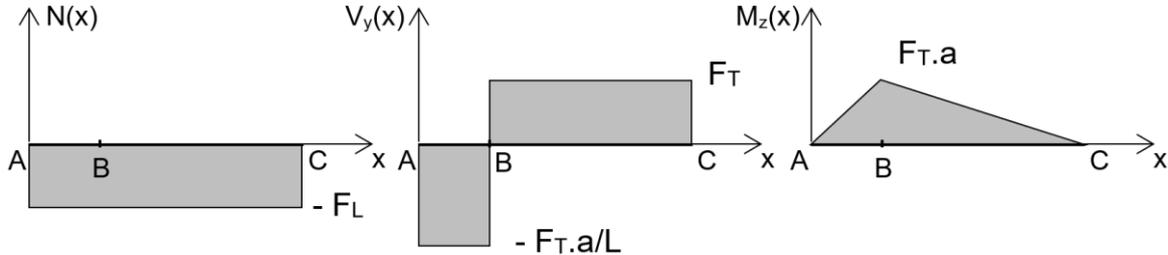
Plusieurs conventions sont possibles. Par exemple, en utilisant la convention « dite » de l'ingénieur, à savoir :

- l'effort normal N est positif en traction ;

- l'effort tranchant V est positif lorsqu'il est directement orthogonal à l'effort normal ;
- le moment fléchissant M est positif lorsqu'il tend la fibre inférieure.

L'application du PFS sur la poutre donne :

$$\begin{array}{lll} X_A = F_L \cdot Y_A = F_T \cdot a/L & Y_B = -F_T \cdot (L+a)/L & \\ \text{Entre A et B : } N(x) = -F_L & V_y(x) = -F_T \cdot a/L & M_z(x) = F_T \cdot (a/L)x \\ \text{Entre B et C : } N(x) = -F_L & V_y(x) = F_T & M_z(x) = -F_T \cdot x + F_T \cdot (L+a) \end{array}$$



Question 27 :

Soit $v(x)$ est le déplacement de la poutre selon \vec{y} en fonction de x .

La relation de comportement $E \cdot I_z \cdot \frac{d^2 v}{dx^2} = M_z(x)$ permet de calculer la flèche. L'expression de $v(x)$ peut alors être déterminée en intégrant deux fois la relation $\frac{M_z(x)}{E \cdot I_z}$ dans le tronçon AB et dans le tronçon BC.

La détermination des 4 constantes d'intégration est obtenue en utilisant les conditions aux limites :

- tronçon AB : $v_{AB}(0) = 0$ et $v_{AB}(L) = 0$;
- tronçon BC : $v_{BC}(L) = 0$;
- continuité de $v'(L)$ à l'interface entre les deux tronçons : $v'_{AB}(L) = v'_{BC}(L)$.

La flèche en C est égale à $v(L+a)$.

Ce même résultat peut être obtenu par d'autres méthodes : méthode des déplacements, intégrales de Mohr, etc.

Question 28 :

La tige du vérin est un tube de diamètre extérieur 580 mm et intérieur 410 mm.

Le moment quadratique d'un tube est $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ car les disques formant le tube sont concentriques en G. Soit $4,167 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 = 4,167 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$.

Question 29 :

Une application numérique à partir des données permet de déterminer la valeur du déplacement de la poutre au point C :

$$\frac{F_T \cdot a^2 \cdot (a+L)}{3 \cdot E \cdot I_z} = \frac{188\,000 \times 6,436^2 \cdot (6,436 + 1,332)}{3 \times 210 \cdot 10^9 \times 4,167 \cdot 10^{-3}} = 0,024 \text{ m soit } 24 \text{ mm.}$$

Ce déplacement est inférieur à 50 mm et conforme aux exigences.

Validation de la pression de fonctionnement du groupe motopompe haute pression de levage

Question 30 :

Lecture du diamètre d'alésage sur le DT6 : $d_{\text{alésage}} = 640 \text{ mm}$.

Surface de répartition de l'effort de levage : $S = \pi \frac{d_{\text{alésage}}^2}{4} = \pi \times 0,320^2 = 0,322 \text{ m}^2$

Deux possibilités de validation :

- Calcul de l'effort maximal à partir de la pression maximale 350 bars :
 $F_{\text{max}} = P_{\text{max}} \times S = 11\,300 \text{ kN} > 9500 \text{ kN}$.
- Calcul de la pression nécessaire en prenant un effort de 9500 kN :
 $P = \frac{F}{S} = 295 \text{ bar} < 350 \text{ bar}$.

Validation du choix du transformateur HT/BT du poste énergie levage

Question 31 :

À partir des données, il est possible de calculer la puissance électrique absorbée par chaque moteur : $P = \frac{P_u}{\eta}$.

- groupe motopompe gavage (GMP GAV) : $P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{33}{0,89} = 37 \text{ kW}$;
- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP) : $P = \frac{P_u}{\eta} = \frac{16,5}{0,89} = 18,5 \text{ kW}$.

De même, la puissance réactive associée à chaque charge est obtenue par la relation : $Q = P \tan \varphi$.

- groupe motopompe gavage (GMP GAV), $\cos \varphi = 0,9$: $Q = 17,9 \text{ kVAR}$
- groupe motopompe haute pression levage (GMP HP), $\cos \varphi = 0,85$: $Q = 11,5 \text{ kVAR}$

Bilan de puissance (théorème de Boucherot) : la puissance active/réactive totale est égale à la somme des puissances actives/réactives. Ici, on doit compter 2 GMP GAV et 12 GMP HP, d'où :

$$P_t = 2 \times 37 + 12 \times 18,5 = 296 \text{ kW}$$

$$Q_t = 2 \times 17,9 + 12 \times 11,5 = 174 \text{ kVAR}$$

On en déduit alors la puissance apparente totale : $S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = 343 \text{ kVA}$.

Le choix d'un transformateur de puissance apparente 500 kVA est validé.

Question 32 :

Conversion vitesse : $70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

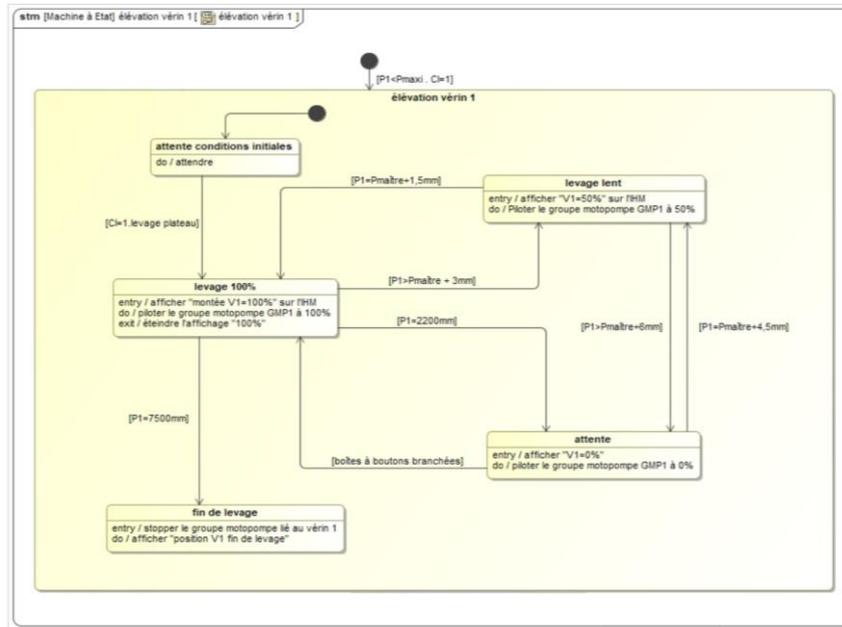
Puissance utile en sortie : $P_u = \eta \times P_t = 12 \times F \times v = 12 \times 9500 \cdot 10^3 \times 1,17 \cdot 10^{-3} = 133,4 \text{ kW}$

D'où l'effort au niveau de chaque vérin : $F = \frac{\eta \times P_t}{12 \times v} = \frac{0,45 \times 296 \cdot 10^3}{12 \times 1,17 \cdot 10^{-3}} = 9 \text{ 487 kN}$

Conclusion : le système est correctement dimensionné pour $F=9500\text{kN}$ (soit $P=11 \text{ 083 W}$ pour un vérin).

Étude de la synchronisation en position des vérins en phase de levage

Question 33 :



Notations :

P1 : position du vérin 1

CI : conditions initiales (non détaillées ici)

Étude de l'acquisition de la position des vérins

Question 34 :

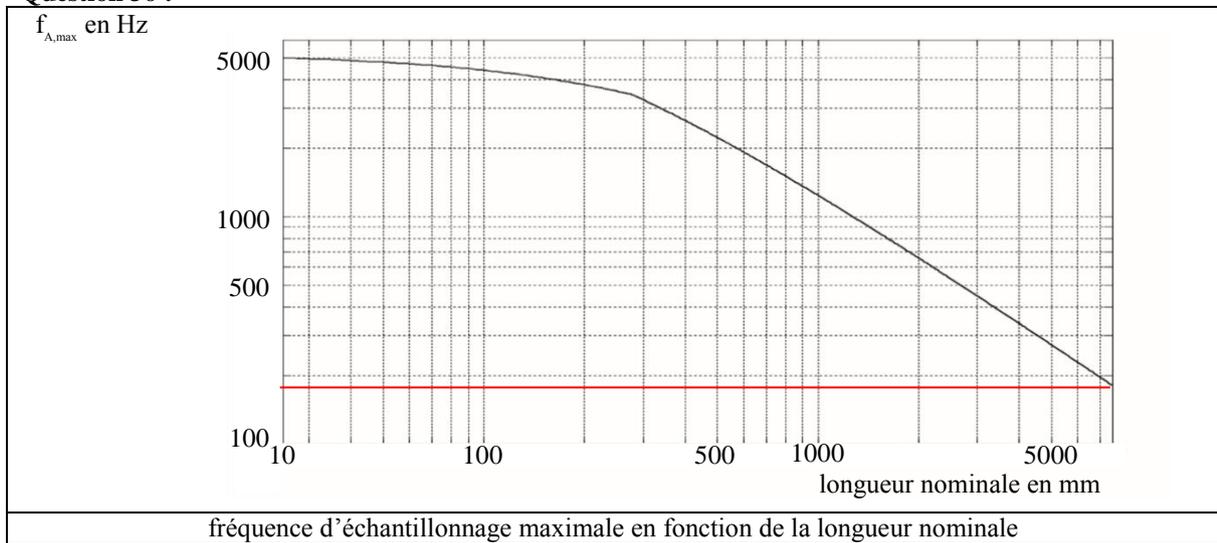
Résolution du capteur : $r = \frac{5700}{(2^n - 1)}$ et $r \leq 5 \mu\text{m}$

d'où un nombre de bits nécessaire de codage $n \geq 21$ bits.
Le capteur doit transmettre au minimum 21 bits de data.

Question 35 :

- Capacité de transmission :
En SSI24 le format de transmission est de 24bits, en tenant compte du bit de parité et des bits 22 et 23 qui sont à 0. Il y reste bien 21 bits disponibles pour coder une position.
- Résolution du capteur :
La course du capteur étant de 6350 mm, sa résolution est de $r = \frac{6350}{(2^{21}-1)} = 3,02 \cdot 10^{-3}$ mm.
 $r \leq 5 \mu\text{m}$ donc la résolution du capteur est valide.
- Principe et intérêt du bit de parité :
Le bit de parité (paire ou impaire) permet de vérifier la justesse du message en comptant le nombre de bits à 1 et en indiquant par un 0 (ou un 1) si ce nombre est pair ou impair. Il s'agit d'une méthode de vérification de message transmis en détectant une éventuelle erreur de transmission durant la communication.

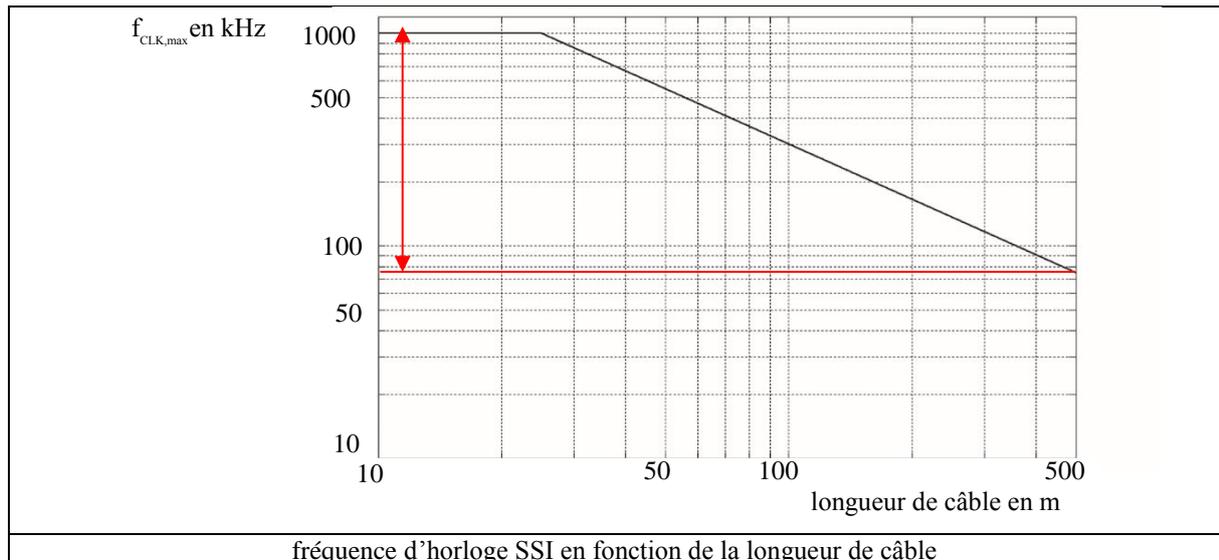
Question 36 :



Dans le pire des cas on a : $f_{A,max} > 150$ Hz soit $T_{A,min} > 0,006$ s donc $T_{A,min} > 0,016$ s.

Le comportement synchrone est validé.

Question 37 :



Dans le pire des cas $75 \text{ kHz} < f_{\text{CLK,max}} < 1000 \text{ kHz}$ donc $0,001 \text{ ms} < T_{\text{CLK,max}} < 0,013 \text{ ms}$.

Or, pour une transmission complète des données, il faut

$$24T_{\text{CLK,max}} + 2T_{\text{CLK,max}} = 26 \times 0,013 \cdot 10^{-3} = 0,347 \text{ ms}$$

Cette durée est suffisante pour assurer la transmission et le traitement des données avant la fin d'une période d'échantillonnage ($T_{\text{A,min}} = 0,006 \text{ s}$).

Les exigences de fonctionnement (synchrone), de résolution ($r \leq 5 \mu\text{m}$), de durée de transmission ($T_{\text{A,min}} > 24T_{\text{CLK,max}}$) et de course (course capteur > course vérin) sont validées.

Question 38 :

Position à coder : position initiale + 6 = 200 + 6 = 206 mm.

Avec une résolution de 5 μm , il faut coder

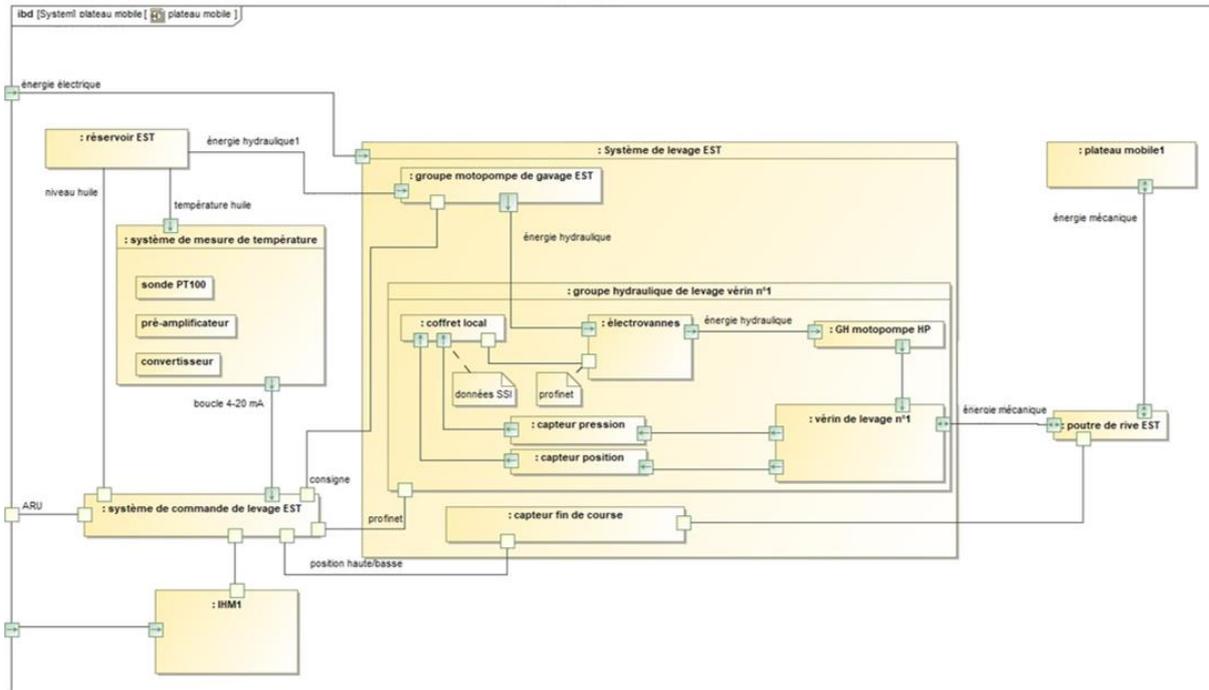
$$(41200)_{10} = (1010000011110000)_2 = (1111000010001000)_{\text{gray}}$$

La trame transmise par le capteur d'un vérin à la limite du passage de la commande de 50 % à 0 % doit être : 000001111000010001000.

Synthèse phase de levage

Question 39 :

Le diagramme des blocs internes partiel est le suivant :



Question 40 :

L'effort total supporté par le chariot rouleur le plus chargé en mode nominal est : $228,6 \cdot 10^4 + 58,1 \cdot 10^4 \times 4 = 461,10 \text{ N}$.

Conclusion : les bras ne peuvent pas supporter cette charge au regard du cahier des charges. Il est nécessaire de mettre en place un dispositif qui répartit les surcharges sur l'ensemble des bras de façon équitable.

Question 41 :

L'équation de continuité pour les 2 chambres, dans le cas où le fluide est compressible, est :

$$Q_1 = S \frac{dz(t)}{dt} + \frac{V_1}{\beta} \frac{dP_1(t)}{dt} \quad \text{et} \quad Q_2 = S \frac{dz(t)}{dt} - \frac{V_2}{\beta} \frac{dP_2(t)}{dt}$$

En appliquant le théorème de la résultante dynamique appliqué à la tige du vérin en projection selon \vec{z} , on trouve :

$$-m \frac{d^2z(t)}{dt^2} = -S \cdot P_1(t) + S \cdot P_2(t) + F_z(t) + f_v \frac{dz(t)}{dt}$$

Dans le domaine de Laplace :

$$Q_1(p) = S \cdot p \cdot Z(p) + \frac{V_1}{\beta} \cdot p \cdot P_1(p) \quad \text{et} \quad Q_2(p) = S \cdot p \cdot Z(p) - \frac{V_2}{\beta} \cdot p \cdot P_2(p)$$

En exprimant les deux pressions $P_i(p)$, et en remplaçant dans l'expression du théorème de la résultante :

$$[mp^2 + f_v p] \cdot Z(p) = S \cdot \frac{\beta}{V_1 p} [Q_1(p) - S p Z(p)] - S \cdot \frac{\beta}{V_2 p} [-Q_2(p) + S p \cdot Z(p)] + F_z(p)$$

L'expression peut se factoriser sous la forme :

$$Z(p) \left[mp^2 + f_v p + \beta S^2 \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} \right] - F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[\frac{V_2 Q_1(p) + V_1 Q_2(p)}{V_1 V_2} \right]$$

Question 42 :

Par simplification de l'expression précédente :

$$Z(p) \left[mp^2 + f_v p + \frac{2\beta S^2}{V_0} \right] - F_z(p) = \frac{\beta S}{p} \left[\frac{2Q(p)}{V_0} \right] \quad (1)$$

La fonction de transfert est de la forme : $Z(p) = H_1(p)Q(p) + H_2(p)F_z(p)$

$$Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$$

Question 43 :

L'expression de $Z(p)$ étant donné, $Z(p) = \frac{2\beta S}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} Q(p) + \frac{V_0 p}{p(2\beta S^2 + V_0 p(mp + f_v))} F_z(p)$

En utilisant le principe de superposition :

$$Z(p) = \frac{2\beta \cdot S_{eq} \cdot Q(p) - V_0 \cdot p \cdot F_z(p)}{p \cdot (2\beta S_{eq}^2 + V_0 \cdot p \cdot (mp + f_v))} \quad \text{et par identification} \quad G(p) = \frac{1}{p \cdot (mp + f_v)}$$

Question 44 :

Le temps de levage est $\frac{L}{V} = \frac{63}{1,08} = 58,3$ min, soit 0,04 jour, ce qui est inférieur à l'exigence 0,07 jour.

Question 45 :

D'après le DT4, la course du levage est 5700 mm et la vitesse de levage est 70 mm·min⁻¹.

Le temps de levage est 5700/70=81,4 min soit une durée arrondie à 90 min.

D'après la partie 5, le transfert complet du plateau mobile sur 63 m se déroule en cycles successifs de 0,9 m. Chaque cycle a une durée de 50 secondes et il n'y a aucun délai entre deux cycles successifs.

Le temps de translation est (63/0,9)×50=3500 s=58,3 min soit environ 60 min.

Question 46 :

D'après diagramme de Gantt simplifié :

- la durée de la phase 2 est de 2 h, car la fin du levage correspond à la fin des 2 h de mise en place des chariots rouleurs ;
- la durée de la phase 4 est 1+1=2 h, soient 1 h de translation et 1h de sécurisation ;
- la durée totale est la durée des phases moins les chevauchements de phases.

Or les phases 1 et 2 se chevauchent de 0,5 h et les phases 4 et 5 se chevauchent de 1 h.

La durée totale de changement de configuration vaut donc 3+2+6,5+2+4-0,5-1=16 h. Elle est bien inférieure à l'exigence de 24 h.

Vue la durée d'un changement de configuration (48 h pour ouverture et fermeture), et sa logistique (matériel et coût), cette opération est réalisée pour des événements exceptionnels.

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

Arrêté du 28 décembre 2009 et 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 est disponible en téléchargement sur le site du ministère à l'adresse :

http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/agregation_externer/87/4/s2019_agreg_externer_sii_1_1093874.pdf

Il s'appuie sur le changement de configuration du stade Pierre Mauroy de Lille de stade de sport en salle de spectacle. Cet ouvrage a la particularité de posséder une toiture mobile et une arène sous la pelouse.



Le sujet s'intéresse seulement au passage de stade à salle de spectacle qui passe par une étape de levage d'une demi-pelouse de 4500 tonnes par le biais de 12 vérins puis une étape de translation de ce plateau de façon à l'empiler sur l'autre demi-pelouse au moyen d'unités de translation à pas de pèlerin.

L'objectif général est la vérification de divers points de dimensionnement du système pour les phases de levage et de translation afin de valider une exigence relative à la durée de changement de configuration. Il en découle 4 parties permettant d'aborder chacune des exigences permettant en fin de sujet, lors d'un exercice de synthèse, de conclure quant à la validité de la durée d'un changement de configuration.

- L'étude de la structure du plateau mobile permet de valider des exigences liées à la résistance à la rupture pendant la phase de levage.
- L'étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage amène à valider une exigence relative à l'interface homme-machine durant un changement de configuration.
- L'étude du levage du plateau mobile se conclut par la validation d'exigences de dimensionnement et de pilotage du système de levage.
- L'étude de la phase de translation consiste en la détermination d'un modèle d'asservissement en position du système hydraulique lors de la translation du plateau.
- La synthèse générale prend en compte les durées de chacune des phases d'un changement de configuration étudiées précédemment pour conclure sur l'exigence de sa durée.

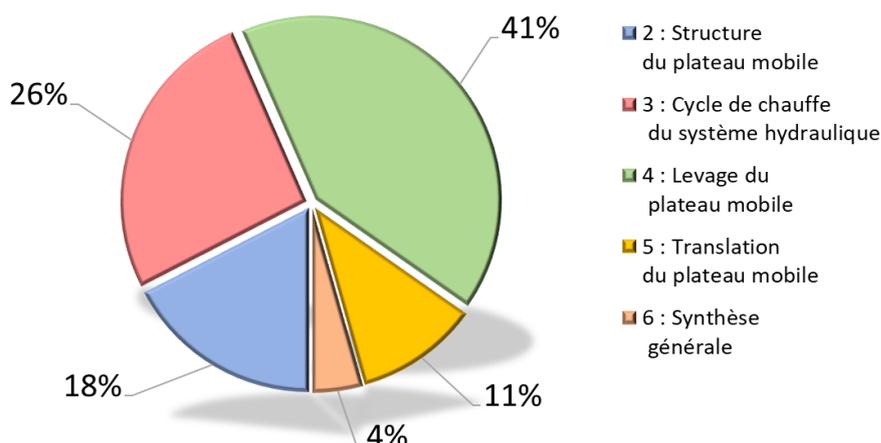
2. Analyse globale des résultats

Quelle que soit l'option, réussir cette épreuve demande :

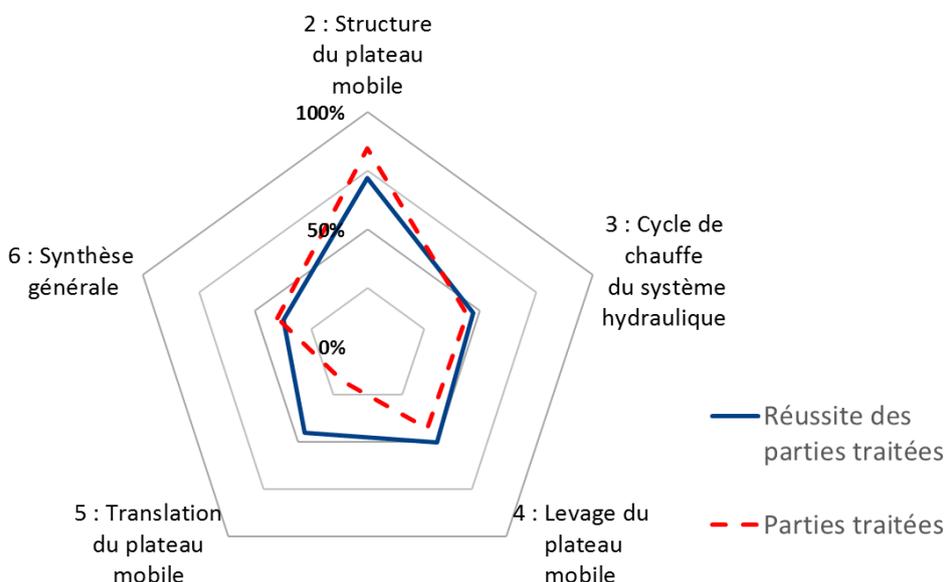
- de s'approprier en un temps limité un sujet technique pluridisciplinaire décrit avec les outils de modélisation de l'ingénierie système ;
- de maîtriser les modèles de connaissance des différents domaines d'étude de l'ingénierie ;
- d'analyser et d'interpréter des résultats d'étude, afin de formuler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

Afin de mieux cibler l'analyse, un découpage selon différentes thématiques est proposé, fidèle à la structuration du sujet en grande majorité, dont la répartition associée au questionnement et les résultats correspondants sont donnés.

Volume des parties en % des questions



Découpage du sujet par thématiques



Résultats de l'option IC par thématiques

L'analyse globale des résultats amène aux constats suivants :

Globalement, les candidats ont eu des difficultés à faire preuve de transversalité et se sont trop souvent concentrés sur les parties abordant leur spécialité en restant dans leur « zone de confort ». Pour exemple, la première partie, à dominante IC, a été traitée pratiquement par 85% des candidats.

Pourtant, la difficulté des questions dans chaque partie était suffisamment progressive pour permettre d'identifier les candidats les plus performants dans les différents domaines abordés.

Le jury constate que le profil des candidats tend à s'équilibrer sur les différents domaines de connaissances des sciences de l'ingénieur et incite les futurs candidats à poursuivre dans ce sens pour une meilleure réussite.

- L'étude de la structure du plateau mobile demandait des compétences de base dans le domaine de la mécanique et de la résistance des matériaux. Cette partie qui débutait le sujet a été traitée par près de 85% des candidats avec un taux de réussite proche de 72%.
- L'étude du cycle de chauffe du système hydraulique a été traitée par 44% des candidats avec une réussite proche des 47%. Le jury note cette relative réussite en informatique industrielle avec intérêt et encourage les futurs candidats à poursuivre dans plus de transversalité encore.

- La quatrième partie représentait plus d'un tiers du questionnement du sujet abordant des domaines divers. 43% des candidats ont traité cette partie avec une bonne réussite, mais le jury remarque que pour chaque sous-partie seules les premières questions ont été abordées, en dehors de la sous-partie qui concernait la résistance des matériaux.
- L'étude de la phase de translation arrivant en fin de sujet n'a été abordée que par à peine 20% des candidats. Cette partie, centrée sur des compétences de modélisation a été réussie par la moitié d'entre eux. Le jury note que les candidats ont, d'une manière générale, peu justifié leurs réponses, ne développant que très peu leur raisonnement.
- La synthèse générale, comme pour les synthèses des différentes parties, sont rarement traitées avec réussite. Le jury rappelle qu'il s'agit pour cet exercice d'être en capacité de prendre du recul par rapport aux réponses apportées et de se placer dans la logique du sujet.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Étude de la structure du plateau (Q1 à Q8) – Partie traitée par 85% des candidats

Détermination des efforts dans les barres du treillis (Q1 à Q3) :

Une solution souvent utilisée par les candidats était d'évaluer le poids total de la poutre principale PP12, le poids total du plateau entre la rive et le milieu des fils PP11 et PP12 et de diviser par le nombre de nœuds. Cette méthode donne un résultat approché approximatif, mais pas assez précis. La méthode des surfaces d'influence, sur chaque nœud, était celle attendue. Des candidats n'ont pas pris en compte le modèle isostatique et la symétrie de géométrie et de chargement ne permettant pas une résolution correcte. De même le choix de la section du treillis à isoler a rarement été optimisé, amenant de nombreuses erreurs de calcul analytiques. Le jury rappelle que, quel que soit le domaine, les formules et méthodes de résolution doivent être connues et maîtrisées.

Contrôle des choix de prédimensionnement (Q4 et Q5) :

Il s'agissait ici de ne pas confondre limite élastique et limite à la rupture, erreur rencontrée souvent, et de mentionner le phénomène de flambement, caractéristique de la situation étudiée.

Simulation et analyse des à l'aide d'un modèle aux éléments finis (Q6 à Q8) :

Cette analyse de simulation a particulièrement été réussie pour l'ensemble des candidats qui se sont lancés dans cette étude puisqu'il s'agissait d'une simple application numérique et d'une comparaison de valeur, même si les justifications proposées étaient souvent uniquement qualitatives. Par ailleurs, le jury rappelle que la question de synthèse de partie impose de la part du candidat une prise de recul face à la problématique énoncée en début de partie, un rappel des résultats importants, et une réflexion étayée par les résultats de son étude.

Étude du cycle de chauffe du fluide du système hydraulique de levage (Q9 à Q20) - Partie traitée par 44% des candidats

Étude du cycle de chauffe au sein du cycle de levage (Q9 à Q15) :

Cette partie a été traitée par une petite moitié des candidats avec une réussite mitigée, mais encourageante. Le jury fait remarquer que les candidats ont parfois oublié de tenir compte d'un des trajets (aller ou retour) et que peu d'entre eux ont fait référence à la notion d'estimation du débit qui était indiquée dans l'énoncé pour expliquer l'écart calculé. Il est conseillé aux candidats de régulièrement revenir sur les énoncés avant de conclure.

Pour l'écriture de l'algorithme, certains se sont souvent limités aux seules variables issues de l'IHM, oubliant particulièrement celles provenant de la documentation technique (EV_RD, EV_SA, EV_N...)

Quand ils étaient proposés, les algorithmes attendus avaient des formalismes divers. Le jury souligne que la compréhension est facilitée quand les réponses utilisent des normes d'écriture. Des erreurs ont été commises par l'absence de distinction entre les entrées et les sorties. Ces notions de base doivent être pleinement maîtrisées par les candidats.

Étude du capteur de température et de la transmission de données (Q16 à Q20) :

Ces questions ont été globalement peu traitées. Cette partie demandait des compétences de base dans le domaine de l'ingénierie électrique. Le jury déplore cet état de fait qui démontre des connaissances et compétences de niveau limité, voire parcellaire, dans ce domaine.

Il est rappelé que les conclusions sont nécessaires pour le déroulement d'un raisonnement efficace.

Pour synthèse de cette partie, les candidats ont su faire référence à leur culture technologique personnelle en parlant par exemple de l'immunité aux bruits de la solution proposée, mais ils ont rarement fait le lien avec les conditions permanentes de fonctionnement du cycle de chauffe, à savoir la détection du défaut capteur exigée. Le jury insiste sur l'importance du travail de synthèse qui illustre la hauteur prise par les candidats face aux problématiques posées.

Étude du levage du plateau mobile (Q21 à Q39) - Partie traitée par 43% des candidats

Dimensionnement du système hydraulique de levage (Q21 à Q24) :

Le jury note le peu de réussite sur cette partie.

Les candidats ont parfois été déstabilisés par le fait que la référence du fluide n'apparaissait pas sur les courbes du DT5. Cependant, le graphe permettait aisément de déterminer des intervalles de valeurs de viscosité dynamique pour chacune des températures et de conclure.

Rares sont les candidats à avoir utilisé le formulaire de mécanique des fluides. Le jury rappelle qu'il s'agit d'une épreuve transversale intégrant par définition de nombreux domaines que les candidats sont amenés à pratiquer et que la mécanique des fluides en fait partie.

Validation mécanique d'un choix de vérin (Q25 à Q29) :

La première question, qui était basée sur une lecture de tableau, a été réussie. La détermination de l'expression littérale de $M_z(x)$, surtout entre B et C, a posé le plus de problèmes aux candidats. Les conventions utilisées ont très peu été précisées. Les candidats connaissant une méthode graphique de résolution (par « intégration de surface ») ont gagné du temps.

Le jury regrette que certains candidats n'aient pas lu correctement la question et aient cherché à démontrer l'expression de la flèche. Peu de candidats ont détaillé l'utilisation des conditions limites.

Validation de la pression de fonctionnement du groupe motopompe haute pression de levage (Q30) :

Les candidats qui ont traité la question ont eu du mal à trouver la surface de répartition de l'effort de levage, soit par mauvaise lecture du diamètre d'alésage, soit en considérant que la surface n'était pas un disque. Il est regrettable que les formules de base de composants classiques ne soient pas maîtrisées à ce niveau de concours.

Validation du choix du transformateur HT/BT du poste énergie levage (Q31 et Q32) :

Les questions ont été trop peu traitées. Le jury note que les notions de base sur les puissances actives, réactives et apparentes restent méconnues.

Étude de la synchronisation en position des vérins en phase de levage (Q33) :

La maîtrise du formalisme SysMI est exigée. Les candidats ayant répondu à cette question l'ont généralement correctement traitée.

Étude de l'acquisition de la position des vérins (Q34 à Q38) :

Cette étude classique d'un capteur a été peu traitée par la majorité des candidats.

Les candidats ont souvent confondu la course du plateau (5700mm) avec la course du capteur (6350mm) ou ont oublié la prise en compte de la résolution pour valider le capteur. Les explications données par les candidats sur le bit de parité ont manqué de clarté.

La question centrée sur la trame à coder a posé problème aux candidats : la position initiale a souvent été erronée, il en découlait une position à coder fautive.

Synthèse (Q39) :

Les réponses des candidats montrent à nouveau une méconnaissance du formalisme SysML, mais aussi des confusions plus graves sur la notion de nature de flux.

Étude de la phase de translation (Q40 à Q44) - Partie traitée par 18% des candidats

Cette partie, très peu traitée, a posé des difficultés aux candidats qui s'y sont tentés, la réussite est assez faible.

Certes, il s'agissait de la fin du sujet, mais les notions de fonction de transfert et le domaine de Laplace sont clairement non maîtrisés ce qui est inquiétant par rapport aux attentes du concours.

Peu de candidats ont conclu au regard du cahier des charges.

Synthèse générale (Q45 et Q46 - Partie traitée par 40% des candidats)

Il est regrettable de rappeler « qu'arrondir ces valeurs à 10 min près supérieures », ne veut pas dire « ajouter 10 min au résultat ». Des erreurs d'arrondis et de chevauchement de phases sont à noter. Le jury encourage aussi les candidats à fournir des justifications appuyées vis-à-vis des exigences à valider.

4. Conseils aux futurs candidats

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

Comme indiqué dans l'ensemble des commentaires, les candidats doivent préparer cette épreuve sans laisser de domaines des sciences de l'ingénieur non maîtrisés. Le caractère transversal de cette épreuve est une réelle difficulté à laquelle les candidats doivent se préparer dans la perspective d'une bonne préparation à leur futur métier.

Le jury signale que les copies des candidats doivent être lisibles tant au niveau de l'écriture que de la présentation des réponses qui deviennent extrêmement confuses souvent. Il n'est pas inutile de rappeler qu'il est attendu d'un fonctionnaire de l'Etat qu'il maîtrise convenablement la langue française et veille à construire ses phrases dans le respect de la sémantique. La rigueur d'un raisonnement ne peut se faire sans rigueur dans sa présentation. Toute réponse doit être justifiée par des éléments du sujet, des références à des résultats précédents dans une langue française construite et donc compréhensible.

Le jury apprécie lorsque les relations littérales sont données avant le passage à l'application numérique et lorsque des analyses pertinentes des résultats sont faites, plus particulièrement lorsque les valeurs numériques données sont physiquement aberrantes.

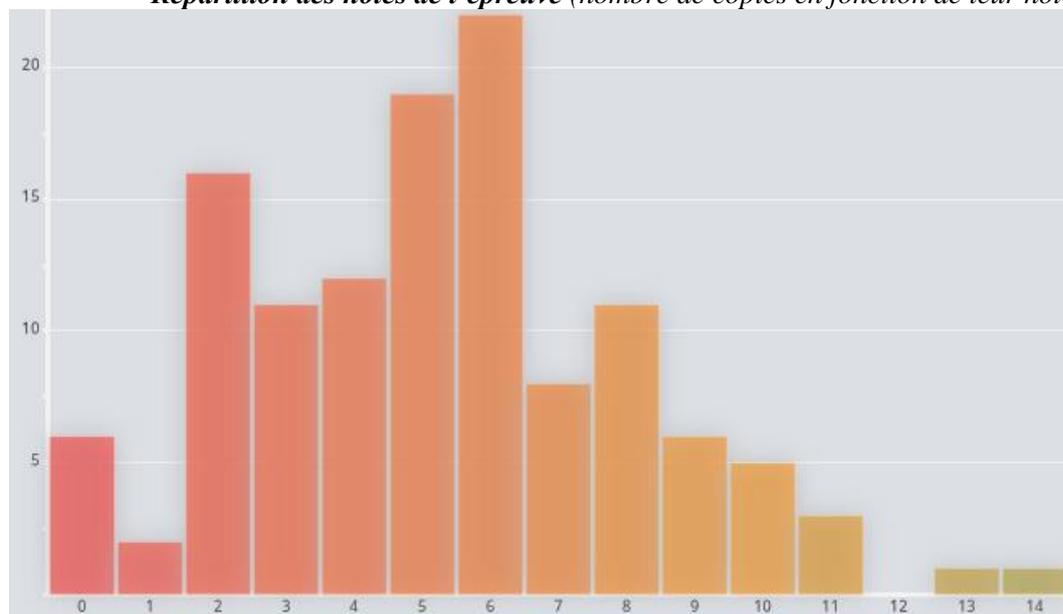
Le jury encourage fortement les candidats à aborder toutes les parties du sujet. Les résultats démontrent que les candidats qui n'évoluent pas vers une approche transversale ne réussissent pas cette épreuve, car forcément la note finale est fortement limitée. Par conséquent, le jury conseille aux futurs candidats de s'investir sérieusement dans toutes les parties du programme du concours.

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

5. Résultats

123 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 5,8/20, avec un écart-type de 2,86. La meilleure note est 14,43, la plus faible est 0,42/20.

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

Question 1 :

Convection air ambiant ; Condensation – solidification vapeur d'eau ; Rayonnement entre les parois ; Influence patineurs (mouvement d'air, frottement des patins sur la glace,...) ; Entretien, surfaçage ; Eclairage artificiel ; Apports solaires directs.

Question 2 :

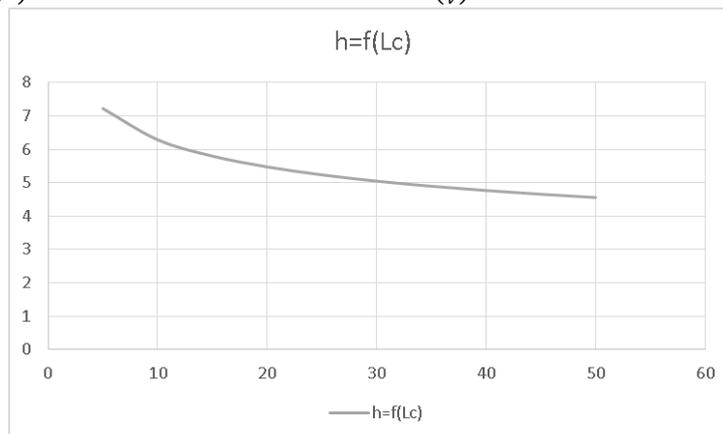
La convection est le transfert de chaleur dû à l'écoulement d'un fluide sur une surface. En convection forcée l'écoulement du fluide (ici l'air au-dessus de la patinoire) est dû à des facteurs autres que la différence de température entre la surface et le fluide. Ici les facteurs qui peuvent expliquer le déplacement de l'air sont multiples : influence des patineurs, patinoire ouverte ou présence de vent.

Contrairement aux cas d'école, l'air ne se déplacera pas de manière homogène et continue sur toute la surface de la patinoire mais la présence de patineurs notamment va créer des turbulences. La présence des rambardes le long de la patinoire rend difficile l'estimation de l'écoulement de l'air dû au vent...

Question 3 :

En annexe on trouve la corrélation suivante :

$$h_{conv} = \frac{\lambda}{L_c} \cdot 0,035 \cdot \left(\frac{U \cdot L_c}{\nu}\right)^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \quad h_{conv} = 0,035 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{U}{\nu}\right)^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \cdot L_c^{-1/5}$$



La courbe ci-dessus montre l'évolution du coefficient d'échange convectif en fonction de la longueur caractéristique. Pour une longueur comprise entre 5 et 20m, le coefficient d'échange convectif varie peu, il est proche de $h_{conv} = 6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

$$\varphi_{cv} = h_{conv} \cdot (T_I - T_G) = 102 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Question 4 :

La température de surface de la glace est inférieure à la température de rosée de l'air intérieur (voir diagramme de l'air humide).

La vapeur d'eau contenue dans l'air va se condenser sur la surface de la glace.

La température de la glace étant inférieure à 0°C, l'eau condensée va geler.

Ces deux phénomènes de condensation et congélation impliquent des transferts de chaleur.

Question 5 :

Débit surface d'eau condensé : Qm_{cond} en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

$$\varphi_{cond} = h_{cond} \cdot (T_I - T_G) = \frac{\Phi_{cond}}{S} = Qm_{cond} \cdot (L_v + L_f)$$

$$h_{cond} = Qm_{cond} \cdot \frac{(L_v + L_f)}{(T_I - T_G)} \quad \text{et} \quad Qm_{cond} = \frac{h_{conv}}{c_{p\text{air}}} \cdot (x_I - x_{satG})$$

$$h_{cond} = \frac{h_{conv}}{c_{p\text{air}}} \cdot (x_I - x_{satG}) \cdot \frac{(L_v + L_f)}{(T_I - T_G)}$$

Etant donné que la teneur en humidité de l'air est faible on peut considérer : $h_l = Cp_{air} \cdot T$.
 $Cp_{air} \cdot (T_l - T_G) = (h_l - h_{sG})$

$$h_{cond} = h_{conv} \cdot \frac{(x_l - x_{satG}) \cdot (L_v + L_f)}{(h_l - h_{sG})}$$

Question 6 :

Sur le diagramme de l'air humide on trouve :

Air saturé à $T_G = -5 \text{ °C}$: $\varphi_G = 100 \%$ $x_{satG} = 2,4 \text{ g}_{vap} \cdot \text{kg}_{air}^{-1}$ $h_{sG} = 2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{air}^{-1}$
 Air ambiant à $T_l = 12 \text{ °C}$; $\varphi_l = 50 \%$ $x_l = 4,4 \text{ g}_{vap} \cdot \text{kg}_{air}^{-1}$ $h_l = 23 \text{ kJ} \cdot \text{kg}_{air}^{-1}$
 $h_{cond} = 3,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$
 $\varphi_{cv} = h_{conv} \cdot (T_l - T_G) = 70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Question 7 :

La surface 1 correspond à la surface glacée, sa température et son émissivité correspondent aux caractéristiques de surface de la glace. La forme de la patinoire est très proche d'un rectangle, la surface supplémentaire dans les angles est négligeable.

La surface 2 correspond à toutes les surfaces en vis-à-vis de la glace ce qui comprend les rambardes latérales, les gradins et la toiture. On pourrait montrer par le calcul des facteurs de forme que c'est la toiture qui joue un rôle prépondérant dans le transfert radiatif. On considère la toiture ouverte à la température ambiante.

Question 8 :

Le facteur de forme $F_{12} = 1$ La surface $S_1 = 1456 \text{ m}^2$

$$\varphi_{12net} = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + F_{12}} = 32,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad h_{r-12} = 1,92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Question 9 :

Pour exprimer le flux radiatif en fonction de la différence de température il faut linéariser la différence de température $T_j^4 - T_i^4$.

$$T_j^4 - T_i^4 = (T_j^2 + T_i^2) \cdot (T_j + T_i) \cdot (T_j - T_i)$$

$$h_{r-ij} = \frac{\sigma \cdot (T_j^2 + T_i^2) \cdot (T_j + T_i)}{\frac{(1 - \varepsilon_i) \cdot F_{ij} + \varepsilon_i}{\varepsilon_i \cdot F_{ij}}} = \frac{\sigma \cdot (T_j^2 + T_i^2) \cdot (T_j + T_i)}{(1 - \varepsilon_i) \cdot F_{ij} + \varepsilon_i} \cdot \varepsilon_i \cdot F_{ij}$$

Lorsque $F_{ij} \sim 1$ le dénominateur $(1 - \varepsilon_i) \cdot F_{ij} + \varepsilon_i \sim 1$

Lorsque $T_j \sim T_i \sim T_0 = 273 \text{ K}$ alors $(T_j^2 + T_i^2) \cdot (T_j + T_i) \sim 4 \cdot T_0^3$
 $h_{r-ij} \sim 4\sigma \cdot T_0^3 \cdot \varepsilon_i \cdot F_{ij} \sim 4,6 \cdot \varepsilon_i \cdot F_{ij}$

Question 10 :

Le revêtement basse émissivité a un rôle sur le flux radiatif émis par la surface. La température de la surface 2 est toujours la même mais, par son état de surface, elle émet moins de rayonnement vers la surface glacée.

$$\varphi_{12net} = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + F_{12}} = 12,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Question 11 :

On connaît le flux de chaleur descendant qui traverse la glace et la partie supérieure de la dalle par conduction. On peut en déduire la température qui doit être maintenue au niveau de la nappe de tubes :

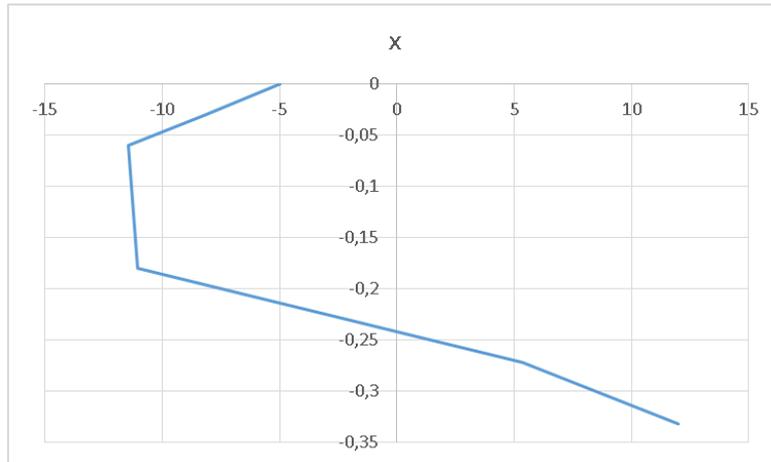
$$\varphi_{sup} = \frac{(T_G - T_{tubes})}{\frac{e_G}{\lambda_G} + \frac{e_{Dsup}}{\lambda_D}} = 220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad T_{tubes} = T_G - \varphi_{sup} \cdot \left(\frac{e_G}{\lambda_G} + \frac{e_{Dsup}}{\lambda_D} \right) = -11,4 \text{ °C}$$

Question 12 :

On considère que la température du sol sous la patinoire est égale à la température extérieure : $T_s = T_{ext} = 12 \text{ °C}$

$$\varphi_{inf} = 0,03 \cdot \varphi_{sup} = 6,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \varphi_{inf} = \frac{(T_s - T_{tubes})}{\frac{e_{DP}}{\lambda_{DP}} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + \frac{e_{Dinf}}{\lambda_D}}$$

$$e_{isol} = \lambda_{isol} \cdot \left(\frac{(T_s - T_{tubes})}{\varphi_{inf}} - \frac{e_{DP}}{\lambda_{DP}} - \frac{e_{Dinf}}{\lambda_D} \right) = 9,2 \text{ cm}$$



Question 13 :

L'eau va passer de l'état liquide à 12°C à l'état solide à -5°C.

L'eau liquide va voir sa température baisser jusqu'à 0°C (Energie E_1).

L'eau va passer à l'état solide à 0°C (Energie E_2).

La glace va voir sa température de surface passer à -5°C (Energie E_3).

$$E_2 \gg E_1 + E_3$$

Pendant le refroidissement la surface de la glace sera en moyenne à 0°C.

Question 14 :

Pour déterminer le temps de mise en régime il faut réaliser un bilan thermique instationnaire du plancher de la patinoire (glace + dalles). Le bilan peut être effectué en flux surfacique :

$$\sum \varphi_i = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (W \cdot m^{-2})$$

Avec φ_i les flux entrants et flux sortant du système. On les considère constants durant tout le refroidissement :

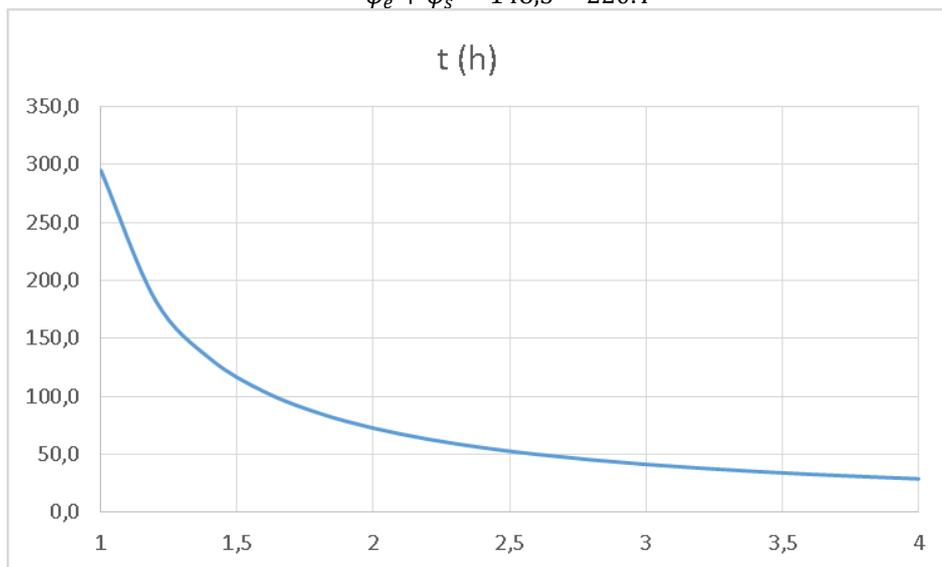
Flux entrants φ_e : $\varphi_{sup} = h_{tot} \cdot (T_1 - T_{Gmoy})$ $\varphi_{inf} = 0,03 \cdot \varphi_{sup}$ $\varphi_e = 148,3 W \cdot m^{-2}$

Flux sortant φ_s : $\varphi_s = \varphi_{inst} = F \cdot \varphi_{stat} = -220 \cdot F$

ΔE correspond à l'énergie perdue par le plancher par son refroidissement et le passage de l'eau liquide à l'état solide.

$$\Delta E = \sum \rho_j \cdot Cp_j \cdot e_j (T_{finj} - T_{init}) - \rho_{glace} \cdot e_{glace} \cdot L_c = -76,4 MJ \cdot m^{-2}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{\varphi_e + \varphi_s} = \frac{-76,4 \cdot 10^6}{148,3 - 220 \cdot F}$$



Question 15 :

$$P_F = \rho_{EG} \cdot Qv_{EG} \cdot Cp_{EG} \cdot (T_{retour} - T_{aller})$$

$$Qv_{EG} = \frac{P_F}{\rho_{EG} \cdot Cp_{EG} \cdot (T_{retour} - T_{aller})} = 127,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Les propriétés de l'eau glycolées se trouvent dans l'annexe à la température de -10°C.

Question 16 :

Bernoulli entre B et C :

$$P_B + \frac{1}{2} \rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B + W_p = P_C + \frac{1}{2} \rho \cdot v_C^2 + \rho \cdot g \cdot z_C \quad W_p = P_C - P_B$$

Bernoulli entre C et B :

$$P_C = P_B + \Delta P_{réseau} \quad P_C - P_B = \Delta P_{réseau} = \Delta P_{CD} + \Delta P_{DE} + \Delta P_{EF} + \Delta P_{FA} + \Delta P_{AB}$$

Dans un réseau fermé le travail fourni par la pompe permet de compenser les pertes de charge du réseau :

$$W_p = \Delta P_{CD} + \Delta P_{DE} + \Delta P_{EF} + \Delta P_{FA} + \Delta P_{AB}$$

Question 17 :

Les pertes de charge sont proportionnelles au débit au carré : $\Delta P_{évap} = K \cdot Qv^2$

Le débit étant plus grand les pertes de charge seront plus importantes :

$$\Delta P_{FA} = \Delta P_{évapN} = \Delta P_{évap} \cdot \frac{Qv_N^2}{Qv^2} = 89,1 \text{ kPa}$$

Question 18 :

$$\Delta P_{DE} = \Delta P_{épingle} + \Delta P_{coll.+dist.} = 133 \text{ kPa}$$

Les épingles sont raccordées en boucle de Tickelmann ce qui permet une répartition égale des débits dans toutes les épingles.

Question 19 :

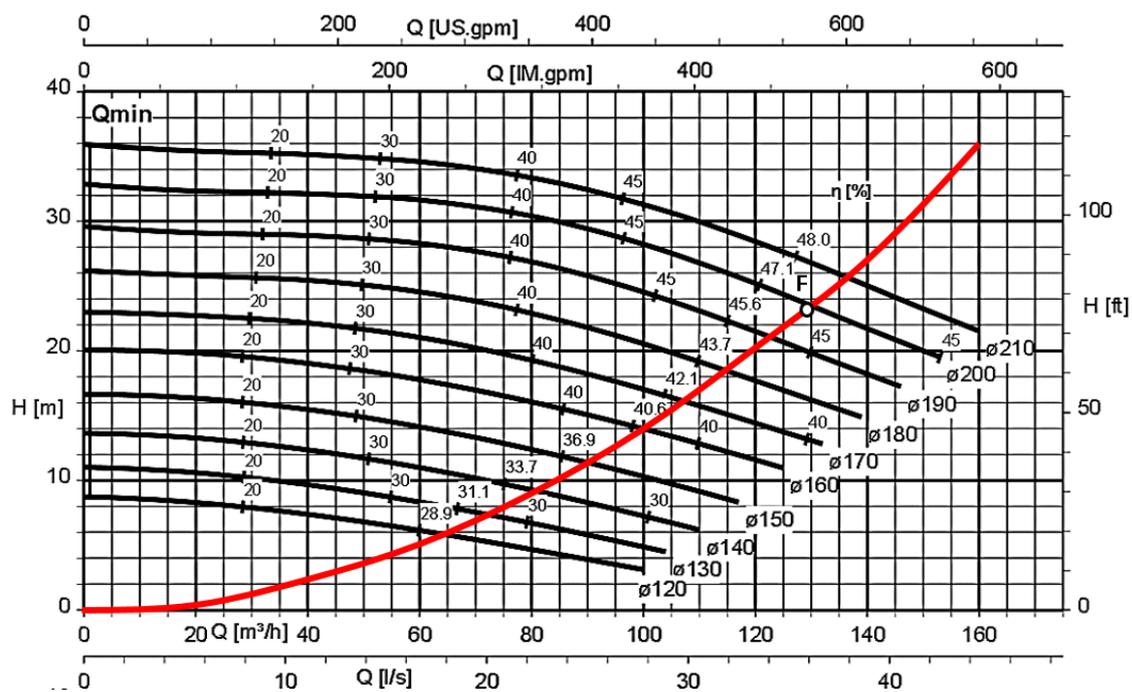
$$v = \frac{Qv}{S} = \frac{4 \cdot Qv}{\pi \cdot D_i^2} = 1,16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

| Tronçon | AB | CD | EF |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Diamètre intérieur D_i mm | 197,3 | 197,3 | 197,3 |
| Longueur tronçon L m | 15 | 22 | 37 |
| Nombre coudes | 3 | 5 | 8 |
| ΔP_{L-tube} Pa | 1105 | 1620 | 2725 |
| ΔP_{S-tube} Pa | 436 | 726 | 1162 |
| ΔP_{tube} kPa | 1,54 | 2,35 | 3,89 |

Question 20 :

$$Z = \frac{\Delta H_{réseau}}{Qv^2} = \frac{\Delta P_{réseau}}{\rho \cdot g \cdot Qv^2} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ h}^2 \cdot \text{m}_{CE} \cdot \text{m}^{-6}$$

Question 21 :



Pour s'approcher du point de fonctionnement il faudra choisir une roue de diamètre 200.

Rendement : $\eta = 45,3\%$

Puissance électrique : $P_{elec} = \frac{\Delta P_{réseau} \cdot Qv}{\eta} = 18 \text{ kW}$

Question 22 :

D'après la réglementation il faut remplir 2 conditions pour être éligible à la substitution de gaz : $PRG > 2500$
et $m > 40 t_{EQCO_2}$

$PRG507 = 3980 > 2500$

$m_{EQ} = 398,5 t_{EQCO_2} > 40 t_{EQCO_2}$

L'installation sera impactée par la réglementation.

Question 23 :

Substitution avec du R442a : $m_{EQ} = 188,8 t_{EQCO_2}$

Les compresseurs seront soumis à des sollicitations plus importantes susceptibles de provoquer une usure accrue et une réduction de la durée de vie.

Des problèmes de retour d'huile peuvent survenir après le passage au fluide frigorigène de substitution, il est recommandé de passer à une huile polyolester adaptée.

Lors de la conversion il est préconisé de remplacer le filtre déshydrateur.

Il est recommandé de remplacer tous les joints élastomères qui jouent un rôle prépondérant pour le fonctionnement de l'installation.

Question 24 :

| | 1 | 2is | 2R | 3 | 4 |
|--|-------|--------|--------|------|-----|
| Pression [bar] | 3,2 | 18,8 | 18,8 | 18,8 | 3,2 |
| Température θ [°C] | -10 | 62,8 | 68,6 | 35 | -20 |
| Enthalpie h [kJ/kg] | 362 | 400 | 407 | 245 | 245 |
| Entropie s [kJ/(kg.°C)] | 1,65 | 1,65 | 1,67 | X | X |
| Volume massique de la vapeur v [m³/kg] | 0,064 | 0,0117 | 0,0121 | X | X |
| Titre de vapeur x [%] | X | X | X | X | 38 |

Graphiquement on note les valeurs suivantes :

Surchauffe évaporateur : $SC = T_1 - T_{évap} = 10^\circ C$

Sous-refroidissement : $SC = T_{cond} - T_3 = 5^\circ C$
 $Qm_{FF} = \frac{P_F}{\Delta h_{41}} = 5,564 \text{ kg} \cdot s^{-1}$

Question 25 :

$Qv_{FF1} = Qm_{FF} \cdot v_1 = 1282 \text{ m}^3 \cdot h^{-1}$ $Qv_{balayé} = nb. C. N. 60 = 1605 \text{ m}^3 \cdot h^{-1}$
 $\eta_i \sim \eta_{V\text{compresseur}} = \frac{Qv_{FF1}}{Qv_{balayé}} = 79,9\%$

Question 26 :

$P_{comp. is} = Qm_{FF} \cdot (h_{2is} - h_1) = 211,4 \text{ kW}$
 $P_{comp. elec} = \frac{P_{comp. is}}{\eta_E \cdot \eta_M \cdot \eta_i} = 328,9 \text{ kW}$

Question 27 :

$P_{refroidi} = P_{comp. elec} + Qm_{FF} \cdot (h_1 - h_{2R}) = 83,2 \text{ kW}$

Question 28 :

Sans récupération de chaleur : $COP = \frac{P_F}{P_{comp. elec}} = 1,97$

Avec récupération de chaleur :

La chaleur récupérée représente 10% de la puissance au condenseur :

$P_{recup} = 0,1 \cdot Qm_{FF} \cdot (h_2 - h_3) = 90,1 \text{ kW}$

$COP = \frac{P_F + P_{recup}}{P_{comp. elec}} = 2,25$

Question 29 :

Hyperstaticité externe

Inconnues = $3 * 2 = 6$ inconnues
 Equations = 3
 Hyperstatique de degré $6 - 3 = 3$

Hyperstaticité interne

Nombre de barre b = 13
 Liaisons intérieures : 3 articulations : $3 * 2 = 6$ équations
 6 encastremets : $3 * 6 = 18$ équations

 Nombre d'inconnues : 13 relâchements : $13 * 2 = 26$ inconnues
 15 blocages : $3 * 15 = 45$ inconnues

Degré d'hyperstaticité interne = $(26 + 45) - (13 + 6 + 18) = 8$

Question 30 :

Les cas de charges de vent ascendants et descendants correspondent à des phénomènes de surpression et dépression intérieures rencontrées dans les bâtiments partiellement fermés.

Question 311 :

Les actions du vent sont à prendre en compte dans le cas général.

Pour un ouvrage en béton armé, ayant de plus une faible hauteur (pas de risque de basculement global), les charges de vent peuvent être négligées au regard du poids de la structure.

Dans le cas d'une structure métallique, ces charges de vent deviennent importantes par rapport aux charges permanentes. Dans ce cas, il faudra donc les prendre en compte.

Question 322 :

L'entraxe des portiques est de 6.40m, la charge linéique à appliquer sera donc de :

Action de vent descendant :

$$w_1 = 0.352 * 6.40 \text{ m} = 14.42 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = 0.461 * 6.40 \text{ m} = 2.95 \text{ kN/m}$$

Action de vent ascendant :

$$W_3 = 1.04 * 6.40 \text{ m} = 6.66 \text{ kN/m}$$

Question 333 :

Pour la barre 7 [8 ;5]

$$N(x) = 153.92 \text{ kN}$$

Longueur de la travée zone étudiée = $(45.33+27.33)/13.5 = 5.38\text{m}$

$$V(0) = 27.33 \text{ kN}$$

$$V(5.38) = 45.33 \text{ kN}$$

$$V(x) = -(-27.33+13.5x) = -13.5x+27.33$$

Effort tranchant nul pour : $-13.5x_1 + 27.3 = 0 \rightarrow x_1 = 27.33/13.5 = 2.02\text{m}$

$$M(x) = M_0(x) + M(0).(1-x/5.28) + M(5.38).x/5.38$$

$$M(0) = 0 + (-8.95) .(1-0/5.28) + 92.37.0/5.38 = - 8.95 \text{ kN.m}$$

$$M(5.38) = 0 + (-8.95) .(1-5.38/5.28) + 92.37.5.38/5.38 = 92.37 \text{ kN.m}$$

Moment Max pour $x=2.02\text{m}$

$$M(2.02) = -56.83 \text{ kN.m}$$

Question 344 :

Cette pièce est soumise à de la flexion composée.

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M.v}{I} \text{ avec } I = \frac{b.h^3}{12} = \frac{0.24.0.9^3}{12} = 0.01458 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{-153.92.10^3}{0.24 \times 0.9} - \frac{66.82.10^3 \times 0.45}{10.01458} = 2.77 \text{ MPa}$$

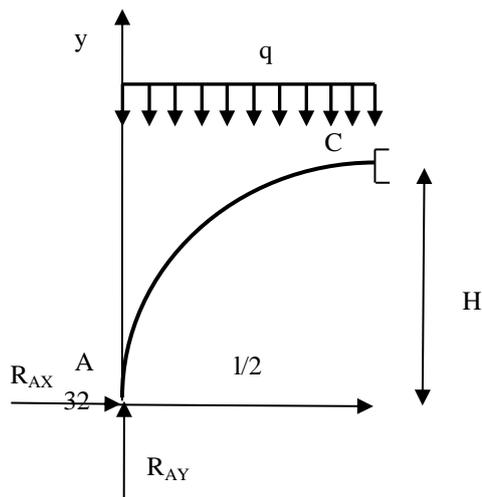
$$\tau = \frac{3.V}{2.S} = \frac{3 \times 92.37.10^3}{2 \times 0.24 * 0.9} = 0.641 \text{ MPa}$$

Question 355 :

Dans une structure en arc, les sollicitations sont essentiellement sous forme d'un effort normal avec une flexion et un effort tranchant nul ou quasi nul (suivant la forme exacte de l'arc). De fait les contraintes dans la structure sont plus faibles pour une section donnée.

Question 366 :

Actions de liaison en A et B.



$$R_{AY} = R_{BY} = \frac{q \cdot l}{2}$$

En $\frac{l}{2}$ on peut écrire $M_{/C} = q \cdot \frac{l^2}{8} - R_{Ay} \cdot \frac{l}{2} + R_{Ax} \cdot H = 0$ car $M=0$ sur la totalité de l'arc.

$$q \cdot \frac{l^2}{8} - \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{l}{2} + R_{Ax} \cdot H = 0$$

$$R_{Ax} = \frac{q \cdot l^2}{4 \cdot H} - q \cdot \frac{l^2}{8 \cdot H}$$

$$R_{Ax} = \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \quad R_{Bx} = -\frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H}$$

Question 377 :

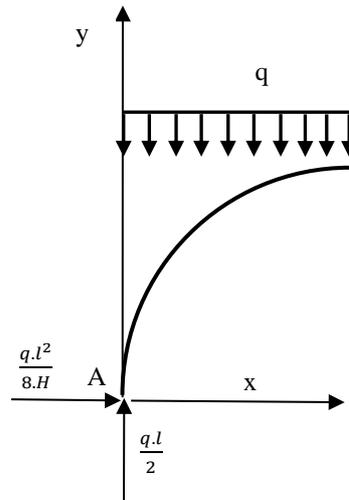
Le moment étant nul en tout point de l'arc :

$$M_{(x)} = -\left[q \cdot \frac{x^2}{2} - R_{Ay} \cdot x + R_{Ax} \cdot y(x) \right] = 0$$

$$-q \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{q \cdot l}{2} \cdot x - \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \cdot y(x) = 0$$

$$-q \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{q \cdot l}{2} \cdot x - \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \cdot y(x) = 0$$

$$y(x) = \frac{4 \cdot H(l \cdot x - x^2)}{l^2}$$

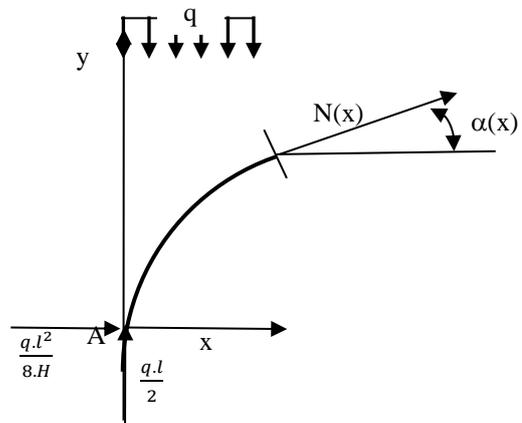


Question 388 :

$$N(x) = -\left[\frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \cos \alpha + \frac{q \cdot l}{2} \sin \alpha - q \cdot x \cdot \sin \alpha \right]$$

$$= -\frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \cos \alpha + q \cdot \left(x - \frac{l}{2} \right) \cdot \sin \alpha$$

$$N(x) = -\frac{q \cdot l^2}{8 \cdot H} \cos \left(\frac{4 \cdot h}{l^2} (l - 2 \cdot x) \right) + q \cdot \left(x - \frac{l}{2} \right) \cdot \sin \left(\frac{4 \cdot h}{l^2} (l - 2 \cdot x) \right)$$



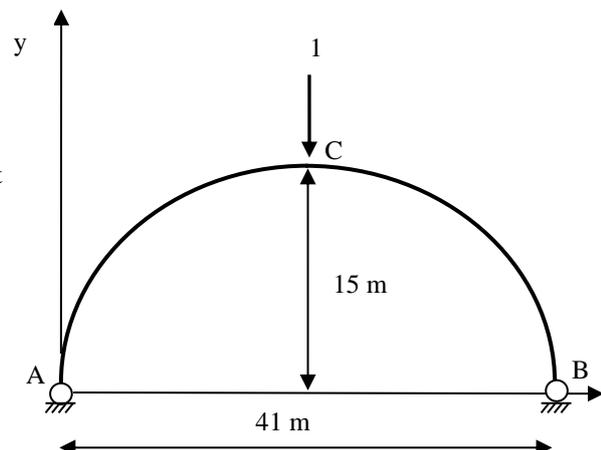
Question 399 :

Il faut utiliser la méthode de la charge fictive au point C.

La structure étudiée initiale est (S_0) .

(\bar{S}) correspond à la structure initiale (S_0) soumise à un facteur sollicitant unité (force unité ou couple unité = 1) appliqué au point C.

Le déplacement au point C peut être calculé avec la formule suivante :



$$v_c = \int_{arc} \frac{N_0 \bar{N}}{E.A} dr + \int_{arc} \frac{V_0 \bar{V}}{G.A} dr + \int_{arc} \frac{M_0 \bar{M}}{E.A} dr$$

$M_0=0$ et l'effet de V est négligeable, il reste uniquement le terme d'effort normal.

Il faut déterminer les équations de N_0 et \bar{N} puis intégrer sur l'arc.

Question 40 :

Notion de court terme : c'est la phase initiale, pendant laquelle le sol est soumis à des sollicitations sans drainage, c'est-à-dire à volume constant (en admettant que le sol est saturé). Les charges appliquées sont reprises en partie par les pressions interstitielles de l'eau.

Court terme est équivalent à un régime non drainé

Notion de long terme : phase finale après établissement du régime hydraulique final. Au fur et à mesure que l'eau s'évacue, le squelette granulaire reprend les charges. Le sol se consolide.

Long terme est équivalent au régime hydraulique final.

Le temps nécessaire pour passer du court terme au long terme dépend essentiellement de la perméabilité du milieu.

Question 41 :

- $F_x = 394$ kN (Horizontal)
- $F_y = 682$ kN (Vertical)
- $M_z = 0$ MN.m
- $\gamma = 18$ kN/m³
- Court terme : $\varphi = \varphi_u = 0^\circ$ / $C_u = 85$ kPa

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{394}{682} \right) = 30^\circ$$

$$N_\gamma = 0$$

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{0}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan 0} = 1$$

$$N_c = 5.14$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{30}{28} \right)^2 = 0.0051$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{2 \times 30}{\pi} \right)^2 = 0.4444$$

$$s_c = 1.2$$

$$s_q = 1$$

$$q_l = 0.44 \times 1.2 \times 85 \times 5.14 + 0.444 \times 1 \times (0 + 16 \times 2) \times 1 = 247.3 \text{ kN/m}^2$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{394^2 + 682^2} = 788 \text{ kN}$$

$$\frac{P}{B^2} \leq \frac{q_l}{2} \Rightarrow B^2 \geq \frac{2.P}{q_l} = \frac{2 \times 788}{247.3} = 6.37 \text{ m}^2 \Rightarrow B \geq 2.53 \text{ m}$$

Question 42 :

- $F_x = 394$ kN (Horizontal)
- $F_y = 682$ kN (Vertical)
- $M_z = 0$ MN.m
- $\gamma = 18$ kN/m³
- Long terme : $\varphi' = 28^\circ$ / $C' = 30$ kPa

$$\begin{aligned} N_\gamma &= 14.59 \\ N_q &= 14.72 \\ N_c &= 25.2 \end{aligned}$$

$$q_t = \frac{1}{2} \times 0.0051 \times 0.7 \times 18 \times 2.53 \times 14.59 + 0.4444 \times 1.5 \times 30 \times 25.8 + 0.444 \times 1.47 \\ \times (0 + 16 \times 2) \times 14.72 = 824.5 \text{ kN/m}^2 \gg 247.7 \text{ kN/m}^2$$

Le comportement à court terme est donc bien plus défavorable que celui à long terme.

Question 43 :

$$m = n = \frac{B}{Z} = \frac{L}{Z} = \frac{1.265}{4} = 0.316 \Rightarrow I = 0.04 \times 4 = 0.16$$

$$\Delta\sigma_z = I \times q = 0.16 \times \left(\frac{682}{2.53^2} - 2 \times 18 \times 1.35 \right) = 9.27 \text{ kPa} \quad (\text{On enlève le poids des 2m de terres de l'état initial}).$$

Question 44 :

La contrainte après construction est de $q = \Delta\sigma + 18 \times 4 \times 1.35 = 9.27 + 18 \times 4 \times 1.35 = 106.47 \text{ kPa}$

$$q_t = (0.444 \times 1.2 \times C_u \times 5.14) + (0.4444 \times 1 \times (0 + 16 \times 4) \times 1) \geq 130.9 \text{ kPa} \\ 2.744 \times C_u + 28.44 \geq 106.47 \text{ kPa}$$

$$C_u \geq 28.44 \text{ kPa}$$

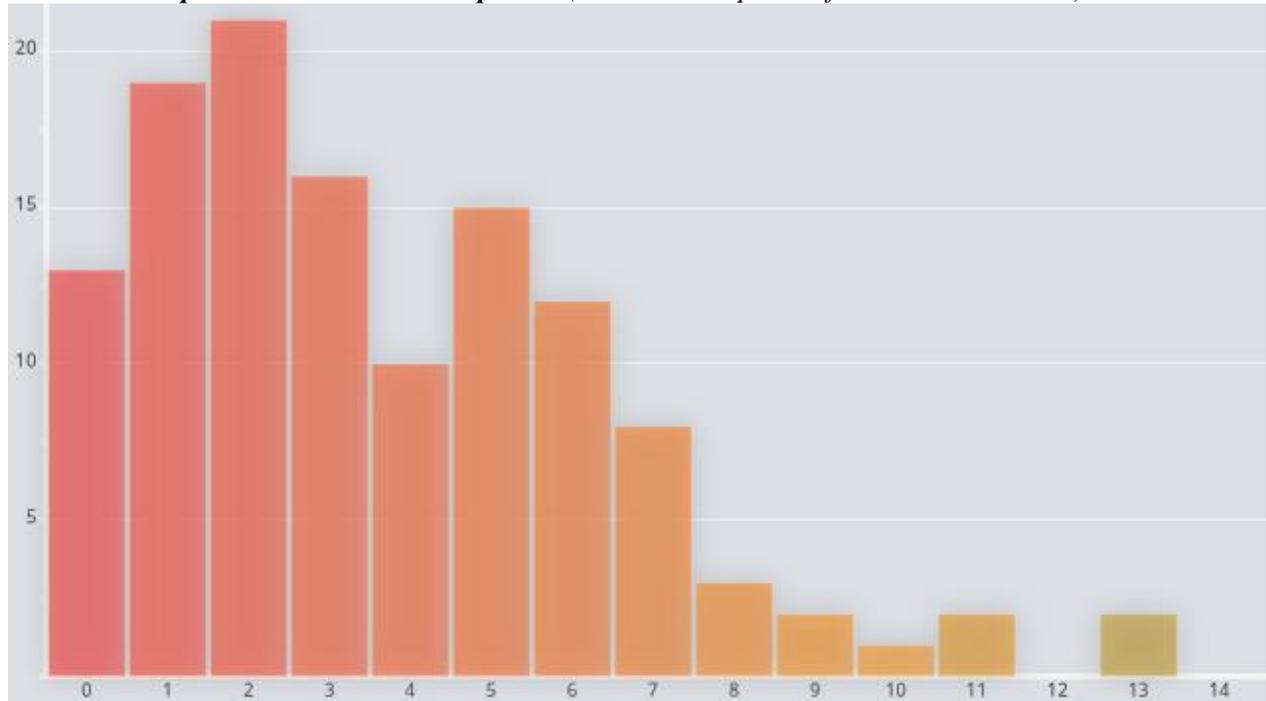
II.2 Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Le sujet proposé portait sur la construction d'une patinoire située à Samoëns, dans le département de la Haute-Savoie.

124 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 04,2/20, avec un écart-type de 2,8.

La meilleure note est 14,0/20, la plus faible est 0,1/20.

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



Le sujet comportait **6 parties indépendantes** :

Partie 1 – Etude des échanges thermiques de surface glacée de la patinoire (4,4 points)

Partie 2 – Etude hydraulique du réseau d'eau glacée (2,8 points)

Partie 3 – Etude de la production d'eau glacée (3,2 points)

Partie 4 – Modélisation de la structure – Etude d'un arbalétrier (2,8 points)

Partie 5 – Optimisation de la structure – Portique alternatif (3,6 points)

Partie 6 – Géotechnique – Fondations (3,2 points)

Résultats :

La **partie 1** portait sur l'étude des échanges de chaleur à la surface de la glace et sur le transfert de chaleur dans la dalle de rafraîchissement. Cette partie a été traitée, au moins partiellement, par 95% des candidats, mais seuls 65% ont répondu à au moins la moitié des questions.

Au-delà de l'aspect calculatoire, de nombreuses questions s'attachaient à la compréhension des phénomènes de base du transfert de chaleur (convection, conduction, rayonnement). La compréhension de ces phénomènes est très parcellaire pour de nombreux candidats.

Les questions portant sur la conduction ont été globalement mieux réussies alors que le transfert thermique instationnaire n'a été que peu abordé.

Malgré quelques belles copies, les résultats sont plutôt faibles. Parmi les trois premières parties, celles orientées « énergie », c'est celle qui a été le mieux réussie.

La **partie 2** portait sur l'étude hydraulique du réseau d'eau glacée de la patinoire. Cette partie n'a été traitée que par 63% des candidats et seuls 50% ont obtenu des points.

L'approche simplifiée d'un réseau, qu'il soit hydraulique ou aéraulique, ne devrait pas poser tant de problèmes aux candidats. Nous ne pouvons que constater un manque de préparation évident des candidats dans ce domaine, pourtant essentiel en ingénierie des constructions.

Ni les relations de base entre puissance et débit ou entre pertes de charge et vitesse d'écoulement ne sont maîtrisées. Les notions de travail de pompe ou d'équilibrage ne sont, la plupart du temps pas connues.

Quelques très belles copies ne permettent pas de rattraper un niveau général très faible.

La **partie 3** portait sur l'étude de la réglementation des fluides frigorigènes et sur le fonctionnement des machines frigorigènes.

Comme pour la partie précédente, celle-ci n'a été traitée que par 63% des candidats et seuls 50% ont obtenu des points. Pour la plupart ce sont les mêmes candidats qui ont fait l'impasse sur ces deux parties.

Concernant les candidats ayant répondu, les premières questions portant sur la réglementation européenne sur les fluides frigorigènes ont été plutôt bien traitées. Pour les questions suivantes la modélisation de la chaîne de puissance permettait d'estimer les performances de la machine frigorigène permettant de produire l'eau glacée.

La lecture sur le diagramme Mollier n'a pas posé de problème particulier, l'exploitation des valeurs n'a pas été réussie. Les notions de rendement et de COP sont, dans l'ensemble, connues mais pas maîtrisées.

La **partie 4** portait sur l'étude de la modélisation de la structure et en particulier l'étude de l'arbalétrier. L'essentiel des notions abordées concernaient la mécanique des structures.

Cette partie a été traitée par 87% des candidats dont 50% ont obtenu plus de la moitié des points.

Les parties calculatoires ont été dans l'ensemble correctement traitées par les candidats ayant abordé les questions. Certains candidats ont montré un manque de connaissances dans le domaine de l'étude des structures pour les questions plus « ouvertes » de début de partie.

La **partie 5** portait sur l'étude de l'optimisation de la structure et la proposition d'un portique de forme alternative. L'essentiel des notions abordées concernait à nouveau la mécanique des structures.

Cette partie a été traitée par 82% des candidats dont seulement 28% ont obtenu plus de la moitié des points.

La forme en arc de l'ouvrage et la modélisation « moins classique » qu'une poutre usuelle a bloqué de nombreux candidats qui n'ont pas abordé les questions 36 à 38. Pour ceux ayant répondu, les principes étaient connus mais il y avait souvent des erreurs dans le cheminement des calculs.

La **partie 6** portait sur des notions de géotechniques avec un dimensionnement de fondation sous diverses conditions. L'essentiel des questions posées concernaient des notions de géotechniques.

Cette partie a été traitée par 74% des candidats dont seulement 27% ont obtenu plus de la moitié des points.

Les connaissances en géotechniques sont très superficielles ce qui explique des réponses très hasardeuses concernant les notions de court et long terme et des calculs erronés dans les questions suivantes.

Nous rappelons que la géotechnique est une composante essentielle dans le dimensionnement des ouvrages.

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

III.1 Eléments de correction

Q1) Expliquer l'intérêt des joints de dilatation dans la structure. Donner les paramètres à retenir pour en choisir le nombre, la position, etc.

Sous l'effet des changements de température, le béton subit des variations de dimensions. Afin de préserver l'intégrité du bâti et éviter toute fissuration diffuse dans la structure, on place des joints de dilatation. La distance maximale entre deux joints ou bien entre l'extrémité du bâtiment et le premier joint est fonction de plusieurs paramètres :

- La conception architecturale (structures différentes / niveaux différents),
- La présence de différents types de fondation (superficielle / profonde),
- La région (humide et tempérée / sèche et à forte variation de température)
- L'épaisseur de ce joint varie de 2 à 4 cm en général pour des distances entre joints de 25 à 50 m. En zone sismique, il sert à éviter l'entrechoquement des bâtiments.

Q2) Après la réalisation du gros œuvre, quels sont les traitements possibles de ce joint ?

Le joint de dilatation est placé au droit de la cage d'ascenseur, il convient donc de réaliser le traitement de ce joint :

- Protection vis-à-vis des circulations (protection mécanique),
- Protection vis-à-vis du feu (cordon de fibres incombustibles),
- Protection vis-à-vis de l'étanchéité à l'air,
- Protection vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau (en terrasse et en façade).

Q3) Proposer une solution pour réaliser la partie structure du joint de dilatation.

Pour la partie voile, il est possible d'utiliser un prémur ou bien un élément préfabriqué posé après la réalisation des voiles coulés en place. Il est aussi possible de réaliser la partie biaise avec des blocs à bancher (cette solution est peu probable, étant donnée la reprise d'efforts importants dus aux poteaux des étages supérieurs).

Pour la partie dalle, il est possible d'utiliser un coffrage perdu de type prédalle sans étai ou bien une dalle préfabriquée de toute l'épaisseur qui sera clavée lors du bétonnage de la dalle coulée en place.

Il serait aussi possible de réaliser les deux voiles sans la partie vide mais cela nécessite l'accord de la maîtrise d'œuvre.

Q4) Pour la réalisation des pieux, la variante autorisée est du type tarière creuse, expliquer le principe de réalisation ainsi que les critères de choix et paramètres de dimensionnement.

Les pieux sont réalisés à l'aide d'une tarière à axe creux. La longueur de celle-ci doit être égale à la profondeur des fondations. Le forage est réalisé sans extraction notable du terrain. La tarière est ensuite extraite du sol foré pendant que, simultanément, du béton est injecté par son axe creux prenant ainsi la place du sol existant. Une cage d'armature est ensuite descendue dans le béton frais.

La réalisation des pieux forés à la tarière creuse est la suivante :

1. Implantation des axes des pieux,
2. Mise en place de la machine au droit du pieu considéré,
3. Forage en rotation jusqu'à la profondeur désirée. La paroi de forage est stabilisée par la colonne continue constituée par la tarière hélicoïdale et les matériaux de déblai en cours de remontée vers la surface du terrain,
4. Mise en œuvre continue du béton par le bas et en remontant, sous légère pression, grâce à la partie centrale creuse de la tarière et à l'aide d'une pompe à béton. Les cuttings sont mis en dépôt. Les paramètres de foration et de bétonnage sont enregistrés et traduits sous forme d'une fiche par pieu,
5. Mise en place d'une cage d'armature descendue sous son propre poids puis entraînée par poussée statique ou par vibration,
6. Évacuation des déblais,
7. Contrôle non destructif par auscultation sonore,
8. Recépage du béton et mise à la cote.

Les critères de choix de cette technique sont liés à de nombreux paramètres, on peut citer :

- Le type de sol (difficultés à s'adapter à traverser des sols très différents ou bien des obstacles enterrés, présence de vides, compacité trop faible),
- L'adéquation terrain / puissance machine (pression limite et module de l'essai pressiométrique),

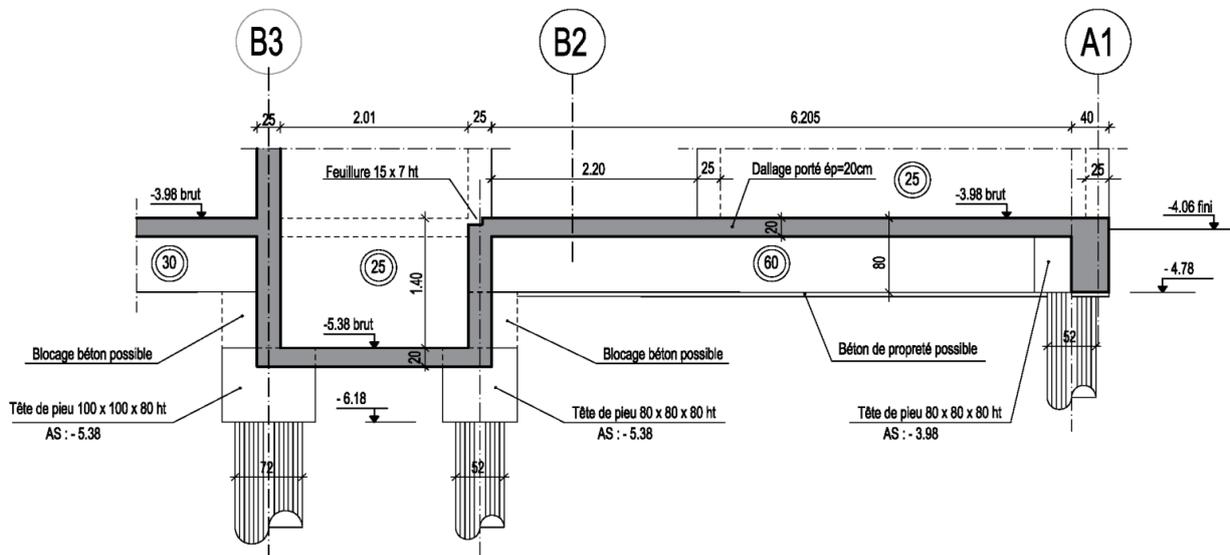
- La présence d'une nappe en charge ou des circulations d'eaux souterraines,
- L'emprise du chantier (gabarit imposant des machines et la présence de nombreux engins tels que pelle, pompe à béton, engin de levage),
- Nuisances sonores et vibrations faibles,
- Délais de réalisation et coûts,
- L'exécution sous hauteur réduite impossible, technique peu adaptée aux pieux inclinés,
- Les différents efforts à reprendre (efforts latéraux, traction) dimensionnent la longueur ainsi que le diamètre des pieux conditionnant ainsi la puissance de la machine.

Les paramètres de dimensionnement des pieux sont liés à des reconnaissances de sols et du modèle géotechnique (résistance de pointe, frottement latéral souvent issus d'un essai pressiométrique), des actions auxquelles sera soumis le futur ouvrage (plan et descentes de charge, poussée des terres, efforts parasites, efforts sismiques supplémentaires...).

Il y a lieu de ne pas négliger le frottement négatif qui se produit dans le cas de pieux traversant une couche de sol compressible. Cela induit une diminution de la capacité portante du pieu.

Selon l'agressivité du milieu, il y aura lieu de choisir une formulation de béton adaptée ainsi qu'un choix du type de ciment.

Q5) Compléter le document réponse DR1 en réalisant la coupe B-B des fondations.



Les têtes de pieux peuvent être positionnées sous les longrines. Dans le cas présent, les longrines sont dans la hauteur des têtes afin de limiter le terrassement et aussi de répondre à une exigence sismique.

Q6) Dans le cadre du plan assurance qualité, établir la procédure de réalisation des pieux forés tubés (solution de base), compléter le document réponse DR2.

Un forage est exécuté dans le sol par des moyens mécaniques (tarière, benne, etc.), sous protection d'un tubage qui peut être enfoncé jusqu'à la profondeur finale par vibration ou foncé avec louvoisement au fur et à mesure de l'avancement du forage. Les armatures sont ensuite mises en place. Le bétonnage est réalisé au tube plongeur et le tubage est remonté.

| N° | DESCRIPTION / SCHÉMA | CONTRÔLE QUALITÉ |
|----|---|--|
| 1 | Travaux préparatoires | Vérification altimétrique de la plateforme. Vérification de la portance de la plateforme. Contrôle des matériels de fonçage et de forage. Contrôle de la centrale à béton (y compris de secours). Contrôle des aires de stockage (propreté, planéité, mise hors d'eau). |
| 2 | Implantation des pieux | Vérification de l'implantation. |
| 3 | Mise en place du tubage | Contrôle de l'ordre de réalisation. Vérification position planimétrique et dimensions. Vérification verticalité dans les deux sens. |
| 4 | Descente du tube et forage | Contrôle verticalité. Contrôle terrain (coupe géologique et enregistrement des paramètres de forage). Contrôle profondeur. Contrôle ancrage. Contrôle curage du fond de forage. |
| 5 | Mise en place de la cage d'armatures | Contrôle dimensions, écarteurs pour l'enrobage, absence de déformations et de souillures. Contrôle des rabotages (recouvrement). Contrôle des tubes d'auscultation y compris bouchons aux extrémités. Contrôle altimétrique après mise en place. |
| 6 | Bétonnage au tube plongeur et retrait du tubage | Contrôle de la longueur du tube. Contrôle de l'amorçage. Contrôle conformité du béton : Bon de livraison et de pesées (respect formulation), Régularité de l'approvisionnement, Essai d'affaissement (ouvrabilité), Confection d'éprouvettes (résistance). Contrôle de la hauteur de béton (vérification de la garde entre le tube plongeur et le niveau du béton pour éviter tout désamorçage ainsi qu'avec le niveau du béton avec le niveau bas du tubage). Contrôle de la purge en fin de bétonnage. Contrôle de la position des armatures. Établissement d'un rapport de bétonnage. Réalisation de la courbe de bétonnage. |
| 7 | Essais sur le pieu | Essais non destructifs (auscultation sonore ou impédance), carottage possible. |
| 8 | Recépage et mise à la cote | Contrôle altimétrique Contrôle planimétrique des excentricités et vérification de tolérances. |
| 9 | Réparations en cas de non-conformité | Nouvelle fondation, longrines de redressement, injections, micropieux. |

Q7) Les eaux pluviales sont dirigées vers un bassin de rétention. Expliquer l'utilité de ce bassin ainsi que son mode de fonctionnement.

De nos jours, le contexte réglementaire impose un traitement des eaux pluviales à la parcelle. Le bassin a pour but de limiter les apports d'eaux pluviales (ruissellement) à l'aval en ayant un rôle de tampon. Il évite ainsi de saturer les réseaux d'assainissement. Ils ont donc un rôle d'écrêtement grâce à un débit d'évacuation régulé vers l'exutoire (qui peut-être le réseau public, le milieu hydraulique superficiel ou un système d'infiltration). Le dimensionnement est réalisé selon les besoins spécifiques du projet (pluviométrie, temps de retour). Ils sont principalement constitués par trois parties : un ouvrage d'alimentation, une zone de stockage et un ouvrage de régulation (garantissant le débit de fuite).

Q8) Par la méthode des pluies, déterminer le volume du bassin pour une période de retour de 10 ans en complétant le document réponse DR3. Conclure vis-à-vis du choix retenu.

Calcul des surfaces selon les coefficients d'imperméabilisation, puis celle de la surface active :

- Type gravillon : $451 + 334 + 309 = 1094 \text{ m}^2$
- Type auto-protégée : $190 + 334 = 524 \text{ m}^2$
- Type dalles sur plots : $77 + 189 + 118 = 384 \text{ m}^2$
- Type végétalisée : $136 + 222 = 358 \text{ m}^2$

Soit une surface totale de 2360 m^2

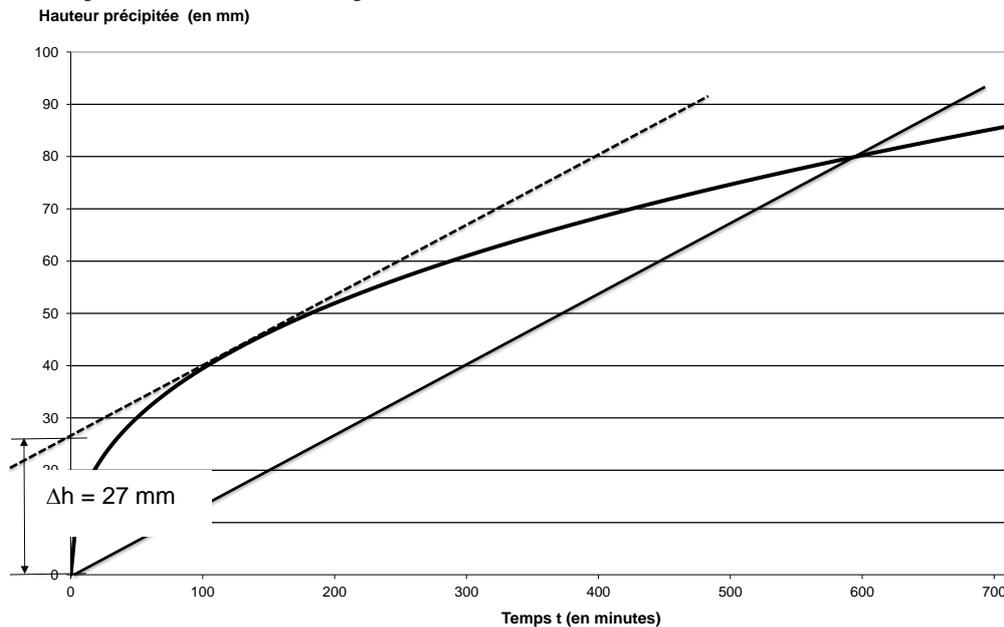
| Type | S en m ² | C |
|------------------|---------------------|------|
| Gravillon | 1094 | 0,95 |
| Auto-protégée | 524 | 1 |
| Dalles sur plots | 384 | 0,95 |
| Végétalisée | 358 | 0,5 |

Le Ca est égal à 0.893 donc $S_a = 2107.1 \text{ m}^2$

Le débit de fuite imposé est 4.65 l/s soit $4.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (Qf)

On en déduit $q_s = 60000 \times 4.65 \times 10^{-3} / 2107.1 = 0.132 \text{ mm}/\text{min}$

Le temps de retour de 10 ans impose les coefficients de Montana suivants : $a = 6.372$ et $b = 0.604$



On trouve $\Delta h = 27 \text{ mm}$, le volume du bassin est donc $10 \times 27 \times 0.2107 = 57 \text{ m}^3$

Le volume du bassin est de $45 \times 1.42 = 63.9 \text{ m}^3$

Le volume calculé est inférieur au volume disponible, le bassin est donc correctement dimensionné.

Par ailleurs, en considérant un débit de fuite de 4,65 l/s, le temps de vidange du bassin est de $57 \text{ m}^3 / 4.65 / 3600$ soit 3,4 h bien inférieur à 24 h.

Q9) Préciser les précautions à prendre, vis-à-vis de la partie gros œuvre, pour la réalisation de ce bassin et proposer les dispositifs à intégrer dans le regard de sortie afin d'assurer la régulation.

Concernant la partie gros œuvre, il convient de prendre les précautions suivantes :

- Prévoir une étanchéité des voiles et des dalles,
- Tenir compte de la hauteur d'eau maximale pour le dimensionnement de la structure,

- Prévoir un traitement des reprises de bétonnage (bande d'arrêt d'eau ou joint hydro gonflant),
- Prévoir un traitement spécifique aux raccordements entre la structure, l'étanchéité et les canalisations.
- Prévoir un béton spécifique avec hydrofuge de masse pour améliorer l'étanchéité.
- Prévoir un dispositif de nettoyage et de curage.

Le regard de sortie doit intégrer divers dispositifs pour un bon fonctionnement :

- Pour le rejet limité : réalisation d'une réservation dans le béton de diamètre adapté, mise en place d'une plaque percée avec ajutage ou bien d'une vanne guillotine (inconvenients : débit variable selon la hauteur d'eau dans le bassin et nécessité de mettre en place une protection pour éviter l'obstruction) ou bien mise en place d'un régulateur de débit (de type guillotine avec flotteur ou de type vortex).
- Pour la protection du bassin : une surverse mise en place au niveau d'eau maximum (1.42 m) adaptée au débit entrant maximum.

Q10) Il est possible de minorer les charges d'exploitation, quels sont les paramètres pris en compte ? Expliquer le principe de la méthode.

Pour pouvoir minorer les charges d'exploitation, les paramètres pris en compte sont : la catégorie d'usage du bâtiment, la surface de plancher reprise et le nombre de niveaux.

Pour les grandes surfaces, les charges d'exploitation correspondant à une catégorie unique peuvent être réduites au moyen d'un coefficient de réduction α_A , en fonction des aires portées par l'élément considéré :

$$\alpha_A = 0,77 + \frac{A_0}{A} \leq 1 \quad A_0 = 3,5m^2$$

Pour les poteaux et les murs, la charge d'exploitation totale apportée par plusieurs étages peut être minorée par un coefficient de réduction α_n :

$$\text{pour les catégories B et F} \quad \alpha_n = 0,7 + \frac{0,8}{n} \quad n > 2 \quad \text{avec } n \text{ le nombre d'étage}$$

Les deux coefficients ne peuvent pas être pris en compte simultanément.

Q11) Afin de réaliser le dimensionnement du pieu P83, compléter la descente de charge sur le pieu à l'intersection des files Bc et B4 pour les niveaux R+4 et dallage porté (la descente de charge partielle donne les résultats des niveaux +14.33 à - 3.98). Afin de simplifier les calculs, il ne sera pas tenu compte de la minoration des charges d'exploitation.

Pour le niveau R+4 de 17.68 à 14.33 : (surface reprise 53.5 m²)

| | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|----------|------------------|
| Poids propre : | Dalle : 53.5 x 0.20 x 25 = | 267.5 kN | |
| | Protection gravillon : 53.5 x 1.5 = | 80.3 kN | |
| | Poutre : 8.02 x 0.30 x 0.45 x 25 = | 27.1 kN | |
| | Poteau : 2.71 x 0.30 x 0.30 x 25 = | 6.1 kN | |
| | | | Total = 381.0 kN |
| Charge d'exploitation : | Terrasse : 53.5 x 0.8 = | | 42.8 kN |

Pour le niveau Fondations en dessous de - 3.98 : (surface reprise 44.8 m²)

| | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|----------|------------------|
| Poids propre : | Dallage : 44.8 x 0.20 x 25 = | 224.0 kN | |
| | Lg : 10.89 x 0.30 x 0.30 x 25 = | 24.5 kN | |
| | Tête pieu : 1.40 x 1.40 x 1.10 x 25 = | 53.9 kN | |
| | | | Total = 302.4 kN |
| Charge d'exploitation : | Parking : 44.8 x 2.3 = | | 103.1 kN |

| | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------|
| Soit pour le pieu P83 : | G = 381.0 + 2177 + 302.4 = | 2860.4 kN |
| | Q = 42.8 + 793 + 103.1 = | 938.9 kN |

Nota : le phénomène de continuité (dalle et poutre) n'a pas été pris en compte.

Q12) À partir de la question précédente, réaliser la vérification du poteau P4 à l'intersection des files Bc et B4 entre les niveaux +10.88 et +7.43. Pour cela, déterminer la longueur de flambement.

En considérant le poteau bi-articulé et dans le cas sécuritaire, $l_f = 3.45$ m (dessus dalle à dessus dalle soit 10.88 - 7.43 = 3.45 m). Il est aussi possible de prendre 3.25 m.

Q13) En prenant une charge en tête du poteau à l'ELU, $N_{Ed} = 2240$ kN, et en utilisant la méthode simplifiée, déterminer la section des aciers longitudinaux.

Poteau : 0.40 x 0.40 m soit $b = h = 0.40$ m – longueur efficace (ou de flambement) : 3.45 m.

Béton du type C25/30, acier B500B, on trouve :
 $f_{cd} = 25 / 1.5 = 16.7$ MPa et $f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8$ MPa.
 En prenant :

$$\lambda = \frac{\ell_0 \sqrt{12}}{b} \quad \text{on trouve : } \lambda = 29.9 < 60 \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{0,86}{1 + \left(\frac{\lambda}{62}\right)^2} \quad \text{on trouve } \alpha = 0.698$$

La section d'armature minimale est donnée par la formule suivante :

$$A_{s,min} = \max \left[0,10 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} ; 0,002 A_c \right]$$

en prenant $N_{Ed} = 2.24$ MN et $A_c = 0,40 \times 0,40 = 0,16$ m²
 On trouve $A_{s,min} = \max (5.16 \times 10^{-4} ; 3.2 \times 10^{-4})$ soit 5.16 cm²
 On peut prendre 8 HA 10 soit 6.28 cm²

En considérant le poteau armé au ferrailage minimal, N_{Rd} et donné par la formule :

$$N_{Rd} = \alpha k_h \left[A_c f_{cd} + A_s f_{yd} \right] \quad \text{en prenant } k_h = 0.93 \text{ et } A_s = 6.28 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

On trouve $N_{Rd} = 1.91$ MN < $N_{Ed} = 2.24$ MN, le ferrailage minimal est insuffisant !

En première approximation, on peut résoudre l'équation suivante :

$$N_{Ed} = \alpha k_h A_c \left[f_{cd} + \rho f_{yd} \right], \quad \text{on trouve } A_s = 18.04 \text{ cm}^2$$

En prenant :

$$\delta = \frac{d'}{b} \quad \text{et } d' = 0.04 \text{ m et } b = 0.40 \text{ m, on trouve } 0.10$$

Et $K = 0.698 (0.75 + 0.5 \times 0.4) = 0.6631$

En résolvant l'équation suivante :

$$\left(6 \frac{\delta}{A_c} f_{yd} \right) A_s^2 - (f_{yd} - 6 \delta f_{cd}) A_s + \left(\frac{N_{Ed}}{K} - A_c f_{cd} \right) = 0 \quad \text{soit } 1630.5 A_s^2 - 424.8 A_s + 0.71 = 0$$

On trouve $A_s = 17$ cm²

On peut prendre 6 HA 20 soit 18.85 cm²

On peut vérifier que $N_{Rd} = 2.26$ MN est bien supérieur à $N_{Ed} = 2.24$ MN

Longueur des aciers en attente = 30 x 20 = 600 mm (déterminée forfaitairement).

Q14) Déterminer les armatures transversales (espacement et disposition).

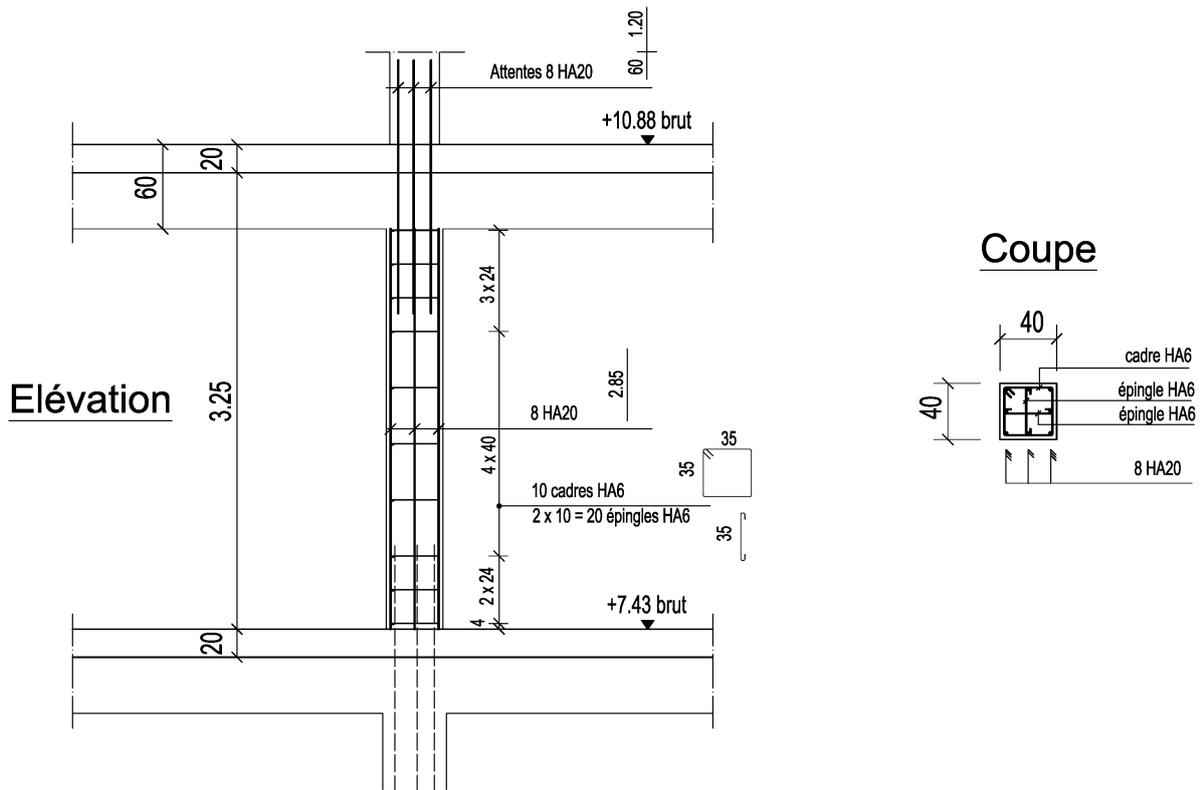
Diamètre armature transversale = max (6 ; 20/4 = 5) soit 6 mm

Espacement = min (400 ; 20x20 ; 400) soit 400 mm

Espacement réduit aux extrémités = 400 x 0.6 = 240 mm

Le diamètre des armatures longitudinales étant supérieur à 14 mm, il est nécessaire d'avoir 3 cours d'armature aux zones de recouvrement.

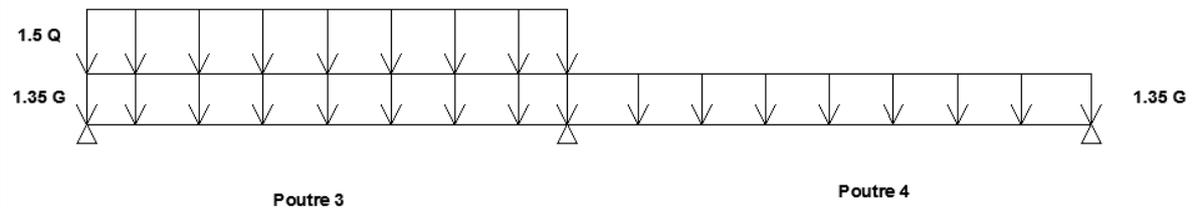
Q15) Réaliser le plan de ferrailage en complétant le document réponse DR4.



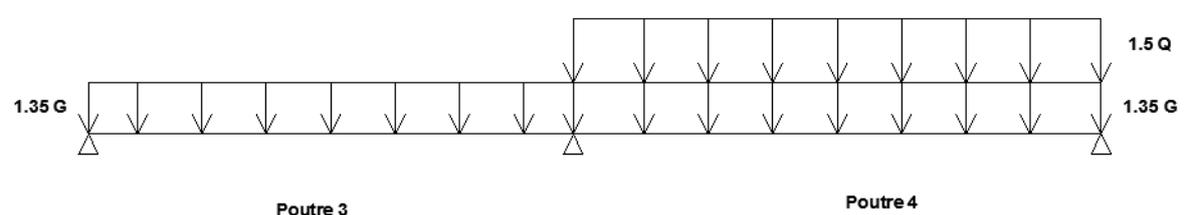
Nota : Étant donné que le poteau est carré, il faut rajouter 2 aciers soit 8 HA20.

Q16) L'étude porte sur la poutre 3 de la file Bc entre les files B5 et B4 au niveau +10.88. Déterminer les différents cas de charge afin de pouvoir réaliser le calcul des moments nécessaires au dimensionnement des aciers longitudinaux de cette poutre (le calcul des moments n'est pas demandé, seuls les cas de charge sont demandés).

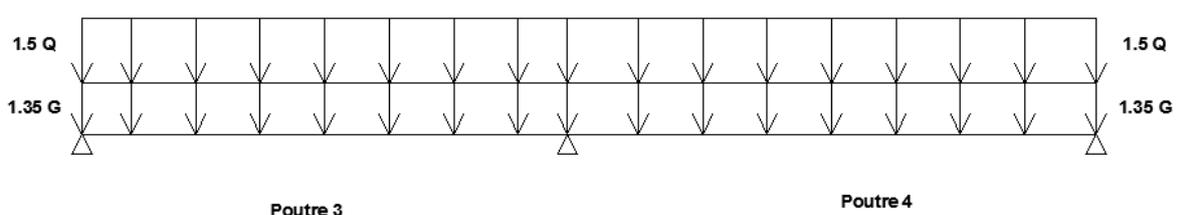
Cas 1 : Travée poutre 3 chargée – Travée poutre 4 déchargée = Moment en travée poutre 3 maxi



Cas 2 : Travée poutre 3 déchargée – Travée poutre 4 chargée = Moment en travée poutre 4 maxi



Cas 3 : Travée poutre 3 chargée – Travée poutre 4 chargée = Moment sur appui central maxi



Poids propre : Dalle : $6.70 \times 0.20 \times 25 = 33.5$ kN/ml
Cloison : $6.70 \times 1.0 = 6.7$ kN/ml
Poutre : $0.40 \times 0.40 \times 25 = 4.0$ kN
Total = 44.2 kN/ml
Charge d'exploitation : Bureaux : $6.70 \times 2.5 = 16.8$ kN/ml

Q17) Avec de la méthode de dimensionnement fournie et en considérant le moment en travée à l'ELU, M_{ED} travée = 371 kN.m et celui sur appui M_{ED} appui = - 601 kN.m, déterminer les armatures longitudinales de la poutre entre les files B5 et B4.

Poutre : 0.40×0.60 m soit $b_w = 0.40$ m et $h = 0.60$ m.

Béton du type C25/30, acier B500B,

On trouve $f_{cd} = 25 / 1.5 = 16.7$ MPa et $f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8$ MPa.

A partir de l'organigramme fourni dans le sujet :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w d^2 f_{cd}} \quad \alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \quad z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) \quad A_{s1} = \frac{M_u}{z_u f_{yd}}$$

En travée, en prenant en première approximation $d = 0.9$ h soit 0.54 m :

On trouve $\mu_u = 0.1908 < 0.3717$ et $\alpha_u = 0.267$ donc $z_u = 0.482$

Soit $A_{s1} = 17.7$ cm² soit 4HA14 et 4HA20 ($6.16 + 12.57 = 18.73$ cm²)

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d}$$

Le pourcentage d'armature vaut 0.9% ce qui est normal



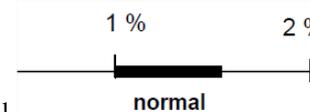
Sur appui, en prenant en première approximation $d = 0.9$ h soit 0.54 m :

On trouve $\mu_u = 0.3092 < 0.3717$ et $\alpha_u = 0.478$ donc $z_u = 0.437$

Soit $A_{s1} = 31.7$ cm² soit 4HA20 et 4HA25 ($12.57 + 19.63 = 32.20$ cm²)

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d}$$

Le pourcentage d'armature vaut 1.5% ce qui est normal



Il convient de respecter la section minimale à l'aide de la formule :

$$A_{s1} > A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d \right]$$

En prenant :

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad \text{soit } 0.3 \times 25^{(2/3)} = 2.56 \text{ MPa et } b_t = 0.40 \text{ m}$$

On trouve :

$$0.26 \times 2.56 \times 0.40 \times 0.54 / 434.8 = 3.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ soit } 3.31 \text{ cm}^2$$

$$0.0013 \times 0.40 \times 0.54 = 2.81 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ soit } 2.81 \text{ cm}^2$$

On retiendra donc 3.31 cm²

La section maximale d'armature doit être inférieure à la section maximale :

$$A_{s1} < 0,04 A_c \text{ soit } 0.04 \times 0.40 \times 0.60 = 96 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ soit } 96 \text{ cm}^2$$

Dans tous les cas, la section d'armature retenue est bien comprise entre les valeurs minimales et maximales.

Il convient de vérifier le d réel, en prenant un enrobage des cadres de 30 mm, un diamètre des cadres de 6 mm et un centre de gravité des aciers à 15.6 mm, on trouve $d = 600 - 30 - 6 - 15.6 = 548$ mm, valeur proche et supérieure à la valeur approximative choisie.

Q18) À partir de la méthode de dimensionnement fournie et en considérant un V_{ED} au nu de l'appui sur la file B5 de 241 kN et de 397 kN sur la file B4, déterminer les armatures transversales.

Dans un premier temps, il faut vérifier la nécessité d'armatures d'effort tranchant, pour cela, on doit vérifier que V_{Ed} est supérieur à $V_{Rd,c}$:

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

On prendra :

- Poutre : 0.40×0.60 ht – en première approximation $d = 0,90 \times h = 0.54$ m
- Béton C25/30 – $f_{ck} = 25$ MPa – $f_{cd} = 25 / 1.5 = 16.7$ MPa
- Acier B500B – $f_{yk} = 500$ MPa – $f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8$ MPa

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} ;$$

soit $0,18 / 1,5 = 0,12$

$$k = \min \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d^{(mm)}}} ; 2 \right]$$

soit $\min (1 + (200 / 540)^{(1/2)} = 1,609 ; 2)$ soit $k = 1,609$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

en supposant le premier lit ancré soit 4HA20 $A_{sl} = 12,57 \text{ cm}^2$

On trouve $12,57 \times 10^{-4} / (0,40 \times 0,54) = 0,0058 < 0,02$

$$C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}$$

on trouve : $0,12 \times 1,609 \times (100 \times 0,0058 \times 25)^{(1/3)} = 0,4708$

$$v_{min} = \frac{0,053}{\gamma_c} k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

on trouve : $(0,053 / 1,5) \times 1,609^{(3/2)} \times 25^{(1/2)} = 0,3606$

On retiendra donc 0,4708

$V_{Rd,c} = 0,4708 \times 0,40 \times 0,54 = 0,102 \text{ MN} < 0,241 \text{ MN}$, il faut donc des armatures d'effort tranchant !

À présent, il faut vérifier la bielle de béton :

$$V_{Rd,max} = 0,5 b_w z v_1 f_{cd}$$

en prenant $z = 0,9 d = 0,9 \times 0,54 = 0,486 \text{ m} - f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$

$$v_1 = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}^{(MPa)}}{250} \right]$$

Et soit $0,6 \times (1 - 25 / 250) = 0,54$

$V_{Rd,max} = 0,5 \times 0,40 \times 0,54 \times 16,7 = 1,803 \text{ MN} > V_{Ed}$ la résistance des bielles est surabondante !

En prenant 1 cadre HA6 et 2 étriers HA6 (6 brins) soit $A_{sw} = 1,70 \text{ cm}^2$, on trouve un espacement supérieur à :

$$s \leq \frac{A_{sw} z f_{ywd}}{V_{Ed}}$$

avec $f_{ywd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ MPa}$

On trouve, côté file B5 : $1,70 \times 10^{-4} \times 0,486 \times 434,8 / 0,241 = 0,149 \text{ m}$, on retiendra 14 cm.

Et côté file B4 : $1,70 \times 10^{-4} \times 0,486 \times 434,8 / 0,397 = 0,090 \text{ m}$, on retiendra 9 cm.

On doit vérifier pour l'espacement des armatures transversales :

$$s \leq \min \left[\frac{A_{sw} z f_{ywd}}{V_{Ed}} ; \frac{A_{sw}}{b_w \rho_{w,min}} ; s_{l,max} \right]$$

En vérifiant le taux d'armatures transversales, on trouve :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w s}$$

soit $1,70 \times 10^{-4} / (0,40 \times 0,14) = 0,00304$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

soit $0,08 \times 25^{(1/2)} / 500 = 0,0008 < 0,00304$

$$\frac{A_{sw}}{b_w \rho_{w,min}}$$

on trouve $1,70 \times 10^{-4} / (0,40 \times 0,0008) = 0,53 \text{ m}$

$$s_{l,max}$$

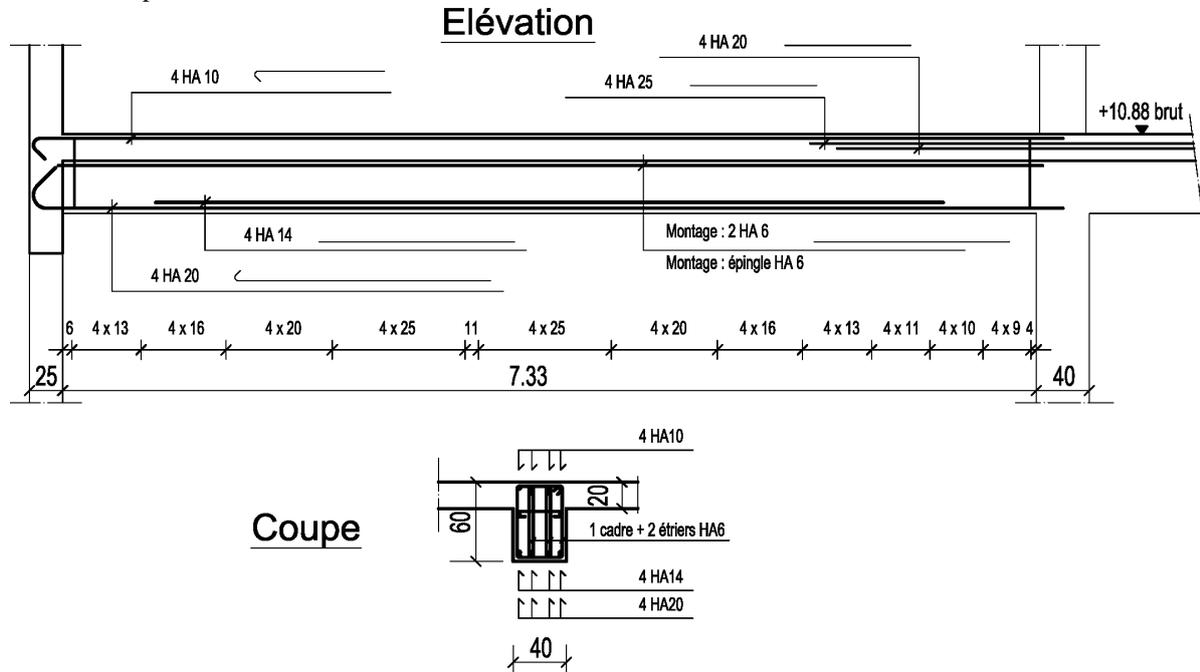
on trouve $0,75 d$ soit $0,75 \times 0,54 = 0,40 \text{ m}$

Conclusion, on retiendra 14 cm côté file B5, 9 cm côté file B4 et un espacement maximal de 40 cm. Pour la répartition, on retiendra forfaitairement celle de Caquot soit 9 - 11 - 13 - 16 - 20 - 25 - 30 et 40 cm avec une répétition de $7,33 / 2 = 3,6$ soit 4. Le premier cadre sera disposé à $s / 2$ du nu de l'appui.

Il y aurait lieu de vérifier l'ancrage des aciers longitudinaux aux appuis. Côté file B5, on trouve $0.241 / 434.8 = 5.54 \times 10^{-4}$ soit 5.54 cm^2 or on a 4HA20 soit 12.57 cm^2 . Un ancrage droit ne peut pas être suffisant, il faudra donc un ancrage courbe.

Côté file B4, on trouve une valeur négative liée au moment sur appui, l'ancrage sera donc minimal.

Q19) Proposer un principe de ferrailage de cette poutre (la nomenclature n'est pas demandée), compléter le document réponse DR5.



Nota : Afin de simplifier la répartition, il a été choisi de commencer avec un espacement de 13 cm côté file B5.

Q20) Le coefficient C_{ep} est exprimé en $\text{kW.h}_{\text{énergie primaire}} / \text{m}^2_{\text{SHON RT}}/\text{an}$. Expliquer cette notion d'énergie primaire.

L'énergie primaire est la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique, etc.

Q21) Le bâtiment B est-il réglementaire ? Justifier votre réponse.

$B_{bio} < B_{bio \text{ max}}$

$C_{ep} < C_{ep \text{ max}}$

donc le bâtiment est conforme

Tic réglementaire

Q22) Proposer 2 facteurs permettant de faire diminuer la valeur du B_{bio} de ce bâtiment en les justifiant.

Le Besoin Bioclimatique B_{bio} dépend des besoins en énergie pour :

- le chauffage,
- le refroidissement,
- l'éclairage.

Donc solutions pour diminuer B_{bio} pour ce type de bâtiment :

- Augmenter l'isolation du bâtiment pour faire diminuer B_{ch} ,
- Mettre en place des protections solaires pour faire diminuer B_{fr}
- Augmenter les surfaces vitrées pour faire diminuer B_{ecl}

Q23) Proposer 2 facteurs permettant de faire diminuer la valeur du C_{ep} de ce bâtiment en les justifiant.

C_{ep} , exprimée en $\text{kW.h}_{ep}/\text{m}^2.\text{an}$, correspond à la consommation d'énergie primaire du bâtiment. Elle prend en compte les consommations énergétiques :

- du chauffage,
- du refroidissement,

- de la production d'eau chaude sanitaire,
- de l'éclairage,
- des auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation,

Si on a un système de production locale d'électricité, l'énergie produite est déduire de la valeur de Cep

En conséquence, pour faire diminuer la valeur de Cep pour ce type de bâtiment, on pourrait par exemple :

- mettre en place une production d'énergie renouvelable, ici des capteurs photovoltaïques ,
- mettre en place un système de récupération d'énergie sur l'ensemble des systèmes de renouvellement d'air

Q24) On étudiera en variante une dégradation de la perméabilité à l'air de $Q_4=1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$ à $Q_4=1.4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$. Calculer le pourcentage de variation de la consommation énergétique du bâtiment. On donne $\text{DJU} = 2636 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{J}$ (DJU : Degrés Jours Unifiés)

Puissance supplémentaire en $\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$

$$P = 0,34 \cdot Q_v \quad \text{AN: } P = 0,34 \times (1,4 - 1) = 0.136 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$$

Energie annuelle supplémentaire en $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$

$$E = 24 \cdot \text{Dju} \cdot P \quad E = 24 \times 2636 \times 0,136 = 8604 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$$

$$= 8.6 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$$

$$\text{Cep} = 96.9 \text{ kW}\cdot\text{h}_{\text{ep}}/\text{m}^2_{\text{parois déperditives}}$$

En estimant facteur de conversion énergie primaire / énergie finale proche de 1, on peut estimer un pourcentage d'augmentation du Cep de $8.6 / 96.9$, soit environ 9%%

Q25) L'énergie nécessaire au chauffage et au refroidissement est produite par des unités urbaines centralisées. Expliquer les atouts de cette solution par rapport à des productions d'énergie spécifiques à ce bâtiment (10 lignes maximum).

- Chaufferies de grandes puissances à rendements élevés.
- Possibilité d'utiliser une proportion importante d'énergies renouvelables (ici biomasse)
- Foisonnement de la puissance en couplant la chaufferie urbaine à des bâtiments ayant des plages d'utilisation et des puissances différentes (ex : bureaux en journée + logements le soir).
- Maintenance centralisée facilité.
- Possibilité d'associer une production de chaud et une production de froid.
- Gain de place pouvant être valorisé commercialement.

Q26) Justifier la répartition des puissances des chaudières biomasse et gaz du réseau urbain sur des critères économiques et environnementaux (ANNEXE C22) (10 lignes maximum).

- Une chaudière bois est intéressante d'un point de vue économique car le prix du combustible est 2 fois plus faible que le gaz.
- Une chaudière bois est intéressante d'un point de vue environnemental car la biomasse est considérée comme une EnR
- Une chaudière bois de 7.2 MW assure 50% de la puissance utile et 89% des besoins énergétiques ($2341/2636 \cdot 100$). Son prix d'investissement étant 3 fois plus élevé qu'une chaudière gaz, il n'est pas nécessaire d'augmenter davantage sa puissance.

Q27) Justifier l'intérêt des pompes à vitesse variable présentes sur le schéma de principe.

Les débits d'eau (chaude et froide) des ventilo-convecteurs sont variables en fonction du besoin en agissant des vannes de réglages. Le débit de la pompe varie donc en fonction du besoin. Il y a donc nécessité de mettre en place des pompes à vitesse variable pour diminuer les consommations électriques des moteurs.

Q28) Sélectionner la pompe du circuit Eau chaude Ventilo-convecteur en justifiant le type de régulation de pression (proportionnelle ou constante) en complétant le document réponse DR6

Justifier le diamètre nominal de la pompe sélectionnée.

Déterminer le rendement de la pompe sélectionnée.

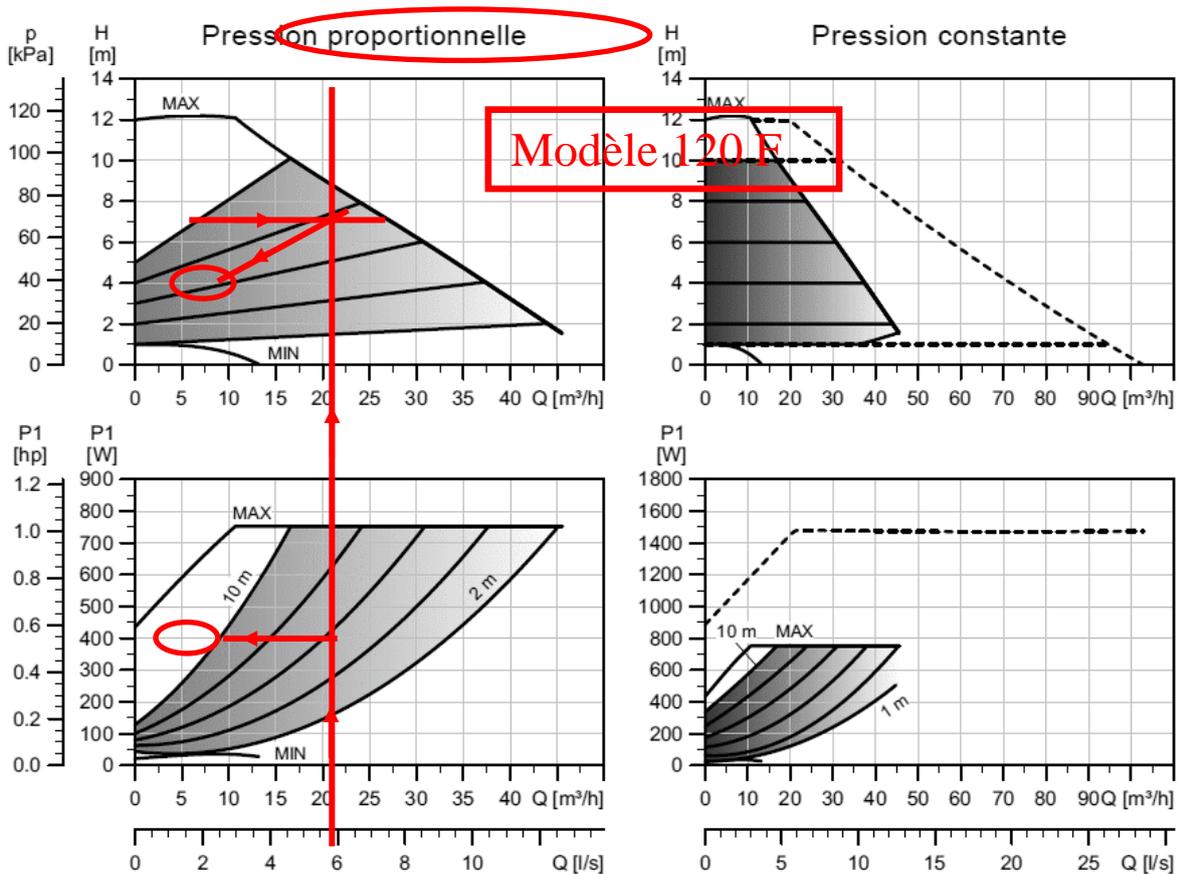
Déterminer le gain de pression fourni par la pompe sélectionnée lorsque toutes les vannes de réglage seront fermées.

Extraits du CCTP :

- Débit d'eau chaude du ventilo- convecteur : $qv=11 \text{ m}^3/\text{h}$
- Régulation à pression proportionnelle car variation de pdc importante donc plus faible consommation électrique.

Données :

- Pertes de charge du réseau si les vannes de régulation sont ouvertes : 70 kPa
- Vitesse maximale de l'eau en chaufferie : 1 m/s



- Si $qv = 11 \text{ m}^3/\text{h}$ et $v_{\text{max}} = 1 \text{ m/s}$, alors $D_{\text{int mini}} = 62.3 \text{ mm}$.

On choisit une pompe dont le diamètre est similaire à celui de la canalisation.

Si on choisit une pompe en DN65, alors $D_{\text{int}} = 76.1 - 2 \times 3.2 = 69.7 \text{ mm}$

- $\eta = \frac{P_{\text{hydraulique}}}{P_{\text{électrique}}} = \frac{qv \times \Delta p}{P_{\text{électrique}}}$ AN: $\eta = \frac{11}{3600} \times 7 \times 9810}{400} = 0.52$, soit 52%

- Si $qv=0$, la Hauteur manométrique $H = 4 \text{ m}$

Q29) Compléter le document réponse DR7 en indiquant le(s) équipement(s) associés à chaque fonction.

| Fonction | Équipement(s) associé(s) |
|---|---|
| Gestion du traitement et du soufflage de l'air neuf dans des bureaux, open-space et salles de réunion | CTA (BF, BC, échangeur rotatif) située au EDC Bas |
| Gestion et traitement de l'air repris des bureaux, open-space et salles de | Reprise en vrac dans le faux plafond |

| | |
|---|--|
| réunion | |
| Gestion de l'extraction de l'air vicié des bureaux, open-space et salles de réunion | Bouches d'extraction dans les bureaux |
| Gestion de l'extraction de l'air vicié des sanitaires | VMC simple flux indépendante |
| Récupération d'énergie sur l'air vicié | Echangeur rotatif dans la CTA |
| Déperditions / charges aérauliques | BC / BF situées dans la CTA soufflant un air neutre (21°C en hiver et 26°C en été) |
| Déperditions / charges surfaciques et internes | BC / BF terminales situées le gainable des ventilo-convecteurs situés en faux-plafond |
| Régulation de la température ambiante | Comparaison des sondes d'ambiante avec température de consigne et action sur les contrôleurs/registres des unités gainables. |

Q30) Proposer une solution d'amélioration permettant de diminuer les consommations énergétiques sans modifier les systèmes mis en place.

Exemple de solutions possibles :

- Mettre en place une ventilation nocturne en été lorsque la température intérieure est inférieure à la température extérieure
- Récupérer de l'énergie sur l'air extrait des sanitaires pour produire de l'ECS thermodynamique
- Augmenter l'isolation du bâti et son étanchéité

Q31) Étude du plateau du RdC Bas :

- Proposer 2 solutions techniques permettant de moduler le débit d'air neuf en fonction du taux d'occupation.

Solution 1

Mise en place d'une sonde de CO₂ dans l'ambiante.

Installer des registres d'entrée et d'extraction d'air et faire varier le débit d'air provenant de la CTA en fonction du taux de CO₂

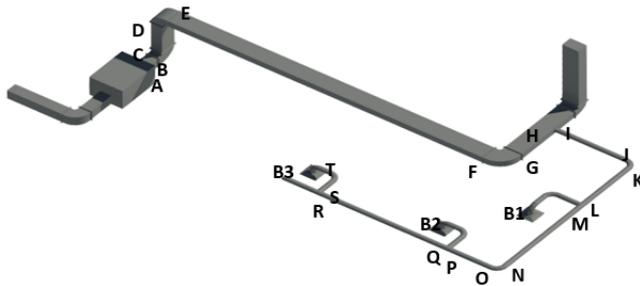
Cela permet de réduire fortement ou complètement le renouvellement d'air en cas de non occupation et donc de faire des économies d'énergie.

Solution 2

Positionner des registres d'entrée et d'extraction d'air et faire varier le débit d'air provenant de la CTA en fonction d'une programmation horaire reflétant le nombre d'occupants ou d'une sonde hygrométrique sur la reprise d'air.

- Déterminer les pertes de charge que devront créer les registres d'auto-équilibrage situés en amont de chaque grille de diffusion d'air neuf (DR8).

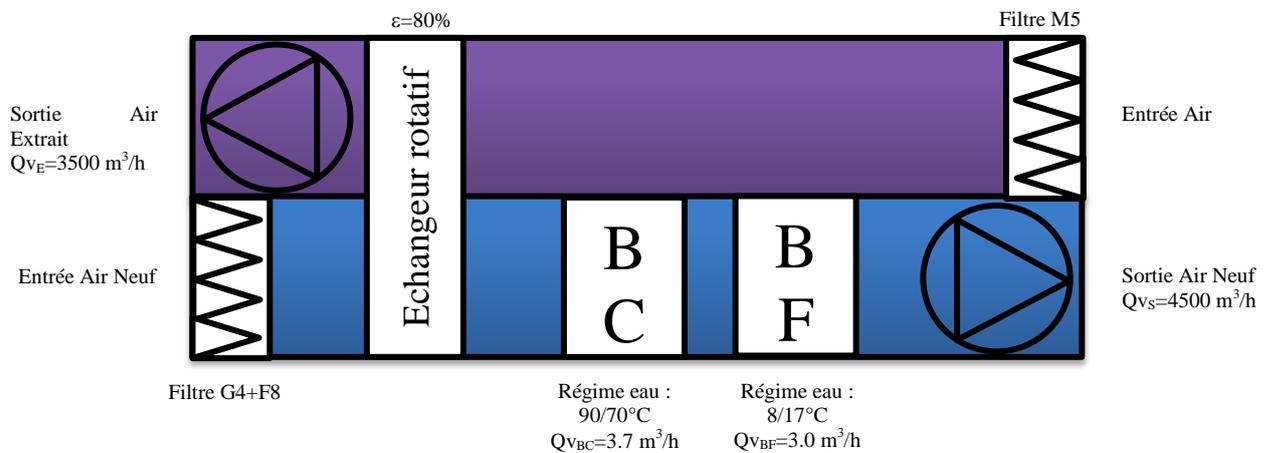
| Réseau de soufflage Bat B - RdC Bas | | Caractéristiques dimensionnelles et hydrauliques | | | | | | PdC linéaires | | PdC singulières | | PdC totales | |
|-------------------------------------|----|--|---------|--------|---------|----------|--------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|---------|--------------------------|------------------------------|
| | | Diamètre (équivalent) | Section | Débit | Vitesse | Longueur | $Re=v.D/\nu$ | $\lambda=0,316.Re^{-0,25}$ | $J=\lambda.L/D.r.v^5/2$ | $j=J.L$ | ζ | $\Sigma\zeta.\rho v^2/2$ | $j.L+\Sigma\zeta.\rho v^2/2$ |
| | | [mm] | [m²] | [m³/h] | [m/s] | [m] | | | [Pa/m] | [Pa] | | [Pa] | [Pa] |
| L | M | Té | 125 | 0,012 | 150 | 3,4 | | | 1,36 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |
| M | N | Conduite circulaire | 125 | 0,012 | 100 | 2,3 | 3,22 | 1,81E+04 | 0,03 | 0,67 | 2,2 | 0,0 | 2,2 |
| N | O | Coude | 125 | 0,012 | 100 | 2,3 | | 1,81E+04 | 0,03 | 0,67 | 0,0 | 0,4 | 1,2 |
| O | P | Conduite circulaire | 125 | 0,012 | 100 | 2,3 | 1,03 | 1,81E+04 | 0,03 | 0,67 | 0,7 | | 0,0 |
| P | Q | Té | 125 | 0,012 | 100 | 2,3 | | 1,81E+04 | 0,03 | 0,67 | 0,0 | | 0,0 |
| Q | R | Conduite circulaire | 125 | 0,012 | 50 | 1,1 | 3,92 | 9,07E+03 | 0,03 | 0,20 | 0,8 | | 0,0 |
| R | S | Té | 125 | 0,012 | 50 | 1,1 | | 9,07E+03 | 0,03 | 0,20 | 0,0 | 1,3 | 1,0 |
| S | T | Flexible | 125 | 0,012 | 50 | 1,1 | 1,50 | 9,07E+03 | 0,03 | 0,20 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| T | B3 | Bouche | 125 | 0,012 | 50 | 1,1 | | 9,07E+03 | 0,03 | 0,20 | | 1 | 0,8 |



| Réseau | PdC | PdC à créer |
|--------|------|-------------|
| | [Pa] | [Pa] |
| L-B1 | 1,4 | 4,9 |
| L-B2 | 5,5 | 0,8 |
| L-B3 | 6,2 | 0,0 |

Q32) Réaliser un schéma de principe de la CTA (Centrale de Traitement d'Air) et :

- Nommer les différents composants,
- Expliquer le principe de fonctionnement (5 lignes maximum),
- Indiquer les grandeurs caractéristiques connues.



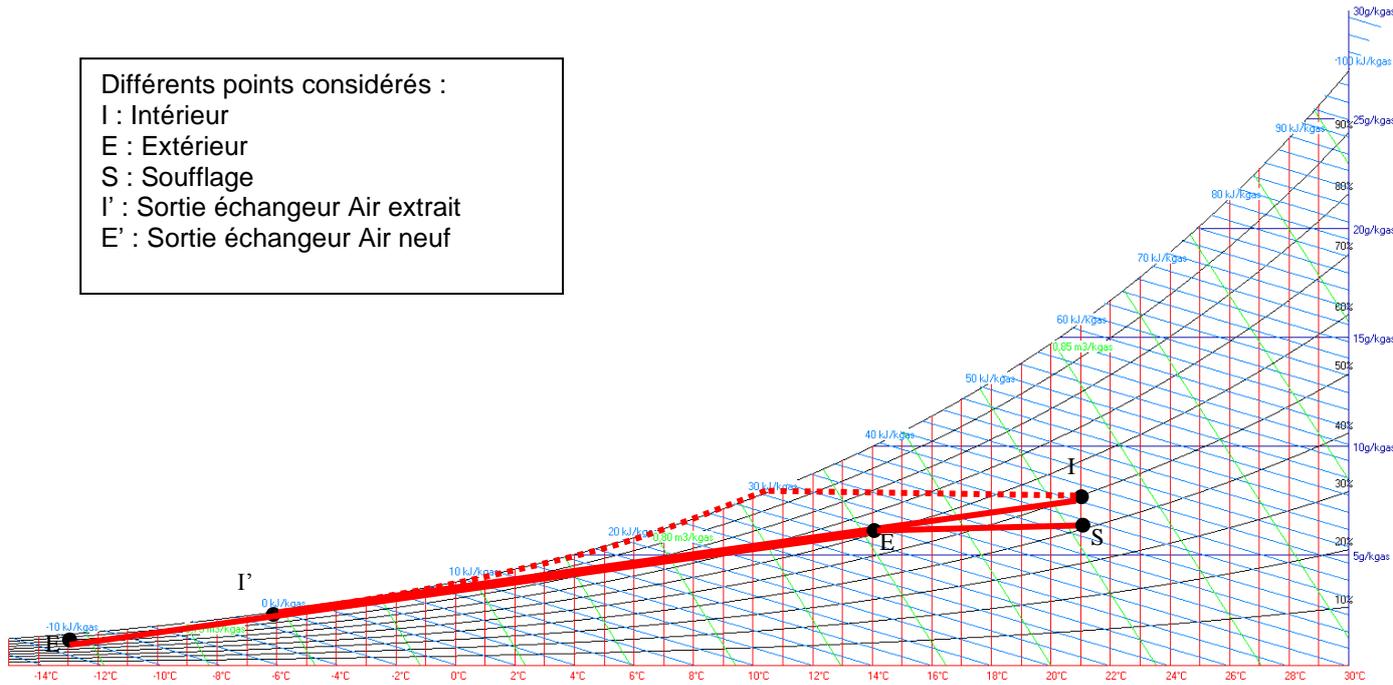
La centrale de traitement d'air permet de souffler un air neutre (21°C en hiver et 26°C en été) en agissant sur l'échangeur rotatif, la batterie froide (BF) ou la batterie chaude (BC) compensant ainsi les déperditions ou les apports liés au renouvellement d'air neuf. Cela permet aussi d'assurer un meilleur confort ambiant en évitant de souffler de l'air à la température extérieure.

Q33) Tracer les évolutions de l'air dans la CTA en hiver et en été sur Diagramme de l'Air Humide en précisant les différents éléments (DR9 et DR10).

Q34) Dimensionner la batterie froide et la batterie chaude de la CTA en calculant les grandeurs suivantes : puissances sur l'air, efficacité (de la batterie froide), puissances sur l'eau, débits d'eau chaude et glacée.

Dimensionnement BC CTA

Différents points considérés :
 I : Intérieur
 E : Extérieur
 S : Soufflage
 I' : Sortie échangeur Air extrait
 E' : Sortie échangeur Air neuf



Hypothèse : $\eta_{BC} = 95\%$

Efficacité de l'échangeur rotatif : $\varepsilon = 80\%$ donc

$$\begin{aligned} T_{I'} &= T_I - \varepsilon \cdot (T_I - T_E) \\ \underline{\text{AN}}: T_{I'} &= 21 - 0,8 \times (21 + 13) = 6,2^\circ\text{C} \end{aligned}$$

et $T_{E'} = T_E + \varepsilon \cdot (T_I - T_E)$

$$\underline{\text{AN}}: T_{E'} = -13 + 0,8 \times (21 + 13) = 14,2^\circ\text{C}$$

Puissance de la batterie chaude :

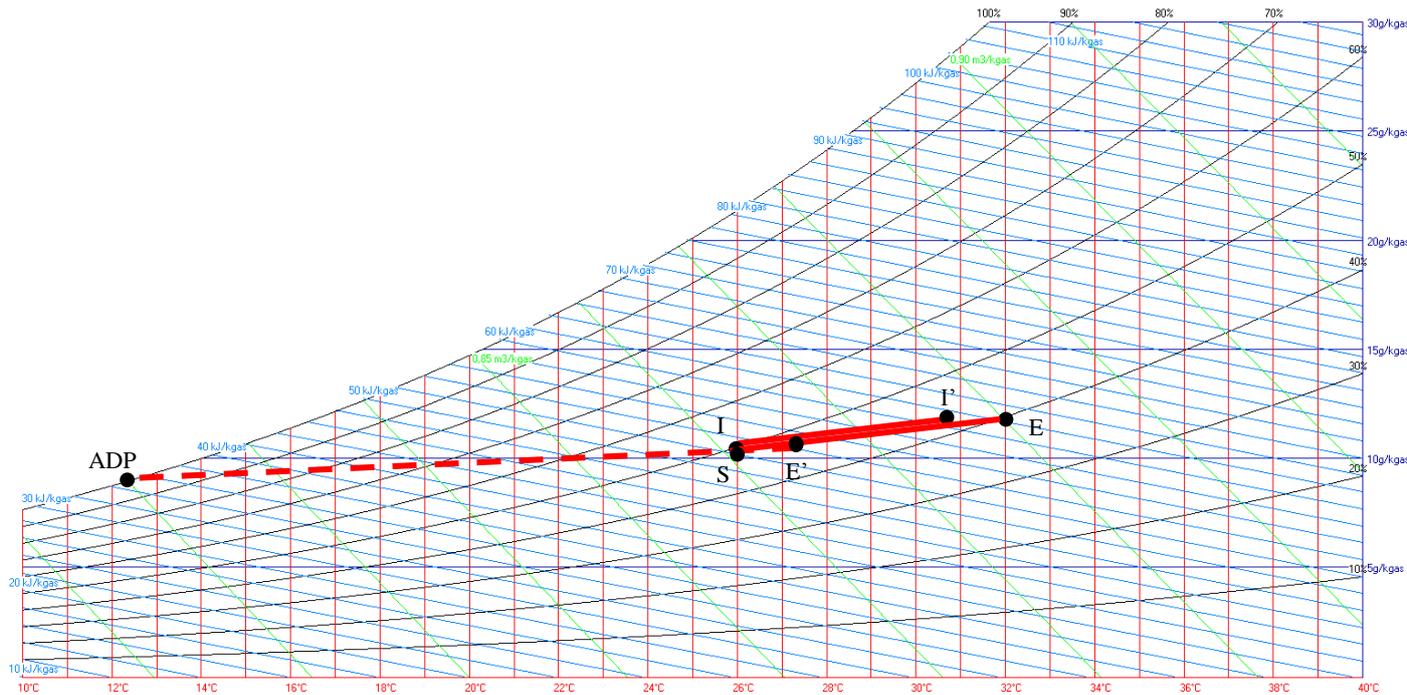
$$P_{BC} = \frac{qm_{BCS} \cdot (h_S - h_{E'})}{\eta_{BC}} \quad \underline{\text{AN}}: P_{BC} = \frac{\frac{4500}{3600} \times 3600 \times 0,842 \times (37,6 - 30)}{0,95} = 11,9 \text{ kW}$$

Débit d'eau de la batterie chaude :

$$P_{BC} = qm_{EC} \cdot c_p \cdot \Delta T_{EC} \quad \text{donc} \quad qm_{EC} = \frac{P_{BC}}{c_p \cdot \Delta T_{EC}}$$

$$\underline{\text{AN}}: qm_{EC} = \frac{11,9}{4,18 \times (90 - 70)} = 0,142 \text{ kg/s} = 512,4 \text{ l/h}$$

Dimensionnement BF CTA



Hypothèse : $\eta_{BF}=95\%$

Efficacité de l'échangeur rotatif : $\varepsilon = 80\%$ donc $T_{I'} = T_I + \varepsilon \cdot (T_E - T_I)$
AN: $T_{I'} = 26 + 0,8 \times (32 - 26) = 30,8^\circ\text{C}$

et $T_{E'} = T_E - \varepsilon \cdot (T_E - T_I)$
AN: $T_{E'} = 32 - 0,8 \times (32 - 26) = 27,2^\circ\text{C}$

Puissance de la batterie froide :

$$P_{BF} = \frac{q_{m_{BF,S}} \cdot (h_S - h_{E'})}{\eta_{BF}} \quad \text{AN: } P_{BF} = \frac{\frac{4500}{3600 \times 0,861} \times (52,9 - 51,6)}{0,95} = 1,99 \text{ kW}$$

Débit d'eau de la batterie froide :

$$P_{BF} = q_{m_{EF}} \cdot c_p \cdot \Delta T_{EF} \quad \text{donc} \quad q_{m_{EF}} = \frac{P_{BF}}{c_p \cdot \Delta T_{EF}}$$

AN: $q_{m_{EF}} = \frac{1,99}{4,18 \times (17 - 8)} = 0,053 \text{ kg/s} = 190,4 \text{ l/h}$

Facteur de bypasse ou "Bypass Factor" (BF) :

$$P_{BF} = \frac{T_S - T_{ADP}}{T_E - T_{ADP}} \quad \text{AN: } P_{BF} = \frac{26 - 12,5}{27,2 - 12,5} = 0,92$$

Efficacité de la batterie froide :

$$\varepsilon = 1 - BF \quad \text{AN: } \varepsilon = 1 - 0,92 = 0,08, \text{ soit } 8\%$$

Q35) Déterminer le niveau de pression total pour l'ensemble des 3 bouches de soufflage et déterminer la correction à apporter pour obtenir un niveau ISO 35. (DR11).

| | | Fréquence [Hz] | | | |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 |
| Atténuation acoustique A-B1 | [dB] | 11,2 | 14,4 | 30,7 | 57,4 |
| Atténuation acoustique A-B2 | [dB] | 11,6 | 15,0 | 32,3 | 61,7 |
| Atténuation acoustique A-B3 | [dB] | 12,0 | 15,6 | 32,9 | 62,8 |
| Lw ventilateur | [dB] | 77 | 80 | 82 | 85 |
| Lw B1 (avant la bouche) | [dB] | 65,8 | 65,6 | 51,3 | 27,6 |
| Lw B2 (avant la bouche) | [dB] | 65,4 | 65,0 | 49,7 | 23,3 |
| Lw B3 (avant la bouche) | [dB] | 65,0 | 64,4 | 49,1 | 22,2 |
| Lw total (avant la bouche) | [dB] | 70,2 | 69,8 | 54,9 | 29,8 |
| Lw bouche | [dB] | 42,0 | 35,0 | 30,0 | 25,0 |
| Lw total (après la bouche) | [dB] | 70,2 | 69,8 | 54,9 | 31,0 |
| Constante d'absorption du local R | [m ²] | 26,5 | 21,7 | 22,1 | 21,0 |
| Lp | [dB] | 65,1 | 64,7 | 49,9 | 26,0 |
| Norme ISO 35 | [dB] | 52,4 | 44,5 | 38,9 | 35 |
| Correction à apporter | [dB] | 12,7 | 20,2 | 11,0 | |

Q36) Sélectionner le piège à son en indiquant le nombre de baffles et l'espacement entre elles.

Exemple de sélection : 3 baffles espacées de 50 mm

Q37) Indiquer ou placer le(s) piège(s) à son en citant les contraintes à respecter pour optimiser ses performances.

En sortie de la CTA pour apporter une correction acoustique sur l'ensemble du réseau.

Q38) En quoi cette démarche facilite-t-elle l'exploitation et la maintenance des bâtiments (15 lignes maximum) ?

L'exploitation et la maintenance, sur la durée de vie du bâtiment, représente 80 à 85 % des coûts. La maquette numérique sert ainsi d'outil de gestion et d'exploitation à part entière permettant d'optimiser par exemple la maintenance préventive. La mise à disposition de données pertinentes dans un référentiel spatial permet d'améliorer la communication entre les différents intervenants, de faire des économies à la fois de temps, d'argent et d'efforts liés à l'analyse.

Q39) Afin de réaliser le rattachement planimétrique des pieux réalisés, le géomètre a matérialisé deux points 603 et 605 connus en coordonnées. En station sur le point 603 et en prenant comme référence angulaire le point 605, il a mesuré les angles horizontaux ainsi que les distances horizontales des axes des pieux. Calculer les coordonnées rectangulaires des différents axes. Sachant que la tolérance d'excentrement admise est de 12 cm, conclure.

Calcul du gisement entre la station et la référence :

| | | |
|-------|---------|---------|
| 605 | 941,446 | 724,446 |
| 603 | 973,760 | 719,472 |
| Delta | -32,314 | 4,974 |

$$G' = 90,277 \quad G \text{ 603-605} = 309,723 \quad \text{gon}$$

Calcul des gisements des axes des pieux puis leurs coordonnées rectangulaires :

| Station | Points | Angle mesuré | Gisement | Distance | X | Y |
|---------|--------|--------------|----------|----------|---------|---------|
| 603 | P60 | 384,601 | 294,324 | 16,440 | 957,385 | 718,008 |
| | P64 | 347,783 | 257,506 | 4,082 | 970,554 | 716,945 |
| | P66 | 365,79 | 275,513 | 18,102 | 956,981 | 712,680 |
| | P75 | 333,218 | 242,941 | 13,650 | 965,235 | 708,811 |
| | P77 | 311,674 | 221,397 | 11,700 | 969,901 | 708,427 |

Calcul des écarts :

| Coordonnées réelles | | Pieu | Coordonnées d'implantation | | Ecart en cm | |
|---------------------|---------|------|----------------------------|---------|-------------|--------------|
| X | Y | | X | Y | | |
| 957,385 | 718,008 | P60 | 957,368 | 718,006 | 1,7 | conforme |
| 970,554 | 716,945 | P64 | 970,547 | 716,940 | 0,9 | conforme |
| 956,981 | 712,680 | P66 | 956,854 | 712,629 | 13,6 | Non conforme |
| 965,235 | 708,811 | P75 | 965,202 | 708,770 | 5,3 | conforme |
| 969,901 | 708,427 | P77 | 969,880 | 708,365 | 6,5 | conforme |

Le pieu P66 est non conforme, il faudra créer une longrine de redressement entre les pieux P66 et P73.

Q40) Proposer des améliorations sur la méthode employée par le géomètre.

Afin de contrôler son travail, le géomètre aurait pu :

- Prendre une deuxième orientation et calculer un G0,
- Faire un double retournement sur ses mesures angulaires,
- Effectuer une fermeture en visant 605 en fin de levé,
- Effectuer un levé complémentaire à partir d'une autre station.

Q41) Calculer le prix de vente du poste Fourniture et pose de la récupération d'eau de pluie. Présenter le détail de calcul sous une forme de tableau explicite faisant apparaître le raisonnement et les prix intermédiaires : Déboursés Secs, Prix de revient, Prix de vente hors taxes, Prix T.T.C (Document réponse DR12).

| Données | | | |
|------------------------------|---|------|---|
| Frais de chantier | a | 0 | % |
| Frais généraux | b | 25 | % |
| Bénéfices et aléas | c | 11 | % |
| Prix de revient main d'œuvre | d | 40,1 | € |

| Description | Unité | Fournitures | Temps de pose | Quantité | Déboursé sec (DS) | | | Coût de réalisation (CR) | Prix de revient (PR) | Prix de vente H.T. (PVHT) |
|--|-------|-------------|---------------|----------|-------------------|------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | | | | | Pose seule | Fournitures | Fournitures et pose | | | |
| | | | | | € HT | € HT | € HT | | | |
| | | € HT | h | U | € HT | € HT | € HT | € HT | € HT | € HT |
| | | e | f | g | $h = d \times f$ | $i = e \times g$ | $j = h + i$ | $k = j \times (1 + a/100)$ | $l = k \times (1 + b/100 + c/100)$ | $m = l \times (1 + d/100)$ |
| Mise en place cuve béton 30m ³ + filtration, compris terrassement, sablon de fond de fouilles pour mise à niveau, pose de la cuve et remblaiement | U | 11 500 | 70 | 1 | 2807,00 | 11500 | 14307,00 | 14307,00 | 17883,75 | 19850,96 |
| Gestionnaire de récupération d'eau de pluie comprenant surpresseur, réservoir tampon, flotteur, électrovanne. | U | 4 500 | 16 | 1 | 641,60 | 4500 | 5141,60 | 5141,60 | 6427,00 | 7133,97 |
| Réseau d'alimentation de l'ensemble des WC du bâtiment B depuis le gestionnaire de récupération d'eau de pluie | ml | 30 | 0,12 | 30 | 144,30 | 900 | 1044,30 | 1044,30 | 1305,38 | 1448,97 |
| | | | | | | | | | TOTAL HT | 28433,90 |
| | | | | | | | | | TVA 20% | 5686,78 |
| | | | | | | | | | TOTAL TTC | 34120,68 |

Q42) Déterminer l'économie financière réalisée grâce à cet équipement.

Q43) Déterminer le temps retour sur investissement. Conclure sur l'intérêt de cette variante.

| | | |
|--|------|----------------------|
| Volume d'eau annuel nécessaire pour les WC | 520 | m ³ |
| Pourcentage des besoins d'eau des WC assuré par l'eau de pluie | 80 | % |
| Volume d'eau annuel économisé | 416 | m ³ |
| Prix de l'eau potable | 4 | € TTC/m ³ |
| Economie financière réalisée | 1664 | € |
| Temps de retour sur investissement | 20,0 | ans |

Q44) Indiquer les simplifications et les paramètres non pris en compte dans les calculs précédents.

- Evolution du prix de l'eau
- Coût d'exploitation de l'installation
- Eventuelle pénurie d'eau

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

Le sujet proposé portait sur la construction d'un programme immobilier à vocation de bureaux se décomposant en trois volumes :

- Le bâtiment A à destination d'un seul investisseur pour 6400 m²,
- Le bâtiment B à vocation locative pour 1750 m²,
- Le parking de 99 places sur trois niveaux.

Le questionnaire se composait de 3 parties indépendantes :

- Partie B1 : étude de la structure porteuse,
- Partie B2 : étude des équipements techniques – Energie,
- Partie B3 : Organisation.

Le jury regrette que de trop nombreux candidats choisissent de n'aborder que les parties correspondant à leur spécialité : *structure et ouvrages* ou *thermique et énergétique*.

Dans chaque étude le questionnaire est de difficulté graduelle, et chaque candidat à l'agrégation option IC, qu'il soit spécialisé ou non, doit pouvoir appréhender la problématique de chaque étude et traiter au moins une partie du questionnement. Le jury invite donc les candidats les plus spécialisés à s'ouvrir plus aux domaines connexes de l'ingénierie des constructions et à compléter leurs connaissances sur ces thèmes.

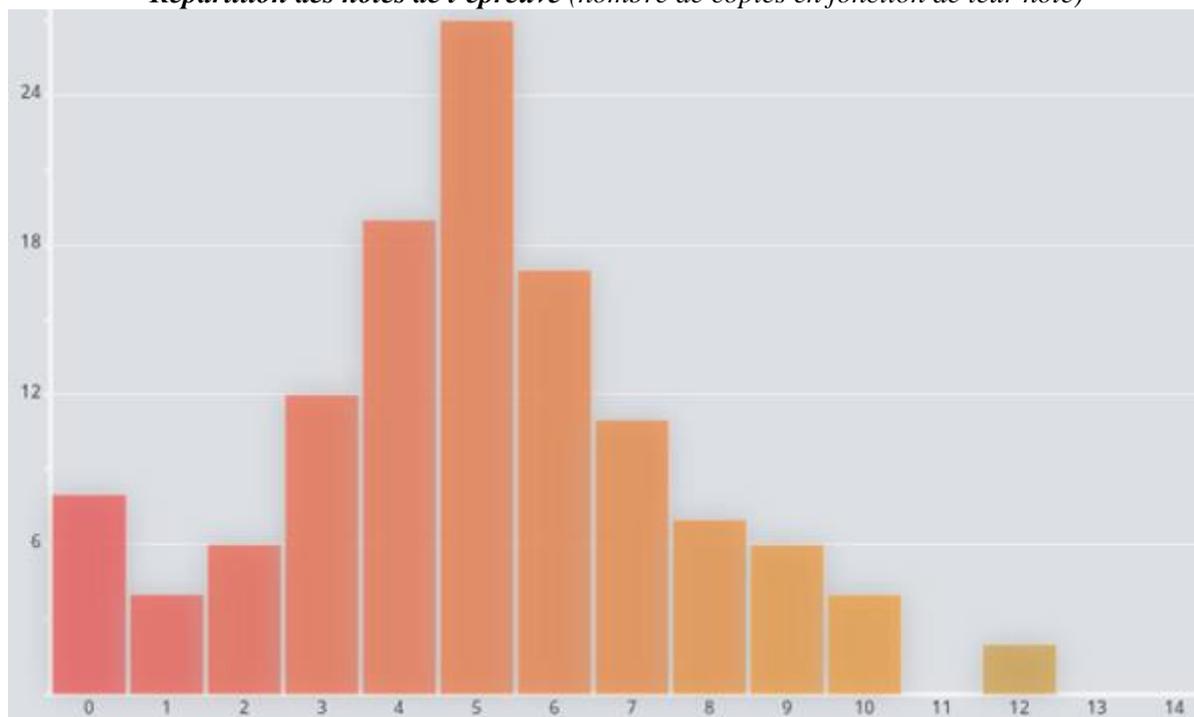
Pour la majorité des questions, en complément des résultats de calculs proprement dits, il était demandé de justifier les choix effectués, les calculs réalisés et d'analyser et commenter les résultats obtenus.

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

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

123 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 5,49/20, avec un écart-type de 2,54. La meilleure note est 12,08, la plus faible est 0,08.

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

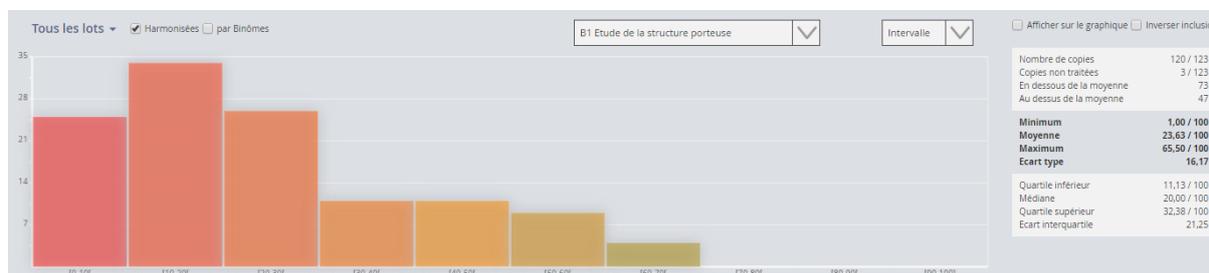


Analyse détaillée par partie du sujet

B1 : Etude de la structure porteuse

(Questions 1 à 19)

Résultats : partie non traitée par 3 candidats/123, moyenne 4.72/20, écart type de 3.23



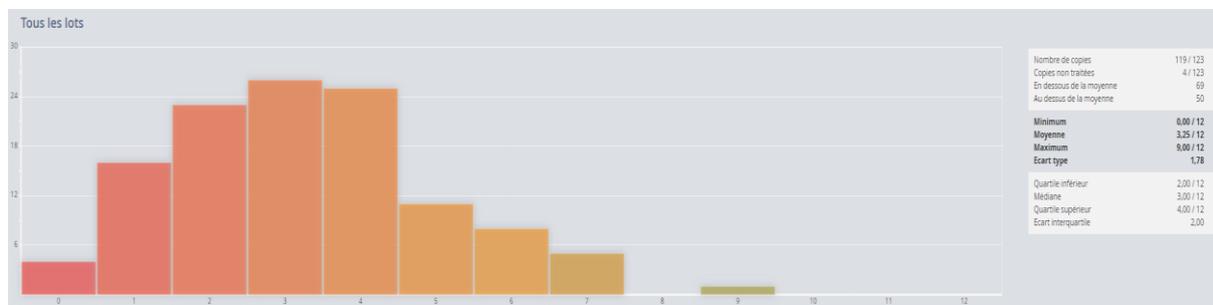
B1.1 : Choix constructifs

(Questions 1 à 9)

B1.1.1 : Analyse du joint de dilatation sur les files Ba-Ba'

(Questions 1 à 3)

Résultats : partie non traitée par 4 candidats/123, moyenne 5.42/20, écart type de 2.97

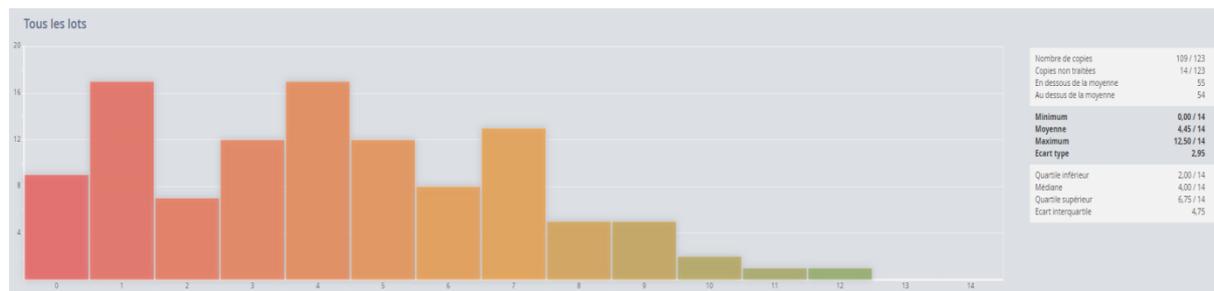


Cette partie avait pour but d'analyser les fonctions d'un joint de dilatation et de proposer des solutions techniques sur le traitement de ce joint au droit de l'ascenseur ainsi que sur la réalisation de la partie biaisée par le GO. Cette partie a été abordée par l'ensemble des candidats. Les fonctions d'un joint de dilatation sont connues par la plupart, malheureusement, les parties plus techniques telles que le traitement du joint ou bien la réalisation de la structure restent trop succinctes et généralistes.

B1.1.2 : Analyse des fondations

(Questions 4 à 6)

Résultats : partie non traitée par 14 candidats/123, moyenne 6.36/20, écart type de 4.21



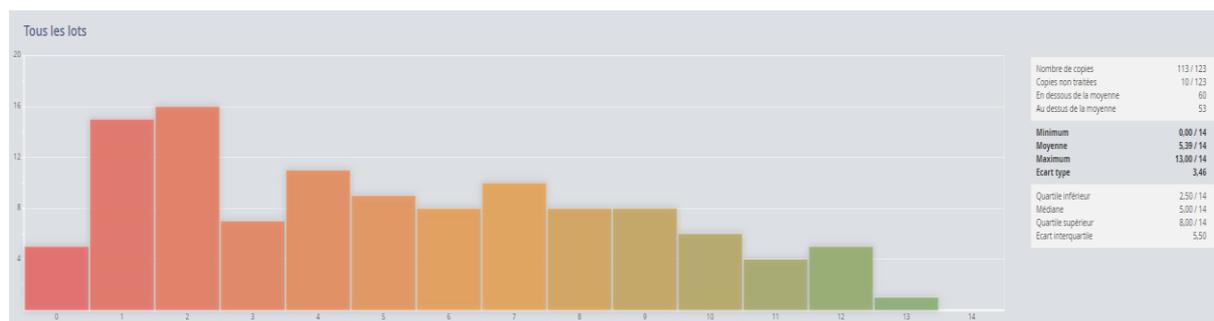
Cette seconde partie concernait la réalisation des pieux. Dans un premier temps, il fallait donner le principe de réalisation des pieux à la tarière creuse. Ensuite, il était demandé de réaliser une coupe sur les fondations. Enfin, il fallait analyser la réalisation d'un pieu foré tubé afin d'en réaliser le PAQ.

Il est regrettable de constater que les candidats ne maîtrisent pas la réalisation de ces types de pieux qui font partie des classiques dans la construction d'ouvrage. La partie concernant le PAQ a été mieux traitée, toutefois les candidats se sont trop souvent limités à utiliser les extraits du CCTP. La partie dessin a peu été abordée. Il s'agissait de dessiner une coupe sur les fondations en intégrant les différents niveaux. Le jury déplore la faible qualité graphique des candidats ainsi que leur incapacité à proposer une solution cohérente.

B1.1.3 : Analyse du bassin de rétention

(Questions 7 à 9)

Résultats : partie non traitée par 10 candidats/123, moyenne 7.70/20, écart type de 4.94



Cette troisième partie avait pour but d'analyser les fonctions du bassin et de le dimensionner par la méthode des pluies puis proposer des solutions technique vis-à-vis du GO et de la régulation.

Les différentes questions ont été abordées par de nombreux candidats et plutôt bien traitées. Toutefois certains candidats ont fait des confusions sur le rôle de ce bassin ainsi que sur son dimensionnement (surface bassin versant et surface du bassin).

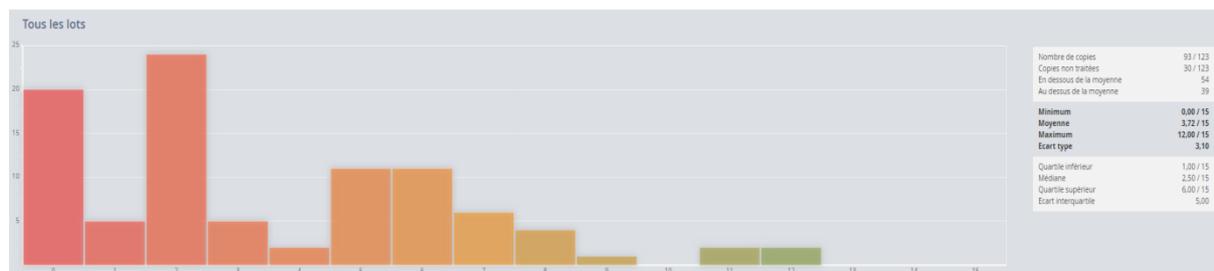
B1.2 : Structure

(Questions 10 à 19)

B1.2.1 : Descente de charge

(Questions 10 à 11)

Résultats : partie non traitée par 30 candidats/123, moyenne 4.96/20, écart type de 4.13



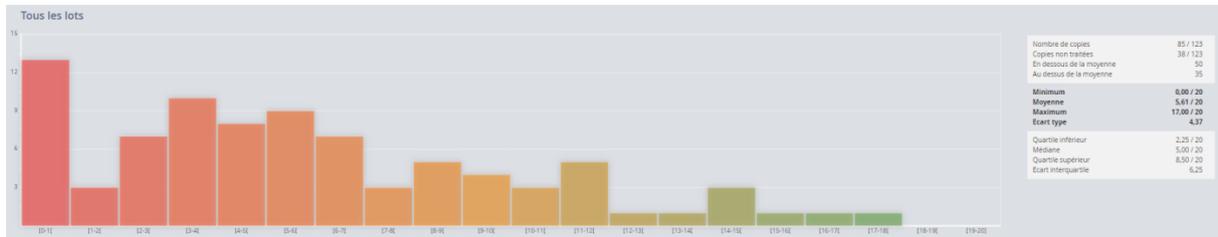
Cette partie avait pour but de compléter la descente de charge partielle.

Cette partie a été abordée par les $\frac{3}{4}$ des candidats. La régression et la minoration des charges d'exploitation sont presque inconnues par les candidats. De nombreuses erreurs sont commises (confusion entre poids et masse – réalisation de la descente de charge complète). Le jury regrette le manque de rigueur et de structuration des candidats.

B1.2.2 : Dimensionnement d'un poteau

(Questions 12 à 15)

Résultats : partie non traitée par 38 candidats/123, moyenne 5.61/20, écart type de 4.37



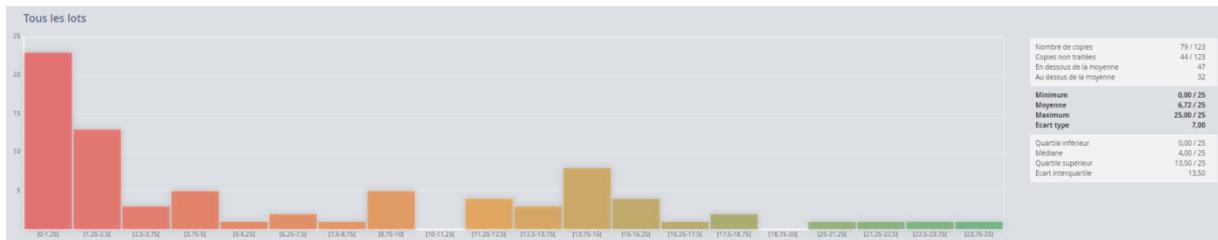
Dans cette partie, on se proposait de dimensionner des armatures longitudinale et transversale d'un poteau de section carrée avec pour finalité le plan d'armatures. Il fallait dans un premier temps déterminer la longueur de flambement puis les sections des armatures.

Quelques candidats ont bien traité les différentes questions. Malheureusement la majorité n'a pas mené l'étude à son terme. L'organigramme de dimensionnement était fourni, malgré cela, de nombreuses erreurs ont été commises. La représentation graphique est trop souvent de mauvaise qualité. Les candidats ne semblent pas posséder les bases du principe de ferrailage d'un élément en béton armé.

B1.2.3 : Dimensionnement d'une poutre

(Questions 16 à 19)

Résultats : partie non traitée par 44 candidats/123, moyenne 5.38/20, écart type de 5.60



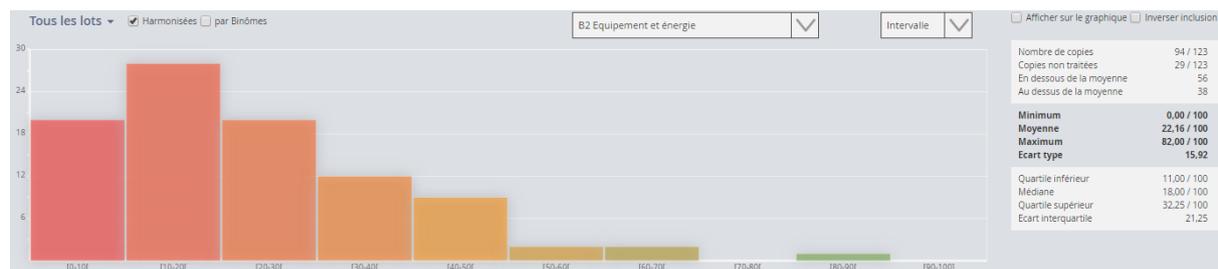
Dans cette partie, on abordait le dimensionnement des armatures longitudinale et transversale d'une poutre. Il fallait dans un premier temps déterminer les cas de charge conduisant au calcul des moments fléchissant, puis les sections des armatures afin de proposer un plan de principe de celles-ci.

Un tiers des candidats n'a pas abordé cette partie. Quelques copies sont de bonne qualité. Les cas de charge semble bien connus des candidats. Mais le manque de rigueur des candidats ainsi que les confusions dans les unités conduisent à de trop nombreuses erreurs. Trop de candidats ne semblent pas connaître le principe de ferrailage d'une poutre ni sa représentation.

B2 : Équipements techniques - Énergie

(Questions 20 à 37)

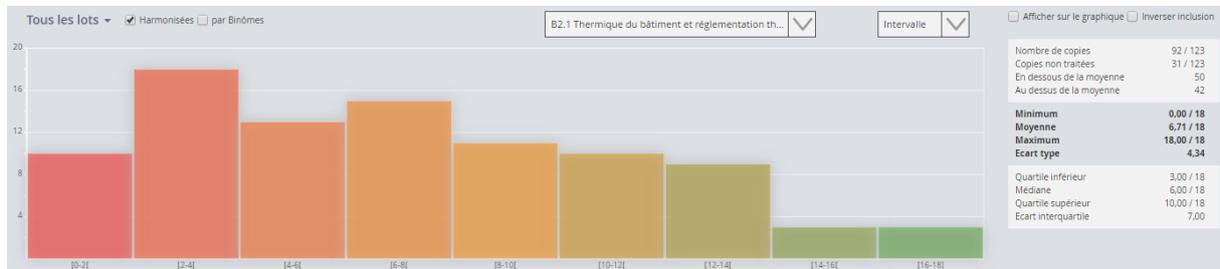
Résultats : partie non traitée par 29 candidats/123, moyenne 4.43/20, écart type de 3.18



Il est regrettable qu'un quart des candidats n'ait pas essayé de traiter cette partie. Certains d'entre eux, plus spécialistes de la partie structure, ont utilisé l'ensemble du temps disponible pour traiter la partie B1 sans prendre connaissance de la partie B2. Cela semble être un mauvais choix car pour chaque sous-partie, les premières questions ont été relativement accessibles sans forcément être un expert en énergétique.

B2.1 : Thermique du bâtiment et réglementation thermique (Questions 20 à 24)

Résultats : partie non traitée par 31 candidats/123, moyenne 7.46/20, écart type de 4.82



L'objectif de cette partie était d'analyser les résultats de l'étude Thermique Règlementaire RT2012 du bâtiment, de proposer des solutions d'amélioration énergétique sur le bâti et les systèmes et de montrer l'influence de la perméabilité du bâti sur les performances énergétiques.

Cela nécessitait de connaître et de comprendre les facteurs influant sur le Bio, le Cep et la Tic et d'avoir une culture technologique sur l'architecture bioclimatique, les systèmes énergétiques performants incluant des EnR et les matériaux performants ainsi que les DJU et la notion d'énergie primaire.

Cette partie, assez accessible, a été moyennement bien traitée et peu de candidats ont réussi à obtenir l'ensemble des points.

B2.2 : Conditionnement d'air et réseaux hydrauliques (Questions 25 à 34)

Résultats : partie non traitée par 41 candidats/123, moyenne 5.44/20, écart type de 3.89



Les objectifs de cette partie étaient de :

- répertorier, analyser et proposer des améliorations sur les choix technologiques fournis par l'extrait du CCTP pour les parties production de chaleur, chauffage et conditionnement du bâtiment,
- dimensionner et sélectionner des éléments technologiques (pompes, batteries chaudes et froides d'une Centrale de Traitement d'Air)
- équilibrer un réseau aéraulique en déterminant les pertes de charge et en sélectionnant des registres d'équilibrage.

Les premières questions de chaque sous-partie ne demandaient pas de connaissances très spécifiques et ne comportaient pas de phases calculatoires. En ayant une capacité d'analyse et de synthèse, elles pouvaient être traitées au moins partiellement.

La suite était plus calculatoire (calcul de pertes de charges, équilibrage de réseaux aérauliques, dimensionnement de pompe, tracé d'évolution sur le Diagramme de l'Air Humide (DAH), dimensionnement et sélection de Batteries Chaude et Froide d'une Centrale de Traitement d'Air...) et demandait donc des connaissances assez spécifiques. Cela explique qu'une majorité des candidats ait fait le choix de ne pas traiter ces questions. Toutefois, quelques candidats ont obtenu quasiment la totalité des points.

B2.3 : Etude acoustique de la salle située au RDC bas (Questions 35 à 37)

Résultats : partie non traitée par 94 candidats/123, moyenne 2.83/20, écart type de 3.75



L'objectif de cette partie était de déterminer la correction acoustique à apporter à un réseau aéraulique pour obtenir un niveau ISO35 et de sélectionner et implanter un piège à son.

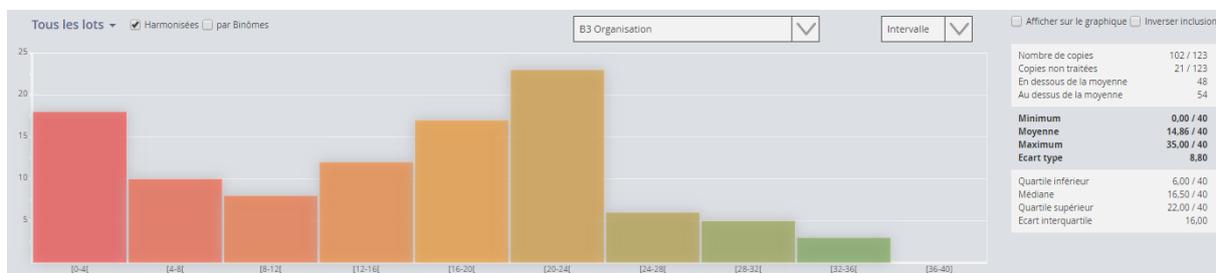
Cette partie a été très rarement traitée et un seul candidat a réussi à obtenir quasiment la totalité des points. Cela s'explique par le fait que :

- les connaissances en acoustique des candidats restent très limitées,
- cette partie était positionnée à la fin de la partie B2,
- les candidats ont priorisé d'autres parties du sujet.

B3 : Organisation

(Questions 38 à 44)

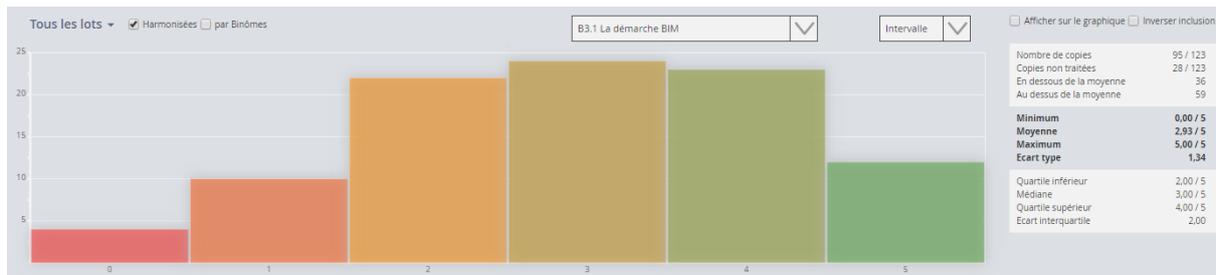
Résultats : partie non traitée par 21 candidats/123, moyenne 7.43/20, écart type de 4.40



B3.1 : La démarche BIM

(Question 38)

Résultats : partie non traitée par 28 candidats/123, moyenne 14.65/20, écart type de 6.70



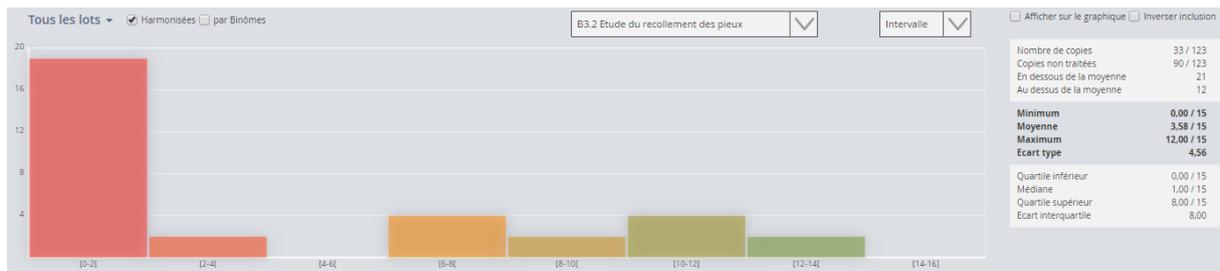
L'objectif de cette partie était de vérifier que le concept et les enjeux du BIM étaient connus et compris.

Cette question a été traitée par un grand pourcentage des candidats. Toutefois, une grande majorité répond trop généralement en expliquant ce qu'est le BIM et ne développe pas suffisamment les atouts en phase d'exploitation. Nous conseillons donc aux candidats de bien lire les questions et d'y répondre précisément.

B3.2 : Étude du recollement des pieux

(Questions 39 à 40)

Résultats : partie non traitée par 90 candidats/123, moyenne 4.77/20, écart type de 6.08



L'objectif de cette partie était de vérifier l'implantation des pieux après réalisation et faisait appel à des connaissances topographiques de base.

Cette question a été traitée par un très faible pourcentage des candidats. Visiblement les candidats n'ont pas de notion de topographie et les formules de bases ne sont pas connues (transformation de coordonnées polaires en rectangulaires).

B3.3 : Étude économique

(Questions 41 à 44)

Résultats : partie non traitée par 43 candidats/123, moyenne 13.98/20, écart type de 5.31



L'objectif de cette partie était de réaliser le chiffrage d'un système de récupération d'eau de pluie, d'évaluer l'économie annuelle réalisable et de déterminer le temps de retour sur investissement.

Cette partie, relativement facile et ne nécessitant pas de connaissances très spécifiques, semblait accessible pour la grande majorité des candidats. Les candidats l'ayant traitée ont dans l'ensemble montré qu'ils maîtrisaient les différentes étapes permettant de déterminer le prix de vente d'un ouvrage (déboursés secs, prix de revient, prix de vente HT et prix TTC) ainsi les facteurs intervenant dans la détermination d'un Temps de Retour sur Investissement (TRI). Pourtant 1/3 ne l'a pas traitée certainement par manque de temps et/ou car elle était située à la fin du sujet. Il nous semble donc important de rappeler qu'en début d'épreuve, il est nécessaire de lire l'ensemble du sujet et de gérer le temps imparti de manière à aborder l'ensemble des parties.

B. Epreuves d'admission

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

I.1 Exemple de sujet

Etude d'un bras collaboratif

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

Partie 1.1 – Conception de l'architecture de la séquence de formation imposée (0h45)

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

Contexte pédagogique de la séquence de formation imposée

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

- titre de la séquence : analyser et modéliser les composants réalisant la fonction « acquérir » ;
- niveau de formation visé : première série S – enseignement spécifique de sciences de l'ingénieur ;
- supports pédagogiques à disposition dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur. Ces supports sont judicieusement choisis pour répondre au besoin pédagogique de la séquence imposée :
 - o robot haptique ;
 - o système incubateur ;
 - o robot Evolap ;
 - o hémomixer (balance de don du sang) ;
 - o cordeuse de raquettes SP55 ;
 - o drone didactique D2C ;
 - o compacteur Big Belly ;
 - o pilote hydraulique de bateau.
- Effectif : classe de 36 élèves, groupe à effectif réduit de 18 élèves ;
- Volume horaire : 7 heures hebdomadaires (2 h classe entière + 2 h TD + 2h TP + 2h TPE).

Documents fournis et accessibles dans le dossier « contexte pédagogique » :

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

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

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

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

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

Problématique associée à ce TP

Pour réduire les risques de troubles musculo-squelettiques, certains constructeurs de matériel de manutention proposent des solutions de levage intelligentes qui assistent l'opérateur dans la manipulation de charges lourdes. Un robot collaboratif permet d'assister l'humain dans les tâches industrielles où il est nécessaire d'appliquer un effort répétitif pendant le travail.

L'objectif de la commande collaborative est de faire ressentir une masse légère à l'utilisateur même si le robot avec lequel il collabore déplace une lourde charge. Elle consiste à mesurer l'intention de l'humain, force appliquée sur la poignée de manipulation (capteur d'effort), puis à calculer la commande correspondante du robot (consigne de vitesse).

Présentation du support

Le support proposé est le robot CoMAX, support pédagogique qui s'inspire du robot collaboratif industriel SAPELEM.

Le logiciel Comax_EMP (Environnement Multimédia Pédagogique), accessible depuis le bureau, présente de manière interactive le système et ses constituants.

Le robot SAPELEM

Le système repose sur l'utilisation d'un système de levage motorisé à câble associé à une poignée communicante intégrant le capteur d'effort.

La poignée communique en permanence (via une liaison sans fil) l'intention de l'opérateur au système de levage.

Celui-ci réagit alors en conséquence et assiste l'opérateur pour qu'il puisse déplacer l'objet manutentionné sans en percevoir son poids.

Le système s'auto-ajuste dans le cas de charges variables (bidons que l'on vide) et intègre de nombreuses sécurités (coupure d'alimentation, surcharges, etc).

Le diagramme des exigences du robot SAPELEM est donné dans le document ressource DR1.



Le robot collaboratif CoMAX

Une interface de commande et d'acquisition installée sur le poste informatique permet, entre autres :

- de piloter le robot CoMAX selon quatre types de commandes possibles (mode collaboratif, mode asservissement de position, mode asservissement de vitesse, mode asservissement d'intensité - boucle ouverte -) ;
- de réaliser des mesures (intensité du courant, position et vitesse moteur, effort sur la poignée).

Les diagrammes d'exigence du robot CoMAX sont fournis sur les documents ressource DR2 et DR3.

Un synoptique de la commande collaborative est fourni figure 1, issue de l'interface de pilotage du système.

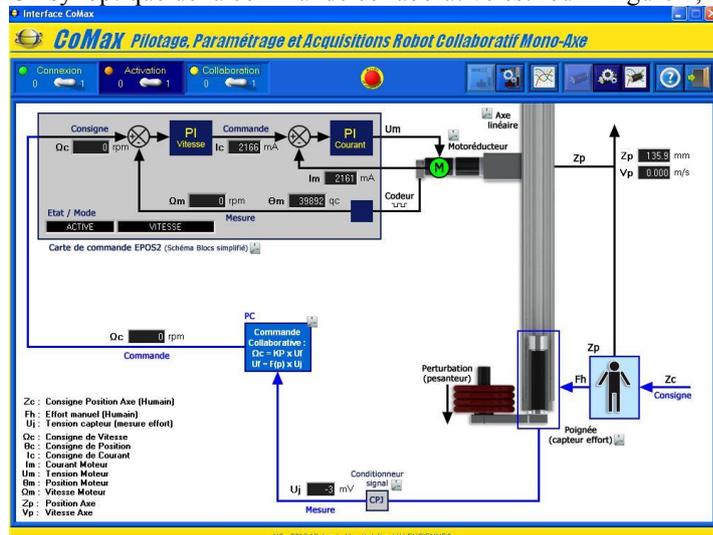


Figure 1 – Commande collaborative du robot CoMAX

Le dossier ressource, fourni sous format numérique, comprend :

- DR1 – diagramme des exigences SAPELEM ;
- DR2 – diagrammes des exigences CoMAX ;
- DR3 – exigences techniques CoMAX ;
- DR4 – aide à la manipulation et protocoles ;
- DR5 – diagramme d'états de l'interface ;
- DR6 – descriptif du sous-système annexe ;

- DR7 – aide à l'utilisation de Scilab-Xcos.

Le dossier technique, fourni sous format numérique, comprend –

- DT1 – cahier des charges ;
- DT2 – géométrie de la potence articulée ;
- DT3 – axe linéaire ;
- DT4 – motoréducteur ;
- DT5a – capteur de force ;
- DT5b – conditionneur capteur de force ;
- DT6 – codeur.

Activité 1 Analyse des exigences du cahier des charges

Mettre en service le système depuis l'interface de pilotage en activant les boutons « Connexion » puis « Activation ». Activer le mode collaboratif « Collaboration ». Agir manuellement sur la poignée et observer les évolutions des différentes grandeurs physiques mesurables et observables depuis le synoptique de la page d'accueil de l'interface.

Renouveler l'expérience avec des masses supplémentaires embarquées.

- Indiquer à quel besoin répond le système et son domaine d'application.
- Proposer un schéma cinématique global du robot collaboratif, sans représenter l'actionneur ni les transmetteurs.

Désactiver alors la commande collaborative à l'aide du bouton de sélection.

Activité 2 Analyse du comportement de la boucle collaborative.

- Désactiver le filtre réjecteur : depuis le menu « Paramétrer Comax », sélectionner « commande collaborative », décocher « Filtre réjecteur du mode de structure ». Quitter ce menu.

Réactiver la boucle collaborative et observer la différence de comportement en actionnant manuellement la poignée.

- Visualiser le signal du capteur d'effort en mode collaboratif en suivant le protocole suivant :

- si nécessaire, enlever les masses ajoutées et quitter le mode collaboratif ;
- depuis le menu « Positionner comax », positionner l'axe en position haute ;
- accrocher une masse de 1 kg à la poignée (voir figure ci-contre) ;
- accéder au menu « Acquisition axe », puis « Paramétrer Acquisition » et sélectionner « entrée analogique 1 » dans « Variable » ;
- quitter ce menu ;
- quitter le menu « Acquisition axe », sélectionner le mode collaboratif, enfin revenir à « Acquisition axe ».

Mesurer les fréquences des oscillations observées.

- Préciser quelle exigence technique du bras n'est pas satisfaite (voir DR3).



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

Problématique technique et scientifique :

Analyser les phénomènes vibratoires et régler la commande collaborative afin de les maîtriser.

La structure porteuse du bras induit des phénomènes vibratoires qui peuvent perturber fortement son comportement lors de son utilisation.

Les objectifs sont de :

- analyser les solutions techniques retenues dans la conception du robot CoMAX par une analyse qualitative du fonctionnement ;
- analyser le comportement vibratoire de la structure porteuse ;
- modéliser le comportement de la chaîne d'énergie du robot en vue du réglage de la commande collaborative ;
- proposer un réglage de la commande collaborative.

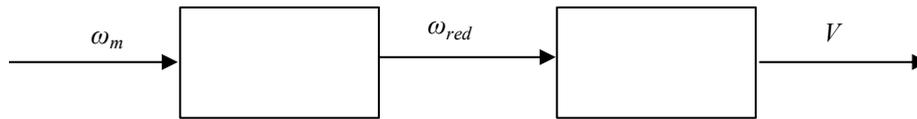
Pour la suite du TP, réactiver le filtre réjecteur.

1.3.1 Analyse structurelle de l'axe linéaire

Objectif : présenter la structure de la chaîne d'énergie.

Activité 3 À partir des documents techniques, et/ou de l'EMP (logiciel Comax_EMP), compléter sur le document réponse DRep1 la structure fonctionnelle de la chaîne d'énergie.

Activité 4 À partir des documents techniques DT3 et DT4, déterminer le rapport de transmission de l'axe collaboratif $K_{tran} = \frac{V}{\omega_m}$ où V est la vitesse linéaire de l'axe (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et ω_m la vitesse du moteur (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$).



1.3.2 Élaboration d'un modèle de connaissance de la chaîne d'énergie

Objectif : Identifier les actions mécaniques mises en jeu.

Le couple c_m fourni par l'actionneur sur l'axe collaboratif peut s'exprimer par :

$$c_m(t) = J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} \pm c_s + c_{pes}$$

avec $\omega_m(t)$ la vitesse angulaire du moteur, J_{eq} l'inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée à l'arbre moteur, c_s le couple de frottement sec maximal et c_{pes} le couple dû à l'action de la pesanteur ramené à l'arbre moteur.

On rappelle que le couple moteur c_m est lié à l'intensité du courant dans l'induit i par la constante de couple :

$$c_m(t) = K_m \cdot i(t)$$

La constante de couple du moteur est $K_m = 30,2 \text{ mN}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$.

Activité 5 Analyse du comportement en boucle ouverte

Suivre le protocole suivant :

- mettre une masse de 1kg sur le support de masse ;
- désactiver si nécessaire la commande collaborative et repositionner l'axe en position intermédiaire ;
- sélectionner « Acquisition Axe » puis préparer les acquisitions en cliquant « Paramétrer Acquisition », puis « Paramètres par défaut » et sélectionner « Asservissement en Courant ». Rajouter l'acquisition de la vitesse moteur ;
- revenir au menu « Acquisition axe » ;
- lancer une sollicitation en Courant (BO) en cliquant sur « Commander Axe ». Depuis le mode asservissement, sélectionner COURANT(BO) et régler la consigne à la valeur voulue (500 mA) ;

Observer les courbes et justifier le comportement de l'axe.

En repartant de la position Intermédiaire, renouveler le protocole précédent (sollicitation en courant) pour les valeurs de courant $i = 3\,000 \text{ mA}$ et $i = 5\,000 \text{ mA}$ (si nécessaire, se remettre en position intermédiaire à chaque mesure).

Expliquer le comportement observé.

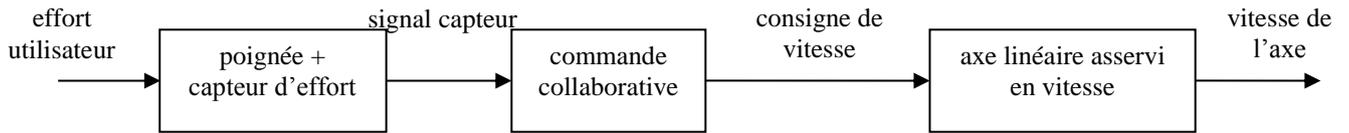
Activité 6 Déterminer expérimentalement c_{mm} et c_{md} les couples moteurs à la limite du mouvement respectivement en montée et en descente avec une masse de 1kg. En déduire les valeurs des couples c_{pes} et c_s .

1.3.3 Analyse structurelle de la commande collaborative

Objectifs :

- identifier la structure de commande de la commande collaborative ;
- proposer un modèle de comportement du capteur d'effort.

La structure de commande collaborative du CoMax est donnée ci-après.



Activité 7 À partir des documents techniques, et/ou de l'EMP, compléter sur le document réponse DRep1 la structure fonctionnelle de la chaîne d'information.

Activité 8 Proposer un protocole pour identifier expérimentalement la valeur du gain de mesure G_j défini par $G_j = \frac{U_j}{F}$ où U_j est la tension mesurée par le capteur (mV) affichée sur le synoptique de l'IHM (figure 1) et F l'effort utilisateur (N).

1.3.4 Mise en œuvre d'une commande collaborative

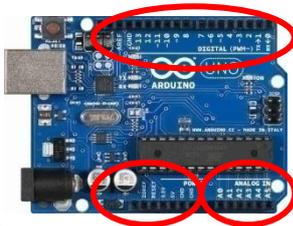
Objectif : mettre en œuvre sur un sous-système indépendant, une commande de vitesse proportionnelle à un effort appliqué.

Le candidat dispose pour cette question du matériel suivant :

- un moto-réducteur à courant continu de rapport de réduction 1/53, avec un encodeur monté sur l'arbre moteur. Cet encodeur est composé d'un aimant rotorique (4 pôles nord et de 4 pôles sud) et de 2 cellules à effet Hall montées en quadrature sur le stator du moteur ;
- une alimentation extérieure ;
- une carte de type Arduino UNO (micro-contrôleur) avec 6 entrées analogiques notées A0 à A5, munies d'un convertisseur 10 bits, et 14 entrées/sorties numériques notées 0 à 13 ;

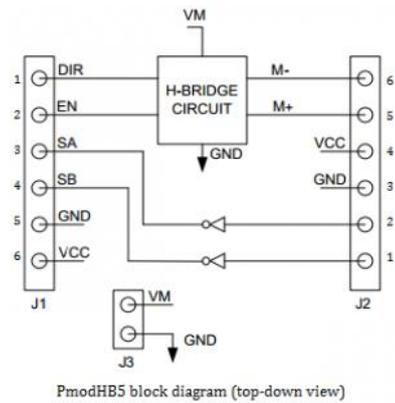
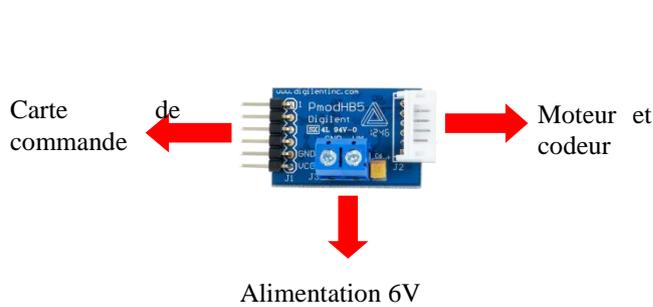


Entrées/sorties numériques

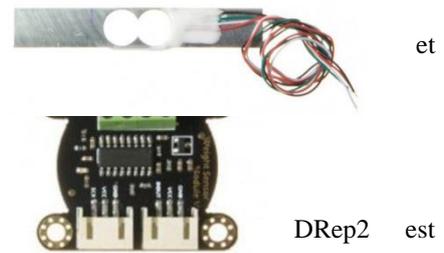


Puissance (Masse Entrées
3,3V 5V) analogiques

- un module de commande pour moteur CC PModHB5. Il s'agit d'une interface de puissance contenant un hacheur, permettant de piloter un moteur à courant continu (de 6V à 12V maxi), 2A maximal en pointe. Il comporte :
 - o - une entrée logique DIR pour le réglage du sens de rotation du moteur ;
 - o - une entrée numérique EN pour un signal PWM (Pulse Width Modulation) réglant la tension du moteur ;
 - o - deux sorties SA et SB avec trigger de Schmitt pour récupérer les informations issues des 2 cellules à effet Hall du codeur ;
 - o - la masse GND ;
 - o - une entrée d'alimentation 3,3 V.



- un capteur de force 1 kg, constitué d'une barre d'aluminium avec jauges de déformations en pont de Wheatstone. Il est relié à une interface SEN0160 comprenant une amplification un convertisseur analogique numérique HX711 et se raccordant à la carte Arduino ;

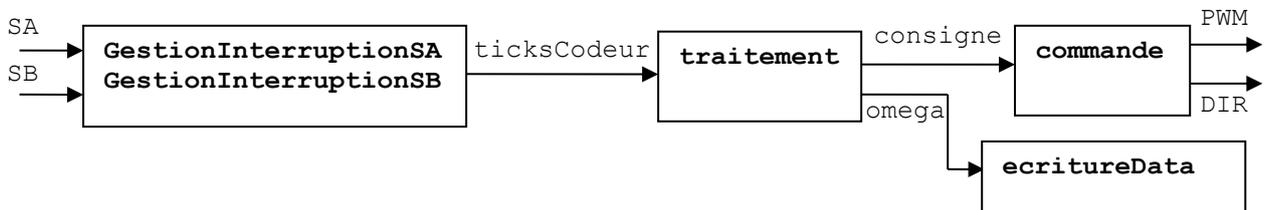


Un document ressource de ce sous-système est fourni DR6.

La structure globale du programme donné dans le document réponse accessible sous Arduino dans le fichier « Contrôle_Commande.ino ».

Ouvrir sous Arduino ce fichier. Il comporte :

- une entête déclarative : fichiers d'inclusion, déclaration des constantes et des variables globales ;
- une fonction setup : configuration des broches, initialisation des variables, des fonctionnalités et des interruptions ;
- les instructions, dont la fonction loop qui est exécutée en boucle. Ici cette fonction permet juste de lancer un timer exécutant la fonction traitement à cadence fixe. Les fonctions et variables utilisées s'organisent selon le schéma ci-dessous.



Pour mettre en place une commande numérique, il faut que les calculs de la commande du moteur se fassent à un intervalle de temps régulier. Pour cela, on utilise un timer qui permet d'exécuter une fonction précise tous les x millisecondes. Le timer est importé avec le module `SimpleTimer`. Dans ce programme, la fonction `traitement` est exécutée à cadence fixe (toutes les 20 ms).

```
void traitement(){
  // Calcul de la vitesse de rotation
  omega=ticksCodeur/(dt*16) ; //vitesse moteur en tour/s
  // commande moteur
  int consigne=255 ; // à modifier Activité 9
  commande(consigne);

  // Ecriture des données sur la liaison série
  ecritureData();
  // Réinitialisation ticks codeur
  ticksCodeur = 0;
}
```

Sur une carte Arduino UNO, il existe deux lignes d'interruption (numérotées 0 et 1), correspondant aux broches 2 et 3, reliées aux signaux *SA* et *SB*. L'intérêt d'une ligne d'interruption est qu'elle permet, comme son nom l'indique, d'interrompre le déroulement des calculs sur le micro-contrôleur pour effectuer un traitement spécifique, en l'occurrence la mise à jour du compteur d'impulsions, avant de rendre la main à la boucle principale.

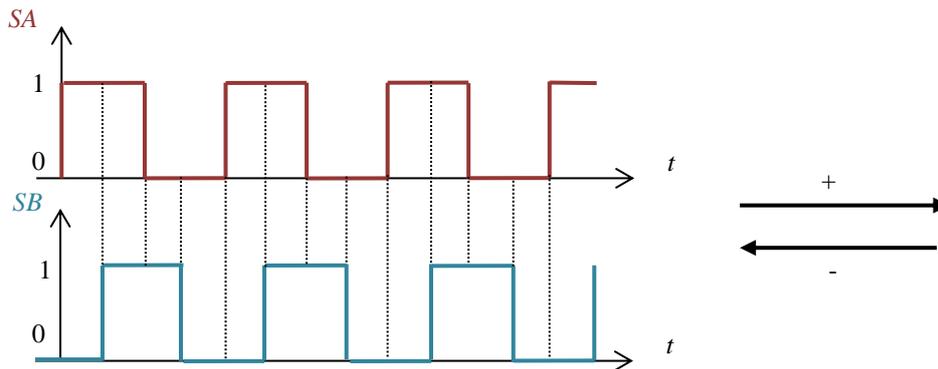
Activité 9 Mise en place d'une mesure de position et de vitesse.

a) Téléverser ce programme dans la carte et tester pour différentes valeurs de commande (entre 0 et 255). La commande est modifiable dans la traitement :

```
int consigne=255 ; commande à modifier
```

Dans ce programme, deux interruptions déclenchent les fonctions `GestionInterruptionSA()` et `GestionInterruptionSB()` à chaque transition sur les broches 2 et 3, correspondant aux signaux *SA* et *SB* du codeur.

Les signaux *SA* et *SB* issus du codeur évoluent en quadrature ainsi que sur la figure suivante :



b) Préciser le lien entre les signaux *SA* et *SB* et l'angle de rotation du moteur, sachant que l'encodeur est composé de 4 pôles nord et 4 pôles sud sur l'aimant rotorique. Justifier l'intérêt de l'utilisation des deux signaux pour la mesure de l'angle moteur.

La fonction `GestionInterruptionSA()` gère le compteur `ticksCodeur` lors d'une interruption sur *SA*.

```
void GestionInterruptionSA() {  
if (digitalRead(SA) == digitalRead(SB)) {  
ticksCodeur--;  
}  
else {  
ticksCodeur++;  
}  
}
```

c) Analyser et expliquer la structure de cette fonction. Par analogie, compléter la fonction `GestionInterruptionSB()`.

d) Expliquer comment est réalisée la mesure de la vitesse dans la fonction traitement.

La vitesse du moteur est visualisable dans Outils/Moniteur série.

On intègre maintenant le capteur d'effort et son interface SEN0160.

Pour toute masse suspendue, le programme « SimpleMesure.ino » permet d'acquérir et d'afficher la valeur numérique brute en sortie du capteur et la valeur de la masse correspondante.

```

// Hx711.DOUT - pin #A2
// Hx711.SCK - pin #A3

#include <Hx711.h>
Hx711 capteur(A2, A3) ;

void setup() {
Serial.begin(115200);
// étalonnage du capteur (dépend de la maquette et de la température)
//réglage de l'offset du capteur :
capteur.setOffset(623) ;
//réglage du gain du capteur :
capteur.setScale(1/8.8) ;
}

void loop() {
int valeur = capteur.getAverageValue(25);
Serial.print(" Valeur numérique moyenne sur 25 ech : ");
Serial.println(valeur);
Serial.print(" Masse mesurée équivalente : ");
Serial.print(capteur.getGram(valeur), 1);
Serial.println(" g");
delay(200);
}

```

Entête déclarative

Initialisation

Instructions

Activité 10

Ouvrir et tester ce programme à l'aide des masses suspendues fournies. Vérifier si l'étalonnage du capteur est correctement réalisé.

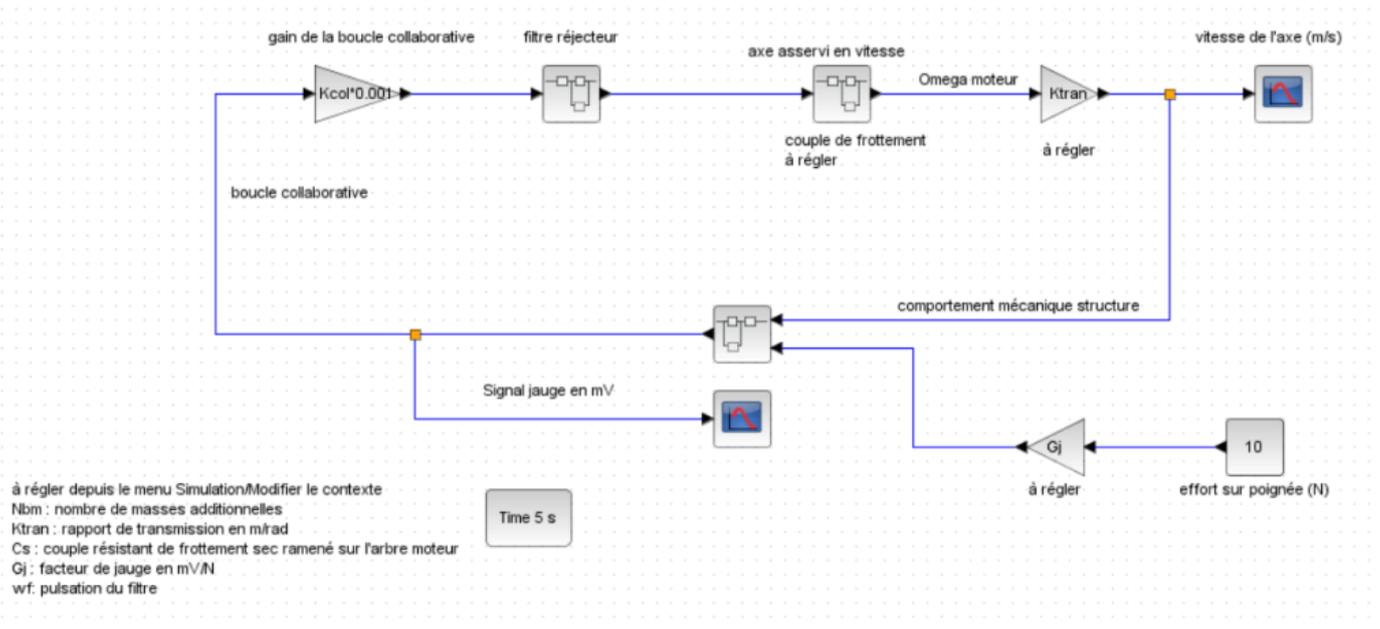
Modifier le programme Arduino précédent « Controle_Commande.ino » pour faire en sorte que la tension de commande soit proportionnelle à l'effort sur le capteur (coefficient de proportionnalité 1/5). Tester.

1.3.5 Modélisation de la commande collaborative

Objectifs : modéliser la commande collaborative et valider ce modèle.

Le modèle Scilab de la boucle collaborative ainsi que du comportement vibratoire de la structure est fourni dans le fichier « boucle collaborative.zcos ».

La commande comporte en série un correcteur proportionnel et un filtre réjecteur.



Activité 11

Ouvrir et justifier le modèle proposé. Depuis le menu « Simulation », « Modifier le contexte », régler les valeurs de Nbm (nombre de masses choisi à 1 ici), K_{tran} , c_s et G_j puis analyser la validité de ce modèle en comparant les fréquences obtenues avec celles mesurées à l'activité 2.

1.3.6 Réglage de la commande collaborative

La commande collaborative comporte en série un correcteur proportionnel et un filtre réjecteur. La fonction de transfert de ce filtre dans le domaine de Laplace est :

$$H_{rej}(s) = \frac{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}{1 + 2 \frac{s}{\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$$

Activité 12 Analyse de la fonction du filtre

Depuis Scilab-Xcos, ouvrir le fichier « filtreréjecteur.zcos ». Lancer la simulation temporelle et/ou fréquentielle, analyser les résultats.

Justifier le rôle de ce filtre.

À partir des résultats précédents, proposer un réglage pour la valeur de la pulsation ω_0 du filtre.

Activité 13 Réglage du filtre et validation de la commande

Régler ce filtre sur le modèle Scilab précédent « boucle collaborative.zcos » à partir du menu « Modifier le contexte ». Valider le réglage de cette commande.

En conclusion, justifier comment ce filtre permet de satisfaire l'exigence technique d'un déplacement sans oscillation.

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

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

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

- situé cette séance dans la séquence pédagogique (objectifs et prérequis) ;
- décrit l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots ou autres) ;
- décrit et justifié la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- détaillé le scénario des activités que doivent réaliser les élèves sur le support didactisé à l'aide des documents fournis ci-après ;

- réalisé concrètement au moins une des activités expérimentales proposées dans la séance développée. Cette activité doit être nouvelle et différente de celles réalisées dans la partie 1.3. Préciser l'objectif de la manipulation entreprise, proposer et mettre en œuvre son protocole expérimental comme le feraient les élèves et analyser les résultats obtenus ;
- explicité clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des savoir-faire et compétences des élèves.

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

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

Production attendue – un document numérique afin de :

- présenter la séquence pédagogique ;
- présenter la pertinence du support didactisé par rapport au besoin pédagogique ;
- présenter la séance à caractère expérimental.

Phase 3 – exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée : 1h00)

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

1. Présentation de l'épreuve

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

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

L'exploitation pédagogique à développer, comportant une séance expérimentale s'appuyant sur le support d'activités pratiques proposé, est relative aux enseignements technologiques transversaux du cycle terminal « sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) », ou aux enseignements de sciences de l'ingénieur de la voie scientifique (SSI) du lycée et des classes préparatoires aux grandes écoles.

Déroulement de l'épreuve

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

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

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 se déroule en quatre temps.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à l'Internet, des moyens de mesure ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

Premier temps (durée 0h45)

Au cours de ce premier temps, le candidat doit réfléchir et proposer une séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé. Ce dernier est composé :

- du titre de la séquence ;

- du niveau de formation visé ;
- d'une proposition de progression pédagogique adaptée au niveau de formation ;
- de la situation temporelle de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- du référentiel du niveau de formation visé ;
- d'un document d'accompagnement (ressource) pour faire la classe ;
- d'une liste non exhaustive de supports matériels pédagogiques d'un laboratoire de Sciences de l'Ingénieur.

Le candidat doit repérer les objectifs de formation au niveau imposé et recenser les compétences à développer, en intégrant les savoir-faire et savoirs du référentiel visé en lien avec le titre de la séquence, et proposer une trame détaillée de celle-ci (activités, durée, coordination). Les prérequis de la séquence doivent être identifiés vis-à-vis de la progression pédagogique proposée, et présentés. Le candidat doit justifier ses choix de modalités pédagogique et didactique (TP, TD, cours, projet ...). L'ensemble de ces éléments doit être rédigé sur un support de présentation numérique.

Deuxième temps (durée 0h30)

Durant ce deuxième temps, les manipulations proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système. À la fin de cette première partie, l'examineur s'assure que le candidat s'est bien approprié le support de TP. L'objectif de cette partie est de faire émerger une problématique technique et scientifique à résoudre.

Troisième temps (durée 2h00)

Pour ce troisième temps, le candidat doit répondre aux activités proposées. Cette partie permet au candidat, par la mobilisation de compétences caractéristiques du niveau de l'agrégation, de résoudre la problématique scientifique et technique identifiée, en exploitant les résultats obtenus (hypothèses, modèles, résultats expérimentaux, valeurs numériques ...), en mettant en évidence les écarts entre les performances souhaitées, les performances mesurées et les performances simulées et en proposant des solutions pour les réduire afin d'apporter une réponse aux problèmes posés.

Quatrième temps (durée 0h45)

Au cours de ce quatrième temps, le candidat doit décrire une séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique :

- en situant la séance à caractère expérimental dans sa proposition de séquence pédagogique ;
- en précisant l'organisation matérielle et pédagogique de la séance (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
- en décrivant la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet ...) ;
- en détaillant le scénario des activités que doivent réaliser les élèves ;
- en proposant et en mettant en œuvre au moins un protocole expérimental différent de ceux proposés au cours du troisième temps ;
- en explicitant clairement l'apport de la séance proposée dans le développement des compétences des élèves.

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

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

Le candidat prépare et termine la présentation qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat n'a plus accès au système pluritechnique, support de l'activité pratique et aux logiciels de simulation. Le candidat conserve cependant à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet. Il dispose d'un poste informatique relié à l'Internet, des logiciels courants de bureautique et de ses résultats obtenus lors de la phase 1.

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

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

- la présentation de la séquence de formation dont le contexte pédagogique est imposé (durée indicative de 0h15) ;
- la présentation de la pertinence du support par rapport à la séquence pédagogique imposée (0h05) ;

- la présentation de la séance à caractère expérimental envisagée dans le cadre de la séquence pédagogique exposée (0h10).

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

Il est à noter que, durant la présentation des travaux devant le jury, il n'est pas attendu que le candidat présente de nouveau les résultats obtenus au cours des activités menées dans le cadre des deuxième et troisième temps de la phase 1. En effet, ceux-ci ont déjà été évalués. Seule est attendue la présentation des activités qui sont envisagées en vue de la séance à caractère expérimental s'insérant dans la séquence pédagogique exposée.

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

- définir les objectifs de formation ;
- positionner la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- présenter et justifier la structure de la séquence pédagogique, en précisant sa durée, la répartition des séances et de leurs objectifs pédagogiques, etc ;
- identifier les prérequis et les conditions matérielles nécessaires pour la séance ;
- mettre en évidence les informations, les données et les résultats issus de ses propres investigations dans la perspective de la séquence pédagogique imposée et de la séance à caractère expérimental développée.

Le candidat doit également s'attacher à :

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

Le jury est amené à interroger le candidat en vue d'apprécier sa connaissance des principes fondamentaux du système éducatif et du cadre réglementaire de l'école, la manière dont il envisage d'accompagner les élèves dans leur parcours de formation, et enfin sur son positionnement vis-à-vis d'une équipe pédagogique.

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

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'il a opérés.

Le jury a apprécié les candidats qui ont su positionner leur réflexion par rapport au contexte des réformes en cours et à venir.

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

Les supports retenus lors de la session 2019 sont les suivants :

- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- système de travelling ;
- robot à câbles ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- robot haptique ;
- volet roulant ;
- robot d'assistance à la chirurgie laparoscopique.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental ;
- identification des comportements de constituants ou d'un système ;

- mesure de comportement de constituants ou d'un système ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne de mesure ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'information ;
- détermination des paramètres significatifs d'une chaîne d'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- analyse d'algorithme simple ou de quelques lignes de programme simple (en langage python, arduino, etc.) ;
- recalage d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

2. Analyse des résultats

Une majorité des candidats est bien préparée à la conduite des expérimentations et à l'exploitation des résultats au plus haut niveau d'expertise. Certains candidats n'ont pas su intégrer la consigne qui excluait la reprise des résultats obtenus au cours des manipulations lors de la présentation orale. Ces candidats n'ont pas su mettre en perspective le ou les liens entre les manipulations effectuées et la séquence pédagogique imposée. Les candidats mettent, encore cette année, difficilement en œuvre des manipulations spécifiques qui permettent d'étayer la séance à caractère expérimental élaborée.

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

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

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

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

Compréhension du système pluritechnique support des activités pratiques

Pour cette partie, les manipulations ainsi que les activités proposées ont pour objectif de faciliter la compréhension du fonctionnement global du système, de s'approprier le support du travail pratique et de la problématique proposée. Les candidats disposent d'un dossier technique, d'un dossier ressource, ainsi que de diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être un système réel et/ou un système didactisé.

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

- l'extraction des informations pertinentes dans les ressources mises à disposition constitue un préalable indispensable à l'appropriation du système et de la problématique ;
- la contextualisation des activités et supports proposés est souvent omise. Elle permet d'appréhender correctement le fil conducteur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés (schéma des chaînes d'énergie et d'information, les diagrammes SysML, les flux MEI).

Résolution des problèmes posés et exploitation des résultats

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

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

Le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée. La plupart des candidats évolue de manière autonome. Le jury regrette cependant de constater que quelques candidats se retrouvent gênés durant cette phase de l'épreuve, par une maîtrise insuffisante des savoirs et savoir-faire associés aux compétences fondamentales et transversales des sciences de l'ingénieur.

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

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

Lors de l'activité pratique, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels et fonctionnels) ;
- exploiter et interpréter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures dans leur totalité et de façon rigoureuse ;
- corréler les résultats des simulations et des expérimentations en les associant à des phénomènes physiques et à des solutions technologiques ;
- effectuer une analyse critique des résultats expérimentaux ;
- vérifier la cohérence et la pertinence des résultats expérimentaux ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique posé ;
- proposer aux examinateurs une présentation et/ou justification des protocoles ;
- présenter les résultats de façon claire et précise.

Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental

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

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

Le jury attire l'attention des candidats sur l'importance première à accorder à la préparation de l'activité pédagogique. La phase de conception de la séquence pédagogique d'une heure et trente minutes dans sa globalité est suivie d'une phase de préparation de l'exposé d'une heure pour aboutir à une présentation d'une durée de trente minutes (maximum). Passer outre les recommandations portant sur les différents temps consacrés aux phases 1 et 2 est rarement pertinent et obère souvent la qualité de la présentation orale et de l'exploitation pédagogique.

De façon surprenante, un nombre non négligeable de candidats expose une séquence pédagogique différente de celle initialement imposée. Dans cette situation, le jury s'adapte à la proposition faite par le candidat et prend en compte cette modification dans l'évaluation.

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

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

- connaître les différents modes d'évaluation et leur finalité pédagogique ;
- respecter la durée de préparation de l'exploitation pédagogique.

Le jury engage les candidats à clairement indiquer la ou les démarches pédagogiques qui structureront l'organisation pédagogique retenue (démarche d'investigation, démarche de résolution de problème technique, démarche scientifique ou encore démarche de projet).

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des spécialités SI, STI2D, et des CPGE, ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve. Le jury regrette de constater que quelques candidats semblent négliger sciemment cette préparation, ce qui les conduit à se mettre en très grande difficulté lors de cette phase de l'épreuve.

Présentation orale devant un jury

L'exposé oral se centre sur la problématique pédagogique proposée, les manipulations visant à répondre à la problématique scientifique et technique ayant déjà été évaluées. Cette évolution de l'exposé oral, introduite à la session 2018, permet de mettre en valeur les qualités d'ingénierie pédagogique des candidats. Quelques rares candidats ne la prennent pas en compte malgré les différents rappels sur les attendus de la présentation orale, tant dans le sujet que dans les consignes données par les interrogateurs. Ces candidats perdent alors du temps qui leur serait nécessaire pour avoir une réflexion pédagogique plus aboutie.

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

- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- d'explicitier les compétences, et les connaissances associées, visées par la séquence, puis par la séance, et de s'assurer du respect des textes officiels en vigueur ;
- de définir des modalités d'évaluation des niveaux de maîtrise des compétences des élèves ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- de décrire le système en présentant sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée ;
- de proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux mis en place par les élèves en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;
- de fournir les résultats attendus.

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles telles que :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel, de donner du sens aux connaissances développées et de captiver l'auditoire.

La majorité des candidats n'utilise pas le temps imparti pour la présentation, soit 30 minutes. L'utilisation de la durée prévue leur permettrait de préciser leurs réflexions pédagogiques trop souvent formatées.

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

Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnique dans sa globalité et sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnique ne s'improvise pas. Elle doit se préparer tout au long des formations conduisant à l'agrégation. Les candidats doivent éviter les présentations stéréotypées ne permettant pas de mettre en valeur la qualité de leur réflexion personnelle.

Les candidats se présentant au concours de l'agrégation se destinent à être de futurs cadres de l'éducation nationale. Ils se doivent d'avoir un vocabulaire, un comportement et une tenue en adéquation avec le métier d'enseignant. Dans quelques cas, heureusement très rares, certains candidats cherchent à initier une forme de complicité avec les interrogateurs, ce qui ne peut en aucun cas être la posture à adopter dans un concours de recrutement d'enseignants.

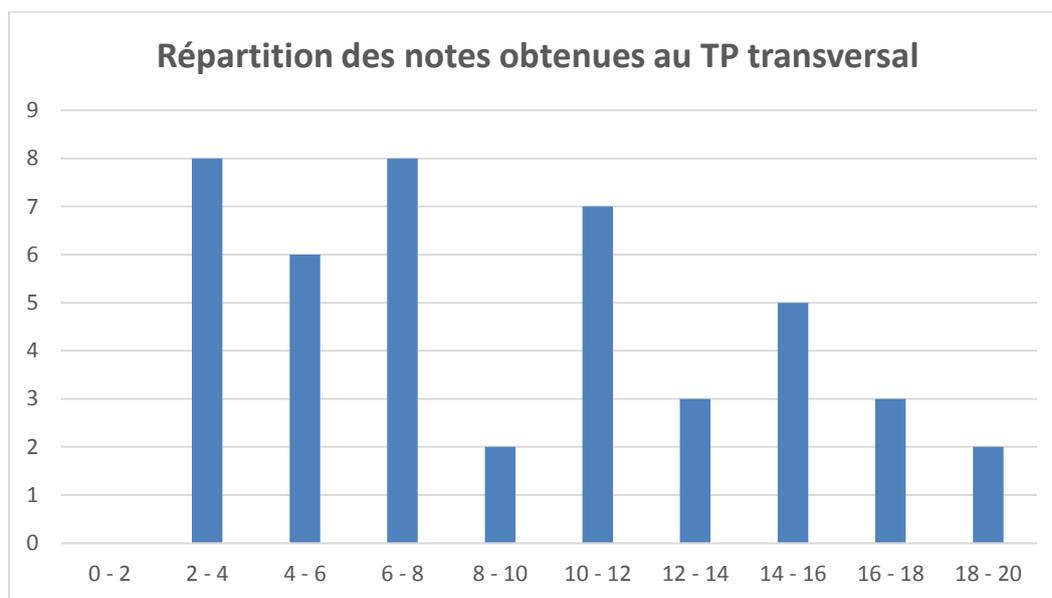
4. Conclusion

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

5. Résultats

44 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 9,3 / 20 et l'écart-type 4,6 avec :

- 19 comme meilleure note ;
- 2,5 comme note la plus basse.



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

II.1 Exemple de sujet

A – DEROULEMENT DE L'EPREUVE

Cette épreuve se déroule en trois phases :

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

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

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

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

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

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

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

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

2. PHASE 2 – Mise en loge et préparation de l'exposé (durée 1 h 00)

Le candidat ne manipule plus et prépare son exposé à présenter au jury.

3. PHASE 3 – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1 h 00)

L'exposé oral d'une durée maximale de 30 minutes doit comporter :

- La présentation des objectifs pédagogiques et des ressources mises à disposition (5 mn environ)
- La présentation de la réflexion sur les potentialités et la stratégie pédagogique (5 mn environ)
- La présentation de la séquence et séance pédagogique proposée (15 minutes environ) ;
- Le compte-rendu des expérimentations effectuées et des résultats obtenus (5 minutes).

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

B - TRAVAIL DEMANDE POUR L'ÉPREUVE

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

| Phase | Durée | Objet | Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve | |
|-----------------|---|---|--|--|
| PHASE 1 (4h) | Partie 1 (30 min) | I. CONTEXTE IMPOSE | S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury S'approprier les ressources pédagogiques disponibles | |
| | | II. POTENTIELS PEDAGOGIQUES | Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...) | |
| | | Point avec l'examineur sur le contexte et les potentiels pédagogiques | | |
| | Partie 2 (1h) | III. CONSTRUCTION PEDAGOGIQUE | Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence | |
| | | | Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation | |
| | | | Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche) | |
| | | | Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées | |
| | | | Point avec l'examineur sur les propositions pédagogiques du candidat. | |
| | | | Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. | |
| | Partie 3 (2h30) | IV. EXPERIMENTATIONS | Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer | |
| | | | Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues | |
| | | | Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...) | |
| | | V. CONCLUSION | Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...) | |
| | | | Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses. | |
| | Présenter les expérimentations et les conclusions | | | |
| PHASE 2 (1h) | Mise en loge | Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée) | | |
| PHASE 3 (1h) | Exposé et entretien | Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles | | |
| | | Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les choix effectués | | |
| | | Décrire et analyser les expérimentations effectuées | | |
| | | Présenter la trame de séquence envisagée | | |
| | | Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe | | |
| | | Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe | | |
| | | Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves | | |
| | | Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves | | |
| | | Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...) | | |

Autres critères d'évaluation également pris en compte par le jury :

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

C - OBJECTIF PEDAGOGIQUE IMPOSE POUR L'EPREUVE

Sujet : Concevoir et présenter une séquence de formation sur le sujet du matériau béton, ses caractéristiques physiques et mécaniques et l'influence de ces caractéristiques dans le dimensionnement d'un ouvrage en béton armé.

On abordera tout ou partie des notions suivantes :

- Comportement mécanique du béton.
- Caractéristiques réglementaires et caractéristiques réelles du béton.
- Influence des caractéristiques du béton sur le dimensionnement d'un élément d'ouvrage en béton armé.
- La proposition pédagogique sera envisagée pour une formation de BTS Bâtiment.

D - RESSOURCES PEDAGOGIQUES DISPONIBLES

| | |
|--|---|
| R1 : Référentiels de formation BTS Bâtiment | R2 : INFORMATIQUE Un PC équipé des logiciels REVIT et Robot Structural Analysis. Une suite bureautique Un fichier REVIT et un fichier ROBOT de la structure du bâtiment « Fuji ». |
| R3 : DOSSIER SUPPORT Projet de construction du bâtiment « Fuji » Cahier des Clauses Techniques Particulières du bâtiment « Fuji » | R4 : RESSOURCES DOCUMENTAIRES Normes d'essai sur les bétons Techniques de l'Ingénieur – Du béton frais au béton durci, éléments de comportement Mode opératoire des machines d'essai Mode opératoire logiciels REVIT et Robot Structural Analysis Données relatives à l'étude |
| R5 : EQUIPEMENTS EXPERIMENTAUX Matériaux : 4 éprouvettes de béton cylindrique 15 x 30 cm. Une éprouvette de béton cylindrique 15 x 30 cm équipé d'un dispositif de mesures extensométriques. Matériel : Une presse et un dispositif d'acquisition des déformations sur éprouvette équipée Un bâti pour essai de traction par fendage Un scléromètre Petit matériel de laboratoire | |

R3 – DOSSIER SUPPORT

L'ouvrage support est un bâtiment d'habitation de type R+3 avec un niveau de sous-sol.

Il fait partie du projet nommé « Fuji » qui se compose d'un ensemble de trois bâtiments qui réuniront 85 logements sociaux. Le bâtiment étudié est le bâtiment numéro 2.

La structure porteuse de ce bâtiment est classique : voiles, poteaux, poutres et dalles B.A. coulés en place et fondés sur des semelles filantes et isolées.

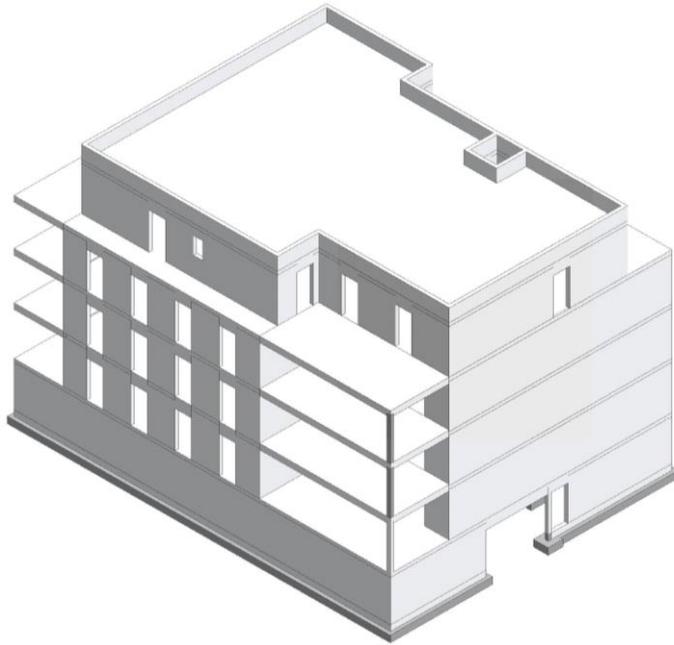


Fig. 1 : Vue en perspective de la structure du bâtiment

Afin de valider et d'optimiser une poutre se situant au niveau de la dalle de transfert entre le rez-de-chaussée et le sous-sol, un bureau d'études structure fait appel à un laboratoire pour préciser par des mesures, les caractéristiques physiques et mécaniques du béton utilisé pour la construction de ce bâtiment.

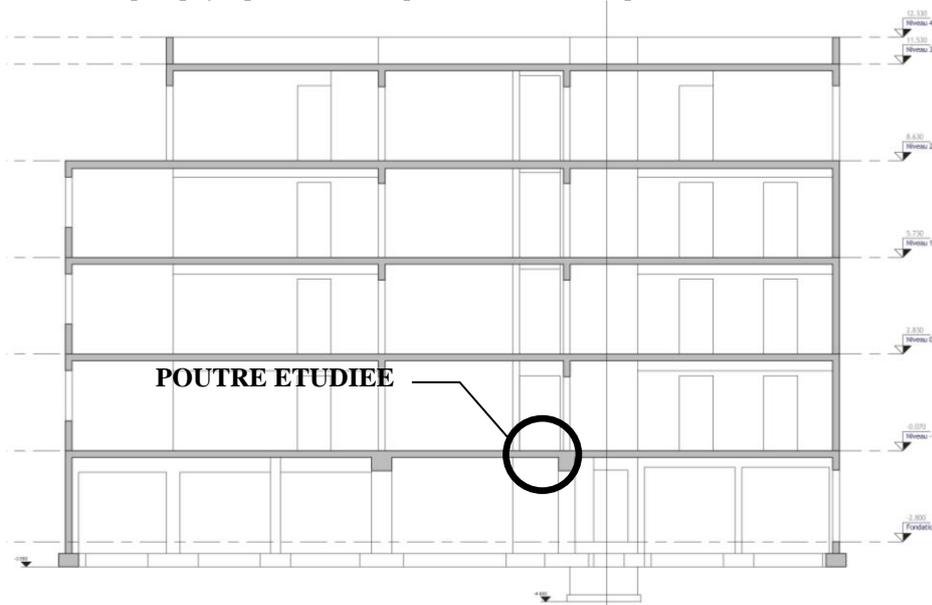


Fig. 2 : Coupe verticale de la structure du bâtiment

L'objectif du bureau d'étude est ensuite d'utiliser les résultats obtenus par le laboratoire pour affiner le dimensionnement de la poutre en comparaison avec la classe du béton qui était définie dans le CCTP du lot Gros-Œuvre de ce chantier.

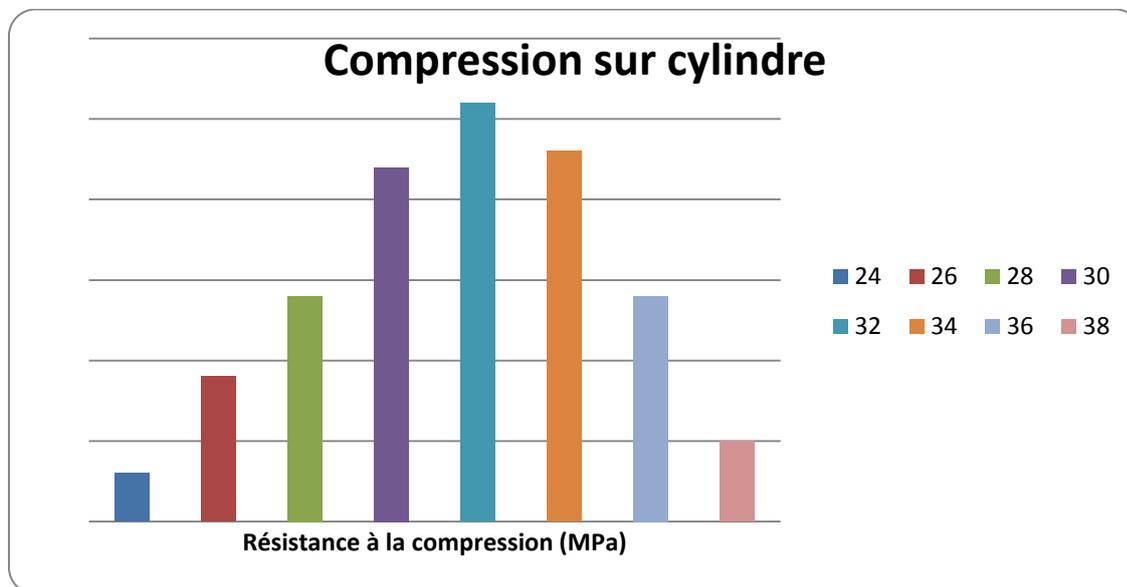
R4 - Données relatives à l'étude

Résistance à la compression du béton :

On vous donne dans le tableau ci-après des résultats d'essais de compression réalisés sur des éprouvettes cylindriques de béton. Ces essais ont été réalisés par la centrale de production de béton sur des éprouvettes de béton à propriétés spécifiées dont la composition est identique à celle qui sera utilisée pour le béton du chantier qui nous concerne. Ces essais (232) ont été effectués sur cylindre 15x30 à 28 jours en suivant le protocole de la norme en vigueur.

| | | | | | | | | |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Nombre d'essais | 6 | 18 | 28 | 44 | 52 | 46 | 28 | 6 |
| f_c en [MPa] | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 |

Ces résultats sont présentés sous la forme d'un histogramme (voir ci-dessous) dont la courbe enveloppe peut être modélisée par une loi normale.



La résistance caractéristique à la compression du béton (f_{ck}) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% de la distribution des résistances.

Si la distribution des résistances suit une loi normale alors le fractile 5% f_{ck} est égal à :

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 u \quad (1)$$

avec f_{cm} la moyenne de la distribution et u l'écart type.

L'Eurocode 2 Béton adopte, pour simplifier, la relation suivante :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (2)$$

avec f_{cm} la résistance moyenne en compression à 28 j.

Résistance à la traction du béton :

La valeur de la résistance en traction moyenne du béton (f_{ctm}) est obtenue à partir de la résistance caractéristique à la compression du béton :

$$f_{ctm} = 0,30.f_{ck}^{(2/3)} \quad (3)$$

La résistance caractéristique à la traction minimale du béton (f_{ctk}) est définie, conformément à l'approche statistique de la norme NF EN 206-1, comme le fractile 5% inférieur de la distribution des résistances.

L'Eurocode 2 Béton adopte la relation suivante :

$$f_{ctk} = 0,7.f_{ctm} \quad (4)$$

avec f_{ctm} la résistance moyenne en traction à 28 j.

Module d'élasticité longitudinal du béton :

Le module de déformation longitudinal du béton ou module sécant décrit le comportement élastique quasi linéaire de la relation contraintes-déformation du béton soumis à la compression.

Ce comportement élastique quasi-linéaire reste totalement réversible si la contrainte de compression est limitée à un certain pourcentage de la résistance à la compression du béton. Ce pourcentage est défini à la page 7 du document Technique de l'ingénieur. Pour qu'un essai de mesure du module d'élasticité n'endommage pas l'éprouvette utilisée, il faut donc que les déformations de l'éprouvette restent inférieures à ce pourcentage.

La valeur du module d'élasticité du béton étudié peut aussi être estimée théoriquement par la relation suivante :

$$E_{cm} \text{ (GPa)} = 22.[(f_{cm})/10]^{0,3} \text{ avec } f_{cm} \text{ en Mpa} \quad (5)$$

II.2 Rapport du jury sur l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système technique prend appui sur une situation professionnelle d'enseignement proposée au candidat dans le cadre de l'exercice de sa mission future de professeur.

Dans ce cadre, des ressources pédagogiques sont données au candidat afin de préparer une trame de séquence pédagogique dans laquelle une séance expérimentale sera détaillée. Cette séance devra permettre de montrer comment le candidat exploite avec pertinence les potentialités :

- De ressources documentaires
- De ressources expérimentales (échantillons, matériels, bancs d'essais, maquettes, éléments de structures ...)
- De ressources informatiques (logiciels modélisateurs, simulateurs ...)

Cette épreuve permet au candidat d'élaborer une stratégie pédagogique, de réaliser des essais et mesures sur tout ou partie d'un système didactique ou professionnel, et d'en produire une analyse critique sur la pertinence et l'efficacité de la séquence envisagée.

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

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie.

Cette épreuve d'activité pratique demande aux candidats de mobiliser les compétences (nécessitant les savoirs, savoir-faire et savoir-être associés) nécessaires à l'enseignement pouvant être confié à un professeur agrégé SII d'ingénierie de la construction. Pour répondre à cet objectif, les supports utilisés lors de cette épreuve sont relatifs à ce même champ de l'Ingénierie.

2. Déroulement de l'épreuve

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

phase 1 - mise en œuvre des équipements du laboratoire et exploitation pédagogique (durée 4 h) ;

phase 2 - préparation de la présentation (mise en loge pendant 1 h) ;

phase 3 - présentation des travaux devant un jury (durée 1 h).

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

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire. Cette première phase d'une durée totale de 4 h se décompose en trois parties.

Dans cette phase, les candidats ont à leur disposition les différents supports étudiés, qu'ils utiliseront pour proposer une séquence pédagogique. **L'exploitation pédagogique proposée est liée aux activités pratiques réalisées.**

Première partie – Contexte et potentiels pédagogiques (durée ≈ 0h30)

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

Deuxième partie – Construction pédagogique (durée ≈ 1h)

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

Troisième partie - Expérimentation (durée ≈ 2h30)

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

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

La phase 1 se déroule dans le laboratoire dans lequel figurent des supports¹. Les candidats disposent de l'ensemble des moyens nécessaires à l'expérimentation et d'un poste informatique doté des logiciels courants de bureautique et des logiciels plus spécifiques liés au sujet qui leur est proposé. Tout ou partie des manipulations se déroulent en présence de l'examineur auprès de qui le candidat justifie et discute les essais et expérimentations menées ainsi que les résultats obtenus.

La phase 2 – Mise en loge (durée 1 h).

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

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

La phase 3 se déroule dans la salle d'exposé devant le jury.

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

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

L'entretien avec le jury se borne à une durée maximale de 30 minutes.

Le candidat est amené au cours de sa présentation orale à expliciter sa démarche méthodologique, à mettre en évidence les informations, données et résultats issus des investigations conduites au cours des activités pratiques qui lui ont permis de construire sa séquence de formation, à décrire et à situer la séquence de formation qu'il a élaborée.

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

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

3. Travail demandé pour l'épreuve

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

¹ systèmes réels distants ou non avec éventuellement sous-ensembles et composants industriels ; systèmes réels instrumentés ; systèmes didactisés ; systèmes sous forme de maquette et systèmes simulés.

| Phase | Durée | Objet | Travail demandé et évalué par les jurys de l'épreuve | |
|-----------------|---|---|--|--|
| PHASE 1 (4h) | Partie 1 (30 min) | I. CONTEXTE IMPOSE | S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury S'approprier les ressources pédagogiques disponibles | |
| | | II. POTENTIELS PEDAGOGIQUES | Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...) | |
| | | Point avec l'examinateur sur le contexte et les potentiels pédagogiques | | |
| | Partie 2 (1h) | III. CONSTRUCTION PEDAGOGIQUE | Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence | |
| | | | Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation | |
| | | | Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche) | |
| | | | Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées | |
| | | | Point avec l'examinateur sur les propositions pédagogiques du candidat. | |
| | | | Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. | |
| | Partie 3 (2h30) | IV. EXPERIMENTATIONS | Préparer le scénario expérimental à mettre en œuvre : définir les grandeurs à mesurer, les phénomènes à observer | |
| | | | Conduire les essais, réaliser les mesures et observations prévues | |
| | | | Traiter les résultats (réaliser les calculs, tracer les courbes...) | |
| | | V. CONCLUSION | Analyser les résultats obtenus et les valider (ordre de grandeur, fiabilité ...) | |
| | | | Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses. | |
| | Présenter les expérimentations et les conclusions | | | |
| PHASE 2 (1h) | Mise en loge | Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée) | | |
| PHASE 3 (1h) | Exposé et entretien | Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles | | |
| | | Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les choix effectués | | |
| | | Décrire et analyser les expérimentations effectuées | | |
| | | Présenter la trame de séquence envisagée | | |
| | | Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe | | |
| | | Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe | | |
| | | Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves | | |
| | | Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves | | |
| | | Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...) | | |

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

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

4. Séquences pédagogiques demandées pendant l'épreuve

Les séquences pédagogiques demandées étaient imposées pour les formations suivantes :

- Baccalauréats STI2D et SSI
- Sciences Industrielles de l'Ingénieur en classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs
- DUT :
 - Génie Civil Construction Durable
 - Génie Thermique et Énergie
- BTS :
 - Travaux Publics,
 - Bâtiment,
 - Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
 - Architectures en métal : conception et réalisation,
 - Enveloppes du bâtiment : conception et réalisation
 - Fluides Énergies Domotique : options A (génie climatique), B (génie frigorifique) et C (domotique)
 - Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
 - Étude et Réalisation des Agencements
 - Aménagement et Finitions
 - Étude et économie de la Construction

Pour la session 2019, les ressources proposées pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issues de la liste suivante :

- ressources documentaires diverses ;
- logiciels courants de bureautique ;
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...)
- logiciels de modélisation, analyse et simulation sur maquette numérique BIM ;
- banc d'essai en mécanique des sols et géotechnique ;
- banc d'essai en acoustique ;
- banc d'essai de structures;
- banc d'essai du matériau béton ;
- banc d'essai du matériau bois ;
- banc d'essai du matériau acier ;
- pompe à chaleur ;
- chaudière bois ;
- système de production d'eau chaude sanitaire ;
- simulation thermique dynamique ;
- matériels de topographie (niveaux, théodolites, tachéomètres, GPS, scanner 3D ...).

5. Commentaires et conseils aux futurs candidats

À l'issue de la session 2019, le jury attire particulièrement l'attention des futurs candidats sur les points suivants :

le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un compte-rendu de laboratoire mais la contextualisation pédagogique d'une problématique d'enseignement donnée, basée sur une manipulation expérimentale et l'exploitation de ressources didactiques ;

pour la première phase, les candidats doivent veiller à équilibrer le temps consacré à l'expérimentation et celui consacré à la conception de leur séquence pédagogique ;

pour la troisième phase, les candidats disposent d'un temps de parole de 30 minutes maximum. Le jury regrette une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas pleinement le temps qui leur est accordé. À contrario, d'autres candidats cherchent à meubler ce temps de parole au détriment de la qualité et de la rigueur de leur exposé ;

il est déconseillé de tout écrire au tableau. Le candidat doit exploiter au mieux les outils informatiques de présentation fournis. Le contexte n'est pas celui d'une leçon faite devant des élèves ;

on constate trop souvent un déséquilibre entre la présentation des résultats expérimentaux, parfois trop détaillée, et leur exploitation pédagogique qui reste trop peu développée (pas de support formalisé, idées trop générales, pas d'application concrète...)

l'exploitation pédagogique est l'objectif principal de cette épreuve. Elle reste trop succincte chez la majorité des candidats.

Les candidats doivent s'attacher :

- à préciser l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
- à préciser et à détailler la construction de leur séquence pédagogique (combinaison de CM, TD, TP...) en détaillant notamment l'organisation pratique en présence d'élèves ou d'étudiants ;
- à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
- à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation ;

le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de précision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;

trop de candidats ne peuvent pas exploiter les fonctionnalités de base des logiciels tableurs (maîtrise insuffisante du tracé de courbe notamment) ;

trop de candidats ne connaissent pas la structure des référentiels de formation. Il est indispensable d'étudier plusieurs référentiels représentatifs, et leur structure ;

Les compétences scientifiques, technologiques, professionnelles et pédagogiques des candidats doivent être suffisamment élevées pour accéder au grade de professeur agrégé :

- trop de candidats déclarent découvrir le domaine proposé lors de cette épreuve (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...) ;
- trop de candidats ne sont pas capables de proposer une autre organisation pédagogique que le « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants ». Les démarches actives, la pédagogie de projet, les apports du numérique éducatif (classe inversée, MOOC ...) doivent être exploitées au service de la réussite des élèves ;
- trop de candidats ne sont pas capables de proposer d'autres modalités d'évaluation que le compte-rendu de TP noté et l'évaluation sur table ;
- trop de candidats ne peuvent pas élaborer de stratégie de différenciation des apprentissages pour s'adapter aux besoins des élèves ;
- trop de candidats ne savent pas élaborer de progressivité dans la construction des compétences.

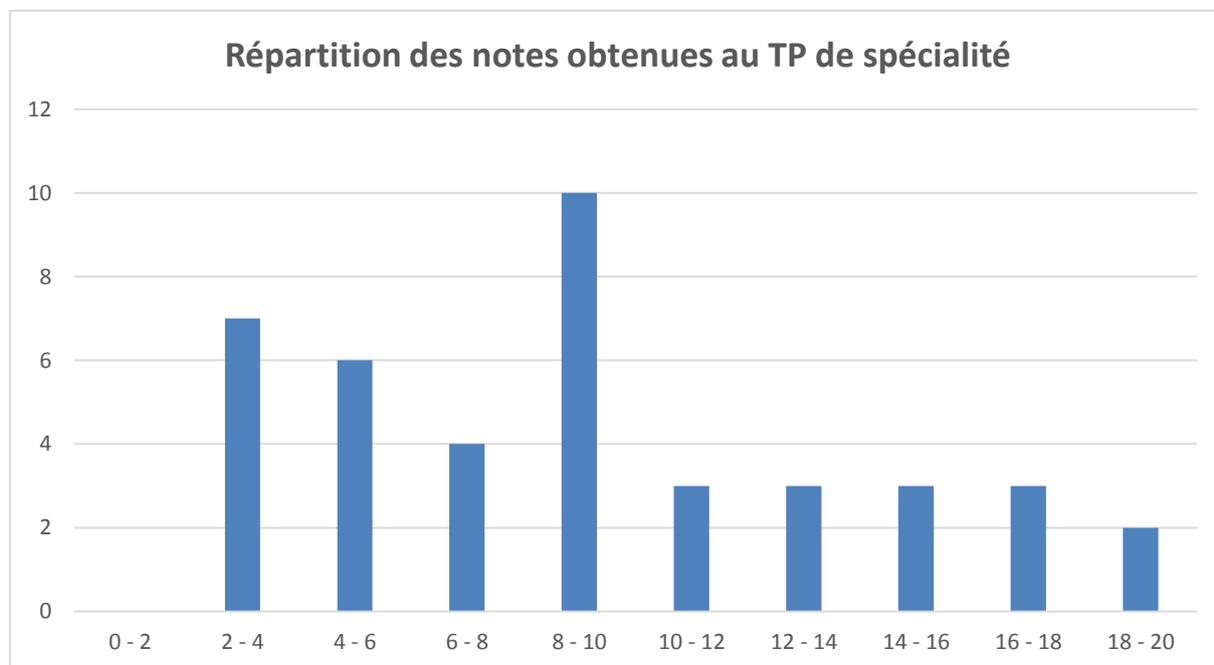
6. Résultats

42 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 07,8/20 avec :

19,1 / 20 comme meilleure note ;

00,5 / 20 comme note la plus basse.

13 notes au-dessus de 10 (30% des candidats).



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

1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : août 2014) précise :

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

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de **rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement** en collège ou en lycée. »

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

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

2. Analyse globale des résultats

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 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.

L'analyse technique et scientifique

Le jury a constaté la présence de dossiers **sans apport scientifique et technologique**. Une simple description de l'ouvrage ou du chantier n'est pas suffisante, la présentation d'un support de cours ne correspond pas non plus aux attentes. Le candidat choisissant le thème de son dossier, il doit maîtriser le cadre réglementaire associé.

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

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

Il convient de ne pas faire qu'une exploitation simpliste 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 le 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, ressource...
- les traces attendues : écrites, orales, virtuelles.

Les stratégies pédagogiques développées doivent être innovantes.

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

- la motivation des élèves ;
- la pédagogie inversée ;
- l'usage du numérique ;
- l'évaluation des élèves par compétences ;
- les activités favorisant le décroisement disciplinaire ;
- les activités favorisant les travaux de groupes d'élèves ;
- les activités permettant le développement de compétences au niveau de l'oral,
- ...

Le numérique

Le développement du numérique dans le secteur de la construction en cours depuis des décennies va tendre vers une accélération majeure dans les prochaines années. Les contraintes économiques, environnementales et sociales entraînent les entreprises du secteur de la construction à utiliser très largement le potentiel des outils numériques de conception, de simulation, d'organisation et de suivi.

Le jury de l'agrégation d'Ingénierie des constructions insiste sur l'obligation pour les candidats de disposer de ces compétences autour des outils numériques.

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

Les candidats doivent présenter une visualisation de leur travail sur ces outils numériques (simulation, conception...) pendant la soutenance. Les candidats ne doivent pas se contenter de fournir, sous forme numérique, une série de fichiers, ils doivent démontrer leurs compétences à utiliser ces outils. Il est donc conseillé, en particulier pour des maquettes de type BIM, d'installer le logiciel utilisé ou un outil de visualisation

dynamique permettant d'échanger lors de la discussion avec le jury. Pour les logiciels de calculs, les candidats doivent être capables d'expliquer la pertinence des modélisations, des données d'entrée, le principe de calcul du logiciel ainsi que la prise en compte du cadre réglementaire. Il est attendu une analyse critique des résultats. Quelques candidats ont présenté des modélisations totalement erronées ou des résultats aberrants, certains se sont contentés de ne présenter que la démarche BIM sans l'analyse de ces résultats.

4. Critères d'évaluation

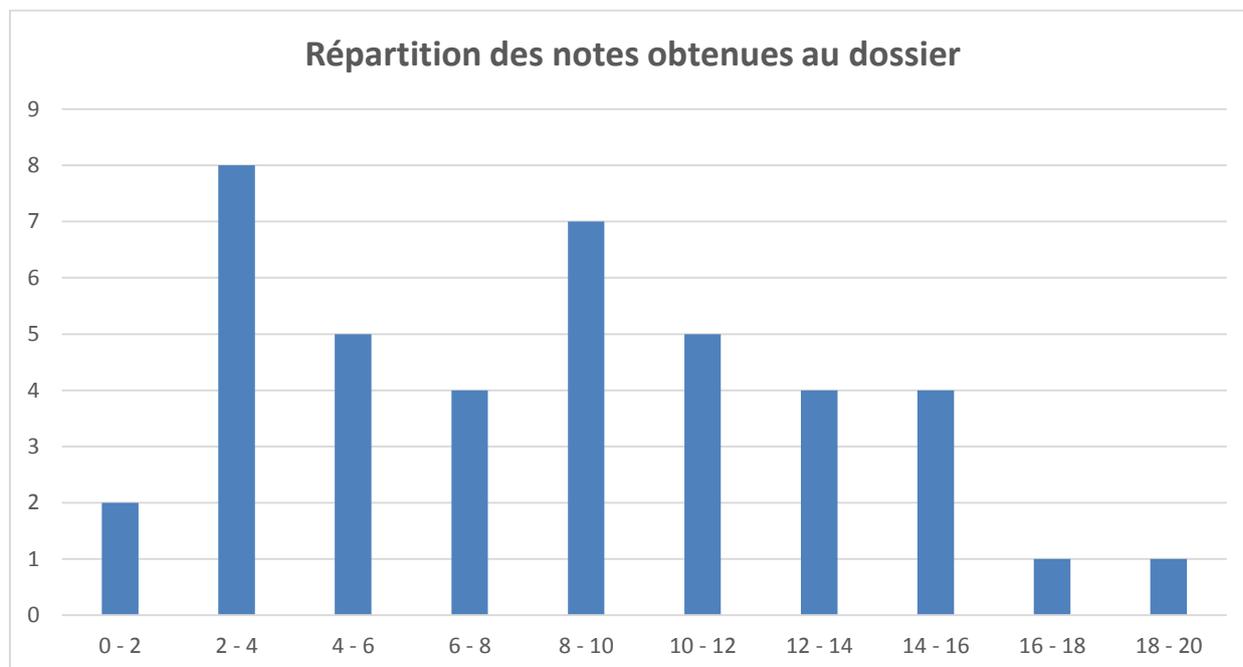
Pour pouvoir délivrer une note à l'issue de l'examen du dossier, de la soutenance et de l'entretien sur cette partie d'épreuve, la commission d'interrogation observe les critères suivants :

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

Notes obtenues à l'épreuve

44 candidats ont participé à cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 8,7/20 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 01 comme note la plus basse.
- 41% des notes sont supérieures à 10/20.



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

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

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

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

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

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

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

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

- les programmes d'enseignement moral et civique ;
- le socle commun de connaissances, de compétences et de culture ;

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