



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : agrégation interne et CAERPA

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie des constructions

Session 2020

Rapport de jury présenté par : David HELARD, président du jury
Inspecteur général de l'éducation, du sport et de
la recherche

La forme et les programmes des épreuves du concours sont définis par l'arrêté du 28 décembre 2009 modifié fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation.

Les épreuves écrites de cette session se sont tenues les 30 et 31 janvier 2020.

En raison de l'état d'urgence sanitaire déclaré dans le pays pour faire face à l'épidémie de covid-19, les épreuves orales ont été annulées.

Conformément aux dispositions de l'arrêté du 10 juin 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours interne de recrutement de professeurs agrégés de l'enseignement du second degré ouvert au titre de l'année 2020 en raison de la crise sanitaire née de l'épidémie de covid-19 : *« La première épreuve d'admission de chaque section et, le cas échéant, option du concours interne est la première épreuve d'admissibilité de chaque section et, le cas échéant, option du concours interne (...). La seconde épreuve d'admission de chaque section et, le cas échéant, option du concours interne est la deuxième épreuve d'admissibilité de chaque section et, le cas échéant, option du concours interne (...). Le jury prononce l'admission à ce concours au terme de ces épreuves. »*

Le jury invite les candidats et les formateurs à consulter les rapports des sessions précédentes pour prendre connaissance des commentaires et conseils des épreuves d'admission.

Table des matières

1. Avant-propos	4
2. Résultats statistiques	5
3. Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique	6
4. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	21

1. Avant-propos

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier les candidats capables d'enseigner les Sciences Industrielles de l'Ingénieur et notamment l'ingénierie des constructions à un haut niveau de compétences scientifiques, technologiques et pédagogiques. Les épreuves proposées aux candidats permettent de révéler leur potentiel d'adaptabilité, leur capacité à faire évoluer leurs pratiques pédagogiques et à suivre, de façon réfléchie, les mutations d'un secteur d'activité en perpétuelle évolution.

Les épreuves du concours contrôlent la capacité des candidats à former des élèves et de futurs professionnels du domaine de l'ingénierie des constructions tout en garantissant une maîtrise satisfaisante de concepts scientifiques et technologiques plus transversaux. À ce titre, si le professeur agrégé doit 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, il doit également s'attacher à explorer des domaines connexes à sa discipline et relevant des sciences industrielles de l'ingénieur. L'épreuve d'admissibilité d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique a pour but de valider cette aptitude. Le jury encourage vivement l'ensemble des candidats à prendre en compte cette exigence dans le cadre de la préparation à ce concours.

Sur le plan professionnel, le jury recrute des enseignants en pleine maîtrise du vocabulaire technique courant de l'acte de construire. 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.

Il est également absolument essentiel que les candidats prennent connaissance des programmes de formation dans lesquels ils peuvent être amenés à exercer.

Le présent rapport participe à la préparation des candidats pour la session 2021 du concours. Les conseils prodigués constituent une aide précieuse et le jury encourage vivement les candidats à les prendre en compte dans le cadre d'une préparation soutenue et continue.

David Hélar
Inspecteur général de l'éducation du sport et de la recherche

2. Résultats statistiques de la session 2020

	Inscrits	Nombre de postes	Présents aux deux épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
Public	116	7	66	13	7
Privé	12	1	6	1	0

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	14,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	9,26
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admis	14,7
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admis	10,16

3. Épreuve d'analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnique

Présentation du sujet

Le sujet porte sur l'étude du téléphérique urbain de la ville de Brest. Une première en France, il s'agit d'une innovation intégrée au réseau de transports publics de la métropole. Dans un premier temps le sujet amène le candidat à analyser le contexte particulier et à identifier les différentes contraintes liées à l'environnement urbain de la ville de Brest. Dans un deuxième temps le candidat étudie la solution innovante de téléphérique par saut de mouton, solution faisant l'objet d'un brevet français. Les candidats doivent ensuite proposer une optimisation énergétique. Tout au long du questionnement scientifique, des questions d'ordre pédagogique sont posées afin d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié.

La dernière partie est purement d'ordre pédagogique.

Les poids relatifs des aspects scientifiques et pédagogiques du sujet correspondent au prorata du temps conseillé pour composer sur chacune d'elles, à savoir :

- Questions scientifiques : 60 %
- Questions pédagogiques : 40 %

Les questions d'ordre pédagogique sont proposées au fil de l'étude dans les parties 1 et 2, de même que la partie 4 est totalement consacrée à l'exploitation pédagogique du support.

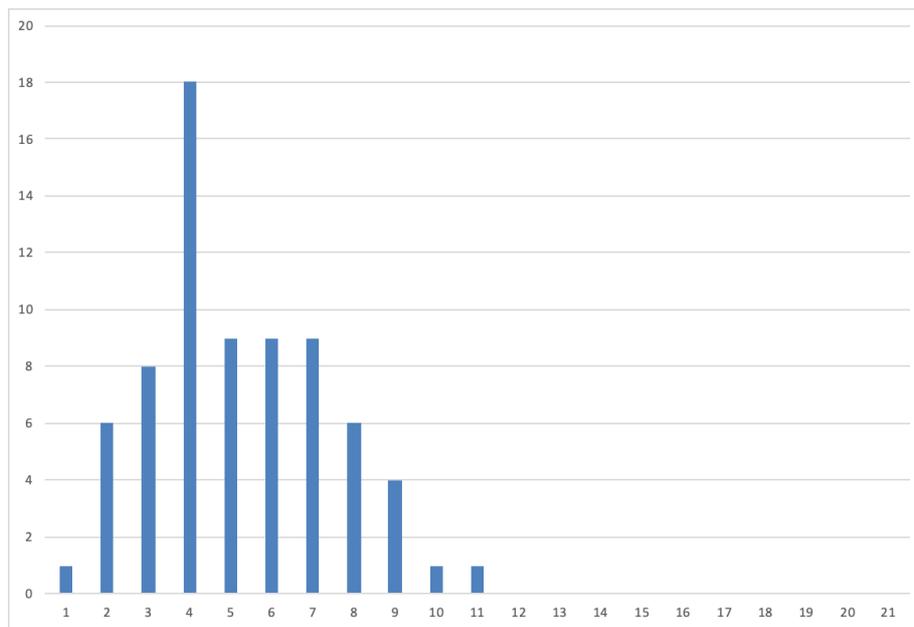
Analyse globale des résultats

Le caractère original du téléphérique urbain et le contexte lié au Développement Durable semblent avoir été appréciés par les candidats qui ont largement traité la première partie de l'épreuve. Le traitement des parties techniques du sujet montre que les thèmes liés à la motorisation et à son pilotage sont généralement peu ou pas maîtrisés.

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont néanmoins intégralement non traitées par certains candidats.

Le jury a noté une évolution favorable dans le traitement des parties pédagogiques, notamment lorsqu'elles sont distillées au fil du questionnement. Le traitement des questions relatives à l'évaluation par compétences reste toutefois trop souvent superficiel.

Distribution des notes / candidats



Commentaires sur chaque partie du sujet

Partie 1 : Analyse du contexte d'implantation du système de transport par câble de la ville de Brest

Cette partie a été très largement traitée par les candidats. Les questions se basaient sur une analyse de documents afin d'appréhender le contexte d'implantation du système étudié. Les critères de choix proposés ont généralement été pertinents. Cependant, certains candidats ont trop longuement développé leurs réponses, au détriment du temps imparti dans l'épreuve. Dans cette partie, les questions d'ordre pédagogique ont été globalement bien traitées par les candidats.

Partie 2 : Analyse des solutions techniques retenues par la société BMF

Il s'agissait dans cette partie d'analyser et de justifier les solutions techniques retenues par le constructeur en lien avec le cahier des charges. Cette partie proposait des questions indépendantes et un bon nombre des candidats ont su en tirer parti. Comme la première partie, elle a été largement traitée par les candidats.

2.1. Capacité horaire du funitel

Par une analyse cinématique, le candidat devait vérifier que le critère de capacité horaire était compatible avec celui du confort passager en s'intéressant plus particulièrement à la vitesse maximale admissible.

Cette partie a été correctement abordée par la majorité des candidats, bien que certains aient considéré les phases d'accélération/décélération de manière très simplifiée.

2.2. Tenue au vent

Il fallait justifier le choix du constructeur d'un funitel plutôt qu'un téléphérique mono-câble par une étude statique. Le jury a valorisé les candidats qui ont fait preuve de rigueur dans la mise en place de l'étude statique (bilan des actions mécaniques complet, prise en compte de l'action du câble, choix d'équation).

2.3. Système de compensation de longueur de câble

L'objectif était de dimensionner les vérins de compensation de longueur des câbles par une analyse géométrique.

Cette partie a été largement abordée et réussie par les candidats. Néanmoins, certains candidats ont montré des lacunes en trigonométrie.

La question 9, concernant la course nécessaire des vérins de compensation, nécessitait une compréhension et une analyse globale du système de compensation. Elle est réussie parfaitement par plus de la moitié des candidats ayant répondu à la question.

2.4. Tenue des ancrages de câbles

Le candidat devait dans un premier temps déterminer les tensions des câbles porteurs, puis dimensionner les ancrages au sol.

Cette partie a été bien traitée par les candidats qui ont su identifier les questions basées sur l'application simplifiée d'une norme dimensionnement. La partie « dimensionnement » ne posait pas de difficulté particulière puisque l'essentiel de la démarche était donné dans le sujet.

2.5. Commande de motorisation des câbles tracteurs

Cette partie a été peu traitée par les candidats. Le schéma et l'algorithme proposés ont souvent été complétés de manière peu judicieuse.

2.6. Dimensionnement de la motorisation

Cette partie a été très peu traitée par les candidats.

2.7. Exploitation pédagogique

Dans un premier temps, il était demandé au candidat de réinvestir l'étude menée dans la partie 2.5 pour en extraire une exploitation pédagogique, or peu de candidats l'ont traitée. Le questionnement portait ensuite plus spécifiquement sur l'évaluation des acquis des élèves, et les pistes de remédiation associées. Le jury regrette que ces questions de fond restent peu abordées.

Partie 3 : Optimisation énergétique

Cette partie a été extrêmement peu traitée par les candidats.

3.1. Bilan énergétique d'un trajet

Les questions 26 et 27 permettaient de prendre en main la problématique énergétique. Cette étude transversale ne posait pas de difficulté particulière.

3.2. Analyse structurelle du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

Dans les questions 28 à 34, le candidat doit dimensionner les condensateurs nécessaires pour stocker l'énergie. Peu de candidats sont allés au bout de la démarche.

3.3. Optimisation de la consommation électrique

Cette partie vise à faire une synthèse sur la problématique de gestion de l'énergie.

Partie 4 : Stratégie pédagogique

Cette partie demandait aux candidats de proposer une stratégie pédagogique adossée aux nouveaux programmes STI2D. Il est en effet attendu d'un candidat au concours d'assurer une veille didactique et pédagogique afin de porter les évolutions des programmes. La préparation au concours doit donc conduire les candidats à se tenir régulièrement informés des dernières évolutions, au travers de publications institutionnelles et d'actions de formation nationales et académiques.

Dans le contexte pédagogique imposé dans le sujet, peu de candidats pensent à évoquer les différents champs, Matière, Énergie et Information propres à la série STI2D. Dans l'énoncé des activités proposées par les candidats, on imagine difficilement des élèves acteurs de leur formation. Trop souvent des études de dossiers sont évoquées au détriment d'activités pratiques ou d'expérimentation, pourtant remises au premier plan des programmes rénovés de STI2D.

Recommandations

Il est une nouvelle fois rappelé qu'une lecture attentive du sujet préalable à son traitement permet au candidat d'identifier le fil rouge amenant les différentes parties de l'étude, et facilite ainsi la compréhension de l'ensemble. Cette lecture doit également permettre aux candidats de repérer les parties susceptibles de leur permettre de démontrer leur potentiel.

Il est également rappelé que le jury recherche avant tout des candidats capables de suivre une démarche de résolution de problème raisonnée, et par conséquent la justification des choix opérés doit être une préoccupation permanente. Il est également dans l'intérêt du candidat d'exposer la démarche suivie de façon claire et concise, sans se perdre dans de longs développements.

On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication.

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Les questions des parties 1, 2 et 4 portant sur des aspects pédagogiques, les éléments de corrigé indiquent ce que les membres de jury ont cherché à évaluer. Ils ne constituent pas une réponse unique.

Partie 1. Analyse du contexte - Identification des exigences liées à l'environnement

Objectif : *identifier les contraintes liées à l'environnement conduisant au choix d'un système de transport par câble adapté à la ville de Brest.*

Question 1. Pour les solutions de transport par câble de type téléphérique, télécabine, « funitel à câble côte à côte », « funitel à câble en saut de mouton », **repérer** les critères de choix permettant de caractériser ces quatre solutions.

Critères de choix : tenue au vent, coût, largeur de voie, débit maximal, portée maximale.

Question 2. À l'aide des documents DT1 et DT2 1/3, **justifier** le choix de la solution de funitel à « saut de mouton » compte tenu du contexte propre à la ville de Brest. **Établir** le lien entre ce choix de solution et l'approche de développement durable voulue par la ville.

Ville côtière : vent important ;

La largeur est limitée par une arche du bâtiment (doit s'intégrer dans le milieu urbain)

Question 3. À l'aide du DP1, **identifier** les compétences issues du programme du baccalauréat STI2D pouvant être abordées en prenant appui sur une analyse comparative de solutions techniques ; **justifier** votre réponse.

Éléments de réponse :

Le fait de mettre en place une analyse comparative implique l'évaluation de la compétitivité d'un produit par rapport à un autre. La compétence « CO2.2 : Évaluer la compétitivité d'un produit d'un point de vue technique et économique », peut donc être abordée mais ce type d'analyse permet également de justifier des choix au regard de différents points de vue. Les compétences CO1.1, CO1.2 et CO1.3 peuvent donc également être abordées.

Afin d'aboutir à une analyse complète, il sera peut-être nécessaire de caractériser les solutions techniques. Dans ce cas la compétence « CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques », peut également être abordée. Enfin, pour décrire les solutions techniques dans l'objectif de les comparer, il sera nécessaire d'utiliser des outils de description. Cela concerne la compétence « CO4.1 : Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés ».

Question 4. Construire un document adapté aux élèves de première STI2D leur permettant de caractériser les différentes solutions de transport par câble en vue d'effectuer un choix.

Éléments de réponse :

Un tableau synthétique reprenant les différentes solutions et les critères permettant de faire un choix objectif.

Partie 2. Analyse des solutions techniques retenues

2.1. Capacité horaire du funitel

Question 5. Déterminer le temps de parcours maximal t_f pour satisfaire à l'exigence de capacité horaire en mode événementiel. En déduire la vitesse de croisière V_c minimale afin de satisfaire l'exigence et vérifier que celle-ci est acceptable du point de vue du confort des passagers.

La capacité horaire est de 1200 passagers par heure et par sens.

Chaque cabine peut contenir 60 passagers.

Le temps de cycle doit être $t_c = 3600 * \frac{60}{1220} = 180 \text{ s}$

Le temps de trajet doit être $t_t = t_c - 2 \times t_d - 4 \times t_p = 142 \text{ s}$

La distance parcourue est 420 m

La durée du déplacement est : $t_f = t_t = t_a + \frac{d}{V_c}$ avec $t_a = \frac{V_c}{a}$ (d : distance parcourue ; a : accélération)

Soit $t_t = \frac{V_c}{a} + \frac{d}{V_c} \Rightarrow V_c^2 - a \cdot t_t \cdot V_c + a \cdot d = 0$

$V_c^2 - 0,5 \cdot 142 \cdot V_c + 0,5 \cdot 420 = 0$

$V_c = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Cette vitesse est bien inférieure à $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.2. Tenue au vent

Question 6. Déterminer l'angle d'inclinaison maximal de la cabine sous l'effet d'un vent de $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Justifier qu'un téléphérique monocâble ne peut satisfaire l'exigence de tenue au vent

On isole la cabine.

BAME : la force du vent \vec{F}_W en W ; le poids en G ; la réaction du câble en A

Par application du principe fondamental de la statique (équation de moment en A) :

$$-h_G m g \sin(\alpha) + h_W F_W = 0$$

Soit $\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} C_x \rho S V^2 h_W}{M v g h_G} \Rightarrow \alpha = 0,19 \text{ rad} > 0,05 \text{ rad}$, donc le cahier des charges n'est pas respecté avec un téléphérique monocâble.

Question 7. Préciser les hypothèses et théorèmes utilisés afin d'obtenir cette relation puis conclure quant à l'exigence de tenue au vent.

Hypothèses : on se place dans le cadre de la statique (accélérations négligées), seules les actions suivantes sont prises en compte : action du poids, actions des câbles porteurs en A et en B, action du vent.

On isole la cabine et on applique un TMS en O.

$$\overrightarrow{OA} \wedge (-Y_A \vec{y}) + \overrightarrow{OB} \wedge (-Y_B \vec{y}) + \overrightarrow{OG} \wedge \vec{P} + \overrightarrow{OW} \wedge \vec{F}_W = \vec{0}$$

Conclusion : Les angles obtenus sont $\alpha = 3.1^\circ = 0.054 \text{ rad}$ (cabine inférieure) et $\alpha = 0.8^\circ = 0.014 \text{ rad}$ (cabine supérieure)

L'exigence de tenue au vent est cette fois vérifiée pour la cabine inférieure. On atteint la valeur limite pour la cabine supérieure.

2.3. Système de compensation de longueur de câble

Question 8. Déterminer les distances à parcourir pour chacune des deux cabines et justifier la nécessité d'un système de compensation de longueur pour les câbles de traction.

Cabine supérieure :

$$d_s = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0s}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1s}} = 419 \text{ m}$$

Cabine inférieure :

$$d_i = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0i}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1i}} = 416 \text{ m}$$

Les deux cabines ne peuvent pas aller à la même vitesse.

Question 9. Déterminer la course nécessaire des vérins de compensation et valider le choix du vérin.

La course des vérins doit être de $(419-416)/2=1,54 \text{ m} < 2 \text{ m}$

2.4. Tenue des ancrages de câbles

2.4.1. Tension des câbles porteurs

Question 10. Déterminer les composantes des efforts en A et en P en fonction de la force $R_H = R_{HA}$, du poids de la cabine $P = \|\vec{P}\|$, de sa position x_C et des grandeurs géométriques H, D et L. En déduire la tension dans le câble N(x) pour $0 < x < x_C$ et pour $x_C < x < L$ en fonction de R_H , P, x_C et des grandeurs géométriques.

On isole l'ensemble cabine + câbles.

L'application du principe fondamental de la statique conduit aux équations suivantes :

$$\begin{cases} R_{HA} = R_{HP} = R_H \\ R_{VA} + R_{VP} = P \\ P \cdot x_C + R_{HP}(H - D) = R_{VP} \cdot L \quad (\text{TMS en A}) \end{cases}$$

$$\text{Soit : } R_{VP} = P \cdot \frac{x_C}{L} + R_H \frac{(H-D)}{L} \text{ et } R_{VA} = P \cdot \left(1 - \frac{x_C}{L}\right) - R_H \frac{(H-D)}{L}$$

On note aussi que la position du câble impose la direction des efforts en A et en P.

$$\tan\theta_1 = \frac{R_{VA}}{R_{HA}} = \frac{H-d}{x_c}; \tan\theta_2 = \frac{R_{VP}}{R_{HP}} = \frac{H}{L-x_c}$$

Tension des câbles :

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + R_{VA}^2} \text{ si } 0 \leq x \leq x_c$$

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + (R_{VA} - P)^2} \text{ si } x_c \leq x \leq L.$$

Question 11. À partir des résultats de simulation donnés figure 9, **vérifier** la tenue du câble. **Évaluer** l'effort d'ancrage en A en précisant éventuellement vos hypothèses.

On lit sur la figure 9 une tension maximale de 870 kN. Cette tension est bien inférieure à la force limite à la rupture (2743 kN).

Sur chaque ancrage, il y a 4 câbles, l'effort d'ancrage est évalué à environ $4 \cdot 870 = 3480$ kN. On utilise l'hypothèse la plus défavorable où l'effort maximal est obtenu en même temps pour les 4 câbles.

2.4.2. Ancrages

Question 12. À l'aide de la documentation technique du fournisseur dans le document **DT4**, **déterminer** la section minimale puis choisir le tirant précontraint à mettre en place.

On calcule la section minimale à partir des données de l'énoncé :

$$\text{Section mini} = 1,54 \cdot \frac{T_S}{\sigma_R} = \frac{1,54 \cdot 140 \cdot 10^4}{1,86 \cdot 10^3} = 1159 \text{ mm}^2$$

On sélectionne un tirant 8T15 ($A_p = 1200 \text{ mm}^2$)

Question 13. À l'aide du document technique **DT5**, **déterminer** la longueur libre minimale du tirant.

Le remblai situé dans la partie haute du substratum présente des caractéristiques mécaniques très hétérogènes et une cohésion inexistante. Les tirants sont donc ancrés dans la partie rocheuse du sol qui présente une bonne tenue mécanique et située à une profondeur supérieure à 19,1m.

La longueur libre du tirant oblique sera donc au minimum égale à :

$$L = \frac{19,1}{\sin(35^\circ)} = 33,3 \text{ m}$$

Question 14. **Déterminer** la longueur de scellement L_s minimale à mettre en œuvre en utilisant la formule de Bustamante : $T_u = \pi D_s \cdot L_s \cdot q_s$ où q_s est le frottement latéral unitaire du sol et D_s est le diamètre du bulbe de scellement (ici, on prendra $D_s = 20$ cm). **Déterminer** la longueur minimale du tirant précontraint.

On lit dans le DT5 la valeur du frottement latéral unitaire du sol de la couche de Gneiss :

$$q_s = 267 \text{ kPa}$$

La traction de service $T_S = 1400$ kN induit une traction limite du tirant de 2800 kN.

On applique la formule de Bustamante :

$$L_s = \frac{T_u}{\pi D_s \cdot q_s} = \frac{2800 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 10^{-2} \cdot 267 \cdot 10^3} = 16,7 \text{ m}$$

On en déduit la longueur minimale du tirant :

$$\text{Longueur tirant mini} = \text{Longueur libre} + L_{s_mini} = 33,3 + 16,7 = 50 \text{ m}$$

Question 15. Calculer la valeur minimale de T_e et estimer l'allongement théorique du tirant sous cet effort. Comparer à l'allongement sous charge maximale du tirant sélectionné.

$$T_e = 1,25 T_S = 1400 \cdot 1,25 = 1750 \text{ kN}$$

On peut alors estimer l'allongement théorique en considérant que le tirant est sollicité à de la traction simple :

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{T_e}{E \cdot section} \text{ avec } L : \text{ longueur de l'armature}$$

On peut lire dans le DT4 le module d'élasticité : $E_p = 195 \text{ kN/mm}^2$

On obtient alors l'allongement : ΔL :

$$\Delta L = \frac{T_e \cdot L}{E \cdot section} = \frac{1750 \cdot 10^3 \cdot 50}{195 \cdot 10^9 \cdot 1200 \cdot 10^{-6}} = 0,37 \text{ m}$$

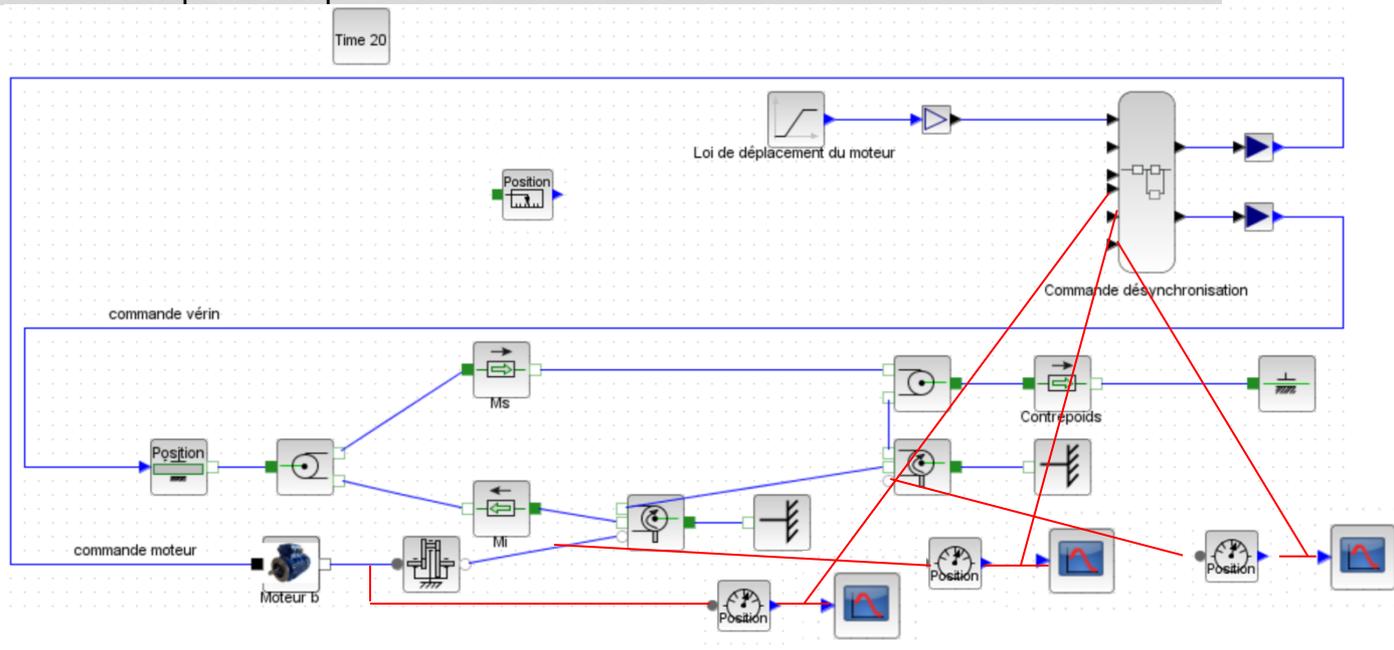
Ce qui correspond à un allongement relatif :

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0,37}{50} = 0,7\%$$

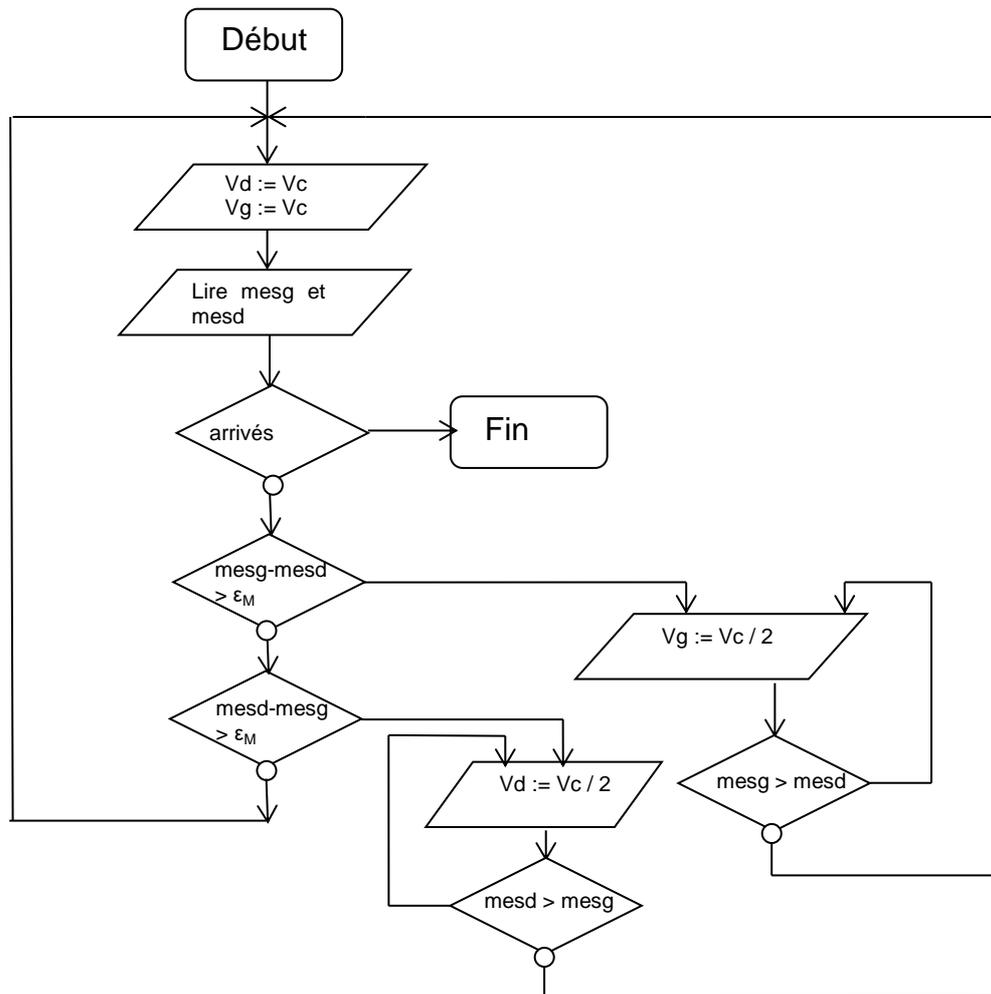
Le tirant sélectionné supporte un allongement sous charge de 3,5%, ce qui est largement supérieur à 0,74%. Le choix est satisfaisant.

2.5. Commande de motorisation des câbles tracteurs

Question 16. Compléter ce schéma à l'aide des informations fournies en y intégrant les capteurs de position.



Question 17. Compléter l'algorithme proposé sur le document réponse DR4.



2.6. Dimensionnement de la motorisation

Question 18. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne, notée E_{cT} , des câbles tracteurs, des deux cabines et de la motorisation, en fonction de V_s et des données du problème. **En déduire** l'expression de M_{eq} défini par $E_{cT} = \frac{1}{2} M_{eq} V_s^2$.

$$\begin{aligned}
 E_{cT} &= \frac{1}{2} \mu_t (L_s V_s^2 + L_i V_i^2) + \frac{1}{2} M_s V_s^2 + \frac{1}{2} M_i V_i^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} I_m r^2 \omega_m^2 + 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_p r^2 \omega_m^2 \\
 &= \frac{1}{2} \mu_t (L_s V_s^2 + L_i k_i^2 V_s^2) + \frac{1}{2} M_s V_s^2 + \frac{1}{2} M_i k_i^2 V_s^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot I_m r^2 \left(\frac{2}{D_p}\right)^2 V_s^2 + \frac{1}{2} \cdot \\
 &6 \cdot I_p r^2 \left(\frac{2}{D_p}\right)^2 V_s^2 \\
 &= \frac{1}{2} \left[\mu_t (L_s + L_i k_i^2) + M_s + M_i k_i^2 + I_m \frac{8 \cdot r^2}{D_p^2} + I_p \frac{24 \cdot r^2}{D_p^2} \right] V_s^2
 \end{aligned}$$

Soit $M_{eq} = \mu_t (L_s + L_i k_i^2) + M_s + M_i k_i^2 + I_m \frac{8r^2}{D_p^2} + I_p \frac{24r^2}{D_p^2}$

Question 19. Préciser en justifiant la phase de fonctionnement la plus défavorable pour le dimensionnement du moteur. Déterminer la puissance galiléenne, notée P_p , des actions de pesanteur sur l'installation en fonction de V_s et des données dans cette situation la plus défavorable.

La phase la plus défavorable est celle où les 2 cabines sont pleines et en montée soit pour $0 \leq t \leq t_{m1}$.

Reste à définir le sens :

Sens 1 : La cabine supérieure va de Capucin vers SIAM :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{0s} - M_i V_i g \sin \alpha_{1i}$$

Sens 2 : La cabine supérieure va de SIAM vers Capucin :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{1s} - M_i V_i g \sin \alpha_{0i}$$

Dans le cas où les 2 cabines sont plaines : $M_s = M_i = M$

Reste à comparer les 2 quantités :

$$\text{Sens 1 : } q_{s1} = \sin \alpha_{0s} + \sin \alpha_{1i} = \sin 8,78^\circ + \sin 11,4^\circ = 0.35$$

$$\text{Sens 2 : } q_{s2} = \sin \alpha_{1s} + \sin \alpha_{0i} = \sin 14,1^\circ + \sin 6,72^\circ = 0.36$$

La situation la plus défavorable est donc celle du sens 2 lorsque la cabine supérieure est en mouvement de Siam vers capucin, et donc que la cabine inférieure est en mouvement de Capucin vers Siam, lorsque les 2 cabines montent soit $0 \leq t \leq t_{m1}$.

Question 20. En déduire une estimation de la puissance galiléenne maximale nécessaire, notée P_T pour l'entraînement de la ligne entre les gares dans la situation étudiée, en fonction de V_s et de l'accélération \dot{V}_s . en déduire l'expression du couple maximal sur la poulie C_r dans ces conditions.

Par application du théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement :

$$\frac{dEc}{dt} = P_p + P_T$$

$$\text{Soit } P_t = M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p \text{ avec } P_t = C_r \omega_p \text{ et } V_s = \frac{D}{2} \omega_p$$

$$\text{Soit } C_r = \frac{M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p}{V_s} \cdot \frac{D}{2}$$

Question 21. À partir de la plaque signalétique d'un des moteurs figure 13, déterminer les caractéristiques mécaniques nominales du moteur (couple, vitesse angulaire et puissance).

Par lecture de la plaque signalétique : Le moteur a une puissance mécanique de 293kW, une vitesse nominale de 1480 tr.min^{-1} (155 rad.s^{-1})

On en déduit le couple au point de fonctionnement nominal : 1,9 kN.m

Question 22. Vérifier si les caractéristiques du moteur conviennent pour notre application.

Vitesse du moteur pour une vitesse de cabine de 7.5m/s (vitesse maximale) : $\omega =$

$$\frac{v}{r.R} = \frac{7,5}{0,0483.1} = 155,3 \text{ rad/s. Cette vitesse est semblable à la vitesse nominale.}$$

Le couple maxi en sortie est $C_r=34.5\text{kN.m}$ soit un couple moteur : $C_m = \frac{C_r \cdot r}{\eta_r} = \frac{34,5 \cdot 0,0483}{0,95} = 1,75 \text{ kN.m}$

ce qui est inférieur à $1,9 \text{ kN.m}$

Puissance mécanique moteur : $P_m = C_m \cdot \omega = 1,75 \cdot 155,3 = 271,8 \text{ kW}$, ce qui est inférieur à 293 kW .

Le moteur convient donc pour notre application.

2.7. Partie pédagogique

Question 23. À partir de l'étude traitée dans la partie 2.5, **proposer** une activité pratique destinée à des élèves de STI2D permettant d'aborder la compétence CO6.2 et le chapitre 3.1 des connaissances associées.

CO6.2 : Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique.

Chapitre 3.1 : Modélisation et simulation

Avec cette question il est attendu une proposition d'activité pratique en lien avec la compétence et la connaissance visées. La description de l'activité doit mettre en évidence les actions des élèves dans l'utilisation du modèle multi physique, en particulier pour l'identification des variables et des paramètres internes. Le niveau de guidance relatif au niveau de première STI2D est observé.

Question 24. Afin de mettre en place une évaluation formative pendant l'activité, **identifier** trois indicateurs de performance permettant de savoir si un élève a acquis ou non la compétence ciblée.

Exemples de critères mais d'autres sont possibles. L'important est de vérifier que le candidat propose réellement des observables avec une progressivité.

L'élève a su identifier les variables et les paramètres de simulation ;

L'élève fait le lien entre les paramètres du modèle et le système réel ;

L'élève a modifié correctement le modèle multi physique ;

...

Question 25. **Proposer** une stratégie de remédiation pour les élèves n'ayant pas acquis la compétence.

Activité supplémentaire spécifique au besoin

Intégration des connaissances dans la séquence suivante (acquisition spiralaire)

Ressources en ligne pour travail hors classe

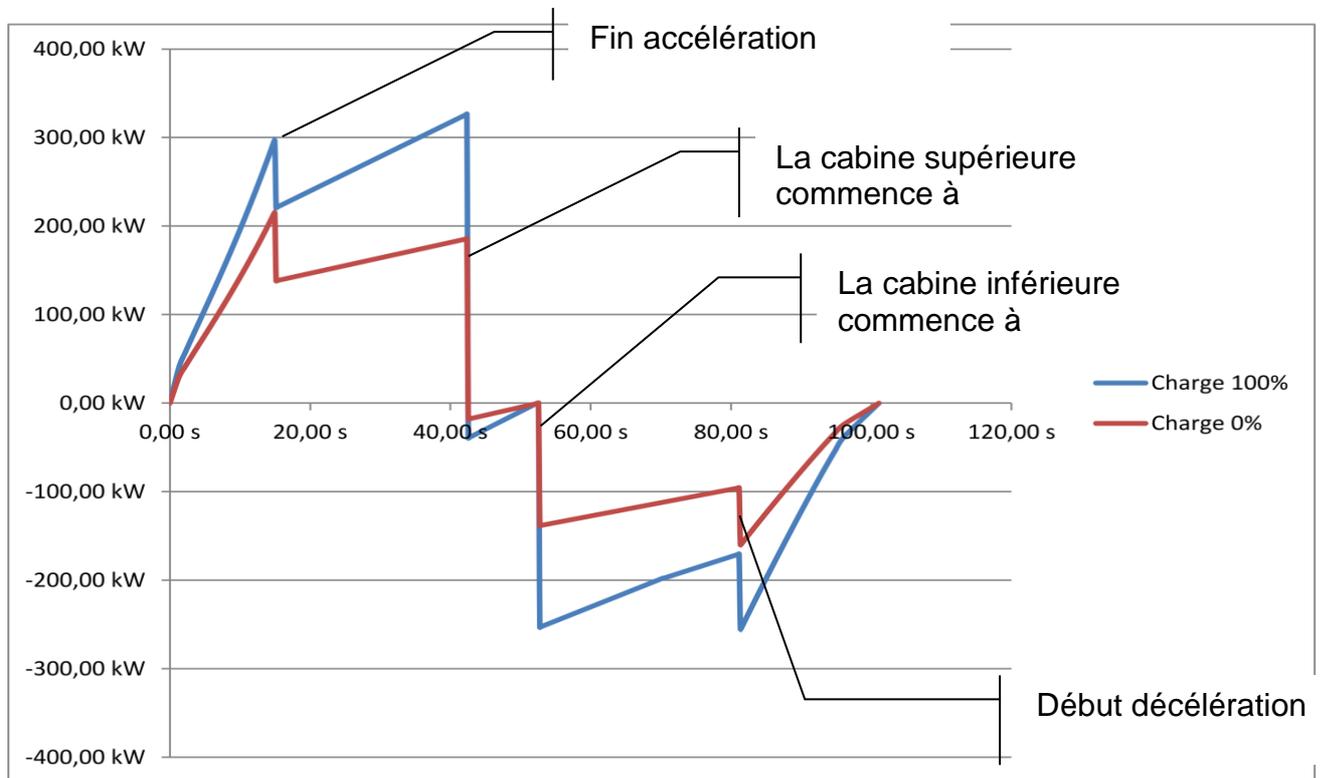
Quizz

Tutorat par les pairs.

Partie 3. Optimisation énergétique

3.1. Bilan énergétique d'un trajet

Question 26. Une simulation, DR3, permet d'afficher les puissances le long d'un cycle pour une loi d'accélération donnée. **Justifier** sur le DR3 les allures des courbes obtenues.



Puissance d'un moteur en fonction du temps
(cabines pleines et vides pour une vitesse de 5 m.s^{-1})

Question 27. Préciser s'il est possible de récupérer de l'énergie pour la restituer et **justifier** la nécessité de recourir à une source extérieure.

Lorsque la puissance est négative (à partir de t_{m1}), la puissance est négative. Il est donc possible de récupérer l'énergie.

L'aire sous la courbe représente l'énergie nécessaire puis récupérable. Celle-ci est plus faible, d'où la nécessité de recourir à une énergie extérieure.

3.2. Analyse structurelle du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

Question 28. En utilisant le document technique DT7 « comparatif des solutions de stockage de l'énergie électrique », **rédigé** une synthèse explicitant les cas dans lesquels l'utilisation de super-condensateurs est appropriée ; **argumenter** ce choix dans le cadre du système étudié.

Éléments de réponse :

Avantages des super condensateurs : Grande cyclabilité, temps de réponse adapté au système, capacité énergétique adaptée, pas d'usure mécanique, pas de bruit, pas de pollution, modularité possible, etc.

Inconvénients : prix au kWh.

Question 29. À l'aide du document **DR3**, quantifier l'énergie récupérable sur un cycle de déplacement (pour une charge de 100% correspondant à une cabine pleine).

L'aire sous la courbe est environ $200\text{kW} \cdot 40\text{s} = 8000 \text{ kW} \cdot \text{s} = 8 \cdot 10^6 \text{ J} = 2,2 \text{ kW} \cdot \text{h}$

Question 30. Déterminer la capacité c nécessaire pour stocker l'énergie dans ces conditions.

$$c = \frac{2w}{v^2} = \frac{2 \times 8 \cdot 10^6}{720^2} = 31 \text{ farads}$$

Question 31. Déterminer le nombre de modules ainsi que leur couplage ou association.

Si n condensateurs en série on a $C_{eq} = \frac{c}{n}$
 $\frac{375}{11} = 34,1$ il faut donc 11 condensateurs en série.

Question 32. Déterminer la valeur des paramètres a et c_1 .

$0,8 \times 34,1 = c_1$ et $1,3 \times 34,1 = 720 a + c_1$
 Soit $c_1 = 27,3$ farad et $a = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ f} \cdot \text{V}^{-1}$

Question 33. Démontrer l'équation suivante :

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

avec V_{\max} la tension en fin de charge et V_{\min} la tension en début de charge.

$$w_c(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^t c \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v + c_1) \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v^2 + c_1 v) \frac{dv(t)}{dt} dt$$

$$w_c(t) = \left[\frac{1}{3} a v^3 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}} + \left[\frac{1}{2} c_1 v^2 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}}$$

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

Question 34. Calculer l'énergie (en kWh) stockée lors d'une charge. Comparer cette énergie par rapport à celle de la question 31.

$$w_c = \frac{1}{2} 27,3 (720^2 - 250^2) + \frac{1}{3} 0,0238 \cdot (720^3 - 250^3) = 9 \cdot 10^9 \text{ J} = 2,5 \text{ kW} \cdot \text{h} > 8 \cdot 10^6 \text{ J}$$

OK

3.3. Optimisation de la consommation électrique

Question 35. À l'aide du document **DR3**, déterminer la quantité d'énergie extérieure pour un cycle. Proposer une stratégie de gestion d'énergie entre l'énergie stockée et l'énergie d'E.D.F. qui permettra d'éviter les dépassements de puissance.

L'énergie nécessaire pour la montée (aire sous la courbe) est d'environ $40 \times 250 \text{ kW} \cdot \text{s} = 10^7 \text{ J}$;

L'énergie récupérable est $8 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Donc il manque $2 \cdot 10^6 \text{ J}$.

La puissance nécessaire en fin de montée est supérieure à 240 kW ; il faut donc utiliser l'énergie stockée en fin de montée.

La montée dure 40 s.

$$\frac{2 \cdot 10^6}{40} = 5 \cdot 10^4 \text{ W}$$

Avec une consommation EDF constante de 50 kW, on utilise la totalité de l'énergie stockée sans dépasser la puissance maximale EDF.

Question 36. Déterminer le coût énergétique journalier (le téléphérique fonctionne 12 heures par jour et il effectue en moyenne 8 cycles par heure).

$$0,15 \times \frac{2 \cdot 10^3}{3600} \times 8 \times 12 + 42,48 \times \frac{50}{365} = 14,22 \text{ €}$$

Partie 4. Stratégie pédagogique

Question 37. Proposer la définition d'une séquence pédagogique.

Rédiger la réponse sous forme d'une fiche de séquence (le format est laissé libre) en veillant à préciser :

- le choix du contexte pédagogique retenu pour les enseignements spécifiques représentés dans la classe de terminale STI2D (AC ou ITEC, EE ou SIN) ;
- le rappel des compétences visées ;
- les connaissances associées aux compétences ;
- la démarche pédagogique retenue en veillant à **justifier son choix** ;
- les activités proposées et leur enchaînement au fil de la séquence ;
- une estimation de la durée de chaque étape de la séquence ;
- les modalités d'évaluation envisagées ;
- le contexte matériel, notamment les supports autres que le funitel de Brest mobilisés dans la séquence.

CO6.2 : Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique

CO6.5 : Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution.

L'objectif de cette question est d'évaluer le candidat sur différents aspects constitutifs à l'élaboration d'une séquence pédagogique. Dans un premier temps les auteurs du sujet attendaient de pouvoir observer la capacité à décrire une organisation pédagogique cohérente et en phase avec les objectifs de formation ciblés. Au-delà d'une simple description, les justifications attendues sont des critères d'évaluation importants.

La séquence pédagogique à construire étant positionnée en terminale pour l'enseignement de spécialité 2I2D, il est attendu une vision globale de la séquence en prenant en compte à la fois la partie commune et les enseignements spécifiques dans un contexte commun s'appuyant sur des enjeux de société. La conception de la

séquence pédagogique doit s'appuyer sur les éléments définis dans le programme comme les champs Matière, Énergie et Information, autour d'un thème et d'une problématique mettant en évidence les enjeux de notre société actuelle.

La problématique de la ville de Brest permet aisément d'amener progressivement l'élève vers des problématiques techniques.

Dans la description des activités proposées aux élèves, il est attendu des activités réalistes dans la mise en œuvre et leur enchaînement, mais également cohérentes avec les compétences visées et la démarche pédagogique (inductive – déductive) envisagée. Une succession d'activités sans lien avec les objectifs de formation ne peut être valorisée quel que soit le type d'activité.

Un intérêt particulier est porté pour les activités mettant en œuvre des expérimentations face à des études de dossiers ou des travaux dirigés.

Concernant la mise en place des modalités d'évaluation, les auteurs du sujet souhaitent entre autres, évaluer si le candidat est capable de proposer et de décrire d'autres modalités d'évaluation que seulement l'évaluation sommative. Les évaluations diagnostiques et formatives étant trop peu utilisées. Afin de faire le lien avec la séquence proposée, il est également attendu des candidats, qu'ils proposent des observables ou des critères de performance en lien avec les activités et les compétences visées.

4. Épreuve d'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Présentation du sujet

Le sujet porte sur la construction d'un bâtiment dans une commune de 20 000 habitants. Le projet prévoit la réalisation d'une salle multi-activités pour les habitants ainsi que la construction de nouveaux locaux pour la maison de quartier.

Le sujet se décompose en quatre parties permettant d'évaluer des compétences dans les domaines de la structure et de l'énergie. :

- les parties A, B et C, portent sur l'étude des soutènements respectivement en phase AVant Projet, PROjet et EXEcution ;
- la partie D, s'intéresse à la conception du complexe de couverture de l'aile abritant la salle multi-activités.

Progressif dans le questionnement, ce sujet donne l'occasion aux candidats de démontrer leurs capacités d'analyse et d'argumentations dans un contexte scientifique et technologique du niveau de l'agrégation.

Analyse globale des résultats

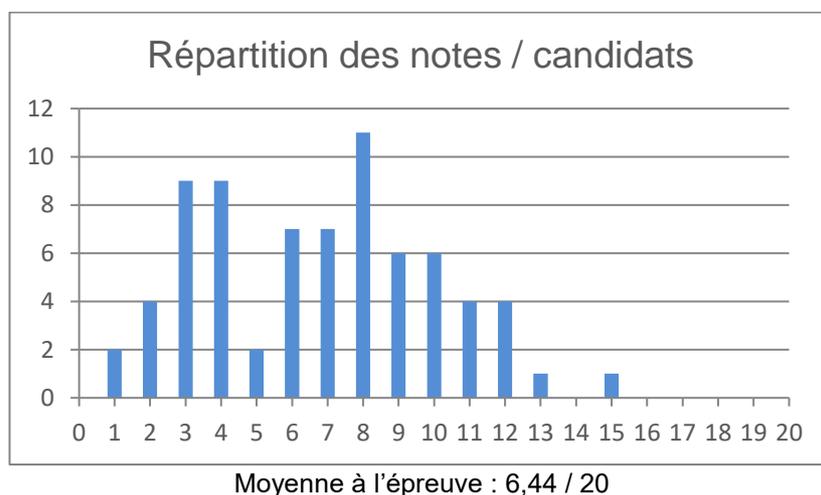
Peu de candidats obtiennent la moyenne à cette épreuve. De trop nombreux candidats montrent de réelles difficultés à appréhender les questionnements évaluant des compétences scientifiques. La moyenne obtenue à l'épreuve reste faible. Le jury regrette que de trop nombreux candidats choisissent de n'aborder 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. Le tableau « Indépendance des questions » de l'énoncé est une aide pour aller dans ce sens.

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 pour ce qui est de 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.

Le jury rappelle que le concours de l'agrégation nécessite une préparation soutenue aux épreuves.



Commentaires sur chaque partie du sujet

Partie A :

Cette partie visait dans un premier à identifier les 2 types de mur de soutènement présents dans la zone étudiée du bâtiment, avec et sans déplacement possible par rapport à leur environnement : mur de soutènement et mur semi-enterré. Il s'agissait d'explicitier dans un premier temps, quels pourraient être les appuis du mur semi-enterré (au final sans déplacement possible par rapport au sol à l'arrière de celui-ci). La question de l'action de la charpente métallique sur le mur semi-enterré était également abordée : il s'agissait d'amener le candidat à comprendre la nécessité d'éviter la présence d'un couple d'effort (moment) en tête de ce mur en béton armé. La référence à l'annexe A1 permettait de rappeler au candidat les notions de base en génie civil, de POUSSÉE et de BUTÉE.

Cette section, uniquement rédactionnelle, devait permettre aux candidats de valoriser leurs connaissances sur la conception et la technologie des bâtiments et des murs de soutènement.

Un certain nombre de candidats a su tirer profit de cette partie. Seulement 8 % des candidats n'ont pas du tout abordé cette partie. La correction a par ailleurs mis en évidence qu'une proportion significative des candidats n'était pas à l'aise avec des compétences de base, telles que les calculs élémentaires de géotechnique. Néanmoins, 50% des candidats ont obtenu au moins la moitié des points. La méconnaissance de notions de base sur la géotechnique de base en lien direct avec les bâtiments et les ouvrages de génie civil suggère au jury d'encourager les candidats à renforcer et élargir leurs compétences.

Partie B :

Cette partie visait à calculer et à vérifier d'une part la stabilité géotechnique du mur de soutènement et d'autre part le ferrailage du mur de soutènement en béton armé. Pour établir un modèle géotechnique du terrain, bidimensionnel à utiliser pour le calcul avec un logiciel métier, il s'agissait dans un premier temps, de lire les informations du rapport géotechnique et de les retranscrire à l'échelle et avec une cotation sur une vue bi-dimensionnelle (altitude, épaisseur des couches, matériaux des différentes couches de sols). Ensuite, il fallait transformer les caractéristiques mécaniques des différents sols mesurées en valeurs adaptées au logiciel métier.

Très peu de candidats sont arrivés à utiliser la fonction logarithme pour inverser la formule fournie. Le calcul des efforts de poussée du sol à l'arrière du mur n'a été réussi que par un nombre très faible de candidats. La vérification de la stabilité géotechnique, avec les valeurs fournies dans l'énoncé, n'a pas été maîtrisée par beaucoup de candidats.

Malgré sa relative simplicité, le taux de réussite lors du calcul de RDM du moment fléchissant dans la section la plus sollicitée (charge triangulaire sur une console), tout comme le calcul de la section d'acier correspondante est resté très faible.

La lecture des plans de ferrailage a été bien réussie pour ceux qui ont traité cette question.

L'étude de la structure hyperstatique a été très peu réussie, tout comme la détermination des contreventements de structure à mettre en place dans ce type simple et classique de structures.

En dehors des connaissances générales sur le contreventement des structures, la plupart des notions et des valeurs numériques intermédiaires étaient fournies dans le sujet et ses annexes.

Malgré cela, 22% des candidats n'ont pas traité cette partie et les résultats obtenus par l'ensemble des candidats sont restés très faibles. 5% des candidats seulement ont obtenu au moins la moitié des points, révélant une méconnaissance de notions de base en géotechnique, du calcul et de la stabilité des structures.

Partie C :

Cette partie s'intéressait à l'organisation du chantier et à la conception-dessin d'éléments de la structure. Elle n'a été traitée que par 50% des candidats suggérant que ceux-ci n'y consacraient que très peu de temps, parce que potentiellement ne correspondant pas à leur compétence centrale. Mais la plupart de ceux qui l'ont traitée ont obtenu la moitié des points.

Il est cependant rappelé que l'agrégation sanctionne les compétences transversales des candidats dans les différents domaines de l'ingénierie de la construction. Les

candidats sont donc invités à renforcer leurs compétences dans ces différents domaines.

Partie D :

Cette partie avait pour objet la vérification des performances d'un complexe de couverture. Cette paroi doit remplir plusieurs fonctions et notamment dans les domaines thermique, isolation acoustique et correction acoustique. Le système constructif retenu est un complexe de couverture composé de différentes couches avec isolants et éléments porteurs. Le sujet comportait :

- une partie d'analyse fonctionnelle et technique,
- une partie de calcul et validation des performances thermiques,
- une partie de vérification des caractéristiques de correction acoustique,
- un calcul de l'isolation acoustique vis-à-vis de la transmission des bruits intérieurs vers l'extérieur et pour terminer.
- une approche de l'impact Carbone.

Malgré sa relative simplicité, le taux de réussite sur cette partie est faible. Cette partie arrivait en fin de sujet, elle a donc été abordée par un nombre réduit de candidats. Le jury souhaite rappeler à ce titre que les candidats doivent prendre intégralement connaissance des thématiques proposées dans le sujet avant de composer, et ainsi identifier, dès le début de l'épreuve, toutes les possibilités qui leur sont offertes de valoriser leurs connaissances et compétences. La correction a par ailleurs mis en évidence qu'une proportion significative des candidats n'était pas à l'aise avec des compétences de base, telles que les calculs élémentaires de thermique et d'acoustique. Le jury encourage les candidats à renforcer et élargir leurs compétences dans l'ensemble des domaines de l'ingénierie des constructions.

Éléments de correction de l'épreuve

Partie A – Etude des soutènements en phase AVant Projet

Question 1 – DR1a

	Cas A	Cas B	Cas C
<p>Représenter les efforts transmis par la ferme treillis et le dallage sur le mur semi-enterré. (« 0 », si pas d'effort)</p>			
<p>Y-a-t-il un moment (couple de forces) conséquent appliqué sur la partie supérieure du mur, par les membrures de la ferme treillis, sous l'effet des actions permanentes de la toiture ? Oui / Non</p>	Oui	Non	Non
<p>Y-a-t-il un déplacement horizontal possible du mur vers l'intérieur du bâtiment ? Oui / Non</p>	Non	Non	Oui

Question 2 - DR1b

	Cas A	Cas B	Cas C
Sollicitation globale du sol support de la fondation du mur, sous l'ensemble des actions, y.c. le remblai.	+	-	--
Effort de poussée du sol du remblai.	-	+	++
Déplacement du mur néfaste pour le bon fonctionnement du bâtiment.	++	++	--
Moment apporté par la poutre treillis, en tête du mur sous l'effet des actions verticales appliquées à la toiture.	--	++OU +	++
Sollicitation du mur sous l'effet de la poussée du sol du remblai.	++	+	--
Effort normal dans les membrures de la poutre treillis, apporté par la poussée du sol sur le mur.	--	-	++
Effet des liaisons mur-treillis sur la sollicitation de flexion de la poutre treillis.	++	+	--
Sollicitation du dallage par le mur.	-	-	+
Effet « boîte » vis-à-vis du séisme.	++	+	--

Question 3

La solution la plus appropriée est celle du cas B. On note que c'est la solution la plus homogène par rapport aux critères étudiés :

- Le sol sous la fondation n'est sollicité qu'en compression car les efforts horizontaux sont repris par le dallage et la ferme treillis (ET surtout par le contreventement longitudinal de la ferme treillis).
- L'effort d'appui du remblai sur le mur se fera soit à l'état actif (K_a) si le mur se déforme suffisamment (voir Annexe A3 - C3 : de 0,15 h si le sol de remblai est dense à 0,45 h s'il est lâche), soit à l'état au repos (K_0).
- Pas de déplacement du mur (seulement des déformations), donc pas de problème notamment d'étanchéité et/ou de fissure au niveau des jonctions entre le mur semi-enterré et les pignons.
- La membrure inférieure de la poutre treillis étant sur un appui simple, il n'y aura pas de moment induit par la poutre treillis au niveau de la tête du mur. Si la poutre treillis est fixée de manière identique côté mur du patio commun, il y aura un effort horizontal en tête qui engendrera un moment fléchissant dans le mur, mais pas un couple de forces en tête du mur !
- Le mur semi-enterré, d'un point de vue des efforts horizontaux, pourra être considéré comme appuyé sur 2 appuis (le dallage et la poutre treillis) et sollicité par la charge triangulaire de poussée du sol de remblai.
- Sous la poussée du sol de remblai, la membrure supérieure sera sollicitée mais les efforts seront rapidement repris par un contreventement longitudinal obligatoire.
- La poutre treillis sera isostatique (rotule côté mur semi-enterré et appui simple côté patio commun), voire bi-rotulée.
- Le dallage sera sollicité par un effort normal et il faudra limiter au maximum les tassements de la semelle du mur pour ne pas le solliciter en flexion.
- L'effet « boîte » sera assuré au niveau des têtes des murs de la salle.

Question 4

Inconvénients :

- L'effort de poussée du sol va beaucoup augmenter (avec le carré de la hauteur de la zone en remblai)
- Le coût de l'isolation et de l'étanchéité va augmenter.
- Le dallage ainsi que la poutre treillis vont être plus sollicités en compression sous la poussée du remblai. (contreventements : la résultante des efforts de poussée du sol de remblai se rapproche alors de la position de la poutre treillis et s'éloigne de l'axe du dallage...)
- Le mur sera plus ferrailé aussi.
- Gestion par un fossé et une évacuation des eaux pluviales.
- Aspect visuel à la jonction avec le mur de soutènement...

Avantages :

- Moins de potentiels problèmes d'infiltration d'eau par le mur semi-enterré.

- Moins de parements en briques.
- Pas de risque qu'il y ait ultérieurement des surcharges additionnelles à proximité du mur.

Question 5

Le sol à placer en remblai est un sol drainé, non cohésif pour réaliser un remblai de qualité (compactage, drainage, tassements ultérieurs au cours de la vie de l'ouvrage). Ce sol de remblai sera de type grave non traitée soigneusement compactée à 95% de l'OPN, par couches de 25 à 30cm environ. On pourra vraisemblablement le considérer plutôt comme un sol dense.

Mur de soutènement : il est avantageux de le laisser se déplacer pour mobiliser l'état ACTIF (poussée). Le déplacement se fera alors uniformément sur la hauteur (l'annexe 3 – C3 – cas b). Le déplacement devra alors être de l'ordre de grandeur de $0,1\% h$; soit : $0,1\% \cdot 3,80 = 0,38 \text{ cm}$ soit 3,8 mm. Ce déplacement est de l'ordre de grandeur (5mm) toléré par le maître d'ouvrage. La conséquence est qu'il sera nécessaire de gérer la liaison de ce mur avec le bâtiment qui, lui, restera fixe : joints et couvre-joints.

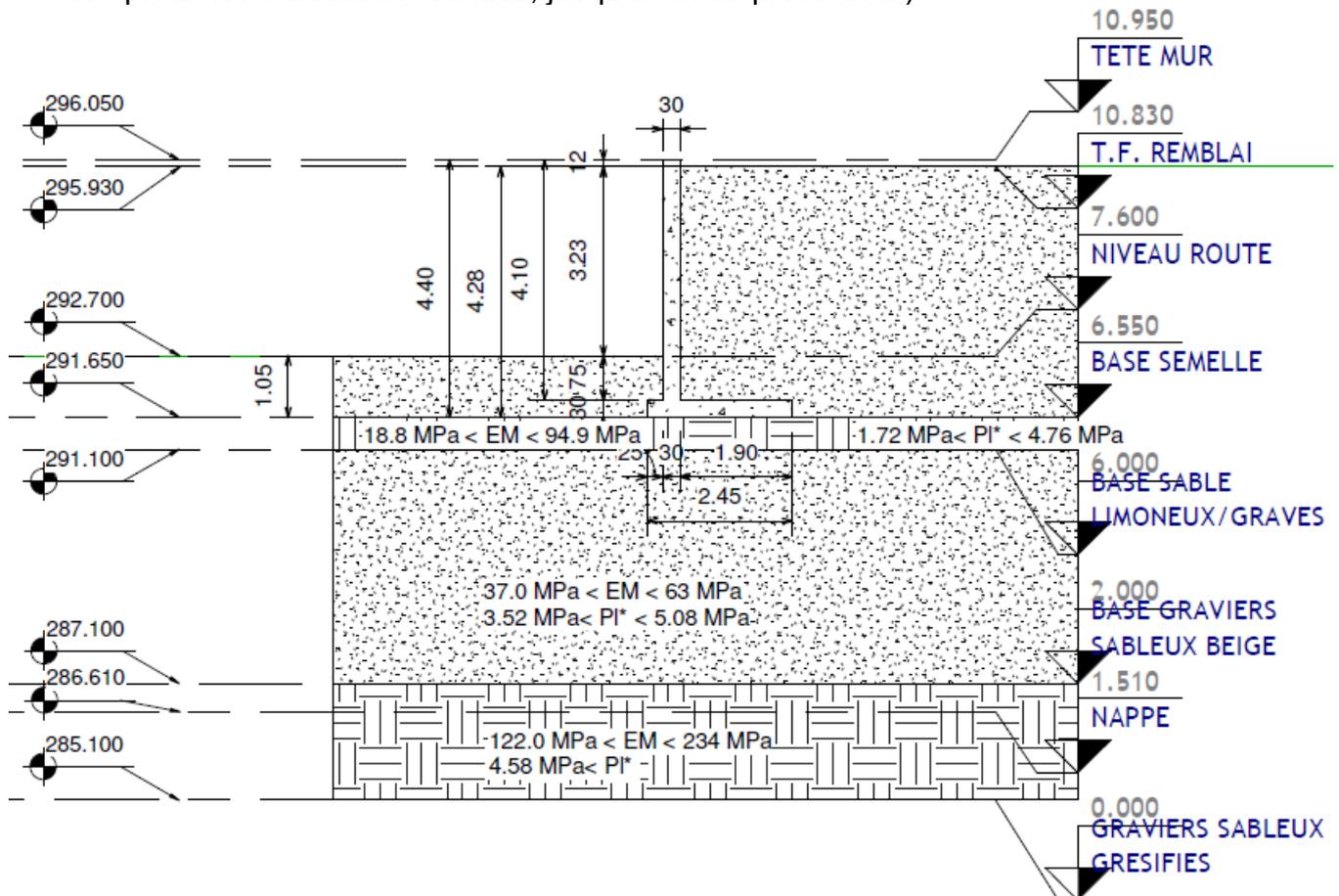
Mur semi-enterré : il est aussi avantageux de le laisser se déformer pour mobiliser l'état ACTIF (poussée). Le mur étant appuyé sur le dallage et la charpente (cas B), ce déplacement ne pourra se faire que selon le schéma du cas de l'annexe 3 – C3 – cas a. Le déplacement devra alors être de l'ordre de grandeur de $0,2\% h$; soit : $0,2\% \cdot 1,90 = 0,38 \text{ cm}$ soit 3,8 mm. (Cette déformation est de l'ordre de grandeur toléré par usuellement pour la déformée des dalles ($l / 500 = 490 / 500 = 0,98 \text{ cm} = 9,8 \text{ mm}$). (Voir annexe A2 pour les hauteurs de 1,90m et de 4,90m). La conséquence est qu'il serait nécessaire de calculer la déformée réelle de ce mur.

Pour ces 2 murs, il faudra être particulièrement vigilant sur l'état de compacité du remblai à l'arrière des murs (sol dense).

Partie B – Étude des soutènements en phase PROJET

Question 6

Les indications de l'énoncé et celles du sondage pressiométrique **PRA** (le plus proche et complet de la zone concernée par le mur de soutènement), permettent d'établir la coupe géotechnique suivante : (les sondages PMC et PMA peuvent permettre de compléter les indications fournies, jusqu'à 3m de profondeur)



Il faut prendre en compte les niveaux NGF afin de recaler le sondage sur les côtes du mur de soutènement...

Par ailleurs, les valeurs du module pressiométrique (E_M) et de la pression limite nette (pl^*) à adopter sont celles des pages 6 à 7 sur 20 qui diffèrent légèrement de celle du sondage pressiométrique (PRA) fourni à la page 8 sur 20. En effet, les valeurs prises en compte tiennent compte aussi de celles obtenues avec le sondage pressiométrique (PRB) non fourni.

La nappe sera prudemment fixée à la cote NGF 286,61 m (= 285,10 + 10,00 – 8,49). Elle se situerait même probablement vers le niveau 287,1 NGF sur le toit des sols grésifiés.

Il est indiqué à la page 7 sur 20 de l'annexe B1, que la fondation du mur de soutènement sera ancrée au moins de 30 cm dans l'horizon des sables limoneux, soit à une cote NGF inférieure à 293,50 m. Ici, cette cote a la valeur de 291,65 m et elle est donc validée.

De même, il est indiqué dans le même paragraphe que la côte hors gel minimale est de 90cm. Ici, elle est de 105 cm, donc validée.

Le sol de fondation a de bonnes à très bonnes caractéristiques mécaniques sur cette couche.

On peut noter un pendage de la couche de limon sableux (donc des autres couches aussi ?) vers le Nord Est.

Question 7

$$pI^* = 0,25 \cdot 2^{(\phi'/4 - 6)}$$

On en déduit facilement : $\ln(2^{(\phi'/4 - 6)}) = \ln(4 \cdot pI^*)$ et que : $\phi'_{in-situ} = 4 \cdot (6 + (\ln 4 + \ln(pI^*)) / \ln 2)$

Les caractéristiques de la première couche de terre végétale et de limon sableux ne sont pas fournies car elles n'interviennent que pour la phase initiale des travaux.

On obtient alors, les valeurs suivantes :

Sol	PI* in -situ (MPa)	ϕ' in-situ	ϕ' logiciel	C (kPa)
TV +limon sableux			25°	0
Sable limoneux	1,72 à 4,76	35° à 41°	30°	0
Gravier sableux	3,52 à 5,08	39° à 41°	30°	0
Graviers et sables grésifiés	4,58	41°	35°	0

Une étude plus poussée (boite de cisaillement, triaxial, essai pressiométrique à l'aplomb du mur, ...) des caractéristiques mécaniques pourrait permettre de prendre en compte un angle de frottement probablement beaucoup plus élevé. En l'absence de ces essais complémentaires, comme l'Eurocode propose de prendre des valeurs choisies prudemment, le concepteur a choisi des valeurs plus faibles afin de rester en sécurité.

La cohésion est prudemment prise égale à 0, car il n'y a pas de sol cohérent qui soit en présence d'eau.

Question 8

La prise en compte du remblai à l'avant du mur serait favorable et pourrait ne pas exister lors de travaux à l'avant du mur : il est donc recommandé de ne pas la prendre en compte.

Le calcul des actions est mené à l'aide des indications de la coupe effectuée à la question 6 :

Calcul des actions **verticales** :
kN/ml

Mur de soutènement : *Semelle : $0,3 \cdot 2,45 \cdot 25 =$
18,38

*Voile : $0,3 \cdot 4,10 \cdot 25 =$
30,75

Sol sur le talon de la semelle : $1,90 \cdot 3,98 \cdot 20 =$
151,24

**TOTAL (G) Vertical ELS : $V_{GELS} = 200,37$
kN/ml**

Actions variables sur le talus : TOTAL (Q) Vertical ELS : $V_{QELS} = 9,45$ kN/ml - A NE PAS PRENDRE EN COMPTE, puisque c'est une action favorable vis-à-vis du renversement (le sol sous la fondation a de bonnes capacités de portance)

Calcul des actions **horizontales** :
kN/ml

Action de poussée du sol de remblai sous son poids : $F_{a\gamma} = \frac{1}{2} \cdot k_{a\gamma} \cdot \gamma \cdot H_r^2$
 $= 0,5 \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 4,28^2 = 61,00$

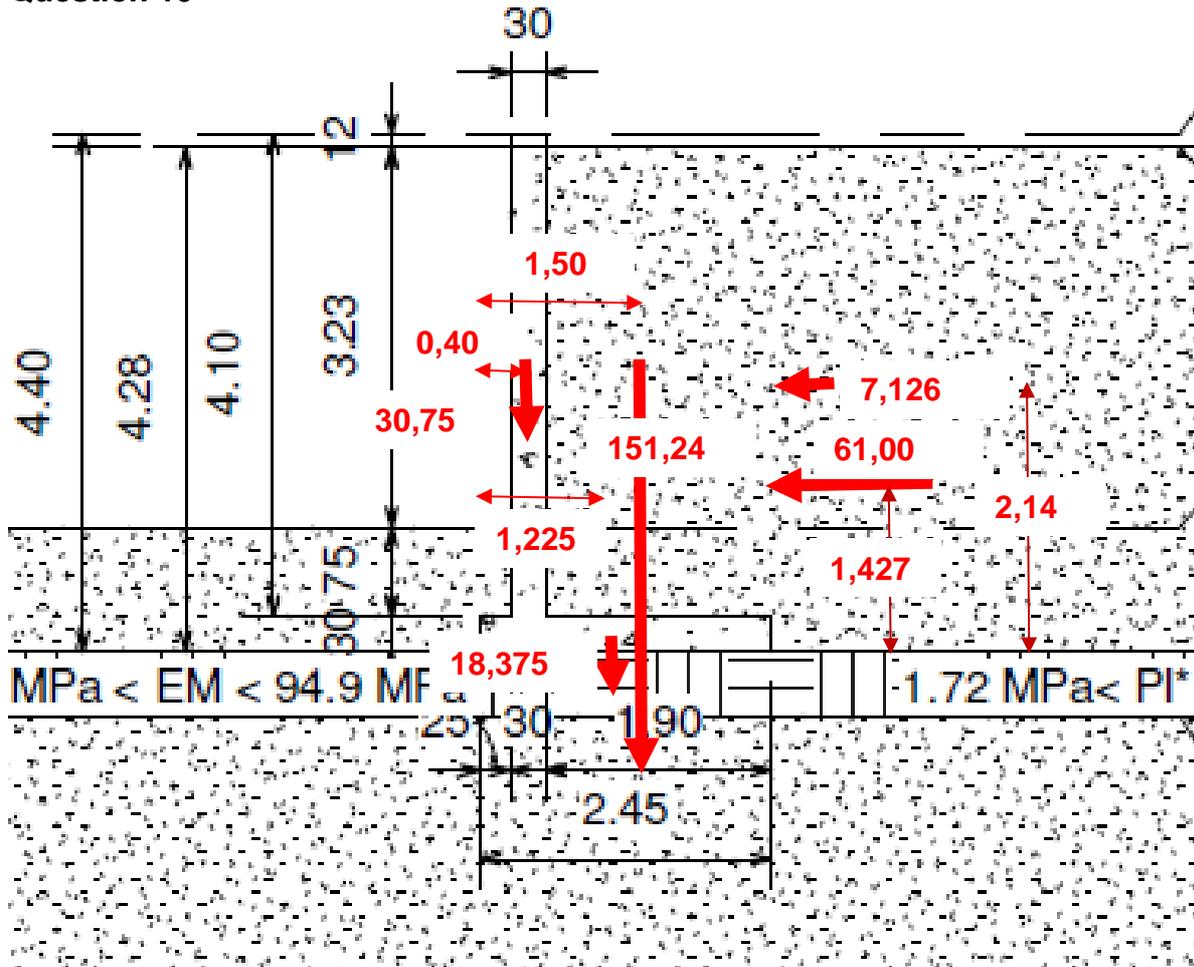
Action de poussée du sol de remblai sous la surcharge « q » : $F_{aq} = k_{aq} \cdot q \cdot H_r$
 $= 0,333 \cdot 5 \cdot 4,28 = 7,13$

**TOTAL (G+Q) Horizontal ELS : $H_{G+QELS} = 68,13$
kN/ml**

Question 9

Les valeurs de la question 8 obtenues par calcul sont très proches de celles obtenues avec le logiciel. L'écart (très faible : moins de 1 pour 1000 !!!) sur l'effort horizontal peut être dû à l'utilisation d'une méthode de calcul qui est différente : souvent les logiciels de calcul en 2D utilisent la méthode de Culmann.

Question 10



Les valeurs sur le dessin sont indiquées POUR 1 mL.

On suppose qu'il n'y a pas d'eau à l'arrière du mur (sinon $F_w = 91,59 \text{ kN} !!!$), donc nécessité de barbacanes sur 2 niveaux et de drains.

Le moment des forces extérieures par rapport à G est égal à :

$$MF_{\text{ext}}/G = W_{\text{semelle}} \cdot 0 + W_{\text{voile}} \cdot (B/2 - y_1) + Fa_q \cdot z_q + Fa_\gamma \cdot z_\gamma - W_{\text{sol}} \cdot (y_3 - B/2) = 86,06 \text{ kN.m} = V_{\text{ELS}} \cdot e_{\text{ELS}}$$

Donc $e_{\text{ELS}} = (MF_{\text{ext}}/G) / V_{\text{ELS}} = 0,429 = 0,43 \text{ m}$ Les valeurs peuvent être considérées égales, au regard des incertitudes sur les différents paramètres.

Donc : $1 - 2 \cdot e_{\text{ELS}} / B = 0,649 > 1/2$. **La vérification au renversement à l'ELS est donc bien vérifiée.**

Question 11

Dans cette question, la valeur de q_{net} est fournie car elle nécessite de calculer $i\delta\beta$. Ce calcul est à faire normalement 2 fois, une fois avec la surcharge NON comptée au-dessus du talon de la semelle ($V_d = 200,37 \text{ kN}$) et une autre fois avec cette surcharge comptée ($V_d = 209,87 \text{ kN}$). Dans cette épreuve, compte-tenu de ce qui a été demandé avant, il est donc implicitement indiqué d'effectuer le calcul SANS compter la surcharge au-dessus du talon de la semelle.

$$V_d = 200,37 \text{ kN/ml.}$$

$R_{v,d} = 1,590 \cdot 0,4839 / 2,3 = 0,3345 \text{ MN/mL} = \mathbf{334,5 \text{ kN/mL}}$ donc, vérifié par rapport au résultat du logiciel.

Sans calculer R_0 , la vérification est effectuée.

Sinon, $R_0 = A \cdot q_0 = B \cdot 1\text{mL} \cdot \gamma \cdot h = 2,45 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 1,05 = 51,45 \text{ kN/mL}$

Donc, $V_d - R_0 = \mathbf{148,92 \text{ kN/mL}}$

Question 12

Dans cette question, il convient de choisir la valeur d'inclinaison δ qui est égale soit à $2/3 \phi'$, soit à 0. Nous prendrons le plus défavorable pour le moment fléchissant, soit $\delta = 0$

$N_u = 1,35 \cdot W_{voile} = 1,35 \cdot 30,75 = 41,513 \text{ kN/mL}$

$V_u = 1,35 \cdot (\frac{1}{2} \cdot k_a \gamma \cdot \gamma \cdot h^2) + 1,5 \cdot (k_a q \cdot q \cdot h) = 1,35 \cdot (1/2 \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 3,98^2) + 1,5 \cdot (0,333 \cdot 5 \cdot 3,98) = 81,152 \text{ kN/mL}$

$M_u = 1,35 \cdot (\frac{1}{2} \cdot k_a \gamma \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot h/3) + 1,5 \cdot (k_a q \cdot q \cdot h \cdot h/2) = 1,35 \cdot (1/2 \cdot 0,333 \cdot 20 \cdot 3,98^2 \cdot 3,98/3) + 1,5 \cdot (0,333 \cdot 5 \cdot 3,98 \cdot 3,98/2) = 114,25 \text{ kN.m/mL}$

Cette valeur est en accord avec celle obtenue avec le logiciel et indiquée à la question suivante ($M_u = 114 \text{ kN.m /mL}$).

Question 13

On choisit $d = h - c - HA/2 = 30 - 4 - 0,5 = 25,5 \text{ cm}$

$\mu_u = M_u / (b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0,114 / (1,00 \cdot 0,255^2 \cdot 16,67) = 0,105$

$\xi_u = 1,25 \cdot (1 - (1 - 2 \cdot 0,105)^{0,5}) = 0,139$

$Z_u = 0,255 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,139) = 0,241 \text{ m}$

$A_s = 0,114 / (0,241 \cdot 434,8) = 10,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,89 \text{ cm}^2$.

$A_{s \text{ min}} = 3,32 \text{ cm}^2$ donc **$A_s = 10,89 \text{ cm}^2$ au moins.**

On trouve un résultat similaire à celui fourni par le logiciel ($10,58 \text{ cm}^2$), donc le résultat « **$A_s = 10,89 \text{ cm}^2$** » est validé (le choix de « d » peut expliquer la différence).

Question 14

Section	AS ELU théorique (cm ² /mL)	Ferraillage proposé / mL	Bilan
S1	10,6	10 HA 12 soit 11,3 cm ²	OK
S2	0,4	10 HA 12 soit 11,3 cm ²	OK
S3	9,9	5 HA 16 soit 10 cm ²	OK
S4	6,4	5 HA 16 soit 10 cm ²	OK

S5	6,8	10 HA 12 soit 11,3 cm ²	OK
S6	4,4	5 HA 12 soit 5,7 cm ² + ST60 soit 6,36 cm ²	OK
S7	0,9	ST60 soit 6,36 cm ²	OK

Le ferrailage proposé par le BET structure pour les sections étudiées avec le schéma de ferrailage fourni en annexe B4, est conforme. Toutefois, il semble que le treillis soudé ST60 soit surabondant et qu'un ST 50 puisse convenir.

On peut noter aussi que sur le schéma de ferrailage proposé, le sol de remblai à l'arrière du mur est à un niveau plus faible et que donc que la poussée sera plus faible...

Question 15

Étape 1 :

Équation de moment statique pour la section homogénéisée : $b \cdot y^2/2 - n \cdot A_s (d - y) = 0$

$b = 1\text{ m}$; $n = 15$; $A_s = 5,65\text{ cm}^2/\text{mL}$; $d = 0,23 - 0,03 - 0,012/2 = 0,194\text{ m}$

On obtient alors : **$y = 0,0495\text{ m}$** .

Équation du moment quadratique : **$IG_z = b \cdot y^3/3 + n \cdot A_s (d - y)^2 = 2,17546 \cdot 10^{-4}\text{ m}^4$**

Cette étape est nécessaire pour pouvoir comparer directement les valeurs calculées manuellement avec celles fournies par le logiciel.

Étape 2 :

$E \cdot IG_z \cdot \delta^{022} = 1/3 \cdot L^2 \cdot M_1 \cdot M_2 = 1/3 \cdot L^2^3$

d'où : $\delta^{022} = 5,55^3 / (3 \cdot 31000 \cdot 2,17542 \cdot 10^{-4}) = + 8,450\text{ m/MN}$ Le résultat est exactement le même que celui obtenu avec le logiciel au signe près : cela dépend du choix du sens de la force unitaire appliquée, donc validé.

Étape 3 :

Le tableau de Mohr fourni, ne comprend pas le cas de charge (donc le diagramme des moments fléchissants) de la structure isostatique étudiée : on peut écrire les équations de moments fléchissants et intégrer.

ÉTAT 0 : On choisit de placer la densité de forces orientée vers le bas, par habitude.

$L = 5,55\text{ m}$ et $l = 2,55\text{ m}$

$M^0G_z = -q \cdot (-x^3 / 6 + x^2 / 2 - l \cdot x / 2 + l^2 / 6)$

ÉTAT 1 :

$L_1 = 0,505\text{ m}$

$M^1G_z = -L_1 + x$

$E \cdot IG_z \cdot \Delta_{10}^0 = \int_0^{L_1} M^0G_z \cdot M^1G_z \, dx$

On obtient : $\Delta_{10}^0 = 4,28895 \cdot 10^{-4}\text{ m}$, valeur conforme à celle fournie par le logiciel.

Remarque : l'action triangulaire appliquée sur le mur est une action du sol au repos ($K_0 = 1 - \sin \square$), conformément à l'hypothèse de la question 5.

Étape 4 :

$$\begin{bmatrix} 6,366 \cdot 10^{-3} & 1,017 \cdot 10^{-1} \\ 1,017 \cdot 10^{-1} & 8,45 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y1 \\ Y2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,289 \cdot 10^{-4} \\ 13,16 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

On obtient : **Y1 = 0,924 kN / mL et Y2 = 52,608 kN / mL**

Étape 5 :

Largeur de voile reprise par une ferme treillis : **L = (7,45 + 7,37) / 2 + 0,36 = 7,77 m**

Étape 6 :

Effort appliqué sur le dallage : **52,61 kN/mL** (à reprendre par frottement sur le terre-plein :

$52,61 / \tan(2/3 \cdot 30^\circ) = 144,55 \text{ kN}$ soit $144,55 / 24 \text{ kN/m}^3 / 0,23 / 1\text{mL} = 26,2 \text{ m}$ de dallage pour 1 mL donc **problème d'autant qu'il y a un isolant sous le dallage...**)

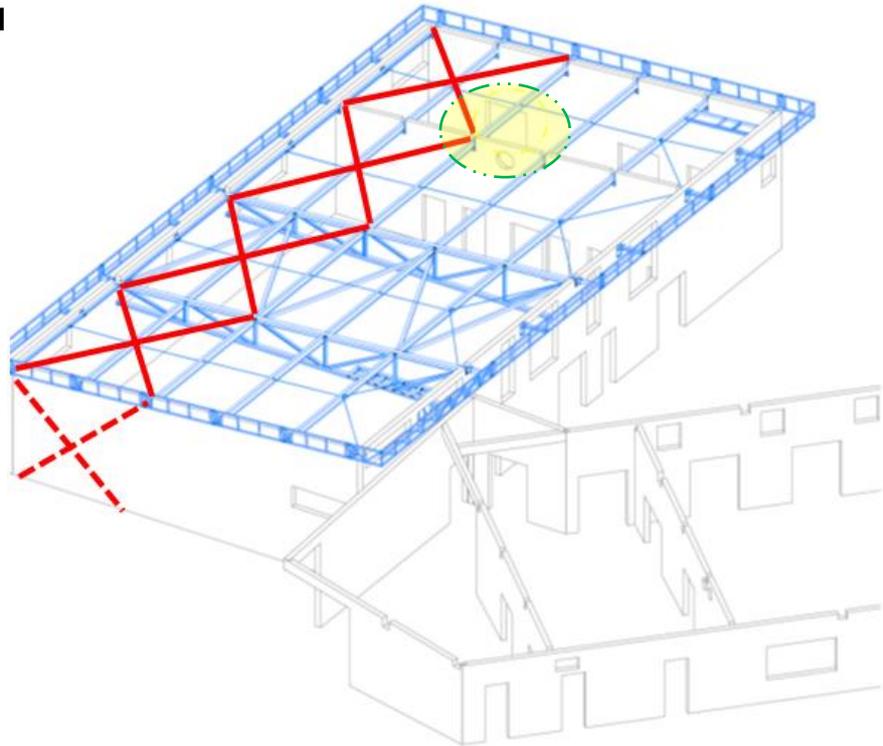
Effort appliqué sur une ferme treillis : $0,924 \cdot 7,77 = 7,2 \text{ kN}$. Cet effort sera à reprendre le plus rapidement possible par un contreventement longitudinal, afin de ne pas solliciter les éléments de cette ferme, en compression.

Le passage à la solution évoquée par l'architecte à la question 4 engendrerait une hauteur de remblai de 3,89 m, soit une poussée sur la ferme de 47,2 kN !!!

Attention à l'utilisation future de la zone de remblai à l'arrière du mur semi-enterré et notamment ne pas y placer des surcharges ni permettre des infiltrations d'eau sans drainage suffisant.

La résultante des efforts de poussée sur le mur est située à $h_{\text{Remblai}} / 3$: il est judicieux d'un point de vue des efforts dans les treillis d'aligner cet effort sur l'axe du dallage !

Question 1



Il est nécessaire de prévoir un contreventement LONGITUDINAL pour ramener les efforts de poussée des terres sur les pignons BA : les pointillés représentent le cheminement des efforts dans ces voiles BA pour ramener ces efforts jusqu'aux fondations.

Attention à la vérification de la diagonale du mur pignon en traction et à la présence d'une ouverture (entourée en jaune sur le dessin). Une autre solution serait de faire en sorte de ne faire travailler les pignons qu'en compression... (Enlever les barres du contreventement entraînant de la traction dans le mur, sous l'effet de la poussée des terres du remblai)

Partie C – Étude des soutènements en phase EXEcution

Question 17

L'article 3.6 du rapport de sol indique notamment qu'il faut prévoir un **compactage modéré** des matériaux D21 ou D31 0/80.

Phasage :

- Attendre la réalisation du voile, du dallage et de contreventement longitudinal des fermes treillis pour commencer le compactage.
- Étamber le mur.
- Mise en place de l'isolant incompressible, de l'étanchéité et de la protection mécanique et du drainage contre le mur.
- Demander la validation par le Maître d'œuvre du mode opératoire et sa présence sur le chantier au moment du remblaiement.

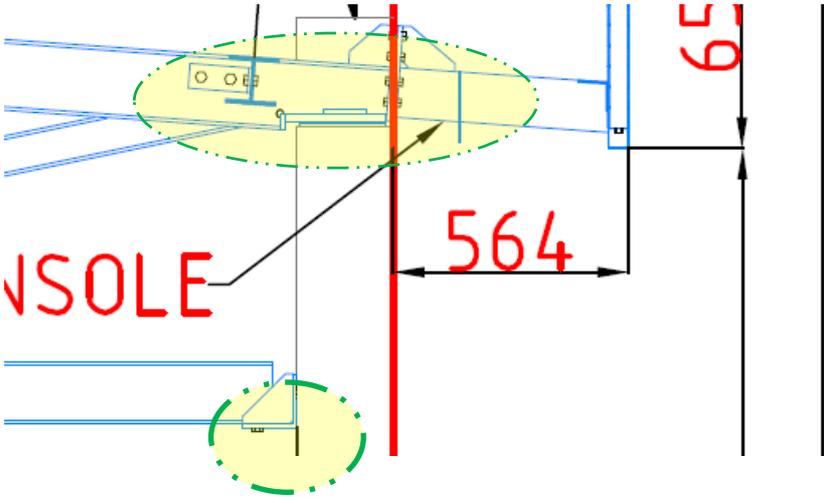
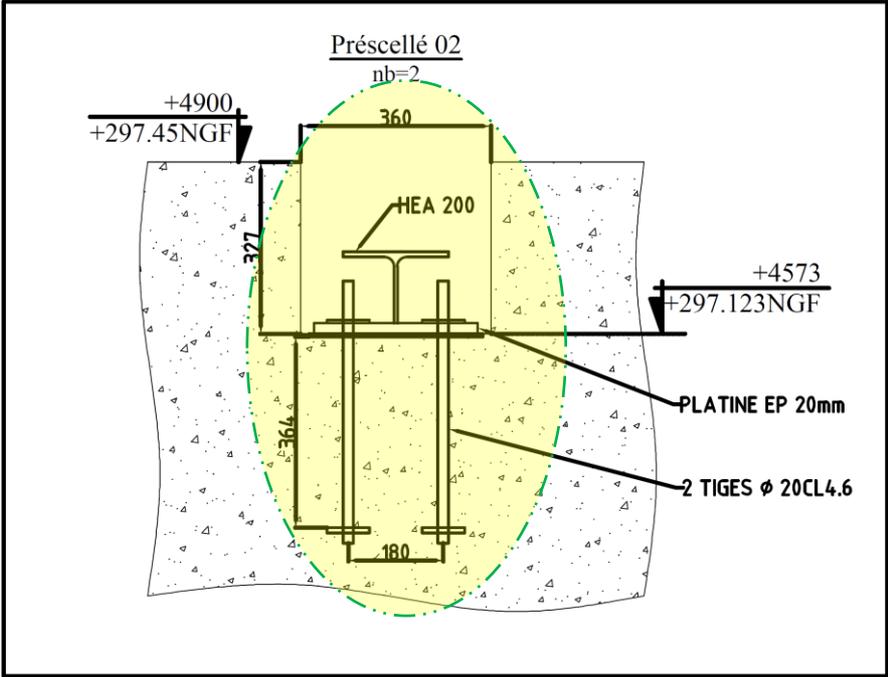
- Choix de l'engin de remblaiement et de compactage pour limiter les efforts sur le voile qui n'a pas atteint sa pleine résistance (fraichement réalisé) : Les engins ne travailleront pas dans la direction du voile, mais perpendiculairement à celui-ci. Une pelle hydraulique à pneus avec grappin semble adaptée à ce travail (petite quantité et difficultés d'accès). Le compactage pourra se faire par un engin télécommandé et par des pilonneuses à proximité immédiate du voile. Cela évitera la présence de voutes de décharge susceptibles d'engendrer des efforts conséquents sur le voile.
- Le stockage du remblai sera fait en haut du talus (côté collège)
- Remblaiement en couches minces (par exemple, e = 25 cm)

Question 18

Avantages	Inconvénients
Pas de banches (stockage) sur le chantier	Gestion de chantier différente.
Délai de livraison de 3 semaines après la commande (industrialisation poussée)	Coulage avec trappons et goulotte.
Qualité uniforme des produits industrialisés	Plus cher en fournitures en raison de la présence de joints nombreux car le transport est limité à 10 tonnes.
Moins de personnel sur le chantier	Finitions intérieures
Facilité de réalisation du J.D.	Personnel bien formé à la technique.
Diminution des déblais à réaliser contre terre	Stockage des prémurs sur le chantier.
Moins de déchets (Pas d'huile de décoffrage à gérer, nettoyage de banches)	Étalement en quantité.

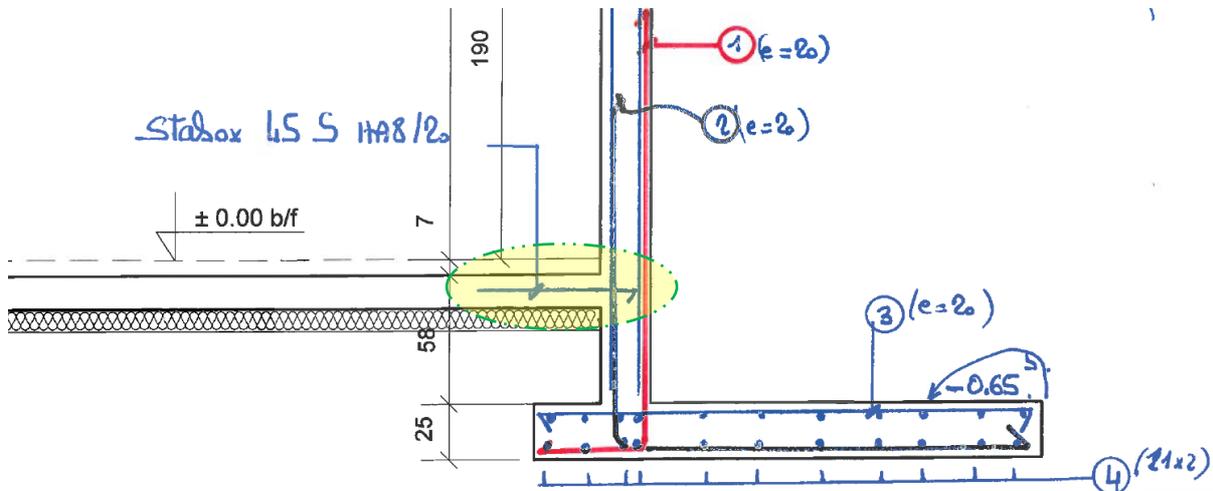
Précautions BET, entreprise, fournisseur
Anticiper les coulages (ht limitée : 2 jours pour les voiles du chantier)
Recalculer les aciers des voiles semi-enterrés et de soutènement (7 cm d'enrobage !)
S'assurer du bon écoulement du béton entre les peaux (faire des lumières de contrôle)
Étampage des murs avec étude BET / vent et prévoir un retourneur sur le chantier.
Sens de pose surtout pour les murs de soutènement pour lesquels le ferrailage n'est pas symétrique. (Code précis pour le maçon et douille pour étalement côté dallage)
Contrôle de la verticalité des murs au laser au cours du bétonnage (long) et prévoir éventuellement une sonnette de contrôle.
Gestion des aciers en attente des semelles.
Calepinage et anticipation (environ 30 m ² par mur)
Étudier le cas des murs semi-enterrés et de soutènement pour savoir s'il vaut mieux couler la semelle avant la pose du prémur ou pas.

Question 19



Question 20

Il s'agit de réaliser une liaison articulation en BA.



Les aciers des Stabox sont placés au milieu du dallage afin de ne pas engendrer de moment fléchissant, dans le mur semi-enterré.

Partie D– Étude du complexe de couverture

Question 21

Isolement acoustique : limiter le niveau acoustique à l'extérieur de la salle, lorsqu'il y a, par exemple usage de musique amplifiée dans la salle

Correction acoustique : limiter la réverbération du son afin d'assurer un certain confort acoustique et une bonne intelligibilité de la voie, lors de conférences par exemple

Isolation thermique : limiter le flux d'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur (confort d'hiver et d'été)

Étanchéité : protection contre les intempéries (pluie, air)

Structure : reprise des charges de neige, vent, d'entretien

Incendie : en fonction du classement du bâtiment, la réglementation peut exiger des performances de résistance au feu et de réaction au feu

Esthétique : la couverture constitue une « cinquième façade »

Question 22

1) bac acier perforé : support de la laine minérale, perforé pour permettre l'absorption acoustique, assure également la finition de la sous-face vue de la couverture

2) échantignolle : permet de fixer la panne multibeam à la bonne hauteur, en fonction de l'épaisseur des isolants repérés 3 et 6

3) laine minérale : assure l'absorption acoustique des sons, sert pour la correction et l'isolation acoustique. Participe également à l'isolation thermique.

4) membrane viscoélastique permettant d'absorber les vibrations et donc d'améliorer les performances acoustiques, améliore étanchéité à l'air, peut avoir un rôle de pare-vapeur

- 5) panne multibeam : sert d'appui au bac acier repéré 7, permet de reporter les charges de couverture (poids des éléments 6 à 9 + protection de l'étanchéité + charges climatiques + charge d'entretien) sur la charpente
- 6) laine minérale : isolation thermique et acoustique
- 7) bac acier : assure le support de l'étanchéité
- 8) laine minérale : isolation thermique et acoustique et permet d'avoir une surface plane pour l'étanchéité
- 9) étanchéité : assure la protection contre toute infiltration d'eau

Question 23

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

$$\text{Avec } U_c = 1 / R \text{ et } R = R_{si} + R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda}$$

	lambda W/(m.K)	ep m	R=e/lambda m ² .K/w	
Bac perforés ep 0,75 mm	50	0,00075	0,000	
LdR ep 90 mm	0,034	0,09	2,647	
Profil Hacierba ep 1 mm	50	0,001	0,000	
stickson alu	160	0,036	0,000	
panne multibeam	pont thermique linéique			
échantignolle	pont thermique ponctuel			
LdR ep 120 mm	0,035	0,12	3,429	
hacierco 40 ep 0,75 mm	50	0,00075	0,000	
lame d'air			0,160	
LdR ep 120 mm	0,039	0,12	3,077	
étanchéité	0,23	0,02	0,087	
		total	9,400	m ² .K/W
		R _{si} + R _{se} =	0,140	m ² .K/W
		R =	9,540	m ² .K/W
		U _c =	0,105	W/m ² .K

Remarque : les bacs acier et profils métalliques peuvent être négligés dans ces calculs.

$$\text{Plateaux Hacierco : } \psi / E = 0,010 / 0,50 = 0,020 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{Pannes multibeam : } \psi / E = 0,023 / 3,00 = 0,008 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{Échantignolles : } n \cdot \chi_j = (1 / (3,00 \times 2,00)) \times 0,030 = 0,167 \times 0,030 = 0,005 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{Visserie : } 0,008 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\text{D'où } U_p = 0,105 + 0,020 + 0,008 + 0,005 + 0,008 = 0,146 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Question 24

$$\text{On donne } U_p = 0,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

D'après l'extrait de la note de calcul la déperdition pour la toiture est de 76,03 W/K pour une surface de 427,4 m², soit un coefficient de conductivité de 76,03/427,4 = 0,178 W/m².K

L'étude thermique à donc été menée avec une valeur plus défavorable, le complexe proposé ici permet donc d'améliorer la performance de la paroi.

Question 25

Calcul de l'aire d'absorption équivalente de la couverture, puis cumul avec les autres parois :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i, \text{ pour la fréquence de 500 Hz : } A = 1.00 \times 324 = 324,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Calcul de } T_r = \frac{0,16 \times V}{A} = \frac{0,16 \times 1\,501}{324 + 7,5} = 0,72 \text{ s pour la fréquence de 500 Hz}$$

	fm Hz	500	1000	2000
Autres parois	Aeq m2	7,5	10,7	22
Couverture	α	1	1	0,94
	Aeq m2	324,0	324,0	304,6
Total	Aeq (m2)	331,5	334,7	326,6
	TR (s)	0,72	0,72	0,74

$$Tr = (0,72 + 0,72 + 0,74) / 3 = 0,73 \text{ s}$$

Question 26

En assimilant le local étudié à salle polyvalente d'un volume supérieur à 250 m³, la durée de réverbération doit être de : 0,6 s ≤ Tr ≤ 1,2 s

Question 27

Pour le local étudié, nous avons Tr = 0.73 s, l'exigence réglementaire est donc satisfaite. Nous sommes dans le cas d'une salle relativement absorbante.

Question 28

La présence de mobilier et de personnes augmentera l'aire d'absorption équivalente et diminuera donc le temps de réverbération. La salle deviendra plus sourde, ce qui est un avantage pour l'intelligibilité de la parole, mais ce qui peut diminuer la qualité de perception pour certaines diffusions musicales.

Question 29

Émergences à ne pas dépasser, en période nocturne et pour une durée de plus de 8 heures :

- Émergence globale limitée à 3 dB(A)
- Émergences spectrales limitées à :

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Émergence réglementaire	7	7	5	5	5	5

Question 30

Un niveau de bruit spectral ne prend en compte que les pressions acoustiques émises dans une bande de fréquences (bande d'octave par exemple).

Un niveau de bruit global est calculé par addition des différents niveaux spectraux. Il peut être appliqué une pondération (pondération A) pour chaque bande d'octave afin d'obtenir une valeur au plus proche de la sensation réellement perçue par l'oreille humaine.

Calcul d'un niveau de bruit résultant :

Si plusieurs sources de bruit non corrélées sont superposées, la pression résultante est calculée par :

$$p^2 = \sum_{i=1}^n (p_i^2)$$

Le niveau de pression résultant est donc égal à :

$$L_R = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i^2}{p_0^2} \right) \right]$$

Or nous avons :

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \quad \text{donc} \quad \frac{p_i^2}{p_0^2} = 10^{\frac{L_i}{10}}$$

Il vient :

$$L_R = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right]$$

Question 31

Les niveaux de bruit à ne pas dépasser dans chaque bande de fréquence sont obtenus par l'addition de l'émergence réglementaire au bruit résiduel mesurée dans la zone :

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Résiduel nocturne (dB)	44	40,5	38	32	28,5	25
Émergence réglementaire (dB)	7	7	5	5	5	5
Niveau de bruit à ne pas dépasser (dB)	51	47,5	43	37	33,5	30

Le niveau résultant est de :

$$L_R = 39,1 + 3 = 42,1 \text{ dB(A)}$$

Question 32

Le bruit ambiant résultant sera obtenu par l'ajout du bruit résiduel au bruit d'impact généré par les activités se déroulant dans la salle multi activités :

$$L_p \text{ ambiant} = L_p \text{ résiduel} + L_p \text{ impact}$$

$$L_p \text{ impact} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_p \text{ ambiant}}{10}} - 10^{\frac{L_p \text{ résiduel}}{10}} \right)$$

En reprenant des développements similaires à ceux de la question 30 on obtient :

$$L_p \text{ impact} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_p \text{ ambiant}}{10}} - 10^{\frac{L_p \text{ résiduel}}{10}} \right)$$

Question 33

En utilisant la relation de la question précédente, nous obtenons :

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
ambient autorisé (dB)	51	47,5	43	37	33,5	30
Résiduel nocturne (dB)	44	40,5	38	32	28,5	25
Impact autorisé (dB)	50	46,5	41,3	35,3	31,8	28,3

Le niveau résultant est de :

$$L_{p \text{ impact}} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{42,1/10} - 10^{39,1/10} \right) = 39,1 \text{ dB(A)}$$

Question 34

Le niveau de puissance acoustique de la toiture est déterminé selon la formule :

$$L_w = L_{p,in} + C_d - R' + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right)$$

Avec $C_d = -5 \text{ dB}$ pour chaque bande de fréquence

$$10 \cdot \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right) - 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{427}{1} \right) = 26,3 \text{ dB}$$

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lp, in (dB)	104	104	103	100	96	93
Cd (dB)	-5	-5	-5	-5	-5	-5
R' (dB)	30	45	65	86	99	95
10 log (S/S0) (dB)	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
Lw (dB)	95,3	80,3	59,3	35,3	18,3	19,3

Question 35

Le niveau de pression acoustique continu équivalent par bande d'octave au niveau d'un récepteur L_{fT} est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$L_{fT} = L_w + D_c - A$$

- Avec : $D_c = 0 \text{ dB}$ pour une source ponctuelle omnidirectionnelle rayonnant dans un espace libre
- $A = A_{div} + A_{atm} + A_{sol} + A_{écran}$
- $A_{div} = 20 \cdot \log_{10}(35) + 11 \text{ dB} = 41,9 \text{ dB}$
- $A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000}$ avec $d = 35 \text{ m}$ et α donné en annexe pour 15 °C et 80%
- $A_{sol} = A_{écran} = 0$

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Lw (dB)	95,3	80,3	59,3	35,3	18,3	19,3
A div (dB)	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9
coeff atténuation géom. (dB/km)	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7
A atm (dB)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,8
LfT (dB)	53,4	38,4	17,3	0,0	0,0	0,0
pondération A (dB)	-16	-8,6	-3,2	0	1,2	1
LfT pondéré A (dB)	37,4	29,8	14,1	0,0	0,0	0,0

On obtient un niveau résultant de :

$$L_R = 10. \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n \left(10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right] = 38,1 \text{ dB(A)}$$

Tableau DR2 complet (en rouge : valeurs à indiquer par le candidat)

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	niveaux globaux en db(A)
résiduel nocturne (dB)	44,0	40,5	38,0	32,0	28,5	25,0	39,1
Emergence réglementaire (dB)	7	7	5	5	5	5	3
niveau de bruit à ne pas dépasser (dB)	51,0	47,5	43,0	37,0	33,5	30,0	42,1
Impact autorisé (dB)	50,0	46,5	41,3	35,3	31,8	28,3	39,1
Lp, in (dB)	104	104	103	100	96	93	105,0
Cd (dB)	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
R' (dB)	30	45	65	86	99	95	
10 log (S/S0) (dB)	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	
Lw (dB)	95,3	80,3	59,3	35,3	18,3	19,3	
A div (dB)	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	
coeff atténuation géom. (dB/km)	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	
A atm (dB)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,8	
LfT (dB)	53,4	38,4	17,3	0	0	0	niveau global en db(A)
LfT pondéré A (dB)	37,4	29,8	14,1	0	0	0	38,1

Comparaison spectrale avec les valeurs réglementaires maximales :

freq. (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Impact autorisé (dB)	50	46,5	41,3	35,3	31,8	28,3
LfT (dB)	53,4	38,4	17,3	0	0	0

Comparaison en niveau résultat avec les valeurs réglementaires maximales :

- Niveau résultant à ne pas dépasser (Q31) : 39,1 dB(A)
- Niveau résultant calculé : 38,1 dB(A)

La réglementation n'est donc pas respectée uniquement pour la bande de fréquence des 125 Hz, avec un dépassement de 3,4 dB de la valeur réglementaire.

Question 36

Protection d'étanchéité végétalisée :

Avantages :	Amélioration de la qualité de l'air, stockage du CO2 par mécanisme de photosynthèse Rétention temporaire de l'eau de pluie (régulation des rejets au réseau public) Gain acoustique Gain en inertie thermique Aspect esthétique, apport de végétalisation dans des zones urbanisées
Inconvénients :	Coût plus élevé Poids (surcharge de la structure porteuse et des fondations) Entretien des végétaux (périodes sèches notamment) Intégration de panneaux photovoltaïques ou solaires plus complexe Intervention plus difficile en cas de sinistre (recherche de fuites)

Question 37

D'après les essais réalisés, le gain pour la fréquence de 125 Hz serait de 4 dB et nous aurions une valeur d'indice d'affaiblissement acoustique pour la paroi de $30+4 = 34$ dB pour cette bande de fréquence. Le dépassement de la valeur réglementaire serait alors absorbé par la végétalisation, rendant la paroi conforme à la réglementation.

Question 38

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

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

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

L'expérimentation (accompagnée ou pas d'une démarche de labellisation) est ouverte à tous les maîtres d'ouvrages volontaires.

Question 39

En utilisant la relation de calcul $I_{\text{sous lot } n} = \sum I_p = \sum (Q_p \times DE_p \times R_p)$ on obtient :

composants	UF	Qp selon UF	DE p (kg équi CO2) /UF	DVE	PER	Rp = PER/DVE	Impact environnemental (kg équi CO2)
Bac acier perforé ép 0,75 mm	1 m ² de toiture	516	26,9	50	50	1	13 880
Laine minérale SOROCK ép. 90 mm	1 m ² de toiture	516	5,7	50	50	1	2 941
Membrane viscoélastique Stickson	1 m ² de toiture	516	6,19	50	50	1	3 194
Panne tôle pliée, entraxe 5 m, échantignolles comprises	1 m de panne	172,0	11,83	50	50	1	2 035
Laine minérale TOROCK ép 120 mm	1 m ² de toiture	516	3,1	50	50	1	1 600
Bac acier ép. 0,75 mm	1 m ² de toiture	516	21,6	50	50	1	11 146
Laine minérale ROCKACIER ép. 120 mm	1 m ² de toiture	516	20	50	50	1	10 320
Étanchéité bicouche bitumineuse	1 m ² de toiture	516	9,13	30	50	1,67	7 868
Protection de toiture terrasse végétalisée	1 m ² de toiture	516	0,687	40	50	1,25	443
TOTAL							53 427

Soit un impact environnemental de $\frac{53\,427}{860} = 62,1$ kg équi CO₂ / m² SP

Question 40

$$Eges_{PCE,max,i} = A_{PCE,i} + M_{park} = 1\,050 + \frac{10 \times 700 + 0 \times 3000}{860} = 1\,058,1 \text{ kg équi CO}_2 / \text{m}^2 \text{ SP}$$

$$Eges_{PCE} = \frac{838\,500}{860} + 62,1 = 1\,037,1 \text{ kg équi CO}_2 / \text{m}^2 \text{ SP}$$

Nous avons donc $Eges_{PCE} \leq Eges_{PCE,max}$, le niveau de performance attendu par le maître d'ouvrage est atteint.

Synthèse des études menées (pour information, non demandé dans le sujet)

Critère	Analyse et commentaires
Isolation thermique	Réglementation respectée
Confort acoustique	Réglementation respectée
Isolation aux bruits intérieurs émis vers l'extérieur	Réglementation respectée en ajoutant une protection par végétalisation
Empreinte carbone	Niveau attendu atteint

Le complexe de couverture proposé, avec adjonction d'une protection par végétalisation permet d'atteindre les objectifs fixés. Il faudra néanmoins valider la compatibilité financière avec le budget de l'opération et prendre en compte les modifications (en termes de dimensionnement structurel et d'impact financier) de l'ajout de la végétalisation.