



Concours du second degré

Rapport de jury

Concours : Agrégation externe

Section : sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie des constructions

Session 2016

Rapport de jury présenté par : Jean-Michel SCHMITT
Inspecteur général de l'éducation nationale et président du jury

Sommaire

Résultats statistiques	4
Avant-propos	5
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	7
Rapport du jury de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur	22
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	25
Rapport du jury de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	44
Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	46
Rapport du jury de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation	62
Exemple de sujet pour l'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	65
Rapport du jury de l'épreuve d'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique	72
Rapport du jury de l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique	79
Rapport du jury de l'épreuve de soutenance d'un dossier industriel	86
Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République	90

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de Jury.

Remerciements

Le lycée La Martinière Monplaisir à Lyon a accueilli les réunions préparatoires à cette session 2016 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 23 mai inclus au 3 juin 2016 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.

Ces remerciements s'adressent aussi à la direction de l'ENSAM de Paris qui a accueilli les membres du jury pour la réunion d'admissibilité qui s'est déroulée le 26 avril 2016.

Résultats statistiques de la session 2016

Inscrits	Nombre de postes	Présents aux trois épreuves d'admissibilité	Admissibles	Admis
278	31	120	76	31

Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le premier candidat admissible	18,14
Moyenne obtenue aux épreuves écrites par le dernier candidat admissible	6,12
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le premier candidat admis	17,2
Moyenne obtenue aux épreuves écrites et orales par le dernier candidat admis	9,92

Avant-propos

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

Le constat établi dans les rapports des précédentes sessions doit être rappelé. En particulier, il paraît nécessaire de rappeler que l'État recrute des agrégés pour leurs hautes compétences scientifiques et technologiques, mais aussi pour leurs compétences pédagogiques. Celles-ci sont évaluées dans les trois épreuves d'admission. Il importe donc de les préparer dès l'inscription au concours. Proposer une séquence pédagogique ne s'improvise pas, cela nécessite entraînement et réflexion.

Si le jury apprécie que le candidat positionne sa séquence dans la progression pédagogique annuelle et précise les objectifs ainsi que les pré-requis, il attend que le candidat décrive et justifie les activités et les démarches pédagogiques qui permettent d'atteindre les objectifs de formation. Ensuite, le candidat doit proposer une évaluation et éventuellement une remédiation.

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

Les compétences pédagogiques attendues sont :

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

- o Gérer les conflits
- o Travailler en équipe
- o Installer avec les élèves une relation de confiance et de bienveillance
- o Savoir conduire un entretien, animer une réunion
- Compétences pédagogiques et éducatives
 - o Maintenir une veille sur les recherches des différentes formes et pratiques pédagogiques et éducatives
 - o Connaître les processus d'apprentissage
 - o Proposer des processus d'apprentissage innovants
 - o Contribuer à la mise en place de projets interdisciplinaires
- Compétences de communication
 - o Intégrer dans son activité l'objectif de maîtrise de la langue orale et écrite
 - o Utiliser les technologies du numérique pour échanger et se former
 - o Maîtriser au moins une langue vivante au niveau B2
 - o Mettre en place du travail collaboratif
- Compétences d'analyse et d'adaptation de son action
 - o Exercer son analyse critique, seul ou entre pairs, de ses propres pratiques professionnelles
 - o Identifier ses besoins de formation
 - o Être capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pédagogiques pertinentes

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

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

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

Cette session 2016 a permis de pourvoir tous les postes et de recruter trente nouveaux professeurs agrégés d'un bon niveau.

L'agrégation est un concours prestigieux qui impose de la part des candidats un comportement et une présentation irréprochable. Le jury reste vigilant sur ce dernier aspect et invite les candidats à avoir une tenue adaptée aux circonstances particulières d'un concours de recrutement de cadres de catégorie A de la fonction publique.

Pour conclure cet avant-propos, j'espère sincèrement que ce rapport sera très utile aux futurs candidats de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur.

Jean-Michel SCHMITT - Président du jury

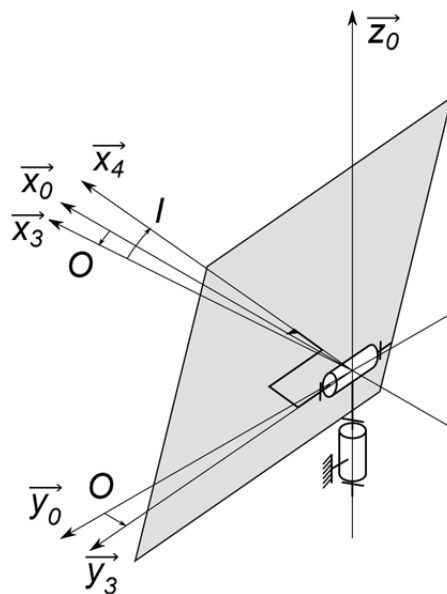
Éléments de correction de l'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur

Question 1

Un héliostat est positionné par deux motoréducteurs d'orientation et d'inclinaison.

La GTC transmet à l'héliostat les coordonnées de pointage A et H. L'héliostat acquitte la demande, calcule les angles de position O et I à atteindre, détermine le sens de rotation des motoréducteurs et les alimente. Lorsque la position demandée est atteinte, l'héliostat arrête les motoréducteurs et il envoie la confirmation de positionnement à la GTC.

Question 2



Question 3

Le vecteur $\vec{x}_4$ est bissecteur de $(\vec{u}, \vec{x}_2)$, c'est-à-dire colinéaire à la somme de ces deux vecteurs unitaires. Les angles O et I respectent donc l'équation :

$$\vec{x}_4 \wedge (\vec{u} + \vec{x}_2) = \vec{0}$$

$$\begin{vmatrix} \cos I \cdot \cos O & \cos I \cdot \sin O & -\sin I \\ u_x + \cos H \cdot \cos A & u_y + \cos H \cdot \sin A & u_z - \sin H \end{vmatrix} = 0$$

$$\begin{cases} \cos I \cdot \sin O \cdot (u_z - \sin H) + \sin I \cdot (u_y + \cos H \cdot \sin A) = 0 \\ -\sin I \cdot (u_x + \cos H \cdot \cos A) - \cos I \cdot \cos O \cdot (u_z - \sin H) = 0 \\ \cos I \cos O \cdot (u_y + \cos H \cdot \sin A) - \cos I \sin O (u_x + \cos H \cos A) = 0 \end{cases}$$

Les inconnues sont O et I. La troisième équation permet d'obtenir O en fonction des données :

$$\tan O = \frac{u_y + \cos H \cdot \sin A}{u_x + \cos H \cdot \cos A}$$

La première équation permet d'obtenir I en fonction de O et des données :

$$\tan I = -\sin O \cdot \frac{u_z - \sin H}{u_y + \cos H \sin A}$$

Le facteur d'inclinaison s'écrit comme le cosinus de l'angle entre la normale au panneau et la direction du soleil, soit :

$$fi = \frac{Sa}{Sh} = \bar{x}_4 \cdot \bar{x}_2 = \bar{x}_4 \cdot \bar{u} = u_x \cdot \cos I \cdot \cos O + u_y \cdot \cos I \cdot \sin O - u_z \cdot \sin I$$

Question 4

Le programme permettant de calculer le facteur d'inclinaison moyen annuel sur un héliostat s'écrit en langage Scilab par exemple :

```
function fi=fi(xp,yp)
    Hr=93
    L=sqrt( xp^2+yp^2+Hr^2 )
    Ux=-xp/L
    Uy=-yp/L
    Uz=Hr/L
    fi=0 // initialisation de fi
    for j =1:365 // boucle sur tous les jours de l'année
        for m=1:24*60 // boucle sur les minutes d'une journée
            A=Azimut(j,m)
            H=Hauteur(j,m)
            O=Orientation(A,H)
            I=Inclinaison(A,H)
            If (H>0) then // test si le soleil est au-dessus de l'horizon
                fi=fi+Ux*cos(I)*cos(O)+Uy*cos(I)*sin(O)-Uz*sin(I)
            end
        end
    end
    end
    fi=fi/(365*24*60)
endfunction
```

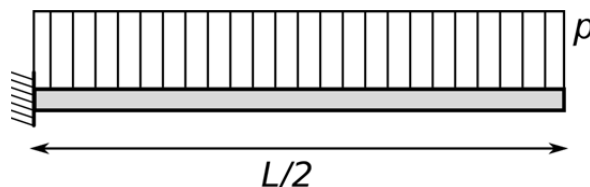
Question 5

$$\eta_{capt} = \eta_{incl} \cdot \eta_{refl} \cdot \eta_{trans} \cdot \eta_{omb} \cdot \eta_{mas} = 0,86 \times 0,88 \times 0,95 \times 0,96 \times 0,97 = 0,67$$

$$E = \eta_{capt} \cdot I_{SG} \cdot S_{rt} = 50,5 \text{ MW}$$

Question 6

Par symétrie, le problème se ramène à une poutre simplement encastree soumise à une charge répartie uniforme.



L'angle à l'extrémité de la poutre est approché par la dérivée de la flèche : $\varepsilon \equiv \left| y' \left(\frac{L}{2} \right) \right|$

L'effort tranchant vaut : $T(x) = -p \cdot \left(\frac{L}{2} - x \right)$ (axe des ordonnées ascendant)

Le moment fléchissant se déduit par la relation : $\frac{dM_f}{dx}(x) = -T(x) = p \cdot \left(\frac{L}{2} - x \right)$

En intégrant : $M_f(x) = -\frac{p}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right)^2 + cste$

Les conditions limites (moment fléchissant nul à l'extrémité droite) permettent de calculer la constante ($cste = 0$).

Sous l'hypothèse de Bernoulli, la flèche s'exprime en fonction du moment fléchissant :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_f}{EI_z} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{p}{6EI_z} \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right)^3 + cste$$

Les conditions limites (pente nulle à l'encastrement) permettent de calculer : $cste = -\frac{pL^3}{48EI_z}$

$$\text{d'où : } \frac{dy}{dx} = \frac{p}{6EI_z} \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right)^3 - \frac{pL^3}{48EI_z}$$

L'angle à l'extrémité de la poutre vaut alors : $\varepsilon \cong \left| y' \left(\frac{L}{2} \right) \right| = \frac{pL^3}{48EI_z}$

Question 7

L'application numérique pour la poutre IPN80 : $\varepsilon = 7,5 \times 10^{-3} \text{ rad} > 10^{-3} \text{ rad}$.

La poutre IPN80 ne convient donc pas.

Question 8

Soit α le coefficient d'homothétie (coefficient de longueur). Les valeurs du problème deviennent :

$$\begin{aligned} p' &= 5,9 \times \alpha^2 \times 10 \text{ (N}\cdot\text{m}^{-1}) \\ L &= 10 \text{ m} \\ E &= 210 \text{ GPa} \\ I'_z &= \alpha^4 \times 78 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \\ \varepsilon' &= 10^{-3} \text{ rad} \end{aligned}$$

L'expression de l'angle conduit alors à $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z} \cdot \frac{48 \cdot E \cdot I'_z}{p' \cdot L^3} = \alpha^2 = 7,5$

La hauteur de la nouvelle poutre vaut alors $h' = \sqrt{7,5} \cdot h = 219 \text{ mm}$ et la masse de la poutre vaut $m' = 5,9 \cdot \alpha^2 \cdot L = 442 \text{ Kg}$.

Ces valeurs sont évidemment inacceptables donc la solution d'une poutre IPN n'est pas adaptée.

Question 9

La charge répartie est due au poids propre de la poutre et au poids des miroirs, soit :

$$p'' = 2 \cdot a^2 \cdot \rho_a \cdot g + p_m$$

L'angle en bout de poutre est toujours égal à $\varepsilon'' = 10^{-3} \text{ rad}$, ce qui permet d'écrire la relation :

$$\varepsilon'' = \frac{p'' L^3}{48 E I_z} = \frac{(2 \cdot a^2 \cdot \rho_a \cdot g + p_m) \cdot L^3}{48 E \left(\frac{a^2 h^2}{2} \right)}$$

Cette expression permet de déduire la valeur de $a = \sqrt{\frac{p_m \cdot L^3}{24 \cdot E \cdot h^2 \cdot \varepsilon'' - 2 \cdot L^3 \cdot \rho_a \cdot g}} = 2,8 \text{ cm}$

La masse de la poutre treillis vaut alors 110 kg, ce qui s'avère adapté.

Question 10

Si le cumul d'erreur vaut $\pm 2,5 \times 10^{-3} \text{ rad}$, alors le secteur angulaire qui élargit la tache vaut $5 \times 10^{-3} \text{ rad}$. À 600 m, la tâche s'élargit de 3 m. L'image du soleil étant déjà large de 5,6 m, la tache

finale sera large de 8,6 m, ce qui est bien inférieur aux dimensions du récepteur (12 m x 14 m). La tâche est donc totalement incluse dans le récepteur.

Le facteur de concentration du champ de captation s'exprime donc comme un rapport de surfaces. C'est en effet le rapport de la surface utile du champ héliostatique (75 000 m²) et de la surface de la tâche perçue par le récepteur. Soit :

$$F_c = \frac{75\,500}{\frac{\pi \cdot 8,6^2}{4}} = 1\,299,8$$

On en déduit la valeur de la puissance surfacique incidente sur le récepteur dans des conditions nominales de fonctionnement telles que $I_{SG} = 1\,000\text{ W/m}^2$.

$$\phi = \eta_{capt} \cdot I_{SG} \cdot F_c = 870\text{ kW/m}^2$$

Question 11

Une lecture du tableau N°1, nous permet d'observer que le coefficient correspondant aux pertes thermiques du bouilleur en face arrière est numériquement 22 à 67 fois plus faible que les coefficients d'échanges thermiques de la face avant.

Le fait de négliger ces pertes est alors tout à fait justifié.

Question 12

Si l'on pose un bilan énergétique sur le bouilleur en se basant sur la figure N°13, on peut écrire en régime permanent établi (régime statique) :

$$E = \phi_{utile} + r \cdot E + K_{conv-av} \cdot (T_s - T_a) + K_{ray-av} \cdot (T_s - T_c)$$

Avec $\phi_{utile} = K_{tube-av} \cdot (T_s - T_f)$

On en déduit : $E = \phi_{utile} \cdot \left(1 + \frac{K_{conv-av}}{K_{tube-av}} + \frac{K_{ray-av}}{K_{tube-av}}\right) + r \cdot E + K_{conv-av} \cdot (T_f - T_a) + K_{ray-av} \cdot (T_f - T_c)$

Ou encore : $\phi_{utile} = \frac{E - r \cdot E - K_{conv-av} \cdot (T_f - T_a) - K_{ray-av} \cdot (T_f - T_c)}{\left(1 + \frac{K_{conv-av}}{K_{tube-av}} + \frac{K_{ray-av}}{K_{tube-av}}\right)}$

Le rendement du récepteur s'exprime comme le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée,

soit : $\eta_{rec} = \frac{\phi_{utile}}{E} = \frac{1 - r - \frac{K_{conv-av}}{E} \cdot (T_f - T_a) - \frac{K_{ray-av}}{E} \cdot (T_f - T_c)}{\left(1 + \frac{K_{conv-av}}{K_{tube-av}} + \frac{K_{ray-av}}{K_{tube-av}}\right)}$

$$\eta_{rec} = \frac{1 - 0,02 - \frac{2,54 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^6} \cdot (250 - 10) - \frac{6,65 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^6} \cdot (250 - 0)}{\left(1 + \frac{2,54}{5000} + \frac{6,65}{5000}\right)}$$

$$\eta_{rec} = 0,933$$

Question 13

Il s'agit ici de déterminer à partir de quelle valeur de l'éclairement E, le récepteur peut commencer à débiter un flux utile dans le réseau vapeur. À la limite, il faut trouver la valeur de E telle que le rendement soit nul, cette valeur de E vérifiant :

$$0 = E - r \cdot E - K_{conv-av} \cdot (T_f - T_a) - K_{ray-av} \cdot (T_f - T_c)$$

$$0 = E \cdot (1 - r) - (K_{\text{conv-av}} + K_{\text{ray-av}}) \cdot (T_f - T_a) - K_{\text{ray-av}} \cdot (T_a - T_c)$$

L'expression de l'éclairement E permettant de débiter la production de vapeur se déduit alors :

$$E = \frac{(K_{\text{conv-av}} + K_{\text{ray-av}}) \cdot (T_f - T_a) + K_{\text{ray-av}} \cdot (T_a - T_c)}{1 - r}$$

$$E = \frac{(6,65 + 2,54) \cdot (250 - 10) + 2,54 \cdot (10)}{0,98} \cdot 10^3$$

$$E = 2,28 \text{ MW}$$

En utilisant la relation de la question 5, on en déduit l'irradiance minimale :

$$I_{\text{SG}} = 45,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Question 14

Le cycle de Carnot est une modélisation externe du cycle thermodynamique, dont le rendement est le rapport entre le travail mécanique $-W$ délivré par la machine thermodynamique, et la quantité de chaleur Q_c apportée à la machine sur la source chaude.

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{-W}{Q_c}$$

Le premier principe de la thermodynamique donne : $Q_c = -W - Q_f$

$$\text{On en déduit : } \eta_{\text{carnot}} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$$

Le second principe appliqué au cycle dans le cas d'un cycle idéal réversible nous permet d'écrire que :

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$$

Soit :

$$\eta_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

$$\eta_{\text{carnot}} = 1 - \frac{273,15 + 50}{273,15 + 250} = 0,38$$

Question 15

Les valeurs des températures et des pressions sont :

$$T_c = 273 + 250 = 523 \text{ K ;}$$

$$T_f = 273 + 50 = 323 \text{ K ;}$$

$$P_c = 39,78 \text{ bar (pression absolue) ;}$$

$$P_f = 0,12 \text{ bar (pression absolue).}$$

Le tracé de l'allure du cycle thermodynamique est donné sur le document réponse N°1.

Le rendement thermodynamique est le rapport entre la puissance libérée à la turbine et la puissance absorbée par l'évaporateur. On a :

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{q_{\text{mvsat}} \cdot (H_{\text{et}} - H_{\text{st}})}{q_{\text{mvsat}} \cdot (H_{\text{et}} - H_{\text{spomp}})} \approx \frac{q_{\text{mvsat}} \cdot (H_{\text{et}} - H_{\text{st}})}{q_{\text{mvsat}} \cdot (H_{\text{et}} - H_{\text{scond}})}$$

En effet, on peut évaluer la variation d'enthalpie massique apportée par le pompage :

$$H_{spomp} - H_{scond} = \frac{\Delta p}{\rho} = \frac{(39,78 - 0,12) \cdot 10^5}{988} = 4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On en déduit que cette variation d'enthalpie est négligeable et que l'on peut numériquement confondre H_{spomp} et H_{scond} .

Il reste donc à déterminer les valeurs des enthalpies.

Grâce au tableau (DT N°1), on peut lire :

$$H_{et} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$S_{et} = S_{sis} = 6069 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Sur le diagramme de Mollier (H, S), on observe, que dans l'espace liquide vapeur (sous la « cloche » ou courbe de saturation), l'enthalpie et l'entropie massique sont liées par une relation de proportionnalité pour des changements d'état isobares. On a donc : $\Delta H = \Delta S \cdot T$, avec T la température absolue de changement d'état.

Il est donc possible connaissant S_{et} de déterminer H_{sis} , puis d'en déduire H_{st} .

En effet, en sortie de la turbine, la température du mélange diphasique est de 50 °C, soit 323 K. On peut sur cette isotherme et isobare écrire :

$$(H_{sis} - H_{vsat}(50^\circ\text{C})) = (S_{sis} - S_{vsat}(50^\circ\text{C})) \cdot \frac{(H_{lsat}(50^\circ\text{C}) - H_{vsat}(50^\circ\text{C}))}{(S_{lsat}(50^\circ\text{C}) - S_{vsat}(50^\circ\text{C}))}$$

Soit :

$$H_{sis} = 209,3 + (6,07 - 0,71) \cdot \frac{(2592 - 209,3)}{(8,07 - 0,71)}$$

$$H_{sis} = 1944 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On détermine alors H_{st} :

$$\begin{aligned} H_{st} &= H_{et} - (H_{et} - H_{sis}) \cdot \eta_{is} \\ H_{st} &= 2801 - (2801 - 1944) \cdot 0,90 \\ H_{st} &= 2023 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

On en déduit donc le rendement thermodynamique du cycle :

$$\begin{aligned} \eta_{cycle} &= \frac{(H_{et} - H_{st})}{(H_{et} - H_{scond})} \\ \eta_{cycle} &= \frac{(2801 - 2023)}{(2801 - 209,3)} \\ \eta_{cycle} &= 0,3 \end{aligned}$$

Question 16

Le cycle de Carnot est une modélisation thermique externe de la machine qui part de l'hypothèse que toutes les transformations thermodynamiques subies par le fluide sont réversibles et idéales.

Le cycle de Rankine est une modélisation interne, qui tient compte des caractéristiques thermodynamiques du fluide utilisé. Dans le cadre de la modélisation faite ici, nous avons pris en compte les transformations irréversibles et imparfaites de la détente dans la turbine ; il est donc normal que ce rendement soit plus faible que le rendement de Carnot.

Question 17

Conditions qui permettent de réduire l'étude à une seule phase :

- l'alternateur doit être de construction symétrique (condition de découplage des phases) ;
- l'alimentation électrique doit être sinusoïdale et équilibrée (condition de découplage des phases) ;
- l'alternateur doit être de type à pôles lisses à l'exclusion des pôles saillants (limite de validité) ;
- l'état magnétique de la machine ne doit pas être saturé (limite de validité) ;
- l'alternateur doit fonctionner en régime permanent à l'exclusion des régimes transitoires (limite de validité).

Question 18

Voir le corrigé sur le document réponse N°2

Question 19

De la puissance apparente nominale $S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n = 3 \cdot V_n \cdot I_n$, on déduit :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{12 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \times 6,6 \cdot 10^3} = 1050 \text{ A}$$

Au point nominal, le facteur de puissance est tel que :

$$F_{pn} = \cos(\varphi_n) = \frac{P_n}{S_n} = \frac{11}{12} = 0,917 \quad \varphi_n \approx 23,55^\circ$$

Sachant que les phases de l'induit sont couplées en étoile et connaissant la résistance mesurée entre deux bornes de l'induit, on déduit :

$$R_i = \frac{R_c}{2} = \frac{64 \cdot 10^{-3}}{2} = 32 \text{ m}\Omega$$

Question 20

Par application du théorème de Pythagore, l'annulation de la tension d'induit $\underline{V}$ conduit à la relation suivante sur les normes des vecteurs (voir le diagramme de Fresnel sur le document réponse N°2)

$$E_{rcc} = I_{rcc} \cdot \sqrt{R_i^2 + (L\omega)^2}$$

Connaissant l'intensité du courant d'excitation, on déduit la force électromotrice en court-circuit de la caractéristique interne présentée sur le document réponse N°3 :

$$E_{rcc} = \frac{44}{40} \cdot \frac{4 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 2,54 \text{ kV}$$

On en déduit la réactance synchrone :

$$X = \sqrt{\left(\frac{E_{rcc}}{I_{cc}}\right)^2 - R_i^2} = \sqrt{2,54^2 - 32^2 \cdot 10^{-6}} \approx 2,54 \text{ }\Omega$$

Pour les applications numériques, à défaut d'avoir su identifier la réactance synchrone, on pourra utiliser la valeur approximative suivante : $X = 2,6 \text{ }\Omega$. Dans les corrections qui suivent, les valeurs numériques obtenues via cette approximation seront présentées entre accolades $\{\}$ à côté des valeurs exactes.

Question 21

$$\underline{E}_{rn} = \underline{V}_n + j \cdot X \cdot \underline{I}_n$$

En réutilisant le calcul du courant nominal et celui du facteur de puissance des questions précédentes :

$$E_{rn} = \sqrt{(V_n + X \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n)^2 + (X \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n)^2}$$

$$E_{rn} = \sqrt{\left(\frac{6,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} + 2,54 \times 1050 \times 0,3997\right)^2 + (2,54 \times 1050 \times 0,9182)^2} = 5,457 \text{ kV} \{5,505 \text{ kV}\}$$

Sinon, en utilisant les puissances nominales indiquées dans l'énoncé :

$$E_{rn} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\left(1 + X \cdot \frac{Q_n}{U_n^2}\right)^2 + \left(X \cdot \frac{P_n}{U_n^2}\right)^2}$$

$$E_{rn} = \frac{6,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(1 + 2,54 \times \frac{4,8}{6,6^2}\right)^2 + \left(2,54 \times \frac{11}{6,6^2}\right)^2} = 5,455 \text{ kV} \{5,505 \text{ kV}\}$$

$$\text{Angle interne : } \theta = \arcsin\left(\frac{X \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n}{E_{rn}}\right) = \arcsin\left(\frac{X \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot E_{rn}}\right) \approx 26^\circ 40' \{27^\circ 02'\}$$

En reportant E_{rn} sur la caractéristique interne, on obtient en abscisse : $I_m = 243 \text{ A} \{255 \text{ A}\}$

Pertes électriques de l'inducteur :

$$P_{jf} = U_f \cdot I_m = 420 \times 243 = 102,1 \text{ kW} \{107,1 \text{ kW}\}$$

Question 22

Les phénomènes, aux origines des pertes ferromagnétiques, sont le phénomène d'hystérésis associé à l'alternance de la polarisation magnétique et la circulation de courants induits dans la masse des tôles (courants de Foucault).

Le silicium permet d'augmenter la résistivité de l'alliage et donc de réduire l'intensité des courants de Foucault. Il contribue à limiter les pertes ferromagnétiques.

Question 23

Par la loi de conservation du flux, en supposant que la longueur de l'induit L_r est la même du côté de l'inducteur :

$$B_a \cdot d_a \cdot L_r = B_e \cdot (d_a + 2 \cdot \frac{b}{2}) \cdot L_r = 2 \cdot B_e \cdot d_a \cdot L_r \Rightarrow B_a = 2 \cdot B_e = 2,14 \text{ T}$$

Largeur de dent à l'alésage :

$$d_a = b = \frac{\pi \cdot D_r}{2 \cdot N_d} = \frac{\pi \times 0,7}{2 \times 54} = 20,362 \text{ mm}$$

Par le calcul de la circonférence en fond d'encoche et en retranchant la largeur d'encoche, on obtient la largeur des dents à la base :

$$d_f = \frac{\rho}{N_d} \cdot (D_r + 2 \cdot h_d) - b = \frac{\rho}{54} \cdot (700 + 2 \times 90) - 20,362 = 30,83 \text{ mm}$$

$$\text{Ou directement : } d_f = \frac{\pi}{N_d} \cdot \left(\frac{D_r}{2} + 2 \cdot h_d\right) = \frac{\pi}{54} \cdot \left(\frac{700}{2} + 2 \times 90\right) = 30,83 \text{ mm}$$

Par la loi de conservation du flux : $B_a \cdot d_a = B_f \cdot d_f$

On déduit :

$$B_f = B_a \cdot \frac{d_a}{d_f} = 2,14 \times \frac{20,36}{30,83} = 1,413 \text{ T}$$

Voir le document réponse N°4 : $W_a = 7,45 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$; $W_m = 4,45 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$; $W_f = 2,9 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Question 24

Voir le document réponse N°4.

Géométriquement ou en intégrant, on obtient les pertes massiques moyennes :

$$W_d = \frac{W_a + 4 \cdot W_m + W_f}{6} = \frac{7,45 + 4 \times 4,45 + 2,9}{6} = 4,692 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Question 25

Il n'est pas équivalent de calculer l'induction moyenne dans la dent pour en déterminer les pertes massiques moyennes *a posteriori* car la relation entre l'induction et les pertes n'est pas linéaire (affine).

Question 26

Pertes majorées dans la couronne :

$$P_{Fc} = K_c \cdot W_c \cdot m_c = 1,4 \times 3,875 \times 1976 = 10,72 \text{ kW}$$

Section des dents :

$$S_d = h_d \cdot \frac{D_a + D_f}{2} = 90 \times \frac{20,362 + 30,83}{2} = 23,04 \text{ cm}^2$$

Masse des dents : $m_d = \rho_s \cdot N_d \cdot S_d \cdot L_r = 7\,800 \times 54 \times 2\,304 \cdot 10^{-6} \times 0,3 = 291,1 \text{ kg}$

Pertes majorées dans les dents :

$$P_{Fd} = K_d \cdot W_d \cdot m_d = 2,4 \times 4,692 \times 291,1 = 3,278 \text{ kW}$$

Section de la couronne :

$$S_c = \pi \cdot \left[\left(\frac{D_r}{2} + h_d + h_c \right)^2 - \left(\frac{D_r}{2} + h_d \right)^2 \right] = \pi \cdot \left[(35 + 9 + 24)^2 - (35 + 9)^2 \right] = 8\,445 \text{ cm}^2$$

Masse de la couronne : $m_c = \rho_s \cdot S_c \cdot L_r = 7\,800 \times 0,8445 \times 0,3 = 1\,976 \text{ kg}$

Pertes majorées dans la couronne :

$$P_{Fc} = K_c \cdot W_c \cdot m_c = 1,4 \times 3,875 \times 1976 = 10,72 \text{ kW}$$

Question 27

Par la loi de Faraday, en régime périodique alternatif, l'induction est proportionnelle à la force électromotrice. Il suffit de multiplier les inductions par E/V . Par la réponse à la question 26, il vient :

$$P_{Fe} = 1,146^2 \cdot [P_{Fd} + P_{Fc}] = 1,313 \cdot (3,278 + 10,72) = 18,38 \text{ kW} \{18,15 \text{ kW}\}$$

Question 28

Pertes par effet Joule dans les dans les trois phases de l'induit :

$$P_{ji} = 3 \cdot R_i \cdot I_n^2 = 3 \times 32 \cdot 10^{-3} \times 1050^2 = 105,8 \text{ kW}$$

Ou directement par les puissances nominales énoncées :

$$P_{ji} = R_i \cdot \frac{S_n^2}{U_n^2} = 32 \times \frac{12^2}{6,6^2} \cdot 10^3 = 105,8 \text{ kW}$$

Question 29

Rendement au point nominal :

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + (P_{jf} + P_{Ft} + P_{ji}) + (P_{fp} + P_{fg} + P_v) + (P_{Fi} + P_{Ti} + P_{Pf} + P_{ex}) + P_r} \cdot \eta_T \cdot \eta_r$$

$$\eta_n = \frac{11 \cdot 10^3}{11 \cdot 10^3 + 226,28 + 73,36 + 15,34} \cdot 0,993 \cdot 0,989$$

$$\eta_n = 0,96756 \times 0,993 \times 0,989 = 95,02 \% \quad \{0,9671 \times 0,993 \times 0,989 = 94,98 \%\}$$

Question 30

En régime nominal le rendement de la chaîne de conversion thermoélectrique hors auxiliaires est de :

$$\eta = 0,67 \times 0,92 \times 0,999 \times 0,31 \times 0,95 = 0,181$$

La puissance délivrée étant de 11 MW, la puissance solaire collectée est alors : $P_{abs} = 60,66$ MW

Le rendement intégrant les auxiliaires est alors :

$$\eta = \frac{11}{60,66 + 0,180} = 0,181$$

Question 31

Le coût de la centrale sur la durée de vie de cette dernière est :

$$C = 35 + 25 \times 2,635 = 100,875 \text{ M€}$$

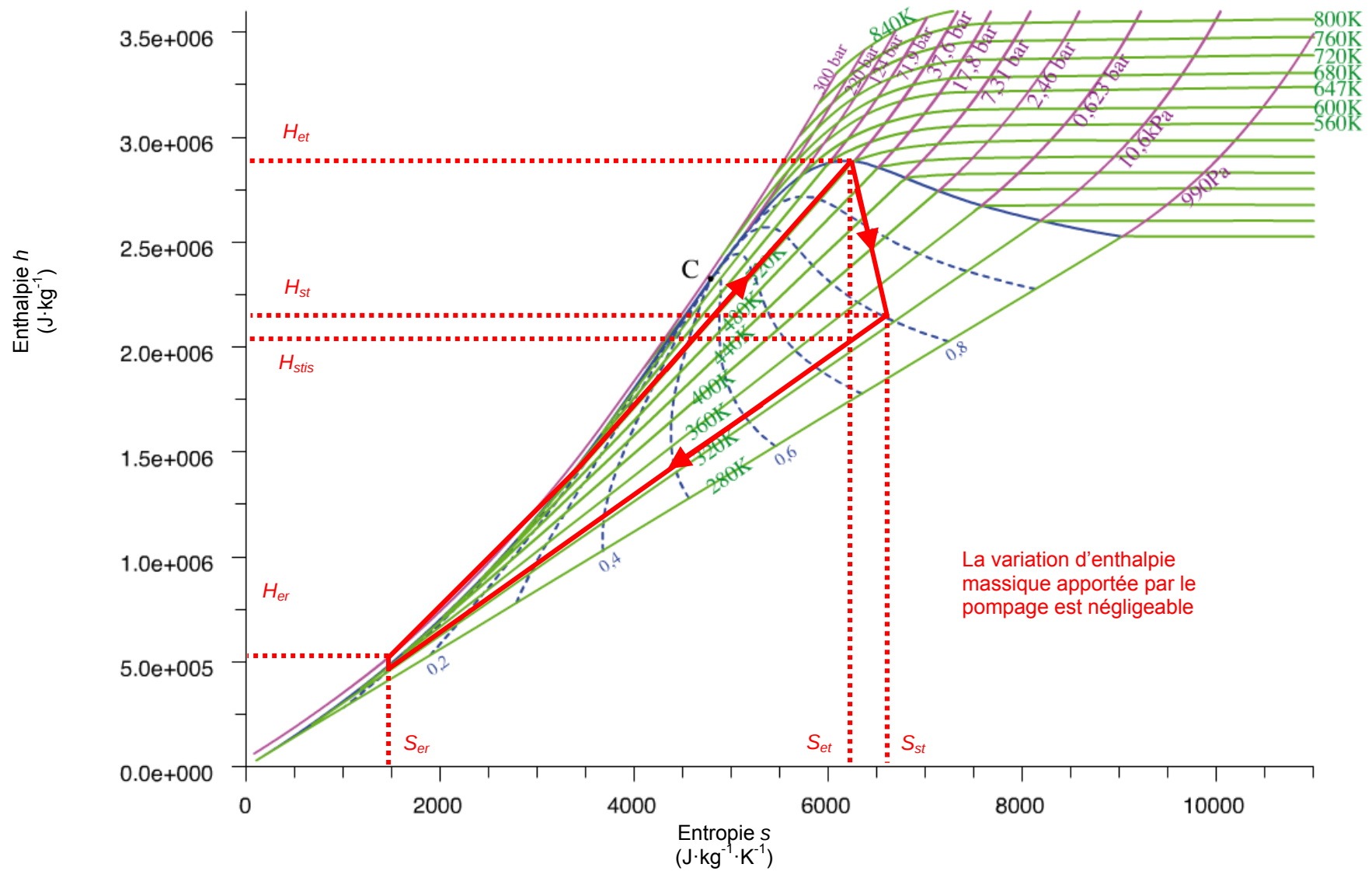
L'énergie produite sur la durée de vie est :

$$E = 24 \times 25 = 600 \text{ GW}\cdot\text{h}$$

Le coût moyen de production est donc de 168 € du MW·h.

Cette solution ne semble pas rentable en l'état, mais elle représente une alternative qui peut devenir intéressante avec la disparition progressive des énergies fossiles facilement exploitables et l'augmentation des tarifs de ces énergies.

Document Réponse N°1 : « Diagramme de Mollier de l'eau »



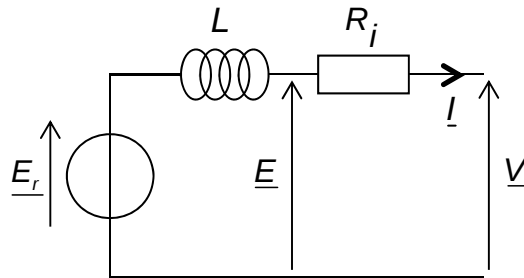


Schéma électrique du modèle de Behn-Eschenburg

Significations des paramètres du modèle de Behn-Eschenburg

R_i représente la résistance électrique d'une phase de l'induit.

L représente l'inductance cyclique.

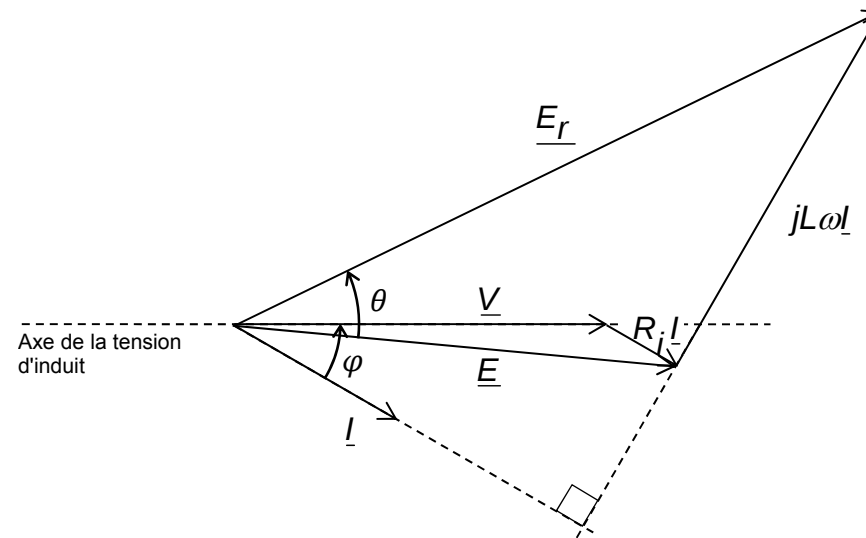
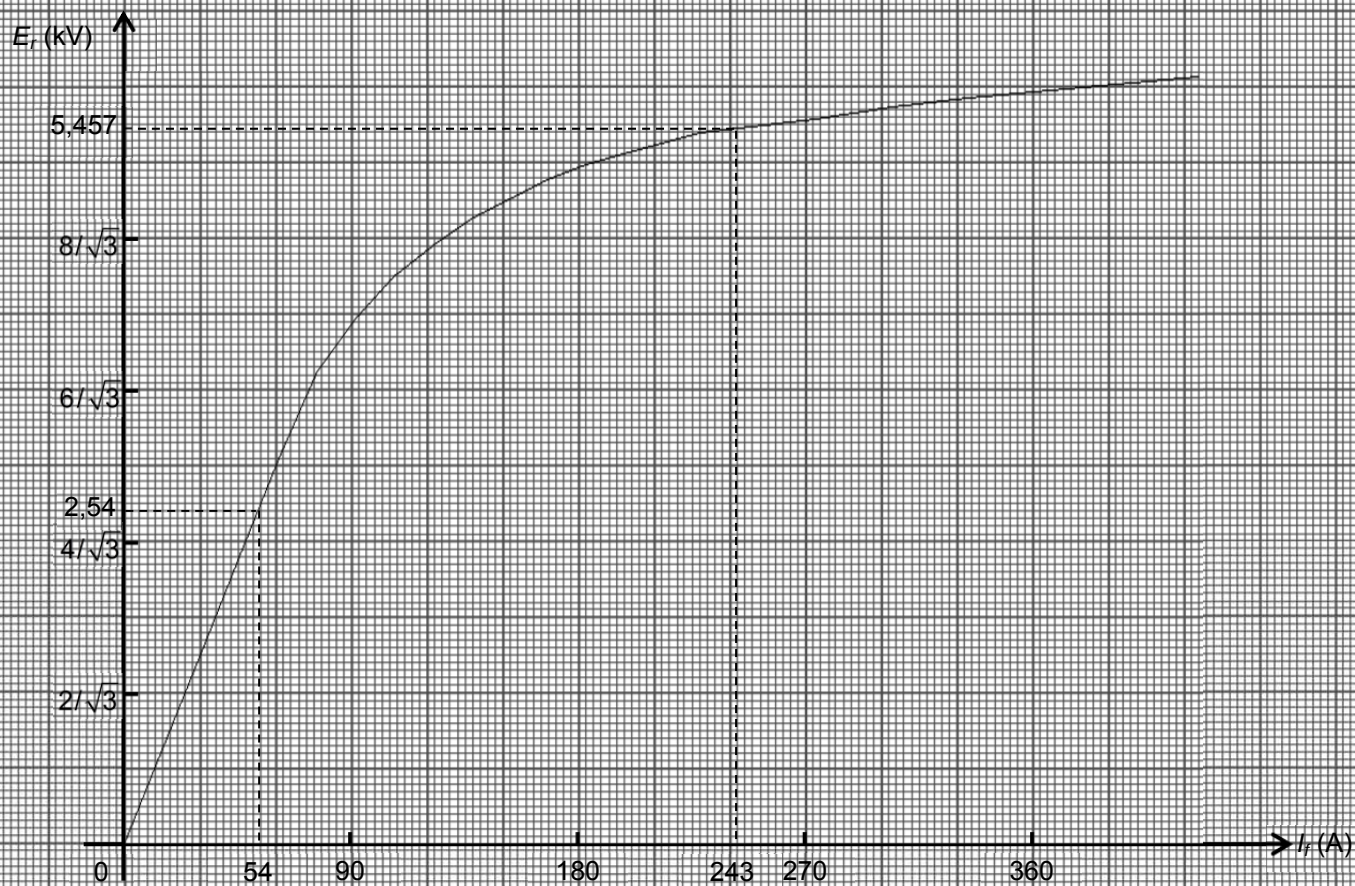
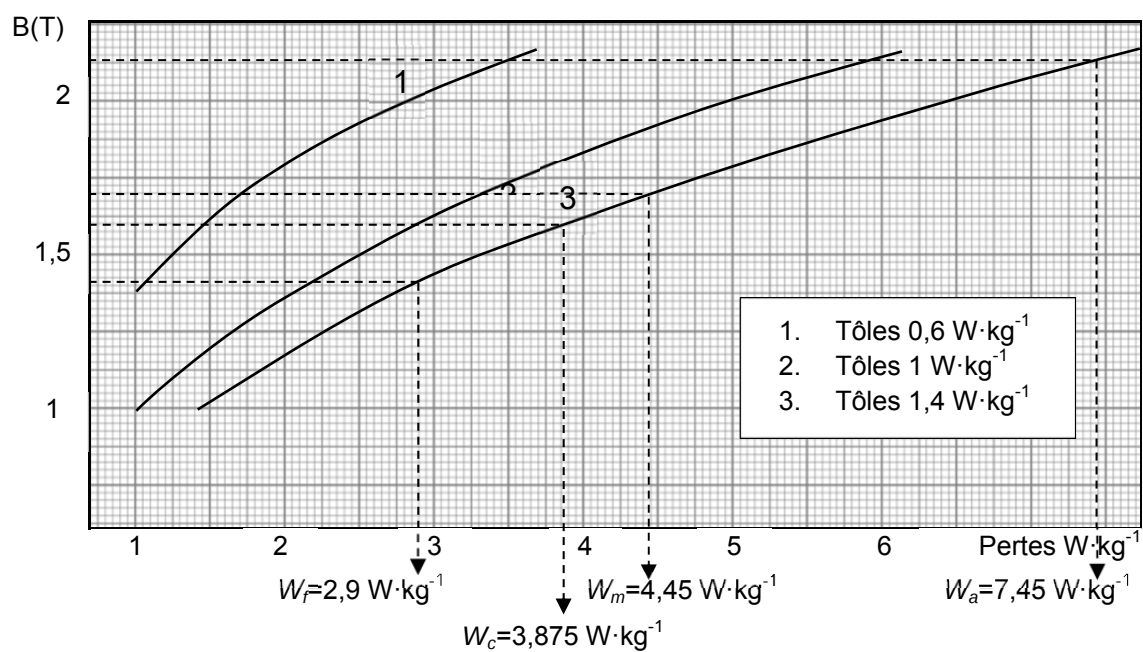


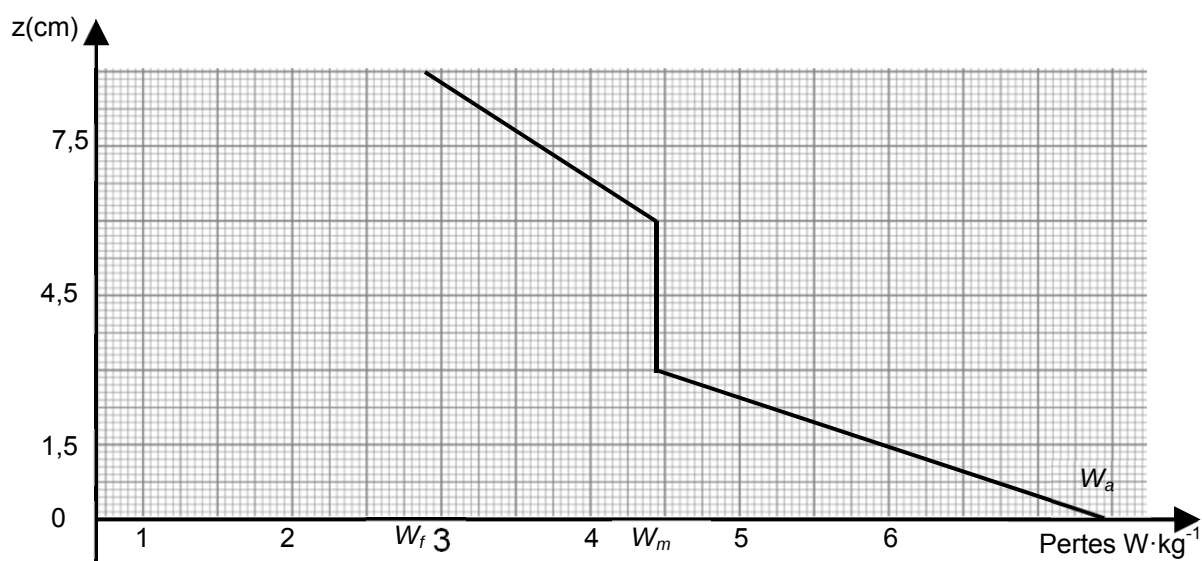
Diagramme de Fresnel



Document Réponse N°4 : « Pertes ferromagnétiques de l'induit »

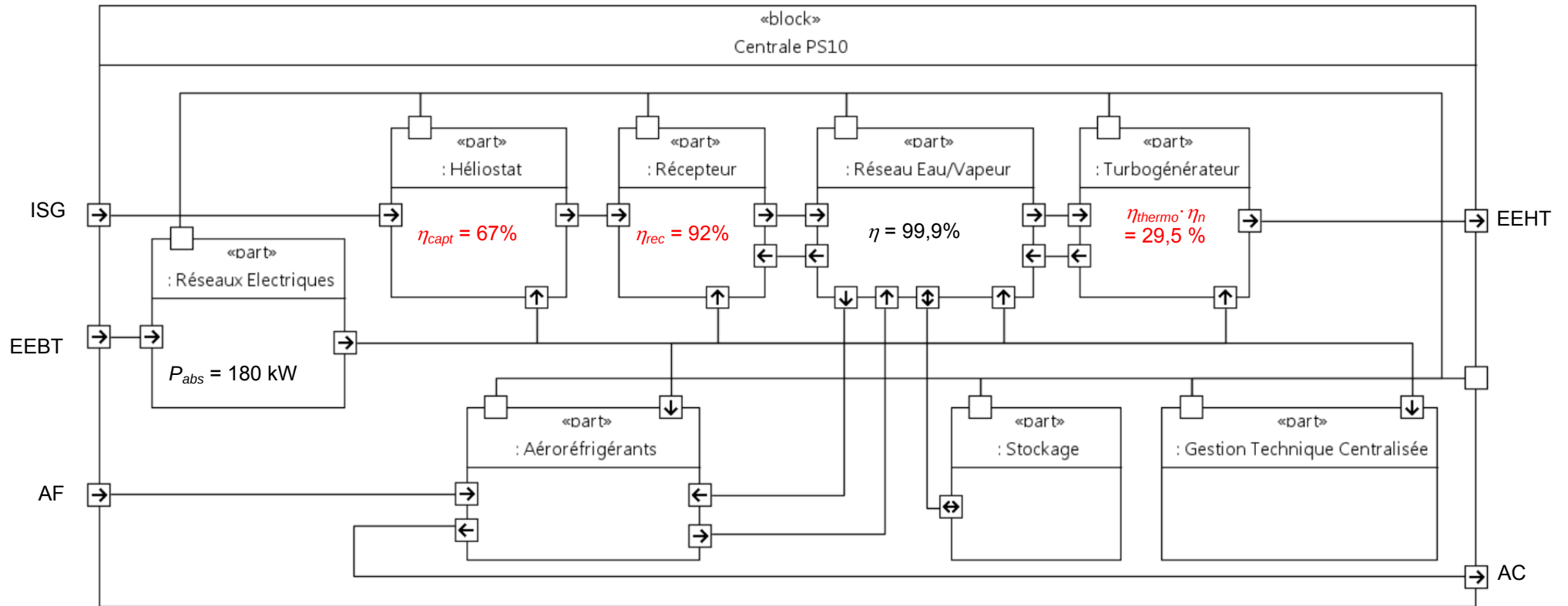


I- Estimation des pertes massiques



II- Profil des pertes massiques dans une dent

Document réponse N°5 : « Diagramme IBD Centrale PS10 »



Légende :

EEBT : Énergie Électrique BT
 ISG : Irradiance Solaire Globale portée par la direction du soleil $W \cdot m^{-2}$
 AF : Air Froid
 AC : Air Chaud

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

Cette épreuve est commune aux trois options. Les candidats composent sur le même sujet au titre de la même session quelle que soit l'option choisie. Conformément à l'arrêté du 25/11/2011, « *cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnique automatique* ».

1. Présentation du sujet

Les auteurs du sujet remercient la société Abeinsa et particulièrement messieurs Manuel Valverde, Vice-Président d'Abengoa Abeinsa, et Manuel Pozo Directeur technique d'Abeinsa pour leur disponibilité et les renseignements qu'ils ont été en mesure de leur communiquer.

Le sujet porte sur l'analyse du rendement et de la rentabilité du prototype de centrale solaire thermique à tour PS10 construit en Espagne dans la région de Séville. Ce thème s'inscrit dans le contexte de l'énergie et du développement durable, deux secteurs d'activité qui constituent une voie importante d'innovation et de développement économique pour les prochaines décennies.

Après une partie introductive au sujet, quatre parties permettent progressivement de déterminer le rendement global de la centrale. Une dernière partie détermine le coût de l'électricité produite afin d'évaluer la rentabilité actuelle et future de cette technologie. L'ensemble évalue de façon transversale les compétences utiles à l'enseignement des sciences et techniques de l'ingénieur.

2. Analyse globale des résultats

L'évaluation des copies montre une très forte hétérogénéité. Un petit nombre de candidats bien préparés traite correctement les deux tiers du sujet mais pour un bon nombre de candidats, visiblement non préparés, les fondamentaux ne sont pas acquis.

La qualité de la présentation est aussi très variable. Certains candidats montrent à cette occasion leur capacité à proposer des schémas clairs et pédagogiques, ainsi que des raisonnements bien construits, quand d'autres au contraire, sont très confus. Il s'agit pourtant d'une qualité indispensable pour un professeur.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 2

Cette partie s'intéresse aux lois et protocoles de pointage des héliostats vers la tour, puis au dimensionnement de la structure permettant une concentration suffisante du rayonnement sur le récepteur. Elle est largement abordée, avec un succès très variable selon les candidats.

La première question vise à interpréter le diagramme de séquence. Une description des échanges d'information était attendue.

Le schéma cinématique de la question 2 est très souvent abordé mais très mal réussi par plus de la moitié des candidats. Le jury s'attendait à une plus grande proportion de réponses correctes pour cette question.

Le calcul des paramètres de position de l'héliostat (question 3) débouche très rarement. La plupart des candidats se contente de projeter les vecteurs, sans parvenir à exprimer une condition géométrique de pointage, ou alors de façon très approximative.

La question 4 proposait d'écrire un programme informatique simple. Elle est correctement abordée par une minorité de candidats.

La question 5 au contraire est traitée avec succès par la majeure partie des candidats.

Un caractère (E) a disparu au moment de l'impression du sujet dans cette question. Cela n'a visiblement pas gêné les candidats.

Les questions 6 à 9 s'intéressent à un problème de résistance des matériaux. Par symétrie, il se résume à une poutre encastree soumise à un chargement uniforme. Seul un tiers des candidats parvient à exprimer le moment fléchissant convenablement. Peu de candidats ont su mettre en évidence les lois de similitude pour une section IPN homothétique ou encore trouver le moment quadratique de la section du treillis.

Partie 3

Cette partie vise à évaluer le rendement du récepteur. Après avoir justifié une modélisation thermique de celui-ci, les candidats sont amenés à l'exploiter pour déterminer le rendement de conversion et l'irradiance minimale permettant de débiter la production thermoélectrique.

L'interprétation critique de l'hypothèse consistant à négliger les pertes en face arrière est souvent faite qualitativement. Il était attendu une analyse quantitative des ordres de grandeurs des coefficients données en annexe et très peu de candidats adoptent cette démarche scientifique.

L'analyse du modèle acausal du récepteur est très rarement abordée. L'application numérique du rendement par contre est très souvent traitée correctement. L'évaluation de l'irradiance minimale est quant à elle peu abordée, et plus rarement réussie.

Une coquille s'est glissée dans le sujet : un exposant a disparu dans la valeur numérique de E ($E = 50 \cdot 10^6$ W et il fallait lire $E = 50 \cdot 10^6$ W). Les applications numériques réalisées avec la valeur 50 106 W ont été comptées justes pour ne pas pénaliser les candidats.

Partie 4

Cette partie vise à évaluer le rendement de la transformation thermodynamique. Pour cela deux modélisations étaient proposées, celle de Carnot et celle de Rankine.

Le rendement de Carnot n'est connu que par moins d'un tiers des candidats, qui réalisent correctement l'application numérique en Kelvin.

Le tracé du cycle de Rankine à partir des informations fournies dans le sujet, et son exploitation sont très rarement abordés correctement. Il en va de même de l'analyse comparative des deux approches de modélisation.

Partie 5

Cette partie vise à évaluer le rendement de l'alternateur en déterminant quelques pertes électriques et ferromagnétiques. Elle exploite un modèle élémentaire de cette machine.

Cette partie est très peu abordée par les candidats.

Les hypothèses permettant d'exploiter un modèle équivalent monophasé sont rarement citées. L'identification des tensions sur le schéma électrique et le diagramme de Fresnel est généralement fautive. La dénomination de R_i et L est souvent vague, indiquant un faible degré de compréhension du modèle.

Le calcul de I_n et F_{pn} est abordé par une bonne partie des candidats, et c'est sans doute la partie la mieux traitée.

Les questions 20 à 28 sont ensuite très rarement abordées correctement. Les meilleurs candidats répondent correctement aux questions non calculatoires.

Le calcul du rendement en question 29 est souvent écrit en convention récepteur et non en convention générateur.

Partie 6

Cette dernière partie complètement indépendante permettait d'évaluer la capacité des candidats à mener un bilan énergétique et économique.

Le document réponse question 30 qui servait de support au bilan énergétique est souvent complété, mais les applications et raisonnements permettant d'obtenir le rendement global de la production sont souvent faux. Le calcul de rentabilité de la centrale est très largement abordé, et la plupart des candidats aboutissent à une évaluation économique cohérente. Cependant une conclusion critique sur les résultats numériques obtenus était attendue, et malheureusement les conclusions proposées par les candidats sont très souvent convenues et manquent de perspective.

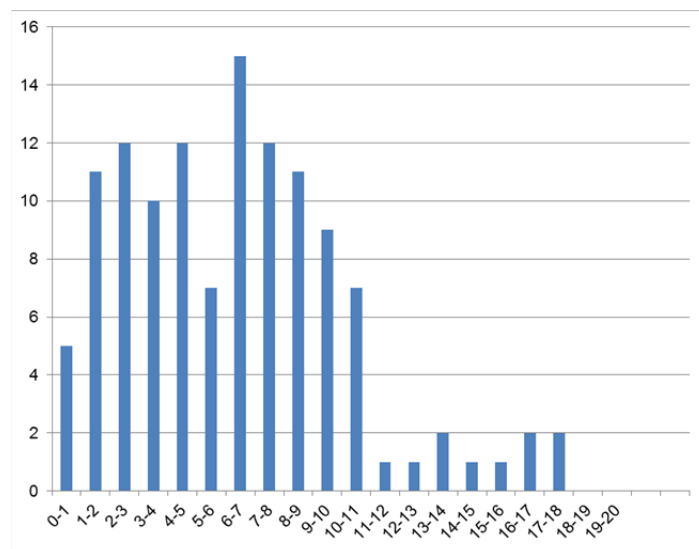
4. Conclusions

Les différentes parties de ce sujet abordent bon nombre des compétences fondamentales nécessaires pour enseigner aujourd'hui dans les filières technologiques, que ce soit en STI2D, en S-SI ou en classes préparatoires : savoir interpréter un diagramme SysML, réaliser un schéma cinématique, manipuler vecteurs et complexes, écrire un programme simple, savoir modéliser de manière élémentaire le fonctionnement d'une machine électrique, prendre en compte les rendements dans une chaîne de transmission de puissance, calculer la déformation d'une poutre dans le cadre de sollicitations simples, exploiter des modélisations multi-physiques, ou encore prendre en compte une contrainte économique. Le jury invite les futurs candidats à s'assurer qu'outre les savoirs scientifiques basiques, ils maîtrisent aussi ces fondamentaux.

5. Résultats

121 copies ont été évaluées. La moyenne des notes obtenues est de 6,3/20 et l'écart-type 3,8 avec :

- 17,9 comme meilleure note ;
- 0,6 comme note la plus basse.



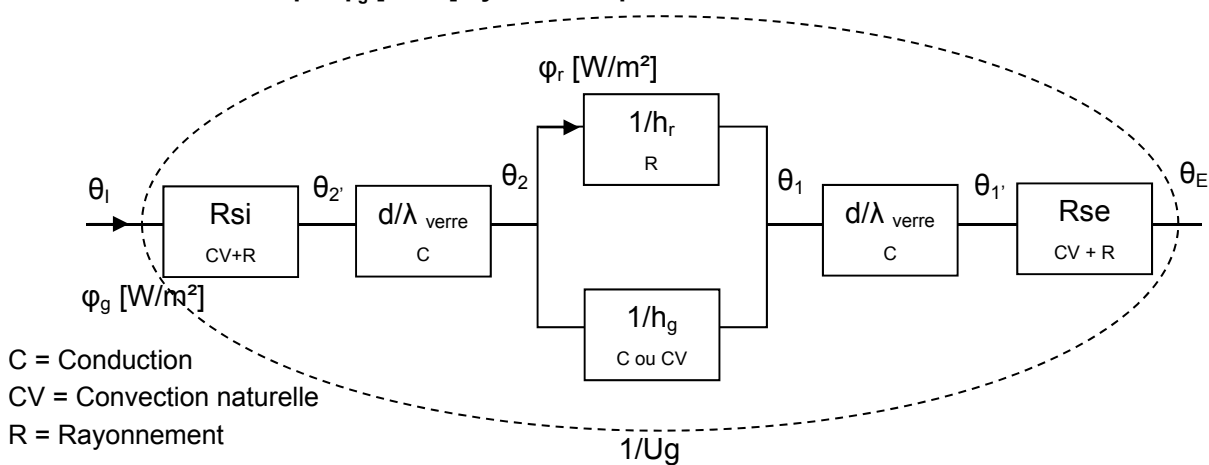
Éléments de correction de l'épreuve de modélisation d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Partie 1 – Etude thermique d'un bungalow de chantier (5 points)

Question 1 : à l'aide de la formule du coefficient de transmission surfacique de la partie vitrage g de la

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_r + h_g} + R_{si}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})]$$

fenêtre issue de la Réglementation Thermique, proposer le schéma des résistances thermiques R [K.m²/W] en précisant leurs expressions en fonction des termes de l'équation, les modes de transferts de chaleur mis en jeu, les températures θ [°C] (E, I, 1, 2, 1' et 2') et la densité de flux thermique ϕ_g [W/m²] symbolisée par une flèche.



Question 2 : à partir de l'équation de la chaleur et de la loi de Fourier, démontrer qu'en régime permanent, la formule de la résistance thermique de conduction du verre extérieur du vitrage est

$$R_{verre} = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{K.m}^2/\text{W}] \text{ comme issue de la Réglementation Thermique.}$$

$$\lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \vec{\text{grad}} \lambda \bullet \vec{\text{grad}} T + P = \rho \cdot C_v \cdot \frac{dT}{dt}$$

Or régime permanent $\frac{dT}{dt} = 0$, conductivité thermique constante $\vec{\text{grad}} \lambda = \vec{0}$, paroi « morte » $P = 0$ et

problème mono-directionnel suivant l'axe x donc $\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$.

On obtient $\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \Leftrightarrow \frac{dT}{dx} = A \Leftrightarrow T = A \cdot x + B$ avec les conditions limites isothermes

en $x = 0 \rightarrow T_1 = A \cdot 0 + B \Leftrightarrow B = T_1$

en $x = d \rightarrow T_1' = A \cdot d + B \Leftrightarrow T_1' = A \cdot d + T_1 \Leftrightarrow A = \frac{T_1' - T_1}{d}$

Donc $T = \frac{T_1' - T_1}{d} \cdot x + T_1$.

Et $\varphi = -\lambda \cdot \vec{\text{grad}} T = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} = -\lambda \cdot \frac{T_1' - T_1}{d} = \frac{T_1 - T_1'}{d/\lambda} = \frac{T_1 - T_1'}{R_{\text{verre}}}$ avec $R_{\text{verre}} = \frac{d}{\lambda}$ [K.m²/W], la résistance

thermique surfacique de conduction du verre.

Question 3 : à partir des données précédentes, déterminer l'expression littérale du flux thermique radiatif $\phi_r = f(\sigma, T_1, T_2, \epsilon_1, \epsilon_2, S_1, S_2, F_{12})$ [W] échangé entre les 2 parois planes internes du vitrage délimitant la lame d'air afin de démontrer que l'expression littérale du coefficient d'échange radiatif est

$h_r \approx 4 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} \cdot T_m^3$ [W/(m².K)] comme issue de la Réglementation Thermique.

$$\phi_r = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 \cdot S_1} + \frac{1}{F_{12} \cdot S_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 \cdot S_2}} = \frac{\sigma \cdot S \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + 1 + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}} = \frac{\sigma \cdot S \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

avec $S_1 = S_2 = S$ et $F_{11} + F_{12} = 1$ avec $F_{11} = 0$ car surface plane donc $F_{12} = 1$

$$\phi_r = \frac{\phi_r}{S} = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{\sigma \times (T_2^2 + T_1^2) \times (T_2 + T_1)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \times (T_2 - T_1) = h_r \times (T_2 - T_1) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Avec $h_r = \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} \times \sigma \times (T_2^2 + T_1^2) \times (T_2 + T_1)$ [W/(m².K)]

On introduit $T_m = \frac{T_2 + T_1}{2}$ et $\delta = \frac{T_2 - T_1}{2}$ donc $T_m = T_2 - \delta = T_1 + \delta$

$$(T_2^2 + T_1^2) \times (T_2 + T_1) = ((T_m + \delta)^2 + (T_m - \delta)^2) \times 2T_m = (T_m^2 + 2T_m \cdot \delta + \delta^2 + T_m^2 - 2T_m \cdot \delta + \delta^2) \times 2T_m \text{ Car } \delta^2 = (2T_m^2 + 2\delta^2) \times 2T_m = 4 \times (T_m^2 + \delta^2) \times T_m \approx 4 \times (T_m^2) \times T_m \approx 4 \times T_m^3$$

est négligeable par rapport à T_m^2 puisqu'en 1^{ère} approximation $\theta_1 = -10^\circ\text{C}$ et $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ alors

$$T_m = \frac{T_2 + T_1}{2} = \frac{2 \times 273,15 + \theta_2 + \theta_1}{2} = 278,15 \gg \delta = \frac{T_2 - T_1}{2} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} = 15 \text{ donc } T_m^2 = 77368 \gg \delta^2 = 225$$

Donc $h_r \approx 4 \times \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} \times \sigma \times T_m^3$

Question 4 : calculer la valeur du coefficient de transmission surfacique de la partie vitrage g de la fenêtre U_g [$W/(m^2.K)$]. Après calculs, déterminer quels sont réellement les modes de transferts de chaleur dans la lame d'air entre les 2 faces internes des verres ?

Itération 0 : $\theta_m = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{-10 + 20}{2} = 5^\circ C$

$$\rho = -0,00456.\theta_m + 1,2804 = -0,00456 \times 5 + 1,2804 = 1,2576 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\mu = (0,005.\theta_m + 1,711).10^{-5} = (0,005 \times 5 + 1,711).10^{-5} = 1,736.10^{-5} \text{ Pa.s}$$

$$c = 1008 \text{ J} / (\text{kg.K})$$

$$\lambda = (0,008.\theta_m + 2,416).10^{-2} = (0,008 \times 5 + 2,416).10^{-2} = 2,456.10^{-2} \text{ W} / (\text{m.K})$$

o Lamme d'air :

Convection	Rayonnement
$Gr = \frac{9,81.s^3.\Delta T.\rho^2}{T_m.\mu^2}$ $= \frac{9,81 \times 0,012^3.(20 - (-10)) \times 1,2576^2}{(273,15 + 5) \times (1,736.10^{-5})^2} = 9595$ $Pr = \frac{\mu.c}{\lambda} = \frac{1,736.10^{-5} \times 1008}{2,456.10^{-2}} = 0,7125$ $Nu = A.(Gr.Pr)^n = 0,035 \times (9595 \times 0,7125)^{0,38} = 1,003$ $h_g = Nu.\frac{\lambda}{s} = 1,003 \times \frac{2,456.10^{-2}}{12.10^{-3}} = 2,053 \text{ W} / (\text{m}^2.K)$	$h_r = 4.\sigma.\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)^{-1}.T_m^3$ $= 4 \times 5,67.10^{-8} \times \left(\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1\right)^{-1}$ $\times (273,15 + 5)^3$ $= 3,994 \text{ W} / (\text{m}^2.K)$
$R_{s,k} = \frac{1}{h_r + h_g} = \frac{1}{3,994 + 2,053} = 0,166 \text{ K.m}^2 / \text{W}$	

o Double vitrage (lamme d'air, verres, superficielles...) :

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{s,k} + R_{si}} = \frac{1}{0,04 + \left(2 \times \frac{4.10^{-3}}{1}\right) + 0,166 + 0,13} = 2,91 \text{ W} / (\text{m}^2.K)$$

o Vérification des températures θ_1 et θ_2 :

$$\varphi_g = U_g.(\theta_I - \theta_E) = 2,91 \times (20 - (-10)) = 87,4 \text{ W} / \text{m}^2 = \frac{\theta_I - \theta_2}{R_{si} + \frac{d_{verre}}{\lambda_{verre}}} = \frac{\theta_1 - \theta_E}{R_{se} + \frac{d_{verre}}{\lambda_{verre}}}$$

$$\theta_2 = \theta_I - \varphi_g \times \left(R_{si} + \frac{d_{verre}}{\lambda_{verre}}\right) = 20 - 87,4 \times \left(0,13 + \frac{4.10^{-3}}{1}\right) = 8,29^\circ C \neq 20^\circ C$$

$$\theta_1 = \theta_E + \varphi_g \times \left(R_{se} + \frac{d_{verre}}{\lambda_{verre}}\right) = -10 + 87,4 \times \left(0,04 + \frac{4.10^{-3}}{1}\right) = -6,16^\circ C \neq -10^\circ C$$

Il faut effectuer une itération supplémentaire.

Itération 1 : $\theta_m = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{-6,16 + 8,29}{2} = 1,07^\circ C$ etc...

		itération 0	itération 1	itération 2	itération 3
Résistance thermique de la lame d'air Si Nu calculé < 1 alors ↻ prendre Nu réel = 1	θ1 [°C]	-10	-6,16	-6,22	-6,22
	θ2 [°C]	20	8,29	8,48	8,48
	θm [°C]	5	1,07	1,13	1,13
	μ [Pa.s]	1,7360E-05	1,7163E-05	1,7167E-05	1,7167E-05
	Cp [J/kg.K]	1008			
	λ [W/(m.K)]	0,02456	0,02425	0,02425	0,02425
	ρ [kg/m3]	1,2576	1,2755	1,2752	1,2752
	s [m]	0,012			
	Gr	9595	4933	5014	5012
	Pr	0,712	0,714	0,714	0,714
	Nu calculé	1,003	0,779	0,784	0,784
	Nu réel	1,003	1	1	1
	hc [W/(m2.K)]	2,053	2,020	2,021	2,021
	ε1	0,9			
	ε2	0,9			
	hr [W/(m2.K)]	3,993	3,826	3,829	3,829
	Rsk [K.m2/W]	0,166	0,171	0,171	0,171
Résistances thermiques superficielles	Rsi [K.m2/W]	0,13			
	Rse [K.m2/W]	0,04			
Résistance thermique verre	d [m]	0,004			
	λ [W/(m.K)]	1			
	2xd/λ [K.m2/W]	0,008			
Coeff Transmission Partie vitrage	Ug [W/(m².K)]	2,91	2,87	2,87	2,87
Ecart température	Δθ=θ1-θE [°C]	30			
Densité flux thermique Partie vitrage	φg [W/m²]	87,4	86,0	86,0	86,0

On trouve $U_g = 2,87 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ au bout de l'itération n°1 (convergence exacte à l'itération n°3 où les températures restent inchangées), ce qui correspond à du rayonnement h_r et de la conduction h_g dans la lame d'air car $h_g = Nu \cdot \frac{\lambda}{s} = 1 \cdot \frac{\lambda}{s} = \frac{\lambda}{s}$ (la lame d'air est statique donc il n'y a pas de convection naturelle).

Question 5 : calculer le coefficient de transmission surfacique de la paroi vitrée « fenêtre p » $U_{\text{fenêtre p}}$ [W/(m².K)] noté U_w dans la Réglementation Thermique.

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

$$U_w = \frac{2,87 \times 0,7 + 3 \times 0,5 + 0,06 \times 5,4}{0,7 + 0,5} \quad \text{avec} \quad A_g = 1 \times 0,7 = 0,7 \text{ m}^2$$

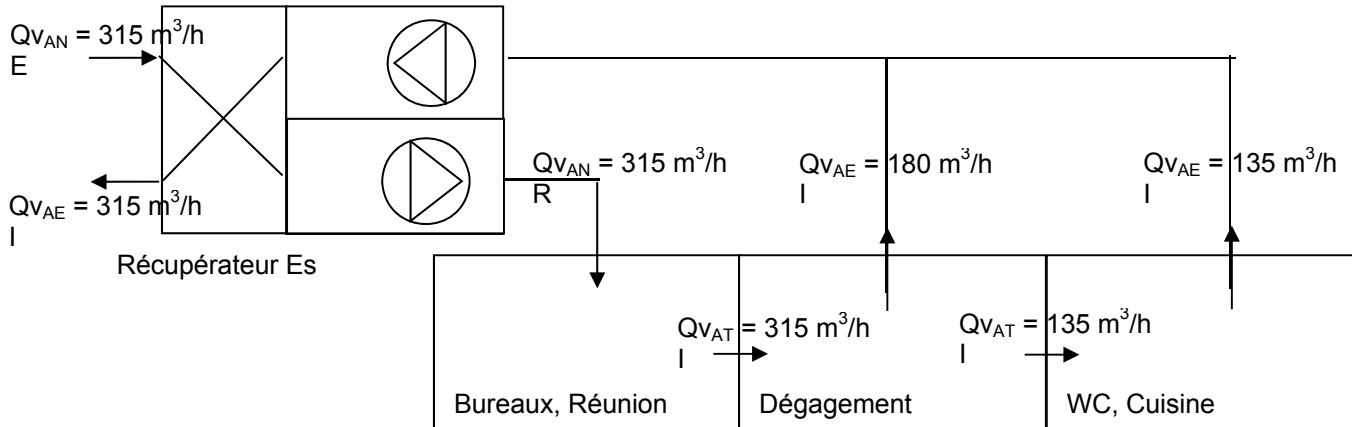
$$U_w = 3,195 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \quad A_f = 1,2 \times 1 - A_g = 1,2 - 0,7 = 0,5 \text{ m}^2$$

$$l_g = 2 \times 0,7 + 4 \times 1 = 5,4 \text{ m}$$

Question 6 : déterminer l'expression littérale des déperditions du bungalow de chantier sous la forme $\phi_{\text{déperditions}} = C \times (\theta_I - \theta_E)$ [W] avec la constante $C = f(U_i, S_i, Q_{vAN}, Es, \rho, c)$ [W/°C], puis les calculer.

o Déperditions par renouvellement d'air neuf ϕ_{AN}

$\phi_{AN} = \rho \cdot Q_{vAN} \cdot c \cdot (\theta_I - \theta_R)$ et l'efficacité sensible $Es = \frac{Q_{vAN} \cdot (\theta_R - \theta_E)}{Q_{v_{\min=AN}} \cdot \Delta\theta_{\max=I-E}} = \frac{(\theta_R - \theta_E)}{(\theta_I - \theta_E)}$ du récupérateur de chaleur, donc $\theta_R = \theta_E + Es \cdot (\theta_I - \theta_E)$, donc $\phi_{AN} = \rho \cdot Q_{vAN} \cdot c \cdot (1 - Es) \cdot (\theta_I - \theta_E)$ [W].



o Déperditions par transmission surfacique à travers les parois opaques et vitrées ϕ_P

$\phi_P = \sum_{i=1}^6 (U_i \cdot S_i) \cdot (\theta_I - \theta_E)$ [W] car les 6 types parois i (mur, plancher, plafond, fenêtre p, fenêtre v, porte) séparent l'intérieur de l'extérieur.

o Déperditions du bungalow de chantier $\phi_{\text{déperditions}}$

$$\phi_{\text{déperditions}} = \phi_{AN} + \phi_P = \left[\rho \cdot Q_{vAN} \cdot c \cdot (1 - Es) + \sum_{i=1}^6 (U_i \cdot S_i) \right] \times (\theta_I - \theta_E) = C \times (\theta_I - \theta_E)$$

Avec

$$C = \rho \cdot Q_{vAN} \cdot c \cdot (1 - Es) + \sum_{i=1}^6 (U_i \cdot S_i) = \rho \cdot Q_{vAN} \cdot c \cdot (1 - Es) + \left(\begin{aligned} &U_{\text{mur}} \cdot S_{\text{mur}} + U_{\text{plancher}} \cdot S_{\text{plancher}} \\ &+ U_{\text{plafond}} \cdot S_{\text{plafond}} + U_{\text{fenêtrp}} \cdot S_{\text{fenêtrp}} \\ &+ U_{\text{fenêtrv}} \cdot S_{\text{fenêtrv}} + U_{\text{porte}} \cdot S_{\text{porte}} \end{aligned} \right)$$

$$C = \left(1,2 \times \frac{315}{3600} \times 1000 \times (1 - 0,7) \right) + (0,63 \times 87,19 + 0,61 \times 84 + 0,57 \times 84 + 3 \times 9,6 + 3,5 \times 0,12 + 3,5 \times 1,89)$$

$$C = 31,5 + 189,89 = 231,39 \text{ W / K}$$

$$\phi_{\text{deperditions}} = 231,39 \times (20 - (-10)) = 6642 \text{ W}$$

Question 7 : déterminer alors la puissance électrique P_{elec} [W] du système de chauffage avec les 2 options proposées.

La puissance de chauffage permet de compenser les déperditions précédemment calculées

$$\phi_{\text{deperditions}} = P_{\text{Chauffage}} = 6642 \text{ W}$$

Pour les convecteurs électriques : $P_{elec} = P_{\text{Chauffage}} / \eta_{\text{convecteur}} = 6642 / 1 = 6642 \text{ W}$

Pour les pompes à chaleur : $P_{elec} = P_{\text{Chauffage}} / COP_{PAC} = 6642 / 3 = 2214 \text{ W}$

Partie 2 – Etude de la ventilation du tunnel en cours de creusement (4 points)

Question 8 : à l'aide du théorème de Bernoulli sur la ligne de courant passant par les points 1 puis 2 puis 3, et du principe fondamental de la statique entre les points 1 et 3, démontrer que la charge du Ventilateur ΔP_V permet de combattre les pertes de charges du réseau aéraulique composé du Conduit d'air neuf C et du Tunnel T ΔP_{C+T} , soit $\Delta P_V = \Delta P_{C+T}$ [Pa].

- o Dynamique des fluides sur l'air de la ligne de courant passant par les points 1, 2, 3 :

Théorème de Bernoulli $P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 + \Delta P_V = P_3 + \rho \cdot g \cdot z_3 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_3^2 + \Delta P_{C+T}$

soit la charge du ventilateur $\Delta P_V = [P_3 + \rho \cdot g \cdot z_3 - (P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1)] + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot [V_3^2 - V_1^2] + \Delta P_{C+T}$

- o Statique des fluides sur l'air entre les points 1 et 3 : $P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_3 + \rho \cdot g \cdot z_3$ et $V_1 = V_3 = 0 \text{ m/s}$
 o En combinant les 2 équations de la statique dans celle de la dynamique des fluides, on obtient

$$\Delta P_V = \Delta P_{C+T}$$

Question 9 : à partir des données précédentes, déterminer l'expression littérale du profil de vitesse $V_z = f(G, \mu, r, R)$ [m/s], puis celle de la vitesse moyenne $V = f(G, \mu, R)$ [m/s], et enfin celle des pertes

de charge linéaires du fluide à mettre sous la forme $\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot V^2$ [Pa] en vérifiant que $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$.

- o Expression littérale du profil de vitesse V_z

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \mu \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) = G$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) = \frac{G \cdot r}{\mu} \Leftrightarrow r \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} = \frac{G \cdot r^2}{2 \cdot \mu} + \text{cte1} \Leftrightarrow \frac{\partial V_z}{\partial r} = \frac{G \cdot r}{2 \cdot \mu} + \frac{\text{cte1}}{r} \Leftrightarrow V_z = \frac{G \cdot r^2}{4 \cdot \mu} + \text{cte1} \cdot \ln r + \text{cte2}$$

Or $V_z)_{r=0} = V_{\max}$ donc $\frac{\partial V_z}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0 = \frac{G \times 0}{2 \cdot \mu} + \frac{\text{cte1}}{0}$ donc $\text{cte1} = 0$

Or $V_z)_{r=R} = 0 \text{ m/s}$ donc $0 = \frac{G \cdot R^2}{4 \cdot \mu} + \text{cte1} \cdot \ln R + \text{cte2} \Leftrightarrow 0 = \frac{G \cdot R^2}{4 \cdot \mu} + \text{cte2}$ donc $\text{cte2} = -\frac{G \cdot R^2}{4 \cdot \mu}$

$$V_z = \frac{G \cdot r^2}{4 \cdot \mu} - \frac{G \cdot R^2}{4 \cdot \mu} \text{ donc } V_z = -\frac{G}{4 \cdot \mu} (R^2 - r^2)$$

- o Expression littérale de la vitesse moyenne V

$$V = \frac{Q_v}{S} = \frac{Q_v}{\pi \cdot R^2} = \frac{1}{\pi \cdot R^2} \cdot \int V_z \cdot dS = \frac{1}{\pi \cdot R^2} \cdot \iint \left(-\frac{G}{4 \cdot \mu} (R^2 - r^2) \right) r \cdot dr \cdot d\theta$$

$$V = -\frac{G}{4 \cdot \mu \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \int_0^R (2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot r \cdot dr) = -\frac{G}{2 \cdot \mu \cdot R^2} \cdot \int_0^R ((R^2 - r^2) \cdot r \cdot dr) = -\frac{G}{2 \cdot \mu \cdot R^2} \cdot \int_0^R (R^2 \cdot r - r^3) \cdot dr$$

$$V = -\frac{G}{2 \cdot \mu \cdot R^2} \cdot \left[\frac{R^2 \cdot r^2}{2} - \frac{r^4}{4} \right]_{r=0}^R = -\frac{G}{2 \cdot \mu \cdot R^2} \cdot \left[\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right] = -\frac{G}{2 \cdot \mu \cdot R^2} \times \frac{R^4}{4} \text{ donc } V = -\frac{G \cdot R^2}{8 \cdot \mu}$$

- o Expression littérale de ΔP

$$V = -\frac{G.R^2}{8.\mu} \Leftrightarrow G = -\frac{8.\mu.V}{R^2} = \frac{\partial P}{\partial z} = -\frac{\Delta P}{L} \Leftrightarrow \Delta P = \frac{8.\mu.V}{R^2} \times L = \frac{8.\mu.V}{(D/2)^2} \times L \times \frac{\text{Re}}{\text{Re}} \quad \boxed{\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda.L}{D} \cdot V^2}$$

$$= \frac{32.\mu.V}{D^2} \times L \times \frac{(\rho.V.D)/\mu}{\text{Re}} = \frac{32.\rho.V^2}{D.\text{Re}} \times L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{64.L}{\text{Re}.D} \cdot V^2$$

avec $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$ en régime laminaire.

Question 10 : déterminer l'expression littérale de l'ensemble des pertes de charge du réseau aéraulique composé du Conduit d'air neuf C et du Tunnel T à mettre sous la forme

$\Delta P_{C+T} = (A_{\text{linéaire}} \times L + B_{\text{sin gulière}}) \times Qv^2$ [Pa] avec Qv [m³/s] le débit volumique d'air, L [m] la longueur

de creusement, et en exprimant les constantes $A_{\text{linéaire}} = f(\rho, \lambda_C, \lambda_T, S_C, S_T, p_C, p_T)$ et

$B_{\text{sin gulière}} = f(\rho, S_C, S_T, \xi_{Ci}, \xi_{Ti})$.

o Conduit C

$$\Delta P_C = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_C.L}{Dh_C} \cdot V_C^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\zeta_{\text{Centrée}} + \zeta_{\text{Ccoude}} + \zeta_{\text{Csortie}}) \cdot V_C^2$$

$$\Delta P_C = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_C.L}{4.S_C / p_C} \cdot \left(\frac{Qv}{S_C} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\zeta_{\text{Centrée}} + \zeta_{\text{Ccoude}} + \zeta_{\text{Csortie}}) \cdot \left(\frac{Qv}{S_C} \right)^2$$

$$\Delta P_C = \left[\frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_C.L}{S_C^3 / p_C} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{(\zeta_{\text{Centrée}} + \zeta_{\text{Ccoude}} + \zeta_{\text{Csortie}})}{S_C^2} \right] \cdot Qv^2 = [A_{\text{Clinéaire}} \times L + B_{\text{Csin gulière}}] Qv^2$$

$$\text{Avec } A_{\text{Clinéaire}} = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_C}{S_C^3 / p_C} \text{ et } B_{\text{Csin gulière}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{(\zeta_{\text{Centrée}} + \zeta_{\text{Ccoude}} + \zeta_{\text{Csortie}})}{S_C^2}$$

o Tunnel T

$$\Delta P_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_T.L}{Dh_T} \cdot V_T^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \zeta_{\text{Tsortie}} \cdot V_T^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_T.L}{4.S_T / p_T} \cdot \left(\frac{Qv}{S_T} \right)^2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \zeta_{\text{Tsortie}} \cdot \left(\frac{Qv}{S_T} \right)^2$$

$$\Delta P_T = \left[\frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_T.L}{S_T^3 / p_T} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\zeta_{\text{Tsortie}}}{S_T^2} \right] \cdot Qv^2 = [A_{\text{Tlinéaire}} \times L + B_{\text{Tsin gulière}}] Qv^2$$

$$\text{Avec } A_{\text{Tlinéaire}} = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \frac{\lambda_T}{S_T^3 / p_T} \text{ et } B_{\text{Tsin gulière}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\zeta_{\text{Tsortie}}}{S_T^2}$$

o Conduit C et Tunnel T

$$\Delta P_{C+T} = \Delta P_C + \Delta P_T = [(A_{\text{Clinéaire}} \times L + B_{\text{Csin gulière}}) + (A_{\text{Tlinéaire}} \times L + B_{\text{Tsin gulière}})] Qv^2$$

$$\Delta P_{C+T} = \Delta P_C + \Delta P_T = [(A_{\text{Clinéaire}} + A_{\text{Tlinéaire}}) \times L + (B_{\text{Csin gulière}} + B_{\text{Tsin gulière}})] Qv^2$$

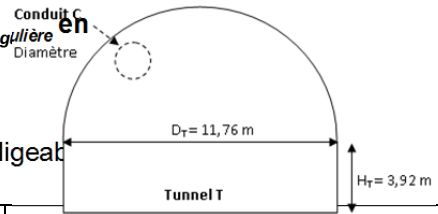
$$\Delta P_{C+T} = (A_{\text{linéaire}} \times L + B_{\text{sin gulière}}) Qv^2$$

$$\text{Avec } A_{\text{linéaire}} = A_{\text{Clinéaire}} + A_{\text{Tlinéaire}} = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\lambda_C}{S_C^3 / p_C} + \frac{\lambda_T}{S_T^3 / p_T} \right)$$

$$B_{\text{sin gulière}} = B_{\text{Csin gulière}} + B_{\text{Tsin gulière}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{(\zeta_{\text{Centrée}} + \zeta_{\text{Ccoude}} + \zeta_{\text{Csortie}})}{S_C^2} + \frac{\zeta_{\text{Tsortie}}}{S_T^2} \right)$$

Question 11 : calculer alors les 2 constantes $A_{linéaire}$ et $B_{sin gulière}$ en supposant que le débit d'air neuf souhaité est $Q_v = 40 m^3 / s$.

* L'enveloppe externe du Conduit d'air neuf C a une influence négligeable sur l'écoulement de l'air dans le Tunnel T.



	Conduit C	Tunnel T*
S	$S_C = \frac{\pi \cdot D_C^2}{4} = \frac{\pi \times 1,7^2}{4}$ $= 2,27 m^2$	$S_T = 0,5 \times \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} + D_T \cdot H_T$ $S_T = 0,5 \times \frac{\pi \times 11,76^2}{4} + 11,76 \times 3,92$ $= 100,41 m^2$
p	$p_C = \pi \cdot D_C = \pi \times 1,7$ $= 5,341 m$	$p_T = \frac{\pi \cdot D_T}{2} + a_T + 2 \cdot b_T$ $p_T = \frac{\pi \times 11,76}{2} + 11,76 + 2 \times 3,92$ $= 38,08 m$
$Dh = \frac{4 \cdot S}{p}$	$Dh_C = \frac{4 \cdot S_C}{p_C} = \frac{4 \cdot \pi \cdot D_C^2 / 4}{\pi \cdot D_C} = D_C$ $= 1,7 m$	$Dh_T = \frac{4 \cdot S_T}{p_T} = \frac{4 \times 100,41}{38,08}$ $= 10,548 m$
$V = \frac{Q_v}{S}$	$V_C = \frac{40}{2,27} = 17,623 m/s$	$V_T = \frac{40}{100,41} = 0,399 m/s$
$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Dh}{\mu}$	$Re_C = \frac{1,2 \times 17,623 \times 1,7}{18,24 \cdot 10^{-6}}$ $= 1970994 > 2300 \text{ turbulent}$	$Re_T = \frac{1,2 \times 0,399 \times 10,548}{18,24 \cdot 10^{-6}}$ $= 276885 > 2300 \text{ turbulent}$
Formule de Haaland $1/\sqrt{\lambda} =$ $-1,8 \cdot \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \times Dh} \right)^{1,11} \right)$	$\lambda_C = 0,01391$ Avec $Re_C = 1970994$ $\varepsilon_C = 0,0003 m \text{ et } Dh_C = 1,7 m$	$\lambda_T = 0,02036$ Avec $Re_T = 276885$ $\varepsilon_T = 0,01 m \text{ et } Dh_T = 10,548 m$
$A_{linéaire} = A_{Clinéaire} + A_{Tlinéaire} =$ $\frac{1}{8} \cdot \rho \cdot \left(\frac{\lambda_C}{S_C^3 / p_C} + \frac{\lambda_T}{S_T^3 / p_T} \right)$	$A_{Clinéaire} = \frac{1}{8} \times 1,2 \times \frac{0,01391}{2,27^3 / 5,341}$ $= 9527,16 \cdot 10^{-7}$	$A_{Tlinéaire} = \frac{1}{8} \times 1,2 \times \frac{0,02036}{100,41^3 / 38,08}$ $= 1,15 \cdot 10^{-7}$
	$A_{linéaire} = A_{Clinéaire} + A_{Tlinéaire} \approx A_{Clinéaire} \approx 0,0009529$	
$B_{sin gulière} = B_{C sin gulière} + B_{T sin gulière} =$ $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{(\zeta_{Centrée} + \zeta_{Ccoude} + \zeta_{Csortie})}{S_C^2} + \frac{\zeta_{Tsortie}}{S_T^2} \right)$	$B_{C sin gulière} = \frac{1}{2} \times 1,2 \times \left(\frac{0,5 + 0,6 + 1}{2,27^2} \right)$ $= 0,24456$	$B_{T sin gulière} = \frac{1}{2} \times 1,2 \times \frac{1}{100,41^2}$ $= 0,00006$
	$B_{sin gulière} = B_{C sin gulière} + B_{T sin gulière} \approx B_{C sin gulière} \approx 0,24462$	

Remarque : la part du Tunnel T dans le calcul des coefficients est clairement négligeable par rapport au Conduit C.

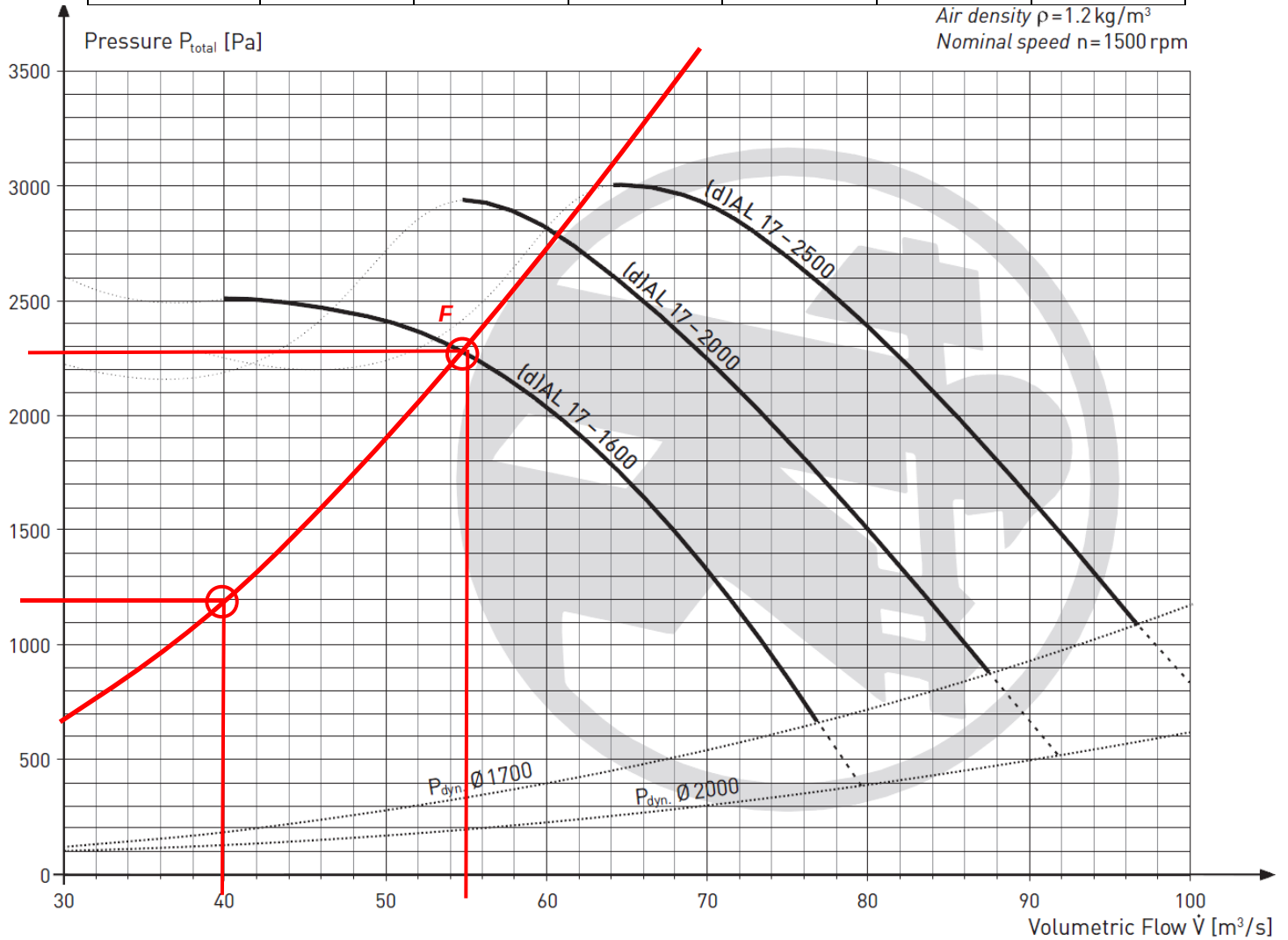
Question 12 : déterminer le débit d'air neuf Q_v [m^3/s] réellement en circulation avec l'utilisation du Ventilateur V fonctionnant à une vitesse de rotation $N = 1500 \text{ tr/min}$. A-t-on le résultat escompté ?

$$\Delta P_v = \Delta P_{C+T} = [(0,001 \times L + 0,26)] \times Q_v^2 = [(0,001 \times 490 + 0,26)] \times Q_v^2 = 0,75 \cdot Q_v^2$$

Q_v [m ³ /s]	0	30	40	50	60	70
$\Delta P_V = \Delta P_{C+T}$	0	675	1200	1875	2700	3675

Air density $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Nominal speed $n = 1500 \text{ rpm}$



Le point de fonctionnement F entre le ventilateur Korfmann (d)AL 17 – 1600 à $N = 1500 \text{ tr/min}$ et la courbe du réseau aéraulique permet de déterminer le débit d'air neuf en circulation $Q_v \approx 55 \text{ m}^3/\text{s}$ qui est trop grand par rapport aux $40 \text{ m}^3/\text{s}$ escomptés ce qui va engendrer une surconsommation électrique du ventilateur.

Question 13 : estimer à l'aide de la loi de Rateau la vitesse de rotation N [tr/min] du Ventilateur V, et calculer le rendement global du groupe moto-ventilateur η_G [%].

$$\text{Loi de Rateau : } N = 1500 \times \frac{40}{55} = 1091 \text{ tr/min}$$

$$P_{\text{utile}} = Q_v \cdot \Delta P_V = 40 \times 1200 = 48000 \text{ W} \text{ donc } \eta_G = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{abs}}} = \frac{48000}{76000} = 0,632 = 63,2\%$$

Partie 3 – Etude des soutènements du tunnel en cours de creusement (6 points)

Question 14 : commenter l'allure des courbes obtenues et expliquer comment calculer les paramètres mécaniques de la matrice rocheuse R_c , E et γ

Après une première phase de serrage où les microfissures internes se referment, on observe une phase quasi-linéaire. On peut alors calculer le module de Young $E = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z}$

La contrainte maximale σ_z permet de déterminer la résistance à la compression simple R_c .

on définit le coefficient de Poisson par $\varepsilon_x = \varepsilon_y = -\gamma \varepsilon_z = -\gamma \frac{\sigma_z}{E}$

$\varepsilon_z + 2\varepsilon_x$ représente les déformations volumiques qui diminuent linéairement jusqu'à la création et à l'ouverture de fissures qui se propagent rapidement.

Question 15 : à partir de la relation de comportement (1), démontrer la formule (2) énoncée ci-dessus. Calculer ensuite les contraintes naturelles $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ à la profondeur du projet. Les ordres de grandeur des contraintes de la simulation ci-dessous sont-ils corrects ?

A partir de la relation de comportement (1)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_z \end{bmatrix} = \frac{1+\gamma}{E} \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{bmatrix} - \frac{\gamma}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

en développant la 1ere ligne on obtient

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \gamma \frac{\sigma_y}{E} - \gamma \frac{\sigma_z}{E}$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0 \text{ et } \sigma_x = \sigma_y$$

$$\Rightarrow \frac{(1-\gamma)}{E} \sigma_x = \gamma \frac{\sigma_z}{E}$$

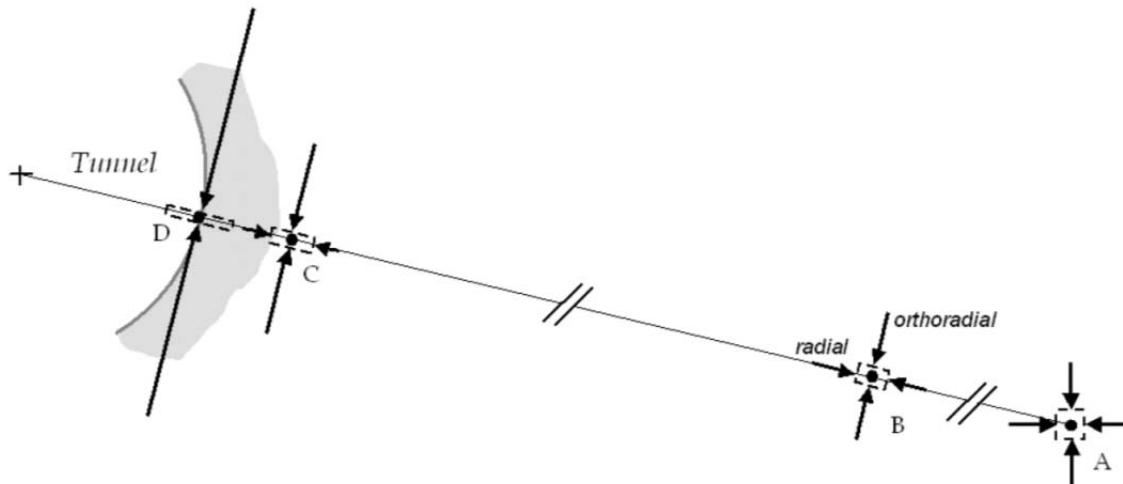
$$\sigma_z = \rho \cdot g \cdot h = 2700 \times 9,81 \times 120 = 3,178 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \sigma_x = \frac{\gamma}{(1-\gamma)} \sigma_z = \frac{0,3}{(1-0,3)} \times 3,178 = 1,362 \text{ MPa}$$

Sur la simulation numérique, on retrouve bien des contraintes de l'ordre de 3 MPa en s'éloignant de l'excavation du tunnel, et une augmentation des contraintes en se rapprochant de l'excavation.

Question 16 : expliquer mécaniquement l'effet de voûte autour de l'excavation du tunnel. Indiquer l'évolution des contraintes et des déformations d'un élément de volume du massif rocheux (éloigné et proche de l'excavation).

Pour bien comprendre l'effet de voûte, il convient d'examiner l'état de contrainte en des points situés à des distances différentes du tunnel.



– Point A : Situé "à l'infini" par rapport au tunnel, l'état de contrainte n'est pas modifié. Les deux axes représentent les contraintes principales verticales et horizontales.

Point B : A environ 4 diamètres de la paroi du tunnel, on considère que les effets de l'excavation se font ressentir de façon notable. Le repère des contraintes principales s'oriente. On a deux contraintes principales : radiale et orthoradiale.

– Point C : Près de la paroi, l'évolution est la suivante : la contrainte radiale de compression diminue, tandis que la composante orthoradiale augmente.

– Point D : A la paroi, la contrainte radiale est nulle (condition aux limites dans le cas où il n'y a pas de soutènement). En contrepartie, la contrainte orthoradiale est maximum. C'est l'effet de voûte. Le terrain se "bloque" naturellement.

On comprend ainsi que pour bénéficier au maximum de ce mécanisme, il faille se rapprocher le plus possible d'une section circulaire — la section "idéale".

Question 17 : calculer la valeur finale du déplacement de la paroi u_e au cas où aucun soutènement n'est mis en place. Tracer la courbe de convergence sur votre copie.

La contrainte initiale vaut : $\sigma_0 = \sigma_z = \rho \cdot g \cdot h = 2700 \times 9,81 \times 120 = 3,178 \text{ MPa}$

Le déplacement final vaut $u_e = \frac{1+\gamma}{E} \cdot R \cdot \sigma_0 = \frac{1+0,3}{7000} \cdot 5,88 \cdot 3,178 = 3,5 \text{ mm}$

Question 18 : calculer la pression fictive P_{id} à la pose du soutènement. Dédurre de la courbe de convergence le déplacement u_d du terrain à la pose du soutènement lorsque que la pression fictive vaut P_{id} .

$P_{id} = (1 - \lambda_p) \cdot \sigma_0 = (1 - 0,39) \cdot 3,178 = 1,92 \text{ MPa}$

On en déduit $u_d = \frac{u_e}{\sigma_0} \cdot (\sigma_0 - P_{id}) = \frac{3,5}{3,178} \cdot (3,178 - 1,92) = 1,4 \text{ mm}$

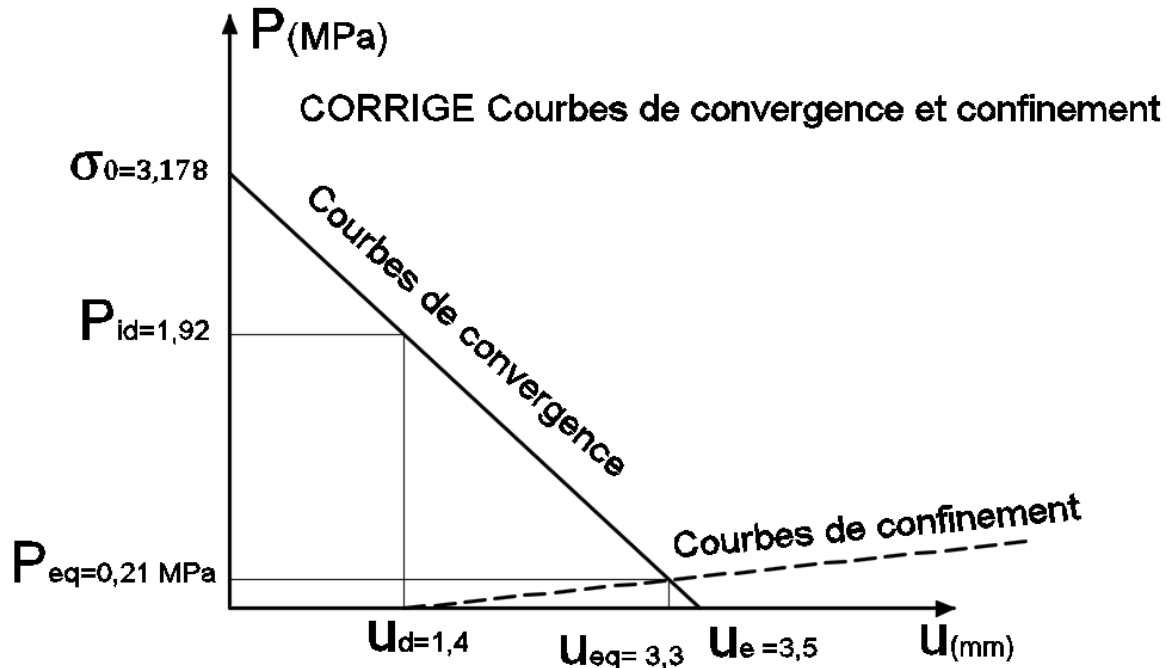
Question 19 : calculer le module K_{SN} du soutènement et tracer la courbe de confinement du soutènement.

Module de rigidité du béton projeté

$$K_{SN} = \frac{E_b}{1 - \gamma_b^2} \cdot \frac{e}{R} = \frac{30000}{1 - 0,2^2} \cdot \frac{0,08}{5,88} = 425,2 \text{ MPa}$$

La courbe de confinement part du point $(u_d, 0)$ avec une pente $\frac{K_{SN}}{R} = \frac{425,2}{5,88} = 72,3 \text{ MPa/m}$ soit 0,0723 MPa/mm.

On peut tracer la courbe de confinement est



Question 20 : déterminer le déplacement u_{eq} et la contrainte P_{eq} au point d'équilibre.

On peut déterminer graphiquement le point d'équilibre

On peut mesurer une contrainte sur le soutènement $P_{eq} = 0,21 \text{ MPa}$

et un déplacement $u_{eq} = 3,3 \text{ mm}$

Question 21 : à partir de la contrainte P_{eq} calculer la contrainte de compression dans le béton projeté. Le soutènement est-il bien dimensionné.

$$\sigma = \frac{P_{eq} \times R}{e} = \frac{0,21 \times 5,88}{0,08} = 15,44 \text{ MPa} \leq 25 \text{ MPa}$$

La contrainte dans le soutènement vaut

Le soutènement est donc bien dimensionné par rapport à la résistance en compression du béton.

Question 22 : présenter la technologie et la mise en œuvre du béton projeté fibré (propriétés, constituants, techniques de mise en œuvre).

Les principales propriétés sont :

- la cohésion améliorée du béton frais,
- la limitation des effets du retrait,

- l'amélioration des caractéristiques mécaniques (résistances accrues au cisaillement et à la flexion)
- le comportement de post-fissuration conférant au matériau une ductilité.

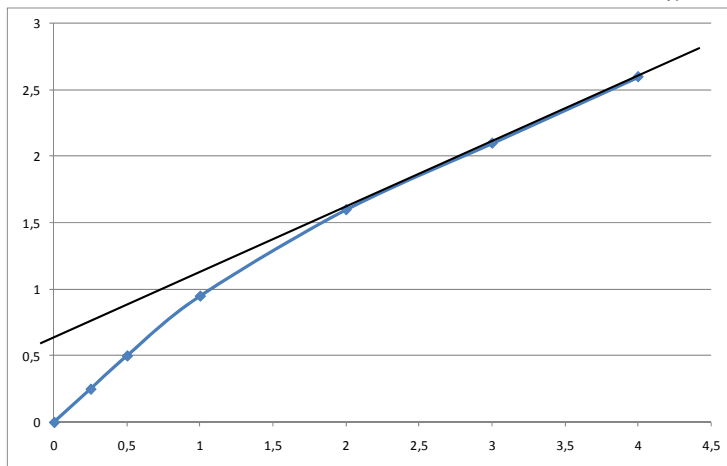
Les constituants sont :

- granulat $D < 10$ mm,
- ciments NF,
- fibres métalliques de 0,25 à 0,5 mm et 12 à 32 mm de long avec éventuellement un traitement anticorrosion.
- adjuvants pour faciliter la mise en œuvre et pour améliorer sa qualité (super-plastifiant, accélérateur, raidisseur)

Les techniques de projection sont :

- par voie sèche avec ou sans pré mouillage, l'eau est introduite à la projection, c'est utilisé pour les chantiers de faible importance.
- par voie mouillée, l'eau est introduite à la fabrication du béton, pour les chantiers nécessitant un rendement important.

Question 23 : à partir de la figure 15, calculer l'angle de frottement φ et la valeur de la cohésion apparente C sous forte contrainte, ainsi que l'angle $(\varphi + i)$ sous faibles contraintes.



L'angle de frottement vaut $\tan(\varphi) = \frac{2,6 - 1,6}{4 - 2} = 0,5 \Rightarrow \varphi = 26,56^\circ$

et la cohésion apparente vaut $c = 0,6$ MPa

sous faibles contraintes $\tan(\varphi + i) = \frac{0,5}{0,5} = 1 \Rightarrow \varphi + i = 45^\circ$

Question 24 : calculer le poids du massif rocheux susceptible de tomber et déterminer le nombre de boulons à mettre en place pour avoir un coefficient de sécurité supérieur à 2.

Poids du massif :
$$V = \left(5,88^2 - \frac{\pi \cdot 5,88^2}{4} \right) = (7,42 \text{ m}^2) \times 4,50 = 33,39 \text{ m}^3$$

$$P = 33,39 \text{ m}^3 \times 2700 \times 9,81 = 884\,401 \text{ N}$$

Effort normal repris par 1 boulon : $B = \pi \cdot 12,5^2 \times 500 = 245\,436 \text{ N arrondi } 245\,000 \text{ N}$

Nombre de boulons $n \geq \frac{2 \times 884\,401}{245\,000} = 7,21 \Rightarrow 8$

Question 25 : présenter la technologie et la mise en œuvre des boulons à ancrage (technologies, perforation, ancrage et scellement, contrôles).

Boulons à ancrage ponctuel. L'ancrage est réalisé au fond du trou avec un ancrage à expansion. Mise en œuvre rapide et action immédiate.

Boulons à ancrage réparti scellés à la résine. Convient dans le rocher sain.

Boulons à ancrage réparti scellés au mortier. Convient pour le rocher fissuré et hétérogène.

Perforation des trous au robotfore à un diamètre de +6 mm pour les ancrages ponctuel et le scellement à la résine et +15 mm le scellement au mortier.

Des essais destructifs peuvent être faits par traction des boulons.

On peut mettre en place des cellules dynamométriques pour mesurer les efforts de la tête des boulons.

Question 26 : calculer la « force motrice » qui engendre le glissement du bloc rocheux le long de la discontinuité.

Poids du bloc rocheux : $P = 13,45 \times 4,5 \times 2700 \times 9,81 = 1\,603\,126\,N$

La force motrice vaut $M = P \cdot \cos(15) = 1\,603\,126 \cdot \cos(15) = 1\,548\,500\,N$

Question 27 : calculer la « force résistante » qui empêche le glissement du bloc rocheux le long de la discontinuité en fonction de la force résultante F dans les boulons à ancrage.

$$R = F \times \sin(45) + F \times \cos(45) \times \tan(\varphi + i) + P \times \cos(75) \times \tan(\varphi + i)$$

La force résistante vaut $R = F \times (\sin(45) + \cos(45) \times \tan(45)) + P \times \cos(75) \times \tan(45)$

$$R = F \times 1,414 + 414919$$

Partie 4 – Etude du revêtement définitif du tunnel (5 points)

Question 28 : présenter les principaux essais de laboratoire à réaliser pour permettre la sélection et la production des granulats pour la confection des bétons hydrauliques pour le revêtement du tunnel.

On pouvait citer :

- l'essai granulométrique pour la granularité des sables et gravillons,
- l'essai d'absorption d'eau pour la porosité des granulats,
- l'essai Los Angeles pour la résistance mécanique,
- la mesure du coefficient d'aplatissement des gravillons,
- la mesure de la teneur en alcalins réactifs vis-à-vis de l'alcali-réaction,
- les teneurs en soufre et sulfates,
- la propreté du sable avec l'équivalent de sable et la valeur au bleu.

Question 29 : à l'aide de l'annexe 1, proposer une composition pour la confection du béton hydraulique pour le revêtement du tunnel en utilisant les granulats issus de l'excavation du tunnel.

Béton C30/37 $f_{ck}=30$ Mpa

Résistance visée du béton (f_{cm})

$$f_{cm} = f_{ck} + 4\text{ Mpa si } f_{ck} > 25\text{ Mpa}$$

$$f_{cm} = 34\text{ MPa}$$

Dosage en eau et en air (E et V):

Consistance S4 et Granulats concassés 0/4 et 4/16

$$E = 210\text{ litres} \times (1,05 + 0,1) = 241,5\text{ litres}$$

$$V = 15\text{ litres} \times (1,05 + 0,1) = 17,25\text{ litres}$$

soit un dosage en (E+V) de **258,75 kg**

Dosage en ciment à partir de la formule de BOLOMEY :

$$f_{cm} = f_{mc} \cdot k_b \cdot \left(k_v \frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$34 = 65 \cdot 0,55 \cdot \left(0,93 \frac{C}{E} - 0,5 \right) \text{ on en déduit un rapport } \frac{C}{E} = 1,56 \text{ soit un dosage en ciment}$$

$$C = 241,5 \times 1,56 = 376,74 \text{ kg} \text{ soit } C = \frac{376,14}{3,15} = 119,6 \text{ litres}$$

Dosage en granulats (Sable et Gravillon concassés issus des déblais du tunnel):

$$1 \text{ m}^3 = V_{\text{granulats}} + V_{\text{Ciment}} + V_{\text{eau+air}}$$

Le volume de granulats est le suivant

$$V_{\text{granulats}} = 1 - 0,120 - 0,258 = 0,622 \text{ m}^3$$

Soit une masse de granulats de $0,622 \times 2700 = 1679,4 \text{ kg}$

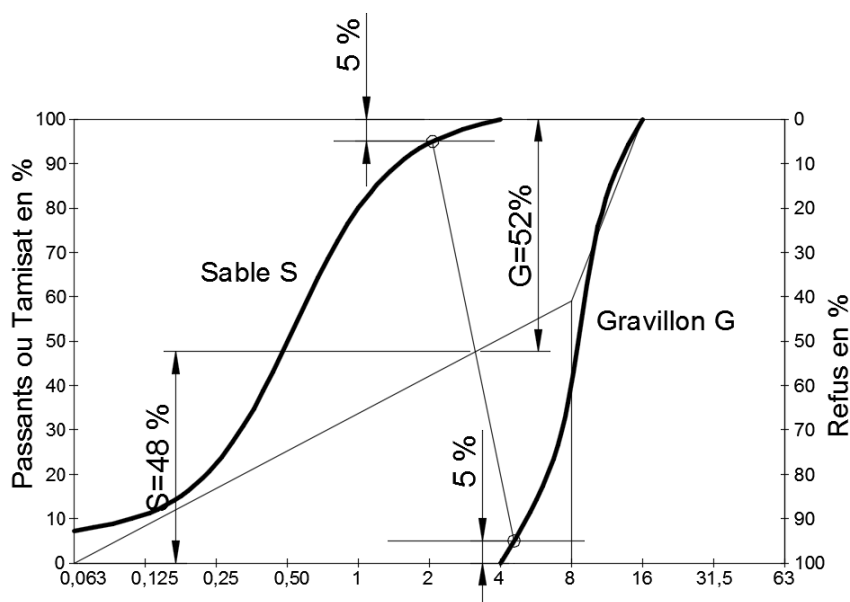
Proportion de sable et gravillon : tracé de la courbe de référence.

$$Y_A = 50 - \sqrt{16} + 3\% + 10\% = 50 - 4 + 3 + 10 = 59\%$$

Soit un dosage de 48% de sable = $0,48 \times 1679,4 = 806 \text{ kg}$

et de 52% de gravier = **873 kg**

Constituants	Masse (kg/m ³)	Volume (m ³)
Ciment 52,5	377	0,120
Eau	241	0,241
Sable 0/4	806	0,622
Gravillon 4/16	873	
Air	0	0.017
Total	2297	1

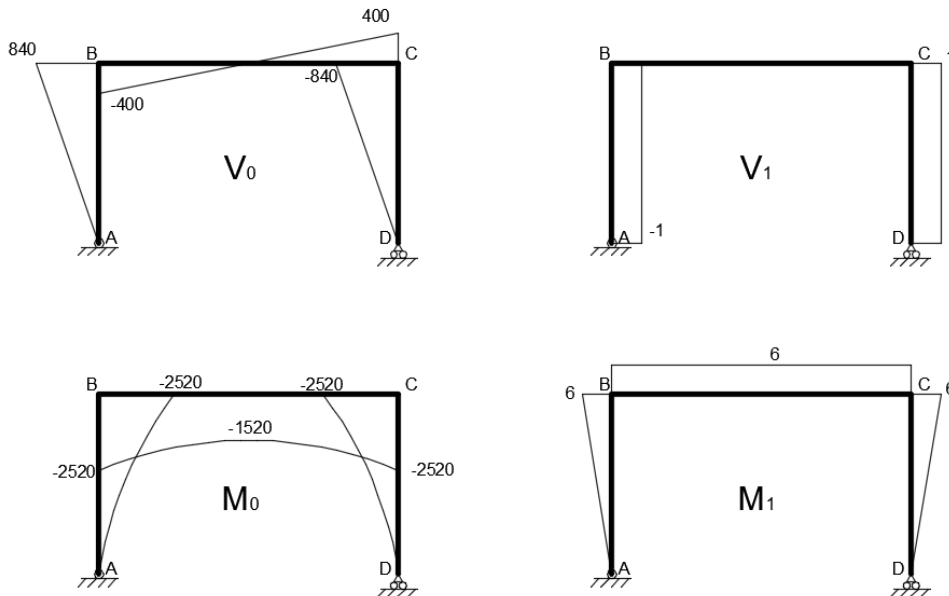


Question 30 : quel est le degré d'hyperstaticité de cette structure. Justifier l'hypothèse consistant à négliger les effets de l'effort normal et de l'effort tranchant devant celui du moment fléchissant.

Structure hyperstatique d'ordre 1.

Lorsque les poutres travaillent en flexion composée, les déformations d'effort normal et d'effort tranchant sont généralement négligeables devant les déformations de flexion.

Question 31 : tracer les diagrammes des moments fléchissants M_0^0 et $\bar{M}_1^0$ dans la structure isostatique associée (S_0).



Equations

Barre DC $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2$ Barre CB $M_0^0(x) = 400 \cdot x - 40 \cdot x^2 - 2520$ Barre BA $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2$	Barre DC $\bar{M}_1^0(x) = x$ Barre CB $\bar{M}_1^0(x) = 6$ Barre BA $\bar{M}_1^0(x) = x$
--	--

Question 32 : démontrer que l'inconnue hyperstatique vaut $X_D = 310,6 \text{ kN}$.

La méthode des forces permet d'écrire :

$$\int_{\text{structure}} \frac{\bar{M}_1^0 \cdot M_0^0}{EI} dx + X_D \times \int_{\text{structure}} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx = 0$$

En utilisant l'annexe 2 des Intégrales de Mohr :

$$\begin{aligned} \int_{\text{structure}} \bar{M}_1^0 \cdot M_0^0 dx &= \left[\frac{1}{4} \times 6 \times -2520 \times 6 \right]_{CD} + \left[10 \times -2520 \times 6 + \frac{2}{3} \times 10 \times 1000 \times 6 \right]_{BC} + \left[\frac{1}{4} \times 6 \times -2520 \times 6 \right]_{AB} \\ \int_{\text{structure}} \bar{M}_1^0 \cdot M_0^0 dx &= [-22680]_{CD} + [-111200]_{BC} + [-22680]_{AB} = -156560 \\ \int_{\text{structure}} (\bar{M}_1^0)^2 \cdot dx &= \left[\frac{1}{3} \times 6 \times 6 \times 6 \right]_{CD} + [10 \times 6 \times 6]_{BC} + \left[\frac{1}{3} \times 6 \times 6 \times 6 \right]_{AB} \\ \int_{\text{structure}} (\bar{M}_1^0)^2 \cdot dx &= 72 + 360 + 72 = 504 \end{aligned}$$

$$X_D = - \frac{\int_{structure} \frac{\bar{M}_1^0 \cdot M_0^0}{EI} dx}{\int_{structure} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx} = - \frac{-156560}{504} = 310,6 \text{ kN}$$

Par les équations :

$$\int_{structure} \frac{\bar{M}_1^0 \cdot M_0^0}{EI} dx + X_D \int_{structure} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx = 0$$

$$\int_{structure} \bar{M}_1^0 \cdot M_0^0 dx = \int_{DC} -x \cdot -70x^2 dx + \int_{CB} -6 \cdot (400x - 40x^2 - 2520) dx + \int_{BA} -x \cdot -70x^2 dx$$

$$\int_{structure} \bar{M}_1^0 \cdot M_0^0 dx = \left[\frac{70x^4}{4} \right]_0^6 + \left[\frac{-2400x^2}{2} + \frac{240x^3}{3} + 15120x \right]_0^{10} + \left[\frac{70x^4}{4} \right]_0^6$$

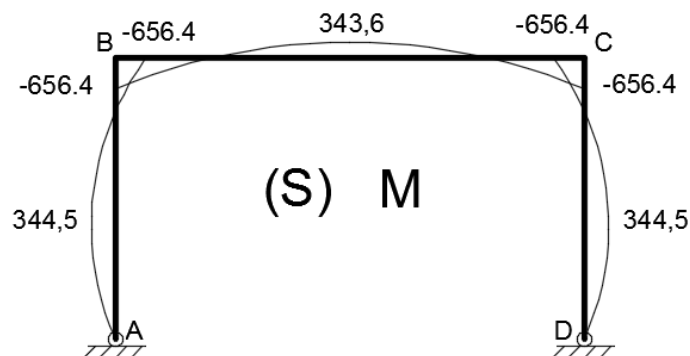
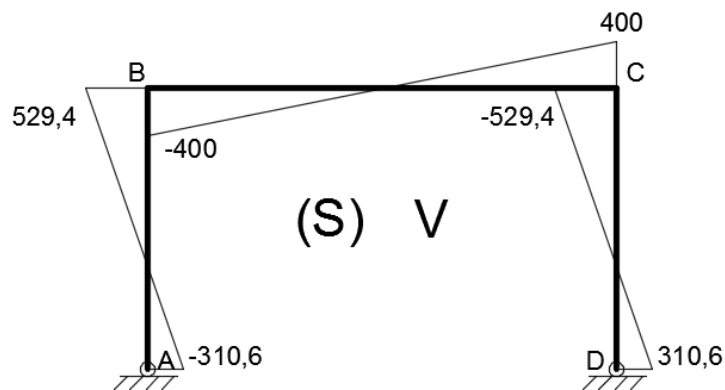
$$\int_{structure} \bar{M}_1^0 \cdot M_0^0 dx = 22680 - 120000 + 80000 + 151200 + 22680 = 156560$$

$$\int_{structure} (\bar{M}_1^0)^2 \cdot dx = \int_{DC} -x \cdot -x dx + \int_{CB} -6 \cdot -6 dx + \int_{BA} -x \cdot -x dx$$

$$\int_{structure} (\bar{M}_1^0)^2 \cdot dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^6 + [36x]_0^{10} + \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^6$$

$$\int_{structure} (\bar{M}_1^0)^2 \cdot dx = 72 + 360 + 72 = 504$$

Question 33 : tracer le diagramme des moments fléchissants dans la structure (S)



Barre DC $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2 + 310,6 \cdot x$ Barre CB $M_0^0(x) = 400 \cdot x - 40 \cdot x^2 - 656,4$ Barre BA $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2 + 310,6 \cdot x$	
---	--

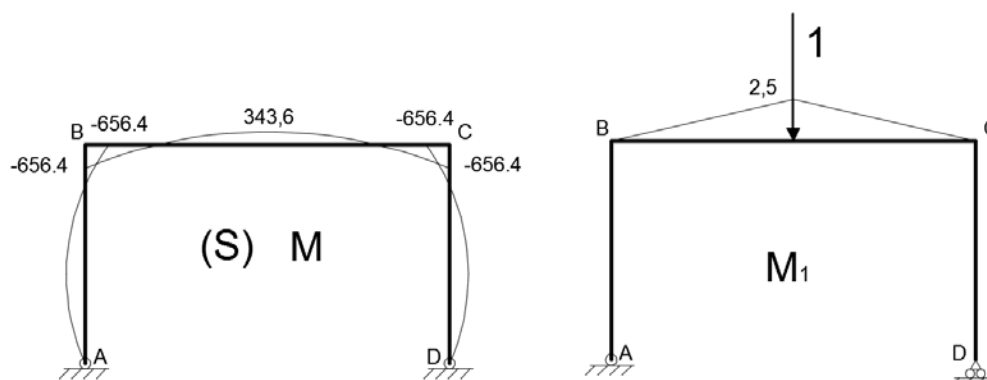
Question 34 : proposer une méthode et calculer le déplacement du portique au milieu de la poutre (BC). Le déplacement est-il acceptable ?

On peut utiliser le théorème de Pasternak :

Pour déterminer le déplacement en un point d'une structure hyperstatique suivant une direction donnée, on applique en ce point dans une de ses structures associées isostatiques (structure virtuelle) suivant la direction souhaitée une charge unité.

$M(x)$ représente le moment fléchissant dans la structure réelle.

$\bar{M}_1^0$ représente le moment fléchissant dans la structure isostatique associée soumise à un facteur sollicitant unité (= 1) appliqué au point J .



Les équations sont :

Barre DC $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2 + 310,6 \cdot x$ Barre CB $M_0^0(x) = 400 \cdot x - 40 \cdot x^2 - 656,4$ Barre BA $M_0^0(x) = -70 \cdot x^2 + 310,6 \cdot x$	Barre DC $\bar{M}_1^0(x) = 0$ Barre CB $\bar{M}_1^0(x) = 0,5 \cdot x$ pour $0 \leq x \leq 5$ $\bar{M}_1^0(x) = 0,5 \cdot (10 - x)$ pour $5 \leq x \leq 10$ Barre BA $\bar{M}_1^0(x) = 0$
---	--

Théorème de Pasternak

Avec les intégrales de Mohr

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M(x) \cdot \bar{M}_j^0(x)}{EI} dx = \frac{1}{EI} \left[\frac{5}{12} \times 10 \times 1000 \times 2,5 + \frac{1}{2} \times 10 \times -656,4 \times 2,5 \right]$$

$$= \frac{10^3}{EI} \times [10416 - 8205]_{BC} = \frac{2211 \times 10^3}{210000 \cdot 10^6 \times 256900 \cdot 10^{-8}} = 4,1 \cdot 10^{-3} m \leq 5 mm$$

ou avec les équations :

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M(x) \cdot \bar{M}_j^0(x)}{EI} dx = 2 \times \int_{0-5} \frac{(400 \cdot x - 40 \cdot x^2 - 656,5) \times (0,5 \cdot x)}{EI} dx$$

$$= 2 \times \frac{1}{EI} \times \left[\frac{200 \cdot x^3}{3} - \frac{20 \cdot x^4}{4} - \frac{328,25 \cdot x^2}{2} \right]_0^5 = \frac{2211 \times 10^3}{210000 \cdot 10^6 \times 256900 \cdot 10^{-8}} = 4,1 \cdot 10^{-3} m \leq 5 mm$$

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 du tunnel de Saint Bât**. L'objectif était de réaliser les études techniques nécessaires à l'avancement du chantier tout en garantissant la sécurité, la santé, le confort et l'hygiène des travailleurs. Il comportait 4 parties indépendantes :

Partie 1 – Etude thermique d'un bungalow de chantier (5 points)

Partie 2 – Etude de la ventilation du tunnel en cours de creusement (4 points)

Partie 3 – Etude des soutènements du tunnel en cours de creusement (6 points)

Partie 4 – Etude du revêtement définitif du tunnel (5 points)

La **partie 1** portait sur l'étude thermique d'un bungalow de chantier, et a été traitée par 92,5% des candidats. Globalement, les résultats obtenus sont tout juste passables.

La modélisation des transferts thermiques à travers la fenêtre a été globalement peu maîtrisée. Trop peu de candidats ont su démontrer les formules littérales de conduction (verre) et de rayonnement (lame d'air). Le calcul du coefficient de transmission surfacique U_g en 1^{ère} itération a été peu réussi alors qu'il s'agissait simplement de l'application numérique des formules fournies par la réglementation thermique ; la seule difficulté était de voir qu'il y avait au moins une itération supplémentaire à effectuer afin de valider les températures internes des vitrages et seulement 4 candidats l'ont vu. Concernant le calcul de U_w , beaucoup de candidat se sont trompés sur le calcul des surfaces et des longueurs de la fenêtre.

La modélisation des déperditions et de la puissance électrique des systèmes de chauffage du bungalow de chantier a été globalement mieux traitée, mais on note quelques erreurs sur l'utilisation de l'efficacité du récupérateur de chaleur de la VMC double flux, et sur le calcul des surfaces des parois.

La **partie 2** portait sur la ventilation du tunnel en cours de creusement, et a été traitée par 65,8% des candidats. Globalement, les résultats obtenus sont médiocres.

On note que la très grande majorité des candidats ne maîtrise pas le domaine de la mécanique des fluides qui est pourtant primordial pour l'étude des équipements techniques du bâtiment. Les connaissances de base comme la statique et la dynamique des fluides, la modélisation des pertes de charge d'un réseau et son association avec un ventilateur, ne sont globalement pas maîtrisées, ce qui est regrettable. De plus, trop peu de candidat ont su démontrer l'expression littérale des pertes de charge linéaires à partir de l'équation de Poiseuille ce qui montre une mauvaise maîtrise de l'outil mathématique.

La **partie 3** portait sur l'étude des soutènements du tunnel en cours de creusement, et a été traitée par 77,5% des candidats. Les questions 14 à 21, qui permettaient de dimensionner le soutènement provisoire en béton projeté par la méthode de convergence-confinement, ont été bien traitées par les candidats car le questionnement était très détaillé. Les questions 22 et 25 de technologie ont été mal traitées par un manque certain de connaissances sur des aspects courants du domaine de la construction (béton projeté, boulons d'ancrage).

L'étude de la stabilité au droit des discontinuités a été également moins bien traitée, par un certain manque de bon sens.

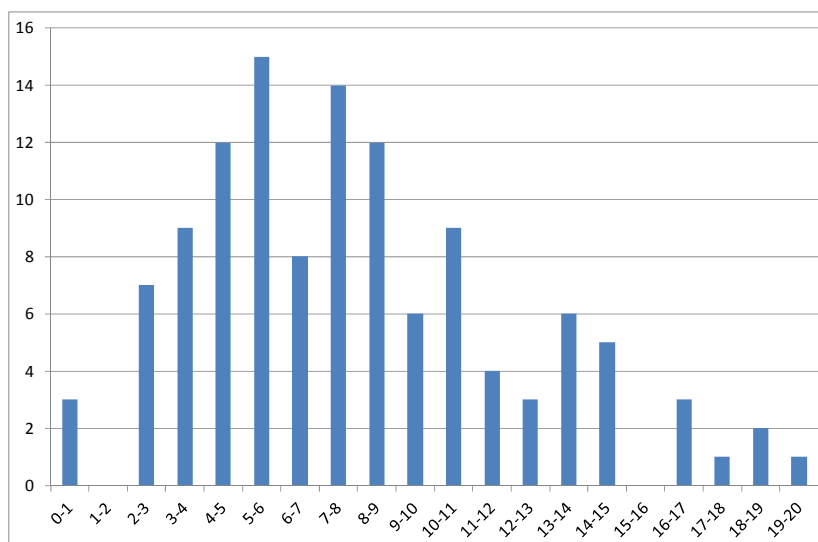
La **partie 4** portait sur l'étude du revêtement définitif du tunnel, et a été traitée par 84,2% des candidats. La question 29 qui portait sur la composition du béton est très mal traitée alors que tous les documents techniques sont donnés.

Les questions 30 à 34 sur l'étude mécanique de la structure du portique ont été bien traitées par un nombre suffisamment important de candidats.

Résultats :

120 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 8/20 et l'écart type est de 4,2 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 0 comme note la plus basse.



Éléments de correction de l'épreuve de conception préliminaire d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Partie I - Dimensionnement des éléments constructifs de structure

Cahier des charges du bureau d'étude structure

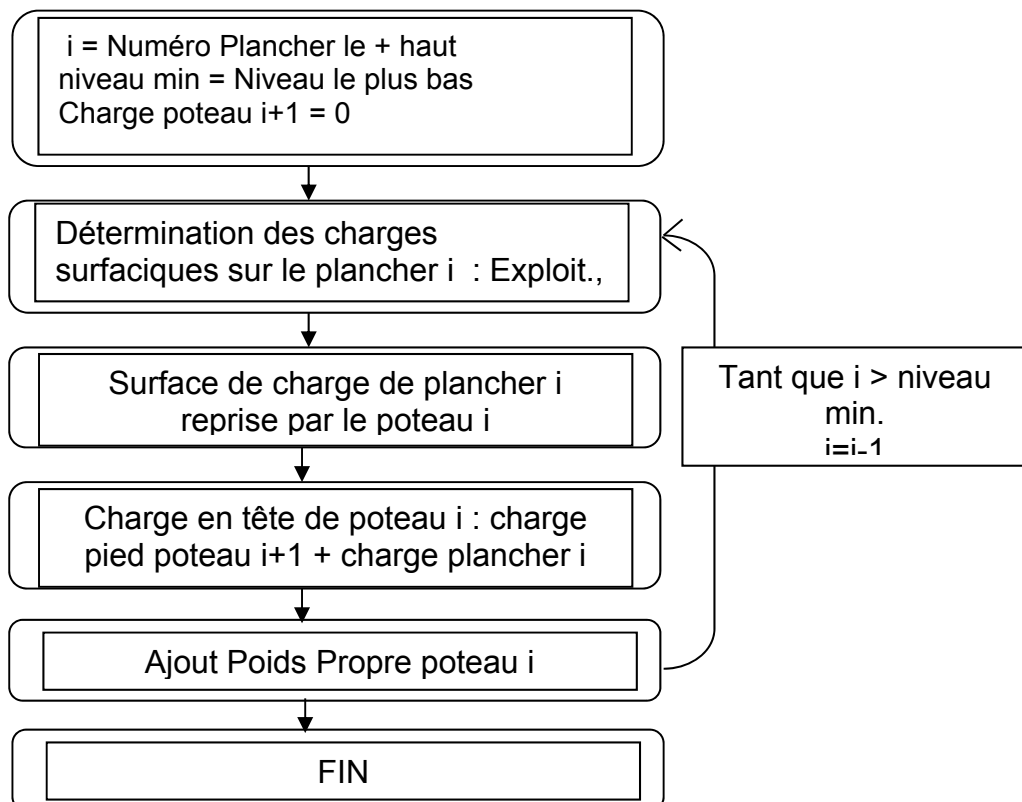
- o Q1) Expliquer pourquoi le maître d'ouvrage impose une démarche BIM. Quels sont les bénéfices attendus ? Quelles contraintes s'imposent aux entreprises ?

La démarche BIM « Building Information Modeling » permet de regrouper dans un document l'ensemble des données de conception d'un bâtiment. Sous forme de maquette numérique associée à une base de données, ce support permet de synthétiser les informations nécessaires à la conception, la réalisation et l'exploitation du bâtiment.

Au-delà des problèmes de compatibilité des logiciels des différents corps de métier qui a été pris en compte dans le développement des logiciels « BIM » cette démarche demande à davantage de communication entre les différents intervenants. Il est d'ailleurs fortement conseillé de créer un poste de BIM Manager qui assurera le lien entre les différents intervenants.

Descente de charge sur les planchers

- o Q2) Proposer sous la forme d'un organigramme, la méthodologie qu'il conviendra d'appliquer pour réaliser la descente de charge sur P1.



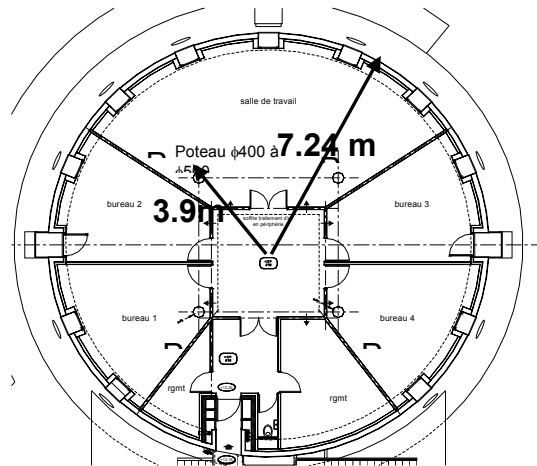
- o Q3) Pour la descente de charge, on considérera que le poteau P1 reprend une surface moyenne de 25 m² de plancher par niveau.
Justifier la validité de cette hypothèse.

<u>Etage</u>	<u>Niveau</u>	<u>Diamètre du plancher</u>
R+1 Salle des com.	+9,40 m	17,55 m
R+2 Logement	+12,20 m	16,70 m
R+3 Logement	+15,00 m	15,95 m
R+4 Logement	+17,80 m	15,22 m
R+5 Logement	+20,60 m	14,44 m
R+6 Logement	+23,40 m	13,68 m
R+7 Logement	+26,20 m	12,90 m
R+8 Réserves	+29,01 m	12,4 m

Le diamètre moyen est de 14.47m
Le rayon moyen est de 7.24m

$$S_{\text{moy}} = \pi \cdot \left(3.9 + \frac{7.24 - 3.9}{2} \right)^2 = 97.48$$

$$S_{\text{moy}} / 4 = 24.37 \text{ m}^2 \approx 25 \text{ m}^2$$



- o Q4) La règle du facteur de dégressions des charges d'exploitation ne sera pas appliquée ici. Expliquer en quoi consiste cette règle.

Pour des bâtiments à grand nombre de niveaux dont les occupations peuvent être considérées comme indépendantes, on appliquera la loi de dégression qui permet de minorer les charges appliquées sur les différents planchers en tenant compte qu'il est statistique peu réaliste qu'elles soient appliquées simultanément.

$$\alpha_n = a + \frac{b}{n},$$

- o Q5) Réaliser la descente de charge sur P1 en fonction des hypothèses précédentes et en respectant les charges définies dans les Eurocodes (Document DT1).

R+8 Réserves	12.14	19.52	625	700	1.00	36960.9	25860
PP Poteau*	0.4					1111	823
R+7 Logement	12.9	21.03	625	200	1.00	24057	17353
PP Poteau*	0.4					1111	823
R+6 Logement	13.68	22.65	625	200	1.00	25904.2	18685
PP Poteau*	0.45					1406	1042
R+5 Logement	14.44	24.28	625	200	1.00	27769.7	20031
PP Poteau*	0.45					1406	1042
R+4 Logement	15.22	26.01	625	200	1.00	29751.7	21460
PP Poteau*	0.45					1406	1042
R+3 Logement	15.95	27.69	625	200	1.00	31668.6	22843
PP Poteau*	0.45					1406	1042
R+2 Logement	16.7	29.46	675	200	1.00	35689.1	25782
PP Poteau*	0.45					1406	1042
		29.46			Charge P1	221055 daN	158868 daN
* H= 2.62m							

Dimensionnement du poteau P1 compris entre les niveaux +12.20m et +9.40m

- Q6) Justifier que le poteau P1 compris entre le niveau +9,40 m et +12,20 m peut être considéré comme bi-articulé (Voir détail DR1). En déduire la hauteur de flambement.

L'inertie des planchers haut et bas sont insuffisantes pour apporter une rigidité suffisante permettant de considérer les appuis comme encastres. Nous prenons donc les conditions d'appuis comme des articulations.

Le poteau sera donc considéré bi-articulé.

La longueur de flambement est donc $l_f = l_0 = 2.62 + 0.18/2 + 0.2/2 = 2.81m$

- Q7) En utilisant la méthode simplifiée, dimensionner la section d'aciers longitudinaux du poteau (Tableaux du DT3 et DT6).

$$\lambda = \frac{4 * l_0}{D} = \frac{4 * 2.81}{0.5} = 22.48 \leq 60$$

$$\alpha = \frac{0.84}{1 + \left(\frac{22.48}{52}\right)^2} = 0.708$$

$$N_{Rd} = k_h * \alpha * \left[\frac{\pi * D^2}{4} * f_{cd} + A_s * f_{yd} \right]$$

$$N_{Rd} = 0.93 * 0.708 * \left[\frac{\pi * 0.5^2}{4} * 20.10^6 + A_s * \frac{500.10^6}{1.15} \right] = 2100.10^3 N = 2100 kN$$

$A_s < 0$ donc % d'acier mini

$$A_{s,min} = \max \left[\frac{0.1 * N_{ed}}{f_{yd}}; \frac{0.2}{100} * A_c \right]$$

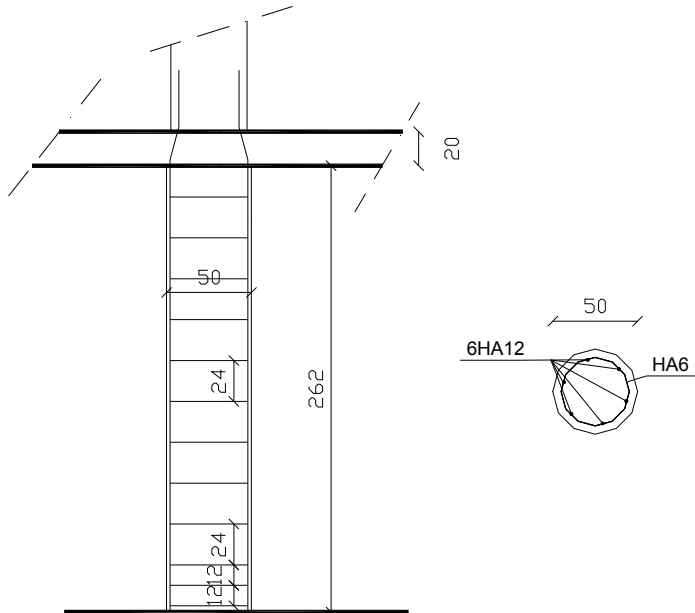
$$A_{s,min} = \max \left[\frac{0.1 * 2100kN}{434.8 Mpa}; \frac{0.2}{100} * \pi * \frac{0.5^2}{4} \right] = 4.83 cm^2$$

Nous prendrons donc 6 HA 12

- Q8) Déterminer les armatures transversales, leur espacement et leur disposition. Synthétiser les résultats sur une coupe transversale et une vue en élévation (sur DR1).

$$\text{Diamètre armatures transversales} : \phi_t \geq \max \left[6mm; \frac{\phi_{l,max}}{4} \right] = 6mm$$

$$\text{Espacement armatures transversales: } S_{cl,max} = \min[400mm; 20. \phi_{l,min}; D] = 240mm$$



Détermination du ferrailage de la dalle du niveau +9.40m

- o Q9) Sachant que ce plancher fait 18 cm d'épaisseur, et que la façade du « phare » fait 40 cm d'épaisseur, justifier les portées à retenir pour le calcul béton armé à l'Eurocode 2.

D'après la clause 5.3.2.2 de l'EC2 nous avons :

- En rive : $a = \min (h/2 ; t/2) = \min (0.18/2 ; 0.4/2) = 9 \text{ cm}$
- Sur appui intermédiaire : $a = \min (0.18/2 ; 0.6/2) = 9 \text{ cm}$.

La répartition des travées est donc : 6.03 m – 5.08 m – 6.03 m

- o Q10) On cherche ici à définir le ferrailage de la travée de rive sachant que :

- M_{ed} maximum en travée de rive à l'ELU = 3800 daN.m
- M_{ed} maximum sur appui intermédiaire (sur le portique) = 4000 daN.m

Pour la travée de rive, déterminer les sections d'armatures longitudinales puis représenter leur position sur une coupe longitudinale et sur des vues de dessus (Plan d'armatures sup. et plan d'armatures inf. Utiliser le DT6.

En travée de rive

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.0724$$

$$\alpha_u = 0.094$$

$$z_u = 155.91 \text{ mm}$$

$$A_{s, travée} = 5.61 \text{ cm}^2$$

Sur appui

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0.0762$$

$$\alpha_u = 0.099$$

$$z_u = 155.57 \text{ mm}$$

$$A_{s, travée} = 5.91 \text{ cm}^2$$

Etude des potelets supports de ferme treillis :

- o Q11) Quel est le risque principal de ruine de ce type d'élément ? Expliciter les critères à vérifier suivant l'EC3 afin de se prémunir de ce risque lors du choix du profilé.

Les potelets peuvent rompre par phénomène de flambement sous l'effet de la charge de compression et d'un élancement trop important.

L'EC3 nous permet de calculer la charge limite en deçà de laquelle le risque n'est à prendre en compte.

L'effort sollicitant $N_{sd} = 25400 \text{ daN}$ et nous devons vérifier :

$$N_{brd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \geq N_{sd}$$

- o Q12) Vérifier que ce potelet (classe 1) respecte les conditions de résistance et de stabilité suivant les EC3 pour ce chargement à l'ELU. (DT4)

$N_{sd} = 25400 \text{ daN}$ et nous devons vérifier :

$$N_{brd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \geq N_{sd}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,3 \cdot \varepsilon} \text{ avec } \varepsilon = 1$$

Or $\lambda = \frac{l}{i} = 50.95$ donc $\bar{\lambda} = 0.543$

Ce profilé est un tube laminé à chaud donc utilisation de la « courbe a » $\rightarrow \chi = 0.907$

$$N_{brd} = 32287 \text{ daN} \geq N_{sd} = 25400 \text{ daN}$$

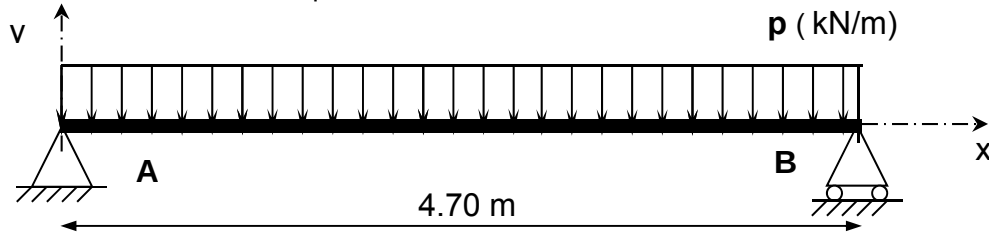
Le potelet n'a donc pas de risque de flamber.

Etude des pannes de couverture du restaurant.

- o Q13) Justifier l'hypothèse que la panne est simplement appuyée sur 2 demi-fermes et dessiner la schématisation du modèle mécanique.

La panne est simplement appuyée sur les demi-fermes car de part le changement de direction à chacune de ces demi-fermes, il sera très difficile d'assurer la continuité de ces pannes.

Aussi le schéma mécanique à retenir est le suivant :



- o Q14) Expliciter à quel type de flexion est soumise cette panne.
La panne est soumise à de la flexion simple déviée.
- o Q15) Déterminer les valeurs des charges linéiques aux ELU et ELS qui s'appliquent sur cette panne.

Charges permanentes G

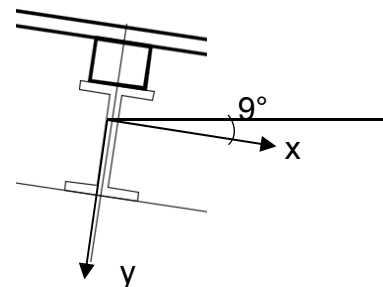
$$\begin{aligned}
 & \text{- Bac étanchéité} = 7 \text{ daN/m}^2 \\
 & \text{- Isolant} = 0.11 \times 140 = 15.4 \text{ daN/m}^2 \\
 & \text{- Etanchéité} = 5 \text{ daN/m}^2 \\
 & \quad \quad \quad 27.4 \text{ daN/m}^2 \times 1.22 \text{ m} = \underline{33.5 \text{ daN/m}} \\
 & P_x = 33.5 \times \sin 9^\circ = 5.24 \text{ daN/m} \\
 & P_y = 33.5 \times \cos 9^\circ = 33.1 \text{ daN/m}
 \end{aligned}$$

Charges climatiques

$$\begin{aligned}
 & \text{- Neige : } S_n = 44 \text{ daN/m}^2 \times \cos 9^\circ = 43.45 \text{ daN/m}^2 \\
 & \quad \quad \quad S_{n_x} = 43.45 \times 1.22 \sin 9^\circ = 2.56 \text{ daN/m} \\
 & \quad \quad \quad S_{n_y} = 43.45 \times 1.22 \cos 9^\circ = 2.56 \text{ daN/m} \\
 & \text{- Vent : } W_n = 60 \text{ daN/m}^2 \\
 & \quad \quad \quad W_{n_x} = 0 \text{ daN/m} \\
 & \quad \quad \quad W_{n_y} = 60 \times 1.22 = 73.2 \text{ daN/m}
 \end{aligned}$$

Charges d'exploitation

$$\begin{aligned}
 Q_x &= 10 \text{ daN/m}^2 \times 1.22 \sin 9^\circ = 1.91 \text{ daN/m} \\
 Q_y &= 10 \text{ daN/m}^2 \times 1.22 \cos 9^\circ = 12.05 \text{ daN/m}
 \end{aligned}$$



ELU

$$\begin{aligned}
 1.35 G + 1.5 Q & \rightarrow /x = 35.72 \text{ daN/m} & /y = 62.74 \text{ daN/m} \\
 1.35 G + 1.5 W_n & \rightarrow /x = 7.08 \text{ daN/m} & /y = -134.69 \text{ daN/m} \\
 1.35 G + 1.5 S_n & \rightarrow /x = 10.9 \text{ daN/m} & /y = 69 \text{ daN/m}
 \end{aligned}$$

ELS

$$\begin{aligned}
 G + Q & \rightarrow /x = 35.72 \text{ daN/m} & /y = 62.74 \text{ daN/m} \\
 G + W_n & \rightarrow /x = 7.08 \text{ daN/m} & /y = -134.69 \text{ daN/m} \\
 G + S_n & \rightarrow /x = 10.9 \text{ daN/m} & /y = 69 \text{ daN/m}
 \end{aligned}$$

- o Q16) Après un pré dimensionnement aux ELS, et en considérant qu'il n'y a pas de risque de déversement, dimensionner une panne de type IPE (classe 1 / DT2 (1/2) et DT 2 (2/2)) à l'Eurocode 3 sous combinaisons ELU.

Remarque : La valeur limite de la flèche verticale sera prise à « L / 200 ».

Prédimensionnement à la flèche

$$\frac{5 \cdot q l^4}{384 \cdot E \cdot I} \leq \frac{l}{200}$$

$I \geq 137 \text{ cm}^4$ donc un IPE 100 convient.

Vérification en flexion déviée

En intégrant le poids de l'IPE et en appliquant la formule pour un profilé classe 1 :

$$\left(\frac{M_{ysd}}{W_{ply.Rd} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 + \left(\frac{M_{zsd}}{W_{plz.Rd} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 = 0.159 \leq 1$$

Le profil IPE 100 est vérifié.

Vérification en flèche globale :

$$f_{/x} = \frac{5 \cdot q_x l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 0.122 \text{ m}$$

$$f_{/y} = \frac{5 \cdot q_y l^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = 0.020 \text{ m}$$

$$f_{globale} = \sqrt{0.122^2 + 0.020^2} = 0.124 \leq \frac{l}{200} = 0.125 \text{ m}$$

Le profil IPE 100 est vérifié.

Partie II Equipements techniques

Système de désenfumage/ventilation

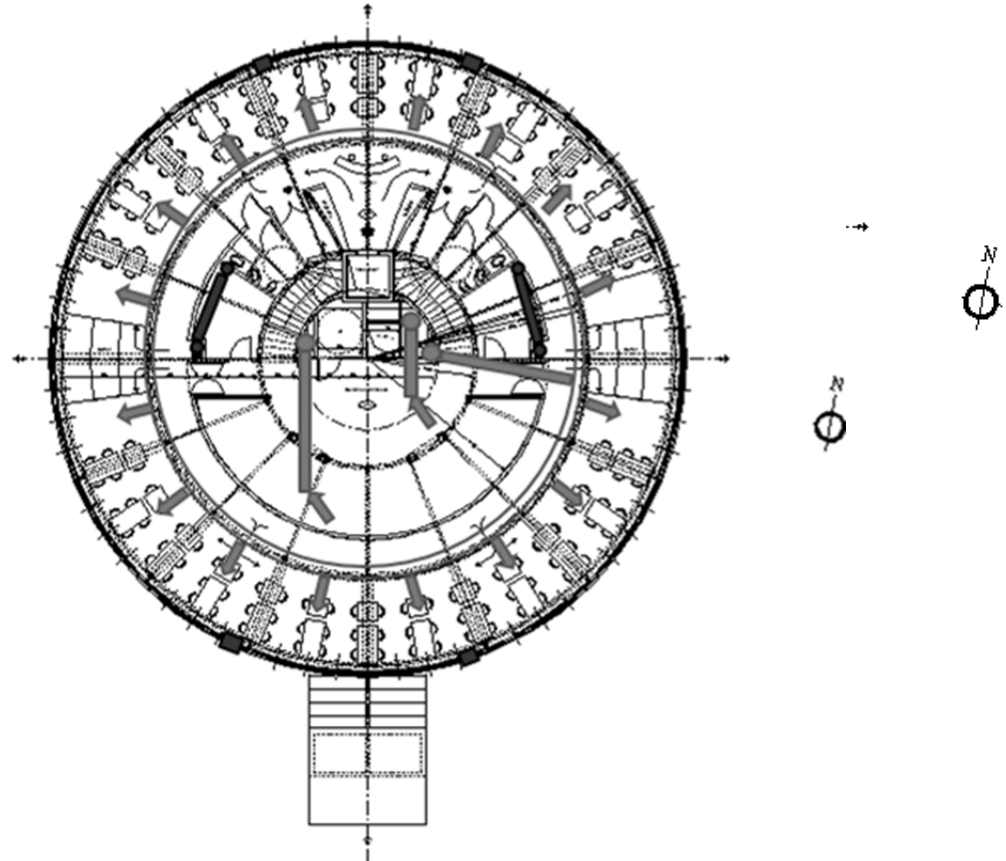
- o Q17) Classer le bâtiment au sens de la réglementation incendie des ERP. Justifier et détailler la réponse.
- Le bâtiment est un Etablissement Recevant du Public et un Immeuble de Grande Hauteur. Il est classé au sens de l'arrêté du 25/06/1980 TYPE L pour le palais des congrès, type N pour le restaurant et le bar pont promenade, type T pour l'office de tourisme. Les effectifs sont de 26x6 plus 4 serveurs pour le restaurant, de 12x4 + 16 plus 2 serveurs soit 226 personnes. (L'effectif est calculé en fonction du nombre de places assises sur les plans d'archi déclaration du maître d'ouvrage) le bâtiment est classé en 4ème catégorie. Le palais de congrès compte 219 sièges 2x6 places pour handicapés en bas de gradins soit 231 spectateurs est quelques conférenciers. Le palais des congrès est également classé en 4ème catégorie. Le bâtiment est également classé IGH car le plancher le plus haut du restaurant est à 38,36m est donc supérieur à 28m.
- Le bâtiment est classé ERP IGH type L, T, N de 4ème catégorie
 - o Q18) Proposer un principe de désenfumage des locaux en implantant les trappes de désenfumages en extraction et insufflation des locaux. Schématiser avec une couleur rouge l'installation sur le document réponse DR3 (DR3.1 et DR3.2).
- Voir document réponse
 - o Q19) Calculer les débits réglementaires et dimensionner les sections des conduits à partir du Document Technique DT 10.
- Au sens de l'IT 246 des DT le débit d'extraction des fumées est de 0,5 m3/s par unité de passage. Le restaurant et le bar pont promenade ont un effectif de 226 personnes déclaré. Le restaurant 160 personnes et le bar 66 personnes.
- Au sens de la réglementation le restaurant doit comporter 2 issues distinctes de 2 Unités de Passage car une unité est faite pour 100 personnes. Le restaurant doit donc justifier de 1,6

UP par dégagement. On voit sur les plans deux issues qui descendent sur le pont promenade par deux escaliers de 140 soit 2UP. Le restaurant compte donc 4UP au total.

- Le pont promenade pour sa part doit évacuer les 160 personnes du restaurant plus les 66 du bar soit les 236 de l'ERP. Cela implique 2,36 unité de passage par sortie au nombre de deux minimum. On voit sur les plans les deux escaliers extérieurs de 2up chacun et deux dégagements intérieurs rejoignant l'escalier métallique extérieur à partir des réserves.
 - Le débit de désenfumage est donc de 4UP par étage à 0,5 m³/s par UP soit de 2m³/s par étage.
 - Compte tenu de la forme du bâtiment circulaire il sera aménagé deux cantons de désenfumage avec deux extractions et deux amenées d'air par étage, chacun couvrant une demi-surface. Voir DR.
 - Deux tourelles d'extraction seront nécessaires chacune assurant l'extraction d'un canton sur deux étages soit 2 m³/s ou 7200 m³/h.
 - Les débits d'amenée d'air neuf seront de 7200 m³/h x 0,6 comme indique dans l'IT 246 soit 4320 m³/h pour un canton. Cette diminution de débit permet la dépression de 80Pa mini dans les locaux à désenfumer
 - Les sections de conduits seront sélectionnées à partir de l'abaque DT.
 - Les sections sont des diamètres hydrauliques les pourront être rectangulaires ou carré et respecteront les diamètres calculés. Les conduits seront en acier MO et CF 1H à 400°C
 - Pour un tronçon de 3600m³/h et une vitesse de 5m/s le diamètre sera de 500mm
 - Pour un tronçon de 7200m³/h et une vitesse de 5m/s le diamètre sera de 700mm
 - Pour un tronçon de 2175m³/h et une vitesse de 5m/s le diamètre sera de 400mm
 - Pour un tronçon de 4350m³/h et une vitesse de 5m/s le diamètre sera de 600mm
 - Les pertes de charges seront respectivement de 0,03 mmCE pour 700mm
 - Les pertes de charges seront respectivement de 0,04 mmCE pour 600mm
 - Les pertes de charges seront respectivement de 0,05 mmCE pour 500mm
 - Les pertes de charges seront respectivement de 0,075 mmCE pour 400mm
- o Q20) Sélectionner la tourelle de désenfumage à partir du document technique *DT 11*. Justifier le choix.
- Les deux tourelles de désenfumage seront :
 - 80 Pa de dépression dans la salle gaine d'amenée d'air neuf par conduit 10m à 0,075mmCE soit 0,75pa/m soit une perte de charge de 7,5 Pa pour conduit amenée d'air plus grille de prise de façade et de diffusion et d'extraction soit 10PA par grille plus le conduit d'extraction jusqu'à la tourelle soit 6m à 0,4Pa/m plus 6m à 0,3Pa/m soit pdc de (10+7,5+10+80+10+2,4+1,8)= 121Pa
 - Tourelle Type SIMOUN 585 6 pôles
- o Q21) Calculer les débits sanitaires à extraire des locaux.
- Débits à extraire en cuisine soit : il est nécessaire de garder la cuisine en dépression et la salle de restauration en surpression pour éviter les émanations des cuisines dans la salle le transfert se faisant par les portes va et vient entre cuisine et salle de restaurant.

- Le restaurant assure deux services sur le temps de midi et du soir, le temps d'un service est de 1h30 temps d'une révolution du plateau restaurant d'un service.
- Le nombre de repas servi est donc 2×160 repas soit 320 repas servis
- Débit d'extraction $320 \times 20 = 6400 \text{ m}^3/\text{h}$ en cuisine
- Débit d'insufflation dans la salle de restaurant 160 personnes $\times 22$ soit $3520 \text{ m}^3/\text{h}$
- Il est nécessaire d'insuffler de l'air également en cuisine au-dessus du piano de cuisson. Pour garder la cuisine en dépression nous n'insufflerons que 30% du débit extrait soit $1920 \text{ m}^3/\text{h}$
- Débit insufflé total $3520 + 1920 = 5440 \text{ m}^3/\text{h}$
- Pour le bar débit insufflé 66 personnes $\times 30 \text{ m}^3/\text{h} = 1980 \text{ m}^3/\text{h}$
- Débit Extrait 2 services $2 \times 66 \times 15 \text{ m}^3/\text{h} = 1980 \text{ m}^3/\text{h}$
 - o Q22) Proposer un schéma de principe de circulation de l'air sur le document réponse DR 3 (Couleur bleue) DR3.1 ET DR3.2
- Voir document réponse
 - o Q23) Proposer une solution permettant de réduire les consommations énergétiques dues aux renouvellements d'air neuf (voir note de calcul du bilan énergétique DT 13). Faire un schéma de principe.
- Possibilité de mettre un récupérateur de chaleur sur l'extraction d'air avec une efficacité moyenne de 70% sur le circuit d'insufflation en cuisine et l'extraction
- Soit $6400 \text{ m}^3/\text{h}$ extrait et $1920 \text{ m}^3/\text{h}$ insufflé.
- Le débit moyen d'extraction a la journée est de $1822 \text{ m}^3/\text{h}$
- Le débit maximum est de $6400 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 6 heures de restauration
- Le reste du temps le débit est de $295 \text{ m}^3/\text{h}$ pour la ventilation des pièces de service $18/24 \times 295 + 6/24 \times 6400 = 1822 \text{ m}^3/\text{h}$
 - o Q24) Evaluer les économies ainsi réalisées, recalculer le nouveau CEP chauffage.
- L'échangeur n'est que sur la cuisine, soit une récupération de $\frac{1}{4}$ des déperditions moyennes de la note de calcul. $6/24$ ème du temps et l'efficacité est de 70% soit une économie en hiver de $23105 \text{ kWh}/\text{an} \times \frac{1}{4} \times 0,7 = 4043,4 \text{ kWh}/\text{an}$
- Soit $4043/23105 \times 100 = 17,5\%$ d'économie économie sur le cep ventilation soit un nouveau CEP ventilation $46 \times 82,5/100 = 37,125 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2$ ou 17,5% d'économie de 37% soit 6,5% d'économie sur le CEP total
- Nouveau CEP $123 \times 0,935 = 115 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2$
- Sur le pont promenade l'économie de 70% existera toute l'année soit une économie sur CEP ventilation $0,7 \times 22691 = 15883,7 \text{ kWh}/\text{an}$ soit 28% d'économie sur CEP total $15883,7/56401 \times 100$
- Nouveau CEP $163 \times 0,62 = 101 \text{ kWh}/\text{an}/\text{m}^2$

 Soufflage extraction
 1.4.2. Vue en plan de la coursive



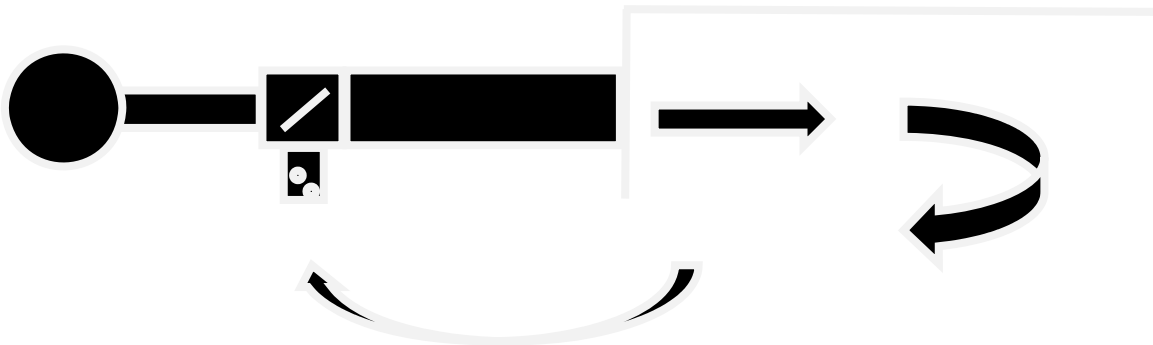
Système de climatisation de la salle de restauration

- o Q25) Que peut-on dire de la répartition des puissances en été comme en hiver dans la zone restaurant et pont promenade ? Expliquer et justifier (10 lignes maximum)
- La puissance installée est majoritairement due aux vitrages sur 360° 43% et à la ventilation 37% en hiver. Elle se répartie uniformément sur les 360° car lorsqu'il n'y a pas d'ensoleillement les déperditions sont uniformes.
 - On constate qu'en été la puissance installée est également due majoritairement aux vitrages qui reçoivent le rayonnement direct sur les trois orientations est sud et ouest soit environ 40% dont 20% par le ¼ de vitrages ensoleillé et 20% par les ¾ des vitrages à l'ombre.
 - On constate également que l'ensoleillement représente environ une augmentation de la puissance de 20 kW environ et que c'est au sud que la puissance est moindre car le soleil est plus haut en azimut et l'angle incident est plus faible.

- o Q26) Analyser et expliquer la différence entre la puissance totale en apports calorifiques en été et la puissance machine à installer.
- Le coefficient de 20% entre ces deux puissances est dû à l'énergie latente potentielle de l'air ambiant qui condense sur la batterie froide. Le coef de mise en régime est le coefficient qui permet d'augmenter la puissance installer pour compenser les variations de régime entre la nuit et le jour par exemple lorsque la régulation diminue la température ambiante. Il faut une surpuissance pour attendre la température ambiante.
- o Q27) Implanter les équipements en tenant compte des contraintes techniques architecturales et de l'environnement géographique en bord de mer. Justifier les choix. Utiliser le document réponse DR4. (DR4.1 et DR4.2)

Voir document réponse

- o Q28) Proposer une stratégie de régulation de l'ambiance intérieure. Etablir un schéma de principe et expliquer le fonctionnement.



Le restaurant ou la coursive sont exposés sur 360° aux influences extérieures climatiques : variation de température extérieure et ensoleillement, il est donc nécessaire de définir un minimum de quatre zones de régulation différentes et indépendantes. Un système de régulation pilotera deux unités en faux plafond. Une zone qui couvrira du N-O au N-E car pas d'ensoleillement au NORD mais variation de température entre extérieur et intérieur. Une zone N-E au S-E car levé du soleil à l'EST et apport solaire faible le matin. Une zone S-E au S-O car l'apport solaire est maximum sur le temps du repas. Et une zone S-O au N-O pour l'apport du soir et repas du soir. Une sonde de température d'ambiance est installée à la reprise de l'air et agit sur le ventilateur de manière chrono proportionnelle pour maîtriser l'échange de chaleur ou de froid dans la zone. Une sonde d'hygrométrie d'ambiance est installée à la reprise de l'air et agit sur le volet d'air pour moduler le débit d'air neuf à introduire dans la zone concernée.

- o Q29) Sélectionner les équipements. Etablir une notice des spécifications techniques de cette installation à partir des documents techniques DT 16.

Voir document Constructeur technique

- o Q30) Proposer une solution technique pour diminuer la puissance installée des équipements de climatisation. Expliquer et justifier (5lignes maximum). Evaluer l'économie énergétique.

- Il peut être installé des vitrages avec un facteur solaire faible afin de se protéger contre les rayonnements et les apports de chaleur. Cela permet de faire des économies en été et de limiter l'inconfort dû à l'insolation aux intersaisons sur le restaurant et le pont promenade.
- Si l'on installe des vitrages dont le facteur solaire est de 70% cela permet de diminuer de 30 % les apports par les vitrages. Soit une économie de $0,3 \times 23\% = 7\%$ sur la puissance totale installée soit 5kW environ

Traitement acoustique de la salle des congrès

- o Q31) Proposer une méthode de calcul de traitement du temps de réverbération. (Présenter cette méthode sous forme de tableau)

Voir tableau ci-dessous

- o Q32) Calculer le temps de réverbération du palais des congrès et choisir les matériaux de traitement, pour les bandes d'octave 500Hz, 1000Hz, 2000 Hz à l'aide des documents techniques *DT 14* et des ressources ci-dessus.

	Surf/Nomb	500	aire equi.	1000	aire equi.	2000	aire equi.
MUR	330	0,2	66	0,2	66	0,3	99
SOL	346	0,1	34,6	0,1	34,6	0,1	34,6
PLAFOND	346	0,1	34,6	0,2	69,2	0,2	69,2
Personnes	220	0,72	158,4	0,87	191,4	0,97	213,4
Sièges	220	0,74	162,8	0,88	193,6	0,96	211,2
			135,2		169,8		202,8
aire equiva			293,6		361,2		414
tr (s)			0,94		0,77		0,67

Le temps de réverbération est supérieur au temps optimum pour 1000 et 2000 donc le traitement n'est pas nécessaire. Pour 500 htz nous installerons des panneaux baffles en fond de salle pour 10 m2 en fond de salle en mur ou pendu au plafond.

- o Q33) Réaliser un schéma d'implantation des éléments de traitement acoustique de la salle des congrès. Document réponse *DR 5 DR5.1 et DR*

Voir plans doc réponse.

Installation des équipements climatiques du palais des congrès

- o Q34) Tracer l'évolution de l'air humide et déterminer les composants de la centrale de traitement d'air.

Voir document réponse

- o Q35) Réaliser un schéma d'implantation des équipements et indiquer le principe de distribution de l'air (soufflage / reprise) Justifiez les choix. *DR 7 (DR 7.1 et DR 7.2)*

Le soufflage se fera derrière les sièges dans les contres marches du palais des congrès une bouche par siège. La centrale sera installée dans le local technique sous le plancher bas du palais des congrès qui servira de plénum de soufflage.

Il n'y aura pas de conduit pour simplifier la maintenance et chaque bouche de soufflage sera équipée d'un registre pour l'équilibrage. L'aspiration se fera en partie haute entre les portiques béton.

Dimensionnement du puits thermique

- o Q36) Expliquer pour quelles raisons le BE choisi d'implanter le puits thermique sous l'office du tourisme. Justifier.
- Le puit thermique est installé sous le plancher chauffant de l'office du tourisme afin d'être régénéré par l'émission basse de celui-ci.
- o Q37) Dimensionner les caractéristiques quantitatives du puits thermique implanté sous l'office du tourisme. Proposer un schéma d'implantation
- o Q38) Evaluer en % l'économie d'énergie réalisée.

Voir document réponse abaque.

Partie III Organisation

Etude financière

- o Q40) Calculer le prix de vente du poste de la D.P.G.F. « Fourniture et pose d'une unité de climatisation réversible « multi split Inverter » de marque « LG »
- Evaluation du cout de la masse salariale de cette équipe :
- 1 CE 14,50€ de salaire net avec 18% de charge salariale et 65% de charge patronale.
- Salaire brut : $14,50/0,82=17,68€$ Cout pour entreprise $17,68 \times 1,65= 29,17€/h$
- 1 OFQ $11,50/0,82= 14,02€$ $14,02 \times 1,65= 23,13€/h$
- 1 ouvrier $8,20/0,82= 10€$ $10 \times 1,65= 16,50€/h$
- L'année de base compte 365 jours 52 semaines et 5 semaines de congés payés soit 47 semaines travaillées 35h. Nb d'heures annuelles travaillées est de :
- $47 \times 35 \times 4= 6580h/an$
- Calcul de la masse salariale productive :
- $(29,17+23,13+2 \times 16,5)/4 \times 6580 = 140318,50€$ Salaires
- $(25+8,20) \times 47 \times 5= 7802,00€$ Paniers + amplitudes
- $((17,68 \times 1,3 + 14,02 \times 1,25 + 10 \times 2 \times 1,2) \times 5 \times 35) \times 1,65 = 18627,00€$ Congés payés
- Cout moyen horaire : $(140318,50+7802,00+18627,00)/6580= 25,34€/h$
- o Q41) Présenter le détail de calcul sous une forme de tableau explicite faisant apparaitre le raisonnement et les prix intermédiaires :

Déboursés Secs, Prix de revient, Prix de vente global et forfaitaire, Prix T.T.C.

MO	FO	DS	PR	PV HT	TVA	PV TTC
1	2	3	4	5	6	7
		1+2	3X1, 05X1, 25	4X1, 07	5X 0,205	5+6
25542,72	32402,50	57945,22	76053,10	81376,81	16682,24	98059,07

$$DS = FO + MO$$

$$FO = ((28000/0,795) \times 0,8) \times 1,15 = 32402,50\text{€}$$

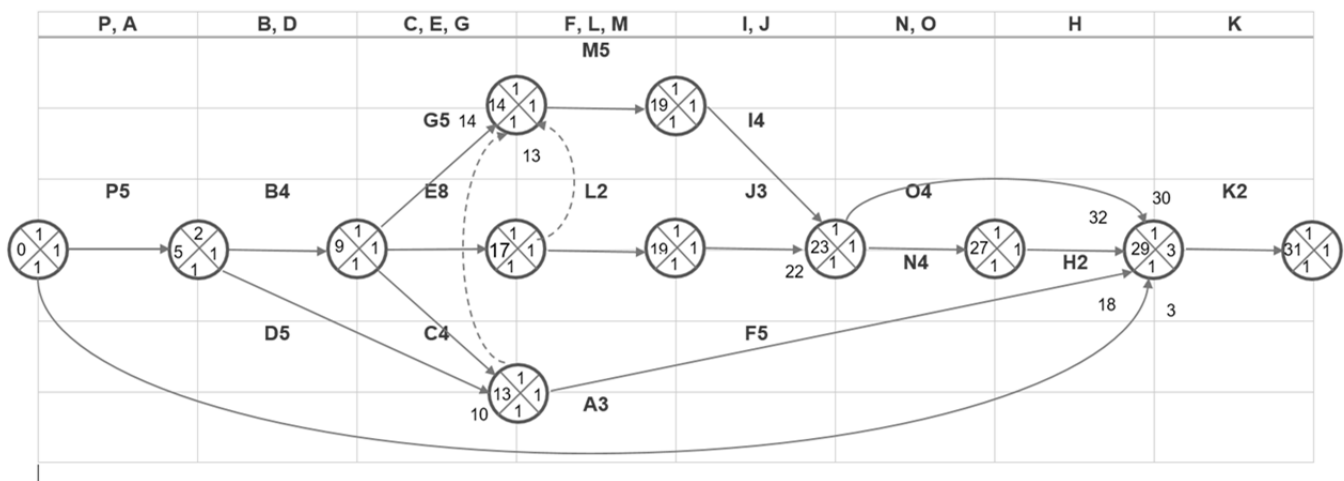
$$MO = 25,34 \times 252 \times 4 = 25542,72\text{€}$$

$$DS = 34402,5 + 25542,72 = 57945,22\text{€}$$

$$PV = DS \times 1,05 \times 1,25 \times 1,07 = 81376,80\text{€ HT soit TTC } 98059,07\text{€}$$

Etude de gestion de chantier

- o Q42) Tracer le réseau PERT.
- o Q43) Calculer les temps au plus tôt et temps au plus tard, calculer les différentes marges et battement d'étapes.
- o Q44) Donner le chemin critique et la durée globale de la pose d'une installation de système de climatisation multi split Inverter du restaurant pont promenade.

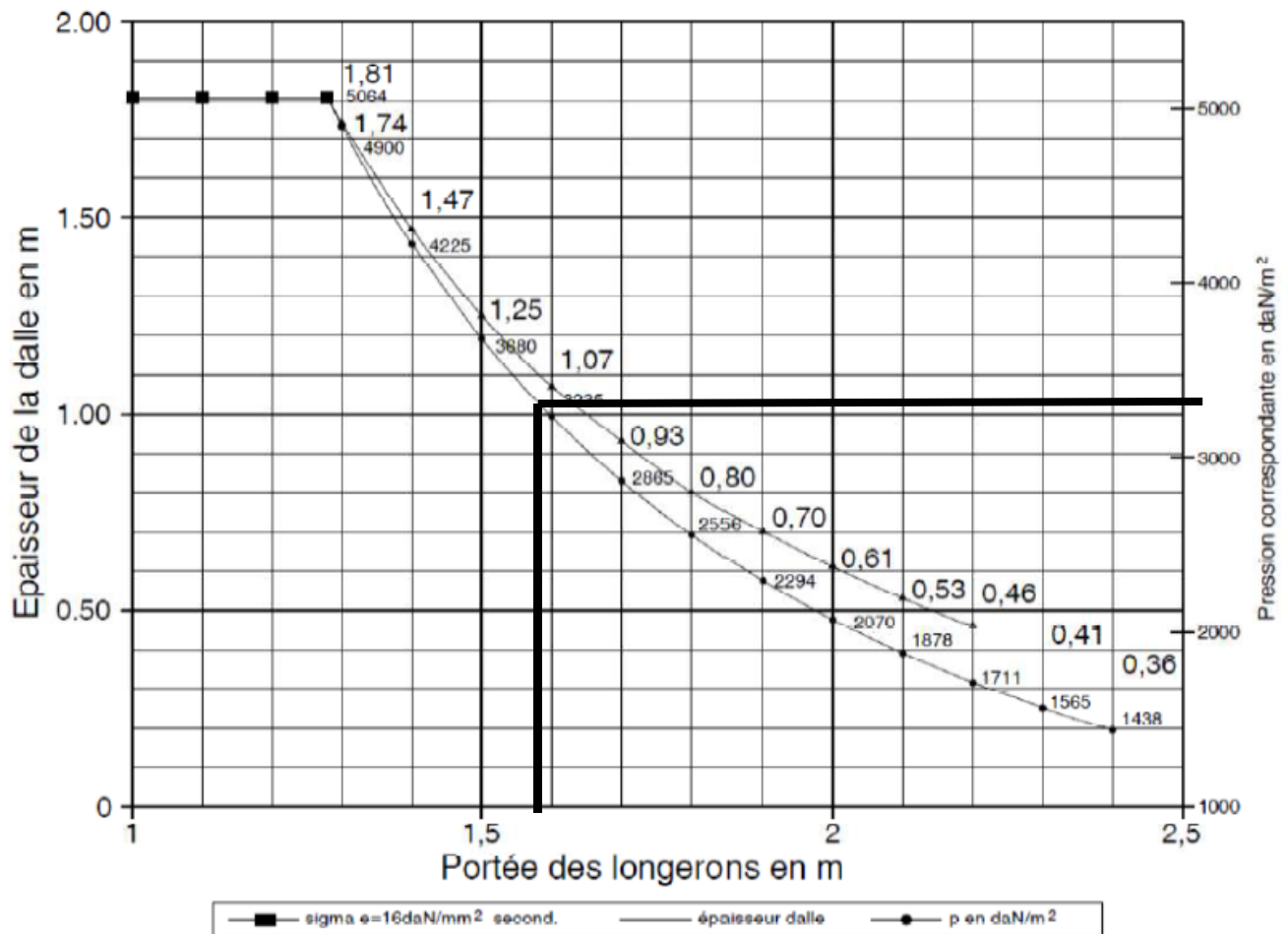


Soit une durée de 31 jours ouvrables de travail.

Etude du coffrage de la salle des congrès

- o Q45) Pour le coffrage des poutres de la « Zone B », justifier :
 - la portée maximale des panneaux coffrant MILLS (DT7) ; le poids des panneaux modulaires sera négligé.
 - l'emplacement des tours d'étalement MILLS (DT8) en vérifiant que leur capacité de chargement n'est pas dépassée.

$$\begin{aligned} \text{Hauteur poutre} &= 1.12\text{m} & \rightarrow & \text{Charge béton} = 2500\text{daN/m}^3 \times 1.12 = 2800\text{ daN/m}^2 \\ \text{Charge chantier} &= 500\text{ daN/m}^2 \\ \text{Total} &= 3300\text{ daN/m}^2 \end{aligned}$$



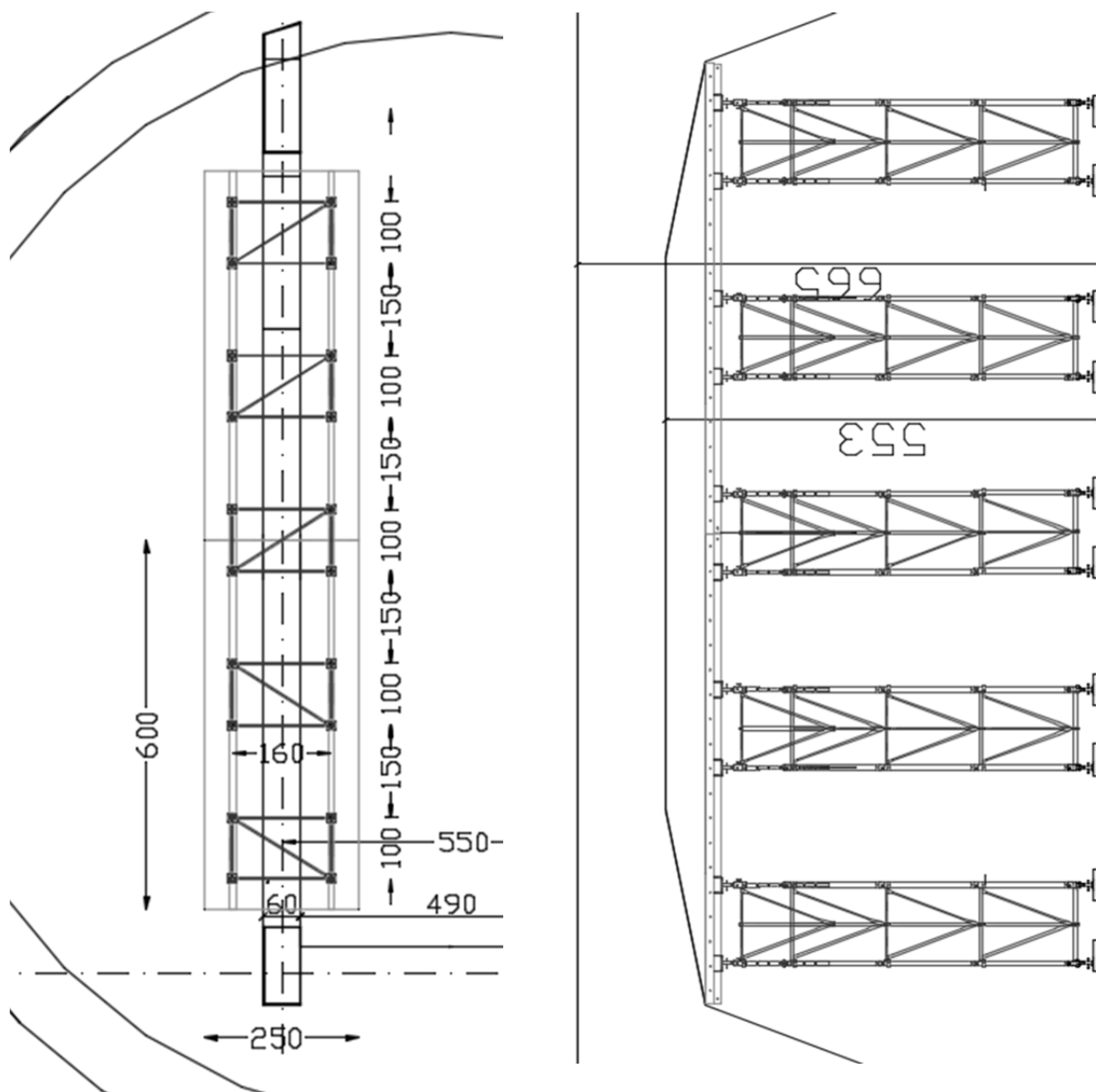
Portée Max longerons = 1.57m = Espacement max entre tours d'étaieiment

Nous allons donc prendre des tours d'étaieiment de 1.60m x 1.00m espacées tous les 1.5m.

Les panneaux utilisés seront 2.5m x 6.0m

4.3.1) Plan d'étaieiment des portiques

- o Q46) Sur le document DR2, dessiner les panneaux coffrant et les tours d'étaieiment correspondant à la note de calcul précédente. Une cotation suffisamment détaillée pour la mise en œuvre est attendue.



4.3.2) Bon de commande du matériel d'étaisement

- o Q47) Lister l'ensemble des éléments de coffrage et étaieement à commander au service matériel dans un tableau conforme au modèle ci-dessous :

Pour une poutre :

Repère	Désignation	Nombre
1	Panneau coffrant PANO MILLS 6 x 2.5m	2
2	Poteaux courants	60
3	Vérins de pied T1	20
4	Vérins de tête T1	20
5	Traverse de base	20
6	Cadre courant	60
7	Diagonale horizontale	5
8	Poteau coulissant + broche	20
9	Cadre coulissant + broche	20

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

L'épreuve de la session 2016 avait comme support la réhabilitation d'un château d'eau désaffecté en bâtiment E.R.P. (établissement recevant du public) de grande hauteur.

Les activités déployées dans cette nouvelle affectation sont :

- Un restaurant panoramique I.G.H. (immeuble de grande hauteur)
- Un palais des congrès, office de tourisme
- Des logements sociaux

L'épreuve comportait trois parties distinctes de questionnement indépendantes et complémentaires pour valider un ensemble de compétences le plus large possible que doit maîtriser un professeur agrégé en ingénierie des constructions.

Une première partie : de la question Q1 à Q16

- Dimensionnement des éléments constructifs de structure
Q2 à Q5 Descente de charges.
Q6 à Q10 Dimensionnement d'éléments de béton armé.
Q11 à Q16 Dimensionnement d'éléments de charpente métallique.

Une deuxième partie : de la question Q17 à Q38

- Equipements techniques
Etude et dimensionnement d'un système aéraulique.
Sélection d'équipements de climatisation.
Etude et correction d'une ambiance acoustique
Etude et dimensionnement de concept constructif d'équipement.

Une troisième partie : de la question Q39 à Q47

- Organisation
Etude financière, détermination prix unitaire et prix global.
Planification, estimation du temps de réalisation.
Plan de coffrage et d'étalement d'éléments constructifs.
Rédaction de bordereaux de commande de matériel.

Commentaires du Jury : Ecart type sur l'ensemble des copies 3,39

	Moyenne	Note minimum	Note maximum
Partie 1 Structure Ouvrage	11,1/20	0/20	20/20
Partie 2 Equipements Techniques	5,3/20	0/20	20/20
Partie 3 Organisation	9,3/20	0/20	20/20
Ensemble de l'épreuve	8,5/20	0,2/20	19,7/20

L'ensemble du questionnaire a été globalement traité par les candidats, mais le jury constate qu'aucun candidat n'a traité l'ensemble des questions. Dans chacune des trois parties plusieurs candidats ont répondu parfaitement au questionnaire.

STRUCTURE Q2 à Q5 : En ce qui concerne la partie structure, les questions générales de descente de charge ont été traitées en partie ou en totalité par 80% des candidats. Les questions de cette partie ont été globalement et correctement traitées, même si la partie règlementaire fait apparaître clairement des insuffisances quant à la préparation de nombreux candidats.

STRUCTURE Q6 à Q10 : Pour les parties conception d'éléments béton armé, malgré la mise à disposition d'organigrammes de calcul et des éléments règlementaires dans le sujet, seuls 65% des candidats ont traités l'ensemble des questions. Le jury conseille donc aux futurs candidats d'approfondir leurs compétences sur l'application de l'EC2 qui représente à ce jour un Eurocode particulièrement important dans les formations BTS et DUT.

STRUCTURE Q10 à Q16 : Pour les deux études orientées structures métalliques, le jury fait à peu près les mêmes remarques que pour la conception en béton armé. En effet 65% des candidats seulement ont abordé le questionnaire, le potelet ayant été correctement traité, mais beaucoup plus d'erreurs sur la panne : Nombreux n'ont pas intégré correctement la notion de flexion déviée.

EQUIPEMENTS TECHNIQUES Q17 à Q38 : Cette partie équipements techniques a été traitée principalement par des candidats qui sont issus de culture génie thermique équipement.

*Etude et dimensionnement d'un système aéraulique.

La lecture des réglementations est satisfaisante.

La lecture, la compréhension et l'analyse des notes de calculs thermiques restent très moyennes.

*Sélection d'équipements de climatisation.

La sélection des équipements a été correctement faite par seulement 30% des candidats qui ont traité ces questions.

*Etude et correction d'une ambiance acoustique

Partie très peu traitée par les candidats

*Etude et dimensionnement de concept constructif d'équipement.

Partie pas ou très peu abordée.

Le jury regrette que cette partie ne soit abordée principalement que par les candidats thermiciens et peu par les candidats de culture génie civil structures ouvrages.

Le questionnaire reposait essentiellement sur de la lecture de documents, note de calculs établies et des abaques ou tableaux de sélection. Le jury conseille aux futurs candidats de développer une culture minimum dans les équipements du bâtiment.

De même il conseille aux candidats de s'intéresser aux nouveaux concepts de constructions et d'équipements des bâtiments avec une approche des nouvelles orientations énergétiques de la réglementation. (Puits thermique, système énergie renouvelable, système de récupération d'énergie.....)

Le jury regrette que le traitement acoustique des ambiances soit si peu maîtrisé par de futurs enseignants agrégés.

EQUIPEMENT ORGANISATION Q39 à Q47 :

Le jury constate sur cette partie que les candidats ont composé sur les questions étude de prix et planification majoritairement, et peu sur les questions liées à l'organisation de chantier.

Pour la partie préparation de chantier (Q45 à Q47), seul 30% des candidats ont abordé cette partie. Ces derniers l'ont dans la majorité correctement traitée. La position de ces questions en fin de sujet explique peut-être le faible nombre de candidats ayant traité la partie car il n'y avait pas de difficultés particulières.

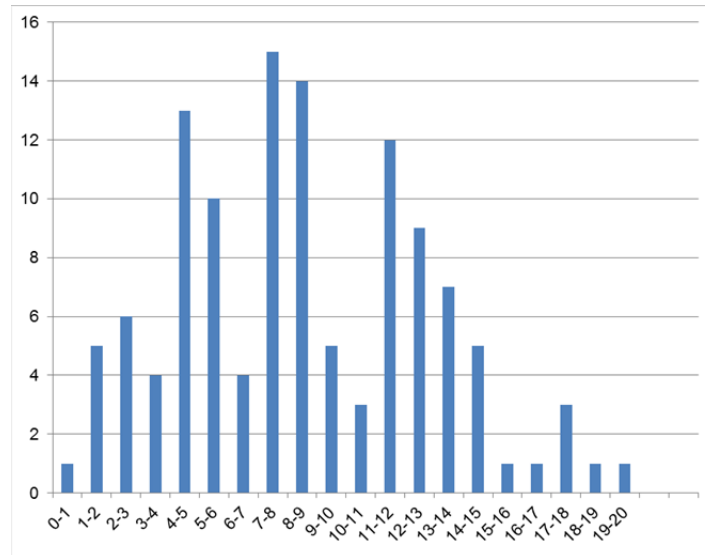
Le jury regrette plus globalement que cette partie n'ait pas été plus abordée par tous les candidats, car le questionnement était classique : étude de prix, planning PERT, et étude et approvisionnement, qui sont des compétences basiques d'organisation en ingénierie construction

Quelques candidats ont traité des questions dans les trois parties sans finaliser les réponses.

Résultats

120 candidats ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 8,5/20 et l'écart type est de 4,2 avec :

- 19,7 comme meilleure note ;
- 0,2 comme note la plus basse.



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

L'objectif de la première épreuve d'admission de l'agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur est d'évaluer chez les candidats leurs compétences à s'inscrire dans la démarche d'enseignant titulaire du grade d'agrégé. Ils doivent être capables de réaliser une exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale d'un système pluritechnique.

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

Pour la session 2016, les compétences attendues par le jury sont scientifiques, comportementales et pédagogiques. Le candidat doit montrer ses aptitudes à :

- s'approprier un système réel ou un équipement et son environnement ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- analyser le comportement d'un système à partir d'un modèle ;
- maîtriser, conduire et exploiter une simulation numérique ;
- formuler des conclusions pour choisir et décider ;
- savoir mener des démarches avec rigueur et évoluer avec autonomie ;
- concevoir, organiser et décrire une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné.

Étude des gains énergétiques d'un chauffe-eau thermodynamique individuel et plus spécifiquement de la pompe à chaleur qui est un des constituants du système.

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

Première phase – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4h00)

Cette première phase d'une durée totale de 4h00 se déroule en trois parties.

Première partie (durée ≈ 0h30)

Pour cette partie, les manipulations et les activités 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 l'activité pratique, dans l'optique de l'épreuve, en vérifiant une ou plusieurs performances du support.

Deuxième partie (durée ≈ 2h00)

Pour cette partie, après la présentation du système à l'examineur, le candidat doit répondre au questionnaire proposé pour atteindre les objectifs de formation qu'il aura à satisfaire dans la

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

Troisième partie (durée $\approx$ 1h30)

Pour cette troisième partie, une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique :

- positionnement de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- objectifs et prérequis de la séquence ;
- modalités pédagogiques (activités pratiques, activités dirigées, cours, projet) ;
- organisation matérielle et pédagogique des activités (nombre d'élèves, systèmes utilisés, travail en îlots) ;
- évaluation et remédiation.

De plus, le candidat devra décrire plus particulièrement une séance en précisant les expérimentations nécessaires. Il devra :

- identifier les compétences et les connaissances associées visées de la séance ;
- mettre en adéquation les objectifs visés de la séance et la séquence ;
- exploiter des informations, des données et des résultats issus des activités ou des investigations conduites au cours des travaux pratiques ;
- faire une synthèse et une structuration des connaissances.

Deuxième phase – Préparation de l'exposé (durée 1h00)

Le candidat prépare son intervention devant le jury permanent. Le candidat n'a plus accès au système et modèles associés, mais conserve à sa disposition l'ensemble des ressources associées au sujet.

Troisième phase – Exposé oral et entretien avec le jury en salle (durée 1h00)

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 40 minutes maximum. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 30 minutes).

Un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes) suit l'exposé oral du candidat.

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

Pour la présentation devant le jury, les candidats auront à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique relié à l'Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils auront stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur.

Étude des gains énergétiques d'un chauffe-eau thermodynamique individuel et plus spécifiquement de la pompe à chaleur qui est un des constituants du système.

Première phase – Manipulation expérimentale au laboratoire

Dans le contexte actuel de la construction neuve et notamment de l'application de la RT 2012 sur les maisons individuelles, les besoins de chauffage vont être réduits de manière importante alors que les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) resteront, eux, quasiment constants.

Des solutions de production d'ECS de plus en plus performantes sont donc appelées à se développer sur le marché, et le chauffe-eau thermodynamique individuel (CETI) en fait partie.

La performance d'un chauffe-eau thermodynamique, c'est-à-dire la quantité d'énergie utile qu'il fournit par rapport à celle qu'il consomme, est caractérisée par un Coefficient de Performance (COP). La partie « pompe à chaleur » est le composant qui consomme l'énergie électrique et la caractérisation de sa consommation permet de déterminer le COP du CETI.

Le but de l'étude est de :

- découvrir, comprendre le fonctionnement de la pompe à chaleur ;
- proposer une analyse externe et interne (partielle) de la pompe à chaleur ;
- déterminer la consommation énergétique de certaines chaînes d'énergie ;
- étudier les éléments influant sur le coefficient de performance et d'efficacité énergétique ;
- valider le ou les modèles au regard de la performance du système simulé et réel de la pompe à chaleur et du bac de stockage de l'eau.

Le candidat dispose, en plus du sujet, des éléments suivants :

- une pompe à chaleur didactisée ;
- une interface de pilotage ;
- un dossier technique ;
- un matériel de mesure (sonde de température) ;
- un logiciel multi physique ;
- le tableur EXCEL offrant une aide au calcul et au tracé de courbes.

Problématique

Valider le gain énergétique de la PAC dans le cadre d'un CETI et identifier l'influence des composants et des paramètres sur la performance de la pompe à chaleur et du CETI.

Partie 1 : comprendre le fonctionnement global (≈ 0h30)

Objectif : découvrir la pompe à chaleur, support de l'épreuve de travaux pratiques. Présenter de manière appropriée une analyse externe et interne (partielle) du système.

En manipulant le système à l'aide du dossier technique et ressource, effectuer les activités ci-dessous :

- prendre possession de l'ensemble en effectuant une mise en fonctionnement par l'intermédiaire du serveur WEB sur une durée de moins de cinq minutes, en notant les valeurs de chaque sonde de température et en lisant le dossier technique de la page 1 à 11.
- présenter brièvement, à l'examineur de salle sous forme de schémas à main levée à votre convenance, une analyse structurelle du système, et une analyse qualitative de la nature et de l'état du fluide dans les différents éléments de la structure ;

- indiquer l'adresse de base du réseau auquel appartient la PAC, ainsi que le nombre de machines connectables sur ce même réseau ;
- préciser les adresses « réservées » sur un tel réseau (le masque de sous réseau est 255.255.255.0) ;
- proposer la fonction des différents capteurs présents sur le système.

Partie 2 : questionnement aidant à répondre aux problèmes techniques proposés (≈2h00)

Objectif : caractériser les chaînes d'énergie du point de vue de leurs consommations. Identifier des paramètres d'état du système. Comparer le ou les modèles, les résultats de simulations à ceux mesurés sur le système réel. Valider le ou les modèles.

2.1. Proposer un protocole permettant de caractériser les coefficients de performance de la pompe à chaleur (PAC).

2.1.1. Procéder, à une série de 6 mesures sur 30 minutes permettant de déterminer le Coefficient de Performance COP expérimental de la pompe à chaleur, et son évolution en fonction du temps. Relever, lors des mesures, la température d'eau du bac.

2.1.2. Comparer sur le diagramme de Mollier (P, h) le cycle Rankine fourni représentant le fonctionnement en régime permanent de la PAC avec vos mesures.

2.1.3. Mettre en évidence et justifier les écarts entre les COP mesurés et ceux déterminés à partir des modèles de comportement thermodynamique choisis : modèle de Rankine.

Conclure quant à la pertinence de ces modèles pour décrire le comportement réel de la PAC.

2.2. Caractériser l'influence des composants et des paramètres sur la performance de la pompe à chaleur.

Les informations nécessaires sont présentes dans les documents « SchémaelecPAC+S7-1200.pdf » et « S71200_easybook.fr.pdf » page 266.

2.2.1. Identifier le type de capteur permettant la mesure de la température en entrée de l'échangeur, le type de montage (2/3 ou 4 fils).

L'équation modélisant le comportement du capteur dans la plage de mesure donnée par le constructeur est $R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$ avec $\alpha = 0,003850$ en $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Tracer la courbe correspondante.

2.2.2. À l'aide des fichiers de simulation MatLab « 2_fils » et « 4_fils », réaliser une simulation permettant de mettre en évidence le(s) avantage(s) du montage 4 fils par rapport au montage 2 fils dans le cas fictif où la sonde de température PT 100 serait implantée à 50 m de l'électronique reliée par un câble AWG24 résistivité linéique de $85 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ pour une mesure de température à 0°C et un courant $I_{\text{mesure}} = 0,01$ A. Justifier vos résultats par la théorie.

Valider le choix technologique fait pour la PAC fournie.

Le modèle « PACsanscuve.slx » nécessaire à cette étude est fourni dans le répertoire « Dossier Matlab ».

2.2.3. Modifier les paramètres externes : température des médias chaud et froid, observer leur influence sur le COP et interpréter les résultats sur le diagramme de Mollier.

Afin de prévoir les performances d'un chauffe-eau thermodynamique, on utilise un modèle global de la pompe à chaleur intégrant notamment le volume d'eau à chauffer. Voir modèle « PACaveccuve.slx » dans le répertoire « Dossier Matlab ». Quelles que soient les valeurs trouvées, utiliser le fichier « exploitation des mesures candidat ».

2.3.1. Identifier les différents blocs du modèle MatLab Simulink du bac à eau permettant de décrire le stockage du chauffe-eau thermodynamique.

Compléter le modèle à l'aide du coefficient de transfert thermique de la cuve (100, 50 et 10) de manière à simuler le fonctionnement de la maquette SPEN.

2.3.2. Effectuer des simulations et comparer les résultats de ces dernières aux valeurs mesurées.

Indiquer la provenance des écarts entre le modèle et la maquette.

2.4. Modélisation d'un chauffe-eau thermodynamique.

Un modèle « Matlab » d'un chauffe-eau thermodynamique « Aéraulix 2 » est fourni : « ChauffeEauThermo.slx ». En exploitant ce modèle et les caractéristiques techniques proposées par le constructeur :

- identifier les écarts entre la maquette et ce produit industriel ;
- justifier de l'intérêt d'utiliser un tel chauffe-eau par rapport à un chauffe-eau électrique traditionnel.

Partie 3 : Problématique pédagogique expérimentale (≈ 1h30)

Objectifs de cette partie

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

Niveau : terminale STI2D en enseignement technologique transversal, premier semestre.

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

Activité : concevoir la trame de la séquence pédagogique, réaliser les manipulations et simulations à destination des élèves.

Le candidat s'appuie sur les points ci-dessous :

- positionnement de la séquence dans la progression pédagogique annuelle ;
- objectifs, compétences ou capacités visées du référentiel, et prérequis de la séquence ;
- modalités et organisation pédagogiques de la séquence (activités pratiques, activités dirigées, cours, projet....) ;
- description détaillée de la séance à caractère expérimental :
 - situer la séance à caractère expérimental dans la séquence pédagogique ;
 - préciser l'organisation matérielle et pédagogique des activités ;
 - décrire la (ou les) démarche(s) pédagogique(s) retenue(s) (démarche d'investigation, de résolution de problème technique, de projet....) ;
 - détailler le scénario des activités que doivent réaliser les élèves, ainsi que les données de départ et le matériel dont ils disposent pour répondre à la problématique choisie.
- évaluation et remédiation.

Objectifs de formation :

- décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système ;
- utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance.

Compétences attendues (programme sous forme numérique) :

- CO4.1. Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties ;
- CO4.4. Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations (acquisition, traitement, transmission) d'un système ;
- CO5.1. Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système ;
- CO5.2. Identifier des variables internes et externes utiles à une modélisation, simuler et valider le comportement du modèle ;
- CO5.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et le comportement du modèle en fonction des paramètres proposés.

Connaissances visées

2.3 Approche comportementale			
2.3.1 Modèles de comportement			
Principes généraux d'utilisation Identification et limites des modèles de comportements, paramétrage associé aux progiciels de simulation		1ère	2
Identification des variables du modèle, simulation et comparaison des résultats obtenus au système réel ou à son cahier des charges	M(2)	1ère/T	2
2.3.2 Comportement des matériaux			
Physique-chimie : matériaux métalliques, matières plastiques, céramiques. Comportement physico-chimiques (électrique, magnétique, oxydation, corrosion)			
Matériaux composites, nano matériaux. Classification et typologie des matériaux		T	2
Comportements caractéristiques des matériaux selon les points de vue			
Mécaniques (efforts, frottements, élasticité, dureté, ductilité)	*	1ère/T	2
Thermiques (échauffement par conduction, convection et rayonnement, fusion, écoulement)	*	T	2
Électrique (résistivité, perméabilité, permittivité)	*	1ère	2

Problématique technique proposée lors de l'activité pratique

« Dans le cadre d'une séance d'activités pratiques de deux heures, préparer une activité dédiée à l'efficacité énergétique des systèmes utilisant, entre autres, la maquette de pompe à chaleur ».

Démarches pédagogiques

Consulter le document ressources pour le cycle terminal, enseignements technologiques transversaux et enseignements spécifiques (série STI2D) pages 112 à 162.

Rappel :

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 40 minutes maximum. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;

- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- la trame détaillée de la séquence pédagogique (durée maximale 30 minutes).

Remarque : les fichiers remis aux candidats pour la phase expérimentale sont en ligne sur le réseau national de ressources à l'adresse suivante :

http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/deux-tp-de-preparation-pour-agregation-s2i-option-im-2016

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 simulation, de représentation ;
- vérifier ou comparer et analyser les performances de tout ou partie de ce système pluritechnique obtenues par la mesure aux performances attendues issues de modèles de comportement ;
- 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.) au regard du cahier des charges ;
- élaborer, justifier, conduire et exploiter un protocole expérimental ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser le plan d'une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques.

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

Déroulement de l'épreuve

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

La phase 1 – Manipulation expérimentale au laboratoire (durée 4 h).

Cette première phase se décompose en trois temps.

Elle se déroule dans un laboratoire où sont mis à disposition du candidat un support d'étude, un environnement numérique de travail relié à l'Internet, des moyens de mesurage ou de simulation et si besoin des logiciels spécifiques d'acquisition.

Premier temps (durée ≈ 0h30)

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

Deuxième temps (durée ≈ 2h00)

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

Troisième temps (durée ≈ 1h30)

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

La phase 2 – préparation de la présentation orale (durée 1 h).

Le candidat prépare, en loge, la présentation qu'il effectuera devant le jury. Durant cette phase de préparation de l'exposé, le candidat n'a plus accès au système pluritechnologique, support de l'activité pratique et aux logiciels de simulation. 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.

La phase 3 – présentation des travaux devant le jury (durée 1 h).

L'exposé du candidat devant le jury a une durée de 40 minutes maximum. Il est suivi d'un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes). Le jury n'intervient pas au cours de l'exposé qui doit comporter :

- la présentation du système (durée maximale 5 minutes) ;
- la synthèse des activités menées dans la deuxième partie de la première phase du TP (durée maximale 5 minutes) ;
- l'exploitation pédagogique (durée maximale 30 minutes).

Un entretien avec le jury (durée maximale 20 minutes) suit l'exposé oral du candidat.

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

Pour la présentation devant le jury, les candidats auront à leur disposition un tableau, un ordinateur et un vidéoprojecteur. Ils disposent d'un poste informatique relié à l'Internet et doté des logiciels courants de bureautique, et des résultats obtenus lors des phases 1 et 2 qu'ils auront stockés dans un espace qui leur est dédié sur un serveur.

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

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

Le candidat doit également s'attacher à :

- définir précisément les compétences abordées lors de la séance détaillée ;

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

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

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

- préciser certains points de sa présentation ;
- expliquer et justifier les choix de nature didactique et/ou pédagogique qu'il a opérés.

Lors de la présentation devant le jury, le candidat dispose d'un tableau, d'un vidéoprojecteur 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 2016 sont :

- banc d'étude sismique ;
- banc de transmission thermique ;
- robot collaboratif ;
- monture de télescope ;
- ventilation mécanique contrôlée double flux ;
- compacteur de déchets ;
- banc de pompe à chaleur ;
- maquette de pont levant.

Ces supports ont permis aux candidats de mettre en œuvre leurs compétences à haut niveau scientifique sur les activités suivantes :

- élaboration 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'énergie ;
- détermination des paramètres significatifs d'une modélisation ;
- recalage d'un modèle ;
- choix des modèles de comportement ou de connaissance ;
- validation de modèles ;
- simulation et prédiction de performance ;
- évaluation des écarts.

2. Analyse des résultats

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

Les candidats pertinents mobilisent à bon escient leurs compétences pour répondre à la problématique demandée en positionnant correctement leur future exploitation pédagogique. Les prérequis, objectifs, démarches pédagogiques et d'évaluation sont bien assimilés et correctement

décrits lors de l'exposé oral. Ces candidats ont généralement produit une présentation orale de qualité.

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

Un nombre très restreint de candidats réalise 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 pluritechnologique 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 pour cette phase de compréhension du système d'un dossier technique, d'un dossier ressource ainsi que diverses ressources numériques. Le système proposé au candidat peut être le système réel ou un système didactisé à partir d'un système réel.

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, souvent omise, permet de correctement appréhender le fil directeur des activités et manipulations proposées ;
- les analyses externes et internes des systèmes gagnent en pertinence lorsqu'elles sont appuyées sur des outils formalisés.

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, modèleur, logiciel de calculs par éléments finis, tableurs, traitements de textes, logiciels de calcul ou de visualisation...).

Une aide à l'utilisation est fournie et le jury assiste le candidat en cas de difficultés matérielles ou de mise en œuvre des différents outils informatiques. La maîtrise de ces logiciels n'est pas exigée.

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

Lors de l'activité pratique, le jury souhaite que les candidats s'attachent à :

- lire et analyser l'ensemble du sujet proposé ;
- maîtriser la durée consacrée à chaque activité ;
- maîtriser les outils d'analyse courants (structurels et fonctionnels) ;

- exploiter l'ensemble des résultats des expérimentations et des mesures et à les interpréter 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 et vérifier la cohérence et la pertinence de ceux-ci ;
- mettre en œuvre une démarche de résolution du problème technique posé ;
- proposer aux examinateurs une présentation et/ou justification des protocoles ;
- présenter les résultats de façon claire et précise.

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

Conception d'une activité pédagogique à caractère expérimental

Une problématique pédagogique expérimentale étant proposée, le candidat doit préparer la trame détaillée de sa séquence pédagogique dans laquelle il devra décrire plus particulièrement une séance pédagogique à caractère expérimental en s'aidant des manipulations nécessaires, et en précisant et validant un ou plusieurs protocoles de mesure permettant de répondre à la problématique.

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 ;
- structurer une démarche cohérente conduisant à la transmission de compétences nouvelles au niveau imposé et identifier les centres d'intérêt associés au système étudié ;
- proposer des protocoles expérimentaux ;
- connaître les différents modes d'évaluation et leurs finalités pédagogiques ;
- respecter la durée de préparation de l'exploitation pédagogique.

Le jury conseille aux futurs candidats d'étudier préalablement et attentivement les programmes et les objectifs de formation des baccalauréats S (option sciences de l'ingénieur), STI2D, et des CPGE, ainsi que les commentaires associés. Cette étude, ainsi que la lecture des documents « ressources pour faire la classe » et des guides d'équipement, leur permettra de proposer une exploitation pédagogique en adéquation avec le niveau imposé. Une réflexion pédagogique sur les objectifs de formation de ces séries et classes post bac est indispensable pour réussir cette partie de l'épreuve.

Présentation orale devant un jury

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

- de décrire le système en présentant sa pertinence par rapport à la séquence pédagogique demandée ;
- de décrire les mesures effectuées en rappelant la problématique donnée et en précisant la démarche mise en œuvre et les conclusions obtenues ;

- de proposer, de justifier et de valider des protocoles expérimentaux en cohérence avec la séquence pédagogique demandée ;
- de situer la séquence dans une progression pédagogique cohérente ;
- de situer l'activité expérimentale dans la séquence pédagogique ;
- d'expliciter les compétences, et les connaissances associées, visées par la séance, les moyens de leur évaluation et de s'assurer du respect des textes officiels en vigueur ;
- de définir l'enchaînement des activités réalisées par les élèves dans la séance ;

Le jury attend également du candidat qu'il mette en œuvre des compétences professionnelles :

- produire un discours clair, précis et rigoureux en sachant attirer l'attention du jury ;
- être pertinent et réactif aux questions posées ;
- être capable de dégager l'essentiel et de donner du sens aux connaissances développées.

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

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

Comportement des candidats

Les candidats doivent être méthodiques et rigoureux pour appréhender un système pluritechnologique dans sa globalité et dans sa complexité. L'exploitation pédagogique d'une activité pratique relative à l'approche globale et transversale d'un système pluritechnologique 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 doivent d'avoir un vocabulaire et un comportement en adéquation avec le métier d'enseignant.

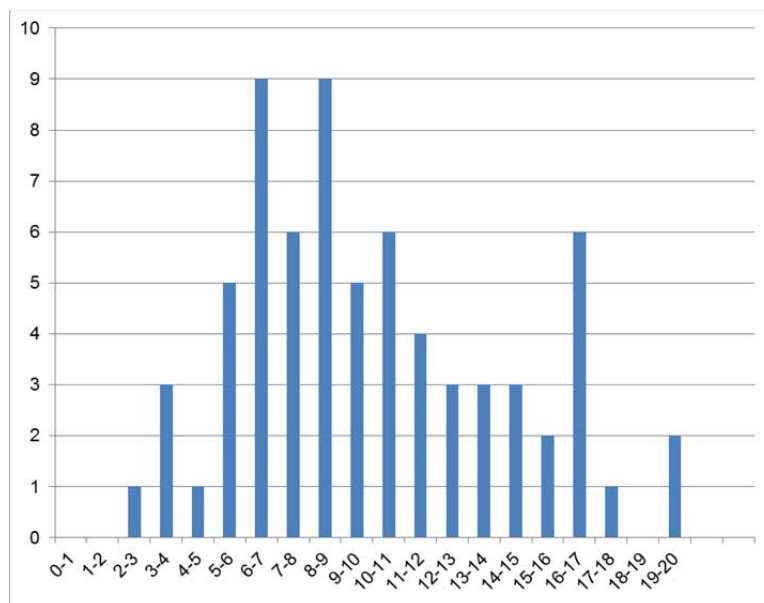
4. Conclusion

Cette session confirme les évolutions engagées lors des années précédentes. Le laboratoire unique composé de systèmes pluritechnologiques communs aux trois 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

69 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 10/20 et l'écart-type est de 4,1 avec :

- 19,3 comme meilleure note ;
- 2,6 comme note la plus basse.



Rapport du jury l'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relatives à l'approche spécialisée d'un système pluritechnique

Préambule

L'objectif du concours de l'agrégation est d'identifier et recruter les **candidats au concours capables d'enseigner** les Sciences Industrielles, principalement pour cette option dans le domaine de l'Ingénierie des Constructions, dans les 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 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 Energie
- BTS :
 - o Travaux Publics,
 - o Bâtiment,
 - o Systèmes Constructifs Bois et Habitat,
 - o Constructions métalliques,
 - o Enveloppe du bâtiment : conception et réalisation
 - o Fluides Energies Domotique
 - o Métiers du Géomètre Topographe et de la Modélisation Numérique
 - o Etude et Réalisation des Agencements
 - o Aménagement et Finitions
 - o Etude et économie de la Construction
- Autres formations de l'ingénierie des constructions:
 - o Licences professionnelles, Masters...

1. Présentation de l'épreuve

L'épreuve d'activité pratique et d'exploitation pédagogique relative à l'approche spécialisée d'un système technique prend appui sur une situation professionnelle d'enseignement proposée au candidat dans le cadre de l'exercice de sa mission future de professeur.

Dans ce cadre, des ressources pédagogiques sont données au candidat afin de préparer une trame de séquence pédagogique dans laquelle une séance expérimentale sera détaillée. Cette séance devra permettre de montrer comment le candidat exploite avec pertinence les potentialités :

- De ressources documentaires
- De ressources expérimentales (échantillons, matériels, bancs d'essais, maquettes, éléments de structures ...)
- De ressources informatiques (logiciels modeleurs, simulateurs ...)

Cette épreuve permet au candidat d'élaborer une stratégie pédagogique, de réaliser des essais et mesures sur tout ou partie d'un système didactique ou professionnel, et d'en produire une analyse critique sur la pertinence et l'efficacité de la séquence envisagée.

Cette épreuve a également pour but d'évaluer l'aptitude du candidat à :

- mettre en œuvre des matériels ou équipements, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation ;
- conduire une expérimentation, une analyse de fonctionnement d'une solution, d'un procédé, d'un processus, dans la spécialité du concours, afin d'analyser et vérifier les performances d'un système technique ;
- exploiter les résultats obtenus et formuler des conclusions ;
- concevoir et organiser une séquence de formation pour un objectif pédagogique imposé à un niveau de classe donné et présenter de manière détaillée un ou plusieurs points-clés des séances de formation constitutives. Elle prend appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours d'activités pratiques relatives à un système technique.

Le support de l'activité pratique proposée permet, à partir d'une analyse systémique globale, l'analyse d'un problème technique particulier relatif à la spécialité du concours dans l'option choisie.

Cette épreuve d'activité pratique demande aux candidats de mobiliser les compétences (nécessitant les savoirs, savoir-faire et savoir-être associés) nécessaire 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 dans la salle de mise en loge (durée 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 ≈ 0h45 ?)

Le candidat doit prendre connaissance (i) du dossier support, (ii) des matériels ou équipements proposés, associés si besoin à des systèmes informatiques de pilotage, de traitement, de simulation, de représentation, et de (iii) l'objectif pédagogique fixé dans le sujet. Il doit également identifier les potentialités pédagogiques des différentes ressources proposées..

Deuxième partie – Construction pédagogique (durée ≈ 1h15)

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 ≈ 2h00)

Le candidat prépare puis mène les expérimentations et essais, 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 analyse enfin les forces et faiblesses des expérimentations menées. ; exploiter les résultats obtenus et formuler 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).

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.

Le candidat prépare dans une salle 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 constitutives. La présentation prend notamment appui sur les investigations et les analyses effectuées au préalable par le candidat au cours des activités pratiques. Les activités des élèves pendant la séance pratique sont développées, ainsi que les modes d'évaluation et de suivi des élèves au cours de la séance et de la séquence. Le candidat veillera à identifier des possibilités de différenciation de l'enseignement visant à s'adapter aux différents niveaux des élèves. Il conclura sur la proposition et sur les améliorations possibles

La phase 3 se déroule dans la salle d'exposé devant le jury.

L'exposé oral était pour la session 2016 d'une durée maximale de 40 minutes. Il comporte :

- la présentation du contexte (objectif pédagogique et ressources disponibles) ;
- Une présentation de la réflexion et de la stratégie pédagogique conduite
- le compte-rendu des manipulations effectuées et l'analyse des résultats obtenus dans la deuxième partie de la première phase des activités pratiques ;
- l'exploitation pédagogique proposée ;
- une conclusion

L'entretien avec le jury était, pour la session 2016, d'une durée maximale de 20 minutes.

A partir de la session 2017, la phase 3 comportera 30 minutes de présentation + 30 minutes d'entretien

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 imposées aux candidats à la session 2016 dans les différentes phases de l'épreuve sont précisés ci-dessous. Les candidats sont évalués au regard de ces attentes (autonomie, efficacité, recul critique, capacité d'adaptation ...).

Phase	Durée	Objet	Attentes et production évaluée par les jurys de l'épreuve
PHASE 1 (4h)	Partie 1	I. CONTEXTE IMPOSE	S'approprier les objectifs pédagogiques et les présenter au jury
			S'approprier les ressources pédagogiques disponibles
	Partie 2	II. POTENTIELS PEDAGOGIQUES	Analyser et présenter les potentiels pédagogiques des ressources disponibles (équipements, logiciels, documentation...)
		III. CONSTRUCTION PEDAGOGIQUE	Préciser les compétences qui seront développées dans la séquence
			Définir et justifier le positionnement temporel de la séquence dans le cycle de formation
			Définir une trame de séquence pédagogique (ébauche)
			Proposer des activités pratiques à réaliser pendant une séance et s'appuyant sur les ressources proposées
			Prendre connaissance des possibilités d'expérimentation complémentaires fournies par le jury. Analyser leur intérêt pédagogique. Valider avec le jury les expérimentations et application numériques à mettre en œuvre ensuite.
	Partie 3	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 ...)
PHASE 2 (1h)		Mise en loge	Valider l'intérêt pédagogique de l'expérimentation conduite. Identifier les forces et faiblesses.
PHASE 3 (1h)	Exposé et entretien		Terminer la construction de la proposition pédagogique (trame de séquence et séance expérimentale détaillée)
			Décrire l'objectif pédagogique, les ressources disponibles
			Présenter la réflexion, la stratégie pédagogique et les choix effectués
			Décrire et analyser les expérimentations effectuées
			Présenter la trame de séquence envisagée
			Présenter la séance, son positionnement dans la formation, les activités des élèves pour un groupe classe
			Présenter les dispositifs numériques complémentaires pour cette séquence, en classe et en dehors de la classe
			Présenter les modalités du suivi et d'évaluation des élèves
			Proposer des possibilités de différenciation des activités permettant de s'adapter aux besoins des élèves
			Conclure sur la proposition pédagogique (améliorations, limites, difficultés, points forts ...)

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

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

4. Supports retenus et activités demandées

Pour la session 2016, les supports proposés pour cette épreuve d'activité pratique pouvaient être issus de la liste suivante :

- 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 ;
- pompe à chaleur ;
- chaudière bois ;
- système de production d'eau chaude sanitaire
- simulation thermique dynamique ;
- matériels de topographie
- logiciels divers de visualisation, d'analyse, modeleurs et simulateurs (mécanique, acoustique, énergétique ...). Certains logiciels permettent un travail sur maquette numérique BIM.

5. Commentaires et conseils aux futurs candidats

A l'issue de la session 2016, le jury attire particulièrement l'attention des futurs candidats sur les points suivants :

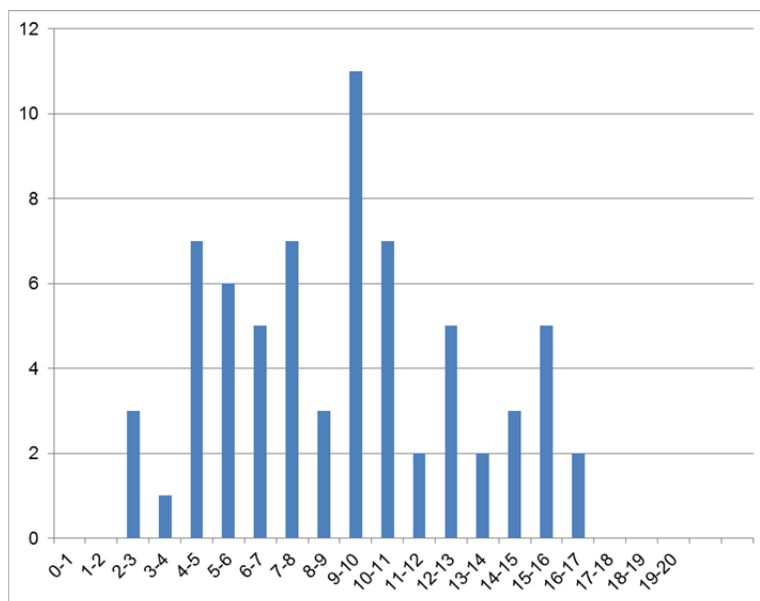
- le jury rappelle que cette épreuve n'est pas un compte-rendu de laboratoire mais la contextualisation pédagogique d'une problématique professionnelle donnée, basée sur une manipulation expérimentale et l'exploitation de ressources didactiques ;
- pour la première phase, les candidats doivent veiller 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 40 minutes maximum (30 minutes pour la session 2017). Le jury regrette une mauvaise gestion du temps. Certains candidats n'utilisent pas pleinement le temps qui leur est accordé. A 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 :
 - o à préciser l'insertion de leur séquence dans le référentiel indiqué (STI2D, STS, IUT) ;
 - o 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 ;
 - o à situer l'intégration de cette séquence pédagogique dans le contexte proposé, à préciser ses objectifs et son intérêt en situation réelle ;
 - o à préciser et à justifier les modalités d'évaluation et/ou de remédiation.

- le jury regrette le fréquent manque de pertinence et de concision dans l'exposé des stratégies pédagogiques et des modes opératoires utilisés ;
- 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 :
 - o trop de candidats déclarent découvrir le domaine proposé lors de cette épreuve (thermique, acoustique, structure, topographie, modélisation et simulation BIM...) ;
 - o trop de candidats ne sont pas capables de proposer une autre organisation pédagogique que le « Cours – TD – TP », ou les « TP tournants » ;
 - o 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 ;
 - o trop de candidats ne peuvent pas élaborer de stratégie de différenciation des apprentissages pour s'adapter aux besoins des élèves ;
 - o trop de candidats ne savent pas élaborer de progressivité dans la construction des compétences

6. Résultats

69 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 9,1/20 et l'écart-type est de 3,8 avec :

- 16,8 comme meilleure note ;
- 2,3 comme note la plus basse.



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

1. Présentation de l'épreuve

Le descriptif de cette épreuve (mise à jour : août 2014) précise :

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

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de rechercher les supports de son enseignement dans le milieu économique et d'en extraire des exploitations pertinentes pour son enseignement en collège ou en lycée.»

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

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

2. Analyse globale des résultats

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

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

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

Le dossier présenté

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

Voici quelques conseils pour la rédaction du dossier écrit :

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

Le candidat n'oubliera pas de préciser les contacts professionnels qu'il a développés grâce à ce travail.

Enfin, l'épreuve sur dossier ne doit pas consister à présenter seulement un système industriel ou constructif. Le jury attend des candidats la présentation d'une démarche de projet consistant à résoudre une problématique technique réelle : construction d'un ouvrage, équipement technique à installer ou installé dans un contexte précis... La présentation de systèmes « clés en main » qui ne seraient pas placés au sein d'un projet de construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage ne conviendraient pas à l'intitulé de cette agrégation ingénierie des constructions.

L'analyse technique et scientifique

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

L'analyse technique et scientifique présentée par le candidat doit être au niveau d'une agrégation de sciences industrielles de l'ingénieur. L'étude présentée par le candidat doit donc être celle que l'on demanderait de mener à un ingénieur dans une entreprise ou une collectivité. Les études techniques et scientifiques qui seraient confiées à un technicien ou à un cadre intermédiaire ne sont pas suffisantes pour montrer la maîtrise des compétences scientifiques dont doit disposer un professeur agrégé. La rédaction de cette partie technique et scientifique pourra par exemple s'articuler autour d'une comparaison entre des développements propres au candidat et les études menées par les entreprises contactées. Une comparaison des résultats permet au candidat de mettre en avant son sens critique et le recul qu'il a sur la problématique.

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

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

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

La stratégie pédagogique

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

Cette partie ne peut pas se résumer à la présentation d'une liste d'intentions pédagogiques. Les exploitations pédagogiques doivent être détaillées **et concerner plusieurs référentiels**.

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

- le cadre de la séquence ou de la séance
 - o les compétences développées,
 - o la position dans le cycle de formation,
 - o les prérequis,
 - o les savoirs abordés et la taxonomie visée
 - o les éventuels liens avec des contenus d'autres disciplines,

- les activités
 - o proposées aux élèves,
 - o du professeur,
 - o d'évaluation,
- la documentation pédagogique fournie à l'élève,
- les supports d'enseignement,
 - o dossier,
 - o système réel, didactisé ou virtuel,
 - o ressource,
- les traces attendues,
 - o écrites,
 - o orales,
 - o virtuelles

De plus les stratégies pédagogiques développées doivent être innovantes.

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

- la motivation des élèves ;
- la pédagogie inversée ;
- l'usage du numérique ;
- l'évaluation des élèves par compétences ;
- les activités favorisant le 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 potentiels des outils numériques de conception, de simulation, d'organisation et de suivi.

Le jury de l'agrégation d'Ingénierie des constructions insiste sur l'obligation pour les candidats de disposer de ces compétences autour des outils numériques.

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

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

4. Critères d'évaluation

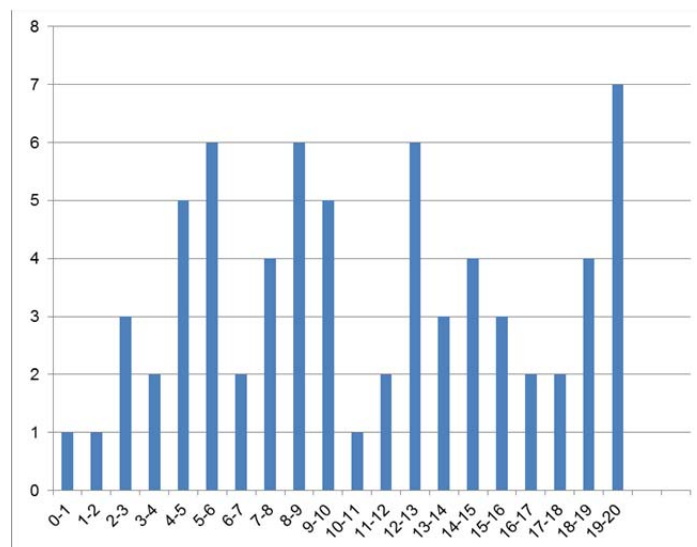
Pour pouvoir délivrer une note à l'issue de l'examen du dossier, de la soutenance et de l'entretien sur cette partie d'épreuve, la commission d'interrogation observe les critères suivants :

- la pertinence du choix de l'ouvrage,
- les relations établies avec les milieux socio-économiques,
- la qualité et la pertinence des documents techniques,
- la qualité des développements scientifiques choisis,
- le travail personnel réalisé,
- la maîtrise des principes scientifiques couvrant le référentiel,
- les analyses fonctionnelle, structurelle et comportementale menées,
- la précision du vocabulaire,
- la culture technologique du candidat,
- la pertinence de l'exploitation pédagogique,
- la connaissance des programmes et référentiels de formation,
- la qualité de l'expression orale,
- l'analyse critique et la capacité de synthèse du candidat,
- les qualités d'écoute, de réactivité et d'argumentation,
- l'utilisation des médias pour la présentation.

5. Résultats

69 candidats ont été évalués lors de cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est 10,8/20 et l'écart-type est de 5,6 avec :

- 20 comme meilleure note ;
- 0,9 comme note la plus basse.



Rapport sur la transmission des valeurs et principes de la République

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

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

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

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

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

- à travailler en équipe et coopérer à la réussite d'un projet ;
- à assumer une responsabilité individuelle et collective ;
- à travailler en groupe à l'émergence et à la sélection d'idées issues d'un débat et donc favoriser le respect de l'altérité ;
- à développer des compétences relationnelles en lui permettant de savoir communiquer une idée personnelle ou porter la parole d'un groupe ;
- à comprendre les références et besoins divers qui ont conduit à la création d'objets ou de systèmes à partir de l'analyse des « modes », des normes, des lois... ;
- à différencier, par le déploiement de démarches rigoureuses, ce qui relève des sciences et de la connaissance de ce qui relève des opinions et des croyances. L'observation de systèmes réels, l'analyse de leur comportement, de la construction ou de l'utilisation de modèles multiphysiques participent à cet objectif ;
- à observer les faits et situations divers suivant une approche systémique et rationnelle ;
- à adopter un positionnement citoyen assumé au sein de la société en ayant une connaissance approfondie de ses enjeux au sens du développement durable. L'impact environnemental, les

coûts énergétiques, de transformation et de transport, la durée de vie des produits et leur recyclage, sont des marqueurs associés à privilégier ;

- à réfléchir collectivement à son environnement, aux usages sociaux des objets et aux conséquences induites ;
- à comprendre les enjeux sociétaux liés au respect de l'égalité républicaine entre hommes et femmes ;
- ...

Ces différentes approches permettent d'évaluer la posture du candidat par rapport au besoin de transmettre les valeurs et les principes de la République à l'école. La dimension civique de l'enseignement doit être explicite.

Pour prendre en compte cette dimension du métier d'enseignant dans la conception de séquences pédagogiques, les candidats peuvent s'appuyer sur différents textes réglementaires et ressources pédagogiques disponibles :

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