

**C O N C O U R S A T S**  
**-SESSION 2023-**

**É P R E U V E D E**  
**S.I. G É N I E C I V I L**

**CALCULATRICE AUTORISÉE**

**CODE ÉPREUVE : 929**

**DURÉE DE L'ÉPREUVE : 5H**

Le sujet proposé porte sur la construction d'une crèche située dans une commune du nord de la région parisienne. La ville s'est engagée, à construire une crèche de 50 berceaux située au sein d'un groupe scolaire. La crèche a pour ambition de proposer une flexibilité aux usagés en permettant de déposer et de reprendre ses enfants tout au long de la journée. Sa conception a fait l'objet d'une étude poussée de l'impact sur l'environnement de sa construction, de son exploitation et de sa déconstruction.

Les études qui vous sont proposées sont indépendantes les unes des autres :

La **PARTIE 1** porte sur le dimensionnement d'une section en béton armé en flexion simple,

La **PARTIE 2** porte sur l'étude d'un portique métallique,

La **PARTIE 3** porte sur la force portante d'un pieu de fondation,

La **PARTIE 4** porte sur l'analyse acoustique des solutions constructives,

La **PARTIE 5** porte sur la validation de la solution de chauffage.



## **PARTIE 1 VERIFICATION DE LA RESISTANCE MECANIQUE AUX ELUR D'UNE SECTION D'UNE LONGRINE**

**Objectif** : Dans cette partie il s'agit, après avoir caractérisé le comportement mécanique du béton utilisé lors de son coulage, de vérifier le dimensionnement d'une longrine en béton armé.

Les longrines qui reportent les charges sur les têtes de pieu sont réalisées en béton armé. Lors du coulage de ces éléments un échantillon de béton est prélevé pour réaliser des essais mécaniques après 28 jours de durcissement. La figure 1 représente l'évolution de la contrainte normale de compression  $\sigma_n$ , en fonction de la déformation longitudinale  $\epsilon$ , lors d'un essai de compression simple sur une éprouvette 16x32 en béton. La déformation maximale a été limitée à 0,2 [%] :

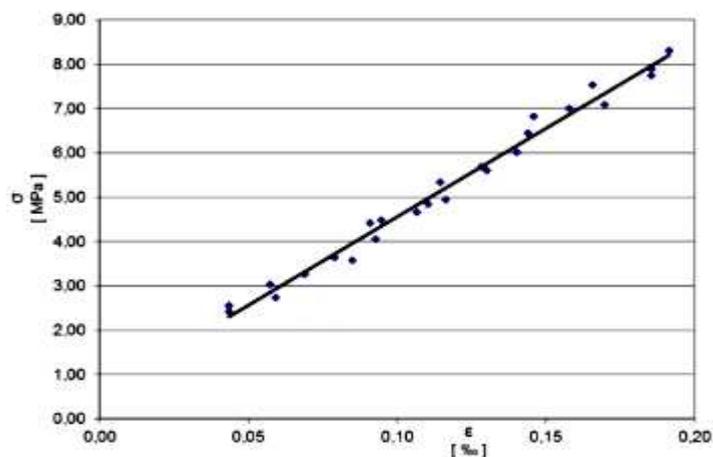


Figure 1

**Question 1 :** D'après les résultats relevés sur la figure 1, caractériser le comportement mécanique du béton pour cette plage de sollicitation. Déterminer le module d'Young du béton qui constitue cette éprouvette.

**Question 2 :** Dessiner l'allure de la courbe contrainte/déformation lorsque l'essai est mené jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Caractériser le comportement du béton sur l'ensemble de la plage de déformation.

Dans le cadre d'une mission de contrôle, une descente de charges faite avec un logiciel, donne dans la section la plus sollicitée dans la travée de la longrine 8 file 5 (Annexe 6) un moment agissant  $M_a = 252$  [kN·m].

Une première approche consiste à modéliser géométriquement la section résistante telle que le définit la figure 2a. Le diagramme des contraintes résistantes est représenté figure 2b. Les grandeurs d'intérêt sont :

- $A_u$  : section d'acier placée dans la partie basse de la poutre ;
- $h$  : hauteur de la poutre ;
- $d$  : hauteur utile de la poutre (distance entre la fibre supérieure de la poutre et le centre de gravité de la section d'acier  $A_u$ ) ;
- $b$  : largeur de l'âme de la poutre ;
- $f_b$  : contrainte normale de compression dans le béton ;
- $f_s$  : contrainte normale de traction dans la section  $A_u$  ;
- $M_u$  : moment fléchissant résistant dans la section étudiée ;
- $N_u$  : effort normal résistant dans la section étudiée ;
- $0$  : les contraintes résistantes du béton sont nulles en dessous de la bande de  $0.8 y_u$ .

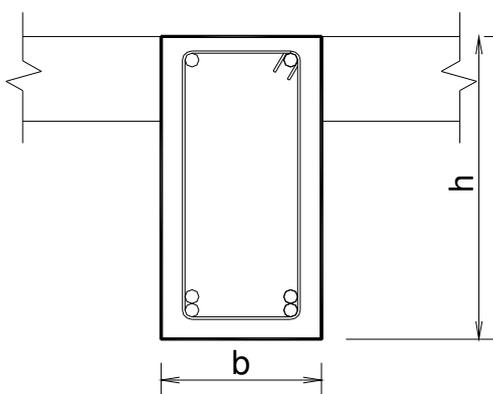


Figure 2a

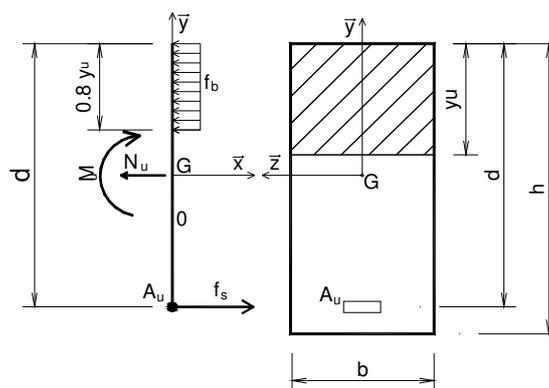


Figure 2b

**Question 3 :** La section étudiée étant en travée de la longrine 17, indiquer si la surface hachurée sur la figure 2b est tendue ou comprimée et si les aciers de section  $A_u$  sont tendus ou comprimés.

**Question 4 :** Déterminer l'expression littérale de l'effort résultant dans le béton.

**Question 5 :** Déterminer l'expression littérale de l'effort résultant dans la section d'acier  $A_u$ .

**Question 6 :** La section est soumise à de la flexion simple, que peut-on dire de  $N_u$  ?

**Question 7 :** En utilisant la projection sur l'axe  $\vec{x}$  du théorème de la résultante statique, montrer que :

$$y_u = \frac{A_u \cdot f_s}{0,8 \cdot b \cdot f_b}$$

**Question 8 :** En appliquant le théorème du moment statique au centre de gravité de  $A_u$ , montrer précisément que :

$$M_u = 0,8 \cdot y_u \cdot b \cdot f_b \cdot (d - 0,4 \cdot y_u)$$

**Question 9 :** Déterminer la valeur de  $M_u$ , si  $A_u = 10$  [cm<sup>2</sup>],  $f_s = 350$  [MPa],  $f_b = 15$  [MPa],  $b = 250$  [mm] et  $d = 700$  [mm]. La vérification de la section est-elle satisfaisante ?

Une deuxième approche consiste à prendre en compte une partie de la dalle de chaque côté de la longrine dans le calcul du moment résistant de la section, comme décrit dans les figures 3a et 3b. La résistance en traction du béton ne sera pas prise en compte.

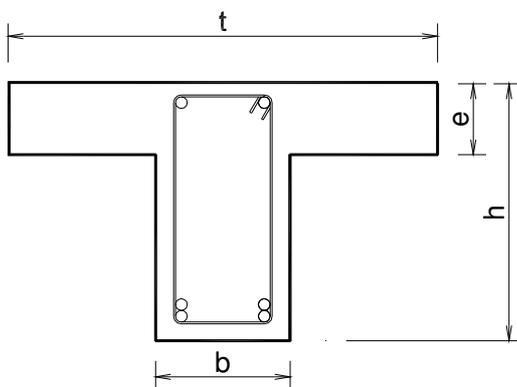


Figure 3a

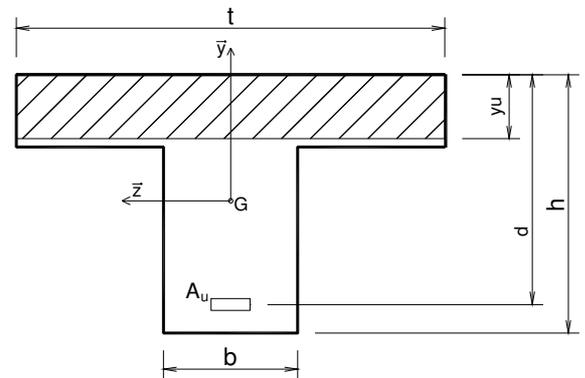
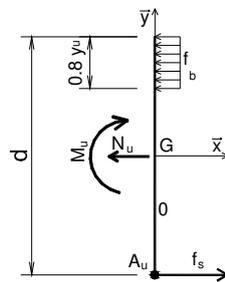


Figure 3b

**Question 10 :** Justifier pourquoi cette disposition géométrique va permettre de diminuer la section d'acier pour reprendre le moment agissant  $M_a$ .

En notant :  $y_u = \alpha \cdot d$  , il vient alors :  $\alpha = 1,25 ( 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} )$

Avec :

$$\mu = \frac{M_u}{t \cdot d^2 \cdot f_b}$$

**Question 11 :** Calculer  $y_u$  et en déduire  $A_u$  en se plaçant à la limite de l'inégalité de dimensionnement :

$$M_a \leq M_u$$

**Question 12 :** Conclure sur l'intérêt de prendre en compte une partie de la dalle dans le calcul d'une section en travée.

## PARTIE 2 ETUDE D'UN DOUBLE PORTIQUE METALLIQUE

**Objectif :** Dans le cadre d'une mission de conception, l'étude porte sur la modélisation d'une structure métallique en double portique, sur sa réalisation et sur les vérifications en résistance et en déplacement.

Un double portique métallique est placée file 6<sup>bis</sup>. Il permet de transmettre les charges appliquées aux planchers haut du rez-de-chaussée et du 1<sup>er</sup> étage sur les têtes de pieux 21 et 22. La figure 4 définit la schématisation mécanique de cette structure. La contrainte normale limite admissible pour l'acier utilisé est :  $\bar{\sigma}_s = 400$  [MPa]. La contrainte limite admissible au cisaillement est :  $\bar{\tau}_s = 150$  [MPa].

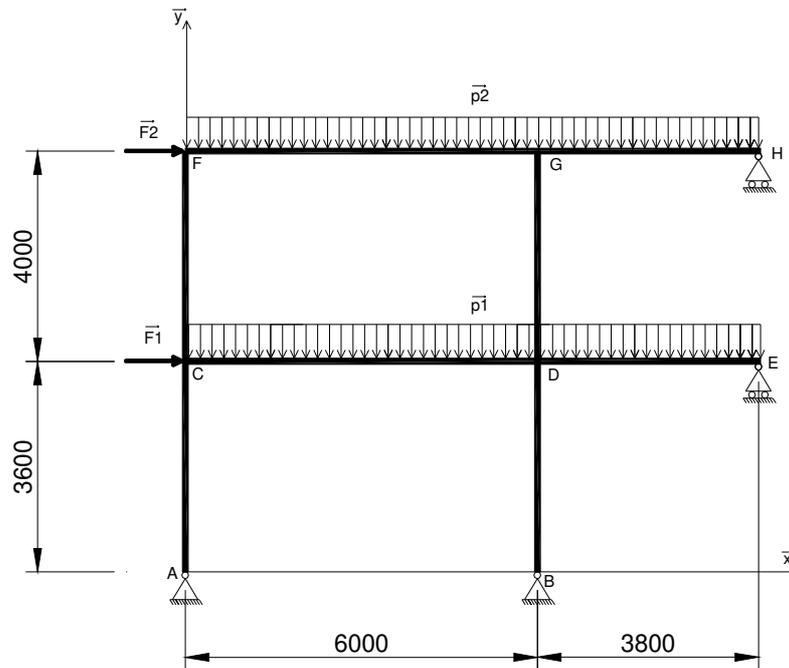


Figure 4 (les cotes sont en mm)

**Question 13 :** À partir du plan de structure entre les files A et B (Annexe 5), justifier le choix des appuis modélisés en C et D. À quels efforts correspondent les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  ?

**Question 14 :** Comment sont réalisées pratiquement les liaisons en A et B ? Proposer un croquis de la liaison mécanique entre le profilé en H du poteau et l'arase supérieure de la dalle.

**Question 15 :** Déterminer précisément le degré d'hyperstatisme de la structure. Expliquer pourquoi ce degré d'hyperstatisme peut avoir un intérêt du point de vue des actions horizontales ?

Pour  $\vec{F}_1 = \vec{0}$ ,  $\vec{F}_2 = \vec{0}$ ,  $\vec{p}_1 = -30 \cdot \vec{y}$  et  $\vec{p}_2 = -50 \cdot \vec{y}$  en [kN·m<sup>-1</sup>], les efforts aux liaisons sont déterminés en implémentant la structure et le chargement dans un logiciel de calcul. Les résultats sont indiqués figure 5.

Actions de liaisons en [kN]					
Noeud	A	-	Rx =	3.8	Ry = 216.3
Noeud	E	-	Rx =	0.0	Ry = 46.0
Noeud	B	-	Rx =	-3.8	Ry = 453.2
Noeud	H	-	Rx =	0.0	Ry = 68.5

Figure 5

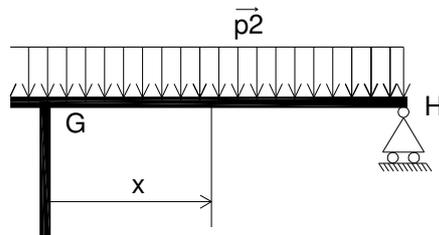


Figure 6

**Question 16 :** Avec l'aide des résultats de la figure 5, déterminer les expressions du moment fléchissant et de l'effort tranchant en tout point d'abscisse  $x$  comme décrit sur la figure 6 du tronçon GH et tracer les deux diagrammes de  $V(x)$  et de  $M(x)$ .

Le tronçon GH est réalisé avec un profilé HEA 240 dont la figure 7 représente une simplification de la section transversale.

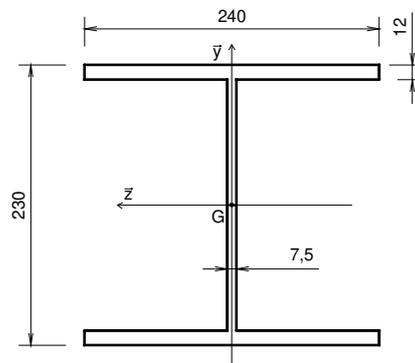


Figure 7

Rappel : Le moment quadratique d'une section rectangulaire est égal à  $\frac{bh^3}{12}$ , si  $b$  est la largeur de la section et  $h$  la hauteur.

**Question 17 :** Calculer le moment quadratique d'inertie  $I_{Gz}$  du profilé par rapport à l'axe  $G_z$ .

Hypothèses pour la suite des questions :

- le moment fléchissant  $M_{fz}$  maximum dans la travée GH est égal à 47 [kN·m] ;
- le moment quadratique  $I_{Gz}$  vaut 7763 [cm<sup>4</sup>] ;
- l'effort tranchant dans la travée DE est maximum dans la section D, et vaut,  $V_{max} = 122$  [kN].

Rappels :

$$\sigma_n(x,y) = \frac{-M_{fz}(x) \cdot y}{I_{Gz}}$$

$$\tau(x,y) = \frac{V(x) \cdot m_{Gz}(y)}{I_{Gz} \cdot b(y)}$$

où :

- $V(x)$  est l'effort tranchant dans la section d'abscisse  $x$  ;
- $m_{Gz}(y)$  est le moment statique de la surface au-dessus de  $y$  par rapport à l'axe  $G_z$  ;
- $b(y)$  est la largeur de la section à l'ordonnée  $y$  ;
- $I_{Gz}$  est le moment quadratique d'inertie de la section par rapport à  $G_z$ .

**Question 18** : Tracer le diagramme des contraintes normales dans la section pour laquelle  $M_{fz}$  est maximum. La contrainte maximum reste-elle inférieure à  $\overline{\sigma}_s$  ? Conclure.

Le tronçon DE est également réalisé avec un profilé HEA 240.

**Question 19** : Tracer le diagramme de la contrainte de cisaillement dans la section D. Quelle partie de la section reprend le plus le cisaillement ? Quelle est la valeur de la contrainte tangentielle maximale. La contrainte limite de cisaillement est-elle respectée ?

Hypothèses pour la suite des questions :

- la poutre FGH fonctionne mécaniquement (par simplification) comme une poutre continue sur trois appuis ;
- soit F l'origine des abscisses (figure 8) :
  - dans la travée FG,  $0 \leq x \leq 6$  ;  $M_f(x) = -25 x^2 + 121,2 x$
  - dans la travée GH,  $6 < x \leq 9,8$  ;  $M_f(x) = -25 (9,8 - x)^2 + 49,5 (9,8 - x)$

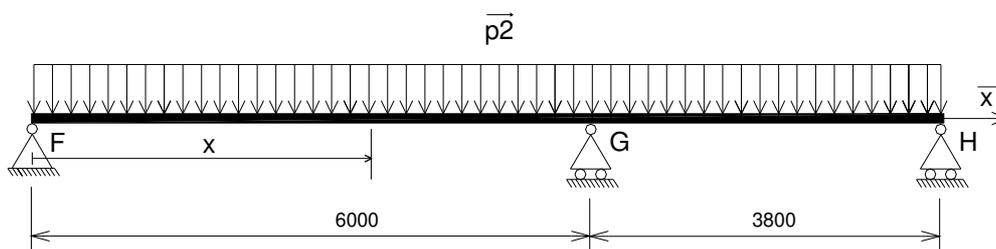


Figure 8

**Question 20** : On suppose que le déplacement vertical maximum est situé à mi-portée de la travée FG, déterminer ce déplacement en fonction de  $I_{Gz}$  et  $E$ . Ce calcul de déplacement peut être réalisé avec une méthode laissée au choix du candidat. Les effets de l'effort tranchant sur le déplacement seront négligés. Vérifier que ce déplacement est inférieur au 200<sup>ème</sup> de la portée.

### PARTIE 3 ÉTUDE D'UN PIEU DE FONDATION

Objectif : Détermination de la pression limite à partir d'un essai pressiométrique et de la force portante d'un pieu.

L'essai pressiométrique consiste à insérer une cellule constituée d'une membrane gonflable dans un forage. Les mesures de la variation de volume de la cellule,  $V$  [cm<sup>3</sup>] et de la pression,  $p$  [MPa] exercée par la membrane sur le sol sont faites lors d'une augmentation progressive de la pression. On peut considérer trois intervalles de pression comme le définit la figure 9 :

- ① Mise en contact de la membrane avec le sol ;
- ② Comportement pseudo élastique du sol ;
- ③ Grandes déformation du sol.

La pression limite retenue pour la suite des calculs est égale dans ce cas à la pression qui correspond au doublement du volume de la cellule au début de la phase 2.

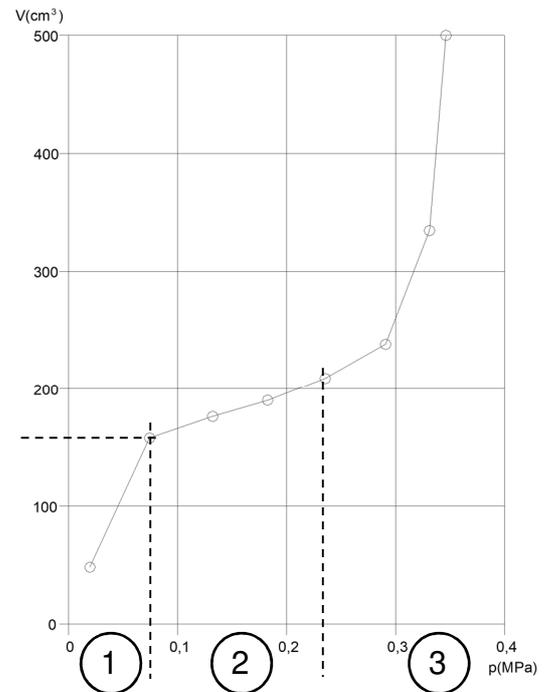


Figure 9

**Question 21 :** Déterminer graphiquement la pression limite  $p_l$  en [MPa] pour cet essai fait à 2 mètres de profondeur.

Les pieux ont un diamètre de 400 [mm] et sont ancrés sur une hauteur de 2 [m] dans la couche des sables argilo-marneux gris bleutés.

**Question 22 :** À partir du rapport géotechnique en annexe 7 dessiner une coupe du sol au niveau du sondage SP2, en faisant apparaître les couches de sols ainsi que leurs épaisseurs.

Le facteur de pointe est obtenu grâce à l'expression suivante :

$$R_b = K_p \cdot A_b \cdot P_{lme}^*$$

avec,  $K_p$  et  $P_{lme}^*$  donnés dans le rapport géotechnique et  $A_b$  la section transversale du pieu.

**Question 23 :** Déterminer  $R_b$  la résistance en pointe du pieu.

**Question 24 :** Pour calculer la résistance au frottement du pieu déterminer la surface latérale de frottement utile.

Le facteur de frottement est obtenu grâce à l'expression suivante :

$$R_{frottement} = \sum_{i=1}^n q_{si} \cdot A_{si}$$

avec,  $A_{si}$  la surface latérale de la couche de sol  $i$  et  $q_{si}$  la pression de frottement de la couche  $i$ .

**Question 25 :** Calculer  $R_{frottement}$  avec les données du rapport géotechnique.

**Question 26 :** En déduire la force portante totale du pieu.

**Question 27 :** Qu'est ce qui peut justifier de ne pas prendre en compte la résistance au frottement latéral d'un pieu ? Quelle technologie faut-il alors utiliser pour réaliser pratiquement le pieu ?

### **PARTIE 3 ANALYSE ACOUSTIQUE DES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES MISES EN ŒUVRE DANS LA CRECHE**

Objectif : La qualité acoustique des espaces intérieurs, a un impact important sur la santé, et notamment celle des plus jeunes. En effet comme ils ne savent pas encore comment réagir pour s'en protéger, une agression sonore a beaucoup plus de conséquences sur une population de jeunes enfants que sur les adultes. L'objectif de cette partie est de justifier tout ou partie des moyens techniques mis en œuvre dans la salle de motricité et le dortoir 1 attenant (voir plan du RDC annexe 1), afin d'y assurer un confort acoustique suffisant.

**Question 28** : À partir du tableau 1, annexe 9, déterminer le temps de réverbération par bande de fréquence de la salle de motricité.

**Question 29** : Décrire succinctement le phénomène de réverbération acoustique et en quoi il est nécessaire de corriger cette caractéristique, afin de répondre aux exigences du cahier des charges (voir annexe 8).

Lors de l'étude acoustique de cette salle, deux solutions de correction acoustique sont envisagées (voir descriptif des solutions annexe 9). Une analyse des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire des matériels mobilisés par ces solutions permet de tracer un diagramme radar (voir figure 1 annexe 9).

**Question 30** : Justifier en quelques mots en quoi la phase de fabrication de ces matériels, permet de justifier les caractères très différents de ces solutions vis à vis de leurs impacts environnementaux. Proposer sur la base de ces indicateurs environnementaux un classement objectif d'une solution vis-à-vis de l'autre.

**Question 31** : Justifier par le calcul que la solution la moins impactante environnementalement permet d'atteindre les exigences acoustiques du cahier des charges.

**Question 32** : La paroi qui cloisonne et isole phoniquement le dortoir 1 vis-à-vis de la salle de motricité a une surface  $S = 9 \text{ [m}^2\text{]}$ . À partir des résultats d'un essai d'isolement réalisé en laboratoire et des caractéristiques du dortoir (voir tableau 2 annexe 9), déterminer le niveau sonore global perçu coté dortoir exprimé en dBA, noté  $L_{2A}$ , pour une sollicitation à un bruit rose de niveau  $L_1 = 80 \text{ [dB]}$  coté émission. En déduire la valeur de l'isolement exprimé en [dBA].

Pour la question suivante, considérer que :

- l'affaiblissement global de la paroi étudiée exprimé en dBA est :  $R_A = 55,3 \text{ [dBA]}$ ,
- le volume  $V$  du dortoir N°1 vaut  $33 \text{ [m}^3\text{]}$ .

**Question 33** : À partir de ces résultats, vérifier si l'indice d'isolement normalisé de cette paroi est compatible avec les exigences du cahier des charges.

### **PARTIE 4 VALIDATION DE LA SOLUTION DE CHAUFFAGE PAR PLANCHER CHAUFFANT**

Objectif : Pour le chauffage, la maîtrise d'œuvre s'est orientée vers la mise en place de planchers chauffants raccordés à une sous-station d'un réseau de chauffage urbain. L'objectif de cette partie est de justifier que cette solution est adaptée aux exigences de confort de la crèche.

**Question 34** : Après avoir cité d'autre typologies d'émetteurs thermiques utilisables pour chauffer les espaces de la crèche, proposer au moins trois arguments permettant de justifier que le plancher chauffant est sans doute la typologie d'émetteur la plus adaptée dans ce cas.

Lors de l'étude de la solution plancher chauffant, une réflexion est menée quant au choix des régimes de température d'alimentation en eau de ces derniers. Il s'agit en particulier de vérifier qu'avec une température d'alimentation en eau maximum de 50°C, la température de surface du sol ne dépassera pas les 28°C (valeurs maximales réglementaires). Pour y parvenir une première approche est de modéliser le plancher chauffant comme un système plan en régime permanent établi (voir annexe 10 figures 1 & 2).

**Question 35 :** Après avoir identifié les modes de transfert thermique ayant lieu entre le plan chaud et les espaces inférieur et supérieur, reproduire et compléter le schéma analogique proposé annexe 10 figure 2.

**Question 36 :** Déterminer la valeur de la température  $T_S$  du sol du local supérieur, et des flux surfaciques émis vers les faces supérieure  $\varphi_{sup}$  et inférieure  $\varphi_{inf}$  du plancher, si la température de l'eau est  $T_e = 50$  °C. Conclure quant au respect de la valeur maximale de température réglementaire.

La température de l'eau circulant dans le tube d'un plancher chauffant évolue le long du trajet de cette eau. Ceci affecte la puissance thermique émise qui varie proportionnellement le long de ce trajet. L'objectif est maintenant d'évaluer la puissance émise par un plancher d'une surface de 25 m<sup>2</sup>, et de vérifier qu'elle sera suffisante pour chauffer le local associé. Pour y parvenir une approche est de modéliser le plancher chauffant comme un tube chauffant parcouru par un débit d'eau, (voir annexe 10 paragraphe 3).

**Question 37 :** En faisant le bilan énergétique en régime permanent établi du volume d'eau contenu dans le tube d'eau chaude sur une longueur infinitésimale  $dx$  (voir annexe 10 figure 4), montrer que l'évolution de la température de l'eau  $T_e(x)$  vérifie l'équation suivante :

$$\frac{dT_e(x)}{dx} = - \frac{(K_{sup} + K_{inf})}{q_m C_p} \rho (T_e(x=0) - T_a)$$

L'équation différentielle ci-dessus permet par intégration d'établir l'expression de la puissance émise par une lame de plancher de longueur  $L$  (voir annexe 10 formulaire).

**Question 38 :** Déterminer la puissance émise par un plancher d'une surface de 25 m<sup>2</sup>, si  $T_e(x=0) = 30$  °C, et  $T_a = 20$  °C ; puis commenter ce résultat vis-à-vis des valeurs des ratio de puissance nécessaire pour chauffer une pièce de la crèche.