

BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS

- SESSION 2003 -

ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL ET PHYSIQUE DU BÂTIMENT

CODE ÉPREUVE : ...

DURÉE : 2h30

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule étant admise sur la table ou le poste de travail.

Rappel préliminaire :

Vous ne devez pas répondre au hasard. Pour chaque item les points obtenus sont toujours négatifs quand la réponse est mauvaise. En cas d'abstention le nombre de points est toujours nul. Un ensemble de bonnes réponses à une question permet d'obtenir des points supplémentaires sous forme de « bonus ».

QUESTION 1

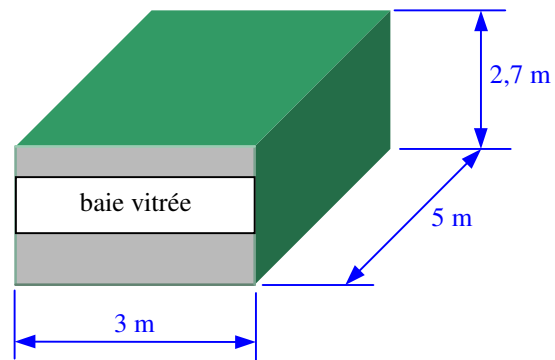
On souhaite étudier les déperditions thermiques d'une façade d'immeuble de bureaux, afin d'en améliorer les performances énergétiques. Pour cela il s'agit de mener une étude thermique sur un local représentatif de cet immeuble, dont les caractéristiques géométriques sont précisées sur le schéma ci-dessous.

Volume du local = $40,5 \text{ m}^3$

Dimensions de la baie :

$h = 1 \text{ m}$

$l = 3 \text{ m}$



Hypothèses :

- les locaux adjacents sont considérés comme étant à la même température que le local étudié ;
- les déperditions linéiques et singulières sont négligées ;
- la baie vitrée n'est pas équipée de fermeture extérieure ni de store (sauf pour l'item E).

Caractéristiques des parois du local :

Paroi	Composant	Épaisseur	Conductivité thermique
Mur de façade (de l'extérieur vers l'intérieur)	béton	16 cm	2,00 W/(m.K)
	isolant	8 cm	0,04 W/(m.K)
	plâtre	13 mm	0,25 W/(m.K)
Baie vitrée	vitrage simple	6 mm	1,00 W/(m.K)
Planchers	béton	20 cm	2,00 W/(m.K)
Parois intérieures séparatives	plâtre (2 plaques / profils métal)	2 x 18 mm	0,25 W/(m.K)

Résistances thermiques superficielles :

R_{si} pour le parement intérieur d'une paroi, R_{se} pour son parement extérieur.

Paroi donnant sur l'extérieur	R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]	R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
si flux thermique horizontal	0,13	0,04
si flux thermique ascendant	0,10	0,04
si flux thermique descendant	0,17	0,04

Rappel : si une paroi donne sur un autre local non chauffé, on attribue la même résistance superficielle à ses deux parements.

- (A) Le coefficient de transmission surfacique de la baie vitrée, sans tenir compte de la menuiserie ni de « l'effet de bord » en périphérie, est égal à $5,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.
- (B) Le coefficient de transmission surfacique obtenu pour la partie opaque de la façade ne dépasse pas la valeur maximale admissible fixée par la réglementation (RT 2000, règles Th-U).
- (C) Dans cette configuration, le coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois déperditives du local ($U_{\text{bât}}$) est supérieur à $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

La baie vitrée est maintenant constituée d'un double vitrage 4-8-4, à isolation thermique renforcée, dont le coefficient de transmission surfacique garanti par le fabricant est égal à $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

- (D) Ce nouveau vitrage permet de diviser quasiment par deux la valeur de $U_{\text{bât}}$ pour le local étudié.

On envisage d'équiper les baies vitrées, telles que définies dans l'item précédent, de fermetures extérieures (volets) susceptibles d'apporter une résistance thermique additionnelle de $0,19 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$, et d'installer un système de commande automatisée qui assure l'occultation de 70% des baies hors horaire d'activité des bureaux.

La période annuelle de chauffage des locaux ayant une durée N_h (nombre d'heures), durant cette période on considère que :

- la température intérieure (T_i) est maintenue constante ;
 - le relevé des températures extérieures nous permet d'associer une température moyenne (T_{ej}) à chaque heure j de la période ;
 - l'énergie nécessaire au maintien de la température intérieure sera proportionnelle au nombre de « degrés-heures » $D_h = \sum (T_i - T_{ej})$, pour $j = 1$ à N_h ;
 - le taux d'occultation des baies est nul durant les heures d'activité des bureaux.
- (E) Si l'on considère de plus qu'en période de chauffage des locaux 40% de D_h se situe durant l'activité des bureaux, on peut en déduire que le coefficient de transmission surfacique de la baie vitrée équipée de volets devient en valeur moyenne inférieur à $2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Nota : cette moyenne sera calculée en pondérant les valeurs obtenues avec/sans volets, compte tenu de l'impact du taux d'occultation sur l'énergie nécessaire au maintien de la température intérieure.

QUESTION 2

Poursuite de l'étude thermique relative à un local représentatif d'un immeuble de bureaux, dont les caractéristiques géométriques sont précisées sur le schéma de la question précédente.

Volume du local = 40,5 m³ ; dimensions de la baie : 3 m x 1 m

Hypothèses :

- les locaux adjacents sont considérés comme étant à la même température que le local étudié (sauf pour l'item C) ;
- les déperditions linéiques et singulières ainsi que la perméabilité à l'air des parois sont négligées ;
- la baie vitrée n'est pas équipée de fermeture extérieure ni de store ;
- les calculs de déperditions ou de capacité thermique seront faits à partir des dimensions indiquées sur le schéma (on ne cherchera pas à calculer les surfaces intérieures).

Caractéristiques des parois du local :

Paroi	Composant	ρ [kg/m ³]	Épaisseur	Capacité ther. massique
Mur de façade (de l'extérieur vers l'intérieur)	béton	2500	16 cm	1000 J/(kg.K)
	isolant	20	8 cm	1030 J/(kg.K)
	plâtre	850	13 mm	1000 J/(kg.K)
Baie vitrée	vitrage double	2500	4-8-4 mm	750 J/(kg.K)
Planchers	béton	2500	20 cm	1000 J/(kg.K)
Parois intérieures séparatives	plâtre (2 plaques / profils métal)	850	2 x 18 mm	1000 J/(kg.K)

Autres données d'étude :

- Résistances thermiques superficielles des parois (R_{si} pour le parement intérieur, R_{se} pour le parement extérieur) :

Paroi donnant sur l'extérieur	R_{si} [m ² .K/W]	R_{se} [m ² .K/W]
si flux thermique horizontal	0,13	0,04
si flux thermique ascendant	0,10	0,04
si flux thermique descendant	0,17	0,04

Rappel : si une paroi donne sur un autre local non chauffé, on attribue la même résistance superficielle à ses deux parements.

- Masse volumique de l'air : 1,2 kg/m³.
- Capacité calorifique de l'air : 1006 J/(kg.K).
- L'inertie thermique du mobilier représente 20 kJ/K par m² de sol pour ce local.

- (A) Avec les caractéristiques physiques fournies ci-dessus, on trouve que la chaleur volumique de l'air est légèrement supérieure à 0,34 W.h/(m³.K).
- (B) La température de l'air extérieur est de 5°C, celle de l'air à l'intérieur du local est maintenue à 18°C. La baie vitrée est équipée d'un dispositif laissant entrer un débit d'air (renouvellement d'air hygiénique) de 40 m³/h. En considérant que pour ce local $U_{bât} = 1,2$ W/(m².K), on peut vérifier que la déperdition thermique due au renouvellement d'air représente plus de la moitié de la déperdition totale.

(C) La température de l'air extérieur étant inchangée, suite à un problème de chauffage tous les locaux adjacents à celui que nous étudions sont à une température de 10°C. Afin de maintenir 18°C dans notre local, il est nécessaire de fournir une puissance supplémentaire de 1500 W (résultat donné à 5% près).

Pour ce calcul, les valeurs des résistances thermiques (vis à vis des échanges par conduction) relatives aux parois intérieures sont :

$$R_{\text{planchers}} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{\text{cloisons}} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

(D) A partir des caractéristiques des parois du local étudié, un calcul approché de la capacité thermique surfacique de chacune d'elles (χ_i) doit être effectué en prenant uniquement en compte :

- pour la paroi de façade : les composants dont on peut considérer que la température est voisine de celle du local ;
- pour les trois parois intérieures verticales : la plaque de parement adjacente au local ;
- pour les planchers : la moitié de l'épaisseur totale.

Chaque composant i considéré ayant pour aire A_i , on trouvera que la capacité thermique du local hors mobilier ($\sum \chi_i \cdot A_i$) est inférieure à 8000 kJ/K.

(E) Plusieurs méthodes permettent d'apprécier l'inertie thermique quotidienne d'un niveau de bâtiment (ou d'un local). Nous ferons référence au tableau ci-dessous extrait des règles Th-I :

Inq	C_m/A_{niv} (kJ/m ² K)									
A_m/A_{niv}	80 à 109	110 à 164	165 à 219	220 à 259	260 à 309	310 à 329	330 à 349	350 à 369	370 à 499	500 et plus
1,0 à 1,4	t. lég.	t. lég.	t. lég.	t. lég.	léger	léger	léger	léger	léger	léger
1,5 à 1,9	t. lég.	t. lég.	léger	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.
2,0 à 2,4	t. lég.	léger.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	L	L	L
2,5 à 2,9	t. lég.	léger	moy.	moy.	L	L	L	L	L	L
3,0 à 3,4	t. lég.	léger	moy.	L	L	L	L	L	L	TL
3,5 à 3,9	t. lég.	léger	moy.	L	L	L	L	L	TL	TL
4,0 à 4,4	t. lég.	léger	moy.	L	L	L	L	TL	TL	TL
4,5 à 4,9	t. lég.	léger	moy.	L	L	L	TL	TL	TL	TL
5,0 et plus	t. lég.	léger	moy.	L	L	TL	TL	TL	TL	TL

Classe d'inertie : t. lég = très légère, moy. = moyenne ; L = lourde ; TL = très lourde

Avec : C_m = la capacité thermique du local y compris la participation du mobilier,

A_{niv} = l'aire de la surface utile du local,

$A_m = (\sum \chi_i \cdot A_i)^2 / (\sum \chi_i^2 \cdot A_i)$, représente l'aire de la surface d'échange équivalente des parois avec l'ambiance du local.

On en déduit que l'inertie thermique (Inq) du local étudié peut être qualifiée « très lourde ».

QUESTION 3

Dans le domaine du bâtiment, comme dans celui des travaux routiers, la fonction étanchéité exigée pour certains composants (toiture terrasse, tablier de pont, etc.) peut être assurée par divers produits manufacturés. La réflexion portera ici sur quelques matériaux, produits, et prescriptions techniques relatifs à cette fonction.

- (A) L'asphalte coulé est un mélange de sable et de gravillon dont le liant est constitué de bitume, il est appliqué par épandage à froid.

Extrait d'un C.C.T.P relatif à projet de bâtiment - LOT ÉTANCHÉITÉ

<p>01. Étanchéité sur terrasse inaccessible avec isolant</p> <p>01.1 Support dalle béton</p> <p>[...]</p> <p>01.12 Pare vapeur</p> <ul style="list-style-type: none">- 1 EIF type <i>Siplast primer</i>- 1 feuille de bitume armé type <i>Irex 40</i>, soudée <p>01.13 Isolation thermique</p> <p>Mise en place de panneaux de mousse polyuréthane 2 faces VV, épaisseur selon calcul thermique. Le produit devra être compatible avec l'étanchéité et bénéficier d'un avis technique du CSTB.</p> <p>01.14 Complexe d'étanchéité</p> <p>Classement FIT : F4 I3 T4</p> <p>Bicouche bitume-SBS soudé, bénéficiant d'un avis technique du CSTB ; pose selon prescriptions du fabricant.</p> <p>[...]</p>

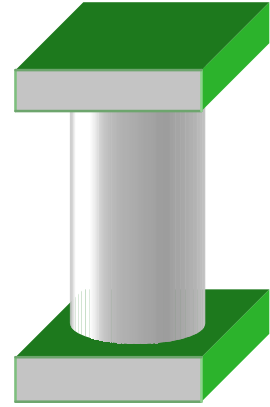
- (B) Le produit EIF est un enduit d'imprégnation composé à 100% de bitume pur.
- (C) Les faces du produit isolant prescrit doivent comporter un voile de verre destiné en particulier à améliorer la stabilité dimensionnelle du panneau.
- (D) Dans le classement performancier utilisé (FIT) pour prescrire un niveau d'exigence en matière de produit d'étanchéité, la lettre T fait référence à la résistance en traction du produit.
- (E) Dans descriptif reproduit ici, le sigle SBS nous indique que pour le produit d'étanchéité en feuille utilisé, le liant est constitué d'un bitume modifié par un élastomère.

QUESTION 4

Caractérisation mécanique d'un béton de structure.

Le béton de structure étant un matériau évolutif, son comportement dans le temps peut être caractérisé à partir de modèles dont les paramètres principaux sont issus du comportement à court terme d'échantillons testés sous sollicitation uniaxiale.

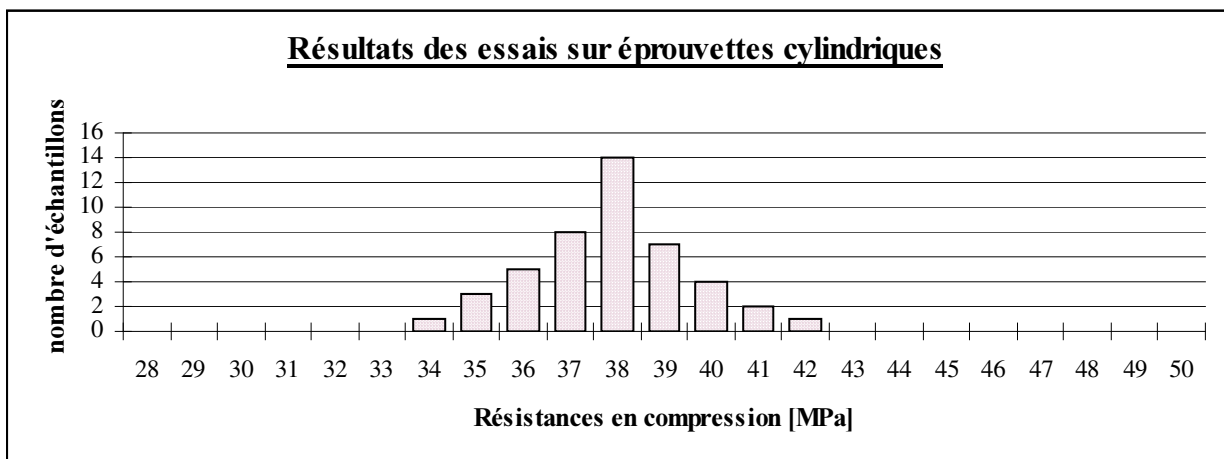
- (A) L'essai de compression simple fait l'objet d'une normalisation ; en France les éprouvettes doivent être cylindriques ($h = 2 \Phi$, cf. représentation ci-contre) alors que dans d'autres pays d'Europe on utilise, pour cet essai, des éprouvettes cubiques. Pour un même béton, dans des conditions de conservation identiques, la contrainte de compression à la rupture sur éprouvette cubique sera inférieure à celle obtenue sur éprouvette conforme à la norme française.



- (B) La résistance caractéristique d'un béton se définit à partir des essais réalisés sur éprouvettes ayant 28 jours de maturation, dans des conditions de conservation normalisées. Cela signifie qu'à cet âge les réactions d'hydratation du ciment peuvent être considérées comme étant achevées.

Pour un béton donné, la résistance caractéristique en compression est établie à partir de la distribution des résistances obtenues sur une série d'échantillons ; elle correspond au fractile de 95% de cette distribution.

- (C) Dans le cas dont les résultats sont représentés sur le diagramme ci-dessous, on peut affirmer que la résistance caractéristique du béton est supérieure à 37 MPa.



Le modèle utilisé pour les calculs de béton armé et de béton précontraint (selon les règles BAEL – BPEL - EC2), afin de traduire l'évolution en contrainte-déformation du béton comprimé dans une section de poutre fléchie, se représente par un diagramme « parabole-rectangle ».

Dans ce diagramme, si l'on considère les charges dont la durée d'application est supérieure à 24h, la contrainte de compression est bornée par la valeur $\sigma_{bu} = 0,85 f_{cj} / \gamma_b$, avec :

f_{cj} = valeur caractéristique de la résistance à la compression du béton dont l'âge est de j jours,

γ_b = coefficient partiel de sécurité attribuable au matériau béton

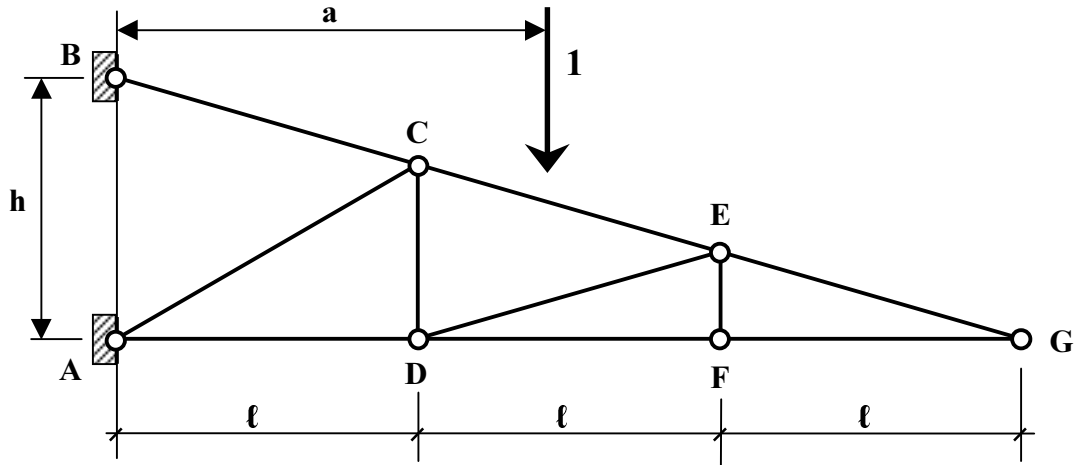
- (D) En considérant ce modèle, si en un point de la zone comprimée d'une section sollicitée en flexion, la déformation $\varepsilon_{bc} = 2,5 \cdot 10^{-3}$ alors la contrainte correspondante doit être prise égale à σ_{bu} .
- (E) Toujours à partir de ce modèle, en un point où la déformation de compression $\varepsilon_{bc} = 10^{-3}$ la contrainte correspondante sera $\sigma_{bc} = 0,75 \sigma_{bu}$.
-

QUESTION 5

On considère la structure plane suivante, dans laquelle toutes les liaisons sont des articulations parfaites.

Les « nœuds » A, D, F, G sont alignés sur une horizontale ; C et E appartiennent à la droite BG ; les points B, C, E sont respectivement à l'aplomb de A, D, F.

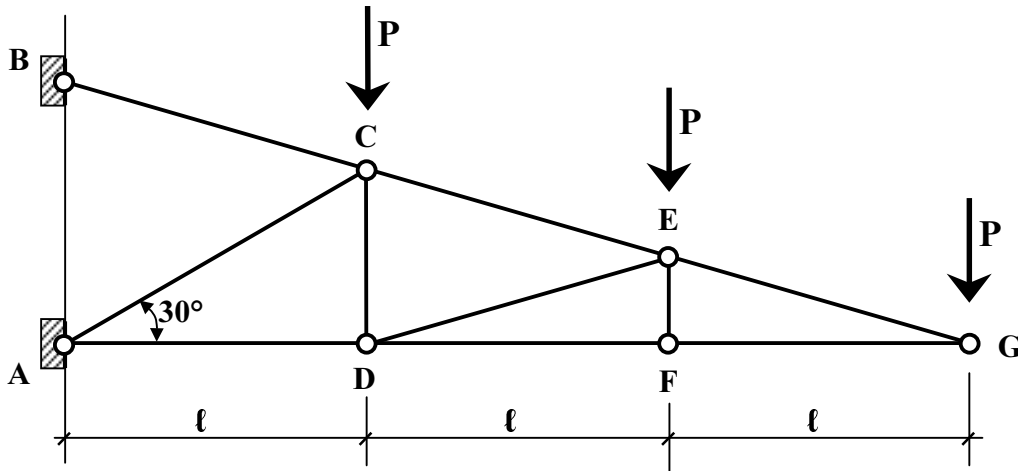
Une charge verticale unitaire est positionnée par la cote a .



- (A) Pour $a \leq 2\ell$ la barre FG ne transmet aucun effort.
- (B) L'effort dans la barre AD est nul si $a = \ell$.
- (C) Pour $a = 3\ell$, les barres AC et DE sont comprimées.
- (D) Pour $h = \ell\sqrt{3}/2$ et $a = 2\ell$, la barre AC subit une compression d'intensité égale à 1,5.
- (E) Pour $h = \ell\sqrt{3}/2$ et $a = 3\ell$, la barre BC subit une traction d'intensité égale à 3,6.

QUESTION 6

La structure de la question précédente a maintenant les caractéristiques géométriques définies ci-dessous. Elle supporte trois charges verticales d'intensité P , localisées aux nœuds C, E, G.



Les barres BC-CE-EG ainsi que AD-DF-FG, ont pour section S .
 Les barres AC-CD-DE-EF, ont pour section $0,5S$.
 Toutes les barres ont même module de Young $E = 210000 \text{ N/mm}^2$.

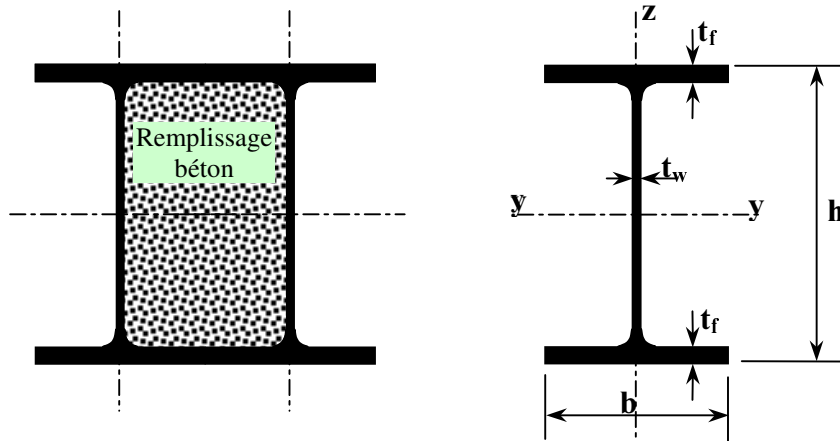
- (A) Sous l'effet de ce chargement, la barre EF ne subit aucune variation de longueur.
- (B) La barre AC est comprimée et l'effort qu'elle transmet est égal à $2P$.
- (C) La composante verticale de l'action d'appui en B est égale à la composante verticale de l'action d'appui en A.
- (D) Le raccourcissement de AG (obtenu en cumulant le raccourcissement des barres AD-DF-FG) est égal à $6P\ell\sqrt{3}/ES$.
- (E) Le déplacement vertical du point C est égal à 2,9 mm pour :
 $P = 10 \text{ kN}$; $\ell = 2 \text{ m}$; $S = 500 \text{ mm}^2$.

QUESTION 7

L'ouvrage routier photographié ci-contre est un passage supérieur (PS) franchissant l'autoroute A85. Son tablier est constitué d'une dalle mince en béton précontraint, portée par une structure métallique de type « bi-poutre » entretoisée au droit des appuis.



La particularité de chacune des poutres principales de ce PS est d'être constituée de deux profilés HE 800 A en acier thermomécanique S 460 à haute limite d'élasticité.



Ces profilés sont jumelés par soudage au niveau des semelles supérieures et inférieures, afin d'obtenir une section en « caisson » (cf. schéma ci-contre).

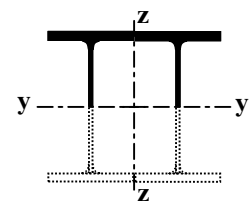
Les caractéristiques du profilé HE 800 A sont données dans le tableau ci-dessous.

Masse G kg/m	Dimensions					strong axis y-y				weak axis z-z			
	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	A cm ²	I _y cm ⁴	W _y cm ³	W _{pl,y} cm ³	i _y cm	I _z cm ⁴	W _z cm ³	W _{pl,z} cm ³	i _z cm
224,4	790	300	15	28	285,8	303400	7682	8699	32,58	12640	842,6	1312	6,65

- (A) Le module d'élasticité longitudinale (module de Young) de l'acier à haute limite d'élasticité (nuance S 460 ici) est plus élevé que celui de l'acier standard utilisé pour les structures métalliques de bâtiment industriel (nuance S 235).
- (B) Le moment résistant plastique d'une section en acier S 460 de classe 1 (ne présentant pas de risque de voilement) est plus élevé que celui de la même section en acier S 235.
- (C) Si l'on ne tient pas compte du béton de remplissage, le module de flexion élastique de la section en caisson par rapport à l'axe y a pour valeur 30728 cm^3 .
- (D) Toujours sans tenir compte du béton de remplissage, le moment quadratique obtenu pour la section en caisson, par rapport à l'axe principal d'inertie parallèle à la direction z , est inférieur au quart de celui que l'on obtient par rapport à l'axe y .

En phase de montage d'une poutre, la section est sollicitée par un effort tranchant $V_z = 190 \text{ kN}$. Par ailleurs, le moment statique de la demi-section du « caisson » en acier, par rapport à l'axe y , est égal à 8699 cm^3 .

- (E) Si l'on considère que le béton de remplissage ne participe pas à la résistance au cisaillement de la poutre, durant le montage de la poutre, la contrainte tangentielle de cisaillement atteint une valeur maximum inférieure à 10 MPa .



QUESTION 8

Reprenons l'étude de la poutre caisson dont les caractéristiques géométriques ont été données dans la question précédente.

Nous considérons maintenant que le béton de remplissage garnit complètement l'espace entre les deux profilés jumelés et que l'adhérence entre les deux matériaux est parfaite.

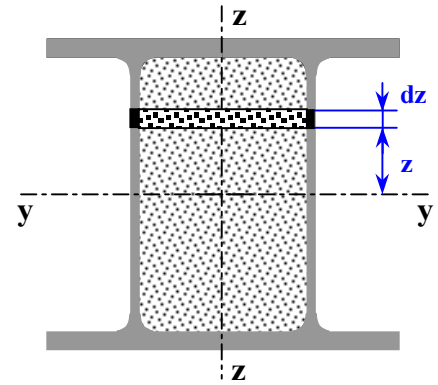
On suppose de plus qu'une précontrainte longitudinale empêche le développement de la fissuration du béton.

Le module instantané d'élasticité longitudinale (module de Young) du béton utilisé est égal à 47000 MPa ; on prendra 210000 MPa pour le module de Young de l'acier.

(A) Le béton de remplissage ayant une masse volumique de 2500 kg/m^3 , il constitue 54% de la masse d'une telle poutre caisson (valeur calculée arrondie à l'unité).

(B) On s'intéresse à l'effet d'un moment de flexion d'axe y . Compte tenu de l'hypothèse d'adhérence parfaite entre les deux matériaux, la déformation longitudinale est identique dans le béton et dans l'acier pour tous les points situés à la même distance de l'axe y .

(C) Toujours sous l'effet d'un moment de flexion d'axe y , à l'intérieur de la « bande » de hauteur dz représentée ci-contre, la part d'effort transmis par l'acier est supérieure à deux fois celle que transmet le béton (on considère que les deux matériaux ont un comportement élastique).



(D) Chaque poutre caisson est fabriquée avec une contre-flèche de 15 cm. Elle est ensuite mise en place sur ses appuis de rive distants de 37,5 m (pas de contact avec la pile centrale). Sous l'effet de son poids propre, on vérifie que la flèche calculée ne dépasse pas la contre-flèche initiale.

Pour cette vérification on considère que la poutre a un comportement élastique et que :

- le module de déformation à prendre en compte est le module de Young de l'acier ;
- la section possède un moment quadratique équivalent, suivant l'axe de flexion, $I_{y \text{ équiv}} = 826500 \text{ cm}^4$;
- le poids propre d'une poutre caisson est ici pris égal à 10 kN/m.

(E) Dans la situation décrite à l'item précédent et avec les mêmes hypothèses de calcul, en supposant que la poutre est encore sur ses deux appuis de rive, la contrainte normale maximum reste inférieure à 100 MPa sous l'effet de flexion engendré par le poids propre.

QUESTION 9

Parmi les nombreuses techniques de reconnaissance des sols, l'essai de pénétration dynamique a pour but la mesure de la résistance des couches traversées, lors du battage d'une pointe, en éliminant le frottement latéral.

Divers matériels ont été mis au point pour réaliser ce type d'essai, le principe étant de faire chuter une masse **M** d'une hauteur **H**, sur une tige verticale dont la pointe de section **A** est fichée dans le sol. Le système d'acquisition de mesures permet d'établir un pénétrogramme et de fournir, pour chaque couche traversée, la résistance de rupture dynamique q_d obtenue à partir de la formule dite « des hollandais » :

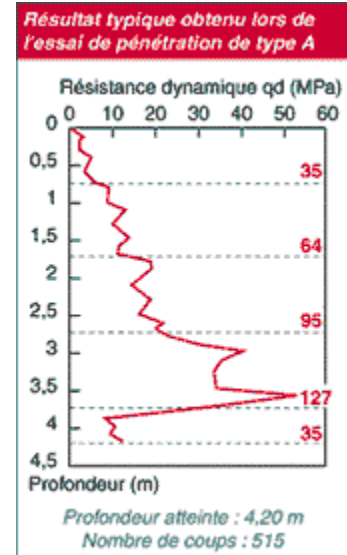
$$q_d = \frac{1}{A} \cdot \frac{E}{e} \cdot \frac{M}{M+P}$$

E = l'énergie fournie en tête de l'appareil par l'action de battage,

e = l'enfoncement de la pointe sous l'effet d'un choc,

P = la masse « frappée » (tiges + pointe).

On fait l'hypothèse que l'énergie fournie par la masse frappante est intégralement transmise à la pointe (rebond et frottement négligeables). Pour les calculs d'énergie on adoptera ici une accélération de la pesanteur égale à $9,81 \text{ m/s}^2$.



(A) On utilise l'appareil LPC dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$M = 64 \text{ kg} ; H = 0,75 \text{ m} ; A = 30 \text{ cm}^2 ; P_0 = 21 \text{ kg} ; P_{1t} = 4 \text{ kg}$$

- P_0 étant la masse de l'appareil équipé de la 1^{ère} tige munie de la pointe (pour les mesures d'enfoncement jusqu'à 1 m de profondeur) ;
- P_{1t} étant la masse d'une tige de 1 m.

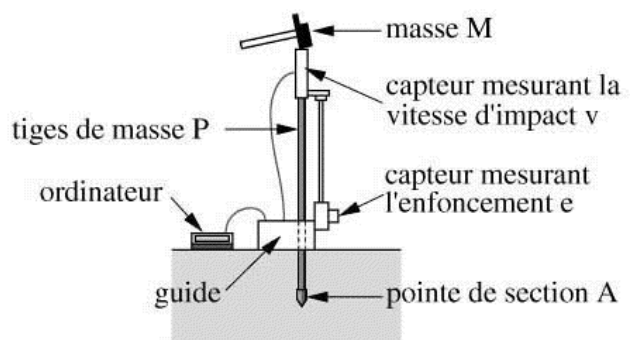
Dans la première phase de mesures (jusqu'à une profondeur de 1 m), étant donné les caractéristiques de cet appareil, nous avons $E = 471 \text{ J}$.

(B) Avec l'appareil décrit dans l'item précédent, la pointe étant placée à une profondeur de 0,50 m dans le sol étudié, on enregistre un enfoncement de 30 cm pour une volée de 5 coups. On en déduit que dans cette couche $q_d = 2 \text{ MPa}$.

(C) On poursuit l'essai, à une profondeur de 2,50 m il faut 25 coups pour obtenir un enfoncement de 30 cm. La couche traversée a donc une résistance de rupture dynamique supérieure à 9,5 MPa.

Basé sur le même principe que le pénétromètre standard, le PANDA[®] est un pénétromètre dynamique léger, transportable dans une valise.

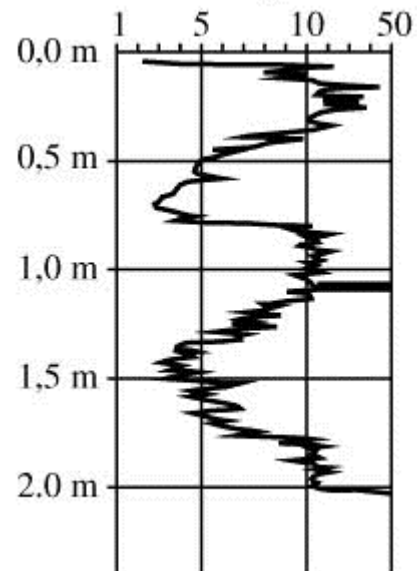
Le principe de cet appareil est représenté sur le schéma ci-contre. L'essai consiste à enfoncer, par battage, un train de tiges dans le sol à l'aide d'un marteau normalisé. Pour chaque coup donné, des capteurs



mesurent la vitesse du marteau au moment de l'impact, ce qui permet de déterminer l'énergie fournie au reste du dispositif. D'autres capteurs mesurent en même temps la valeur de l'enfoncement de la pointe.



- Pénétrogramme d'essai -
 q_d [MPa] suivant la profondeur [m]



- (D) Avec un marteau de 1,5 kg, pour fournir une énergie de 75 J en tête de l'appareil, il faut atteindre l'impact à la vitesse de 7 m/s.
- (E) A un niveau donné, le Panda équipé d'une pointe ayant une section de 4 cm², enregistre un coup de marteau (de masse 1,5 kg) à la vitesse de 9,5 m/s et affiche $q_d = 16,5$ MPa. La masse frappée étant ici de 6 kg, on peut en déduire que ce choc a produit un enfoncement de 2 mm.

QUESTION 10

L'instrumentation et les méthodes d'essai dans le domaine de l'acoustique du bâtiment ont beaucoup évolué ces dernières années, répondant aux exigences de plus en plus élevées en matière de confort.

L'isolement acoustique aux bruits aériens entre locaux peut être exprimé, selon les normes actuelles (NF EN ISO) par plusieurs grandeurs liées. Ces grandeurs sont déterminées par bandes de fréquences, à partir des mesures de niveau de pression acoustique dans un local d'émission (niveau L_1) et dans un local de réception (niveau L_2). Nous allons nous intéresser à quelques unes de ces grandeurs.

- (A) Parmi les grandeurs permettant d'exprimer la performance d'un élément de paroi, l'indice d'affaiblissement acoustique - R exprimé en décibels - est égal à dix fois le logarithme décimal du rapport de la puissance acoustique incidente sur un échantillon à la puissance acoustique transmise par l'échantillon.
- (B) Un bruit « rose » est un bruit de référence utilisé en émission aérienne pour caractériser les performances des parois entre locaux de bâtiment. Le niveau spectral d'un bruit rose est plus important dans les fréquences graves (125 Hz – 250 Hz) que dans les fréquences aiguës.
- (C) L'isolement acoustique normalisé (D_n) s'obtient à partir des mesures de niveau de pression acoustique dans le local d'émission et dans le local de réception ; il prend aussi en compte l'aire d'absorption acoustique équivalente (A) dans le local de réception, par rapport à l'aire d'absorption acoustique équivalente de référence $A_0 = 10 \text{ m}^2$.
- (D) L'isolement acoustique standardisé (D_{nT}) s'obtient à partir des mesures de niveau de pression acoustique dans le local d'émission et dans le local de réception ; il prend aussi en compte la durée de réverbération (T) dans le local de réception, par rapport à une durée de réverbération de référence $T_0 = 1 \text{ s}$ pour les habitations.

L'indice d'affaiblissement acoustique apparent d'une paroi de séparation d'aire S_s (m^2) peut être déterminé à partir de mesures d'après l'équation suivante :

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(S_s/A)$$

L'isolement acoustique standardisé entre un local d'émission et un local de réception dont la durée de réverbération est T (s), peut être déterminé à partir de mesures d'après l'équation suivante :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(T/T_0)$$

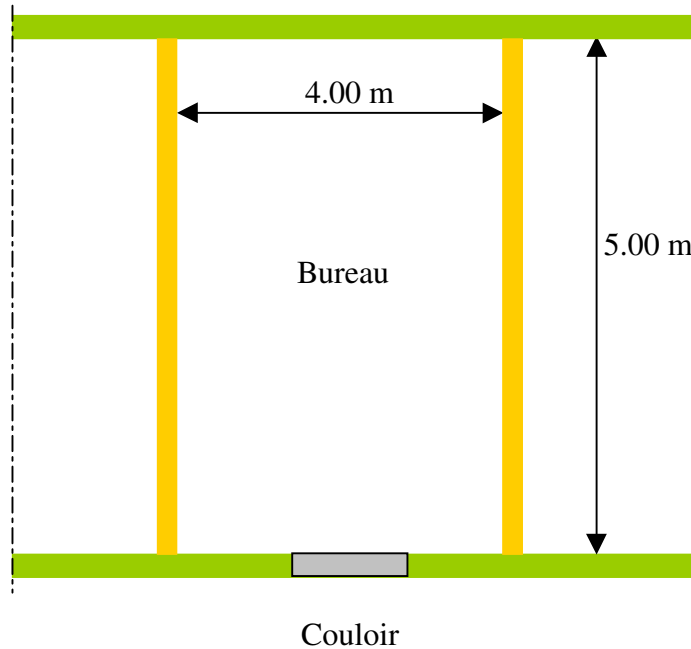
- (E) En considérant les expressions rappelées ci-dessus, on peut en déduire que :

$$D_{nT} = R' - 6 + 10 \cdot \log(V/S_s)$$

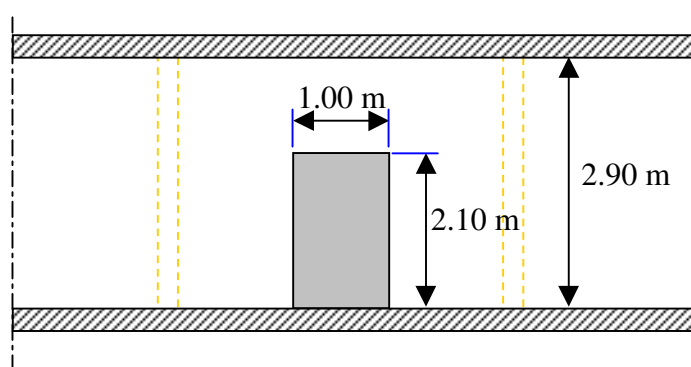
V étant le volume du local exprimé en mètres cubes.

QUESTION 11

Considérons un bureau séparé d'un couloir par une cloison comportant une porte. Les dimensions sont indiquées sur le schéma ci-dessous. On étudie l'isolement acoustique aux bruits aériens émis dans le couloir.



Vue en plan



Élévation

On mesure simultanément par bandes d'octave :

- L_1 , le niveau de pression acoustique dans le local d'émission (couloir) ;
- L_2 , le niveau de pression acoustique dans le local de réception (bureau) ;
- T , la durée de réverbération dans le local de réception.

Les valeurs obtenues sont données dans le tableau ci-dessous :

Bandes d'octave [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L_1 [dB]	62	74	82	77	72	60
L_2 [dB]	40	39	42	35	30	30
T [s]	1,1	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4

(A) Si l'on définit l'isolement acoustique « brut » comme étant la différence des niveaux de pression acoustique entre local d'émission et local de réception, entre le couloir et le local bureau, l'isolement brut global est ici compris entre 45 et 50 dB.

(B) Sachant que l'indice d'affaiblissement acoustique apparent entre locaux s'obtient par la relation :

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(S_s/A)$$

Avec A = l'aire d'absorption acoustique équivalente dans le local de réception,
 S_s = l'aire de la surface de l'élément de séparation entre local d'émission et local de réception.

Pour la paroi (mur + porte) séparant le bureau du couloir on obtient :

Bandes d'octave [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
R' [dB]	23,38	35,00	38,75	40,75	38,99	26,99

(C) Testé individuellement, le mur constituant la paroi séparant le bureau du couloir possède les performances ci-dessous :

Bandes d'octave [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
R _{mur} [dB]	40	35	42	50	59	67

On peut alors en déduire l'indice d'affaiblissement de la porte en place, pour la bande d'octave à 2000 Hz ; on trouve un indice d'affaiblissement inférieur à 30 dB.

(D) On veut remplacer la porte existante par une porte plus isolante ayant les caractéristiques suivantes :

Bandes d'octave [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
R _{nouvelle porte} [dB]	25	28	35	40	40	45

Pour la paroi séparant le bureau du couloir, ainsi équipée, l'indice d'affaiblissement acoustique sur la bande d'octave à 1000 Hz est amélioré de plus de 6 dB.

(E) La pose de la nouvelle porte laisse en fait subsister un « jour » d'un millimètre en partie basse (sur toute la largeur). Par rapport à la performance que l'on aurait atteint si le montage avait été « étanche », la perte d'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi dépasse 10% sur la bande d'octave à 1000 Hz.

Notons que l'aire du « jour » vient en déduction de l'aire de la porte.

QUESTION 12

On considère un réseau de chauffage dont l'équation caractéristique est :

$$P = 0,09375.Q^2$$

Dans cette expression, P représente la perte de charge du réseau (exprimée en kPa) en fonction du débit d'eau (Q en m³/h).

Pour assurer la circulation du fluide caloporteur (eau chaude), on utilise un modèle de pompe (circulateur) dont l'équation caractéristique est :

$$H = - 0,03125.Q^2 + 50$$

Dans cette expression, H est la hauteur manométrique de la pompe (exprimée en kPa) en fonction du débit d'eau (Q en m³/h).

Hypothèse :

On négligera ici la perte de charge induite sur le réseau par les raccordements de pompes.

- (A) Si on connecte une pompe au réseau de chauffage, le débit circulant dans cette installation sera de 20 m³/h.
- (B) En associant deux pompes identiques en parallèle (modèle défini dans l'énoncé), on pourra obtenir un débit de 25 m³/h dans ce réseau.
- (C) Avec deux pompes identiques montées en série sur ce même réseau de chauffage, la hauteur manométrique obtenue pour un débit d'eau de 25 m³/h est de 30,47 kPa.
- (D) Suite à une modification de l'installation de chauffage (rajout d'émetteurs de chaleur), l'équation caractéristique du réseau devient :

$$P' = 0,12.Q^2$$

Dans cette expression, P' représente la perte de charge du réseau (exprimée en kPa) en fonction du débit d'eau (Q en m³/h).

Le débit d'eau circulant dans le réseau, sur lequel deux pompes identiques sont montées en parallèle, est inférieur à 20 m³/h.

- (E) Sur l'installation de chauffage telle que définie dans l'item précédent (avec deux pompes montées en parallèle), on ajoute une vanne dont l'équation caractéristique est :

$$P_v = 0,0231.Q^2$$

Dans cette expression, P_v représente la perte de charge de la vanne (exprimée en kPa) en fonction du débit d'eau (Q en m³/h).

Le débit circulant maintenant dans cette installation sera de 18,2 m³/h.

- FIN -