

BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS

- SESSION 2002 -

**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

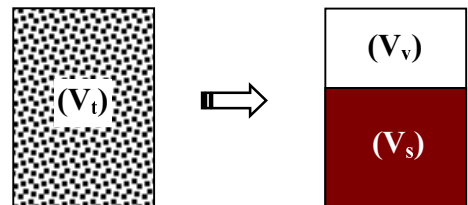
Tout projet de construction nécessite la connaissance du site d'implantation, non seulement sur le plan environnemental, mais aussi en terme de comportement mécanique des couches de sol en présence.

Une couche de sol étant un milieu granulaire, on y distingue communément le « squelette solide » (ensemble des grains) et les vides interstitiels plus ou moins saturés d'eau.

Pour un échantillon donné, rappelons quelques définitions :

- indice des vides $e = \text{volume des interstices } (V_v) / \text{volume du squelette } (V_s)$,
- porosité $n = \text{volume des interstices } (V_v) / \text{volume total } (V_t)$,
- teneur en eau (en %) $w = 100 \times \text{poids de l'eau contenue dans l'échantillon } (P_w) / \text{poids du squelette de cet échantillon } (P_s)$.

La représentation schématique ci-contre traduit la répartition volumique de l'ensemble des grains et des espaces interstitiels d'un échantillon de sol.



Le poids volumique (apparent) d'un échantillon de sol sera noté γ , celui de son squelette sera noté γ_s ; pour le poids volumique de l'eau interstitielle on prend $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

- (A) L'expression « marne argileuse » désigne une couche de terrain dont la taille des grains est majoritairement inférieure à $2 \mu\text{m}$ et dont le taux de minéraux calcaires est de 10 à 30% (teneur en carbonate de calcium).
- (B) Pour un échantillon dont l'indice des vides est de 0,70 la porosité sera de 0,30.
- (C) Sur une marne argileuse saturée en eau (l'eau occupant la totalité des vides intergranulaires) on a mesuré $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$. On peut en déduire que l'indice des vides est égal à 0,70.
- (D) Pour cette même marne argileuse la teneur en eau est alors de 30%.
- (E) Le poids volumique de cette couche située sous le niveau de la nappe phréatique est égal à 17 kN/m^3 (il s'agit de son poids volumique « déjaugé »).

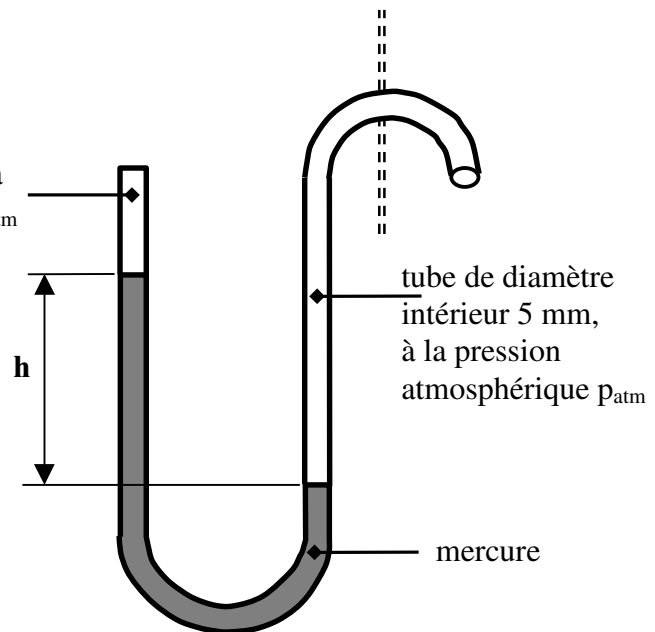
QUESTION 2

Application de la statique des fluides : principe de mesure de la hauteur d'eau dans les grands réservoirs, à l'aide d'un appareil de type baromètre à mercure.

Le baromètre à mercure permet de mesurer de légères surpressions ou dépressions par rapport à la pression atmosphérique, par mesure de différences de niveaux dans la colonne enfermant le mercure.

Rappel de quelques caractéristiques :

- masse volumique du mercure : 13600 kg/m^3 ,
 - masse volumique de l'air : $1,2 \text{ kg/m}^3$,
 - accélération de la pesanteur : $g = 9.81 \text{ m/s}^2$,
 - pression atmosphérique : $p_{\text{atm}} = 101300 \text{ Pa}$.
- vide partiel à la pression $p \leq p_{\text{atm}}$



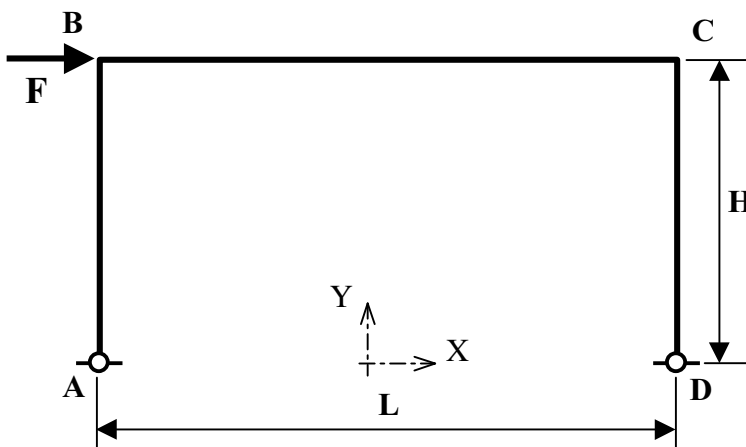
Ces données seront considérées comme des constantes locales.

- (A) Si h est exprimé en mètres et p en Pascals, la relation entre ces deux paramètres peut s'écrire dans notre cas : $p = 101300 - 133416.h$
- (B) Dans le cas où $p = 0 \text{ Pa}$ (vide parfait), si l'on doublait le diamètre intérieur du tube, h serait divisée par deux.
- (C) En considérant encore $p = 0 \text{ Pa}$ (vide parfait), si l'on remplaçait le mercure par de l'eau, nous aurions $h = 10,3 \text{ m}$.
- (D) Le tube contenant du mercure, la branche « ouverte » est maintenant immergée dans un grand réservoir d'eau dont la surface libre est à la pression atmosphérique. Un relevé de mesures nous indique que $p = 0,2.p_{\text{atm}}$ et $h = 1,24 \text{ m}$.
Nous en déduisons que la surface libre du stockage d'eau se situe à $8,6 \text{ m}$ au-dessus de l'interface eau/mercure.
- (E) Le tube reste dans la situation décrite ci-dessus, le niveau d'eau dans le réservoir étant stabilisé. A l'extrémité « obturée » du tube, un défaut d'étanchéité à l'air se traduira par une augmentation de h .

QUESTION 3

Considérons le portique simple représenté ci-dessous. Les poteaux AB et CD sont parfaitement articulés en pieds à leur support (en A et D), et liés rigidement en tête à la traverse BC.

Les trois éléments de cette structure plane sont constitués d'un matériau dont le comportement est élastique et linéaire.



Les charges seront appliquées dans le plan du portique (X,Y).

$[X_A ; Y_A]$ et $[X_D ; Y_D]$ sont les composantes des actions d'appui, dans le repère global (X,Y).

I_p = Inertie de flexion des poteaux

I_t = Inertie de flexion de la traverse

On notera : $k = (H.I_t)/(L.I_p)$

Nous étudions l'effet d'une charge horizontale d'intensité F , localisée en B : $\vec{F} = F \cdot \vec{X}$.

(A) Cette structure est isostatique.

(B) Les composantes horizontales des actions d'appui sont alors :

$$X_A = X_D = - F/2.$$

(C) Si $L = 4H$, les composantes verticales des actions d'appui auront pour valeur :

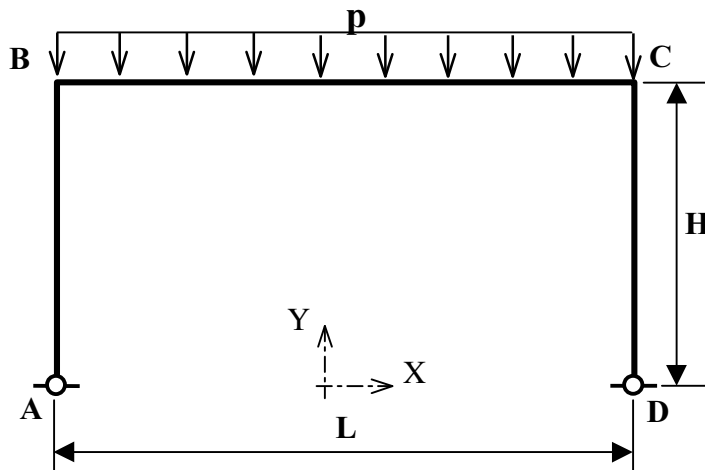
$$Y_A = Y_D = 0,25 F.$$

(D) La traverse subit un effort normal de compression d'intensité égale à F .

(E) Le moment fléchissant est nul au milieu de la traverse.

QUESTION 4

Le portique précédent est maintenant soumis à une charge verticale uniformément répartie le long de la traverse BC, de taux linéique p .



Comme dans la question précédente, on notera :

I_p = Inertie de flexion des poteaux

I_t = Inertie de flexion de la traverse

$$\text{et } k = (H.I_t)/(L.I_p).$$

Le moment fléchissant en tête de poteau est alors égal, en valeur absolue, à :

$$pL^2 / 4(2k+3).$$

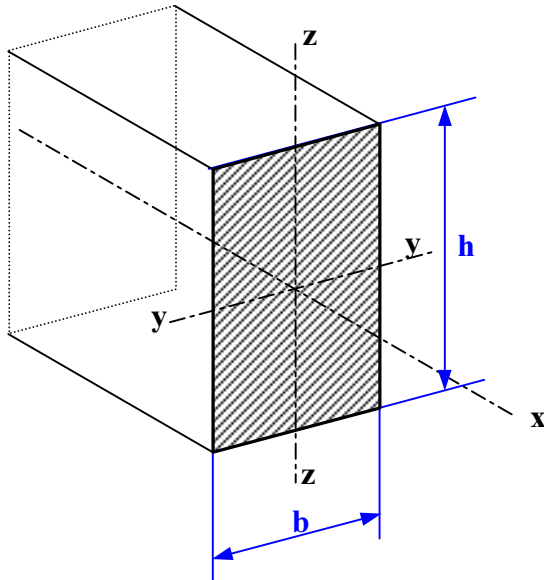
- (A) L'effort normal dans la traverse est nul.
- (B) Sous ce chargement, les fondations des pieds de poteaux auront tendance à s'écarter.

Pour ce qui suit nous considérons que $L = 4H$.

- (C) Les composantes horizontales des actions d'appui sont égales, en valeur absolue, à :
 $pH / (2k+3)$.
- (D) Si les poteaux et la traverse ont la même inertie de flexion ($I_p = I_t$), le moment fléchissant au milieu de la traverse a pour intensité :
 $3pH^2/4$.
- (E) Le moment fléchissant au milieu de la traverse aura même intensité que dans les sections d'extrémités (liaisons traverse-poteaux) si l'inertie de flexion de la traverse est le double de celle du poteau ($I_t = 2I_p$).

QUESTION 5

Déformations et contraintes dans une section de poutre fléchie.

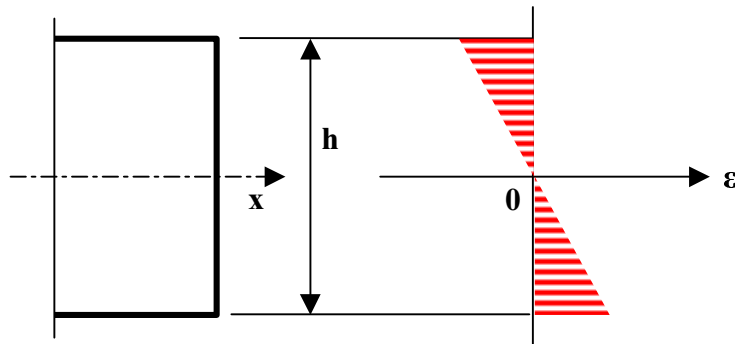


Une poutre rectiligne, de section rectangulaire ($b \times h$, avec $h > b$) est soumise à un moment fléchissant M_y suivant son axe de « forte inertie » - cf. le schéma ci-contre.

L'axe x correspond à la « ligne moyenne de la poutre, les axes y et z sont les axes principaux d'inertie de la section :

- y - y : axe de « forte inertie »
- z - z : axe de « faible inertie »

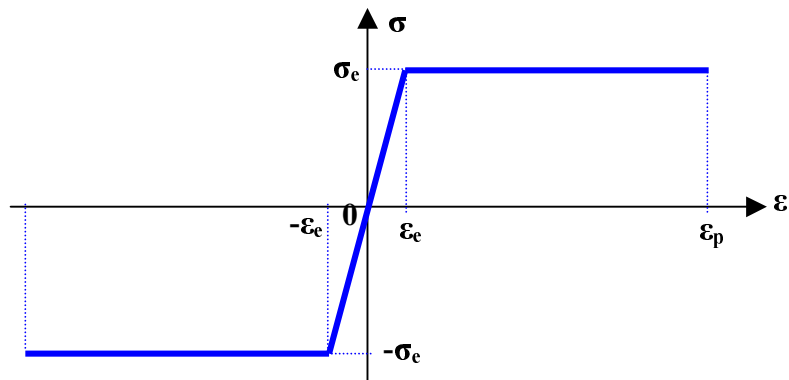
Le moment de flexion induit dans la section une répartition des déformations conforme à l'hypothèse de Bernoulli.



Ce diagramme représente la distribution des déformations, dans le plan ($z ; x$), sous l'effet du moment fléchissant M_y .

On notera $M_{e,y}$ la valeur particulière du moment de flexion pour laquelle la déformation suivant l'axe x , des points de la section les plus éloignés de l'axe y - y , est égale à ϵ_c .

Cette poutre est constituée d'un matériau homogène et isotrope, dont la loi de comportement en traction (pour $\sigma > 0$) et en compression (pour $\sigma < 0$) est modélisée par le diagramme σ - ϵ (contrainte normale - déformation axiale) représenté ci-contre.



Ce diagramme traduit un comportement *élastique – plastique parfait* du matériau.

/...

/...

- (A) Dans une section sollicitée par un moment d'intensité $M_{e,y}$, la contrainte normale en tout point situé à une distance de $0,25 h$ par rapport à l'axe $y-y$, est égale à $0,25 \sigma_e$.
- (B) Si la sollicitation de flexion est telle qu'en tout point situé à une distance de $0,25 h$ par rapport à l'axe $y-y$, la déformation suivant l'axe x est égale ϵ_e , aux points les plus éloignés de l'axe $y-y$ la déformation suivant l'axe x atteindra $2 \epsilon_e$.
- (C) Avec les dimensions suivantes : $b = 12 \text{ mm}$ et $h = 100 \text{ mm}$, nous aurons $M_{ye} = 20 \sigma_e$.
Dans cette relation, le moment est exprimé en [N.m] et la contrainte en [MPa].
- (D) Pour une sollicitation $M_y = 1,375 M_{e,y}$ la moitié de la section sera « plastifiée ».
Rappel : dans toute l'étendue d'une zone plastifiée, la déformation suivant l'axe x dépasse la valeur ϵ_e .
- (E) Avec les dimensions données à l'item C, et pour un moment sollicitant $M_y = 26 \sigma_e$ (dans cette relation, le moment est encore exprimé en [N.m] et la contrainte en [MPa]), la hauteur totale de la zone non plastifiée est inférieure à 60 mm .

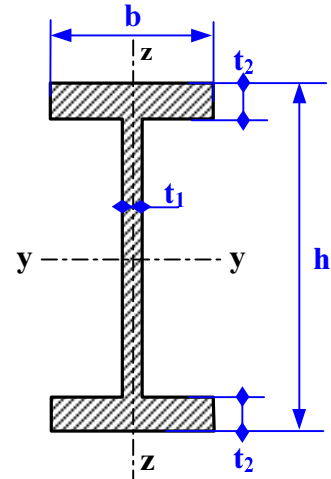
QUESTION 6

Déformations et contraintes dans une section de poutre fléchie – suite (question cependant indépendante de la précédente).

La poutre rectiligne étudiée ici a une section définie par le schéma ci-contre. Elle est soumise à un moment fléchissant M_y suivant son axe de « forte inertie » (y-y).

Cette poutre est constituée d'un acier dont la loi de comportement en traction (pour $\sigma > 0$) et en compression (pour $\sigma < 0$) est modélisée par le même diagramme σ - ε (contrainte normale - déformation axiale) que dans la question précédente.

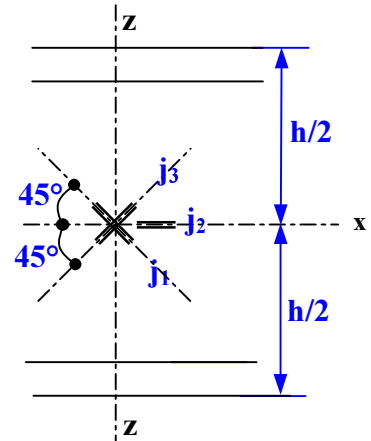
On considère que l'épaisseur de l'âme (t_1), ainsi que celle des semelles (t_2), est suffisante pour éviter tout risque de voilement local sous l'effet d'un moment de flexion.



- (A) Sous l'effet du moment M_y , et quelle que soit sa valeur, la distribution des contraintes normales dans la section présente une discontinuité au niveau de la jonction âme – semelle.

- (B) Des jauges de déformation (j_1, j_2, j_3) sont collées sur les faces latérales de l'âme selon la disposition définie par le schéma ci-contre.

Dans une partie de la poutre sollicitée en flexion pure, les déformations enregistrées à partir de ces jauges sont nulles dans les trois directions ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$).



- (C) Sachant que dans la section, si la déformation maximale suivant l'axe x ne dépasse pas la valeur correspondant à la limite élastique ($\varepsilon_{\max} \leq \varepsilon_e$), on peut calculer la contrainte normale maximale à partir de l'expression :

$$\sigma_{\max} = |M_y| / W_{el,y},$$

dans le cas où les caractéristiques géométriques de la section étudiée sont telles que :

$$b = 20 t_1 ; h = 40 t_1 ; t_2 = 1,5 t_1,$$

$$\text{nous aurons : } W_{el,y} = k_e t_1^3, \text{ avec } 1300 < k_e < 1400.$$

- (D) Compte tenu de la loi de comportement de l'acier utilisé, le moment fléchissant que peut transmettre une telle section supposée totalement « plastifiée » ne peut dépasser la valeur limite :

$$M_{pl,y} = W_{pl,y} \sigma_e \text{ avec,}$$

/...

/...

dans le cas où les caractéristiques géométriques de la section étudiée sont telles que :

$$b = 20 t_1 ; h = 40 t_1 ; t_2 = 1,5 t_1,$$

nous aurons : $W_{pl,y} = k_p t_1^3$, avec $1500 < k_p < 1600$.

(E) La section considérée maintenant est celle d'une poutrelle laminée de la gamme européenne. Ses caractéristiques sont :

$$W_{el,y} = 1156,4 \text{ cm}^3 ; W_{pl,y} = 1307,1 \text{ cm}^3$$

limite élastique de l'acier $\sigma_e = 420 \text{ N/mm}^2$

module d'Young $E = 210000 \text{ N/mm}^2$.

Si le moment sollicitant la section a pour valeur $M_y = 400 \text{ kN.m}$, alors la déformation maximale dans cette section, suivant l'axe x, sera égale à $1,6 \times 10^{-3}$.

QUESTION 7

En avril 2000, les pays membres de la communauté européenne ont adopté la norme EN 197-1 qui définit les caractéristiques des ciments courants. Cette norme a été homologuée en tant que norme française en février 2001, elle remplacera la norme NF P 15-301 de juin 1994. Jusqu'au 1^{er} avril 2002 le marquage de conformité apposé par les fabricants de ciments (NF ou CE) pourra faire référence à l'un ou l'autre des documents.

Les items qui suivent portent sur les éléments communs aux deux normes.

- (A) Le clinker est le matériau hydraulique de base entrant dans la composition des ciments ; il est essentiellement constitué de silicates de calcium, d'oxyde d'aluminium et d'oxyde de fer.
- (B) Un ciment Portland de désignation normalisée CEM I est constitué d'au moins 90% de clinker (pourcentage en masse).
- (C) Un ciment Portland qui contient 20% de laitier de haut fourneau est qualifié de ciment Portland composé (désignation normalisée CEM II).

Les fabricants des ciments bénéficiant de la certification NF ou CE doivent effectuer des contrôles périodiques sur la base de critères statistiques de conformité. Pour un ciment de classe de résistance 42,5 la conformité sera vérifiée si – pour les résultats d'essais effectués à 28 jours conformément à la norme EN 196-1 – les exigences suivantes sont satisfaites :

- $R_{c \text{ moy}} - k_{A5} \cdot s \geq 42,5 \text{ MPa}$ (1)
- $R_{c \text{ moy}} + k_{A10} \cdot s \leq 62,5 \text{ MPa}$ (2)
- $R_{c \text{ min}} \geq 40,0 \text{ MPa}$ (3)

où, au cours de la période de contrôle :

$R_{c \text{ moy}}$ est la moyenne arithmétique des résultats obtenus sur l'ensemble des essais de résistance en compression.

$R_{c \text{ min}}$ est la valeur minimale des résultats obtenus sur l'ensemble des essais de résistance en compression.

s est l'écart type des résultats obtenus sur l'ensemble des essais de résistance en compression.

k_A est la constante d'acceptabilité (k_{A5} et k_{A10} respectivement pour les percentiles 5% et 10%), fonction du nombre de résultats d'essais.

Une série d'éprouvettes prismatiques normalisées (de section 40 mm x 40 mm), a été confectionnée avec un ciment CEM I 42,5. Les charges de rupture obtenues lors de 20 essais en compression effectués à 28 jours sont les suivantes (valeurs exprimées en kN) :

68,2	71,5	75,0	75,4	70,8	69,5	65,6	67,0	70,5	72,3
68,4	69,3	73,0	71,2	68,6	70,3	72,7	74,1	70,6	70,9

- (D) D'après ces résultats, nous obtenons ici $R_{c \text{ min}} = 41,0 \text{ MPa}$ et $R_{c \text{ moy}} = 46,2 \text{ MPa}$.
- (E) Sachant qu'ici $k_{A5} = 2,40$ et $k_{A10} = 1,93$ le contrôle effectué nous permet de conclure que les performances obtenues sont conformes aux exigences spécifiques au marquage du ciment utilisé.

QUESTION 8

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et le Laboratoire National d'Essais (LNE) ont établi une procédure de certification des produits isolants destinés au bâtiment (certification ACERMI). Les certificats ACERMI permettent aux utilisateurs d'effectuer un choix optimal sur la base des caractéristiques d'aptitude à l'emploi annoncées.

On considère généralement qu'un produit destiné au bâtiment peut être défini comme isolant thermique si sa résistance thermique est au moins égale à $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ et si sa conductivité thermique ne dépasse pas $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Outre leur résistance thermique, la caractérisation de ces produits porte en particulier sur leurs propriétés mécaniques (en compression, traction, flexion) et leur comportement à l'eau.

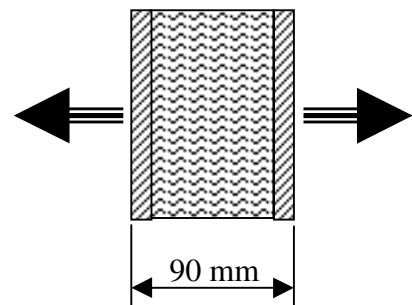
A titre d'exemple, un panneau certifié de polystyrène expansé contrecollé en usine à deux plaques de plâtre, pourra être utilisé en isolation intérieure de mur de façade si sa résistance à la traction perpendiculaire est au moins égale à $0,05 \text{ MPa}$ et son allongement à la rupture supérieur à 1% .

- (A) Le polystyrène expansé utilisé en bâtiment a une masse volumique inférieure à $50 \text{ kg}/\text{m}^3$ et une conductivité thermique de l'ordre de $0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.
- (B) Une plaque de polystyrène expansé d'épaisseur 15 mm peut être considérée comme étant un produit isolant thermique selon la définition donnée plus haut.
- (C) Un essai de traction effectué sur un échantillon de panneau de polystyrène-plâtre du commerce (cf. schéma ci-contre), d'épaisseur 9 cm , a donné les résultats suivants :

$F_{\text{rupture}} = 60 \text{ N}$; épaisseur après rupture = 93 mm ,
pour un échantillon de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$.

Ce panneau pourra donc être utilisé sans problème en isolation intérieure de mur de façade.

- (D) Pour une isolation de plancher, un produit isolant hydrophile, non compressible, sera conseillé sous un revêtement de sol rigide de type carrelage.
- (E) La perméance à la vapeur d'eau n'est jamais un critère de choix d'un produit pour l'isolation d'une paroi de bâtiment.



QUESTION 9

Depuis le 1^{er} juin 2001, de nouveaux textes définissant ce que doivent être les performances énergétiques des bâtiments sont en application (pour les bâtiments neufs) sous le nom de RT 2000 (réglementation thermique 2000).

Nous allons nous intéresser à quelques points clés qui constituent autant de critères de bonne conception de l'enveloppe et des équipements de bâtiment.

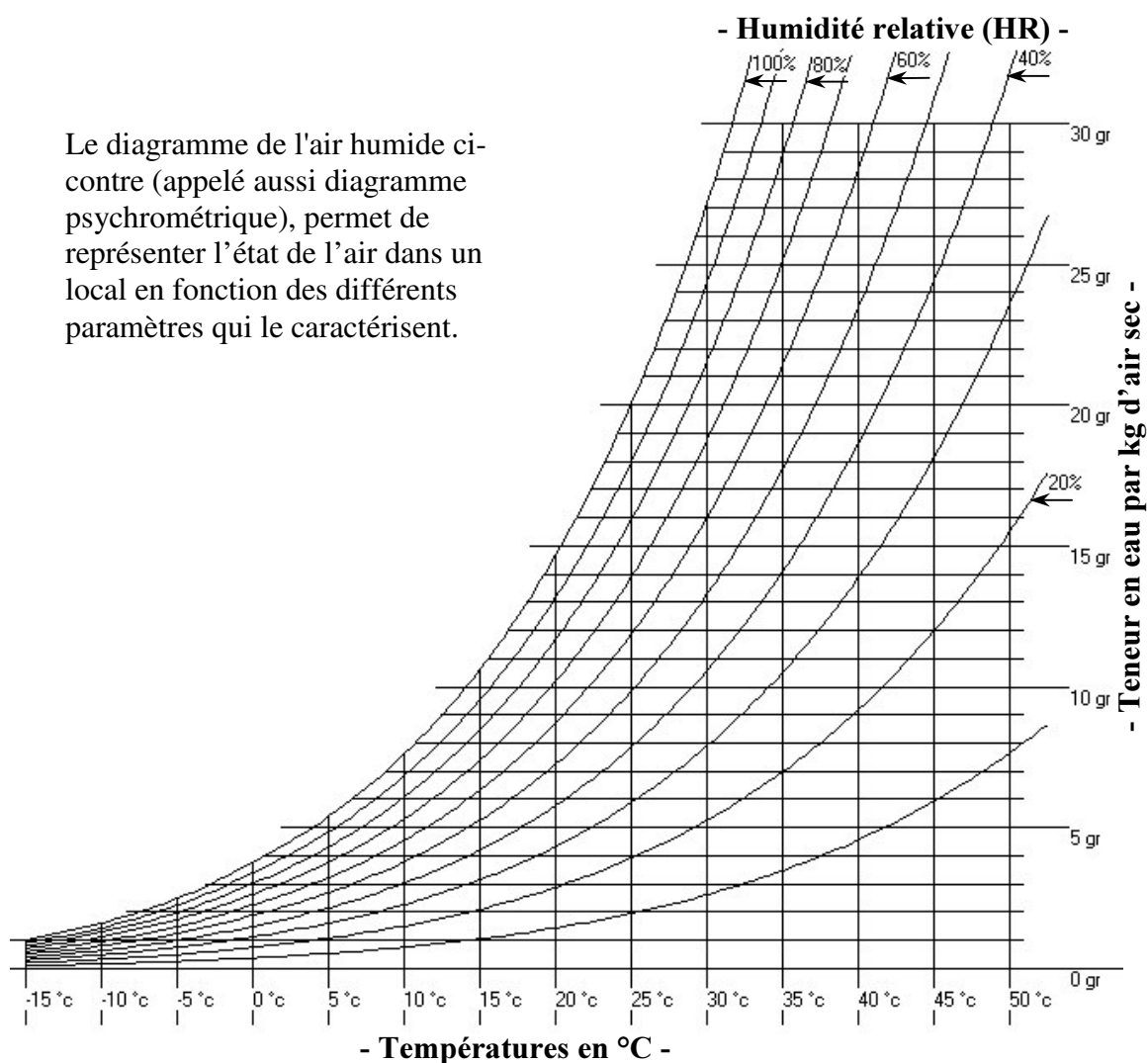
- (A) La RT 2000 ne concerne que les bâtiments résidentiels. Ne sont pas pris en compte les autres types de bâtiments (bureaux, commerces...).
- (B) Dans cette réglementation, le coefficient $U_{\text{bât}}$ est le coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois déperditives séparant le volume chauffé du bâtiment, de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés.
Sa détermination fait l'objet des *Règles Th-U*.
- (C) Une paroi de 25 m², dont $U_{\text{bât}} = 0,4$ [unité S.I.], est placée entre un local maintenu à 19°C et l'air extérieur à -5°C. En régime stationnaire, la déperdition thermique au travers de cette paroi sera de 240 W.
- (D) Pour respecter la RT 2000, un bâtiment neuf devra satisfaire, en particulier, les exigences suivantes :
- Sa consommation conventionnelle d'énergie devra être inférieure ou égale à une consommation d'énergie de référence calculée en fonction de caractéristiques thermiques de référence (isolation, chauffage...), soit : $C \leq C_{\text{réf}}$.
 - Les caractéristiques de l'isolation thermique des parois, ainsi que les caractéristiques des équipements de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, d'éclairage, de climatisation et les protections solaires, devront présenter des performances minimales. Ces gardes fous signifient que certains produits seront interdits sur le marché de la construction parce que leurs performances ne sont pas suffisantes par rapport aux objectifs de la RT 2000.
- (E) Les *Règles Th-E* ont pour objet de donner la méthode de calcul de la température intérieure conventionnelle maximale (T_{ic}) des locaux et de la température intérieure de référence ($T_{ic_{\text{réf}}}$) associée, afin de vérifier : $T_{ic} \leq T_{ic_{\text{réf}}}$.
-

QUESTION 10

L'humidité ambiante ayant une influence sur la durabilité des matériaux de construction ainsi que sur les performances thermiques des parois, nous allons caractériser l'ambiance hygrothermique d'un local maintenu à la température T_i , où V est le volume d'air, et p la pression.

Si dans le local l'humidité relative (ou degré d'hygrométrie) est inférieure à 100%, on considère que la masse d'air en présence (m) est constituée d'une quantité d'air sec (m_{as}) à la pression partielle p_{as} et d'une quantité d'eau sous forme de vapeur (m_v) à la pression partielle p_v .

Le diagramme de l'air humide ci-contre (appelé aussi diagramme psychrométrique), permet de représenter l'état de l'air dans un local en fonction des différents paramètres qui le caractérisent.



(A) Un local où $T_i = +10^\circ\text{C}$ et $HR = 95\%$ contient plus de vapeur d'eau qu'un local de même volume où $T_i = +35^\circ\text{C}$ et $HR = 50\%$.

/...

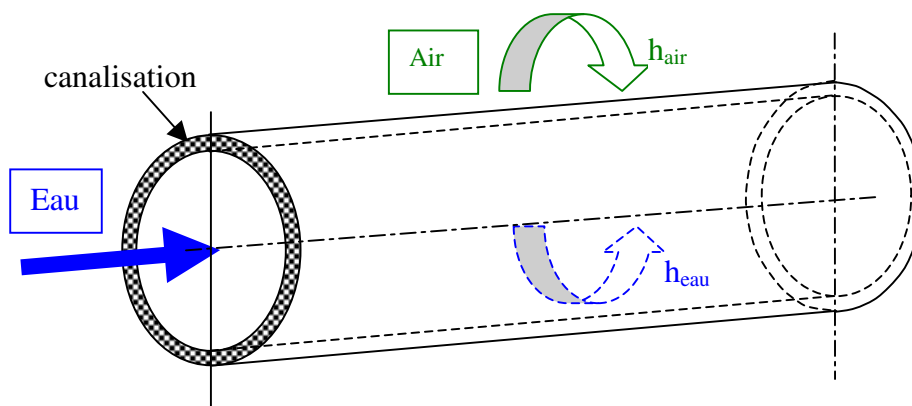
/...

- (B) Dans un local maintenu à température constante et dépourvu de système de renouvellement d'air, si à l'instant t_1 nous avons une quantité de vapeur d'eau m_{v1} et à l'instant t_2 une quantité de vapeur d'eau m_{v2} telle que $m_{v2} > m_{v1}$, alors $p_{v2} > p_{v1}$.
- (C) Une paroi verticale délimitant le local comporte un vitrage simple dont la résistance thermique totale est de $0,174 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Les coefficients d'échanges surfaciques (prenant en compte les transferts convectifs et radiatifs) relatifs aux parements intérieur et extérieur valent respectivement $7,69$ et $25,00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
La conductivité thermique du verre étant de $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, le vitrage utilisé a donc une épaisseur de 4 mm .
- (D) A l'intérieur du local $T_i = +20^\circ\text{C}$; à l'extérieur $T_e = -7^\circ\text{C}$. En régime stationnaire, le flux thermique surfacique traversant le vitrage défini ci-dessus, est supérieur à $150 \text{ W}/\text{m}^2$.
- (E) Sachant que la résistance superficielle du parement intérieur de ce vitrage est de $0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, dans les conditions de l'item précédent, avec à l'intérieur du local $\text{HR} = 50\%$, nous n'aurons pas de risque de condensation sur la surface vitrée.
-

QUESTION 11

Échanges thermiques par convection naturelle ou convection forcée.

On considère une canalisation de chauffage dans laquelle circule de l'eau à 60°C. La température de la paroi de la canalisation est 40°C. Le diamètre intérieur de la canalisation est de 20 mm.



Nota Bene :

Bien que ne faisant pas partie des sujets classiquement abordés en BTS/DUT des différentes filières orientées « structures », l'étude proposée ici comporte suffisamment d'informations pour que tous les candidats puissent la traiter.

Propriétés physiques des fluides en présence :

- Eau : $\nu = 0,0477 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\rho = 985,4 \text{ kg}/\text{m}^3$;
 $\lambda = 0,651 \text{ W}/(\text{m.K})$; $C_p = 4184 \text{ J}/(\text{kg.K})$.
- Air : $\nu = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\rho = 1,177 \text{ kg}/\text{m}^3$;
 $\lambda = 0,0262 \text{ W}/(\text{m.K})$; $C_p = 1006 \text{ J}/(\text{kg.K})$.

Ces propriétés sont considérées comme étant constantes dans les conditions de température de notre étude.

Paramètres adimensionnels :

- Nombre de Reynolds : $Re = v \cdot D_h / \nu$
 $\nu = \mu / \rho$, viscosité cinématique [m^2/s]
 $\mu =$ viscosité dynamique [Pa.s ou $\text{kg}/(\text{m.s})$]
En convection forcée, ce nombre caractérise l'écoulement (laminaire ou turbulent) ; il représente le rapport des forces d'inertie sur les forces de viscosité.
- Nombre de Prandtl : $Pr = \mu \cdot C_p / \lambda$
Ce nombre caractérise la viscosité de l'écoulement.
- Nombre de Grashof : $Gr = g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot \rho^2 \cdot D_h^3 / \mu^2$
 $\beta = 1/T$; T = température de l'air en Kelvin /...

/...

ΔT = écart de température fluide-paroi

Ce nombre est utilisé en convection naturelle.

- Nombre de Nusselt : $N_u = h \cdot D_h / \lambda$

Ce nombre caractérise le rapport du flux échangé par convection sur le flux échangé par conduction ; il s'utilise pour calculer le coefficient d'échange convectif (h).

En convection naturelle : $N_u = 0,54 (P_r \cdot G_r)^{0,25}$

En convection forcée :

$N_u = 0,021 R_e^{0,8} \cdot P_r^{0,43}$ pour l'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'un tube,

$N_u = 0,59 R_e^{0,47} \cdot P_r^{0,38}$ pour l'écoulement d'un fluide autour d'un tube.

Dans les expressions de tous ces paramètres, D_h représente le « diamètre hydraulique ». Selon le cas, il s'agit soit du diamètre intérieur de la canalisation (pour l'étude de l'écoulement dans le tube), soit de son diamètre extérieur (pour l'étude de l'écoulement autour du tube).

(A) L'eau circule au moyen d'une pompe, avec une vitesse de 2 m/s. Le coefficient d'échange par convection entre l'eau et la paroi est (arrondi ici à l'unité) :

$$h_{\text{eau int}} = 9551 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

(B) Si l'on augmente la vitesse de l'eau qui circule (par exemple, en faisant varier la vitesse de la pompe), en portant le débit d'eau à $q_m = 1,47 \text{ kg/s}$, le coefficient d'échange par convection entre l'eau et la paroi devient supérieur à $19000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

(C) La canalisation est placée dans de l'air à température de 20°C . Le diamètre extérieur de cette canalisation est de 23 mm. Le coefficient d'échange par convection naturelle entre l'air et la paroi ($h_{\text{air ext}}$) est inférieur à $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

(D) La canalisation étant en cuivre de conductivité thermique $\lambda = 400 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, la résistance thermique équivalente de la paroi vaut $R = 0,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. On se placera dans le cas où la vitesse de l'eau est 2 m/s (cf. item A).

(E) A la place de l'eau, si on choisit de propulser de l'air (à 20°C) au moyen d'un ventilateur (principe d'un aérotherme) à une vitesse de 5 m/s, le coefficient d'échange par convection entre l'air et la paroi intérieure du tube devient $h = 2,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

QUESTION 12

Propagation d'ondes acoustiques. Étude d'une source sonore de puissance 80 W, omnidirectionnelle (facteur de directivité $Q = 1$), placée en champ libre (par exemple en extérieur).

Cette source est à l'origine d'ondes de pression dont la propagation est supposée de type sphérique. L'étude est menée pour une bande d'octave donnée (par exemple 1000 Hz).

Rappel de quelques valeurs de référence :

- puissance minimale de référence $W_0 = 10^{-12}$ W
- pression minimale de référence $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa

(A) Le niveau de puissance sonore de la source est $L_w = 139$ dB.

(B) En l'absence de champ réverbéré, l'équation donnant le niveau de pression acoustique L_p (dB), à la distance r (m) de la source est :

$$L_p \text{ (dB)} = 139 + 10 \cdot \log(0,08 \cdot r^2)$$

(C) Avec cette source sonore, et dans les conditions de l'étude, on enregistrera un niveau de pression acoustique de 80 dB si l'on se place à une distance de 300 m.

(D) Si la source est placée au niveau du sol (on prendra alors un facteur de directivité $Q = 2$), la distance à laquelle $L_p = 80$ dB dépasse $r = 350$ m.

(E) Toujours en plaçant la source au niveau du sol (avec un facteur de directivité $Q = 2$), la pression acoustique obtenue à une distance de 1 m sera de 80 Pa.

- FIN -