

BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS

- SESSION 2011 -

ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL ET PHYSIQUE DU BÂTIMENT

CODE ÉPREUVE : BE-CIVI

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.

DURÉE : 2h30

Rappel préliminaire :

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

Attention : certains items peuvent comporter des affirmations multiples, la réponse ne doit être jugée vraie (V) que si toutes les affirmations vous paraissent correctes.

Nota :

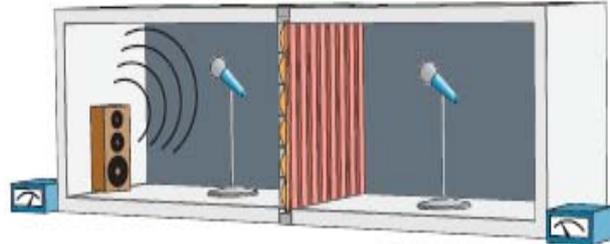
Les questions 4 à 7 portent sur un même thème, mais elles sont indépendantes.

Il est toutefois nécessaire de lire les informations dans l'ordre établi.

QUESTION 1

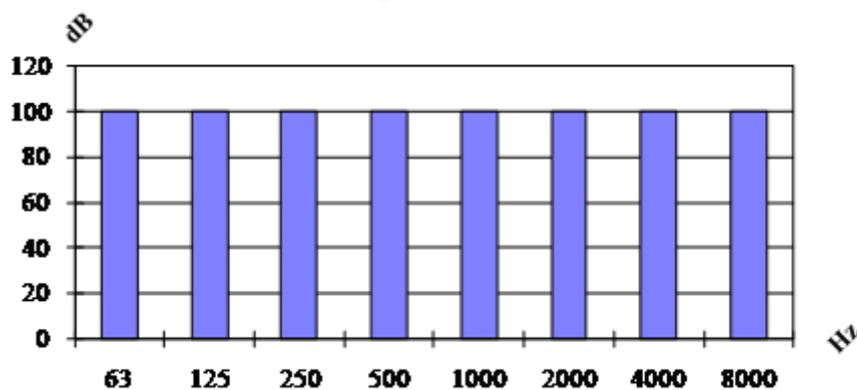
Confort acoustique

Le confort acoustique est une exigence encadrée par la réglementation française (code de la construction), qui fixe des seuils de transmission au travers des parois constituant l'enveloppe des locaux selon l'activité prévue, ainsi que l'origine des nuisances sonores.



De nombreux produits industriels destinés à la construction font l'objet de tests en vue de garantir certaines performances relatives aux transmissions de bruits.

- (A) Les normes françaises relatives à l'acoustique des bâtiments (logements, bureaux, ateliers) prennent en compte les fréquences comprises entre 20 Hz et 20000 Hz, par bandes d'octaves ou tiers d'octaves.
- (B) Le niveau de pression acoustique est évalué en Pascal.
- (C) Dans le local de réception, la variation de niveau de pression acoustique ne dépend que de l'intensité de l'émission dans le local contigu et de la performance de la paroi séparative (si aucune émission sonore n'est produite dans l'environnement extérieur aux deux locaux considérés).
- (D) Le spectre représenté ci-dessous, utilisé pour caractériser l'indice d'affaiblissement des parois vis-à-vis de bruits aériens, correspond au « bruit route ».



- (E) Si l'on ne tient compte d'aucune « pondération », pour un bruit caractérisé par le spectre représenté à l'item précédent, en se limitant aux bandes d'octaves de 125 Hz à 4000 Hz on trouve $L_{(1)} = 118$ dB et $L_{(2)} = 108$ dB ; résultats arrondis à l'unité.

Pour ces calculs on utilisera les *lois de composition* suivantes :

$$L_{(1)} = L_{\max} + \sum_i 10 \log \left(1 + 10^{\frac{L_i - L_{\max}}{10}} \right) \quad \text{et} \quad L_{(2)} = 10 \times \log \left(\sum_i 10^{L_i/10} \right)$$

i désignant une bande d'octave

QUESTION 2

Grenelle environnement 2012

La nouvelle réglementation thermique **RT 2012** a été publiée en octobre 2010, elle s'applique aux permis de construire qui seront déposés à partir du 28/10/2011, pour la plupart des bâtiments neufs (habitations, bureaux, bâtiments publics).



Les premiers textes concernent les caractéristiques thermiques et les performances énergétiques des constructions, les suivants (publiés en 2011) définiront les niveaux des labels *Haute Performance Énergétique* qui préfigureront la **RT 2020**.

Nous vous proposons de valider ou non quelques points clés de la future réglementation, portant en particulier sur les « exigences de résultats ».

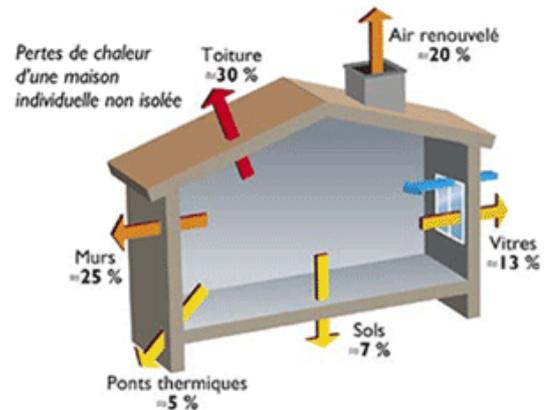
- (A) Conformément à la loi Grenelle 1, l'objectif de cette réglementation est de réduire la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à $10 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ ($C_{ep_{max}}$) en moyenne, pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement, l'éclairage et le fonctionnement des équipements auxiliaires (ventilateurs, pompes).
- (B) Le besoin climatique (indicateur Bio_{max}) rend compte de l'efficacité énergétique de la conception et de l'isolation du bâtiment indépendamment du système de chauffage.
- (C) Le recours à une source d'énergie renouvelable devient obligatoire en maison individuelle, ainsi qu'une surface minimale de baies vitrées égale à 1/6 de la surface habitable.
- (D) Le confort thermique d'été est pris en compte via une exigence portant sur la température intérieure conventionnelle (T_{ic}) atteinte au cours d'une séquence de cinq jours chauds.
- (E) A l'achèvement des travaux de construction, le maître d'ouvrage devra produire un document (établi par un organisme de certification ou par un architecte) attestant que la réglementation thermique a bien été prise en compte.

QUESTION 3

Échanges thermiques

Les impératifs d'économie d'énergie sont à prendre en compte dans tout projet de construction où la température doit être régulée en fonction de l'occupation des locaux.

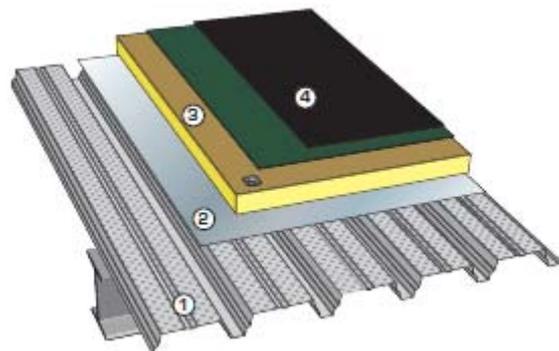
Les échanges thermiques doivent donc être maîtrisés, ils conditionnent aussi le confort des usagers.



- (A) En France, pour un bâtiment d'habitation situé à une altitude inférieure à 800 m, et pour un mode de chauffage donné (par exemple faisant appel au gaz de ville), la réglementation thermique en vigueur fixe des seuils de performances communs à tout le territoire.
- (B) D'après la **RT 2005**, la somme des résistances thermiques superficielles des parois enveloppe d'un bâtiment exprimée en unités du système international (SI)¹, est égale à 0,14 SI pour les murs de façade et 0,17 SI pour les toitures plates ou à faible pente.
- (C) Un mur de façade comportant dans son épaisseur un isolant thermique de type panneau (polystyrène ou laine de roche), d'épaisseur 120 mm, possède une résistance thermique supérieure à 3 SI pour sa partie « opaque ».



Le gymnase (photo ci-contre) possède une couverture multicouche dont la composition est la suivante :



- 1 : Tôle nervurée perforée, de résistance thermique négligeable.
- 2 : Pare-vapeur d'épaisseur 3 mm, de conductivité thermique $\lambda = 0,25$ SI.
- 3 : Isolant d'épaisseur 110 mm, de conductivité thermique $\lambda = 0,038$ SI.
- 4 : Complexe d'étanchéité d'épaisseur 6 mm, de conductivité thermique $\lambda = 0,25$ SI.

- (D) La température à l'intérieur du gymnase est maintenue à 17 °C, quand la température extérieure est de -6 °C, à mi-épaisseur de l'isolant la température sera comprise entre 5 et 6 °C. Pour ce calcul on se place hors zone d'influence des points de fixation.
- (E) La présence des perforations de la tôle permet d'éviter la condensation sous toiture quand le taux d'humidité dans le gymnase est élevé.

¹ Les calculs qui seront effectués pour répondre aux items qui suivent nécessiteront quelques conversions de valeurs numériques dans ce système d'unités.

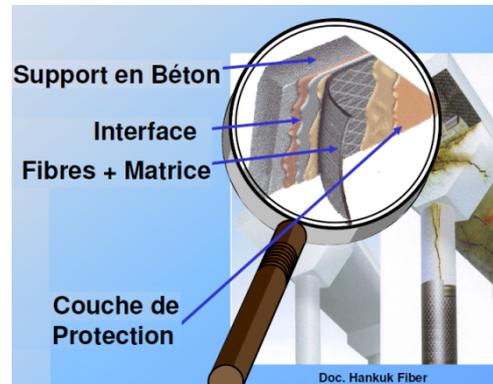
QUESTION 4

Composites utilisés pour la réparation des structures en béton armé – 1^{ère} partie

Il existe de nombreuses techniques de réparation et de renforcement structural des ouvrages endommagés.

Nous allons nous intéresser aux composites constitués d'une armature bidirectionnelle (tissu de fibres) imprégnée par un polymère (résine) ; le polymère est aussi utilisé pour le collage sur la surface d'éléments en béton.

Dans cette première partie il s'agit d'analyser la composition d'un produit industriel, le *Foreva TFC* (exploité par la société Freyssinet).



A partir de résultats de mesure sur un échantillon, nous déterminerons quelques caractéristiques physiques (masses volumiques, taux de fibres).



Le tissu de fibres de carbone d'épaisseur 0,48 mm a été déposé sur une plaque puis imprégné de résine époxy ; un échantillon de dimensions 20 mm x 10 mm a ensuite été prélevé, son épaisseur est de 1,3 mm.

Les pesées sont effectuées à l'aide d'une balance hydrostatique (à la température du laboratoire, la masse volumique de l'eau est égale à 1,00 g/cm³).

Données :
masse surfacique du tissu de fibres $M_f = 500 \text{ g/m}^2$
masse volumique du tissu de fibres $\rho_f = 1,51 \text{ g/cm}^3$
masse volumique de la résine $\rho_r = 1,17 \text{ g/cm}^3$
masse de l'échantillon dans l'air $M_1 = 345 \text{ mg}$
masse de l'échantillon dans l'eau $M_2 = 85 \text{ mg}$

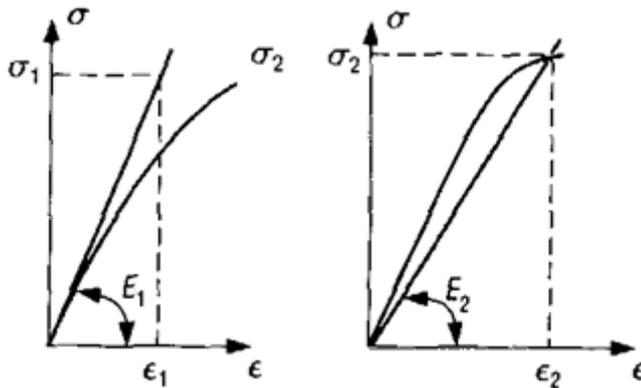
- (A) La masse surfacique de ce composite, dans l'air, est égale à 1725 g/m².
- (B) La masse volumique de ce composite est égale à 1327 mg/cm³.
- (C) Dans cet échantillon, le taux massique de fibres est supérieur à 30%.
- (D) Le taux volumique de fibres ne dépasse pas 25%.
- (E) Le taux volumique de résine est compris entre 80 et 81%.

QUESTION 5

Composites utilisés pour la réparation des structures en béton armé – 2^{ème} partie

Détermination des caractéristiques des constituants du composite présenté à la question précédente, sous sollicitation de **traction**.

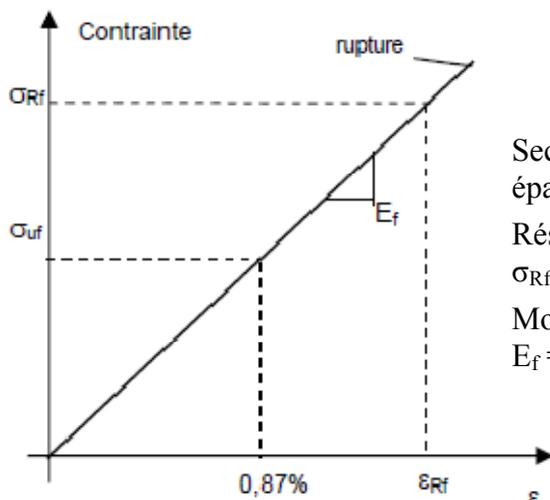
Loi de comportement d'une éprouvette de polymère (résine époxyde). Le comportement élastique du polymère n'étant pas totalement linéaire, l'essai de traction permet de déterminer un module tangent $E_t = \sigma_1 / \varepsilon_1$ et un module sécant $E_s = \sigma_2 / \varepsilon_2$.



Section de l'éprouvette dans la zone de mesure :
 largeur $10 \pm 0,5$ mm
 épaisseur = $4 \pm 0,2$ mm
 Module élastique :
 $E_1 = 102$ GPa ; $E_2 = 88$ GPa
 Déformation à la rupture :
 $\varepsilon_r = 1,4 \cdot 10^{-2}$

- (A) Les tolérances dimensionnelles portant sur la section de l'éprouvette entraînent une incertitude relative sur la valeur de la contrainte de traction, de l'ordre de 20%.
- (B) Le capteur de déplacement utilisé est fixé sur l'éprouvette en deux points initialement distants de 50 mm. Sa course maximale étant de 2 mm, l'enregistrement de l'évolution de la déformation axiale pourra être mené jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Loi de comportement en traction du composite TFC (tissu imprégné de résine, constituant la matrice) :



Section résistante du composite :
 épaisseur = 0,48 mm
 Résistance à la rupture du TFC :
 $\sigma_{Rf} = 1700$ MPa
 Module élastique du TFC :
 $E_f = 105\ 000$ MPa

Le tissu (armature bidirectionnelle) est constitué de 70% de fibres dans le sens de la *chaîne* et 30% de fibres dans le sens de la *trame*.

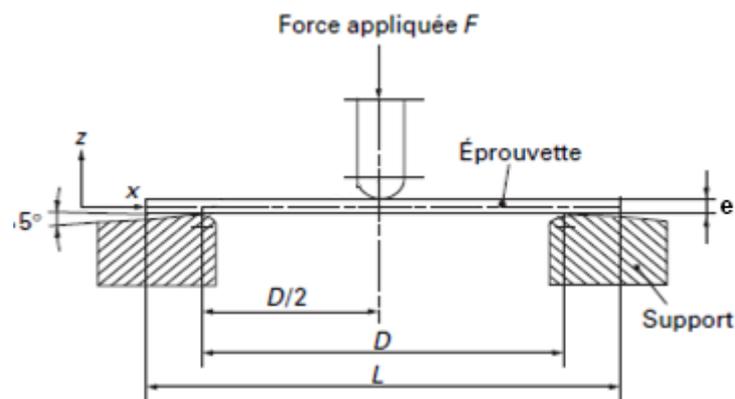
Ces fibres sont assemblées par *mèches* comportant chacune 12 000 filaments ; la chaîne comprend 5 mèches par centimètre de largeur de bande.

-
- (C) Étant donné la section résistante du composite, si l'on considère que l'effort se répartit uniformément entre les fibres et la matrice, l'effort de rupture en traction dans le sens de la *chaine* est inférieur à 8 kN par centimètre de largeur de bande.
 - (D) Compte tenu de la répartition des fibres au sein du tissu (70-30), l'effort de rupture en traction dans le sens de la *trame* sera de 3,5 kN par centimètre.
 - (E) Pour obtenir la même résistance longitudinale avec une tôle en acier de résistance ultime égale à 360 MPa, de largeur 10 mm, il faudrait une épaisseur de tôle supérieure à 2 mm.

QUESTION 6

Composites utilisés pour la réparation des structures en béton armé – 3^{ème} partie

Le composite présenté à la question 4, est maintenant étudié sous sollicitations de **flexion-cisaillement**. Les essais sont effectués sur un banc de flexion « trois points » schématisé ci-dessous :

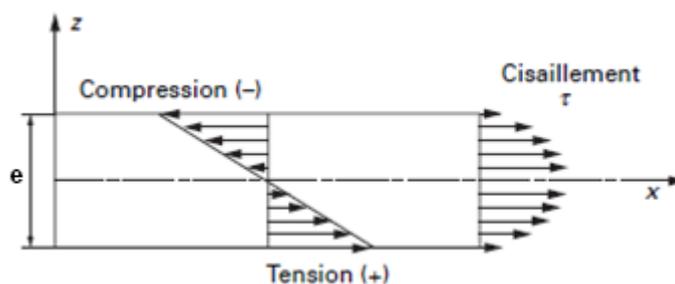


La commande du vérin est réglée sur une vitesse de déplacement constante égale à 5 mm/min. La distance entre appuis (cote D) est variable (de 20 mm à 100 mm). L'éprouvette est de section rectangulaire ($b \times e$) ; nous aurons ici $b = 10$ mm et $e = 2,5$ mm.

Notons $\lambda = D/e$

Pour un composite carbone-epoxyde, on peut considérer que l'on obtient :

- une rupture par cisaillement si $\lambda < 10$;
- une rupture par flexion (traction-compression des fibres) si $\lambda > 20$.



Rappels :

Dans cet essai sur appuis fixes, le travail que développe l'action F appliquée par le vérin afin de produire une flèche δ se traduit par la relation $W_e = 0,5 F \cdot \delta$.

Selon la théorie des poutres, en considérant une section homogène, pour un matériau dont le comportement est élastique linéaire, l'énergie de déformation d'une poutre fléchie dans le plan (x,z) peut être exprimée par la relation (1) ci-dessous :

$$W_{déf} = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{M_y^2(x)}{EI_y} dx + \frac{1}{2} \int_0^l \frac{V_z^2(x)}{GA_{r,z}} dx$$

- l la longueur soumise à la flexion (ici $l = D$)
- M_y et V_z sont respectivement le moment de flexion et l'effort tranchant
- I_y le moment quadratique de la section selon son axe yy
- $A_{r,z}$ la section "réduite" vis-à-vis du cisaillement induit par l'effort tranchant V_z pour notre section rectangulaire $A_{r,z} = 5be/6$
- E le module longitudinal d'élasticité du matériau ; G son module transversal
- ν le coefficient de Poisson introduit dans la relation $E/G = 2(1+\nu)$

(A) En appliquant le principe de conservation de l'énergie (sans échange thermique) à notre situation d'essai, on montre que dans la mesure où l'on demeure en comportement élastique linéaire la flèche peut être estimée à partir de la relation :

$$\delta = F (0,25 \lambda^3/bE + 0,60 \lambda/bG) \quad (2)$$

(B) Premier essai avec $D = 20$ mm, on peut estimer que l'effet de flexion est négligeable, le module transversal du matériau s'obtient alors par la relation :

$$G_{[kN/mm^2]} = 0,48 F_{[kN]} / \delta_1 \text{ ou } \delta_1 \text{ est la flèche mesurée en mm}$$

(C) Deuxième essai avec $D = 100$ mm, on peut estimer que l'effet de cisaillement est négligeable, le module longitudinal du matériau s'obtient alors par la relation :

$$E_{[kN/mm^2]} = 1600 F_{[kN]} / \delta_2 \text{ ou } \delta_2 \text{ est la flèche mesurée en mm}$$

Nous allons maintenant exploiter les mesures effectuées lors du 2^{ème} essai, sachant que le coefficient de Poisson du matériau testé est égal à 0,3. Pour $F = 100$ N, le comportement de l'éprouvette est réversible (pas de déformation rémanente) et l'on mesure $\delta = 1,60$ mm.

(D) Cet essai permet d'estimer, à l'aide de l'expression fournie à l'item précédent, un module longitudinal « apparent » égal à 100 GPa, or d'après la relation (2) proposée à l'item A on montre que le module « réel » est supérieur au précédent de 4%.

(E) Pour ce même chargement, le calcul nous donne une contrainte normale maximum de 200 MPa et une contrainte tangentielle maximum de 3 MPa.

QUESTION 7

Composites utilisés pour la réparation des structures en béton armé – 4^{ème} partie

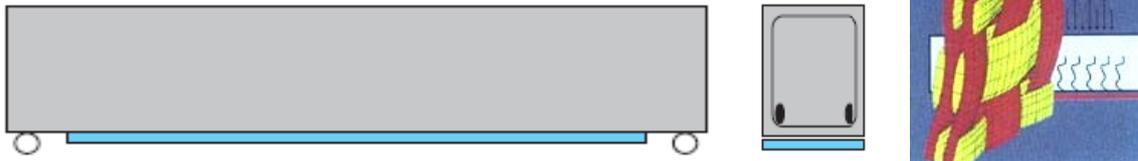
Pour terminer, nous nous intéressons au renforcement d'une poutre en béton armé, fissurée sous l'effet du moment fléchissant.

La technique est basée sur le collage du composite en zone tendue de la poutre à renforcer, pour augmenter sa résistance aux efforts engendrés par les effets de flexion.



Le TFC est appliqué directement sur une couche de résine humide. L'interface de collage avec le support est de même nature que la matrice du composite.

Considérons la modélisation représentée ci-dessous :



Étude en comportement élastique (sans prise en compte du fluage du béton), avant collage du composite, puis après collage. On considère que le béton est fissuré et que l'adhérence est parfaite entre constituants (armature/béton et composite/béton).

Données du problème :

- $b \times h$ section de la poutre, 200 mm x 400 mm ici ;
- A_s section des armatures en place dans le béton, 4 barres de diamètre 16 mm ici (l'acier présent en zone comprimée n'est pas pris en compte) ;
- d_s distance du barycentre des armatures au bord supérieur de la section, 360 mm ici ;
- E_s module de déformation de l'acier des armatures, 200 GPa ici ;
- A_f section du composite collé sur toute la largeur de la poutre, son épaisseur est de 1 mm ;
- d_f distance du barycentre du composite au bord supérieur de la section ;
- E_f module de déformation du composite, 105 GPa ici ;
- E_{cm} module de déformation du béton, 33 GPa ici ;
- α_e coefficient d'équivalence acier des armatures / béton (E_s/E_{cm}) ;
- α_{ef} coefficient d'équivalence composite / béton (E_f/E_{cm}).

- (A) Dans les conditions d'étude, avant collage, l'axe neutre de la section fléchie fissurée se positionne à 110 mm du bord supérieur.
- (B) Toujours avant collage, l'inertie par rapport à l'axe neutre de la section fissurée homogénéisée est inférieure à 40 000 cm⁴, si l'on effectue le calcul avec un axe neutre à 11 cm du bord supérieur.
- (C) La prise en compte du composite conduit à une position théorique de l'axe neutre plus éloignée du bord supérieur que précédemment.

Après collage du composite, un accroissement de la charge appliquée à cette poutre entraîne, dans la section la plus sollicitée, une augmentation du moment fléchissant de 50 kN.m.

Le comportement restant élastique, nous allons en déduire la variation de contraintes normales dans cette section, en considérant que l'axe neutre de cette section renforcée est à 117 mm du bord supérieur.

L'inertie par rapport à ce nouvel axe neutre de la section fissurée homogénéisée est notée I_f ; on note σ_s la contrainte de traction dans les armatures, et σ_f la contrainte de traction dans le composite collé.

- (D) Dans les armatures, l'augmentation du moment entraîne un accroissement du produit ($\sigma_s \cdot I_f$) compris entre 65 et 70 kN.m².
- (E) Cette même augmentation du moment entraîne une traction dans le composite telle que le produit ($\sigma_s \cdot I_f$) ne dépasse pas 40 kN.m².

Il resterait à examiner la transmission des efforts le long de l'interface de collage compte tenu de l'adhérence limite de la résine...

- FIN -