

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR TRAVAUX PUBLICS

**E3 – U3.2**

**Sciences physiques appliquées**

**SESSION 2021**

—  
**Durée : 2 heures**

**Coefficient : 2**  
—

**Matériel autorisé :**

- L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
- L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.
- Tout autre matériel est interdit.

**La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.**

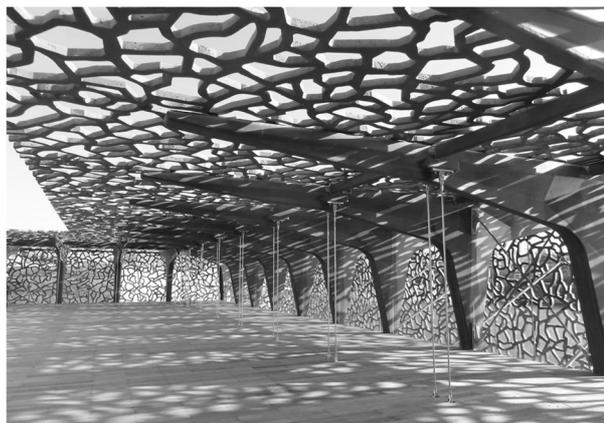
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2021
U32 - Sciences physiques appliquées	21TVE3SC1	Page : 1/7

## LES BÉTONS FIBRÉS À ULTRA HAUTES PERFORMANCES (BFUHP)

Les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUHP) répondent aux évolutions majeures de la construction. Ils permettent notamment d'optimiser les dimensionnements, de réduire la durée des chantiers et les coûts globaux des ouvrages, d'améliorer l'esthétique des parements et la pérennité des structures mais aussi d'offrir une grande liberté architecturale.

Ils contribuent également à diminuer la pénibilité sur les chantiers et l'impact sur l'environnement.



Terrasse du Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée (MUCEM) de Marseille, réalisée en BFULHP

Matériaux à matrice cimentaire, les BFULHP sont renforcés par des fibres. Ils présentent des performances exceptionnelles, aussi bien en compression qu'en traction et en flexion grâce, entre autres, à la présence de ces fibres.

Les fibres métalliques sont utilisées pour des applications structurelles nécessitant des résistances mécaniques importantes, les fibres polymères et minérales plutôt pour des applications esthétiques.

Ce sujet aborde différents aspects des BFULHP. Il est constitué de 3 parties indépendantes, qui peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

**2 annexes apportent des éléments d'information pour la résolution des questions du sujet.**

**Les résultats des calculs seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.**

**Partie 1 – Étude des fibres polymères d'un BFULHP (6 points)**

**Partie 2 – Propriétés thermiques des BFULHP (8 points)**

**Partie 3 – Étude d'un plancher chauffant comportant un BFULHP (6 points)**

## Partie 1 – Étude des fibres polymères d'un BFUHP

### Données :

• **Masses molaires atomiques :**

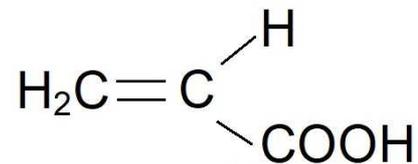
$$M_H = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} ; M_O = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} ; M_C = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

• **Masses volumiques :**  $\rho_{\text{BFUHP}} = 23,0 \times 10^2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;  $\rho_{\text{acrylique}} = 1,19 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Les fibres remplaçant les armatures métalliques d'un béton traditionnel peuvent être composées de différents matériaux dont voici une liste non exhaustive : polypropylène, polyéthylène, acrylique, inox, cellulose, fibre de verre, basalte.

- 1.1 Donner le nom de 3 matériaux de cette liste appartenant à la famille des polymères.

L'acrylique est obtenu par polymérisation de l'acide acrylique (appelé aussi acide prop-2-énoïque) de formule chimique :



- 1.2 Justifier le fait que l'acide acrylique puisse former un polymère.
- 1.3 Écrire l'équation de polymérisation de l'acide acrylique pour un degré de polymérisation de 3500.
- 1.4 Calculer la masse molaire de l'acrylique produit.

La plupart des bétons fibrés avec de l'acrylique contiennent 2,5 % de fibres en volume.

- 1.5 Montrer qu'environ 15,5 kg d'acrylique sont nécessaires pour préparer 1200 kg de béton fibré.

## Partie 2 – Propriétés thermiques des BFUHP

### **A – Utilisation d'un béton fibré dans un plancher chauffant.**

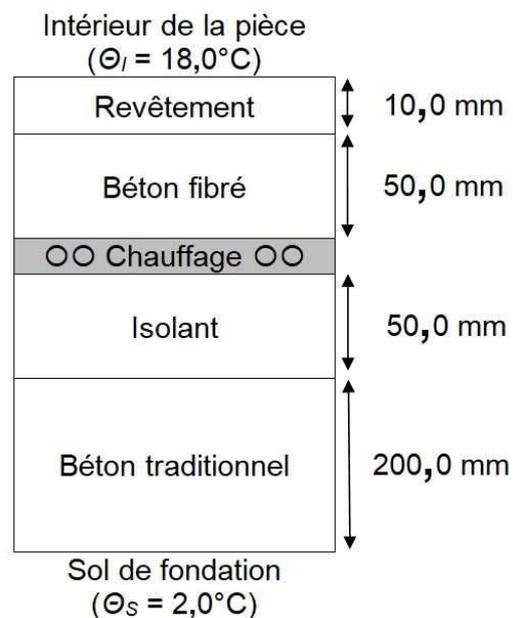
L'étude porte sur le chauffage au sol d'une pièce dont la chape a été réalisée en béton fibré.

Le sol de cette pièce est composé de différents matériaux dont la coupe transversale est proposée ci-contre. Sur celle-ci apparaissent les épaisseurs de ces matériaux.

La température intérieure souhaitée dans cette pièce est de  $\Theta_I = 18,0\text{ °C}$ .

Le système de chauffage, assimilable à une surface plane de  $80,0\text{ m}^2$ , est constitué d'un tube dans lequel circule de l'eau à une température supposée constante de  $\Theta_E = 40,0\text{ °C}$ .

La température du sol de fondation est estimée à  $\Theta_S = 2,0\text{ °C}$ .



#### Données :

- **Conductivité thermique,  $\lambda$**

- revêtement :  $2,50\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- béton fibré à ultra hautes performances :  $1,92\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- isolant :  $0,02\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- béton traditionnel :  $1,40\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

• La résistance thermique surfacique **extérieure**, au niveau du revêtement, sera prise égale à  $r_{se} = 10,0 \times 10^{-2}\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ .

- 2.1 Exprimer puis montrer que la résistance thermique surfacique comprise entre le système de chauffage et la pièce à chauffer est d'environ  $1,30 \times 10^{-1}\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2$ .
- 2.2 Calculer le flux thermique surfacique, noté  $\phi$ , transmis par le système de chauffage à l'air de la pièce. En déduire le flux thermique correspondant, noté  $\Phi$ .
- 2.3 Le flux thermique transmis par le système de chauffage au sol est estimé à  $1,15\text{ kW}$ . Il correspond aux pertes thermiques de ce plancher chauffant. Montrer que la proportion de ces pertes thermiques est proche de 8 %.

- 2.4 En s'appuyant sur l'annexe 2, identifier le type de fibres utilisées pour réaliser le béton fibré de ce plancher chauffant. Justifier le choix.

**B – Utilisation d'un béton fibré dans une paroi isolante.**

Contrairement à ce qui précède, ce peuvent être des caractéristiques isolantes qui sont recherchées dans un béton fibré. L'étude porte sur la comparaison d'un béton traditionnel et d'un béton fibré à ultra hautes performances.

**Données :**

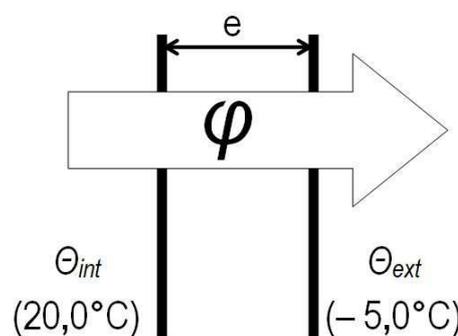
• **Conductivité thermique  $\lambda$**

- béton traditionnel (BT) :  $\lambda_{BT} = 1,75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- béton fibré à ultra hautes performances (BFUHP) :  $\lambda_{BFUHP} = 0,60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

La norme RT2012 impose un flux thermique surfacique maximum autorisé de  $\varphi=300\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  à travers une paroi d'épaisseur  $e$  pour des températures de surface intérieure et extérieure respectivement de  $\Theta_{int} = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $\Theta_{ext} = -5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La figure ci-contre illustre cette situation physique.

On négligera ici les échanges thermiques par convection et rayonnement de part et d'autre la paroi.



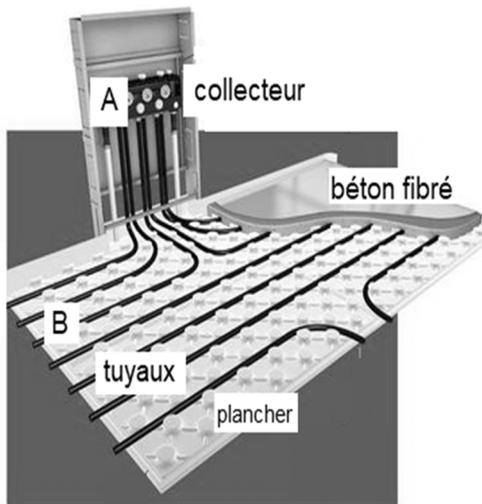
- 2.5 Calculer la résistance thermique surfacique **R** correspondant à la norme RT2012.
- 2.6 Dans le cadre de cette norme, montrer qu'un béton traditionnel doit être environ trois fois plus épais qu'un béton fibré pour que leur pouvoir isolant soit similaire. Conclure.
- 2.7 Identifier le type de fibres utilisées pour réaliser le béton fibré dans cette application. Justifier le choix.

## Partie 3 – Étude d'un plancher chauffant comportant un BFUHP

L'étude porte sur le circuit hydraulique du plancher chauffant étudié précédemment.

### Données :

- **Intensité du champ de pesanteur** :  $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$
- **Masse volumique de l'eau à 40°C** :  $\rho_{\text{eau}} = 992 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$



Sur le dessin ci-contre, l'eau s'écoule du collecteur (A) dans les tuyaux, répartis en **3 boucles** identiques.

En amont du collecteur, le débit volumique de l'eau est estimé à  $1730 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Le collecteur est situé  $80,0 \text{ cm}$  au-dessus du niveau des tuyaux du plancher chauffant (B).

On appelle  $P_A$ , la pression de l'eau à la sortie du collecteur et  $P_B$ , la pression de l'eau au niveau des tuyaux du plancher chauffant.

L'eau est assimilée ici à un fluide parfait et incompressible.

L'eau sera, dans un premier temps, considérée comme **immobile** dans le circuit hydraulique du plancher chauffant.

- 3.1** Exprimer, puis calculer  $P_A$ , la pression de l'eau au niveau du collecteur, sachant qu'elle est de  $1,50 \text{ bar}$  dans les tuyaux du plancher.

L'eau est désormais **en mouvement** dans le circuit hydraulique du plancher chauffant, en régime permanent.

- 3.2** Calculer, en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , le débit volumique  $D_v$  dans chaque boucle composant le circuit hydraulique du plancher chauffant.
- 3.3** Sachant que la section des tuyaux est de  $2 \text{ cm}^2$ , montrer que dans chaque boucle, la vitesse d'écoulement de l'eau, notée  $v$ , est d'environ  $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- 3.4** Sachant que l'eau parcourt totalement une boucle en deux minutes, calculer le volume total d'eau, noté  $V$ , qui se déplace dans tout le circuit hydraulique du plancher chauffant. Le résultat sera exprimé en  $\text{m}^3$  et en L.

## Annexe 1 – Rappels

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>La résistance thermique surfacique</b> (en <math>\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}</math>) d'une paroi est définie par le quotient de l'épaisseur de la paroi (en m) par la conductivité thermique du matériau composant la paroi (en <math>\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}</math>).</li><li>• Lorsque plusieurs parois sont superposées, la résistance thermique surfacique totale est égale à la somme des résistances thermiques surfaciques de chaque paroi.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Le flux thermique surfacique</b> (en <math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2}</math>) à travers une paroi peut être défini comme le quotient de la variation de température de part et d'autre de la paroi (en K) par la résistance thermique surfacique de celle-ci (en <math>\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}</math>).</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>La masse molaire d'un polymère</b> (en <math>\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}</math>) correspond au produit de la masse molaire de son motif (en <math>\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}</math>) par le degré de polymérisation moyen (sans unité).</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>La masse volumique d'un corps</b> (en <math>\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}</math>) correspond au quotient de la masse de ce corps (en kg) par son volume (en <math>\text{m}^3</math>).</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Conversions :</b> <math>1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}</math> ; <math>1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}</math> ; <math>1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}</math> ; <math>1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2</math> ; <math>1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}</math></li></ul>

## Annexe 2 – Quelques propriétés des BFUHT

Comme son nom l'indique, le béton fibré est un matériau composé de fibres. Lors de la formulation de ce béton, des fibres sont ajoutées aux divers matériaux qui le composent.

On appelle « fibre » un matériau d'une longueur allant de 5 à 60 mm. Il existe plusieurs **natures** de fibres : métalliques, organiques et minérales. En fonction de leur nature, ces fibres ont des **caractéristiques différentes** et ne se comportent pas de la même manière face aux contraintes. De ce fait, leur impact sur le béton peut varier (...).

Familles de fibres	Matériaux	Caractéristiques
<b>Fibres métalliques</b>	Acier, Fonte, Inox	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bonne résistance à la flexion, à la traction et à la rupture.</li><li>• Réduction de la dimension des fissures.</li><li>• Mauvaise isolation thermique.</li></ul>
<b>Fibres organiques</b>	Acrylique, Aramide, Carbone, Kevlar, Polyamide Polypropylène/Polyéthylène, Polypropylène	<ul style="list-style-type: none"><li>• Réduction de la fissuration au jeune âge (retraits plastiques).</li><li>• Meilleure ouvrabilité du béton (souplesse des fibres).</li><li>• Peu résistantes aux températures élevées (<math>140 \text{ }^\circ\text{C}</math> - <math>170 \text{ }^\circ\text{C}</math> maximum).</li></ul>
<b>Fibres minérales</b>	Basalte, Mica, Verre, Wollastonite	<ul style="list-style-type: none"><li>• Excellente tenue au feu (<math>800 \text{ }^\circ\text{C}</math> maximum).</li><li>• Bonne isolation thermique.</li><li>• Fabrication possible de parois très minces.</li></ul>

*D'après le site : <http://www.guidebetton.com/beton-fibre>*