



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ENVELOPPE DU BÂTIMENT : FAÇADES-ÉTANCHÉITÉ

E3 – U3.2

Sciences physiques

SESSION 2017

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).
- 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 8 pages, numérotées de 1/8 à 8/8.

BTS Enveloppe du bâtiment : Façades-Étanchéité		Session 2017
E3 – U32 : Sciences physiques	Code : 17EBE3SC1	Page : 1/8

Thème : toiture terrasse et développement durable

Le sujet est constitué de 3 parties indépendantes, qui peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

Dans un premier temps on s'intéressera à l'étanchéité d'une toiture terrasse, grâce à l'utilisation de membranes bitumeuses. Nous aborderons ensuite l'isolation thermique de cette toiture. Pour finir, nous verrons comment son aménagement peut participer à réduire la consommation énergétique du bâtiment.

- Partie 1** : Des membranes bitumeuses consommatrices de CO₂ **(6,5 points)**
Partie 2 : Etude de l'isolation thermique d'une toiture terrasse **(7,5 points)**
Partie 3 : Optimisation de la toiture pour réduire les dépenses énergétiques **(6 points)**

Partie 1 : Des membranes bitumeuses consommatrices de CO₂

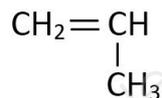
Pour réaliser l'étanchéité de la toiture terrasse, on a utilisé des membranes bitumeuses de haute qualité, qui contribuent à la protection de l'environnement.

A - Polymères et membranes bitumeuses

Afin d'améliorer le comportement des bitumes à basse et haute température et d'en augmenter la longévité, des polymères ont été additionnés aux bitumes. Dans la membrane utilisée, il s'agit de **bitume APP**, qui est obtenu par adjonction d'environ 30% de polypropylène, ce qui lui donne des propriétés plastiques.

1.1 Définir le terme de polymère.

Le polypropylène est un polymère, obtenu à partir du propène (aussi appelé propylène), dont la formule est :



1.2 Ecrire l'équation bilan de la réaction de polymérisation permettant d'obtenir du polypropène à partir de n molécules de propène.

1.3 De quel type de polymérisation s'agit-il ? Justifier votre réponse.

Une membrane bitumeuse est renforcée à l'aide d'une armature. Cette armature est souvent un matériau composite verre / polyester.

1.4 Qu'est-ce qu'un matériau composite ? Citer un autre exemple de matériau composite.

B - Impact environnemental

Les membranes bitumeuses choisies ont leur couche supérieure composée d'olivine. L'olivine est une substance minérale qui réagit avec le dioxyde de carbone et l'eau pour donner des substances neutres vis-à-vis de l'environnement. Ce processus chimique comporte plusieurs étapes. Pour simplifier on considérera que la formule chimique de l'olivine est la suivante : **Mg₂SiO_{4(s)}**.

Le fournisseur affirme que 1 m² de la membrane est capable de neutraliser près de 1000 L de CO₂. On se propose de vérifier son affirmation dans le cadre de conditions normales de pression (1,013.10⁵ Pa) et à la température de 25°C. On sait que 1 m² de membrane est recouvert de 1,40 kg d'olivine.

BTS Enveloppe du bâtiment : Façades-Étanchéité	Session 2017
E3 – U32 : Sciences physiques	Code : 17EBE3SC1 Page : 3/8

L'olivine réagit avec le dioxyde de carbone et l'eau selon la réaction chimique suivante :



Données :

• *Masses molaires atomiques (g.mol⁻¹) :*

$M_{\text{O}} = 16,0$; $M_{\text{Mg}} = 24,3$; $M_{\text{Si}} = 28,1$; $M_{\text{C}} = 12,0$; $M_{\text{H}} = 1,0$

• *Équation des gaz parfaits : $PV = n RT$ avec P pression en Pa, V volume en m³, n la quantité de matière de gaz en mol, T la température absolue en K et R la constante des gaz parfait ($R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$).*

- 1.5 Montrer que la quantité de matière, n_{olivine} , d'olivine contenue dans 1 m² de membrane vaut 10 mol.
- 1.6 A l'aide de l'équation bilan ci-dessus, vérifier si l'affirmation du fournisseur est correcte à savoir que « 1 m² de la membrane est capable de neutraliser près de 1000 L de CO₂ ».
- 1.7 Proposer un intérêt, pour l'environnement, d'utiliser des membranes consommatrices de dioxyde de carbone.

Partie 2 : Isolation thermique de la toiture terrasse

La toiture terrasse étudiée est composée des éléments cités ci-dessous :

- les éléments porteurs sont des tôles d'acier nervurées.
- l'isolant est de la laine de roche.
- l'étanchéité est réalisée à l'aide d'une membrane bitumeuse.

Dans la suite de l'exercice, on négligera les pertes par les ponts thermiques.

A- Comportement de la toiture terrasse lors de forte chaleur

Le bâtiment concerné doit être maintenu à une température intérieure de 20°C. Ceci est réalisé à l'aide d'un système de climatisation.

On se propose de calculer la quantité de chaleur qui traverse la toiture pendant une période de forte chaleur.

Données :

- résistance thermique surfacique des tôles en acier : négligeable
- résistance thermique surfacique de la laine de roche : $r_{\text{isolant}} = 5,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- résistance thermique surfacique de la membrane bitumeuse: négligeable
- résistance thermique surfacique intérieure : $r_i = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- résistance thermique surfacique extérieure : $r_e = 0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

On appelle coefficient de transmission thermique surfacique d'une paroi, l'inverse de sa résistance thermique surfacique.

- 2.1 Vérifier que la valeur du coefficient de transmission thermique surfacique de la toiture est bien $U = 0,18 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^2$.

On peut considérer que pendant toute la durée de l'étude, la température moyenne à l'extérieur est de 30°C ; la surface totale de la toiture est de 960 m².

- 2.2 Indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique
- 2.3 Calculer la valeur du flux thermique surfacique φ .
- 2.4 En déduire la valeur du flux thermique total Φ qui traverse la toiture.
- 2.5 La période de canicule dure 10 jours à la température moyenne de 30°C. Quelle quantité totale de chaleur Q (en Wh) a pénétré à l'intérieur du bâtiment ?

B- Réduction du facteur solaire à l'aide de membranes réfléchissantes

Il existe désormais des membranes d'étanchéité qui possèdent une forte réflectivité, de l'ordre de 80 % et plus. C'est-à-dire qu'elles renvoient 80% de l'énergie solaire reçue.

Grâce à ces membranes, en plein été, pour un même confort, on peut réaliser une économie de résistance thermique surfacique de $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ sur l'isolant.

Données : Conductivité thermique de la laine de roche : $\lambda = 0,038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- 2.6** Donner la relation entre la résistance thermique surfacique et la conductivité thermique
- 2.7** Donner les épaisseurs, e_1 et e_2 de laine de roche, nécessaires avec une membrane bitumeuse et avec une membrane à forte réflectivité. Conclure.

Le facteur solaire d'une paroi est le rapport entre l'énergie due au rayonnement solaire transmise et l'énergie reçue par la paroi. Cette paroi peut être de toute sorte. On peut calculer le facteur solaire S_p à l'aide de l'expression suivante :

$$S_p = (\alpha_p \cdot U_p) / h_e$$

Où :

- α_p : coefficient d'absorption de la toiture vis-à-vis du rayonnement solaire (valeur comprise entre 0 et 1)
- U_p : coefficient de transmission thermique de la toiture
- h_e : coefficient de transmission convectif extérieur

- 2.8** Vérifier que la quantité d'énergie qui traverse la toiture munie de membranes réfléchissantes est environ quatre fois plus faible que celle traversant la toiture munie de membranes classiques.

Données :

Membrane classique : $S_{pc} = 0,011$

Membrane réfléchissante : $\alpha_p = 0,2$, $U_p = 0,18 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, $h_e = 13,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

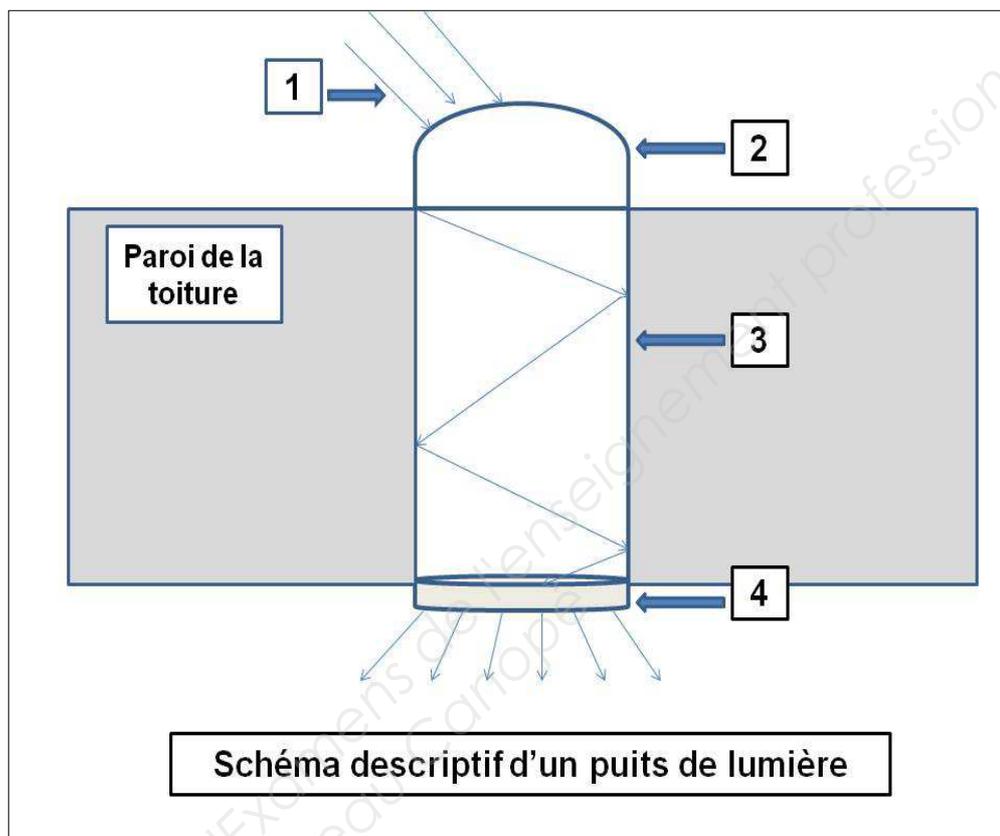
- 2.9** L'été, lors des périodes de canicule, la température à la surface des membranes classiques peut parfois atteindre 80°C alors qu'elle est de 40°C à la surface des membranes réfléchissantes, prises dans les mêmes conditions. Proposez une explication à cette différence de comportement.

Partie 3 : Optimisation de la toiture pour réduire les dépenses énergétiques

Afin de pouvoir utiliser l'énergie fournie par les panneaux pour d'autres activités, on décide d'implanter des puits de lumière dans la toiture afin de réduire l'apport d'éclairage artificiel.

1 : Rayons lumineux provenant du Soleil.

2 : Zone de collecte : Dôme qui « capture » la lumière en éliminant les infrarouges. Il réoriente la lumière émise pour optimiser les rayons de début et de fin de journée, à l'aide de dispositifs optiques



3 : Zone de transmission : Conduit de lumière ayant une réflexion de l'ordre de 99%.

4 : Zone de diffusion : Diffuseur qui filtre les ultraviolets nocifs et renvoie la lumière de manière optimale dans le bâtiment.

Données :

Relation entre intensité et éclairage d'une source orthotrope

Exemples de valeur d'éclairage moyen usuel dans un bâtiment scolaire, selon la norme NF EN 12464-1.

Lieux	Eclairage (lux)
Salle de classe	300
Salle de conférence	500
Zone de circulation et couloir	100
Salle d'art	750
Hall d'entrée	200
Escaliers	150

- 3.1** On rappelle que l'ensoleillement annuel moyen est de 1240 kWh.m^{-2} pour une durée d'ensoleillement de 1690 heures. Calculer la puissance lumineuse surfacique moyenne due au Soleil (on la notera p_{soleil} et elle sera exprimée en watts par mètre carré).
- 3.2** La surface d'ouverture du puits de lumière est de $0,250 \text{ m}^2$, en déduire la puissance lumineuse reçue par le puits de lumière notée P_{puits} .

On définit l'efficacité lumineuse d'un rayonnement comme étant le rapport entre son flux lumineux et son flux énergétique.

- 3.3** L'efficacité lumineuse du rayonnement solaire étant $e = 91,0 \text{ lm.W}^{-1}$, calculer la valeur du flux lumineux atteignant le dôme.
- 3.4** Le flux lumineux transmis par le diffuseur n'est que de 12990 lumens. Calculer l'intensité lumineuse I en candelas du diffuseur considéré comme une source ponctuelle isotrope dans un demi-espace d'angle $\Omega = 2\pi$.
- 3.5** Les diffuseurs se trouvent à une hauteur $h = 6,0 \text{ m}$ du sol. Calculer la valeur de l'éclairement lumineux E_{vertical} à la verticale du puits de lumière.
- 3.6** Sachant que le dôme est situé au-dessus d'un couloir, cette valeur vous paraît-elle acceptable ? Si oui, justifier, sinon proposer une solution pour y remédier.