

# **BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS**

**- SESSION 2004 -**

## **ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL ET PHYSIQUE DU BÂTIMENT**

***CODE ÉPREUVE : ...***

**DURÉE : 2h30**

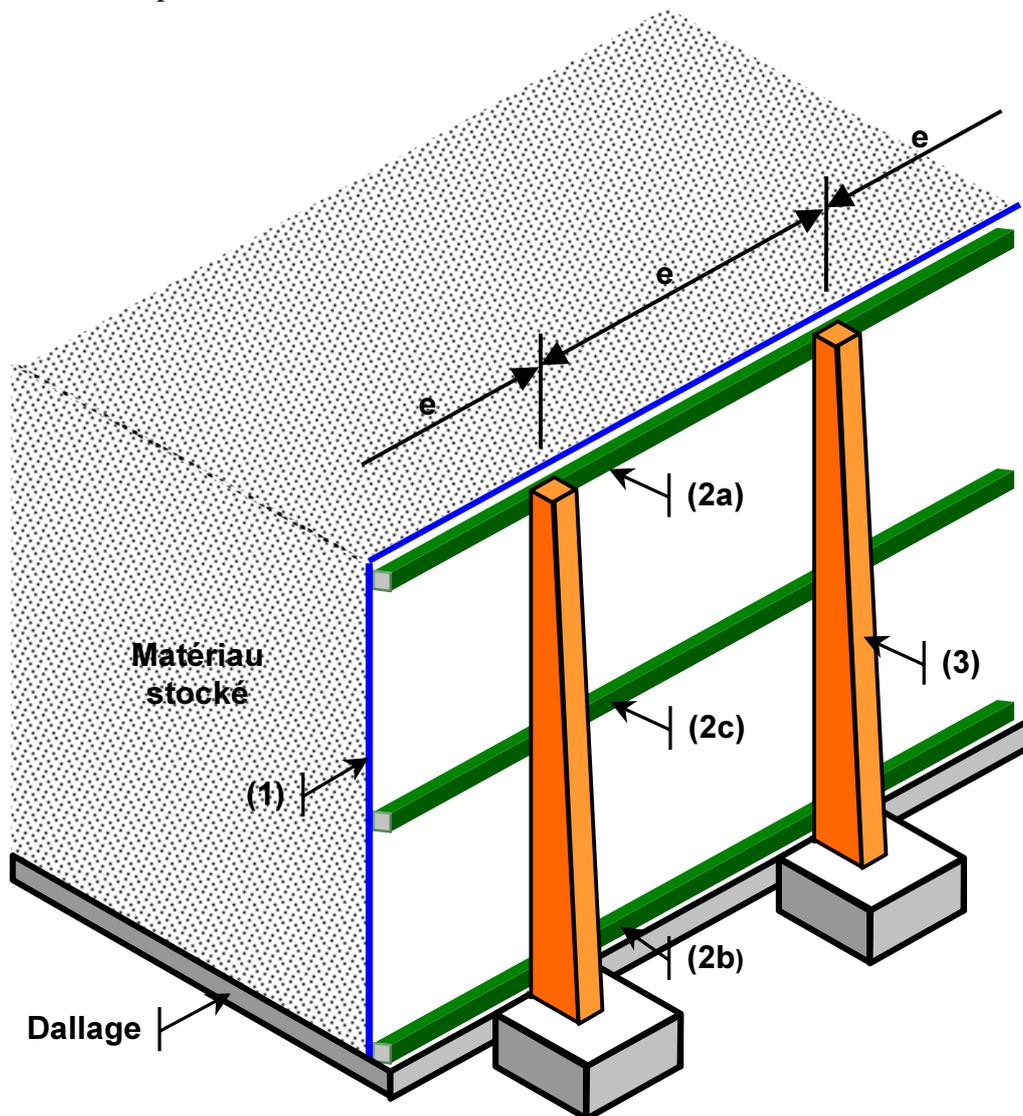
*L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule étant admise sur la table ou le poste de travail.*

**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 ».*

**PRÉAMBULE AUX QUESTIONS 1 À 4**

Un matériau granulaire est stocké à l'intérieur d'une enceinte dont les parois verticales sont constituées de panneaux (1) en appui latéral sur des « lisses » horizontales (2), elles mêmes fixées sur des poteaux (3). Ces composants structurels sont tous constitués de matériaux homogènes et isotopes.



L'étude proposée est découpée en quatre parties sous la forme de « questions » : la partie 2 est un prolongement de la partie 1, les deux suivantes sont totalement indépendantes. La résolution de ces questions fait appel aux connaissances de statique des solides, ainsi qu'à la théorie des poutres en comportement élastique.

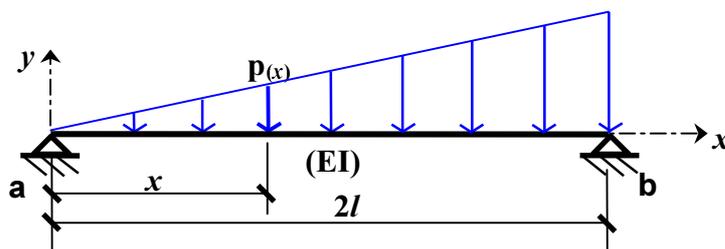
Nota : un minimum de calcul est nécessaire pour valider ou non les réponses proposées à chaque item.

## QUESTION 1

Étude du panneau (1) en partie courante. Ce panneau est soumis à la « poussée » (ou pression) du matériau granulaire, orthogonale au parement vertical (l'action de frottement du matériau sur ce parement est négligée).

Dans un premier temps, nous considérons que l'enceinte a été montée sans prévoir de *lisse intermédiaire* (2c) ; le panneau est donc simplement maintenu en tête par la *lisse* (2a), et en pied par la *lisse* (2b). L'intensité de la pression qu'il subit en chaque point est proportionnelle à la distance verticale du point, à la surface supérieure du stockage (supposée horizontale). Le panneau considéré est donc sollicité en flexion simple.

Il s'agit d'étudier une « bande verticale » de largeur unitaire, en appliquant la théorie des poutres au modèle mécanique suivant :



**a** et **b** sont des appuis simples que constituent les lisses (2a) et (2b).

$2l$  = la hauteur du stockage.

$(EI)$  = la raideur en flexion du panneau.

$p(x)$  = taux de charge linéique, à la distance  $x$  de l'appui **a** ; son intensité est fonction de la constante **k** liée au matériau stocké :

$$p(x) = k \cdot x.$$

Hypothèses :

- les appuis **a** et **b** sont supposés fixes ;
- les déformations du panneau dues à l'effort tranchant seront négligées.

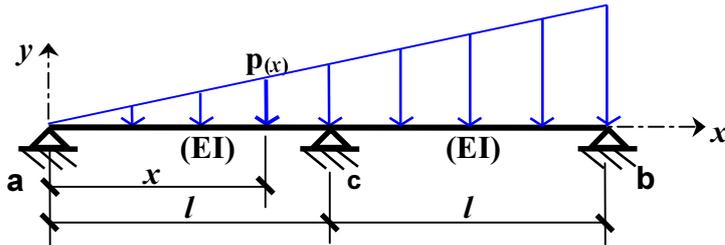
- (A) Le coefficient **k** ne dépend que du poids volumique du matériau stocké.
- (B) L'effort tranchant dans cet élément est nul pour  $x = 2l / 3$ .
- (C) Le moment fléchissant maximum est supérieur à  $0,50 kl^3$ .
- (D) La rotation de section en tête de panneau (au droit de l'appui **a**, pour la « poutre » modélisée ici) a pour valeur absolue exacte  $14kl^4 / 45EI$ .
- (E) Le déplacement maximum d'un point de la ligne moyenne, suivant la direction  $y$ , est obtenu pour  $x = 1,039 l$  (coefficient arrondi à la 3<sup>ème</sup> décimale).

## QUESTION 2

Nous reprenons l'étude du panneau (1) en partie courante. Ce panneau est toujours soumis à la *poussée* du matériau granulaire, orthogonale au parement vertical (rappel : l'action de frottement du matériau sur ce parement n'est pas prise en compte).

Nous considérons maintenant que la *lisse intermédiaire* (2c) a bien été positionnée à mi-hauteur des panneaux, ceci afin d'en limiter la flèche.

La modélisation mécanique de la « bande verticale » de largeur unitaire est donc celle d'une poutre sur trois appuis selon le schéma suivant :



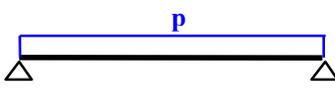
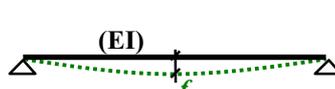
**a**, **b** et **c** sont des appuis simples.  
**(EI)** = la raideur en flexion du panneau, sur chaque *travée*.  
 $p(x) = k \cdot x$ .

Hypothèses :

- les appuis **a**, **b** et **c** sont supposés fixes ;
- les déformations du panneau dues à l'effort tranchant seront négligées.

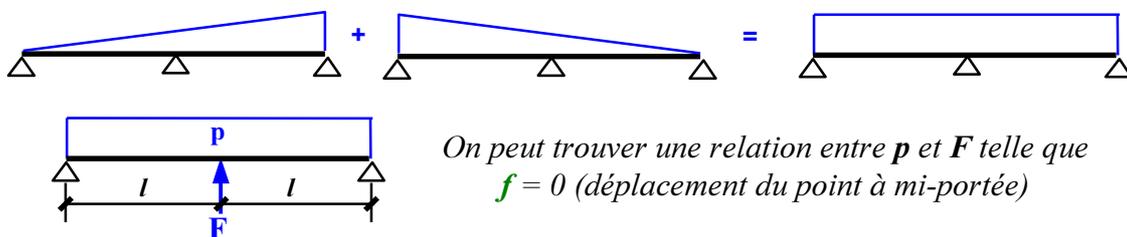
On rappelle ci-dessous les expressions de la flèche pour une poutre isostatique de portée **L** et de raideur en flexion **(EI)**, pour deux chargements élémentaires :

- charge linéique **p** uniformément répartie,
- charge **F** localisée à mi-portée.

 $f = 5 p L^4 / 384 EI$	 $f = F L^3 / 48 EI$
---	--

(A) L'action d'appui du panneau au droit de **c** est égale à  $1,25 kl^2$ .

*Nota : afin d'éviter de longs développements, on pourra appliquer le « principe de superposition » qui permet de justifier les informations ci-dessous...*



(B) L'action d'appui sur la lisse de tête (en **a**), est égale à  $k l^2 / 24$ .

(C) Dans la partie (**ac**), l'effort tranchant s'annule pour  $x = l / 3$ .

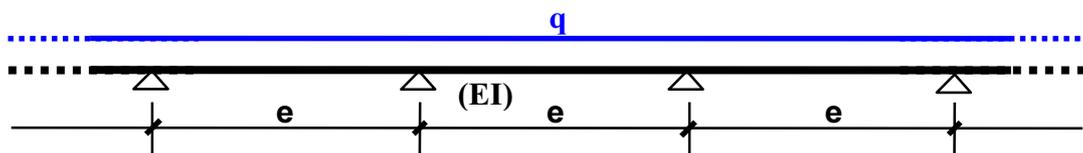
(D) Le moment fléchissant entre **a** et **c**, calculé au droit du point où l'effort tranchant est nul, est égal en valeur absolue à  $0,08 kl^3$  (coefficient arrondi au centième).

- (E) En considérant qu'au droit de l'appui **c**, le moment fléchissant est égal à  $kl^3 / 8$  (en valeur absolue), on en déduit que le moment au milieu de (**cb**) est aussi égal à  $kl^3 / 8$ .

### QUESTION 3

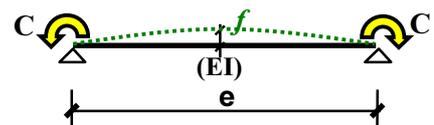
Étude d'une *lisse* (**2**), en considérant que les assemblages réalisés entre éléments constitutifs assurent une parfaite continuité sur l'ensemble des travées.

La fixation de la lisse sur chacun des poteaux – espacés d'un entraxe **e** – permet de considérer des liaisons de type appui simple. Le modèle mécanique retenu est alors le suivant :



Hypothèses :

- les appuis successifs sont supposés fixes ;
  - toutes les travées sont soumises au même taux de charge linéique **q**, et ont la même raideur en flexion (**EI**) ;
  - la travée étudiée (travée « centrale » sur le schéma ci-dessus) est éloignée des poteaux de rive ; on peut considérer qu'au droit de ses appuis les rotations de section sont nulles ;
  - les déformations de la lisse dues à l'effort tranchant seront négligées.
- (A) Les hypothèses énoncées permettent d'affirmer que la travée étudiée a le même comportement que celui d'une poutre bi-encastée, de même raideur, de même portée et soumise au même chargement.
- (B) En prenant  $qe^2 / 12$  comme valeur absolue du moment fléchissant au droit d'un appui, le calcul du moment fléchissant à mi-travée nous conduit à l'expression  $qe^2 / 16$ .
- (C) Compte tenu des hypothèses, l'effort tranchant dans la travée étudiée est identique à celui que subirait une travée isostatique de même portée et soumise au même chargement.
- (D) Sur la poutre isostatique représentée ci-contre, si l'on applique aux deux extrémités un « couple » **C** de même valeur absolue, la flèche obtenue sera  $f = Ce^2 / 10EI$ .

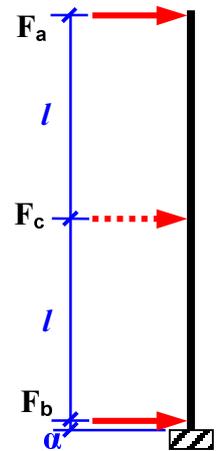


## QUESTION 4

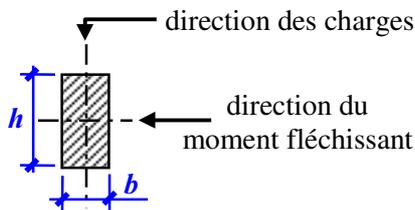
Étude d'un poteau (3) en partie courante, encastré en pied sur sa fondation. Nous utiliserons le modèle « poutre encastrée » représenté ci-contre.

Les actions transmises par les lisses (2a), (2b) et (2c) sont respectivement  $F_a$ ,  $F_b$  et  $F_c$ . L'intensité de ces actions dépend de la présence ou non de la lisse intermédiaire (2c), les valeurs à prendre sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Action des lisses	cas de 2 lisses	cas de 3 lisses
$F_a$	16 F	F
$F_c$	0	30 F
$F_b$	32 F	17 F



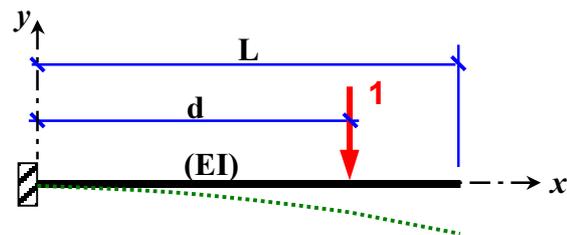
La section du poteau représentée ci-contre, est supposée constante sur toute la longueur (sauf pour l'item E).



La distance entre la direction de  $F_b$  et l'origine de la poutre (pied du poteau) est négligeable, on prendra  $\alpha = 0$ .

Équation de la déformée d'une « poutre-console » de raideur en flexion constante, en comportement élastique, pour une charge unitaire positionnée selon le schéma ci-contre :

- pour  $0 \leq x \leq d$  :  $y(x) = -x^2(3d-x)/6EI$
- pour  $d \leq x \leq L$  :  $y(x) = -d^2(3x-d)/6EI$



- (A) Dans le cas où les trois lisses sont en place, la contrainte de cisaillement atteint la valeur  $\tau_{\max} = 46,5F / bh$  dans la section la plus sollicitée.
- (B) Étant donné l'hypothèse relative à la cote  $\alpha$ , le moment fléchissant en pied de poteau est plus faible dans le cas où les trois lisses sont en place.
- (C) A partir des expressions données dans l'énoncé (relatives à la déformée des « poutres- consoles »), on peut en déduire que la présence de la lisse intermédiaire permet de réduire de 35% le déplacement horizontal en tête du poteau (valeur arrondie à l'unité).
- (D) Sachant que pour ce poteau la contrainte normale de flexion ne doit pas dépasser la valeur  $\sigma_{\text{limite}}$ , si la largeur  $b$  de la section en pied est égale au tiers de la hauteur  $h$ , on en déduit que cette hauteur ne doit pas être inférieure à  $8,32 (Fl / \sigma_{\text{limite}})^{0,5}$ .
- (E) On considère maintenant que le poteau a une section dont la hauteur varie linéairement, tout en conservant une largeur constante ( $b = h / 3$ ) :  $h_{\text{pied}} = h$  ;  $h_{\text{tête}} = h / 3$ .

Dans la section située à la distance  $l/2$  du pied de poteau, la contrainte normale de flexion reste inférieure à celle qui est atteinte en pied de poteau, que la lisse intermédiaire soit ou non en place.

## QUESTION 5

La paroi schématisée ci-après (de surface = 1 m<sup>2</sup>) est constituée d'isolant, de béton et de pavés de verre épais. On supposera que les températures de surface des parois extérieures et intérieures sont les mêmes sur toute la surface, quel que soit le matériau.

Les transferts sont supposés monodimensionnels, nous sommes en régime permanent établi.

Les résistances thermiques superficielles seront prises égales à :

$$R_{se} = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

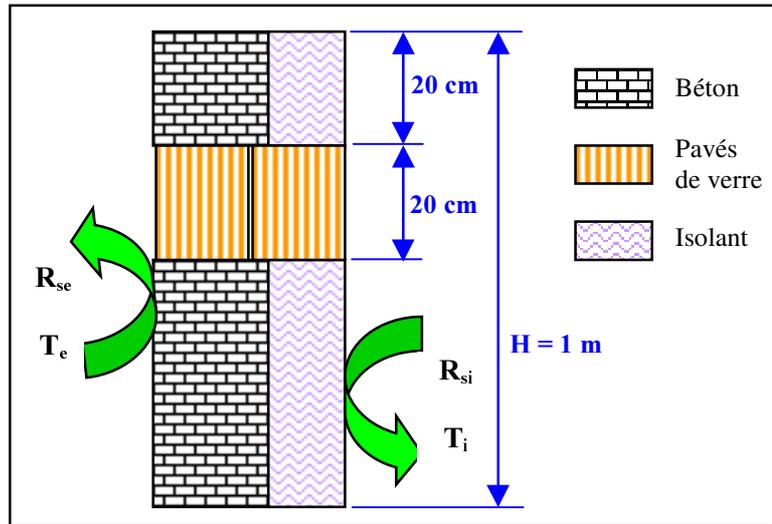
pour la surface en contact avec l'extérieur

$$R_{si} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

pour la surface en contact avec l'air intérieur

Caractéristiques des composants :

	e [m]	$\lambda$ [W/(m.K)]
Béton	0,15	2,00
Isolant	0,08	0,04
Verre <sup>(1)</sup>	R = 0,80 m <sup>2</sup> .K/W	



(1) : résistance fournie pour l'ensemble des pavés de verre mis en place sur l'épaisseur de la paroi.

- (A) Le flux thermique traversant l'ensemble de cette paroi est supérieur à 0,8 W/K.
- (B) Le flux calculé précédemment se répartit à environ 60% dans la partie en verre, 40% dans la partie opaque {béton + isolant}.
- (C) La résistance thermique équivalente de l'ensemble de la paroi (échanges superficiels + conduction dans la paroi) vaut 1,79 m<sup>2</sup>.K/W.
- (D) Si l'on inverse la position relative du composant en béton et de l'isolant, la valeur de la résistance thermique équivalente devient alors égale à 1,87 m<sup>2</sup>.K/W. Les constantes thermophysiques (conductivité, résistances superficielles) sont supposées ne pas varier lors de l'inversion géométrique des matériaux.
- (E) En conservant l'isolant du côté intérieur, quand T<sub>i</sub> = 20°C et T<sub>e</sub> = -5°C, on obtient une température négative à l'interface béton - isolant.



- (A) Dans le cas où le phénomène de convection peut être négligé par rapport aux transferts conductifs, la substitution de l'air par du **krypton** se traduit par une baisse de la conductivité thermique (calculée par rapport à celle de l'air) supérieure à 30 %.
- (B) En prenant en compte le phénomène de convection, la substitution de l'air par du **krypton** se traduit par une réduction du flux surfacique (calculée par rapport au flux en présence d'air) supérieure à 30 %.
- (C) Si l'on remplace l'air par de l'**argon**, la conductivité thermique équivalente de la lame sera plus faible qu'avec du krypton.
- (D) La conductivité thermique équivalente  $\lambda_e$  prenant en compte les aspects conductifs et convectifs, l'on peut écrire :

$$\frac{\lambda_e}{e} = U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

$R_{si}$  = résistance thermique superficielle face 1 ;

$R_{se}$  = résistance thermique superficielle face 2.

- (E) Si l'on fait le vide dans la lame, les transferts conductifs et convectifs entre les deux parois seront éliminés (pour la partie occupée précédemment par un gaz).

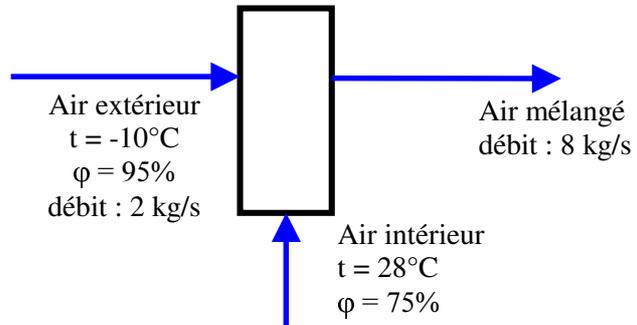
## QUESTION 7

Il s'agit d'étudier une centrale de traitement d'air, en particulier la partie nommée *caisson de mélange*. Ce type de dispositif permet d'assurer une économie d'énergie par le mélange d'air neuf et d'air extrait, ainsi que d'assurer le renouvellement d'air nécessaire à l'hygiène des locaux traités.

On considère le cas suivant :

$t$  : température sèche de l'air (°C)

$\varphi$  : humidité relative de l'air (%)



Données d'étude :

- l'air et la vapeur d'eau sont considérés comme des gaz parfaits
- la pression atmosphérique  $P_{atm}$  vaut 101 325 Pa
- la pression de vapeur saturante (vapeur d'eau dans l'air) se détermine en fonction de la température par la relation :

$$P_{vs} = 611 \exp(0,07252 * t - 0,0002881 * t^2) \quad \text{avec } P_{vs} \text{ [Pa] et } t \text{ [°C]}$$

- Définition de l'humidité relative :  $\varphi = P_v / P_{vs}$   
 $P_v$  : pression partielle de vapeur d'eau dans l'air [Pa]  
 $P_{vs}$  pression de vapeur saturante [Pa]
- Définition de l'humidité spécifique [kg vapeur d'eau / kg d'air sec] :

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_{atm} - P_v}$$

- $C_p$  (air humide) = 1050 J/(kg.K) supposé valable quels que soient  $t$  et  $\varphi$ .

- (A) La température sèche de l'air mélangé est de 18,50 °C.
- (B) L'humidité spécifique de l'air mélangé est inférieure à 12 g de vapeur d'eau / kg d'air sec.
- (C) L'air mélangé est situé dans la zone de brouillard (saturé en vapeur d'eau).
- (D) Pour porter le débit d'air de mélange à 32°C, il faut lui fournir une puissance (au moyen d'une batterie chaude par exemple) supérieure à 120 kW (on ne considère ici que les échanges sensibles).
- (E) Si l'on porte le débit d'air intérieur à 7 kg/s (le débit d'air extérieur restant à 2 kg/s), l'air du mélange ne sera plus saturé en vapeur d'eau.

## QUESTION 8

A propos du matériau béton destiné aux structures de bâtiments et ouvrages de génie civil...

L'harmonisation européenne a permis de formaliser un certain nombre d'exigences relatives aux constituants du béton, aux propriétés des bétons frais et durcis, ainsi qu'aux procédures de contrôle de production et d'évaluation de la conformité.

Une bonne application de ces exigences nécessite tout d'abord, de la part des opérateurs concernés, l'appropriation de la définition des paramètres clés, ainsi qu'une connaissance minimale de quelques ordres de grandeur. Dans ce contexte, il s'agit ici de valider ou non les propositions suivantes.

- (A) Un prélèvement est effectué sur une livraison de sable destiné à la réalisation d'un ouvrage de génie civil. Les mesures de propreté à partir de l'essai dit « Équivalent de sable » ont permis d'obtenir la valeur  $ES = 40$ . On peut considérer que cette valeur est acceptable pour l'emploi de ce sable dans la fabrication d'un béton de structure.
- (B) La masse volumique réelle d'un sable siliceux utilisé pour la composition d'un béton est supérieure à  $3500 \text{ kg/m}^3$ .
- (C) Le volume unitaire d'un béton prêt à l'emploi est le mètre cube de béton frais, après compactage.
- (D) On considère un mélange réalisé avec 400 kg de ciment, 1800 kg de sables et graviers calcaires parfaitement secs, et un apport de 200 litres d'eau. Le rapport E/C (eau / ciment) qui a servi de base à l'obtention d'une résistance à la compression souhaitée, est ici égal à 0,5.



-----

La « classe de consistance » d'un béton frais est en rapport avec son comportement rhéologique. Elle peut être établie à partir de divers essais dont les plus employés sont :

- l'essai d'affaissement,
  - l'essai d'étalement.
- (E) La consistance d'un béton autoplaçant sera contrôlée à l'aide de l'essai d'étalement.

## QUESTION 9

En prolongement de la réflexion entamée dans la question précédente...

Durant la vie d'un ouvrage en béton, l'évolution du matériau sera liée aux actions dues à l'environnement. Les exigences en matière de durabilité ont conduit à définir six « classes d'environnement » :



- classe 1 : aucun risque particulier d'attaque chimique (par exemple pour un béton à l'intérieur d'un bâtiment à faible taux d'humidité),
- classe 6 : risque sévère d'attaque chimique (par exemple pour un béton au contact de sols pollués, chimiquement agressifs).

(A) La présence d'ions sulfate dans le milieu environnant une structure en béton n'est pas un facteur de risque à prendre en compte.

(B) En fonction de la classe d'exposition, un dosage minimum en ciment est requis.

(C) Un ciment de type CEM I, comportant les mentions PM-ES dans le cartouche de marquage, est bien adapté pour les travaux en zone maritime ainsi que pour réaliser des fondations en terrain gypseux ou en présence d'eaux séléniteuses.



-----  
La composition des bétons actuels fait souvent appel à des « additions minérales », sources d'économie de ciment, voire d'amélioration de performances. Dans ce cas, le rapport E/C, qui intervient dans la corrélation avec la résistance à la compression souhaitée, est remplacé par le rapport E/C' avec  $C' = (C + kA)$  qui représente la quantité de « liant équivalent ».

- C étant la masse de ciment utilisée dans la composition,
- k étant le coefficient de prise en compte de l'addition (en lien avec son « indice d'activité »),
- A étant la masse de l'addition incorporée au mélange.

(D) Les *cenclres volantes* ainsi que les *fumées de silice* sont employées comme additions minérales dont on peut prendre en compte la participation comme indiqué ci-dessus.

(E) Afin d'obtenir la même résistance qu'avec un dosage à 340 kg ciment, sans changer les autres constituants du mélange, on pourra obtenir un béton de même résistance en compression si l'on remplace 20 kg de ciment par 80 kg de fines calcaires dont le coefficient de prise en compte est égal à 0,25.

## QUESTION 10

L'air atmosphérique est considéré comme étant un mélange de gaz parfaits (principalement de l'azote  $N_2$  et de l'oxygène  $O_2$ ). Les proportions en volume (et donc en moles) de ces gaz seront prises égales à 80% d'azote et 20% d'oxygène.

Pour une altitude  $z_0 = 0$  m, l'air est à une température  $T_{(0)} = 293$  K, et à une pression  $P_{(0)} = 1013$  hPa.

La température de l'air est linéairement décroissante en fonction de l'altitude, en suivant un coefficient  $\kappa = 6.10^{-3}$  K/m.



Donnée d'étude thermodynamique de l'air atmosphérique :

- Masse molaire de l'oxygène = 16 g/mol ; de l'azote = 14 g/mol
- Constante des gaz parfaits  $R = 8,32$  S.I.
- Un bilan des forces statiques sur un petit élément d'atmosphère permet de montrer que la pression dépend de l'altitude selon la loi :

$$P_{(z)} = P_{(0)} \cdot \left( \frac{T_{(z)}}{T_{(0)}} \right)^{\frac{M \cdot g}{\kappa \cdot R}}$$

avec :  $P$  : pression de l'atmosphère [Pa]  
 $M$  : masse molaire de l'air [kg/mol]  
 $g$  : accélération de la pesanteur = 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 $T_{(z)}$  : température [K] exprimée en fonction de l'altitude  $z$  [m]

- (A) La masse molaire de l'air est égale à 28,8 g/mol.
- (B) La masse volumique de l'air, à l'altitude zéro, est légèrement inférieure à 1,2 kg/m<sup>3</sup>.
- (C) Le calcul de la température de l'air en fonction de l'altitude nous donnera les résultats ci-dessous (arrondis au dixième de degré) :

Altitude	10 m	100 m	1000 m	10000 m
Température	19,8°C	19,3°C	13,9°C	-40,2

- (D) Au sommet du Mont Blanc (altitude 4807 m) la pression atmosphérique est inférieure à 500 hPa.
- (E) A une altitude de 30 000 m, la masse volumique de l'air est inférieure au centième de celle qui règne à l'altitude zéro.

---

FIN