

**BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS
-SESSION 2015-**

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

CODE ÉPREUVE : 971

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 DE L'ÉPREUVE : 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 :

Certaines questions peuvent porter sur un même thème, elles sont cependant indépendantes. Il est toutefois nécessaire de lire les informations dans l'ordre de la numérotation.

QUESTION 1

Comportement d'une structure plane

On considère la structure poteau-poutre (cf. Figure 1) constituée de deux éléments ABC et BD, de module d'Young E et de moment quadratique I_{Gz} . La liaison entre ces deux barres est une articulation. Cette articulation n'affecte pas la continuité de la barre ABC. Les liaisons avec le bâti extérieur sont réalisées à partir d'appuis rotulés.

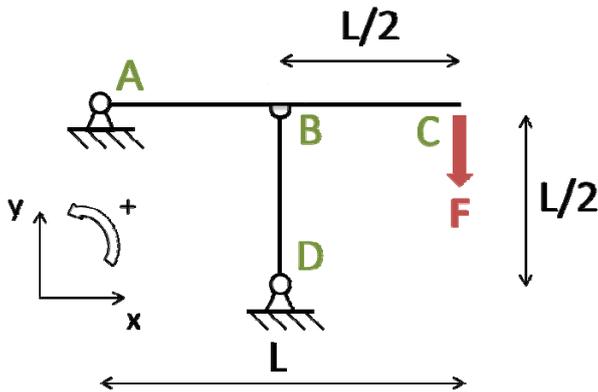
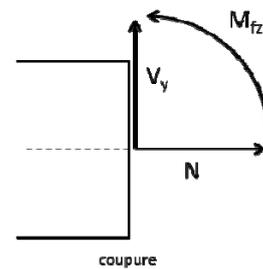


Figure 1 : Système poutre-poteau



Convention de signe (sens positif)

- (A) La structure est hyperstatique de degré 1.
- (B) Les composantes horizontales des réactions d'appuis en A et D, notées R_{xA} et R_{xD} , sont nulles.
- (C) Le moment fléchissant dans la barre AB est constant.
- (D) En négligeant la variation de longueur de la barre BD, le déplacement vertical au point d'application de la force a pour expression :

$$v = -\frac{FL^3}{12EI}$$

- (E) La rotation de section en C a pour expression :

$$\theta = -\frac{FL}{2EI}$$

QUESTION 2

Comportement thermique d'une paroi

La Figure 1 représente la vue en coupe de la paroi d'un four. Une couche de briques réfractaires ②, d'épaisseur e_2 et de conductivité λ_2 , est placée entre deux plaques d'acier ① d'épaisseur e_1 et de conductivité thermique λ_1 .

Des couches d'air ③, d'épaisseur e_3 et de conductivité thermique λ_3 (compte tenu de leur épaisseur, la "convexion interne" est négligeable), sont insérées dans la brique réfractaire. Les faces des briques adjacentes aux plaques d'acier ont un contact solide-solide sur 30% de la surface totale. L'épaisseur totale de la paroi est de $e_T = 64$ cm.

Les températures des faces extérieures des plaques d'acier sont $T_1 = 100$ °C et $T_2 = 500$ °C. Le schéma électrique équivalent est spécifié en Figure 2. La température T_3 correspond à celle au milieu de la paroi.

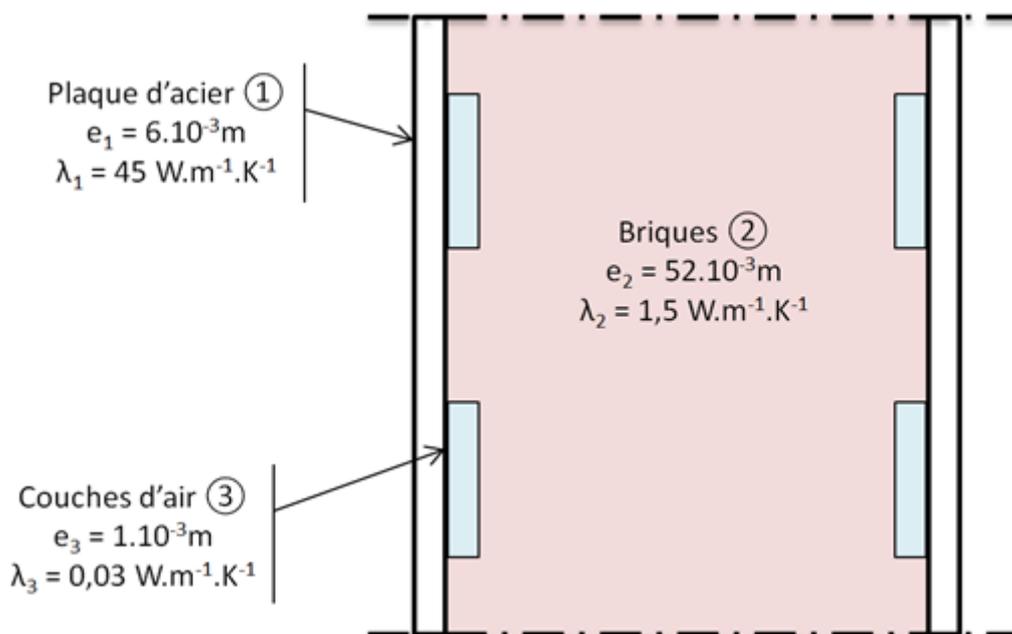


Figure 1 : Vue en coupe - Paroi d'un four

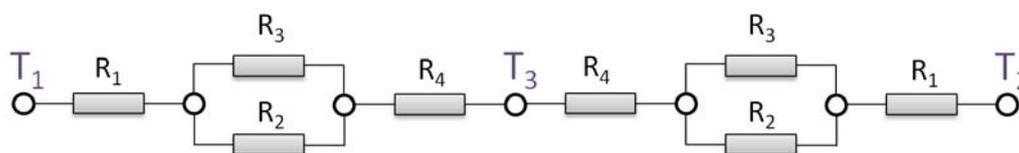


Figure 2 : Schéma électrique équivalent du système

La résistance thermique R_{eq} du système $[R_2-R_3]$ a pour expression : $R_{eq} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$

- (A) La résistance thermique R_4 de la zone ② est supérieure à $15 \cdot 10^{-3} \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$.
- (B) La résistance thermique totale du mur est inférieure $R_T = 40 \cdot 10^{-3} \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$.

Pour la suite on suppose que la résistance thermique totale du mur est égale à
 $R_T = 40 \cdot 10^{-3} \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$

- (C) Le flux thermique transmis à travers 1 m² de paroi est supérieur 11 kW.
- (D) La température T₃ est supérieure à 280°C.
- (E) En prenant en compte le phénomène de convection de part et d'autre de la paroi, avec des coefficients de convection intérieur et extérieur identiques, la température T₃ reste inchangée.

QUESTION 3

Échangeurs de chaleur pour eau chaude sanitaire

Dans un échangeur thermique, un fluide chaud fournit sa chaleur à un fluide froid sans se mélanger à lui. On les fait circuler le long d'une paroi de séparation. En un point donné de l'échangeur, le transfert de chaleur avec un des deux fluides est proportionnel à l'écart entre la température de ce fluide et la température de la paroi en ce point.

Ainsi, de l'eau issue d'une chaudière est utilisée pour réchauffer de l'eau potable (ballon d'eau chaude sanitaire par exemple), dans un échangeur à contre-courant (les deux fluides circulent en sens inverse).



La température de l'eau de la chaudière décroît entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de 95°C à 60°C. La température de l'eau potable croît entre l'entrée et la sortie de 20°C à 40°C.

Loi d'échange thermique à exploiter :

Flux échangé [W] : $\Phi = K.S.DTLM$ expression dans laquelle :

- K est le coefficient global d'échange thermique, S est l'aire de la surface d'échange,
- $DTLM$ est la différence de température logarithmique moyenne déterminée comme suit :

$$DTLM = \frac{\Delta - \delta}{\ln\left(\frac{\Delta}{\delta}\right)}$$

Δ et δ étant des différences de température [°C ou K] :
 δ différence de température côté sortie fluide chaud
 Δ différence de température côté entrée fluide chaud

Données d'étude :

- $K = 325 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$; $S = 1,6 \text{ m}^2$.
- L'échangeur est parfaitement calorifugé.
- La chaleur massique de l'eau liquide (sur la plage de température correspondant à notre étude) $C_p = 4180 \text{ J}/(\text{kg}.\text{K})$.

(A) Dans cette situation, la différence de température logarithmique moyenne est comprise entre 45 et 50 K.

(B) Le flux de chaleur transféré entre l'eau de la chaudière et l'eau potable est inférieur à 24 kW.

(C) Le débit de l'eau potable est supérieur à 0,2 kg/s.

(D) Si l'on considère que l'échangeur est co-courant (fluides circulant en parallèle dans le même sens), en gardant les mêmes températures d'entrée et de sortie, la différence de température logarithmique moyenne sera la même.



(E) Avec la même configuration que pour l'item précédent, pour échanger le même flux qu'en contre-courant, il faut doubler la surface d'échange.

QUESTION 4

Eurocodes structuraux - bases de calcul des structures

L'EN 1990 définit des principes et des exigences en matière de sécurité, d'aptitude au service et de durabilité des structures, décrit les bases pour le dimensionnement et la vérification de celles-ci, et fournit des lignes directrices concernant les aspects de la fiabilité structurale qui s'y rattachent.



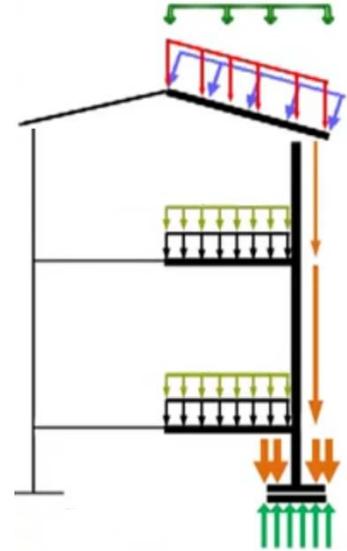
- (A) Le règlement du Comité européen de Normalisation (CEN) impose que les normes européennes adoptées par ses membres soient transformées en normes nationales après leur ratification et que les normes nationales en contradiction soient annulées.
- (B) L'Annexe Nationale d'un Eurocode peut contenir des informations sur les paramètres laissés en attente dans l'Eurocode pour choix national, il s'agit par exemple de données propres à un pays telles que les actions climatiques. L'Annexe Nationale peut aussi contenir des informations complémentaires, contradictoires à l'Eurocode, mais en usage dans le pays.
- (C) Il est admissible d'utiliser des règles de dimensionnement différentes des Règles d'Application données dans l'EN 1990, à condition que leur conformité aux Principes concernés soit démontrée et qu'elles donnent au moins le même niveau de sécurité structurale, d'aptitude au service et de durabilité, que celui qui serait escompté par l'utilisation des Eurocodes.
- (D) États-limites de service : états au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux critères de dimensionnement pertinents, tels que les états associés à un effondrement ou à d'autres formes similaires de défaillance structurale.
- (E) La valeur de combinaison d'une action variable ($\psi_0 \cdot Q_k$) est la valeur choisie, de sorte que la probabilité de dépassement des effets causés par la combinaison soit à peu près la même que pour la valeur caractéristique d'une action individuelle. Elle est exprimée comme une fraction de la valeur caractéristique en utilisant un facteur $\psi_0 \leq 1$.

QUESTION 5

NF EN 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures partie 1-1 : actions générales - poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiment

L'Annexe A de cet Eurocode fournit des valeurs nominales des poids volumiques des matériaux de construction ainsi que des valeurs nominales des poids volumiques et des angles de *talus naturel* de matériaux stockés.

Les charges d'exploitation des bâtiments sont celles provoquées par l'occupation des locaux ; leurs valeurs caractéristiques sont données dans le tableau 6.2 (NF) : charges d'exploitation sur les planchers, balcons et escaliers dans les bâtiments. Pour les planchers de bâtiments, ces valeurs sont fonction de la Catégorie d'usage, selon le tableau 6.1, 6.3, 6.7 (extraits ci-dessous).



Catégorie	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation, résidentiel	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux ; chambres d'hôtels et de foyers ; cuisines et sanitaires.
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D ^{a)})	<p>C1 : Espaces équipés de tables etc., par exemple : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception</p> <p>C2 : Espaces équipés de sièges fixes, par exemple : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente</p> <p>C3 : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemple : salles de musée, salles d'exposition etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares</p> <p>C4 : Espaces permettant des activités physiques, par exemple : dancings, salles de gymnastique, scènes</p> <p>C5 : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare</p>
D	Commerces	<p>D1 : Commerces de détail courants</p> <p>D2 : Grands magasins</p>

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
E1	Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès	Aires de stockage, y compris stockages de livres et autres documents
E2	Usage industriel	

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
F	Aires de circulation et de stationnement pour véhicules légers ($PTAC \leq 30$ kN et nombre de places assises ≤ 8 , non compris le conducteur)	garages ; parcs de stationnement, parkings à plusieurs étages
G	Aires de circulation et de stationnement pour véhicules de poids moyen (30 kN $< PTAC \leq 160$ kN, à deux essieux)	voies d'accès, zones de livraison, zones accessibles aux véhicules de lutte incendie ($PTAC \leq 160$ kN)

Les charges d'exploitation sont modélisées par des charges uniformément réparties (q_k), destinées à la détermination des effets généraux, ou des charges concentrées (Q_k), destinées à la détermination des effets localisés.

Selon les clauses 6.2.1(4) et 6.3.1.2(10) reprise dans l'Annexe Nationale, un coefficient de réduction α_A ($\leq 1,0$) peut être appliqué aux charges d'exploitation pour le calcul des éléments structuraux reprenant une grande surface de planchers de catégories d'usage suivantes A, B, C3, D1 et F. Ce coefficient est calculé selon l'expression :

$$\alpha_A = 0,77 + A_0/A ; \text{ avec } A_0 = 3,5 \text{ m}^2 \text{ A étant l'aire chargée.}$$

Selon la clause 6.3.1.2(11), lorsque les charges d'exploitation de plusieurs étages agissent sur les poteaux et les murs, les charges d'exploitation totales peuvent être réduites par l'application d'un coefficient α_n , sous réserve que la surface soit classée dans les catégories d'usage A, B et F selon le Tableau 6.1. Ce coefficient est calculé en fonction du nombre n d'étages portés selon les expressions suivantes :

$$\alpha_n = 0,5 + 1,36/n \text{ pour la catégorie A ; } \alpha_n = 0,7 + 0,8/n \text{ pour les catégories B et F.}$$

Les coefficients α_A et α_n ne sont pas à prendre en compte simultanément.

(A) Quelques ordres de grandeurs sont à considérer :

- béton normal $\gamma = 24$ à 25 kN/m^3 selon le taux d'armatures
- sables et graviers en vrac $\gamma = 15$ à 20 kN/m^3
- bois de classe de résistance C14 à C40 $\gamma = 3,5$ à 5 kN/m^3
- bois lamellé collé $\gamma = 4$ à 5 kN/m^3
- acier $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

(B) Les valeurs caractéristiques des charges d'exploitation (q_k) sont de $3,5 \text{ kN/m}^2$ pour les planchers de catégorie A, et de $1,5 \text{ kN/m}^2$ sur les balcons.

(C) Pour déterminer l'effet du poids propre dû aux cloisons mobiles, on utilise une charge uniformément répartie équivalente, ajoutée à la charge d'exploitation.

(D) On considère un plancher d'immeuble de bureaux (maquette ci-contre, 42 m par 24 m en plan) porté uniquement par deux files de poteaux disposés tous les 6 m le long des façades principales.

Sachant que pour ce plancher $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$, en application des clauses 6.2.1(4) et 6.3.1.2(10) énoncées plus haut, la part de charge d'exploitation reprise à chaque étage par l'un des poteaux en partie courante peut être estimée entre 140 kN et 150 kN.



(E) Concernant l'immeuble présenté à l'item précédent, si l'on considère le même taux de charge $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ à tous les niveaux (plancher terrasse compris), selon la clause 6.3.1.2(11), un poteau située en partie courante du rez-de-chaussée devra reprendre une charge d'exploitation inférieure à 1 MN.

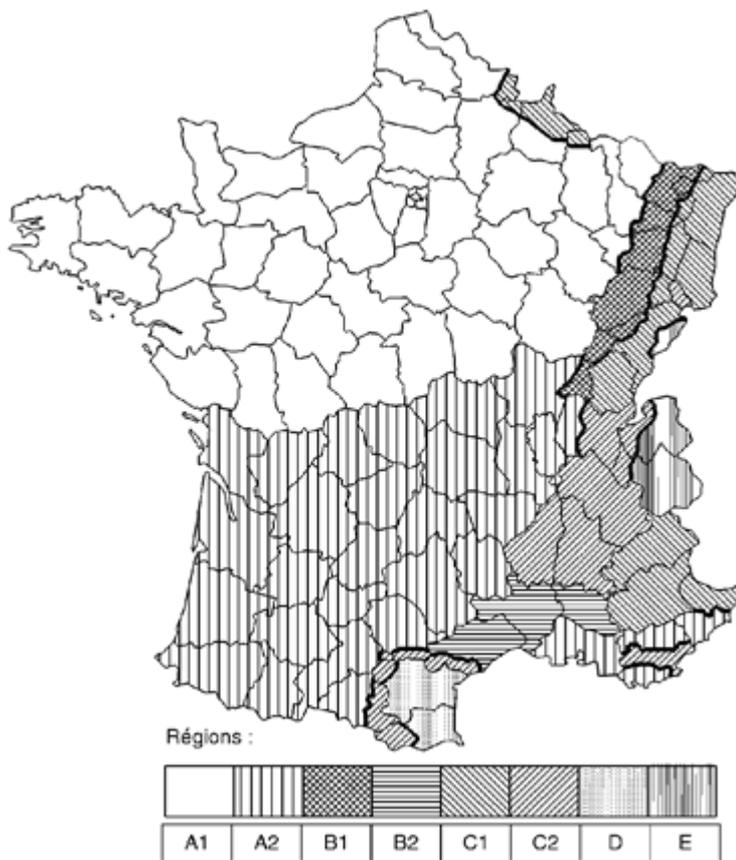
QUESTION 6

NF EN 1991 Eurocode 1 :

Actions sur les structures

Partie 1-3 : actions générales - charges de neige

La détermination des charges de neige est basée sur la prise en compte, non d'une « épaisseur de couche », mais d'un « poids de neige » associé au site de construction où le projet doit être implanté.



Dans chaque pays, la *carte neige* donne l'intensité de la *valeur caractéristique* de la charge de neige sur le sol (notée s_k , exprimée en kN/m^2), à prendre en considération selon l'Eurocode 1 partie 1-3.

(A) D'après l'Annexe nationale française, la norme NF EN 1991-1-3 est applicable quelle que soit l'altitude du site d'implantation du projet.

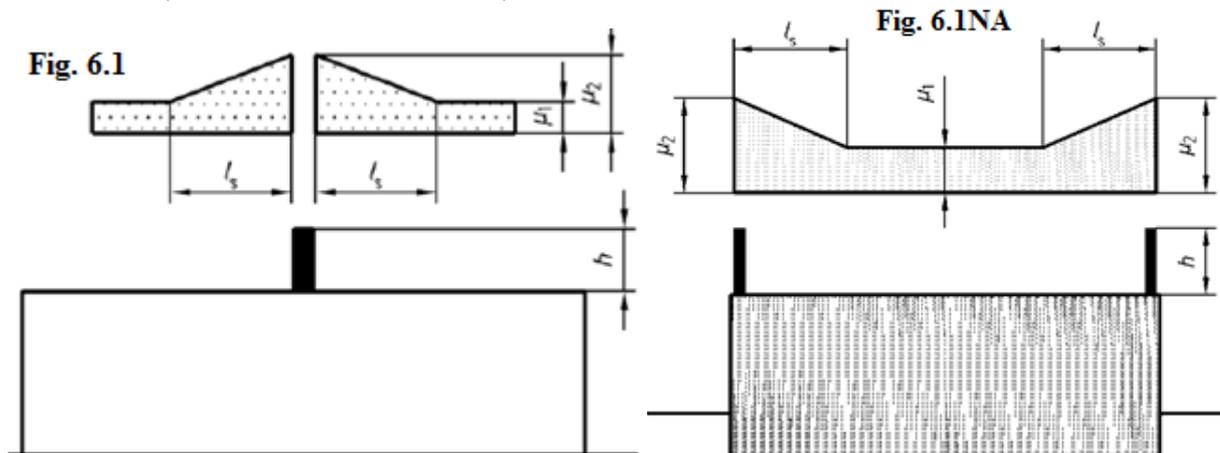
- (B) La valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol (s_k) est une valeur déterminée sur la base d'une probabilité qu'elle soit dépassée sur une période d'un an égale à 0,02 (1/50 soit un événement *cinquantenal*).
- (C) En France métropolitaine, d'après la carte des valeurs des charges de neige sur le sol à prendre en compte sur le territoire, selon la région la valeur caractéristique s_k , à une altitude inférieure à 200 m, est comprise entre 0,60 et 2,40 kN/m^2 .
- (D) En un lieu donné, la charge de neige sur une toiture plate, hors zones d'accumulation et sans tenir compte de l'influence de l'exposition ni des effets thermiques, est égale à 80% de la charge de neige sur le sol.

Extrait de la norme NF EN 1991-1-3

§ 6 Effets locaux

6.2 Accumulation au droit de saillies et d'obstacles

(1) En cas de vent, une accumulation de la neige peut se produire sur toute toiture présentant des obstacles, car ceux-ci créent des zones d'ombre aérodynamique dans lesquelles la neige s'accumule (schématisation ci-dessous).



(2) Il convient d'adopter les valeurs suivantes des coefficients de forme et des longueurs d'accumulation pour des toitures quasi horizontales (Figure 6.1) :

$$\mu_1 = 0,8 ; \mu_2 = \gamma h/s_k \text{ avec la limitation suivante : } 0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

où γ est le poids volumique de la neige, qui dans ce calcul peut être pris égal à 2 kN/m^3 .

$$l_s = 2h \text{ avec la limitation suivante : } 5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

L'Annexe nationale précise : dans le cas de deux acrotères la figure 6.1 de la norme NF EN 1991-1-3 devient la figure 6.1NA, dans laquelle μ_2 peut être limité supérieurement à 1,6 (au lieu de 2,0).

(E) Le bâtiment, dont la toiture-terrasse est représentée ici, est implanté sur un site pour lequel nous avons $s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2$.

Les acrotères ont une hauteur $h = 0,60 \text{ m}$. Compte tenu des *coefficients de forme* (μ_1 et μ_2) définis précédemment, selon le modèle d'accumulation proposé par l'Eurocode, la charge de neige maximale dépassera $1,0 \text{ kN/m}^2$; à 2 m du pied d'un acrotère la charge de neige ne devrait pas dépasser $0,70 \text{ kN/m}^2$.

Calcul à effectuer en conformité avec L'Annexe nationale.



QUESTION 7

Caractérisation d'un sol

On étudie un limon compressible. Des échantillons ont été prélevés dans une zone où le limon est entièrement saturé. Ce limon a été caractérisé en laboratoire, les résultats obtenus sont résumés ci-dessous.

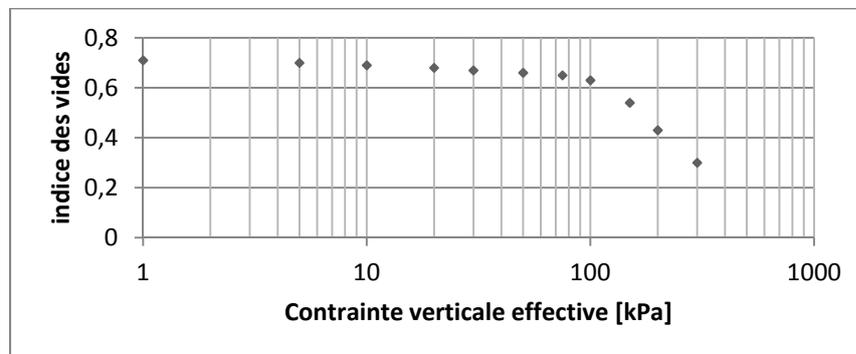
Poids volumiques (échantillons 1 et 2) :

poids volumique	Limon
γ_s (poids volumique des grains)	27 kN.m ⁻³
γ_d (poids volumique sec)	16,5 kN.m ⁻³

Masses (échantillon 1) :

Pesée avant étuvage	210
Pesée après étuvage	165g

Essai oedométrique (échantillon 2 - prélevé à une profondeur où la contrainte verticale effective est de 50 kPa) :



Rappel : poids volumique de l'eau $\gamma_w = 10 \text{ kN.m}^{-3}$

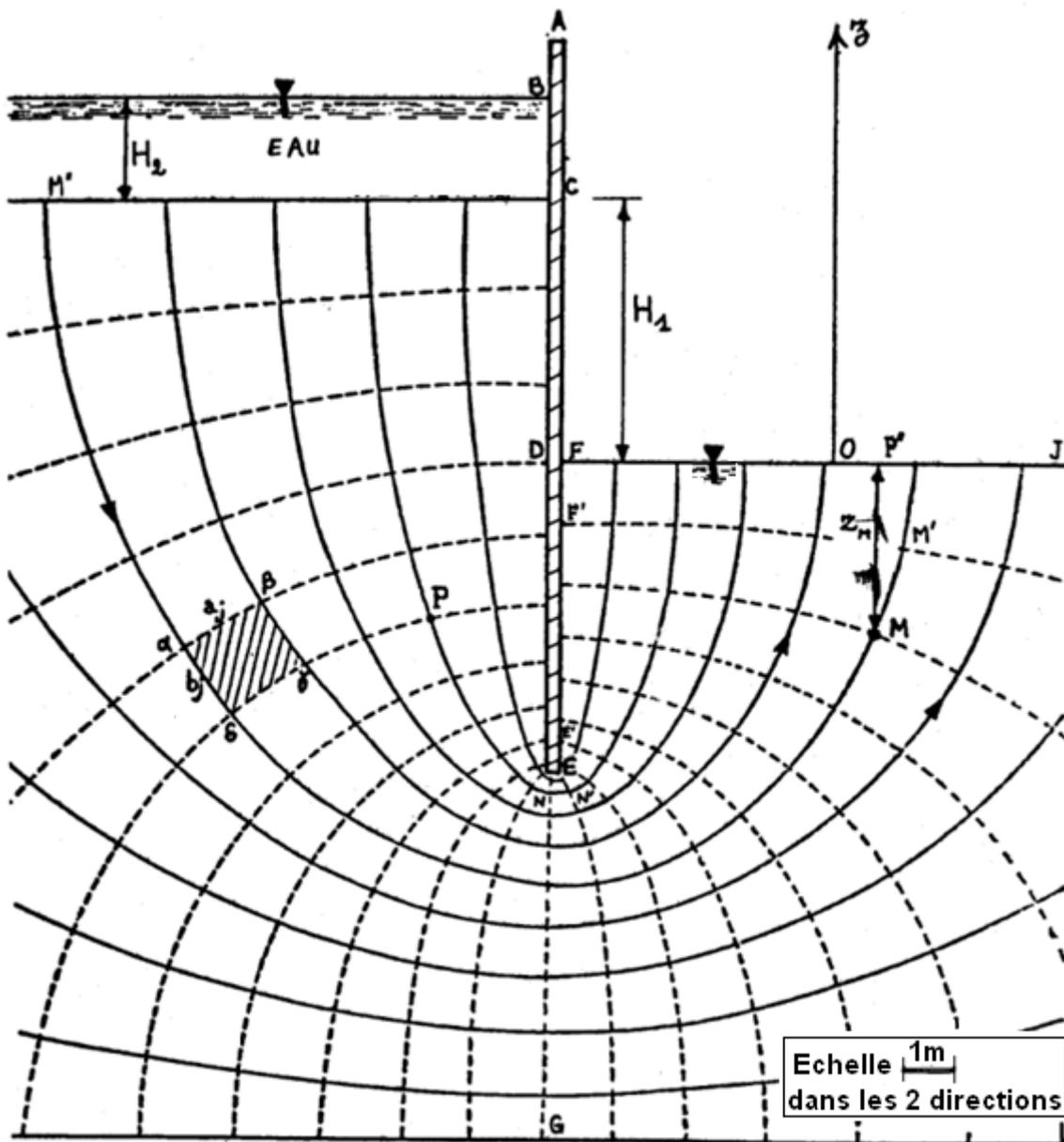
- (A) La granulométrie d'un limon se situe généralement entre celle d'un sable et celle d'un gravier.
- (B) La teneur en eau w_1 de l'échantillon 1 est supérieure à 30%.
- (C) L'indice des vides e_1 de l'échantillon 1 est inférieur à 0,7.
- (D) Le poids volumique humide (ou apparent) de l'échantillon 1 est inférieur à 21,5 kN.m⁻³.
- (E) Le limon est considéré comme *surconsolidé*.

QUESTION 8

Rideau de palplanches

On considère un réseau de palplanches destiné à la réalisation d'une fouille. Le sol perméable est le siège d'un écoulement permanent dont les caractéristiques sont données sur la Figure ci-dessous (ouvrage en coupe verticale).

L'étude se fait sur une tranche de 1 m (perpendiculairement au plan de la Figure).



----- Lignes équipotentiellles ——— Lignes de courant

On rappelle l'expression de la charge hydraulique en tout point i : $h_i = \frac{u_i}{\gamma_w} + z_i$

Avec :

- h : charge hydraulique [m] ; u : pression interstitielle [Pa]
- γ_w : poids volumique de l'eau = 10 kN.m^{-3}
- z : hauteur du point considéré par rapport au repère indiqué sur la figure ci-dessus [m]

On rappelle également la loi de Darcy : $v = \frac{Q}{S} = k \cdot I$

Avec :

- v : vitesse apparente [m/s] ; Q : débit d'eau [m^3/s]
- S : section de passage de l'eau [m^2]
- k : coefficient de perméabilité = 10^{-6} m/s
- I : gradient hydraulique défini comme étant le rapport entre le différentiel de charge entre deux points et la distance entre ces deux points

$$\text{par exemple entre les points C et D : } I_{CD} = (h_C - h_D) / L_{CD}$$

Pour calculer le débit s'écoulant dans un tube de courant¹, il faut isoler la maille $\alpha\beta\gamma\delta$ du réseau, et lui appliquer la loi de Darcy. La maille étant supposée carrée, le rapport de ses côtés a_j et b_j vaut 1. L'écart de charge entre chaque équipotentielle est toujours le même. Le niveau d'eau amont est $H_2 = 2 \text{ m}$. Le niveau d'eau aval se situe en surface FJ ; la hauteur H_1 est de 5 m .

- (A) La différence de charge entre l'amont et l'aval est supérieure à 5 m .
- (B) La différence de charge entre deux équipotentiels est inférieure à $0,4 \text{ m}$.
- (C) Le débit dans un tube de courant est supérieur à $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.
- (D) Le débit total est supérieur à $20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.
- (E) La pression d'eau au point D est inférieure à 40 kPa .

- FIN -

¹ Un tube de courant est la zone située entre deux lignes de courant.