

BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS

-SESSION 2012-

ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL

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.

DUREE : 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

Acoustique dans les bâtiments

Le confort dans l'habitat et sur les lieux de travail est particulièrement lié à l'ambiance sonore. Celle-ci est fonction de la nature et de la géométrie des parois, ainsi que des « nuisances extérieures ».



Afin d'être en mesure de juger la qualité acoustique des locaux, un certain nombre de paramètres doivent être pris en compte ; nous allons ici en citer quelques uns.

- (A) Le niveau moyen de pression acoustique dans une salle est égal à dix fois le logarithme décimal du rapport de la moyenne spatio-temporelle des carrés des pressions acoustiques au carré de la pression acoustique de référence ; cette grandeur est exprimée en décibels. Soit :

$$L = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right)$$

où L_j représente les niveaux de pression acoustique L_1 à L_n pour n positions différentes dans la salle.

- (B) L'isolement acoustique brut est la différence, en décibels, des niveaux des pressions acoustiques quadratiques moyennes produites dans deux salles par une ou plusieurs sources de bruit situées dans l'une d'elles : $D = L_1 - L_2$
où L_1 est le niveau moyen de pression acoustique dans la salle d'émission ; L_2 est le niveau moyen de pression acoustique dans la salle de réception.

- (C) L'isolement acoustique normalisé est l'isolement acoustique, en décibels, correspondant à l'aire d'absorption de référence dans la salle de réception :

$$D_n = D - 10 \lg \frac{A}{A_0}$$

où D est l'isolement acoustique brut, en décibels ; A est l'aire d'absorption acoustique équivalente de la salle de réception, en mètres carrés ; A_0 est l'aire d'absorption de référence ; pour les salles dans des locaux à usage d'habitation ou des salles de taille comparable : $A_0 = 20 \text{ m}^2$.

Mise en application dans le cas d'une salle dont l'aire d'absorption acoustique équivalente est égale à 14 m^2 . Dans cette salle, les mesures normalisées ont donné les résultats suivants :

L_j	48 dB	51 dB	45 dB	46 dB	45 dB
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Ceci alors que dans le local d'émission le niveau moyen de pression acoustique était de 82 dB.

- (D) Dans le cas décrit ci-dessus, l'isolement acoustique brut obtenu est inférieur à 35 dB.
- (E) Dans cette situation, l'isolement acoustique normalisé de cette salle est supérieur à l'isolement acoustique brut.

QUESTION 2

Performances acoustiques

L'inconfort, le stress, la fatigue et certaines pathologies peuvent être la conséquence d'un mauvais environnement sonore, notamment dans les espaces de bureau. Les entreprises sont tenues d'y prêter attention et de proposer à leur personnel des aménagements minimisant les expositions et les risques.



Les textes normatifs français dans le domaine de la qualité acoustique des locaux d'activité fixent des seuils pour un certain nombre de paramètres représentatifs dont les acteurs participant à la conception des bâtiments doivent connaître la définition, ainsi que les liens entre des mesures acoustiques et les performances à atteindre par la mise en œuvre des systèmes constructifs.

L'isolement acoustique entre des locaux peut être exprimé par plusieurs grandeurs liées. Ces grandeurs sont déterminées par bandes de fréquences à partir desquelles l'indice d'évaluation relatif aux performances des bâtiments peut être obtenu.

Rappelons quelques définitions :

- **Indice d'affaiblissement acoustique apparent** : généralement déterminé à partir de mesurages, d'après l'équation suivante

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \left(\frac{S_s}{A} \right)$$

- **Isolement acoustique standardisé** : différence de niveaux de la pression acoustique moyennée dans l'espace et dans le temps, produits par une source de bruit dans l'un des deux locaux, et correspondant à une valeur de référence de la durée de réverbération dans le local de réception

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

L_1 et L_2 : niveaux de la pression acoustique moyenne (exprimés en décibels) respectivement dans le local d'émission et dans le local de réception ;

S_s [m²] : aire de l'élément de séparation ;

A [m²] : aire d'absorption acoustique équivalente dans le local de réception.

Il s'agit ici de confirmer ou non les propositions suivantes...

- (A) T étant la durée de réverbération dans le local de réception, T_0 est la durée de réverbération de référence ; pour les habitations $T_0 = 0,5$ s.
- (B) La durée de réverbération est définie comme étant la durée nécessaire pour que le niveau sonore existant dans un local décroisse de 40 dB lorsque la source de bruit est instantanément interrompue ; la durée de réverbération est déterminée par bandes d'octave pour les fréquences de 125 Hz à 4000 Hz.

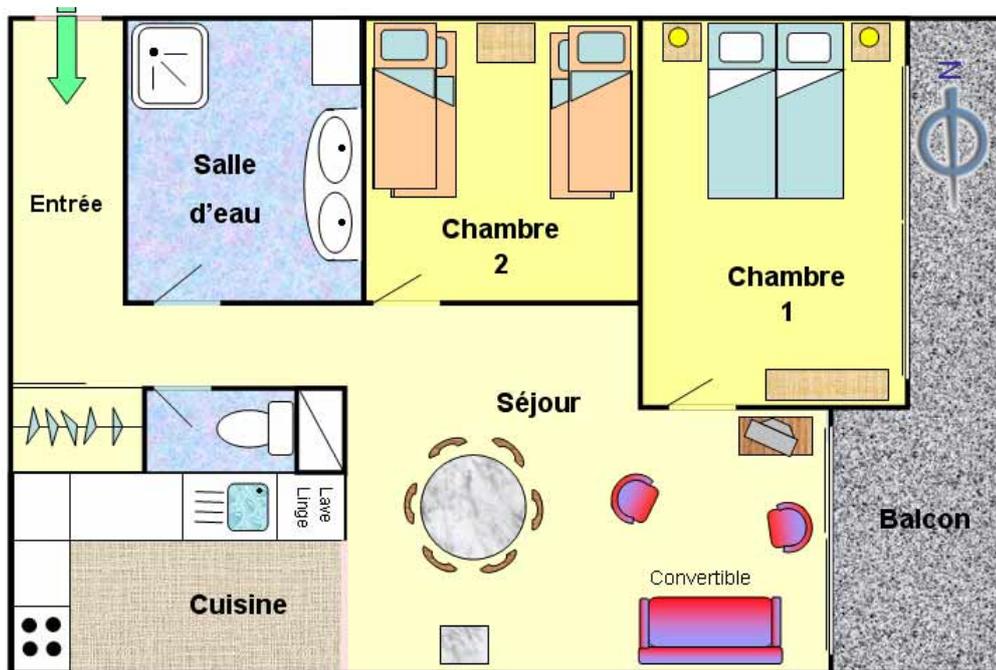
- (C) Si l'on considère l'item C de la question précédente, l'isolement acoustique normalisé peut aussi être exprimé selon la relation :

$$D_n = R' + 10 \lg \left(\frac{10}{S_s} \right)$$

- (D) Pour un local de réception dont le volume est V , l'isolement acoustique standardisé sera aussi obtenu à partir de l'expression :

$$D_{nT} = R' + 10 \lg \left(\frac{0,32 V}{S_s} \right)$$

- (E) Dans l'appartement représenté ci-dessous la hauteur sous plafond est de 2,50 m, les chambres ont pour dimensions 3,20 m x 3,20 m et 3,00 m x 4,20 m.



L'isolement acoustique brut entre ces deux chambres étant de 35 dB, l'aire d'absorption acoustique équivalente dans la chambre 2 étant de 13,46 m², l'isolement acoustique standardisé $D_{nT} = 31,5$ dB.

QUESTION 3

Durée de service des ouvrages en béton

Tout ouvrage doit être conçu en vue d'apporter une réponse fonctionnelle à un besoin bien défini, dans des conditions spécifiques de sécurité et de confort pour les usagers. Le concepteur doit aussi être en mesure de garantir une pérennité contractuelle, impératif incontournable aujourd'hui pour tous les grands ouvrages, particulièrement dans le domaine des concessions¹.



L'estimation de la « durée de vie » ou durée d'utilisation de projet (durée pendant laquelle le l'ouvrage doit pouvoir être utilisé sans nécessiter de travaux autres que ceux d'entretien et de maintenance prévus dans le programme) peut être établie en référence aux connaissances acquises sur le comportement des matériaux en relation avec leur environnement.

Rappel relatif à la composition d'un béton structurel :

- Eau efficace (kg/m^3) : numérateur du ratio $E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}}$, il représente l'eau prise en compte dans l'analyse prédictive du comportement d'un béton ; il s'agit de l'eau totale contenue dans le béton frais diminuée de la quantité d'eau absorbée par les granulats (considérant que l'eau interne aux granulats n'a pas d'influence sur la durabilité du béton).
 - Liant équivalent (kg/m^3) : dénominateur du ratio $E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}}$, il correspond à la quantité de ciment ($L_{\text{éq}} = C$) s'il n'est pas fait usage d'additions minérale ayant un rôle actif dans l'évolution physico-chimique du béton ; dans le cas contraire, il correspond à un équivalent "ciment Portland" ($L_{\text{éq}} = C + k \times A$).
 - A : quantité d'addition (cendres volantes, fumées de silice, etc.) prise en compte dans le liant équivalent (en kg/m^3).
 - k : coefficient de prise en compte de l'addition ($k = 0,4$ à $0,6$ pour les cendres volantes utilisées par les cimentiers).
- (A) Pour un béton dont la classe de résistance et le rapport eau sur liant sont conformes aux préconisations en matière environnementale, la normalisation européenne n'impose pas de teneur minimale en liant.
- (B) Au contact du béton, une eau chimiquement pure ne peut entraîner son altération.
- (C) Une canalisation en béton évacuant les eaux pluviales aura une durée de vie plus longue si le pH de celles-ci reste supérieur à 6,5.

¹ Les contrats de concession ont pour objet est de faire réaliser tous travaux de bâtiment ou de génie civil par un concessionnaire dont la rémunération consiste dans le droit d'exploiter l'ouvrage pendant une durée déterminée. Le viaduc de Millau a été conçu pour une durée d'utilisation de projet de 120 ans dans le cadre d'une concession de 78 ans.

- (D) Pour garantir une durée de vie structurelle de 50 ans à un ouvrage qui sera exposé à environnement donnant lieu à des cycles gel/dégel, il est nécessaire de contrôler la teneur en air du béton mis en œuvre.

 - (E) Les ions chlorure (Cl^-) sont présents dans l'eau de mer mais aussi dans l'eau potable que nous consommons ; ils sont donc aussi présents dans le béton frais, ce qui est sans conséquence sur la tenue à terme des structures en béton armé.
-

QUESTION 4

Codification des classes d'exposition

Cette codification, établie dans le cadre de la normalisation européenne (NF EN 206-1) en fonction d'un ensemble d'actions dues à l'environnement, permet de formuler les bétons de manière optimale en vue de garantir à l'ouvrage la *durée de service* pour laquelle il doit être construit.



- (A) Selon la norme citée, les *classes d'exposition* prennent en compte les « niveaux de risques » relatifs à la durabilité des structures en béton, en particulier les cycles de gel/dégel, les facteurs favorisant la carbonatation du béton ; les attaques chimiques sont cependant exclues de ce classement.
- (B) Dans les régions affectées par les cycles de gel/dégel, le classement est modulé en fonction de l'emploi de sels de déverglaçage, prévu ou non durant l'exploitation de l'ouvrage.
- (C) La transformation de l'eau en glace s'accompagne d'un accroissement de volume, ce qui suffit pour dégrader le béton en surface à chaque cycle hivernal.



Mécanisme de la carbonatation (rappel) :

Le béton est un milieu poreux dont les pores sont plus ou moins remplis d'eau. Ces pores facilitent la diffusion du gaz carbonique (CO_2 présent dans l'atmosphère) et sa dissolution dans la solution interstitielle pour former avec la portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) du carbonate de calcium (CaCO_3).

La vitesse de ce processus de carbonatation dépend de l'humidité relative de l'air.

- (D) Le phénomène de carbonatation a pour conséquence la corrosion des armatures proches du parement.
 - (E) La détermination de l'épaisseur minimale d'enrobage des armatures en acier, pour un élément de structure en béton armé ne donnant pas lieu à des exigences en matière de tenue au feu, ne dépendra que des conditions d'environnement.
- _____

QUESTION 5

Étude d'une pile de pont

La pile de pont représentée ci-contre est en béton armé, elle est soumise aux actions suivantes :

- son poids propre,
- une charge verticale excentrée $Q = 60 \text{ MN}$,
- une charge horizontale $H = 2 \text{ MN}$.

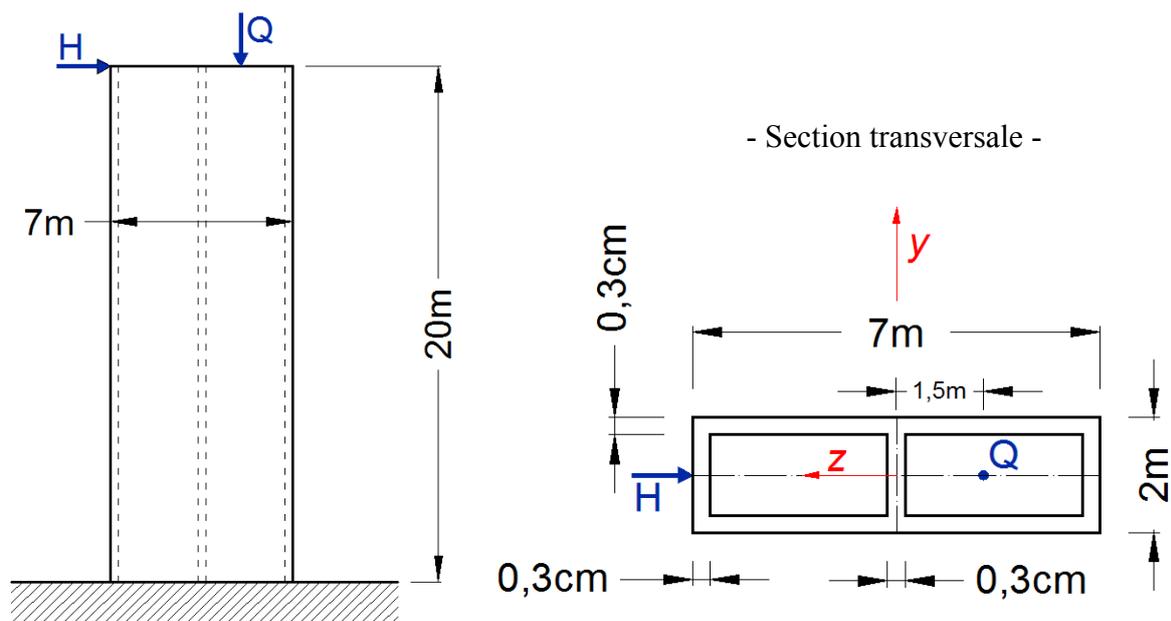
Les dimensions de cette pile sont définies sur les représentations schématisées ci-dessous.

La section transversale sera considérée comme étant constante sur toute la hauteur de la pile.

L'épaisseur des parois est de $0,3 \text{ m}$.

Le béton a une masse volumique de $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et une résistance en compression de 30 MPa (valeur de calcul).

On considère que le matériau a un comportement élastique linéaire jusqu'au seuil de résistance spécifié ici.



La charge verticale Q a un excentrement $e = 1,5 \text{ m}$ dans la direction z .

On note S l'aire de la section transversale et I_y son moment quadratique selon l'axe y .

- (A) L'aire S et l'inertie I_y de la section transversale sont respectivement supérieures à $5,3 \text{ m}^2$ et 25 m^4 .
- (B) Dans un premier temps la charge Q est centrée ($e = 0$). Par application du poids propre (prendre ici $g = 10 \text{ N/kg}$) et de cette seule charge Q (H non prise en compte), la contrainte normale maximale en pied de pile est supérieure à 10 MPa .

- (C) La charge Q est maintenant excentrée ($e = 1,5$ m). Par application de la charge horizontale H et du couple généré par l'excentrement de la charge Q , le moment en pied de pile est supérieur à 150 MN.m.
 - (D) La contrainte normale maximale en pied de pile, due à l'ensemble des actions, est supérieure à la résistance en compression du béton.
 - (E) L'excentricité maximale de la charge Q ne doit pas dépasser 1,8 m pour respecter la limite de compression du béton (30 MPa).
-

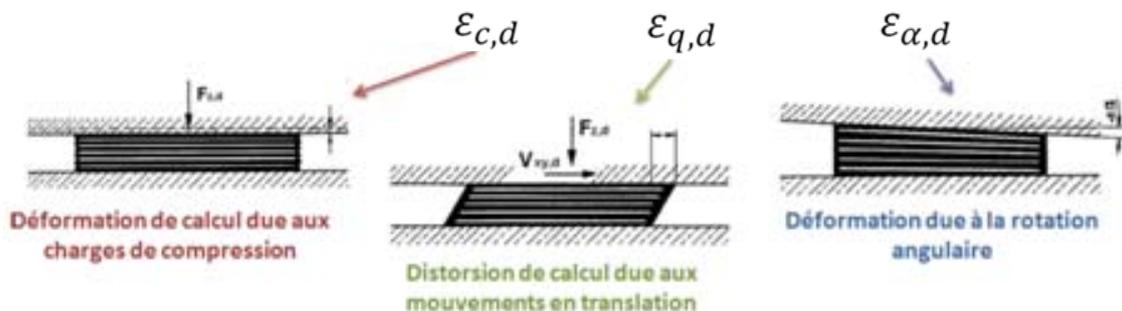
QUESTION 6

Appui du pont sur le chevrete

Le tablier du pont repose sur un chevrete en beton arme (partie massive en tete de pile) par l'intermediaire d'appareils d'appui. Le comportement mecanique de ces appareils joue un role important sur la reponse globale de la structure soumise a de multiples actions.

En un point quelconque de l'appareil d'appui, la somme des deformations dues a l'effet des charges de calcul ($\epsilon_{t,d}$) est donnee par l'equation suivante :

$$\epsilon_{t,d} = K_L (\epsilon_{c,d} + \epsilon_{q,d} + \epsilon_{\alpha,d})$$



Avec K_L le coefficient de charge type defini comme etant egal à 1,5 pour les effets de charges roulantes et à 1,0 pour les autres effets (vent, séisme, etc.).

D'après la norme en vigueur (NF EN 1337-3), cette déformation totale est limitée :

$$\epsilon_{t,d} \leq \epsilon_{u,d} = \frac{\epsilon_{u,k}}{\gamma_m}$$

avec $\epsilon_{u,k} = 7$ à l'état limite ultime et $\gamma_m = 1$

Une condition supplémentaire est apportée à la distorsion : $\epsilon_{q,d} \leq 1$

L'étude proposée concerne un appareil d'appui de section carrée, de 50 cm de coté et d'épaisseur 10 cm. La déformation de calcul due aux charges de compression ($\epsilon_{c,d}$) a été estimée à 1,5 et celle due à la rotation ($\epsilon_{\alpha,d}$) à 2,0.

- (A) Le caoutchouc entrant dans la composition des appareils d'appui peut être soit naturel, le latex, soit synthétique ; le composé le plus souvent utilisé étant un polymère du chloroprène.
- (B) La vulcanisation (ou *curage*) est le procédé chimique consistant à incorporer un agent vulcanisant (soufre, le plus souvent) à un élastomère brut pour former après cuisson des ponts entre les macromolécules et le rendre plus plastique.
- (C) Les frettes permettent de limiter les effets de Poisson, forçant ainsi l'élastomère à travailler en compression triaxiale. Pour calculer la déformation due aux charges de compression, il est nécessaire de prendre en compte une surface réduite du fait de la distorsion.
- (D) Le déplacement horizontal en tête d'appui est limité à 15 cm.
- (E) Pour un déplacement horizontal en tête de 10 cm, les critères en déformation sont respectés.

QUESTION 7

Réseau hydraulique

La mesure des débits est essentielle au bon fonctionnement d'un réseau hydraulique. Le contrôle du débit fourni par une pompe peut être réalisé de différentes manières.

On note H la charge hydraulique totale exprimée par la formule de Bernoulli :

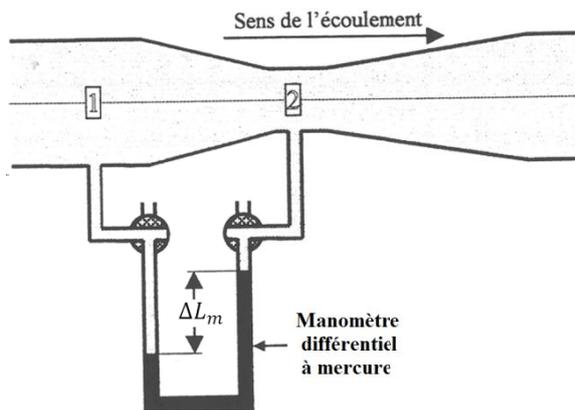
$$H = z + p / \rho g + v^2 / 2g$$

→ z : charge de position, c'est la hauteur géométrique d'un point.

→ $p/\rho g$: charge de pression, c'est la pression relative en un point, évaluée en hauteur de colonne de fluide (ρ masse volumique du fluide ; g accélération de la pesanteur, on prendra la valeur d'usage en physique).

→ $v^2/2g$: charge dynamique, c'est la vitesse en un point, évaluée en hauteur de colonne de fluide.

Un appareil *déprimogène* est constitué d'une singularité insérée dans une conduite en charge. Dans le cas du Venturi, les mesures de pression sont effectuées entre l'entrée et le col de l'appareil.



	1	2
Diamètre	D = 15 cm	d = 8 cm
Aire	S	s
Pression	p_1	p_2
Vitesse	v_1	v_2

Il est possible de créer une dépression² (la pression en section 2 étant inférieure à la pression en section 1). Pour quantifier cette dépression, on utilise un manomètre différentiel à mercure dont les branches sont perpendiculaires au sens de l'écoulement (prise de pression statique représentée ci-dessus). On obtient ainsi :

$$(p_1 - p_2) / \rho_e \cdot g = \Delta L_e$$

où ΔL_e est la différence de hauteur en mètre de colonne d'eau

Les fluides utilisés (eau et mercure) sont parfaits et incompressibles (masses volumiques constantes), la charge ne varie pas de la section 1 à la section 2. On considère enfin qu'il y a conservation du débit dans la canalisation : $Q = S \cdot v_1 = s \cdot v_2$

(A) Dans un manomètre différentiel, la différence de hauteur de mercure ΔL_m se traduit en différence de hauteur d'eau ΔL_e par la relation suivante :

$$\Delta L_e = (\rho_m - \rho_e) \Delta L_m / \rho_e$$

² Cet effet Venturi trouve de nombreuses applications (vidange des eaux usées...)

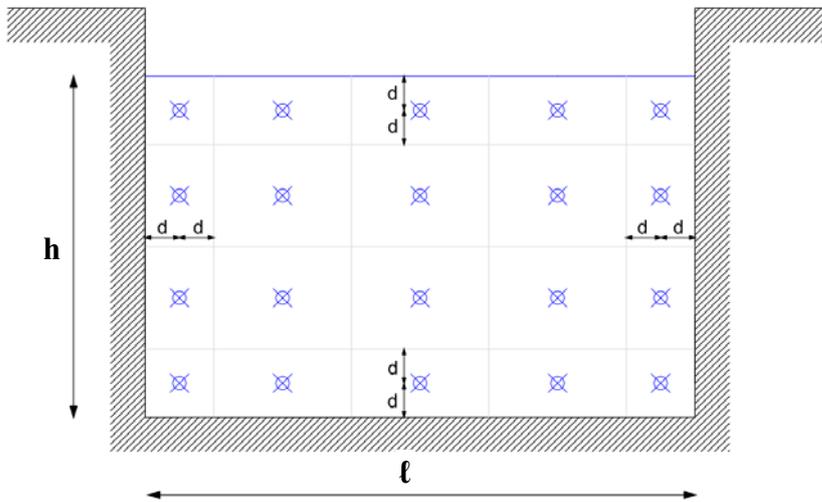
(B) Le débit s'écoulant dans la canalisation s'exprime par la relation :

$$Q = S \sqrt{\frac{2g \Delta L_e}{1-m^2}} \quad \text{où } m \text{ est rapport des sections : } m = s/S$$

En présence d'écoulements à surface libre (canal, rivière, ...), la mesure du débit peut se faire par l'intermédiaire du champ des vitesses. Si l'on connaît la distribution des vitesses ponctuelles v dans chaque surface élémentaire dA de la section droite dont le plan est perpendiculaire à l'écoulement, il en découle :

$$Q = \iint_S v dA$$

La section du canal étudiée est représentée ci-dessous. Des moulinets ont été placés, parallèlement à l'écoulement en vingt points différents de la section du canal. Après étalonnage, ces moulinets offrent une valeur précise de la vitesse en chaque point.



vitesses $v_{i,j}$ (cm/s)				
13	17	17,3	16,9	13,2
13,2	17,4	17,6	17,5	13,4
13,1	17,2	17,3	17,1	13,3
9,5	13	13,5	13,2	9,2

h (cm)	30
l (cm)	50
d (cm)	3

On note $v_{i,j}$ la vitesse en un point de ligne i et de colonne j , V_j la vitesse moyenne du fluide dans la colonne verticale j , et V la vitesse moyenne de la section.

(C) La vitesse moyenne V_j du fluide dans une colonne a pour expression :

$$V_j = \frac{2d(v_{1,j} + v_{4,j}) + \frac{h-4d}{2}(v_{2,j} + v_{3,j})}{h}$$

(D) La vitesse moyenne du fluide dans le canal est inférieure à $14,4 \text{ cm.s}^{-1}$

(E) Le débit calculé par cette méthode est supérieur à $22,5 \text{ l.s}^{-1}$

QUESTION 8

Analyse de sol et soutènement

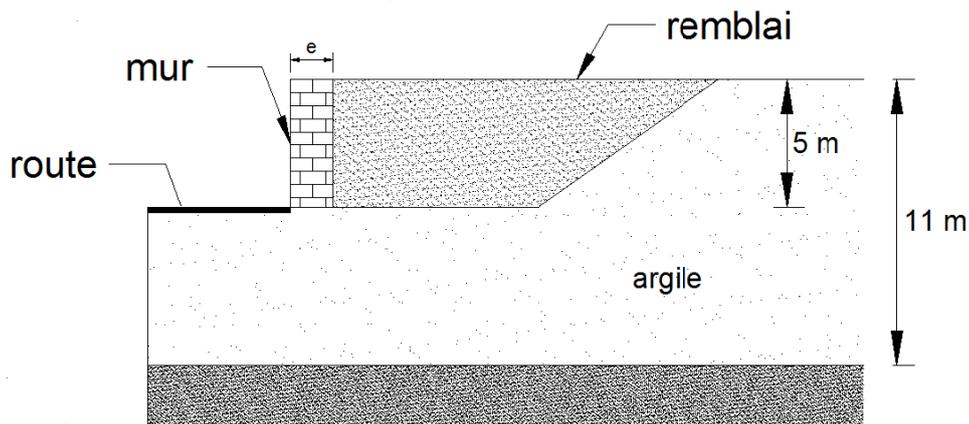
Considérons un massif d'argile de 11 mètres d'épaisseur reposant sur une épaisse couche de sables compacts (incompressibles). La nappe est située à l'interface argile-sables. Le poids volumique de l'argile est de 20 kN.m^{-3} .

Le massif d'argile est normalement consolidé et saturé (par remontées capillaires depuis la nappe phréatique). L'objectif est de déterminer la cohésion non drainée c_u à 5 mètres de profondeur. Un essai consolidé non drainée (CU) a été réalisé, en voici les résultats :

Essai CU	Contrainte totale de confinement σ_3	100 kPa
	Contrainte totale axiale à la rupture σ_1	183 kPa
	Pression interstitielle à la rupture u_r	20 kPa
Informations complémentaires	Cohésion à long terme de l'argile c'_a	0 kPa
	Angle de frottement Φ'_a	20°

- (A) La cohésion non drainée c_u d'un sol peut être mesurée avec un scissomètre.
- (B) D'après les contraintes totales obtenues, la valeur de c_u est ici supérieure à 40 kPa.

Pour un projet routier, on doit excaver une tranchée de 5 mètres de profondeur dans ce massif d'argile. Afin de réduire la largeur des talus, et donc l'emprise au sol de l'ouvrage, on souhaite construire un mur en béton de même hauteur, servant de soutènement à un remblai rapporté constitué d'un matériau sableux sec de poids volumique $\gamma_r = 16 \text{ kN.m}^{-3}$, et tel que $\Phi'_r = 35^\circ$. Le béton a une masse volumique de 24 kN.m^{-3} .



La résistance au cisaillement de l'argile est contrôlée par le critère de Coulomb :

$$\tau' = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi' \quad (\text{long terme})$$

$$\tau' = c_u \quad (\text{court terme})$$

On souhaite calculer l'épaisseur e du mur en béton, nécessaire pour résister à la poussée du remblai. Seul le glissement à la base du mur est étudié. La résistance au cisaillement de l'interface mur/argile correspond à celle de l'argile à 5 m de profondeur. Pour la suite, on considérera que c_u vaut 40 kPa.

- (C) En supposant que le remblai est en équilibre limite de poussée, et que les frottements à l'interface remblai/mur sont négligeables, la résultante des forces horizontales exercées par le remblai sur le mur est supérieure à 60 kN.
- (D) A court terme, pour obtenir un coefficient de sécurité de 2 sur l'effort de poussée, l'épaisseur de mur doit être supérieure à 2,5 m.
- (E) A court terme, si l'épaisseur du mur est de 3 m, il se produira un glissement.

- FIN -