

**BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS
-SESSION 2016-**

**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 sont toujours 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.

QUESTION 1

Formulation d'un nouveau béton

Une centrale à béton vient de changer de fournisseur de granulats et a besoin de formuler un nouveau béton de classe de résistance C30/37.

Deux sables sont disponibles pour formuler ce nouveau béton. Un sable 0/2 et un sable 0/4 dont les courbes granulométriques sont données ci-dessous :

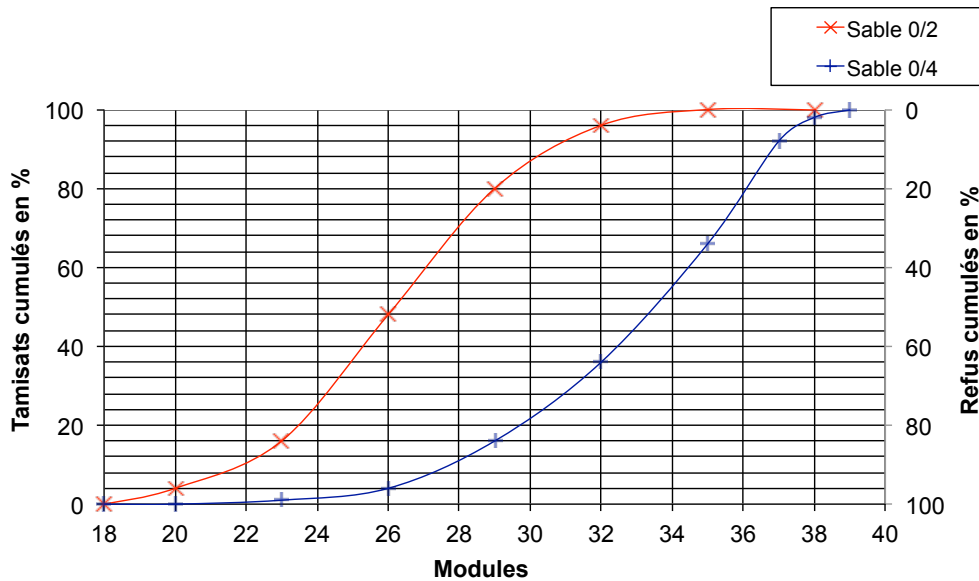


figure 1 – Courbes granulométriques des deux sables disponibles

La formulation de ce béton est la suivante :

tableau 1 – Formulation du béton étudié – quantités théoriques pour réaliser 1 m³

Dénomination	U	Qtité
Sable (mélange S0/2 et S0/4)	kg	835
Gravillon 4/10	kg	490
Gravillon 5/25	kg	515
Ciment	kg	350
Eau	kg	195
Total	kg	2385

Lors d'une première gâchée, la masse volumique expérimentale obtenue est de 2303 kg.m⁻³.

Une éprouvette "16x32" de 200 cm² de section en béton est testée en compression après 28 jours de durcissement afin de vérifier la résistance et évaluer le module sécant d'élasticité de ce béton nouvellement formulé. La courbe obtenue lors du premier essai est donnée ci-dessous :

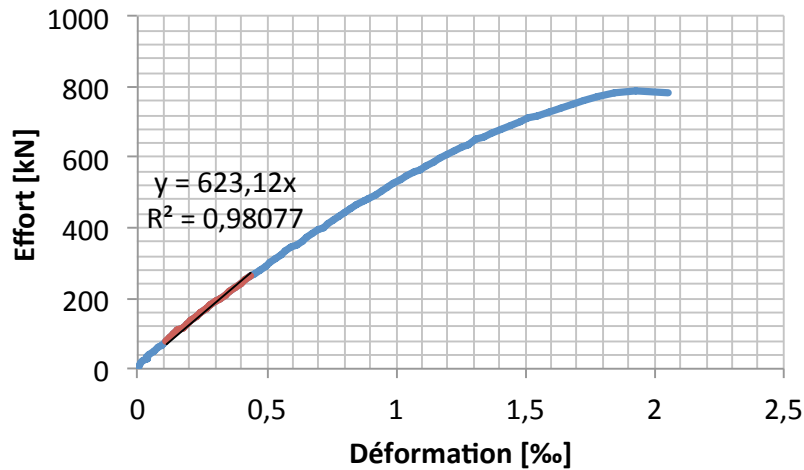


figure 2 – Courbe obtenue pour la première éprouvette 16x32 testée
l'équation $y=623,12x$ correspond à l'équation de la régression linéaire sur la courbe expérimentale entre $0,1F_{max}$ et $0,33 F_{max}$

34 autres essais sont menés et la moyenne des résistances obtenues est de 34,1 MPa pour un écart-type de 2,6 MPa. La répartition des résistances est donnée dans le tableau ci-dessous :

tableau 2 – Répartition des résistances obtenues sur éprouvettes cylindriques 16x32

Résistance [MPa]	< 27,5	27,5-30	30-32,5	32,5-35	35-37,5	> 37,5	Total
Nombre	0	3	7	12	9	4	35
Pourcentage	0%	9%	20%	34%	26%	11%	100%

Le module de finesse MF d'un sable est la somme des pourcentages, ramenés à l'unité, des refus cumulés sur les tamis de modules 23 à 38 de 3 en 3.

(A) Le sable 0/2 a un module de finesse de 1,6 et le sable 0/4 a un module de finesse de 3,8. Pour composer un sable de module de finesse de 2,5 à partir de ces deux sables, il faut mélanger 59 % de sable 0/2 avec 41 % du sable 0/4.

(B) La première éprouvette 16x32 testée avec cette formulation a une résistance en compression supérieure à 38 MPa et un module sécant d'élasticité en compression supérieur à 35 GPa.

(C) La formulation obtenue permet de respecter la classe de résistance visée C30/37. En effet, moins de 10 % des éprouvettes testées ont une résistance inférieure à 30 MPa.

(D) Si les résistances du tableau 2 étaient des résistances obtenues sur des cubes et non des cylindres, la formulation ne serait pas conforme et le béton ne serait pas de classe de résistance C30/37.

(E) Si l'entreprise souhaite améliorer la résistance du béton formulé, il faudrait augmenter la quantité de ciment puisque la masse volumique expérimentale montre qu'il y a moins de 340 kg de ciment par mètre cube de béton et qu'en conséquence le rapport entre la quantité d'eau et celle de ciment utilisé (rapport E/C) serait diminué or ce rapport pilote la résistance d'un béton.

QUESTION 2

Réseau d'adduction d'eau potable

La figure 3 schématise une branche d'un circuit d'adduction d'eau dans un quartier d'une ville de région parisienne. Y sont représentés un château d'eau, une maison individuelle comportant 2 niveaux et un projet de logement collectif de 12 étages.

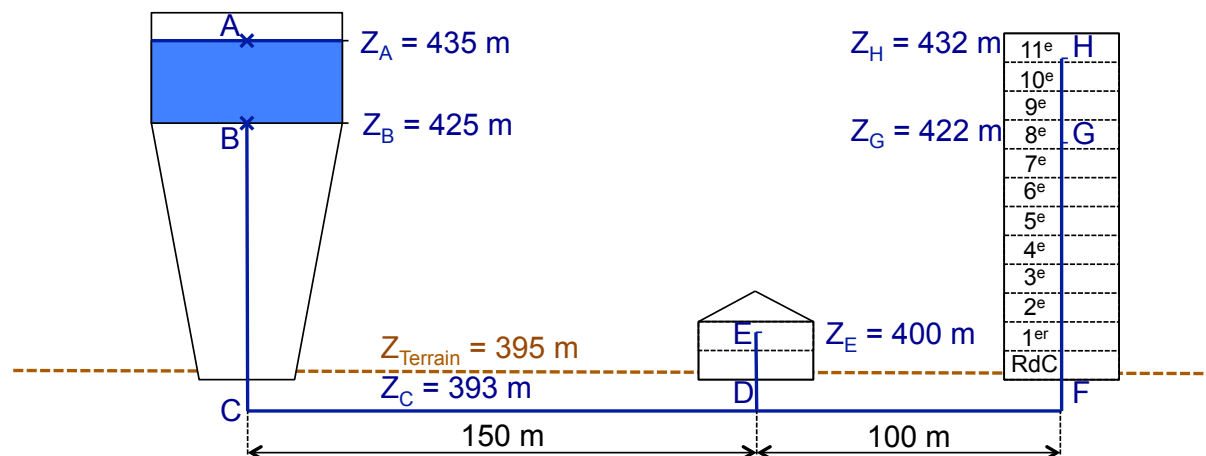


figure 3 – Schéma de principe d'une branche d'un circuit d'adduction d'eau potable (les échelles ne sont pas respectées)

Les altitudes sur la figure 3 correspondent aux altitudes suivantes :

Z_{Terrain} : 395 m – niveau moyen du sol dans ce quartier

Z_A : 435 m – altitude du niveau haut d'eau en fonctionnement normal du château d'eau

Z_B : 425 m – altitude du niveau bas du réservoir du château d'eau

$Z_C = Z_D = Z_F$: 393 m – altitude moyenne de la conduite d'adduction d'eau de ce quartier

Z_E : 400 m – altitude du pommeau de douche d'une maison individuelle (douche située au 1^{er} étage)

Z_G : 422 m – altitude du compteur d'eau d'un appartement situé au 8^e étage

Z_H : 432 m – altitude du compteur d'eau d'un appartement situé au dernier étage (11^e étage)

La canalisation du réseau d'alimentation (B-C-D-F) est une conduite de 2 m de diamètre en acier de rugosité moyenne $R_a = 0,05$ mm.

La canalisation de distribution de l'immeuble (F-G-H) est une conduite de 10 cm de diamètre en acier de rugosité moyenne $R_a = 0,05$ mm.

Les calculs seront réalisés en prenant les hypothèses suivantes :

- la vitesse dans la conduite d'adduction du réseau de ville (B-C-D-F) est de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- la vitesse dans la canalisation de distribution de l'immeuble (F-G-H) est de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- la pression relative minimale à l'entrée des appartements doit être de 3 bars ;
- la pression relative minimale à l'entrée des constructions (maison ou immeuble) doit être de 6 bars ;
- les seules pertes de charges singulières prises en compte le seront de manière forfaitaire comme valant 10 % des pertes de charges régulières le long du réseau

d'adduction, notamment pour prendre en compte les piquages et coudes non représentés sur ce schéma de principe.

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

$$h = Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

Z : est la charge de position, c'est la hauteur géométrique d'un point ;

$p/\rho g$: est la charge de pression, c'est la pression relative en un point, évaluée en hauteur de colonne de fluide (ρ est la masse volumique du fluide ; g l'accélération de la pesanteur valant $9,81 \text{ m.s}^{-2}$)

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

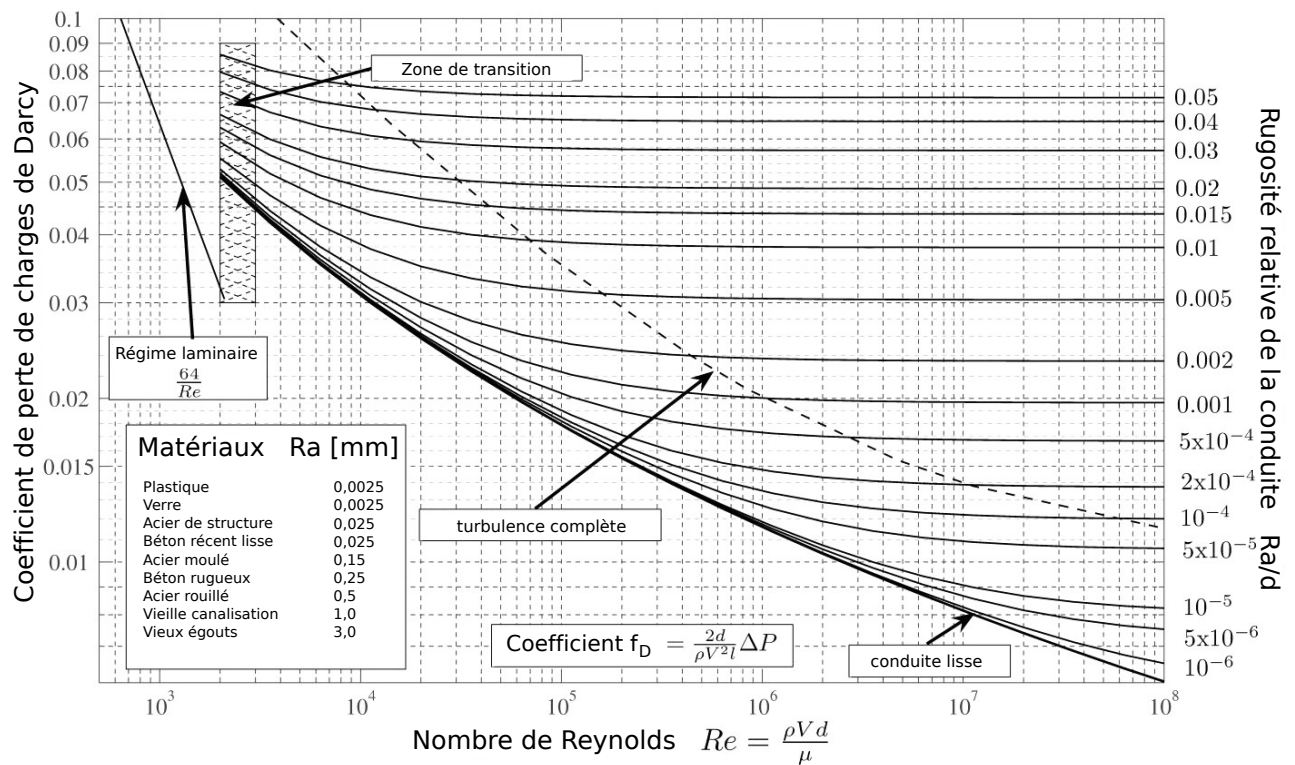


figure 4 – Diagramme de Moody

Les pertes de charges régulières exprimées comme une perte d'énergie en Pascal s'écrivent :

$$\Delta P = f_D \left(\frac{L}{d} \right) \left(\frac{\rho v^2}{2} \right)$$

où f_D est le coefficient de perte de charges de Darcy, L est la longueur de la conduite de diamètre d , ρ est la masse volumique de l'eau et v est la vitesse du fluide, le tout exprimé en unités du système international.

Ces mêmes pertes de charges peuvent également être exprimées en mCe : $\Delta h = f_D \left(\frac{L}{d} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right)$

(A) Le nombre de Reynolds dans le réseau de la ville (tronçon C-D-F) est inférieur à 2000. Le régime d'écoulement est donc laminaire. NB : Le nombre de Reynolds peut s'exprimer sous la forme $Re = \rho v d / \mu$ où μ est la viscosité dynamique valant $1,0 \cdot 10^{-3}$ Pa.s.

(B) Si le réducteur d'eau (altitude de 395 m) à l'entrée du réseau de la maison individuelle est réglé sur une pression relative de 300 kPa, il réduira la pression de moins de 100 kPa avec les hypothèses choisies dans cette partie.

(C) Les pertes de charges régulières dans le tronçon (B-C-D-F-G) sont inférieures à 80 mCe.

(D) L'adduction d'eau dans l'immeuble de 12 étages sera faite par refoulement et nécessite donc une station de pompage. La pression en entrée du réseau d'un appartement du dernier étage est en effet inférieure à 10 kPa.

(E) En considérant le coefficient de perte singulière $\xi=0,5$ entre le réservoir du château d'eau et le circuit de distribution, la perte de charge singulière due à ce rétrécissement vaut moins de 1100 Pa.

QUESTION 3

Transport de prédalles à l'aide d'un palonnier

Les planchers de bâtiments peuvent être réalisés à l'aide de *prédalles* en béton armé sur lesquelles le béton et les armatures complémentaires seront mis en place. La manutention de ces éléments préfabriqués est effectuée à l'aide d'un palonnier.



figure 5 – Palonnier soulevant une prédalle

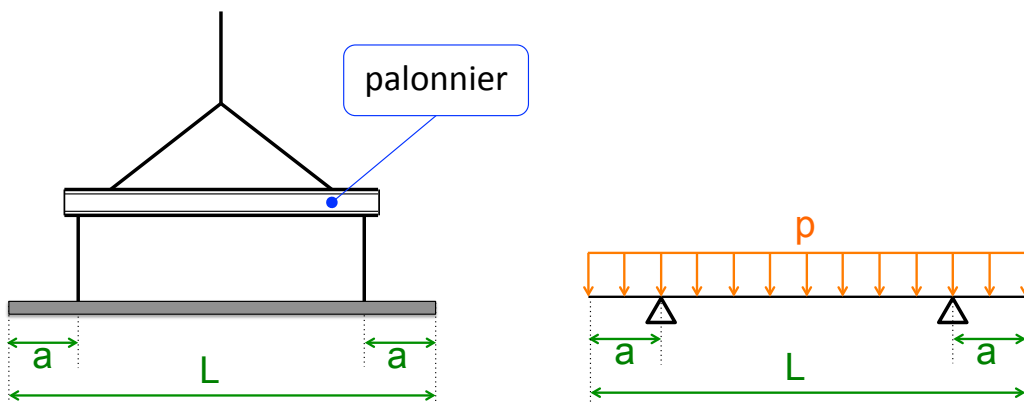


figure 6 – Schéma simplifié (en 2D) du système de levage utilisé – Modélisation associée

Notons $\alpha = a/L$

(A) Dans ces conditions, si $\alpha = 0,25$, le moment fléchissant sera nul au milieu de la prédalle

(B) Si $\alpha = 0,25$, l'effort tranchant de part et d'autre de chaque point d'attache au dispositif de suspension de la prédalle aura la même intensité

(C) Pour obtenir un moment fléchissant identique (en valeur absolue) au droit d'un point d'attache et au milieu de la prédalle, il faut prendre $\alpha = 0,5 (2^{0,5} - 1)$.

(D) Dans la situation de l'item précédent (C), l'intensité de l'effort tranchant à l'extérieur d'un point d'attache ($x=a^-$) est plus importante qu'à l'intérieur ($x=a^+$)

Prédalle considérée : $L = 6,84$ m ; $l = 2,50$ m ; épaisseur = 6 cm ; $a = 1,40$ m.

Le palonnier utilisé est un cadre rigide en acier permettant de soulever la prédalle en 4 points.

Dans notre modèle 2D, p représente donc le poids linéique d'une demi-prédalle.

Poids volumique du béton armé : 25 kN.m^{-3} .

(E) Dans cette situation, le moment fléchissant maximum subi par la prédalle sera supérieur à 2 kN.m.

QUESTION 4

Étude acoustique d'une laverie dans une résidence étudiante

Une laverie va être installée au rez-de-chaussée d'une résidence étudiante dont la vue en plan est donnée sur la figure 7.

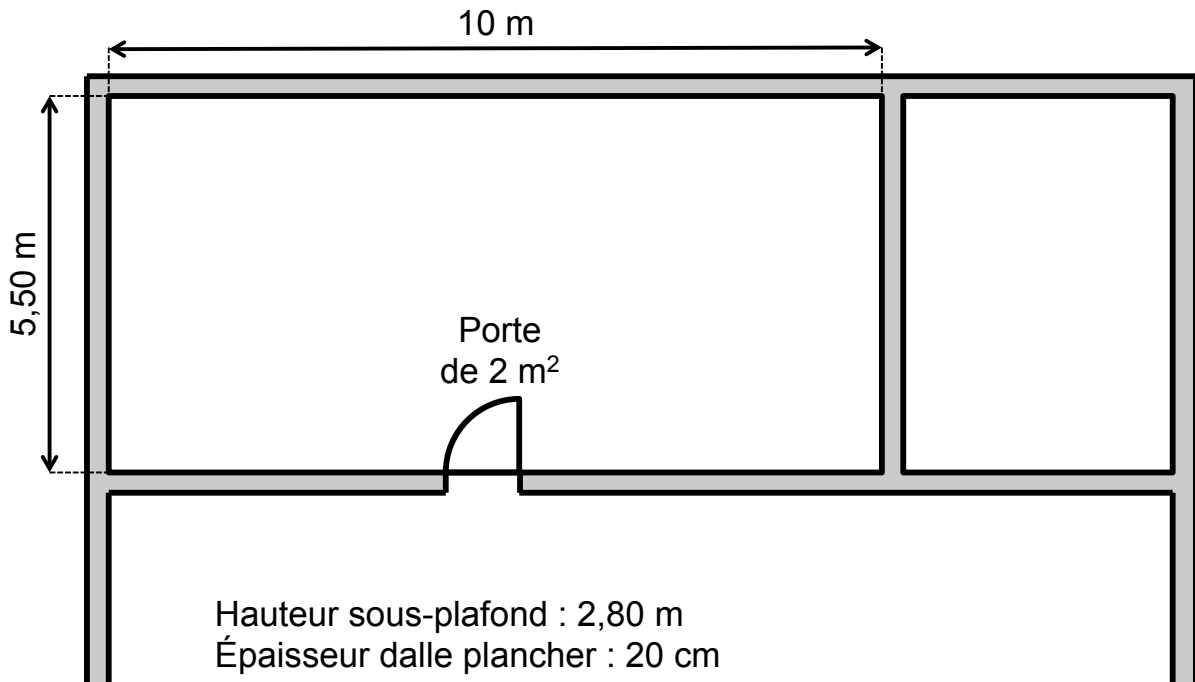


figure 7 – Vue en plan de la salle étudiée (5,50 x 10) m²

Le temps de réverbération peut être estimée via la formule de Sabine : $T_R = 0,161 \frac{V}{A}$

où V est le volume du local en m³ et A est l'aire d'absorption du local en m² :

$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$ où α_i est le coefficient d'absorption du matériau i présent sur une surface S_i .

Les coefficients d'absorption α_i des matériaux utilisés dans cette pièce sont les suivants :

fréquence [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
porte	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
sol	0,28	0,22	0,10	0,09	0,10	0,11
plafond	0,01	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05
mur plâtre	0,01	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05

La constante d'absorption d'un local exprimée en m² vaut $R_l = \frac{S \cdot A}{S - A}$

- (A) La constante d'absorption du local R_l à 500 Hz est inférieure à 9 m².
- (B) Le temps de réverbération à 500 Hz de cette salle est supérieur à 2,5 secondes.

À l'essorage, le type de lave-linge choisi dans cette laverie a un niveau de puissance acoustique N_w de 75 dB. En assimilant le lave-linge à une source ponctuelle située au sol émettant à l'angle de 2 parois planes (mur/plancher), le niveau d'intensité acoustique N_i sera obtenu en appliquant la formule suivante :

$$N_i = N_w + 10 \log \left(\frac{1}{\pi r^2} + \frac{4}{R_l} \right)$$

où N_w est le niveau de puissance acoustique et r la distance entre la source et l'endroit où l'intensité est évaluée.

(C) Au niveau du plafond, à une distance de 2,80 m au dessus de la source supposée ponctuelle le niveau d'intensité acoustique est supérieur à 70 dB.

(D) Lorsque deux lave-linges sont en phase d'essorage en même temps, le niveau d'intensité acoustique est supérieur à 90 dB au niveau du plafond.

Le plancher a une épaisseur de 20 cm et est constitué de béton de masse volumique 2400 kg.m^{-3} dont la [fréquence critique x l'épaisseur] vaut 1800 Hz.cm^{-1} .

L'indice d'affaiblissement acoustique exprimé en dB vaut :

$$R = 20 \log(f \cdot m) - 48$$

où f est la fréquence en Hz et m est la masse surfacique de la paroi de séparation en kg.m^{-2} .

On peut également écrire que :

$$R = 10 \log \left(\frac{I_e}{I_r} \right)$$

où I_e est l'intensité acoustique côté émission exprimée en W.m^{-2} et I_r est l'intensité acoustique côté réception en W.m^{-2} .

Le niveau d'intensité acoustique N_i [dB] peut être exprimé en fonction de l'intensité acoustique I [W.m^{-2}] :

$$N_i = 10 \log (I \cdot 10^{12})$$

(E) Le niveau d'intensité acoustique à 500 Hz dans l'appartement de l'étage au dessus de la laverie en ne considérant que la transmission directe par la paroi séparative est inférieur à 15 dB à 500 Hz.

QUESTION 5

On étudie un bâtiment d'habitation situé à Colmar (Alsace), dont une des semelles est représentée en figure 8. L'objectif est de prédimensionner cette semelle isolée (à base carrée) et de calculer les quantités d'acier suffisantes pour satisfaire des critères de résistance à l'ELU.

- Côté du poteau : $b = 30 \text{ cm}$
- Sol de type sable compact
- Efforts en pied de poteau :
 - $N_G = 300 \text{ kN}$ (permanents)
 - $N_Q = 250 \text{ kN}$ (d'exploitation)
- Résistances caractéristiques des matériaux :
 - Béton : $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ (coefficient de sécurité $\gamma_c = 1,5$)
 - Acier HA $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ (coefficient de sécurité $\gamma_s = 1,15$)

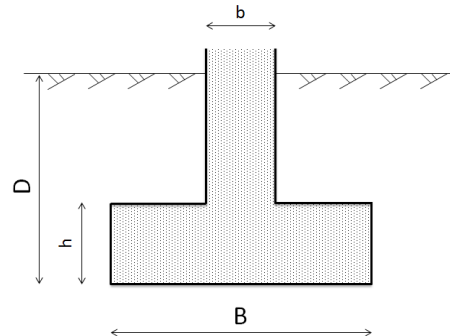


figure 8 – semelle isolée

La résistance ultime du sol, notée q_u (en MPa), est liée à la profondeur d'encastrement D (en mètre) par la relation suivante : $q_u = 0,1 + 0,8 \cdot D$

La profondeur hors-gel est de 0,9 m, la profondeur d'encastrement D sera prise égale à 1 m.

Notons que la semelle et le poteau sont à base carrée (respectivement de côté B et b). Les dimensions de la semelle (hauteur et section) peuvent être déterminées à partir des deux conditions suivantes :

- Condition sur la résistance du sol : $q_{ref} < \frac{q_u}{2}$ avec q_{ref} contrainte de référence calculée à partir de l'effort résultant pondéré N_{Ed} issu de la descente de charge. Le poids de la semelle seule sera négligé. Les coefficients partiels de sécurité valent respectivement 1,35 et 1,5 pour les charges permanentes et d'exploitation.
- Condition sur la rigidité de la semelle : $d_1 < \frac{B-b}{4}$ avec $d_1 = 0,9h$

(A) La profondeur hors-gel est une valeur forfaitaire constante sur toute la France excepté lorsque le niveau altimétrique dépasse 200 NGF.

(B) Pour le calcul de la contrainte de référence, l'effort résultant pondéré N_{Ed} est supérieur à 750 kN.

(C) La largeur minimale B de la semelle est inférieure à 1,3 m.

(D) La hauteur minimale h de la semelle est inférieure à 29 cm.

(E) En choisissant une profondeur d'encastrement D égale à 1,2 m, et à partir des mêmes conditions de prédimensionnement, le volume minimal de la semelle seule V_2 sera inférieur à $0,80 \times V_1$ (avec V_1 volume minimal de la semelle seule pour $D = 1 \text{ m}$).

QUESTION 6

Les informations de la question 1 reste valable pour cette question.

Les dimensions de la semelle sont les suivantes : $B = 1,5$ m et $h = 35$ cm, avec $D = 1,2$ m.

On s'intéresse à présent au calcul des quantités d'aciers longitudinaux par la méthode des moments. La figure 9 donne des caractéristiques de treillis soudés courants.

Méthode des moments :

$$\text{Moment de calcul : } M_{Ed} = \frac{N_{Ed}(B-0,7b)^2}{8B}$$

$$\text{Moment réduit : } \mu_u = \frac{M_{Ed}}{Bd_1^2 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$\text{Bras de levier : } z_u = d_1(1 - 0,4\alpha_u) \text{ avec } \alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$\text{Aire d'acier : } A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{z_u \frac{f_{yk}}{\gamma_s}}$$

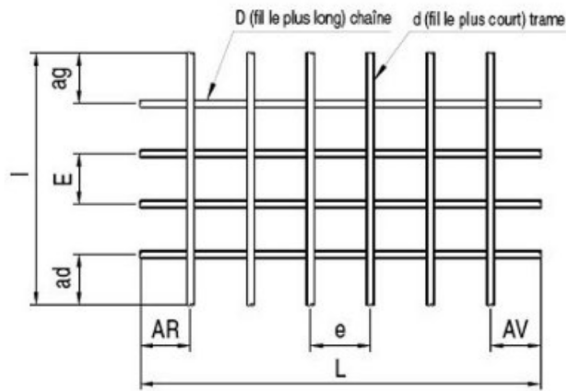
(A) Le calcul des aires d'aciers longitudinaux est effectué par la méthode des moments avec un porte-à-faux majoré de 0,15 fois la largeur du poteau.

(B) À l'ELU, la distance entre la résultante des efforts de compression dans le béton et celle des efforts de traction dans les aciers inférieurs (positionnée à d_l par rapport à la fibre supérieure de la semelle) est inférieure à 30 cm.

(C) L'aire totale d'aciers longitudinaux dans une direction est supérieure à 7 cm^2 afin pour respecter le critère de résistance à l'ELU.

(D) Seuls les treillis soudés ST50® et ST60® permettent de respecter le critère de résistance à l'ELU. Le treillis ST50® est donc optimal.

(E) Les dispositions constructives et règles d'enrobage imposent finalement une hauteur $d_l = 0,3$ m. Cette nouvelle condition change le choix du treillis optimal.



ADETS	NF EN 10080	Légende
L	L	Longueur du panneau
l	B	Largeur du panneau
D	d_L	Diamètre des fils longitudinaux
d	d_C	Diamètre des fils transversaux
E	PL	Espacement des fils longitudinaux
e	P_C	Espacement des fils transversaux
ad	u_4	Longueur d'about droit
ag	u_3	Longueur d'about gauche
AV	u_1	Longueur d'about avant
AR	u_2	Longueur d'about arrière

TREILLIS SOUDÉS DE STRUCTURE (NF A 35-080-2)											
Désignation ADETS	Section		E e mm	D d mm	Abouts AV AR ad ag mm/mm	Nombre de fils N n	Longueur Largeur L l m	Masse nominale Kg/m ²	Surface 1 panneau m ²	Masse 1 panneau kg	Colisage
	S cm ² /m	S s cm ² /m									
ST 10 [®]	1,19	1,19 1,19	200 200	5,5 5,5	100/100 100/100	12 24	4,80 2,40	1,870	11,52	21,54	50 ou 80
ST 20 [®]	1,89	1,89 1,28	150 300	6 7	150/150 75/75	16 20	6,00 2,40	2,487	14,40	35,81	40
ST 25 [®]	2,57	2,57 1,28	150 300	7 7	150/150 75/75	16 20	6,00 2,40	3,020	14,40	43,49	40
ST 30 [®]	2,83	2,83 1,28	100 300	6 7	150/150 50/50	24 20	6,00 2,40	3,226	14,40	46,46	30
ST 35 [®]	3,85	3,85 1,28	100 300	7 7	150/150 50/50	24 20	6,00 2,40	4,026	14,40	57,98	30
ST 50 [®]	5,03	5,03 1,68	100 300	8 8	150/150 50/50	24 20	6,00 2,40	5,267	14,40	75,84	20
ST 60 [®]	6,36	6,36 2,54	100 250	9 9	125/125 50/50	24 24	6,00 2,40	6,986	14,40	100,60	16

figure 9 – Catalogue de treillis soudés

QUESTION 7

On s'intéresse à un essai de perméabilité à charge constante sur un sable. Le dispositif est présenté en figure 10.

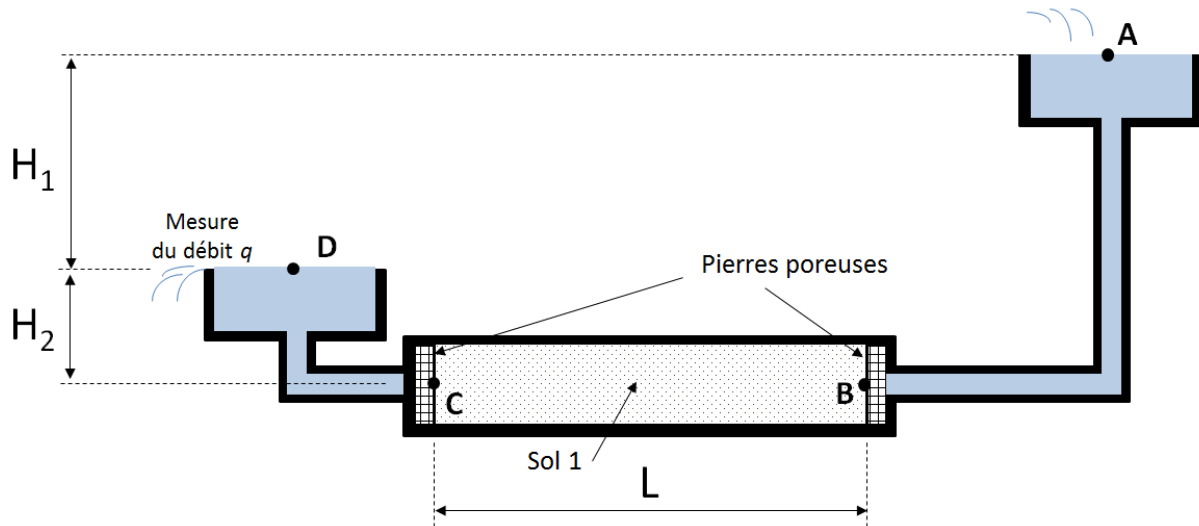


figure 10 – schéma de principe du dispositif de mesure du coefficient de perméabilité

L'origine des altitudes est placée en C et B ($z_C = z_B = 0$). Le débit q est mesuré expérimentalement. On note S la section de passage du fluide dans le sol.

Hypothèses : on néglige toutes pertes de charge autres que celles générées par le(s) sol(s) étudié(s). On considère que le régime permanent est atteint et que l'écoulement reste laminaire.

Loi de Darcy

$$v = k \cdot i$$

Avec v vitesse apparente [m/s], i gradient hydraulique, et k coefficient de perméabilité [m/s].

Charge hydraulique

$$h_M = z_M + \frac{u_M}{\gamma_w}$$

Avec h_M [m], z_M [m] et u_M [Pa] respectivement la charge hydraulique, l'altitude et la pression interstitielle au point M. Le poids volumique de l'eau γ_w est égal à 10 kN.m^{-3} .

(A) Dans la loi de Darcy, la vitesse apparente est toujours supérieure à la vitesse réelle de l'eau au travers des pores.

(B) La différence de charge Δh_{BC} entre les points B et C est égale à $H_1 + H_2$

(C) Le coefficient de perméabilité k_1 du sol 1 se détermine par la relation suivante :

$$k_1 = \frac{q \cdot L}{H_1 \cdot S}$$

(D) Application numérique : $q = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, $S = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, $L = 20 \text{ cm}$, $H_1 = 1 \text{ m}$, $H_2 = 30 \text{ cm}$. À partir de ces données on en déduit que k_1 est supérieur à $8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

On considère à présent le même dispositif mais avec deux sols différents placés en série (cf. figure 11). On note respectivement k_1 et k_2 les coefficients de perméabilité des sols 1 et 2.

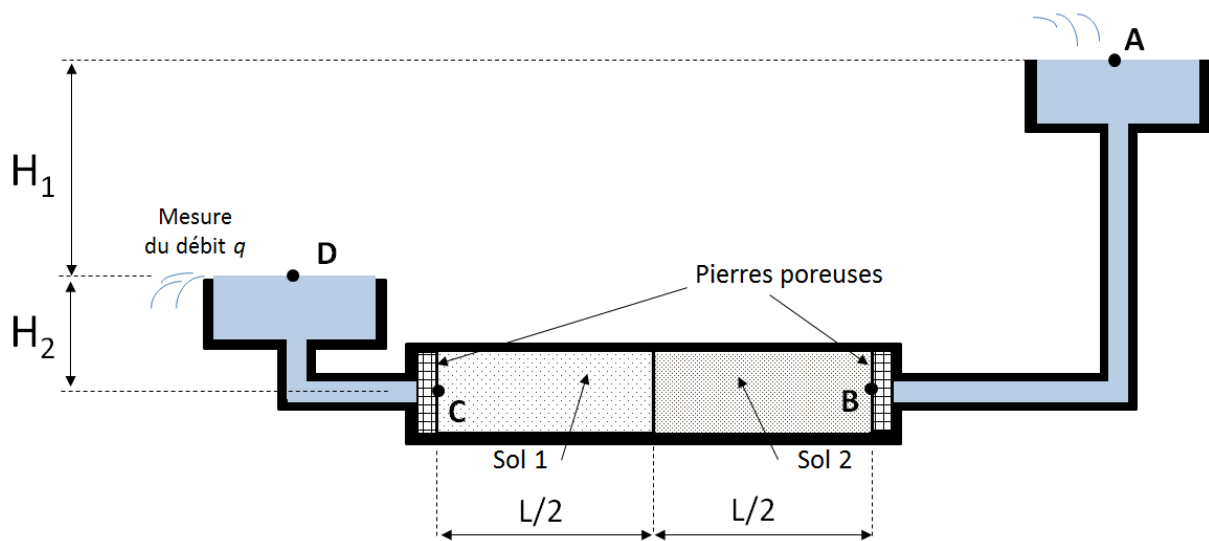


figure 11 – dispositif comportant deux sols de coefficient de perméabilité différent

(E) Il est possible de remplacer les deux sols par un sol homogène de coefficient de perméabilité équivalent $k_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$

QUESTION 8

Dans une conduite de longueur L en PER (Polyéthylène réticulé) circule de l'eau chaude à la température $T_i = 75^\circ\text{C}$ pour un débit de $q = 0,1$ L/s. La section est un tube cylindrique de diamètre extérieur $D_2 = 40$ mm et d'épaisseur $e = 4$ mm. Le tube est placé dans une pièce à température constante $T_e = 15^\circ\text{C}$. On note respectivement T_1 et T_2 les températures sur les parois intérieure et extérieure du tube.

Le coefficient d'échange thermique par convection et rayonnement en surface extérieure du tube, noté h_e , est égal à $28,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

L'étude de la convection forcée entre l'eau et la paroi intérieure de la conduite fait intervenir la formule de Colburn :

$$N_u = 0,023 \cdot R_e^{0,8} \cdot P_r^{0,33}$$

Nombre de Nusselt $N_u = \frac{hD_1}{\lambda}$

Nombre de Reynolds $R_e = \frac{\rho v D_1}{\mu}$

Nombre de Prandtl $P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda}$

- h : coefficient d'échange thermique [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$]
- D_1 : diamètre intérieur du tube [m]
- λ : conductivité thermique du fluide (eau¹ : $\lambda_e = 0,65 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- v : vitesse moyenne [m/s]
- ρ : masse volumique (eau : $\rho_e = 974 \text{ kg.m}^{-3}$)
- C_p : chaleur spécifique (eau : $C_{pe} = 4193 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- μ : viscosité dynamique (eau : $\mu_e = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s}$)

La résistance thermique de conduction s'exprime par la relation suivante :

$$R_{th} = \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\lambda_{PER}\pi L}$$

Avec $\lambda_{PER} = 0,7 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- (A) Le régime de l'écoulement dans le tube est turbulent.
- (B) Le coefficient d'échange thermique par convection forcée entre l'eau et la paroi intérieure de la conduite, noté h_{ci} , est supérieur à $1000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.
- (C) Le flux thermique φ est inférieur à 170 W par mètre de longueur de tube.
- (D) La température T_1 est supérieure à 70°C .
- (E) En augmentant l'épaisseur du tube (avec D_1 fixé), le flux thermique sera forcément plus faible.

¹ Caractéristiques de l'eau données à 75°C