

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 ».

QUESTION 1

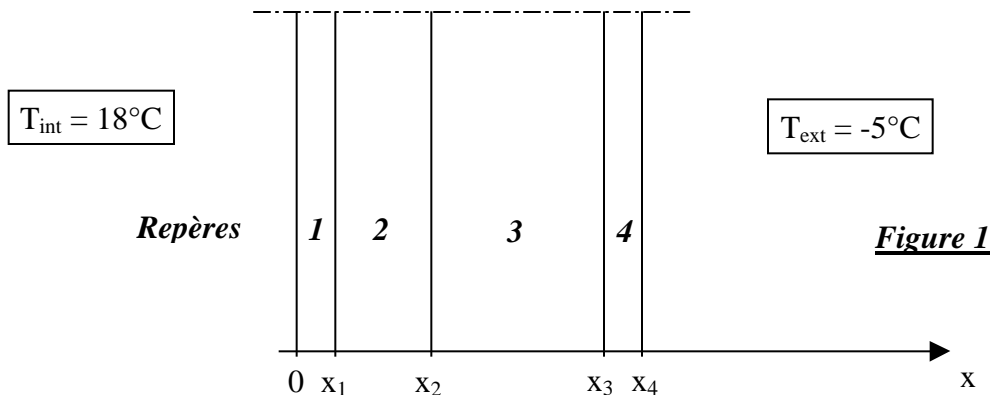
Isolation thermique des habitations – Éléments de calcul des déperditions d'énergie, en référence à la réglementation thermique française en matière de logements neufs¹.

- (A) Pour un isolant courant de type laine minérale, la conductivité thermique est généralement comprise entre 0,3 et 0,4 (valeurs exprimées dans le système international d'unités).
- (B) Les déperditions thermiques par une paroi extérieure S d'un local chauffé peuvent être chiffrées en considérant le produit (K.S._T), avec :
 - K : coefficient de la paroi déterminé à partir des règles TH-K,
 - _T : écart entre la température intérieure imposée par la réglementation et la température extérieure de base du lieu où se situe le local.
- (C) Le calcul des déperditions au travers d'une paroi en contact avec un local non chauffé, non isolé fait intervenir un coefficient de réduction de température _ dont la valeur est proche de 0,9.
- (D) Pour un logement situé en étage courant dans un immeuble dont les façades comportent une isolation extérieure, les déperditions par « pont thermique » (déperditions linéiques) sont plus importantes que dans le cas d'une isolation par l'intérieur.
- (E) Selon la troisième option de la réglementation thermique, le calcul du coefficient BV prend en compte les apports énergétiques « gratuits » tels que l'effet de l'ensoleillement, l'effet de l'occupation des locaux.

¹ Il s'agit ici de la réglementation encore en vigueur et non de la nouvelle réglementation (RT2000) dont le

QUESTION 2

On considère la paroi extérieure de bâtiment définie ci-dessous. On se place dans le cas d'un transfert de chaleur monodimensionnel selon x . La paroi (surface S , dont les conductivités λ_i des composants sont constantes) ne comporte aucune production interne de chaleur. Cette paroi sépare deux milieux fluides (milieu intérieur : air intérieur à un local et milieu extérieur : air extérieur à ce local) ; elle est étudiée en régime permanent établi. Les résultats des calculs sont exprimés avec deux chiffres significatifs après la virgule.



Repère sur la figure 1	1	2	3	4
Matériau	Plâtre	Laine de verre	Béton	Enduit extérieur
Épaisseur	1 cm	6 cm	15 cm	1 cm
Conductivité thermique [W/(m.K)]	0,50	0,04	1,75	1,00

Les échanges thermiques au niveau du parement intérieur ont lieu entre T_{int} et $T_{(0)}$; ils se caractérisent par un coefficient d'échange global h_i . De même le coefficient h_e caractérise l'échange au niveau du parement extérieur, entre $T_{(x_4)}$ et T_{ext} . Ces coefficients d'échanges surfaciques prennent en compte les transferts convectifs et radiatifs. On donne :

$$h_i = 10 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) ; h_e = 20 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}).$$

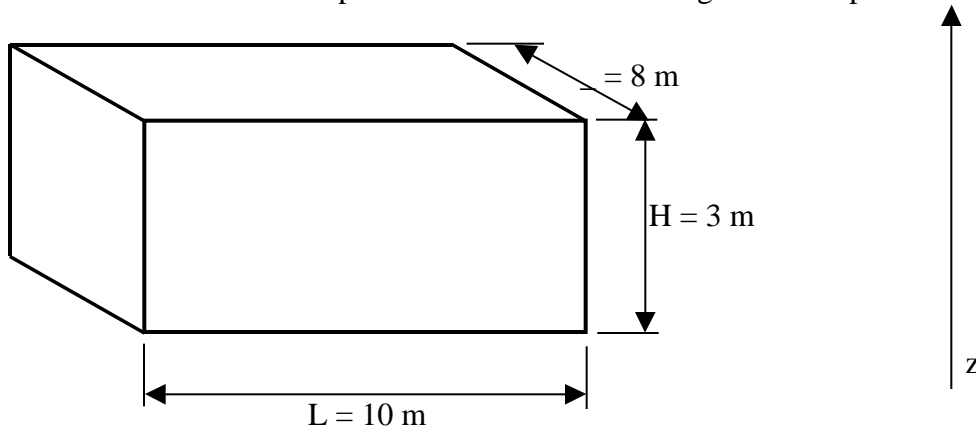
On négligera ici la résistance thermique des interfaces entre composants de la paroi.

- (A) La résistance thermique équivalente de la paroi (prenant en compte l'ensemble des échanges) est égale $2,77 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$.
- (B) Dans la configuration de la figure 1, les équations d'évolution de la température (en $^{\circ}\text{C}$) au sein des composants **2** et **3** sont respectivement :
pour $x_1 < x < x_2$, $T_{(x)} = 19,69 - 325,65 x$; pour $x_2 < x < x_3$, $T_{(x)} = - 2,58 - 7,44 x$
- (C) Toujours dans la configuration de la figure 1, les températures des parements intérieur et extérieur sont respectivement : $T_{(0)} = 16,70 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{(x_4)} = - 3,00 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- (D) Si on inverse la position de l'isolant et du béton (en gardant identiques les positions du plâtre et de l'enduit extérieur et en supposant inchangés les coefficients h_i et h_e), la température à l'interface béton isolant restera la même que dans la configuration précédente.
- (E) Si un vent fort souffle sur le parement extérieur, sans autre modification climatique (pluie, nuages...), alors $(1/h_e)$ augmente.

QUESTION 3

Étude acoustique d'un local de forme parallélépipédique dont les parois sont de 3 types (plafond, plancher et parois verticales).

Les résultats des calculs sont exprimés avec deux chiffres significatifs après la virgule.



On donne les coefficients d'absorption acoustique des matériaux constituant les 3 parois, pour les quatre bandes d'octaves suivantes :

Coeff. α_w	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Plafond	0,01	0,03	0,03	0,03
Paroi latérale	0,20	0,30	0,40	0,40
Plancher	0,01	0,02	0,03	0,02

(A) L'aire d'absorption équivalente du local est :

	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
A (Sabine)	23,20 m ²	36,40 m ²	48,00 m ²	47,20 m ²

(B) Le temps de réverbération d'un local est défini (pour chaque bande d'octave), par le temps mis par le niveau de pression acoustique d'un son que l'on l'arrête brusquement, pour décroître de 60 dB. Il caractérise la persistance du son après arrêt de la source sonore.

(C) Le temps de réverbération du local étudié (on utilise la formule de Sabine) est de :

	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
T_r	1,66 s	1,05 s	0,80 s	0,81 s

(D) On souhaite corriger l'acoustique de ce local en vue d'obtenir des temps de réverbération plus faibles, soit :

	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
T_r	0,50 s	0,80 s	0,80 s	0,50 s

Pour cela il suffit de couvrir le plafond d'un matériau ayant un coefficient d'absorption tel que :

Coeff. α_w	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Plafond	0,68	0,18	0,13	0,40

(E) La présence d'ameublement dans la pièce ne va pas modifier les valeurs du temps de réverbération, quelle que soit la bande d'octave.

QUESTION 4

On considère une source sonore placée, dans un premier temps, à l'intérieur d'un local sur un sol rigide en béton. Elle sera ensuite placée à l'extérieur du local, sur un même sol.

Cette source a un niveau de puissance acoustique $L_w = 70$ dB et une directivité $Q = 2$ avec le sol considéré. Un auditeur est placée dans le local à une distance de 2 m de la source. L'aire d'absorption équivalente des parois du local vaut 15 m².

Le niveau sonore dans le local, à la distance d de la source sera :

$$L_{(d)} = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{A}$$

- (A) Dans l'expression ci-dessus, le terme $Q/4 d^2$ provient du champ réverbéré par les parois du local.
 - (B) A 2 m de la source, à l'intérieur du local, le niveau sonore dû au champ réverbéré est plus élevé que celui dû au champ direct.
 - (C) Le niveau sonore perçu par l'auditeur vaut environ 65 dB (arrondi à l'unité).
 - (D) La source est maintenant placée à l'air libre. L'auditeur restant à 2 m de distance, il perçoit un niveau sonore inférieur de 3 dB par rapport à celui qu'il percevait dans la situation précédente (à l'intérieur de la salle).
 - (E) Une deuxième source sonore (identique à la première) est placée au même endroit ; toutes les deux sont à l'air libre.
A 3 m de ces sources le niveau sonore perçu est supérieur à celui qui régnait à l'air libre, en présence d'une seule source, à 2 m de celle-ci.
-

QUESTION 5

On considère un béton de structure dont la résistance caractéristique (à 28 jours) est de 30 MPa.

- (A) La résistance en traction de ce béton est de l'ordre du centième de sa résistance en compression.
- (B) Son module de déformation longitudinale sous charge de courte durée est plus faible que ce même module sous charge de longue durée.
- (C) Les déformations dues au fluage sont de l'ordre de deux fois les déformations instantanées.
- (D) Les déformations dues au retrait libre sont toujours inférieures à 10^{-5} .
- (E) Son coefficient de dilatation thermique est le double de celui de l'acier d'armatures.

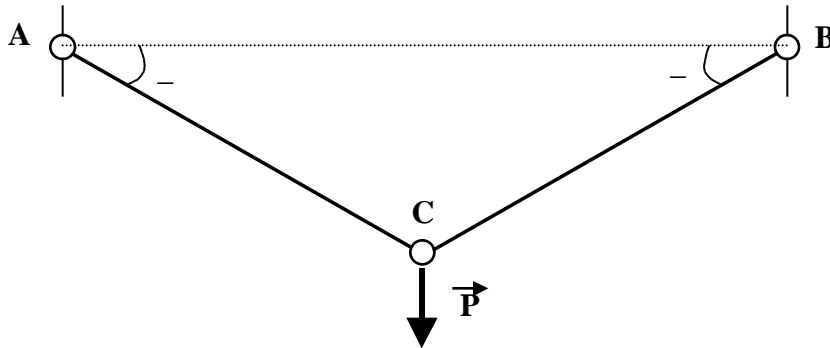
QUESTION 6

Comportement de matériaux de structure en traction uniaxiale.

- (A) Un acier courant pour charpente métallique (profil laminé standard) possède une limite élastique garantie de 500 MPa.
- (B) Un acier courant pour béton armé (barre à haute adhérence) possède une limite élastique garantie de 235 MPa.
- (C) Le module de Young de l'acier utilisé en génie civil est voisin de 2×10^4 N/mm².
- (D) Le blocage des déformations transversales d'une éprouvette en béton comprimée axialement a tendance à augmenter sa résistance en compression.
- (E) Après écrouissage, un acier possède une limite élastique inférieure à sa limite élastique initiale.

QUESTION 7

Deux barres identiques, de poids négligeable, de module de Young E , assurent la suspension d'une charge P (schéma ci-dessous). Elles sont inclinées d'un angle $\alpha = 30^\circ$.



Ces barres sont attachées à un support fixe en A et B et reliées entre elles en C. Les liaisons A, B et C sont des articulations parfaites.

- (A) L'effort normal dans les barres est égal à P .
- (B) En cas d'élévation uniforme de température l'effort normal dans les barres augmente.

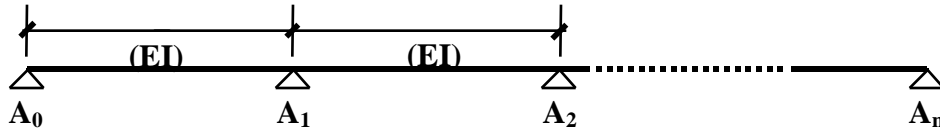
On dispose de barres tubulaires de diamètre extérieur 40 mm, d'épaisseur 3 mm, de module $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$.

- (C) Afin que la contrainte de traction ne dépasse pas 200 MPa, il faut limiter la charge P à 69,7 kN.
- (D) La distance entre A et B étant de 8 m, le déplacement vertical du point C, sous la charge P exprimée en Newton, sera égal à $1,3 \times 10^{-3} P$ (en mm).
- (E) Avec $P = 50 \text{ kN}$, la variation de α sera supérieure à $0,1^\circ$.

QUESTION 8

On considère une poutre continue de raideur constante en flexion (EI), constituée de n travées égales (l étant la distance entre appuis successifs, selon le schéma ci-après).

Cette poutre reçoit une charge verticale uniformément répartie sur l'ensemble des travées (taux de charge linéique noté p). $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ sont des appuis simples.



- (A) L'action d'appui en $A_0 =$ l'action d'appui en $A_n = p l / 2$.
- (B) Pour $n = 2$, l'effort tranchant est nul au milieu de chaque travée.
- (C) Pour $n = 2$, le moment fléchissant maximum en valeur absolue (sur l'ensemble de la poutre) est égal à $p l^2 / 8$.
- (D) Pour $n = 3$, l'effort tranchant est nul au milieu de la poutre.
- (E) Toujours dans le cas de 3 travées, si $p = 10$ kN/m et $l = 5$ m, on donne la valeur absolue du moment fléchissant sur les appuis intermédiaires :

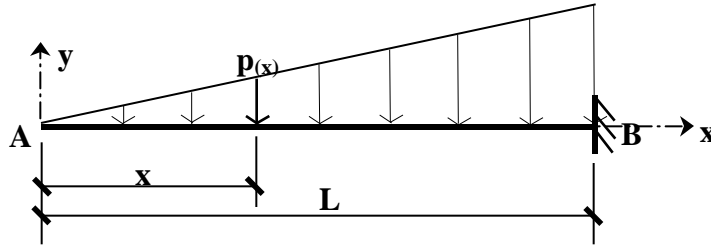
$$M_1 = M_2 = 25 \text{ kN.m}$$

Le moment fléchissant au milieu de la poutre est alors égal, en valeur absolue, à 6 kN.m (arrondi à l'unité).

QUESTION 9

Soit une poutre de longueur L , de raideur en flexion (EI), rigidement encastree à une extrémité (selon le schéma ci-après).

Cette poutre reçoit une charge répartie variant linéairement : $p(x) = k \cdot x$

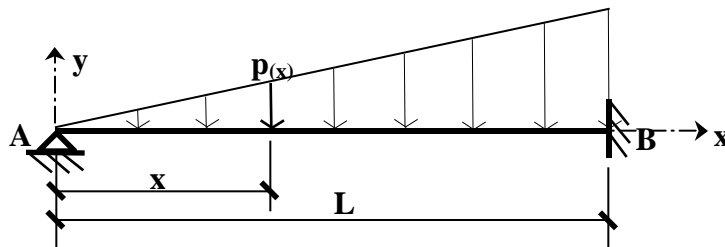


- (A) La composante suivant l'axe y de l'action de liaison en B est : $Y_B = k L / 2$.
- (B) La courbe représentative du moment fléchissant le long de (AB) est une parabole.
- (C) Si $L = 2$ m et $k = 12$ kN/m, le moment d'encastrement en B est égal, en valeur absolue, à 16 kN.m.
- (D) En considérant que les déformations dues à l'effort tranchant sont négligées le déplacement vertical du point A est $v_A = -k L^5 / 30 EI$.
- (E) Si $L = 2$ m et $k = 12$ kN/m, avec un matériau dont le module de Young vaut 2.10^5 N/mm, une section dont l'inertie de flexion $I = 1000$ cm⁴ sera suffisante pour limiter la flèche de cette poutre à $L/300$.

QUESTION 10

Nous reprenons la poutre de la question précédente (longueur L , de raideur en flexion (EI), rigidement encastree à l'extrémité B) avec ici un appui simple complémentaire en A.

Cette poutre reçoit une charge répartie variant linéairement : $p(x) = k \cdot x$



- (A) L'action d'appui est $Y_A = k L^2 / 12$.
- (B) Dans cette poutre, l'effort tranchant est linéaire entre A et B.
- (C) L'effort tranchant est nul pour $x = L / \sqrt{5}$.
- (D) Avec $L = 2$ m et $k = 12$ kN/m, le moment maximum entre A et B est égal, en valeur absolue, à 3 kN.m (valeur arrondie à l'unité).
- (E) Toujours avec $L = 2$ m et $k = 12$ kN/m, le moment est nul pour $x = 1,75$ m.

QUESTION 11

On considère une fondation superficielle de paroi verticale d'un ouvrage. L'étude géotechnique montre que la nappe phréatique ne peut atteindre le niveau d'assise prévu pour cette fondation.

Divers modèles de comportement vis à vis des charges verticales permettent de traduire la répartition des contraintes normales à la surface de contact semelle / sol, à partir desquels l'ingénieur peut justifier son dimensionnement.

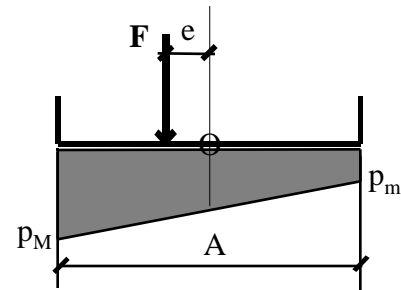
Nous nous intéressons ici aux modèles simplifiés couramment adoptés pour le calcul des semelles rigides sous charge excentrée uniformément répartie dans la direction de la paroi (on note F le taux linéique de cette charge).

Nota : les notations utilisées ici ne sont pas nécessairement identiques à celles qui figurent dans les C.C.T.G. des marchés de travaux relatifs aux fondations d'ouvrages.

Modèle "trapézoïdal"

- (A) Le modèle ci-contre, dans le cas d'une contrainte minimale $p_m > 0$ (c'est à dire du même signe que p_M), ne peut être valablement considéré que si l'excentricité de la charge reste limitée à :

$$e < A/6$$



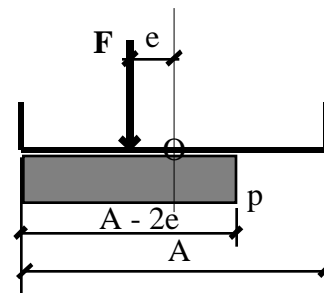
Pour la suite de cette question nous noterons $p_0 = F/A$.

- (B) Avec ce modèle, dans le cas où la position de la charge est telle que $e = A/8$, nous aurons une contrainte maximale $p_M = 1,75 p_0$.
- (C) Toujours avec ce modèle, on adopte comme contrainte conventionnelle de référence (appelée aussi « valeur représentative » des contraintes normales) la valeur définie à partir de l'expression $p_r = (3 p_M + p_m) / 4$.
Dans le cas où la position de la charge est telle que $e = A/9$, nous aurons une contrainte de référence $p_r = 4p_0/3$.

- (D) Considérons maintenant le nouveau modèle ci-contre (dit de Meyerhof).
Selon ce modèle, dans le cas où la position de la charge est telle que $e = A/4$, nous aurons une contrainte :

$$p = 1.75 p_0.$$

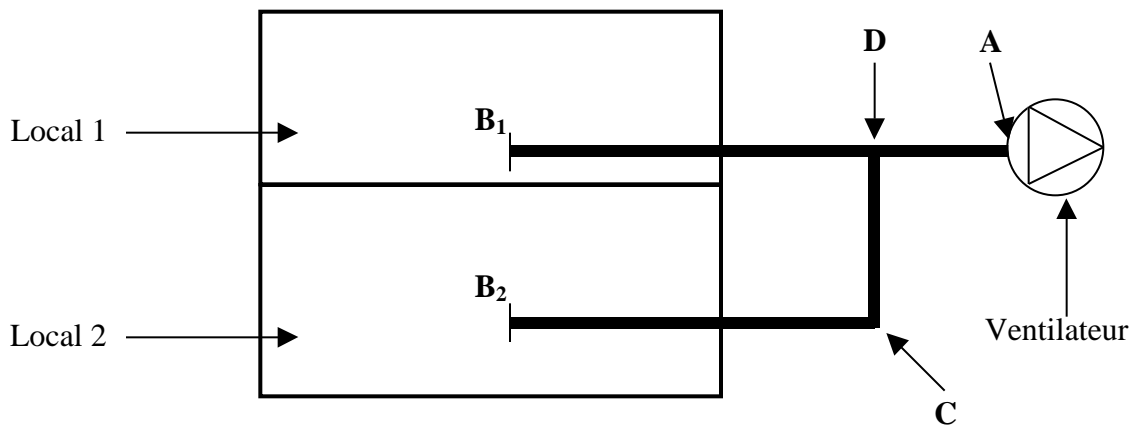
Modèle "rectangulaire"



- (E) Comparaison des contraintes p_r et p , obtenues respectivement avec le modèle « rectangulaire » et avec le modèle « trapézoïdal » :
- les valeurs de p_r et p coïncident quand $e = 0$ et quand $e = A/6$;
 - l'écart relatif $(p_r - p) / p_0$ reste inférieur à 3% quand l'excentricité de la charge verticale varie entre 0 et $A/6$.

QUESTION 12

Soit l'installation de ventilation mécanique contrôlée suivante :



Principaux éléments constitutifs :

B_1 et B_2 : bouches d'extraction situées respectivement dans les locaux 1 et 2

B_1 -D et B_2 -C : gaines circulaires, diamètre d_1 , longueur $L_1 = 2$ m

C-D : gaine circulaire, diamètre d_1 , longueur L_2

D-A : gaine circulaire, diamètre d_2 ($d_2 > d_1$), longueur $L_3 = 1$ m

Les locaux 1 et 2 sont identiques, notamment au niveau de la perméabilité des parois. Ils sont tous les deux munis d'entrées d'air ayant les mêmes caractéristiques (mêmes pertes de charge).

- (A) Le réseau ADB_1 a plus de pertes de charges que le réseau $ADCB_2$.
- (B) Si le réglage de la bouche B_1 est le même que celui de la bouche B_2 , le débit extrait dans chacun des deux locaux sera le même.
- (C) Si l'air était un fluide parfait, il n'y aurait pas de pertes de charges dans cette installation.

On souhaite calculer les pertes de charges du réseau B_1DA . Pour cela on donne :

- $j_1 = 2$ Pa/m, la perte de charge linéaire de B_1D ;
- $j_2 = 1,3$ Pa/m, la perte de charge linéaire de DA ;
- $V_1 = 1,5$ m/s, vitesse de l'air dans B_1D ; $V_2 = 1,2$ m/s, vitesse de l'air dans DA ;
- $K_D = 1,5$ coefficient de perte de charge singulière en D, compté sur DA ;
- $K_B = 1,0$ coefficient de perte de charge singulière en B_1 (hypothèse prise pour l'exercice, en réalité la perte de charge d'une bouche est beaucoup plus grande).

Rappel : les pertes de charge singulières se calculent (en Pa) à partir de l'expression $K \cdot \rho \cdot V^2 / 2$; ρ étant la masse volumique de l'air ($1,2$ kg/m³).

- (D) La perte de charge totale du réseau B_1DA est de 7,9 Pa (on négligera la perte de charge en A).
- (E) En mécanique des fluides de nombreuses unités de pression sont utilisées, parmi elles le Pascal et le millimètre de colonne d'eau. La correspondance entre ces deux unités est :
 $1 \text{ Pa} = 9,81 \text{ mmCE}$.