

DYNAMIQUE DES SOLS

Chapitre 1

Caractérisation du mouvement sismique

Exercices

Prof. Mohamed KHEMISSA

*Département de Génie Civil, Faculté de Technologie,
Université Mohamed Boudiaf – M'sila*

Ex. 1 Calculer les vitesses de propagation des ondes longitudinales et transversales dans un massif de sol de poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, de module de Young $E = 4 \text{ MPa}$, et de coefficient de Poisson $\nu = 0.3$. Commenter ensuite les résultats trouvés.

Rép. 1

A. Vitesse de propagation des ondes longitudinales (ou primaires)

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

avec : $\rho = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{20}{10} = 2$

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} = \frac{0.3 \times 4000}{(1+0.3)(1-2 \times 0.3)} = 2307.692$$

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{4000}{2 \times (1+0.3)} = 1538.462$$

Soit donc :

$$V_P = \sqrt{\frac{2307.692 + 2 \times 1538.462}{2}} = 51.887 \text{ m/s}$$

B. Vitesse de propagation des ondes transversales (ou secondaires)

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Soit donc :

$$V_S = \sqrt{\frac{1538.462}{2}} = 27.735 \text{ m/s}$$

C. Commentaire

$$V_P = 51.887 \text{ m/s} > V_S = 27.735 \text{ m/s}$$

$\Rightarrow$ Les ondes longitudinales se propagent beaucoup plus vite que les ondes transversales. Le train d'ondes longitudinales arrive donc en premier suivi du train d'ondes transversales.

Ex. 2 Les résultats d'un essai aux ultrasons (voir Chapitre 3) donnent pour un sol de poids volumique saturé $\gamma_{sat} = 17.5 \text{ kN/m}^3$ et de coefficient de Poisson $\nu = 0.3$ une vitesse de propagation des ondes longitudinales $V_p = 200 \text{ m/s}$. Calculer le module de Young du sol, puis déduire son module de cisaillement. Calculer ensuite la vitesse de propagation des ondes transversales correspondante, puis commenter les résultats trouvés.

Rép. 2

Essai aux ultrasons (Méthode de contrôle non destructif)

❖ **Principe** : L'essai consiste à placer une éprouvette de sol entre deux sondes, l'une émettrice et l'autre réceptrice, et en mesurer le temps de parcours de l'onde longitudinale qui lui est appliquée, d'où le calcul de la vitesse de propagation de l'onde correspondante et du module d'élasticité du sol.

❖ **Module d'élasticité** :

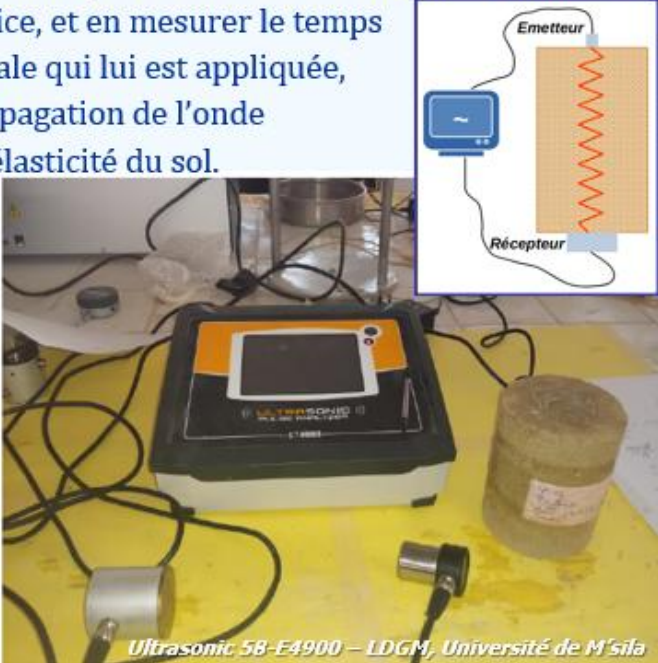
$$E = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \rho V_p^2$$

V_p – vitesse de propagation
 ρ – densité du sol

❖ **Module de cisaillement** :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ν – coefficient de Poisson du sol



Ultrasonic 58-E4900 – LDGM, Université de M'sila

A. Module de Young du sol

Sachant que :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad | \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad \& \quad \mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \Rightarrow E = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \rho V_p^2$$

avec : $\rho = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w} = \frac{17.5}{10} = 1.75$ et $\nu = 0.3$

$$\Rightarrow E = \frac{(1+0.3) \times (1-2 \times 0.3)}{1-0.3} \times 1.75 \times 200^2 = 52000 \text{ kPa} = 52 \text{ MPa}$$

B. Module de cisaillement du sol

Sachant que :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\Rightarrow G = \frac{52000}{2 \times (1+0.3)} = 20000 \text{ kPa} = 20 \text{ MPa}$$

C. Vitesse de propagation des ondes transversales

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

avec : $\mu = G = 20000 \text{ kPa}$

$$\text{Soit donc : } V_S = \sqrt{\frac{20000}{1.75}} = 106.904 \text{ m/s}$$

Commentaire :

$$V_P = 200 \text{ m/s} > V_S = 106.904 \text{ m/s}$$

⇒ Les ondes longitudinales se propagent beaucoup plus vite que les ondes transversales. Le train d'ondes longitudinales arrive donc en premier suivi du train d'ondes transversales.

Ex. 3 Les résultats d'un essai aux ultrasons (voir Chapitre 3) donnent pour un sol de poids volumique saturé $\gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3$ et de coefficient de Poisson $\nu = 0.3$ une vitesse de propagation des ondes transversales $V_s = 150 \text{ m/s}$. Calculer le module de cisaillement du sol, puis déduire son module de Young. Calculer ensuite la vitesse de propagation des ondes longitudinales correspondante, puis commenter les résultats trouvés.

Rép. 3

A. Module de cisaillement du sol

Sachant que :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

On déduit alors :

$$G = \mu = \rho V_s^2$$

$$\text{avec : } \rho = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_w} = \frac{20}{10} = 2$$

Soit donc :

$$G = 2 \times 150^2 = 45000 \text{ kPa} = 45 \text{ MPa}$$

B. Module de Young du sol

Sachant que :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\text{avec : } \nu = 0.3$$

On déduit alors :

$$E = 2(1+\nu)G$$

Soit donc :

$$E = 2 \times (1 + 0.3) \times 45000 = 117000 \text{ kPa} = 117 \text{ MPa}$$

C. Vitesse de propagation des ondes longitudinales

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$\text{tels que : } \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Sachant que :

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \cdot \frac{\rho}{\mu}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\mu}} = \sqrt{\frac{2(1 - \nu)}{1 - 2\nu}}$$

On déduit alors :

$$V_P = V_S \sqrt{\frac{2(1 - \nu)}{1 - 2\nu}}$$

Soit donc :

$$V_P = 150 \sqrt{\frac{2 \times (1 - 0.3)}{1 - 2 \times 0.3}} = 280.624 \text{ m/s}$$

Commentaire :

$$V_P = 280.624 \text{ m/s} > V_S = 150 \text{ m/s}$$

⇒ Les ondes longitudinales se propagent beaucoup plus vite que les ondes transversales. Le train d'ondes longitudinales arrive donc en premier suivi du train d'ondes transversales.

Ex. 4 Considérons un massif de sol homogène en profondeur de poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, de module œdométrique $E_{oed} = 20 \text{ MPa}$ et de module de cisaillement $G = 5 \text{ MPa}$. On demande de calculer les vitesses de propagation des ondes longitudinales V_p et transversales V_s , puis de commenter les résultats trouvés.

Rép. 4

A. Vitesse de propagation des ondes longitudinales : V_p

$$E_{oed} = \rho V_p^2 \quad \Rightarrow \quad V_p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}} = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\frac{\gamma}{\gamma_w}}} = \sqrt{\frac{20000}{\frac{20}{10}}} = 100 \text{ m/s}$$

B. Vitesse de propagation des ondes transversales : V_s

$$G = \rho V_s^2 \quad \Rightarrow \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{G}{\frac{\gamma}{\gamma_w}}} = \sqrt{\frac{5000}{\frac{20}{10}}} = 50 \text{ m/s}$$

C. Commentaire :

$$V_p = 100 \text{ m/s} > V_s = 50 \text{ m/s}$$

⇒ Les ondes longitudinales se propagent beaucoup plus vite que les ondes transversales. Le train d'ondes longitudinales arrive donc en premier suivi du train d'ondes transversales.