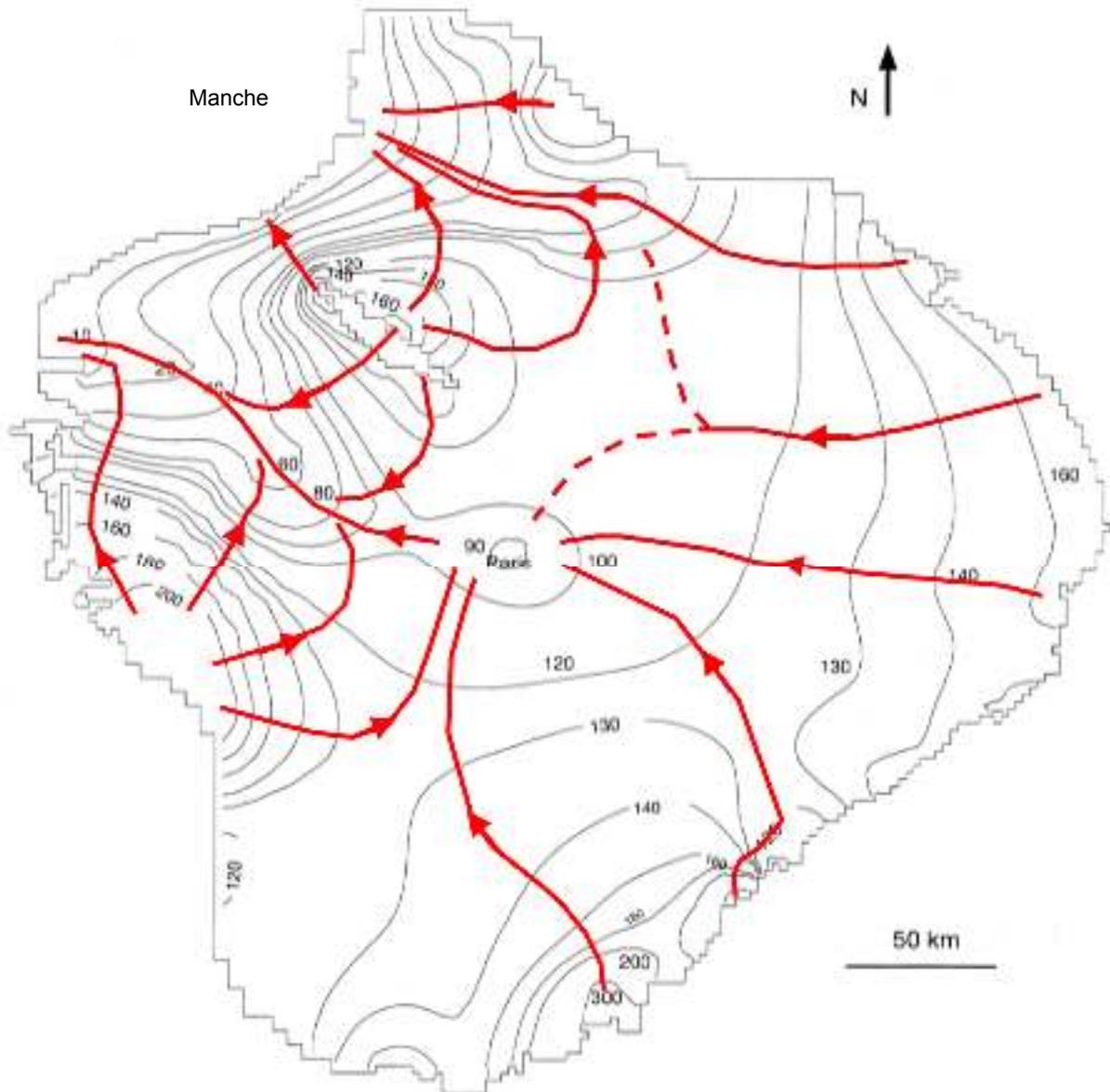


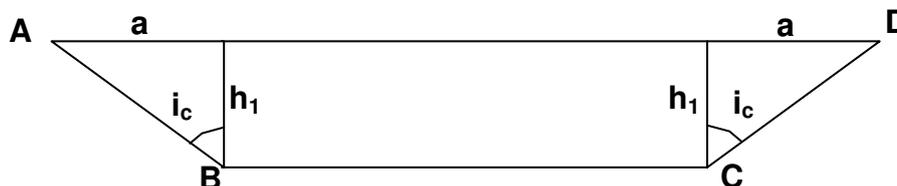
ÉCOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ÉTAT Année 2015-2016
Cours d'analyse géotechnique des sites urbains et naturels
 Examen
 9 décembre 2015
 CORRIGÉ

Question 1. Hydrogéologie



Question 2. Sismique réfraction

Notations : Les vitesses des ondes dans les couches 1, 2 et 3 valent : $V_1 = 600$ m/s, $V_2 = 1800$ m/s et $V_3 = 3600$ m/s. Les couches ont pour épaisseur $h_1 = 4$ m et $h_2 = 8$ m.



Calculs pour la couche 1.

$$\sin i_c = V_1/V_2 = 0,333 \quad i_c = 19,47 \text{ degrés} \quad \cos i_c = 0,943$$

$$a = h_1 \tan i_c = 0,3536 h_1 \quad AB = h_1/\cos i_c = 1,061 h_1$$

$$AD = X = 2a + x = 0,7072 h_1 + x$$

$$AB+BC+CD = 1,061 h_1 + x + 1,061 h_1 = 2,122 h_1 + x = X + (2,122 - 0,7072)h_1 = X + 1,415h_1$$

1. Les ondes directes parcourent une distance X en un temps $t_1 = X / V_1$. Les ondes réfractées sur l'interface des couches 1 et 2 parcourent la distance ABCD en un temps t égal à

$$t_{12} = \frac{1,061h_1}{V_1} + \frac{x}{V_2} + \frac{1,061h_1}{V_1} = \frac{2,122h_1}{V_1} + \frac{x}{V_2} = \frac{2,122h_1}{V_1} + \frac{X - 2a}{V_2} = \frac{2,122h_1}{V_1} + \frac{X - 0,7072h_1}{V_2}$$

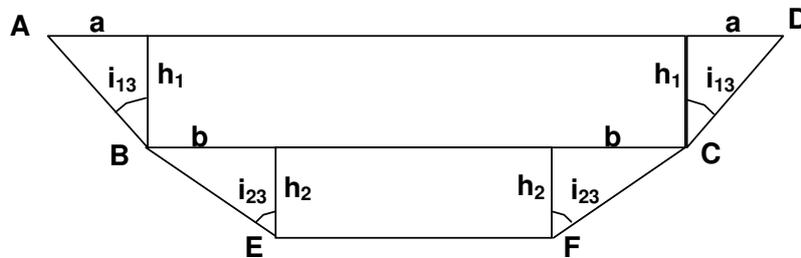
L'onde réfractée rattrape l'onde directe à la distance X telle que $t_1 = t_{12}$. On obtient

$$\frac{X}{V_1} = \frac{2,122h_1}{V_1} + \frac{X - 0,7072h_1}{V_2} \quad \text{d'où} \quad X = 2,122h_1 + X \frac{V_1}{V_2} - 0,7072h_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{2}{3}X = \left(2,122 - \frac{0,7072}{3}\right)h_1 \quad \text{d'où} \quad X = 11,32 \text{ m.}$$

Le temps correspondant vaut :

$$t_{12} = \frac{11,32}{600} = 0,0189 \text{ s.}$$



Calculs pour les couches 1 et 2.

$$\sin i_{13} = V_1/V_3 = 1/6 \quad i_{13} = 9,6 \text{ degrés} \quad \cos i_{13} = 0,986 \quad \tan i_{13} = 0,169$$

$$a = h_1 \tan i_{13} = 0,169h_1 = 0,676 \text{ m} \quad AB = h_1/\cos i_{13} = 1,014h_1 = 4,06 \text{ m} \quad CD = AB$$

$$\sin i_{23} = V_2/V_3 = 0,5 \quad i_{23} = 30 \text{ degrés} \quad \cos i_{23} = 0,866 \quad \tan i_{23} = 0,577$$

$$b = h_2 \tan i_{23} = 0,577h_2 = 4,62 \text{ m} \quad BE = h_2/\cos i_{23} = 1,155h_2 = 9,24 \text{ m} \quad FC = BE$$

$$AD = X = 2a + 2b + x = 1,352 + 9,24 + x = x + 10,592 \text{ m}$$

$$AB+BE+EF+FC+CD = 4,06 + 9,24 + x + 9,24 + 4,06 = x + 26,6 = X - 10,592 + 26,6 = X + 16,008$$

2. L'onde réfractée sur l'interface des couches 2 et 3 arrive en D au bout d'un temps t_{23} tel que

$$t_{23} = \frac{EF}{V_3} + \frac{2AB}{V_1} + \frac{2BE}{V_2} = \frac{x}{V_3} + \frac{8,12}{V_1} + \frac{18,48}{V_2} = \frac{X - 10,59}{V_3} + \frac{8,12}{V_1} + \frac{18,48}{V_2}$$

L'onde réfractée sur l'interface 12 arrive en D au bout d'un temps

$$t_{12} = \frac{8,49}{V_1} + \frac{X - 2a}{V_2} = \frac{8,49}{V_1} + \frac{X - 2,83}{V_2}$$

L'arrivée simultanée des deux ondes au point D conduit à l'équation :

$$\frac{X - 10,59}{V_3} + \frac{8,12}{V_1} + \frac{18,48}{V_2} = \frac{8,49}{V_1} + \frac{X - 2,83}{V_2}$$

En multipliant le tout par $V_3 = 3600 \text{ m/s}$, on obtient

$$X - 10,59 + 6,8,12 + 2,18,48 = 6,8,49 + 2X - 2,2,83$$

$$-10,59 + 54,72 + 36,96 - 50,88 + 5,66 = X$$

$$-10,59 + 48,72 + 36,96 - 50,94 + 5,66 = X$$

$$X = 29,81 \text{ m,}$$

ce qui correspond à $EF = x = 29,81 - 10,592 = 19,218 \text{ m.}$

Le temps correspondant vaut

$$t_{23} = \frac{19,218}{3600} + \frac{8,12}{600} + \frac{18,48}{1800} = 0,0291s .$$

3. La courbe dromochronique du massif représente le temps t d'arrivée de la première onde en fonction de la distance X . Elle est représentée sur la figure 1.

Le premier segment a pour équation : $t = X/600$.

Le deuxième segment a pour équation :

$$t_{12} = \frac{8,49}{V_1} + \frac{X - 2,83}{V_2} = \frac{X}{1800} + \frac{8,49}{600} - \frac{2,83}{1800} = \frac{X}{1800} + 0,0126 s .$$

Le troisième segment a pour équation :

$$t_{23} = \frac{X - 10,59}{V_3} + \frac{8,12}{V_1} + \frac{18,48}{V_2} = \frac{X}{3600} - \frac{10,59}{3600} + \frac{8,12}{600} + \frac{18,48}{1800} = \frac{X}{3600} + 0,0209s .$$

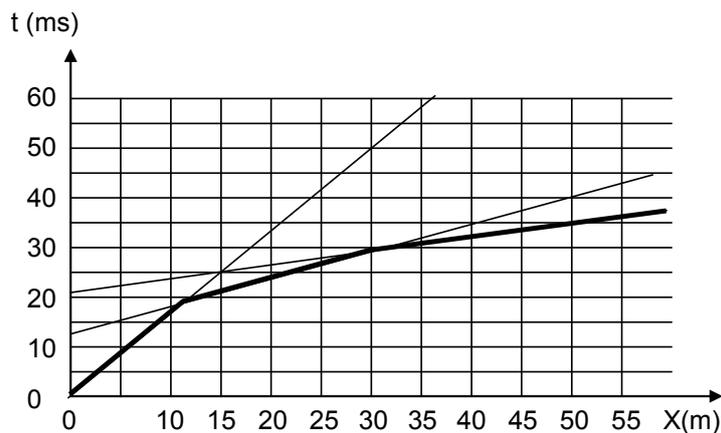


Figure 1. Courbe dromochronique

Question 3. Effets du changement climatique

1. Quelles modifications du climat sont sous-entendues quand on parle de changement climatique ?
2. Quelles sont les principaux effets identifiés au niveau mondial ?
3. Quelles peuvent être les conséquences de ces modifications du climat sur le comportement géotechnique des sites et terrains des vallées et sommets des Alpes ?

1. Le changement climatique concerne les modifications du fonctionnement de l'atmosphère qui provoquent actuellement un réchauffement des températures moyennes et une modification du régime des vents, des pluies et des neiges.

2. Ce réchauffement peut entraîner la fonte partielle des calottes glaciaires et une montée du niveau des océans. Les perturbations concernent notamment l'agriculture, la santé, le fonctionnement des grandes villes, le tourisme et le fonctionnement de la surface des continents (inondations, érosion,...).

3. Du point de vue géotechnique, les effets possibles sur les Alpes concernent la fonte partielle des sols gelés, la remontée des glaciers modifiant les conditions d'érosion des hautes vallées, la modification des périodes d'inondations et de basses eaux, avec des conséquences possibles sur la stabilité des pentes.

Question 4. Influence de l'eau sur la stabilité d'une pente infinie

1. Calcul en l'absence d'eau (nappe en surface).

Les données du calcul sont représentées sur la figure 1.

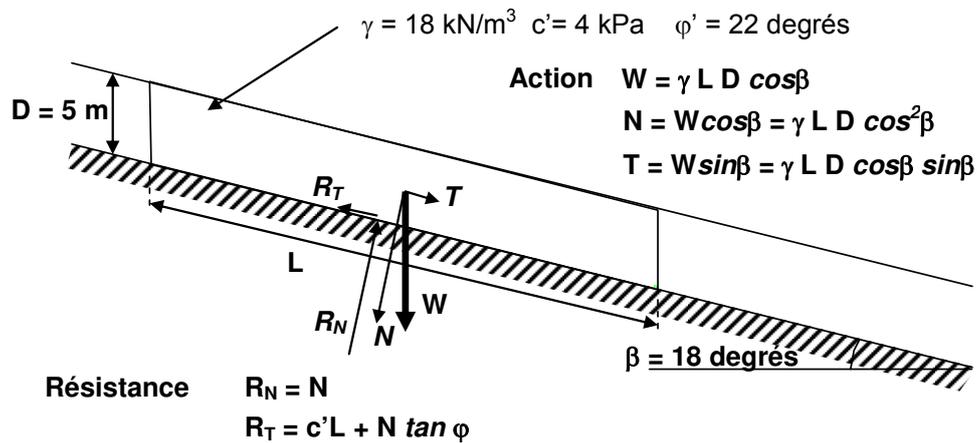


Figure 1. Schéma de calcul en l'absence d'eau

La condition d'équilibre s'écrit $R_T \geq T$, soit :

$$c'L + N \tan \phi \geq T$$

$$c'L + \gamma LD \cos^2 \beta \tan \phi \geq \gamma LD \cos \beta \sin \beta$$

On peut simplifier par L. Il vient, numériquement :

$$4 + 18.5 \cos^2 18 \tan 22 \geq 18.5 \cos 18 \sin 18$$

$$36,89 \geq 26,45.$$

L'équilibre est assuré.

2. Calcul en présence d'eau (nappe en surface).

Les données du calcul sont représentées sur la figure 2.

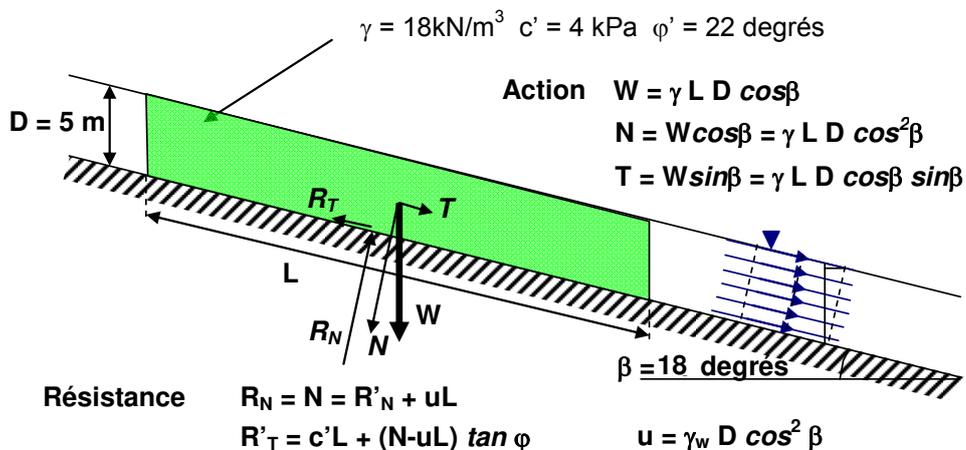


Figure 2. Schéma de calcul en présence d'eau (nappe en surface)

La condition d'équilibre s'écrit $R'_T \geq T$, soit :

$$c'L + (N - uL) \tan \phi \geq T$$

$$c'L + (\gamma LD \cos^2 \beta - \gamma_w LD \cos^2 \beta) \tan \phi \geq \gamma LD \cos \beta \sin \beta$$

On peut simplifier par L. Il vient, numériquement :

$$4 + 8.5 \cos^2 19 \tan 22 \geq 18.5 \cos 19 \sin 19$$

$$4 + 8.5 \cos^2 18 \tan 22 \geq 18.5 \cos 18 \sin 18$$

$$18,62 \geq 26,45.$$

L'équilibre n'est donc pas assuré.

Ces calculs montrent que la présence d'eau est très défavorable.