

Cours d'analyse géotechnique des sites urbains et naturels

Examen
20 janvier 2012

Cet examen comporte quatre questions. Tous les documents sont autorisés.

Question 1. Sismique-réfraction

On réalise une étude de sismique-réfraction sur le massif dont la coupe est représentée sur la figure 1.

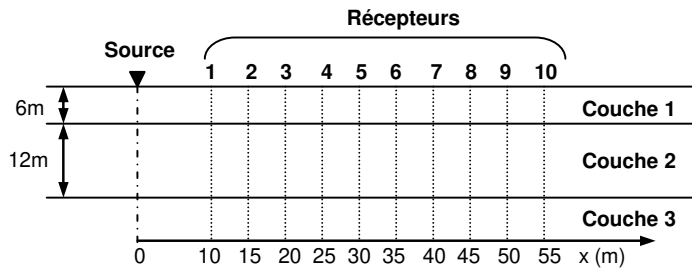


Figure 1. Coupe du massif étudié

On a disposé 10 récepteurs tous les cinq mètres, comme indiqué sur la figure 1. Les vitesses de propagation des ondes P dans les trois couches valent :

- couche 1 : 600 m/s,
- couche 2 : 2000 m/s,
- couche 3 : 4000 m/s,

1. À partir de quelle distance de la source les ondes réfractées sur l'interface des couches 1 et 2 arrivent-elles avant les ondes directes ?
2. À partir de quelle distance de la source les ondes réfractées sur l'interface des couches 2 et 3 arrivent-elles les premières ?
3. Tracer la courbe dromochronique de ce massif.

Question 2 – Coupe géologique

Sur le site dont le profil en travers est représenté sur la figure 2, on a réalisé sept sondages pour définir la structure des sols ou roches présents sous la surface du sol. Les résultats de ces sondages sont représentés sur la figure 3. Les noms des couches rencontrées dans chaque sondage, à partir du haut, sont indiqués dans le tableau 1.

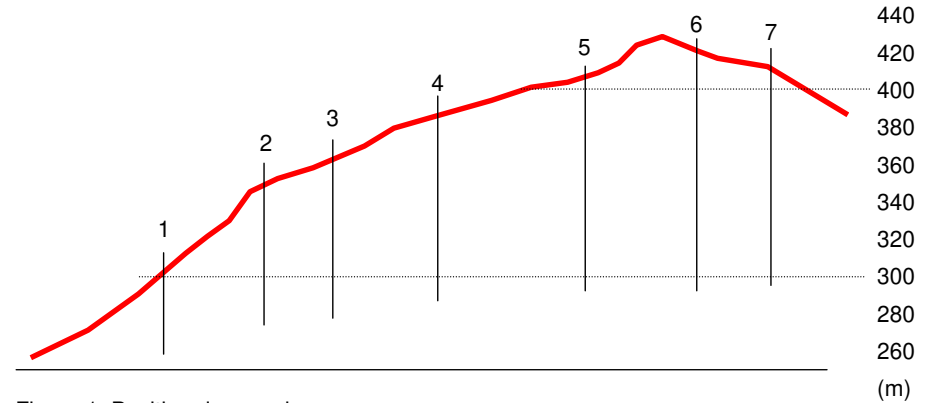


Figure 1. Position des sondages

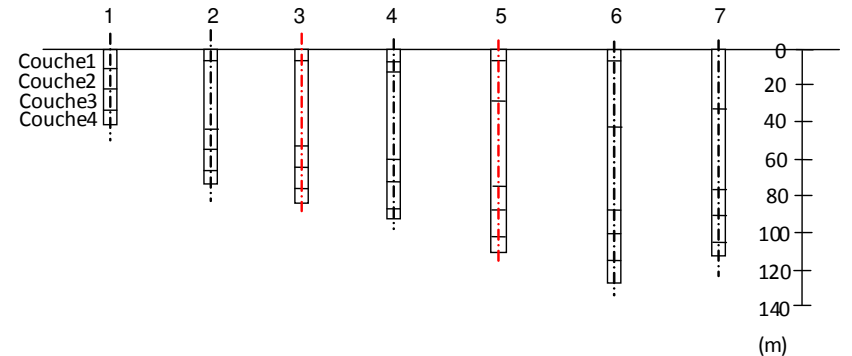


Figure 2. Couches rencontrées dans les sondages

Tableau 1. Couches rencontrées dans les sondages

Sondage	1	2	3	4	5	6	7
Couche 1	Argile	Éboulis	Éboulis	Éboulis	Éboulis	Minerai fer	Marne
Couche 2	Schistes	Argile	Argile	Marne	Marne	Marne	Argile
Couche 3	Grès	Schistes	Schistes	Argile	Argile	Argile	Schistes
Couche 4	Marnes	Grès	Grès	Schistes	Schistes	Schistes	Grès
Couche 5	-	Marnes	Marnes	Grès	Grès	Grès	Marnes
Couche 6	-	-	-	Marnes	Marnes	Marnes	-
Couche 7	-	-	-	-	-	-	-

Tracer la coupe géologique du site.

Question 3. Stabilisation de pente

Un glissement de terrain s'est développé dans une pente raide au milieu d'une ville. Ce glissement a mis en mouvement une couche de terrain superficielle de 3m d'épaisseur. Pour stabiliser ce glissement, les ingénieurs ont imaginé de couvrir la pente d'une membrane étanche et de poser dessus des plaques carrées dont chacune est fixée par un tirant (barre métallique scellée dans le sol en dessous de la surface du glissement).

Quel est le principe de fonctionnement de ce système de renforcement ? Dessinez le schéma de calcul et indiquez quels calculs vous devrez faire pour justifier la stabilité de la pente après ces travaux.



Question 4 – Questions de cours

1. Pour la préparation des travaux de terrassements, on fait référence à une classification des sols et des roches. Quels sont les objectifs et les principes de cette classification ? Pourquoi peut-on en déduire les conditions de compactage adaptées aux matériaux et au climat ?

2. Quels commentaires suscitent la carte suivante ?



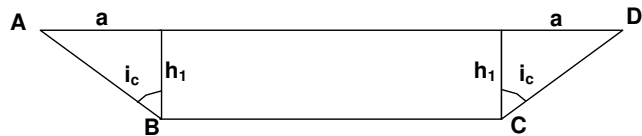
3. Quels sont les effets attendus du changement climatique dans le massif des Alpes ?

Cours d'analyse géotechnique des sites urbains et naturels

Examen
20 janvier 2012
CORRIGÉ

Question1. Sismique-réfraction

Notations : Les vitesses des ondes dans les couches 1, 2 et 3 valent : $V_1 = 600$ m/s, $V_2 = 2000$ m/s et $V_3 = 4000$ m/s. Les couches ont pour épaisseur $h_1 = 6$ m et $h_2 = 12$ m.



Calculs pour la couche 1.

$$\sin i_c = V_1/V_2 = 600/2000 = 0,3 \quad i_c = 17,45 \text{ degrés} \quad \cos i_c = 0,954$$

$$a = h_1 \tan i_c = 0,314h_1 \quad AB = h_1/0,954$$

$$AD = X = 2a + x = 0,628h_1 + x$$

$$AB+BC+CD = h_1/0,954+x+h_1/0,954 = 2,096h_1+x = X+(2,096-0,628)h_1 = X+1,468h_1.$$

1. Les ondes directes parcourent une distance X en un temps $t_1 = X / V_1$. L'onde réfractée sur l'interface des couches 1 et 2 parcourt la distance ABCD en un temps t_2 égal à

$$t_2 = \frac{h_1}{V_1,954} + \frac{x}{V_2} + \frac{h_1}{V_1,954} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{x}{V_2} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{X-2a}{V_2} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{X-0,628h_1}{V_2}.$$

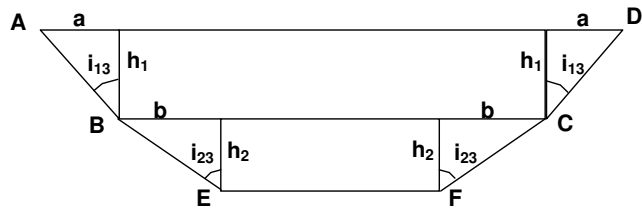
L'onde réfractée rattrape l'onde directe à la distance X telle que $t_1 = t_2$. On obtient

$$\frac{X}{V_1} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{X-0,628h_1}{V_2} \quad \text{d'où} \quad X \left(\frac{1}{600} - \frac{1}{2000} \right) = \frac{2,096 \cdot 6}{600} + \frac{0,628 \cdot 6}{2000}$$

$$X = \frac{0,0228}{0,00217} = 10,5 \text{ m.}$$

Le temps correspondant vaut :

$$t_2 = \frac{10,5}{600} = 0,0175 \text{ s.}$$



Calculs pour les couches 1 et 2.

$$\sin i_{13} = V_1/V_3 = 0,15 \quad i_{13} = 8,6 \text{ degrés} \quad \cos i_{13} = 0,99 \quad \tan i_{13} = 0,15$$

$$a = h_1 \tan i_{13} = 0,15h_1 = 0,9 \text{ m} \quad AB = h_1/\cos i_{13} = 1,01h_1 = 6,06 \text{ m} \quad CD = AB$$

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

$$b = h_2 \tan i_{23} = 0,577h_2 = 6,92 \text{ m} \quad BE = h_1/\cos i_{13} = 1,154h_1 = 13,85 \text{ m} \quad FC = BE$$

$$AD = X = 2a + 2b + x = 1,8 + 13,84 + x = x + 15,64 \text{ m}$$

$$AB+BE+EF+FC+CD = 6,06 + 13,85 + x + 13,85 + 6,06 = x + 39,82 \text{ m} = X + 24,18 \text{ m}$$

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

$$\text{que } t_{23} = \frac{EF}{V_3} + \frac{2AB}{V_1} + \frac{2BE}{V_2}.$$

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

$$t_{12} = \frac{h_1}{V_1,954} + \frac{x}{V_2} + \frac{h_1}{V_1,954} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{x}{V_2} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{X-2a}{V_2} = \frac{2,096h_1}{V_1} + \frac{X-0,628h_1}{V_2}$$

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

$$\frac{X-15,64}{V_3} + \frac{12,12}{V_1} + \frac{27,7}{V_2} = \frac{12,58}{V_1} + \frac{X-3,77}{V_2}$$

En multipliant le tout par $V_3 = 4000$ m/s, on obtient

$$X - 15,64 + 6,67 \cdot 12,12 + 2 \cdot 27,7 = 6,67 \cdot 12,58 + 2X - 2 \cdot 3,77$$

$$-15,64 + 80,8 + 55,4 - 83,9 + 7,54 = X$$

$$X = 44,2 \text{ m,}$$

ce qui correspond à $EF = 44,2 - 2a - 2b = 44,2 - 1,8 - 13,84 = 28,56$ m.

Le temps correspondant vaut

$$t_{23} = \frac{28,56}{4000} + \frac{2 \cdot 6,06}{600} + \frac{2 \cdot 13,85}{2000} = 0,0412 \text{ s.}$$

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

$$t_{12} = \frac{12,58}{V_1} + \frac{X-3,77}{V_2} = \frac{X}{2000} + \frac{12,58}{600} - \frac{3,77}{2000} = \frac{X}{2000} + 0,0228 \text{ s.}$$

Le troisième segment a pour équation :

$$t_{23} = \frac{X-15,64}{V_3} + \frac{12,12}{V_1} + \frac{27,7}{V_2} = \frac{X}{4000} - \frac{15,64}{4000} + \frac{12,12}{600} + \frac{27,7}{2000} = \frac{X}{4000} + 0,0301 \text{ s.}$$

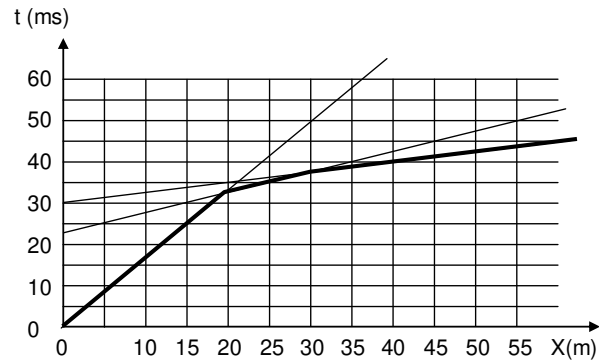
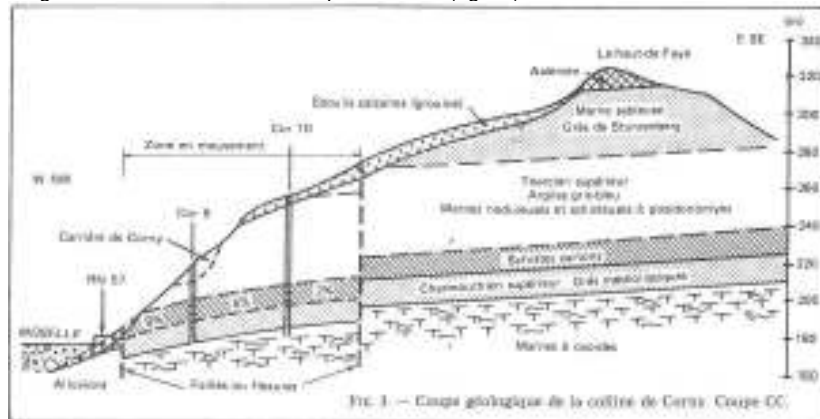


Figure 1. Courbe dromochronique

Question 2 – Coupe géologique

Il s'agissait de reconstruire la coupe suivante (figure).



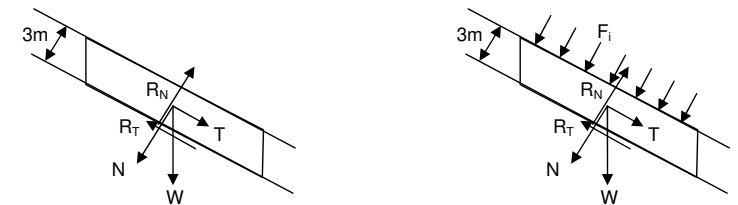
Commentaires : le site comporte une faille qui décale les couches. Pour détecter la présence d'une anomalie, qu'on interprète comme une faille, il faut relier les limites des couches des sondages par des lignes droites. Le nombre de sondages permettait d'identifier toutes les couches.

Question 3. Stabilisation de pente

La photo et sa description conduisent à imaginer un bloc d'épaisseur constante (3m) qui glisse sur un plan incliné. Le schéma d'analyse de ce mécanisme de rupture est représenté sur la figure suivante (Figure 2a). Les forces qui provoquent le mouvement (W , projeté en N et T) et celles qui résistent au mouvement (R_N et $R_T \leq cL + N \tan \phi$) sont représentées sur la même figure.

La solution adoptée consiste à charger le plan de glissement en appliquant des forces en surface, créées par des tirants précontraints, notées F_i sur la figure 2b).

Le calcul de stabilité permet de déterminer $\sum F_i$ et il reste à dimensionner les plaques et les tirants pour qu'ils soient capables d'appliquer une telle force.



a. Schéma de calcul initial

b. Schéma de calcul avec tirants

Figure 2. Schémas de calcul pour la pente

Question 4 – Questions de cours

1. La classification des sols pour les terrassements a été établie pour simplifier les études de ce type de travaux en évitant d'avoir à faire des essais préalables pour chaque chantier. Elle est issue d'une analyse systématique des expériences faites en laboratoire à échelle réelle et sur des chantiers, pour la plupart des combinaisons de sols, de conditions de compactage et de climat. Elle s'appuie sur un regroupement des sols ayant le même comportement pour le compactage.

2. Il s'agit d'un lac glaciaire, formé à la fonte de la calotte glaciaire polaire de la dernière glaciation. Ce lac d'eau douce se serait vidé dans les océans il y a 8200 ans, provoquant des perturbations climatiques pendant près de 300 ans.

3. On attend un réchauffement global moyen de quelques degrés et des modifications du régime des pluies, à total à peu près constant : plus de pluies d'hiver et moins de pluies en été, avec une concentration des pluies en épisodes plus intenses. Le réchauffement produirait des effets sur l'exploitation des stations de sports d'hiver, et sur la stabilité des zones les plus élevées, qui pourraient dégeler et devenir instables.