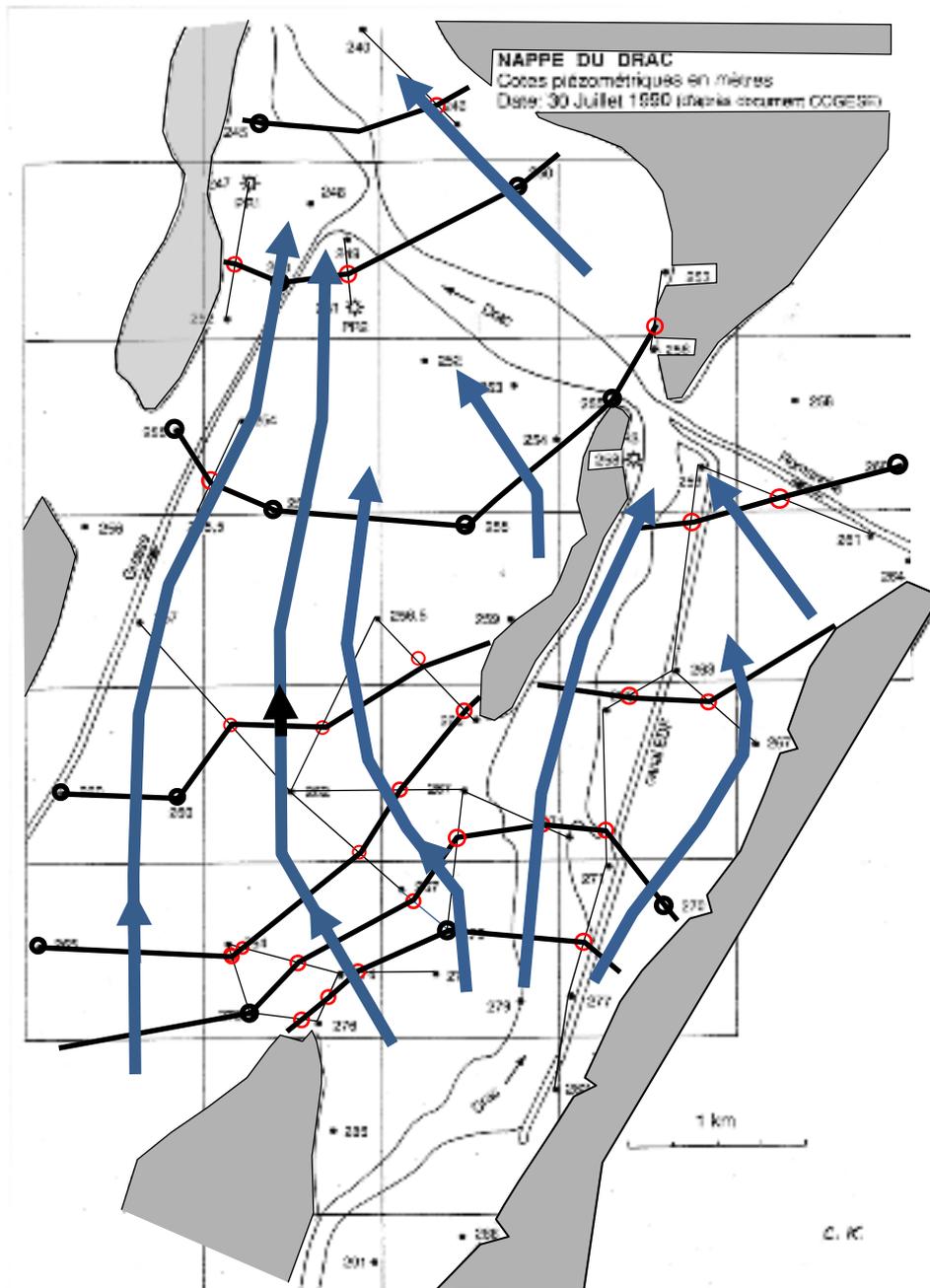


**ÉCOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ÉTAT Année 2014-2015**  
**Cours d'analyse géotechnique des sites urbains et naturels**  
Examen  
9 décembre 2014  
CORRIGÉ

**Question 1. Hydrogéologie**

1. Démarche : pour tracer les isopièzes, nous allons travailler comme dans l'exercice du cours : choisir les lignes à représenter (par exemple 275, 270, 265, 260, 255, 250, 240). Ensuite nous allons utiliser les points ayant une valeur mesurée de 260, par exemple et construire par interpolation des points voisins, à partir des points de mesure qui entourent cette valeur. Une fois tracées les isopièzes, il reste à tracer les lignes de courant, qui leur sont perpendiculaires.



## Question 2. Géophysique

1. La reconnaissance va comporter quelques sondages carottés, afin de déterminer la nature exacte des terrains et la position des interfaces des couches. Pour interpoler entre les sondages carottés, on peut recourir aux méthodes géophysiques. Parmi celles qui sont indiquées dans le cours, on peut penser aux méthodes suivantes :

- la sismique réfraction doit pouvoir utiliser les différences de vitesses de propagation d'ondes entre les couches. Mais elle nécessite que ces vitesses augmentent d'une couche à l'autre quand on s'enfonce dans le terrain. Il n'est pas certain que l'on puisse accéder à l'interface entre les bancs calcaires et les marnes ;
- les méthodes électriques peuvent fournir des indications sur les couches contenant plus ou moins d'argiles (différenciation des calcaires et des marnes) et la limite des terrains de surface.

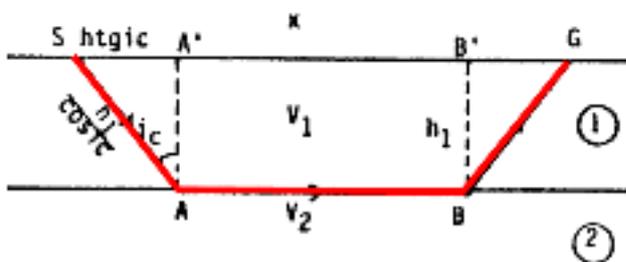
2. Pour la sismique réfraction, on peut estimer comme suit les vitesses de propagation des ondes (tableau du cours) :

Roches/sols	Vitesse $V_p$ (m/s)	
Roches altérées	800 à 2500	
Calcaires	4000 à 7000	
Argiles	1800 à 2400	
Argiles et limons	Secs 500 à 1200	Saturés 700 à 1600
Sables et graviers	Secs 500 à 1500	Saturés 1500 à 2500

Les vitesses dans les marnes ne sont pas connues à priori, mais elles sont probablement inférieures à celles des calcaires massifs.

Par conséquent, les vitesses prévisibles sont classées dans l'ordre : sables argileux < calcaires altérés < calcaires massifs > marnes. On n'aura donc pas accès à l'interface des calcaires et des marnes, pour laquelle on devra se reposer sur les sondages carottés ou éventuellement les méthodes électriques.

La distance maximale entre la source et le premier récepteur doit être inférieure à la distance nécessaire pour que l'onde qui suit l'interface entre les sables argileux et le calcaire altéré arrive avant l'onde directe. On a vu dans le cours que cette distance est telle que le temps de trajet  $t$  est le même pour les deux ondes :



$$t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h_1 \cos i_c}{V_1} = \frac{x + 2h_1 \tan i_c}{V_1}$$

$$x \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = \frac{2h_1 (\cos i_c - \tan i_c)}{V_1}$$

$$x = 2h_1 (\cos i_c - \tan i_c) \frac{V_2}{V_2 - V_1}$$

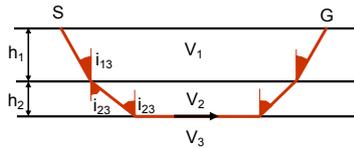
$$\text{avec } V_1/V_2 = \sin i_c.$$

Si l'on admet que  $h_1 = 3\text{m}$ ,  $V_1 = 800\text{m/s}$ ,  $V_2 = 2000\text{m/s}$ , on obtient :  $i_c = 23,6$  degrés, et

$$x = 2h_1 (\cos i_c - \tan i_c) \frac{V_2}{V_2 - V_1} = 6(0,917 - 0,436) \frac{2000}{2000 - 800} = 6,0,48,1,67 = 4,81\text{m},$$

d'où une distance entre source et premier récepteur de  $x + 2h_1 \tan i_c = 4,81 + 6,0,436 = 7,43\text{m}$ .

La distance minimale entre la source et le dernier réflecteur doit être supérieure à la distance nécessaire pour que l'onde qui suit l'interface entre le calcaire altéré et le calcaire sain arrive avant l'onde directe. On a vu dans le cours que ces temps de parcours sont égaux à :



$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2h_1 \cos i_{13}}{V_1} + \frac{2h_2 \cos i_{23}}{V_2} = \frac{x + 2h_1 \tan i_{13} + 2h_2 \tan i_{23}}{V_1}$$

$$x \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_3} \right) = \frac{2h_1 (\cos i_{13} - \tan i_{13})}{V_1} + \frac{2h_2 (\cos i_{23} - \tan i_{23})}{V_2}$$

$$x = 2h_1 (\cos i_{13} - \tan i_{13}) \frac{V_3}{V_3 - V_1} + 2h_2 (\cos i_{23} - \tan i_{23}) \frac{V_3}{V_3 - V_1} \frac{V_1}{V_2}$$

avec  $V_1/V_3 = \sin i_{13}$  et  $V_2/V_3 = \sin i_{23}$ .

Si l'on admet que  $h_1 = 3\text{m}$ ,  $h_2 = 5\text{m}$ ,  $V_1 = 800\text{m/s}$ ,  $V_2 = 2000\text{m/s}$  et  $V_3 = 4000\text{m/s}$ , on obtient :  $i_{13} = 11,54$  degrés,  $i_{23} = 30$  degrés et

$$x = 6(0,98 - 0,20) \frac{4000}{3200} + 10(0,87 - 0,58) \frac{4000}{3200} \frac{800}{2000} = 5,85 + 1,45 = 7,30 \text{ m,}$$

d'où une distance entre source et dernier réflecteur de  $x + 2h_1 \tan i_{13} + 2h_2 \tan i_{23} = 14,3 \text{ m}$ .

### Question 3. Effets du changement climatique

1. Le changement climatique concerne les modifications du fonctionnement de l'atmosphère qui provoquent actuellement un réchauffement des températures moyennes. Ce réchauffement peut entraîner la fonte partielle des calottes glaciaires et une augmentation du volume de l'eau des océans, d'où une montée du niveau des océans. De plus il est annoncé que le régime des pluies et des neiges sera modifié, d'où des perturbations pour l'agriculture, le tourisme et le fonctionnement de la surface des continents (inondations, érosion,...).

2. 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

Les données du calcul sont représentées sur la figure 1.

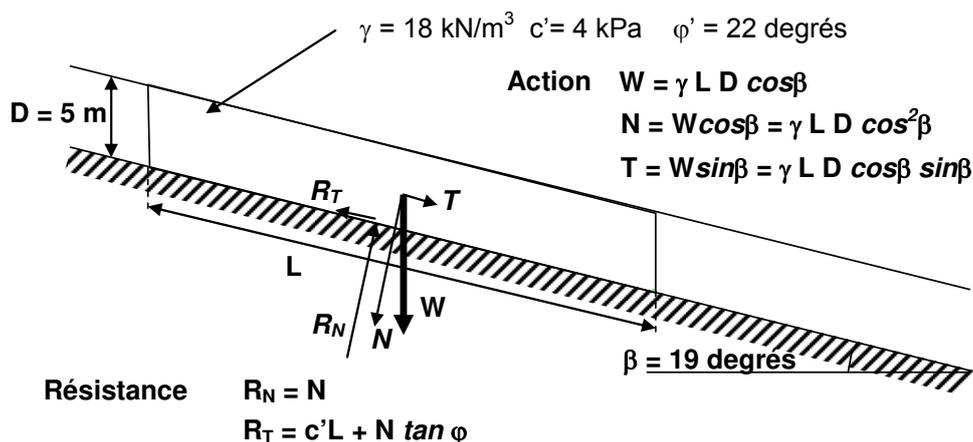


Figure 2. Schéma de calcul en l'absence d'eau

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

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

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

On peut simplifier par L. Il vient, numériquement :

$$4 + 18,5 \cos^2 19 \tan 22 \geq 18,5 \cos 19 \sin 19$$

$$36,51 \geq 27,70.$$

L'équilibre est donc assuré.

2. Calcul en présence d'eau (nappe en surface).  
 Les données du calcul sont représentées sur la figure 2.

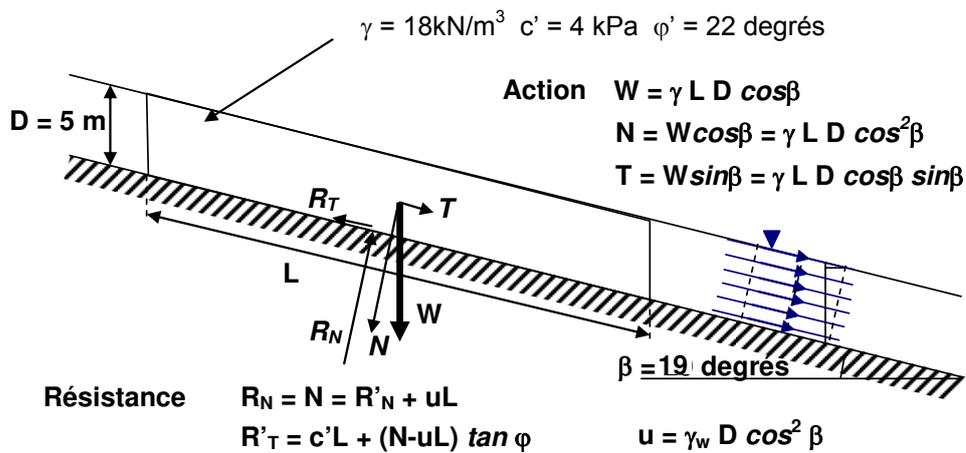


Figure 2. Schéma de calcul en présence d'eau (nappe en surface)

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

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

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

On peut simplifier par L. Il vient, numériquement :

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

$$18,45 \geq 27,70.$$

L'équilibre n'est donc pas assuré.

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