

Nom, prénom :

Groupe :

# ÉCOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ÉTAT Année 2010-2011

## Cours d'analyse géotechnique des sites urbains et naturels

### Examen (Demi-promotion B)

7 janvier 2011

Cet examen comporte 5 questions. Chaque question est notée sur 4 points. Tous les documents sont autorisés.

#### Contexte

Un tracé autoroutier doit franchir une chaîne de collines au niveau d'un col d'altitude 1128 m. Le profil en long du projet impose que le col soit franchi en tranchée. Vous devez établir un projet de terrassement correspondant à l'exécution de cette tranchée, dont les éléments géométriques sont les suivants :

- cote du fond de la tranchée : 1105 m,
- largeur de l'emprise à la cote 1105 : 30 m,
- pente des talus : 3/2 (3 vertical pour 2 horizontal).

La figure 1 donne la topographie, l'information géologique de surface et l'implantation de l'axe de la tranchée.

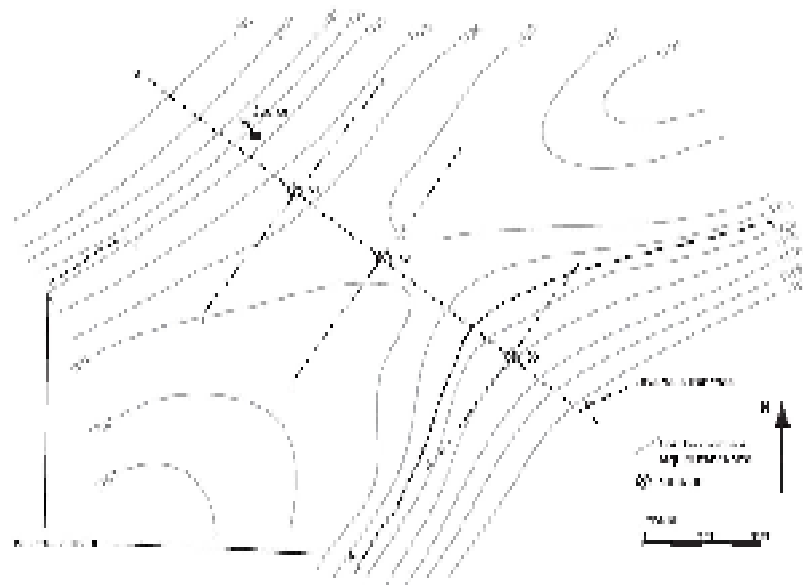


Figure 1

#### Données géologiques

L'étude préliminaire du terrain effectuée par un géologue montre que le secteur du col comprend essentiellement deux terrains de nature très différente :

- un substratum granitique, plus ou moins altéré à proximité de la surface et affecté par plusieurs familles de fractures.
- une couche superficielle d'alluvions anciennes sablo-graveleuses à faible teneur en argile.

Nom, prénom :

Groupe :

Trois sondages de reconnaissance (S1, S2, S3) ont été exécutés aux emplacements indiqués sur la figure 1. Il s'agit de sondages destructifs dans les terrains meubles et carottés dans le rocher. Les résultats sont résumés ci-dessous :

#### S1 : cote du terrain naturel : 1123 m

- De 0 à 0,50m : terre végétale
- De 0,50 à 9,50m : grave-sableuse (fraction grossière constituée d'éléments arrondis). Aquifère à 8m.
- De 9,50 à 14,50m : granite très altéré (teinte jaunâtre).
- De 14,50 à 20,00m : granite sain de teinte bleutée.

#### S2 : cote du terrain naturel : 1128 m

- De 0 à 1,10m : terre végétale
- De 1,10 à 11,00m : grave sableuse à passées de galets probable (aquifère à 10 m)
- De 11,00 à 15,00m : granite assez profondément altéré.
- De 15,00 à 27,00m : granite sain peu fracturé.

#### S3 : cote du terrain naturel : 1117 m

- De 0 à 0,70m : terre végétale
- De 0,70 à 5,20m : granite altéré de teinte jaunâtre
- De 5,20 à 15,00m : granite sain, peu fracturé.

#### Question 1

Tracer sur la carte de la planche 1 l'emprise au sol de la tranchée (le fond et les deux talus T1=talus nord, T2=talus sud). Vous pouvez par exemple utiliser la méthode décrite en annexe 1 (méthode des horizontales, cours de géologie de 1<sup>ère</sup> année).

#### Question 2

Représenter sur la planche 2 les informations issues des trois sondages. Compte tenu de ces sondages et des autres informations géologiques reportées sur la figure 1 (ou planche 1), quelle est la géométrie de la base des alluvions ?

#### Question 3

Dessiner sur la planche 3 les coupes géologiques selon l'axe AB et selon le profil en travers 2, passant par le sondage S2.

Que pensez-vous des conditions hydrogéologiques susceptibles d'être rencontrées par le terrassement (aquifères possibles, possibilité d'existence d'une nappe) ?

#### Question 4

Des essais de cisaillement à la boîte ont été réalisés sur des échantillons de grave sableuse sous trois contraintes normales  $\sigma = 50, 100$  et  $150$  kPa. Les résultats des essais (effort de cisaillement en fonction du déplacement de la boîte) sont représentés sur la figure 2. Déterminer la résistance au cisaillement de ce sol.

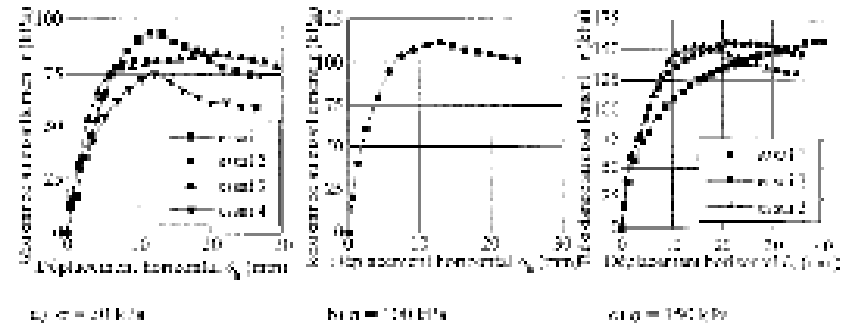


Figure 2. Courbes de cisaillement de la grave sableuse à la boîte

Nom, prénom :

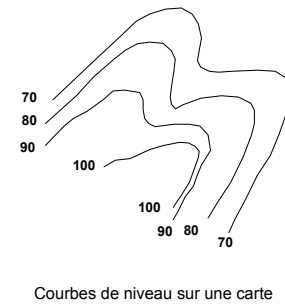
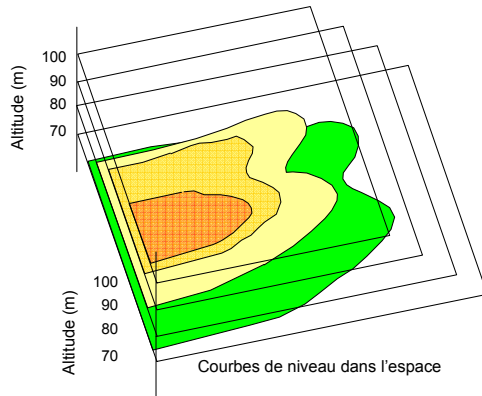
Groupe :

**Question 5**

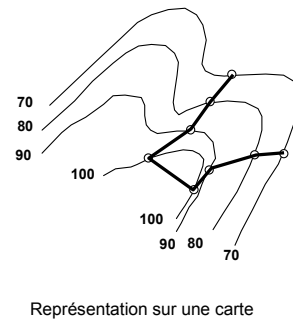
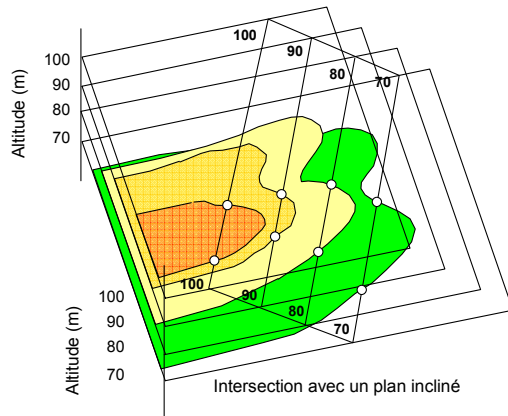
Vérifier la stabilité du talus de l'excavation, par rapport à un glissement superficiel plan dans la couche d'alluvions (grave sableuse) dont les propriétés de résistance ont été déterminées à la question 4. On admet pour ce calcul que ce glissement a une épaisseur constante d'un mètre. Déterminer le coefficient de sécurité de cette pente.

Annexe : méthode de construction de l'intersection d'un plan avec des lignes de niveau

En plan, la représentation la plus usuelle du relief est faite sous forme de courbes de niveau (intersection de la surface topographique par des plans horizontaux équidistants).



L'intersection d'un plan incliné avec les plans horizontaux détermine un réseau de droites parallèles dont chacune coupe la courbe de niveau du plan correspondant. Les points ainsi déterminés sont les intersections des courbes de niveau et du plan incliné.

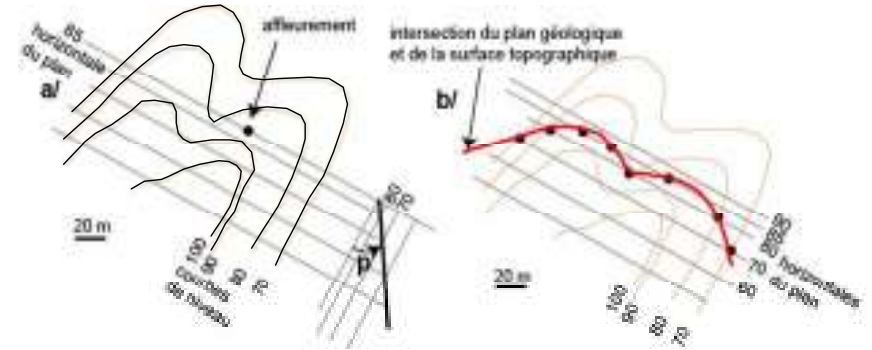


Cette procédure peut être appliquée directement sur le plan de projection des lignes de niveau, comme décrit ci-après. Le diagramme de la partie droite de la figure a/ permet de

Nom, prénom :

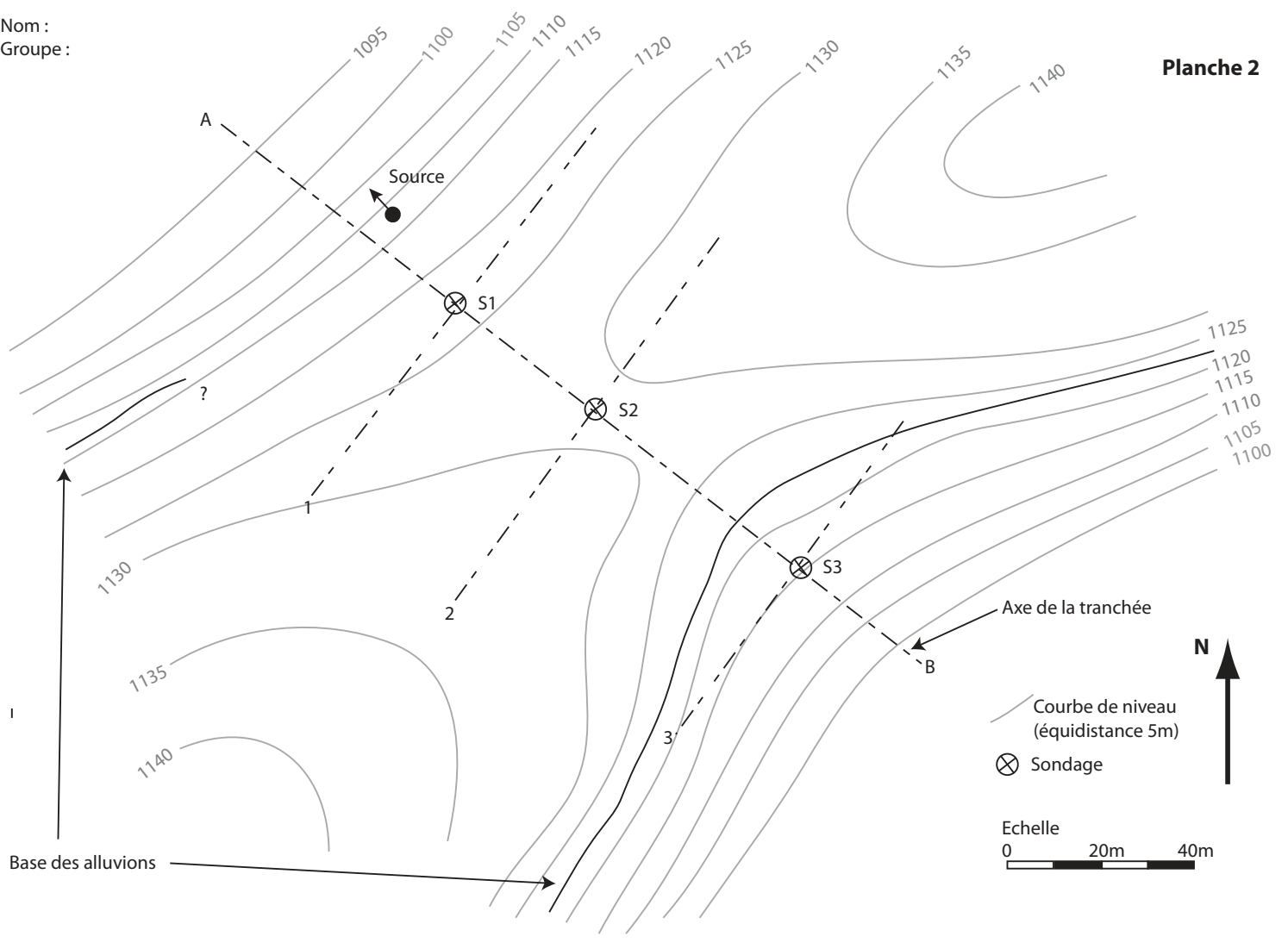
Groupe :

calculer la distance des lignes droites d'intersection du plan incliné avec les plans horizontaux définissant les altitudes. Les échelles de la représentation sont identiques dans les directions verticale et horizontale. Les droites recoupent les lignes de niveau en des points qui font partie de l'intersection du terrain naturel et du plan considéré. La courbe reliant ces points est représentée sur la figure b/. On peut donc tracer simplement les limites de l'intersection du terrain et de toute surface plane.



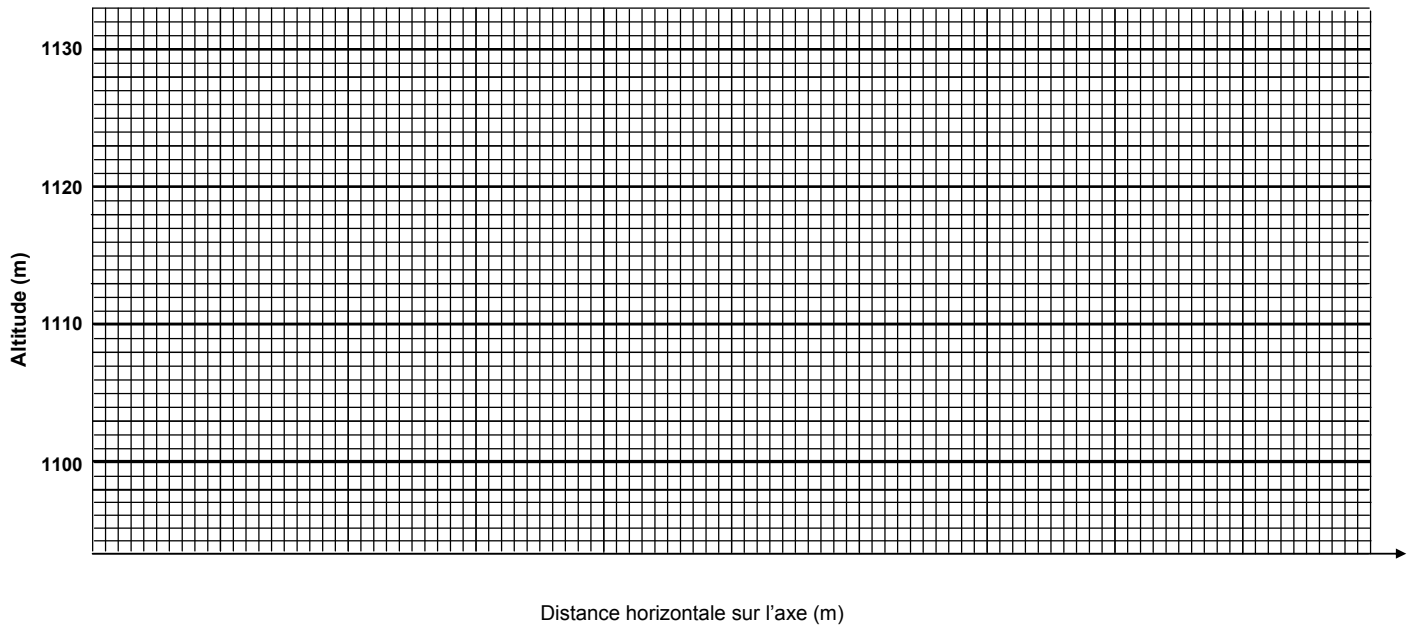
Nom :  
Groupe :

Planche 2



Nom :  
Groupe :

Planche 2

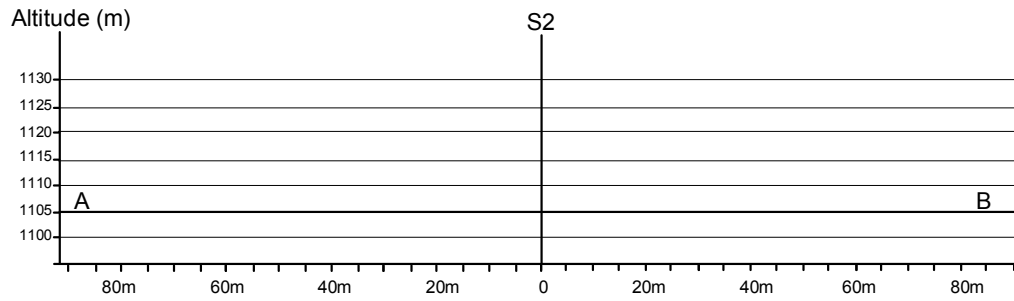


Nom :  
Groupe :

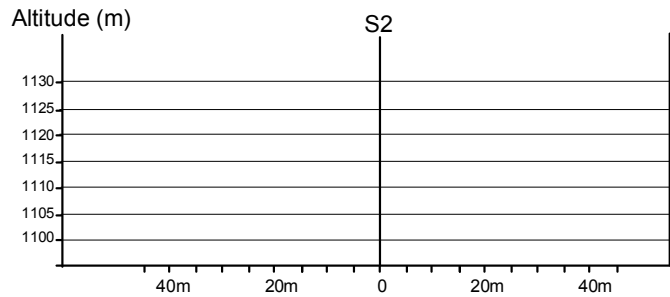
Examen

7 janvier 2011

**CORRIGÉ – Sujet 2**



Profil en long A-B

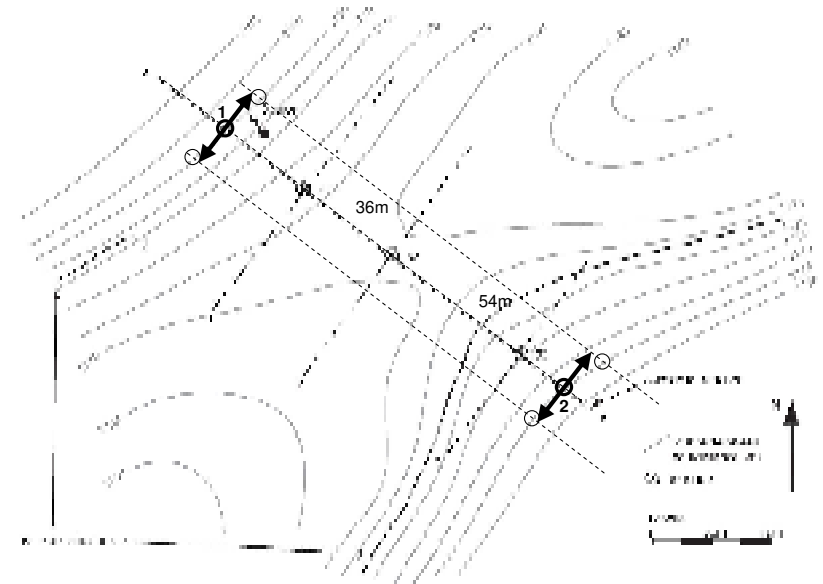


Profil en travers 2

Légende

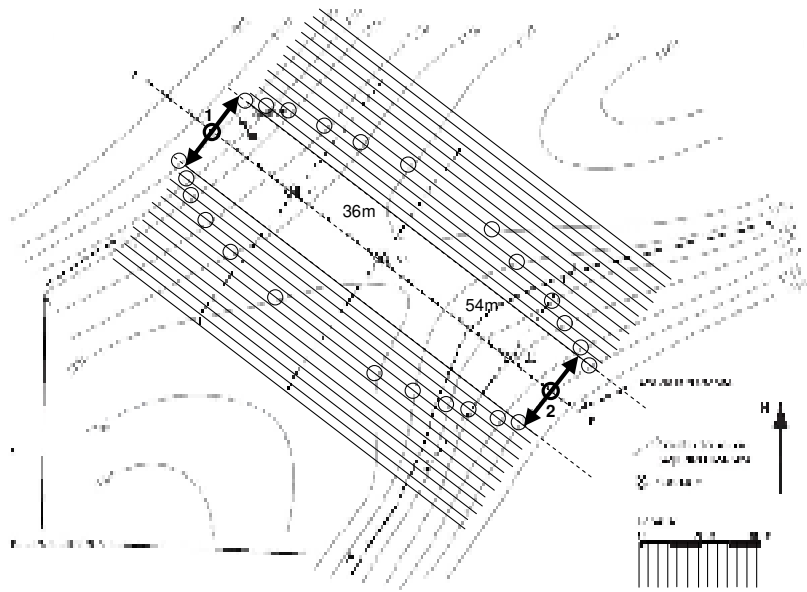
**Question 1. Détermination graphique des limites des talus**

Le tracé des talus de la tranchée sur la carte des lignes de niveau s'effectue en trois étapes, qui sont décrites ci-après.



Tracé des limites des talus de déblai. Étape 1

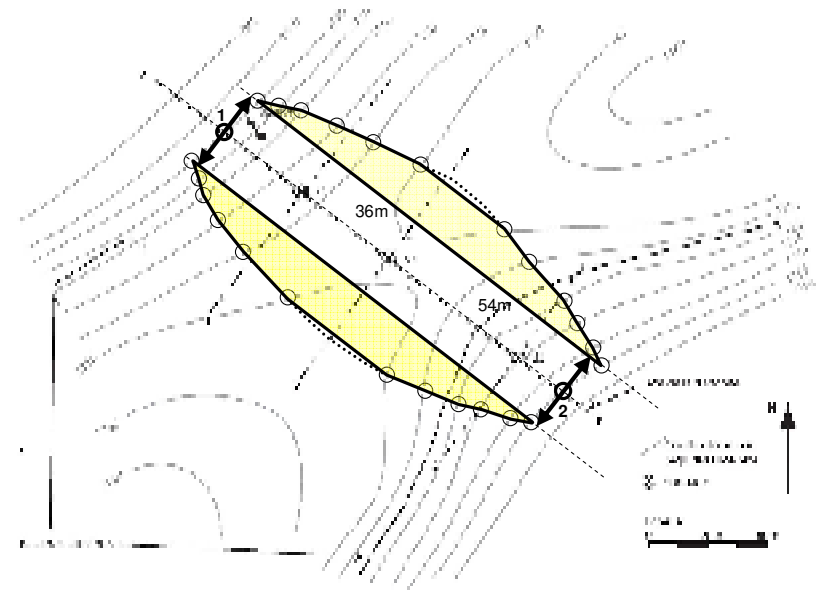
Étape 1. Pour tracer les intersections du plan d'un talus avec les courbes de niveau, on commence par tracer la ligne de base du talus, qui est dans le plan horizontal à la cote 1105m et à une distance de 15m de l'axe de la tranchée. Pour cela, on part du point 1 (on peut aussi partir de l'autre côté, du point marqué 2), qui est l'intersection de l'axe de la tranchée avec la ligne de niveau 1105. On reporte de chaque côté de l'axe de la tranchée une distance de 15m (la moitié de la largeur de la tranchée), ce qui est matérialisé par le segment à deux flèches. Les extrémités de ce segment sont à l'altitude 1105 et on trace par chaque extrémité une parallèle à l'axe de la tranchée, qui est horizontale et dans le plan 1105. L'intersection de ces droites avec les lignes de niveau 1105 donnent quatre points (deux de chaque côté) qui sont les intersections de la ligne de base de la tranchée avec le terrain. On obtient ainsi les deux premiers points de chaque talus.



Tracé des limites des talus, phase 2.

**Étape 2.** Pour tracer les intersections des talus avec les autres lignes de niveau, on procède comme décrit dans l'énoncé. On va tracer des lignes parallèles à l'axe du talus (ou plus exactement à la ligne parallèle que l'on vient d'utiliser), en s'arrangeant pour que ces lignes soient dans des plans horizontaux aux cotes des lignes de niveau, c'est-à-dire 1110, 1115, 1120, 1125, 1130, etc. Pour cela, on utilise la propriété décrite dans l'énoncé, que chaque intersection du plan du talus avec un plan horizontal est une droite parallèle à la ligne de base, dont la distance horizontale est égale à la différence d'altitude divisée par la pente. La pente est de  $3/2$ , donc pour monter de 5 m il faut se déplacer horizontalement de 3,33m. On va donc tracer sur la carte des lignes de niveau deux réseaux de lignes parallèles espacées de 3,33m dans le plan de la carte. Les intersections de ces droites avec les lignes de niveau donnent des points communs aux plans des talus et à la surface du sol, c'est-à-dire des points de la courbe cherchée. Les points correspondants sont notés sur la figure. Notons que la partie supérieure du talus dépasse l'altitude 1130, sans atteindre la courbe de niveau suivante. Il y a donc une incertitude sur cette partie du tracé, ce qui est noté par les courbes en pointillé.

**Phase 3.** Une fois les points d'intersection des talus avec les courbes de niveau déterminés, on peut supprimer les lignes tracées dans la phase 2 et relier les points pour matérialiser l'extension de chacun des talus.

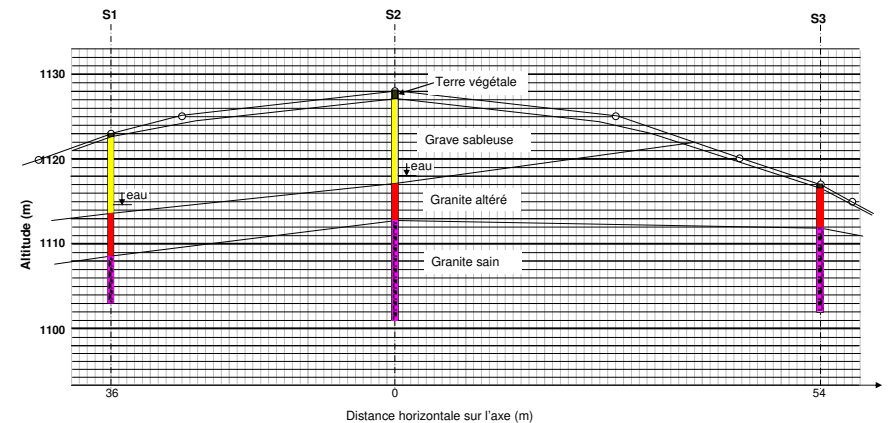


Procédure de tracé des talus, phase 3.

### Question 2. Analyse des sondages et des limites des couches

La carte de la figure 1 note la présence d'alluvions à la surface du terrain naturel, à une altitude de 1113m d'un côté et une altitude de 1122m de l'autre. La présence d'une source à l'altitude 1112m donne une indication sur l'existence d'une couche drainante dont la base a une altitude voisine.

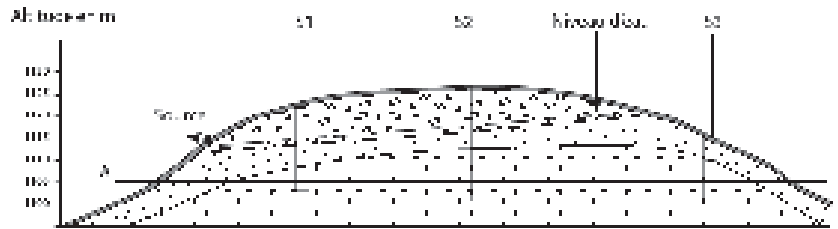
Les sondages dont les résultats sont donnés dans l'énoncé sont reportés sur la figure suivante. Avant de reporter les sondages, il faut tracer la surface du terrain naturel sur l'axe de la tranchée, car les profondeurs des sondages sont rapportées à la surface du sol. Ce travail s'effectue en reportant sur le diagramme les altitudes des courbes de niveau rencontrées en fonction de la distance horizontale. La position du sondage S2 sert de point de référence.



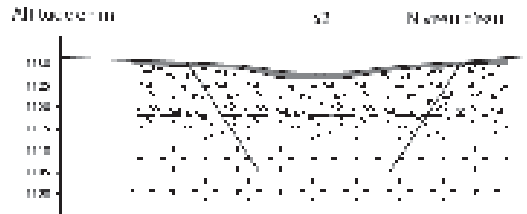
Les sondages sont reportés sur des lignes verticales à leur position sur l'axe de la tranchée. L'examen des informations issues des sondages montre qu'il existe une couche de terre végétale en surface, recouvrant une couche d'alluvions (graves sableuses) dont la base semble plane, entre l'altitude repérée en surface des deux côtés de la colline (1122m et 1111m). On trouve en dessous du granite altéré et du granite sain.

La base des alluvions est donc une surface plane inclinée, ce qui est compatible avec l'existence d'une source du côté bas.

### Question 3. Coupes géologiques selon l'axe AB et l'axe perpendiculaire en S2



Profil AB



Profil transversal

#### Legende

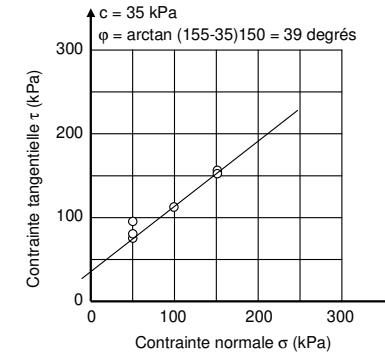


La coupe longitudinale AB est directement issue de l'analyse de la question précédente, avec une représentation continue des terrains, y compris sur les bords. La coupe transversale extrapole le profil observé en S2, en utilisant les remarques faites sur le caractère plan de l'interface des alluvions avec le granite altéré, avec une pente uniforme dans la direction de AB.

La présence d'écoulements à la base des alluvions, dont la source est un témoignage, est aussi représentée. L'existence éventuelle d'une nappe dépend de la perméabilité des alluvions.

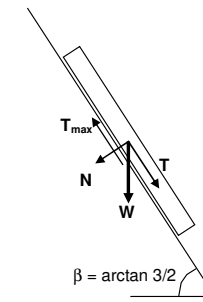
### Question 4. Résistance au cisaillement des alluvions

Les courbes donnant la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement de la partie inférieure de la boîte de cisaillement ont toutes un pic, qui définit l'instant de la rupture. Les points  $(\sigma, \tau_{max})$  sont reportés sur le diagramme de la figure suivante, qui permet de déterminer la droite de Mohr-Coulomb, dont la pente et l'ordonnée à l'origine sont respectivement  $\tan \phi$  et  $c$ .



### Question 5 Stabilité de la pente dans les alluvions

On analyse la stabilité au glissement du bloc représenté sur la figure. Dans la partie la plus haute du talus dans les alluvions, la hauteur des alluvions est voisine de 15m. La longueur du bloc le long de la pente est donc de  $L=22,5$  m. On admet que le poids volumique  $\gamma$  des alluvions est de 19 ou 20  $\text{kN/m}^3$ .



L'équilibre du bloc est défini par la condition

$$T = W \sin \beta = (L \cdot 1) \gamma \sin \beta < cL + N \tan \phi = cL + W \cos \beta \tan \phi = cL + (L \cdot 1) \gamma \cos \beta \tan \phi = T_{max}$$

Parce que le poids est proportionnel à L, cette condition s'écrit sous la forme simplifiée :

$$\gamma \sin \beta < c + \gamma \cos \beta \tan \phi$$

On vérifie que cette condition est vérifiée, pour 19  $\text{kN/m}^3$  :

$$19 \sin(\arctan 1,5) < 35 + 19 \cos(\arctan 1,5) \tan 39$$

$$19 \cdot 0,83 = 15,77 < 35 + 19 \cdot 0,555 \cdot 0,81 = 35 + 19 \cdot 0,45 = 43,55,$$

mais aussi pour 20  $\text{kN/m}^3$ .

$$20 \sin(\arctan 1,5) < 35 + 20 \cos(\arctan 1,5) \tan 39$$

$$20 \cdot 0,83 = 16,64 < 35 + 20 \cdot 0,555 \cdot 0,81 = 35 + 20 \cdot 0,45 = 35 + 9 = 44.$$

La cohésion est très importante et c'est elle qui permet à cette pente d'être stable.