

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE DE JIJEL
Faculté des sciences
Département des sciences de la terre



Géol. M/09

$\frac{1}{2}$

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
géologie appliquée
Option : *Géologie de l'ingénieur*



Thème

Etude de stabilité de l'assise du théâtre de verdure commune de Jijel - Wilaya de Jijel-

Présenté devant le jury :

Président : Mr. BENACHOUR Yassine
Examineur : Mr. ROUIKHA Youssef

Réalisé par :

Mr. BELTOUM Nouredine
Mr. KHELLAF Ammar

Encadré par :

Mr. BAGHDAD Abdelmalek
Mr. BOUFTOUHA Youssef



Promotion 2009

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

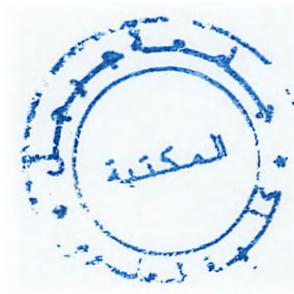
Nous tenons à remercier avant tout Dieu qui nous a donné la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude d'abord à nos encadreurs Mr.Baghdâd Abdelmalek et Mr.bouftouha Youssef de nous avoir guidé.

Nous tenons à remercier également les membres de jury, d'accepté à juger ce travail.

Sans oublier de remercier tout nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

En fin, nous tenons à remercie toutes personnes qui ont aidé de près où de loin a la réalisation de ce travail mémé avec les simples encouragements.



Ammar et Noureddine

المخلص:

الأرضية المخصصة لإنشاء مسرح الهواء الطلق لولاية جيجل، تقع في المخرج الشرقي للمدينة، في المكان المسمى " العقابي"، والذي يتميز بانحدار متوسط محصور ما بين 30 و 35%.

الموقع يتكون جيولوجيا من غلاف طبيعي رملي إلى حد ما، بسمك متغير ما بين 0.6 متر على قمة المنحدر إلى حوالي 4 أمتار قرب القاعدة، وكذا طبقة ثانية مشكلة من تناوب بمركب طيني (Marne) و مركب صلب من صخر رملي (Grés)، هذه الأخيرة تنتمي إلى العمر الجيولوجي المسمى (Oligo-Miocène).

و في نهاية المنحدر مركب طيني (Marne) في اتصال مباشر مع الطبقة الخارجية (الطينية).

الخصائص الجيوتقنية لهذه التركيبات بينت أن الموقع يحتوي عموما على تربة جيدة إذا استثنينا الطبقة السطحية الطينية.

دراسة ثبات و استقرار الأرضية بينت أن المنحدر في الحالة العادية قريب جدا من التوازن الحرج، في حين أنه و بعد التسوية أصبح يتميز باستقرار تام.

الكلمات المفتاحية:

مسرح، استقرار، منحدر، طبقة، تناوب، صخر، عمر جيولوجي.

Résumé

Le terrain réservé à l'implantation du théâtre de verdure de la wilaya de Jijel, est situé à la région dite El Akabi à la sortie Est de la ville de Jijel, ce site est caractérisé par une pente moyenne de l'ordre de 30 à 35%.

Le site se caractérise géologiquement par :

- Une couverture argilo-sableuse d'une épaisseur variable entre le pied et l'amont du talus (0.6 m au sommet du talus à environ 4 m au pied de ce dernier).

- Des formations de l'Oligo-Miocène Kabyle représentées essentiellement par une alternance marno-gréseuse qui occupe presque toute la colline où se situe le terrain d'étude.

- Des marnes, occupent la partie inférieure du talus mis en évidence par les sondages de reconnaissance à partir d'une profondeur d'environ 4 m.

Les propriétés géotechniques de ces formations, montrent que le talus renferme un bon sol mis à part la couche argilo-sableuse de recouvrement qui a des caractéristiques géotechniques assez mauvaise que les autres formations constituant le terrain.

L'étude de stabilité de ce talus a montré que le talus à l'état naturel est très proche de l'équilibre limite, par contre le talus terrassé est parfaitement stable, et se caractérise par des valeurs de coefficient de sécurité F_s moyennes de l'ordre de 1.59.

Mots clés :

Théâtre, stabilité, talus, coefficient de sécurité, l'Oligo-Miocène, Sondage.

Sommaire

Chapitre I : Généralités.

Page

I-1- Introduction.....	1
I-2- Caractéristiques générales du site.....	1
I-2-1- Situation géographique.....	1
I-2-2- Aspect géomorphologique.....	3
I-2-3- Aperçus climatique.....	3
I-2-4- La sismicité.....	3
I-2-5- Le coefficient sismique « K_c ».....	5

Chapitre II : Géologie régionale.

II-1- Introduction.....	6
II-2- Les formations du domaine Kabyle.....	6
II-2-1 -Socle Kabyle.....	6
a- Ensemble supérieur.....	6
b- Ensemble inférieur.....	7
II-2-2- Les formations de l'Oligo-Miocene Kabyle(OMK) et les olistostromes.....	7
a- L'Oligo-Miocene Kabyle.....	7
b- Les Olistostromes.....	7
II-3- Le domaine des Flyschs.....	8
II-3-1- Flysch mauritanien.....	8
II-3-2- Flysch massylien.....	8
II-4- Les formations du domaine Tellien.....	8
II-4-1- Les nappes épi-telliennes.....	8
II-4-2- Les nappes méso-telliennes.....	8
II-4-3- Les nappes infra- telliennes.....	9
II-5- Flysch numidien.....	9
II-6- Les formations post-nappes.....	9
II-7- Edifice structural de la petite Kabylie occidentale.....	10
II-7-1- L'aspect structural de la petite Kabylie occidentale.....	11
a- La déformation cassante.....	11
b- La déformation ductile.....	11

Chapitre III : Géologie locale.

III-1- Introduction.....	12
III-2- Géologie du site.....	12
III-2-1- Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	12
III-2-1-1- Alternance de bancs de grés et de marnes.....	12
III-2-1-2- Les marnes : (post nappe).....	15
III-2-1-3- Les formations de Quaternaire.....	16
III-3- Aperçu hydrogéologique.....	17
III-4- L'altération.....	17
III-5- Analyse structural et tectonique.....	18
III-6- Conclusion	18

Chapitre IV : Etude géotechnique des terrains de fondation

IV-1- Introduction.....	20
IV-2- Programme des essais géotechniques des terrains de fondation.....	20
IV-2-1- Essais in situ.....	21
IV-2-1-1- Sondages carottés.....	21
IV-2-1-2- Sondages pressiométriques.....	24
IV-2-2- Essais de laboratoire.....	25
IV-2-2-1- Les essais physiques.....	25
a- La teneur en eau : $W(\%)$	25
b- Le degré de saturation : $S_r(\%)$	26
c- Le Poids volumique humide : $\gamma_h (t/m^3)$	26
d- Le poids volumique sec: $\gamma_d (t/m^3)$	26
e- Analyse granulométrique.....	28
f- Les limites d'Atterberg.....	30
g- Analyse chimique.....	33
IV-2-2-2- Essais mécaniques.....	34
IV-2-2-2-1- Essai de cisaillement rectiligne.....	34
❖ Principe de l'essai.....	34
IV-2-2-2-2- Essai de compressibilité à l'oedomètre.....	36
❖ Principe de l'essai.....	36
IV-3- Conclusion générale.....	38

Chapitre V : Etude de stabilité

V-1- Introduction.....	39
V-2- Description des principaux types de mouvements de terrains.....	39
V-2-1- Ecoulements.....	39
V-2-2- Glissements de terrain : (land-slide).....	39
V-2-3- Fluages et solifluxions.....	40
V-2-4- Coulées boueuses.....	41
V-3- Les principaux types de glissements.....	41
V-3-1- Le glissement plan.....	41
V-3-2- Le glissement rotationnel simple.....	42
V-3-3- Le glissement rotationnel complexe.....	42
V-4- Origines et principaux causes de glissements de terrain.....	43
V-4-1- Action et influence de l'eau.....	43
V-4-2- Action de la pesanteur.....	43
V-4-3- Actions sismiques.....	43
V-4-4- Actions anthropiques	44
V-5- Principe des méthodes de calcul de coefficient de sécurité.....	44
V-5-1- Choix du coefficient de sécurité F_s	46
a- Choix des caractéristiques géotechniques.....	46
b- Choix de la méthode de calcul.....	47
c- Détermination des cercles critiques de glissement.....	48
c-1- Méthode de Terzaghi.....	48
c-2- La méthode de Taylor.....	49
c-3- La méthode de Xutavic.....	50
V-6- Calcul pratique de la stabilité des talus.....	50
V-6-1- Méthode de Taylor.....	50
❖ Application pratique pour le cite étudié.....	51
❖ Pour le talus naturel.....	51
❖ Pour le talus terrassé.....	51
V-6-2- Méthode de Goldstein.....	52
❖ Application pratique pour le site étudié.....	52
❖ Pour le talus naturel.....	52
❖ Pour le talus terrassé.....	53

V-6-3- Méthode des tranches de Fellenius.....	53
V-6-3-1- En absence de nappe.....	53
a- Moments moteurs.....	55
b- Moments résistants.....	55
V-6-3-2- En présence de nappe.....	56
V-7-1- Calcul du coefficient de sécurité global.....	56
V-7-2- Application de la méthode des tranches (Fellenius) :	
(cas du site d'étude).....	57
V-7-2-1- Calcul manuel.....	59
V-7-2-2- Calcul automatique par le logiciel GEOSLOPE.....	72
V-7-2-2-1 Présentation du logiciel.....	72
❖ Application pratique : ca du site étudié.....	72
V-7-2-2-2 Prise en conte de la sismicité.....	77
❖ Calcule de kh et kv.....	77
❖ Application pratique.....	78
V-7-3- Présentation et interprétation des résultats.....	83
V-8-Conclusion générale.....	84

Liste des figures

Figure (I-1) : Carte de situation géographique du site.....	2
Figure (I-2) : Contexte sismotectonique de la région Jijel-Bougie C.R.A.A.G 1971.....	4
Figure (I-3) : Les zones sismiques en Algérie (D'après les règles parasismiques algériennes R.P.A / version 2003).....	5
Figure (II-1) : Esquisse géologique de la petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989).....	6
Figure (II-2) : Schéma structurale de la petite Kabylie Occidentale (Y.Rouikha, 2008)...	10
Figure (III-1) : Coupe géologique du site.....	16
Figure (IV-1) : Plan d'implantation des sondages carottés et pressiométriques.....	21
Figure (IV-2) : Coupe lithologique réalisée à partir des sondages de reconnaissance.....	23
Figure (IV-3) : Pressiomètre Ménard.....	24
Figure (IV-4) : Courbes granulométriques du sol étudié.....	29
Figure (IV-5): Représentation des limites d'Atterberg.....	30
Figure (IV-6) : Appareil de Casagrande.....	32
Figure (IV-7) : représentation des résultats sur diagramme de plasticité de Casagrande.....	33
Figure (IV-8) : Principe d'un essai de cisaillement rectiligne à la boîte.....	35
Figure (IV-9) : Principe de l'oedomètre.....	36
Figure (V- 1) : Forme générale d'un glissement.....	40
Figure (V- 2) : Exemple de fluage.....	41
Figure (V- 3) : Glissement plan.....	41
Figure (V- 4) : Glissement rotationnel.....	42
Figure (V- 5) : Glissement successifs emboîtés.....	42
Figure (V- 6) : Méthode des tranches. (G.onglérat, et J.Costat, 1983)...	45
Figure (V-7) : Schéma représente le choix des cercles critiques par la méthode de Terzaghi.....	49
Figure (V- 8) : Choix de cercle critique par la méthode de Taylor.....	49
Figure (V- 9) : Choix du cercle critique par la méthode de Xutavic.....	50
Figure (V- 10) : Abaque de Taylor pour la détermination de N_s	51
Figure (V- 11) : Découpage en tranches d'un talus.....	54
Figure (V- 12) : Forces agissantes sur la tranche n.....	54
Figure (V- 13) : Méthode de Fellenius en présence de nappe.....	57
Figure (V- 14) : Schéma du talus naturel.....	58

Figure (V-15) : Schéma du talus terrassé.....	59
Figure (V-16) : Calcule manuel du talus naturel.....	60
Figure (V-17) : Calcule manuel du talus naturel.....	62
Figure (V-18) : Calcule manuel du talus naturel.....	64
Figure (V-19) : Calcule pratique du talus terrassé.....	66
Figure (V-20) : Calcule manuel du talus terrassé.....	68
Figure (V-21) : Calcule manuel du talus terrassé.....	70
Figure (V-22) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).....	73
Figure (V-23) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).....	74
Figure (V-24) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).....	75
Figure (V-25) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).....	76
Figure (V-26) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).....	79
Figure (V-27) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).....	80
Figure (V-28) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).....	81
Figure (V-29) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).....	82

Liste des photos et planches

III-1 : Les passés conglomératiques dans l'OMK (3 ^{ème} Km).....	12
III-2: Photo illustrant les niveaux de marnes alternant avec les bancs de grés micacés.....	13
III-3 : Illustration du débit en boules de gris micacés de l'OMK.....	13
III-4 : Illustration de l'alternance des bancs de grés et de marnes.....	14
III-5 : Les bancs gréseux au niveau des villas « BRIGHAN ».....	15
III-6 : Les sables limoneux (3 ^{ème} Km).....	16
III-7 : Les indices d'instabilité à coté de la route RN43.....	17
III-8 : L'effet de l'altération sur les formations du site.....	18
IV-1 : Appareil de sondage carottier. (Prise du site étudié).....	21

Liste des tableaux

IV- 1 : Nombre des essais réalisés.....	20
IV-2 : Résultats des sondages carottés.....	22
IV-3 : Les résultats des essais pressiométriques.....	25
IV- 4 : Présentation des paramètres physiques du sol (W , S_r , γ_h , γ_d).....	27
IV- 5 : Les valeurs du coefficient d'uniformité.....	30
IV- 6: Classification des sols en fonction de I_p et I_C	31
IV-7 : Présentation des résultats des limites d'Atterberg.....	32
IV-8 : Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO_4^-	33
IV-9 : les résultats de l'analyse chimique.....	34
IV-10: Résultats des essais de cisaillement rectiligne.....	35
IV-11 : les résultats C_c des essais oedométriques.....	37
V- 1: Valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage.....	46
V- 2 : Les caractéristiques géotechniques utilisés dans les calculs(F_s).....	47
V- 3: Les valeurs de (β_1, β_2)	48
V- 4 : Les valeurs des coefficients A et B de Goldstein.....	52
V-5 : Talus naturel (cercle 01).....	61
V-6 : Talus naturel (cercle 02).....	63
V-7 : Talus naturel (cercle 03).....	65
V-8 : Talus terrassé (cercle 01).....	67
V-9 : Talus terrassé (cercle 02).....	69
V-10 : Talus terrassé (cercle 03).....	71
V-11 : Les valeurs des F_s de calcul manuel.....	72
V-12 : Coefficient d'accélération de zone "A".....	77
V-13 : Résultats des F_s calculé dans le chapitre V.....	83

Résumé

Le terrain réservé à l'implantation du théâtre de verdure de la wilaya de Jijel, est situé à la région dite El Akabi à la sortie Est de la ville de Jijel, ce site est caractérisé par une pente moyenne de l'ordre de 30 à 35%.

Le site se caractérise géologiquement par :

- Une couverture argilo-sableuse d'une épaisseur variable entre le pied et l'amont du talus (0.6 m au sommet du talus à environ 4 m au pied de ce dernier).

- Des formations de l'Oligo-Miocène Kabyle représentées essentiellement par une alternance marno-gréseuse qui occupe presque toute la colline où se situe le terrain d'étude.

- Des marnes, occupent la partie inférieure du talus mis en évidence par les sondages de reconnaissance à partir d'une profondeur d'environ 4 m.

Les propriétés géotechniques de ces formations, montrent que le talus renferme un bon sol mis à part la couche argilo-sableuse de recouvrement qui a des caractéristiques géotechniques assez mauvaise que les autres formations constituant le terrain.

L'étude de stabilité de ce talus a montré que le talus à l'état naturel est très proche de l'équilibre limite, par contre le talus terrassé est parfaitement stable, et se caractérise par des valeurs de coefficient de sécurité F_s moyennes de l'ordre de 1.59.

Mots clés :

Théâtre, stabilité, talus, coefficient de sécurité, l'Oligo-Miocène, Sondage.

I-1- Introduction :

Vu le manque flagrant d'infrastructures culturelles au niveau de la ville de Jijel et dans le cadre de l'exécution d'un nouveau plan d'aménagement et d'urbanisme de la ville, la direction du logement et des équipements publics (DLEP) a entamée la réalisation d'un théâtre de verdure d'une capacité d'accueil de 4500 places et couvrant une emprise de sol d'environ 3400 m².

I-2- Caractéristiques générales du site :

I-2-1- Situation géographique :

Le site devant recevoir le théâtre de verdure de la ville de Jijel fait partie de la zone d'extension Est de la ville, au lieu dit « El Akabi ».ces limites sont matérialisées par :

- Au nord : les 150 logements promotionnels (Agence Foncière El Aouana).
- Au sud : le centre culturel et le conservatoire.
- A l'Est : une piste.
- A l'Ouest : un terrain vierge.

Les coordonnées LEMBER du site sont :

- X= 775 m.
- Y = 393.5 m.
- Z = 70 m.

Les coordonnées géographiques :

- 36° 48' 19.88" Nord.
- 5° 46' 44.54" Est.
- L'altitude 70m.



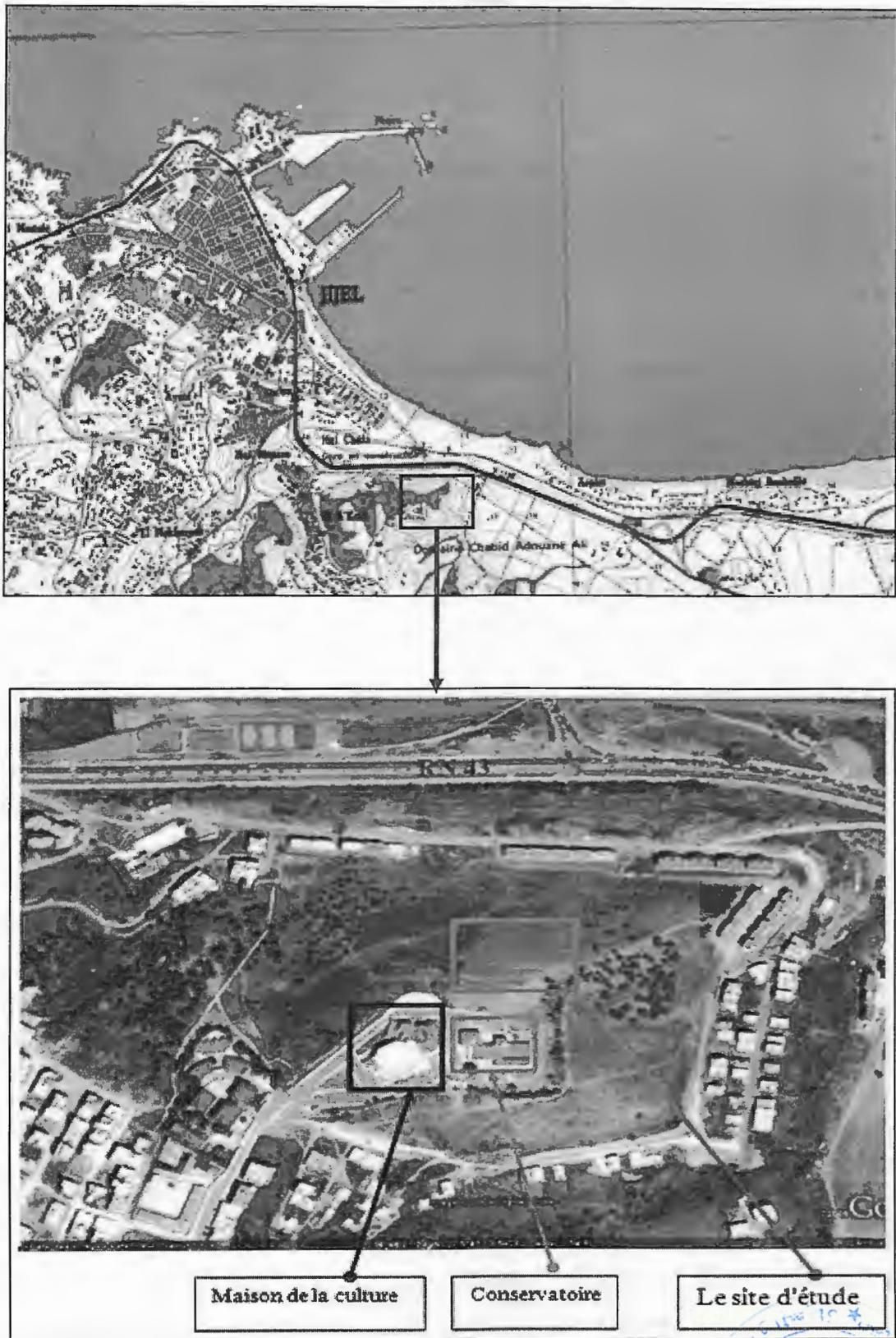


Figure (I-1) : Carte de situation géographique du site.(Site Web).

I-2-2- Aspect géomorphologique :

Le relief topographique du site est représenté par une colline d'orientation Est-Ouest, caractérisée par un versant présentant une pente raide de l'ordre de 30 à 35 %.

I-2-3- Aperçus climatique :

La région de Jijel est caractérisée par un climat de type méditerranéen, avec un été chaud et sec, et un hiver relativement humide. Les valeurs des facteurs climatologiques obtenues selon les données de la station (ONM) de L'Aéroport Farhet Abbas, qui s'étend de (1984 au 2008) sont représentées ci-dessous :

- Précipitation moyenne annuelle : 950.46 mm.
- Température moyenne annuelle : 18.15 °c.
- Température maximale enregistrée (Août) : 25.95 °c.
- Température minimale enregistrée (Janvier) : 11.62 °c.
- Humidité annuelle moyenne relative : 75.45 %.
- Evaporation moyenne annuelle : 1183.00 mm.

- Le vent c'est un autre agent climatique qui influe directement sur le climat d'une région, pour notre région (JIJEL) elle est traversée par un vent de direction NNW-SSE.

I-2-4- La sismicité :

Le nord Algérien fait partie d'une zone de collision entre deux plaques tectoniques (l'Afrique et l'Eurasie), cette collision donne lieu à un haut niveau de sismicité causé par le rapprochement des deux plaques précédente, avec une vitesse de l'ordre de 3 mm/an.

Les différents fronts des nappes de charriages, les alignements des failles majeures, et les épicentres de la région Jijel-Bougie sont bien représentées d'après la carte du centre de recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (C.R.A.A.G, 1971).

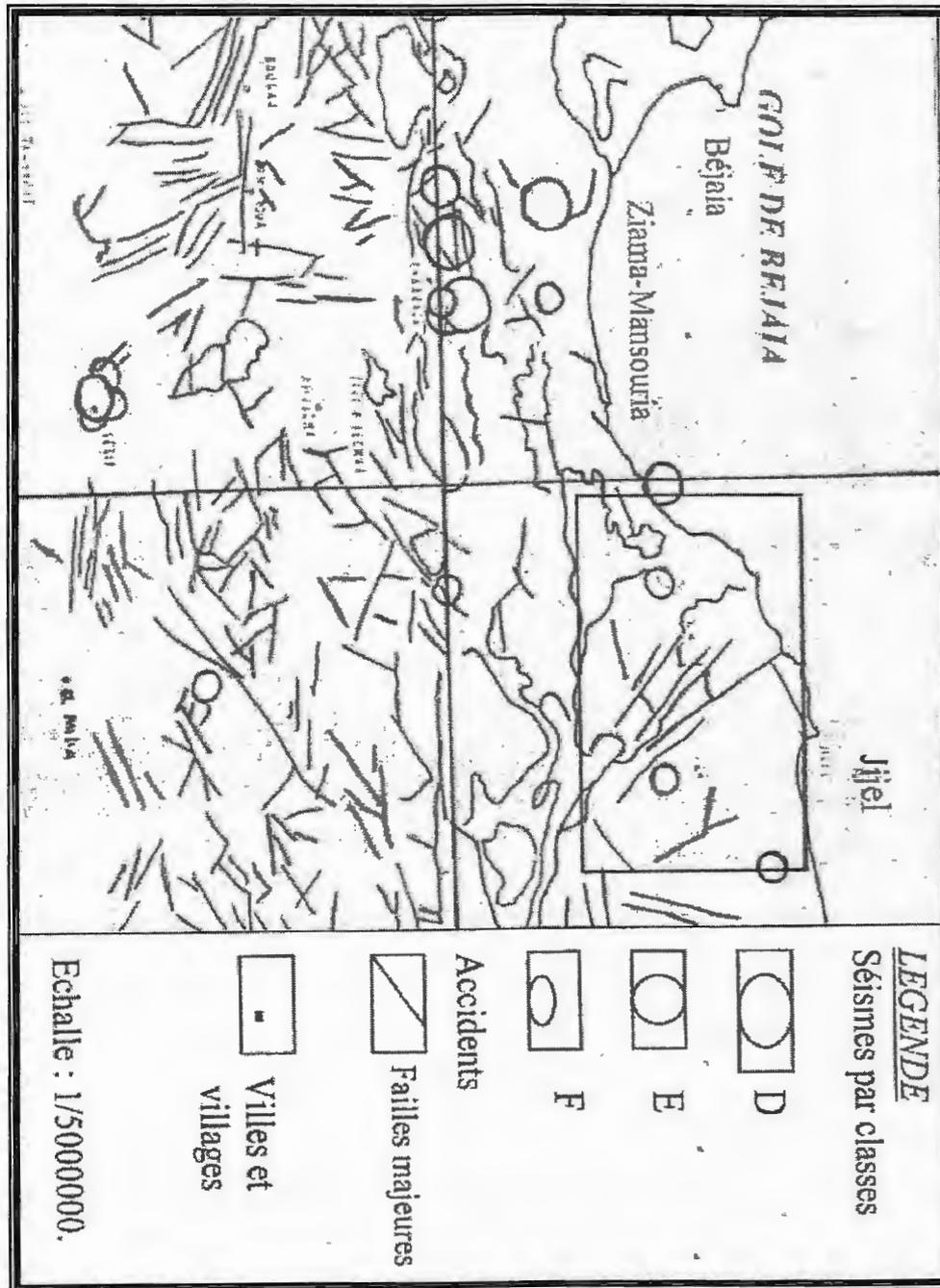


Figure (I-2) : Contexte sismotectonique de la région Jijel-Bougie C.R.A.A.G 1971.

D'après la carte (figure I-2) on peut constater que les grandes lignes sismiques coïncident avec l'alignement des failles d'une part, et que la plus forte et la plus proche concentration d'épicentre par rapport à Jijel- Bougie se trouve au Sud-ouest (il s'agit de Kharrata et la partie intégrante des Babors).

la région de Jijel est classée dans la zone IIa. de moyenne sismicité selon les règles parasismiques Algériennes RPA99, version 2003.

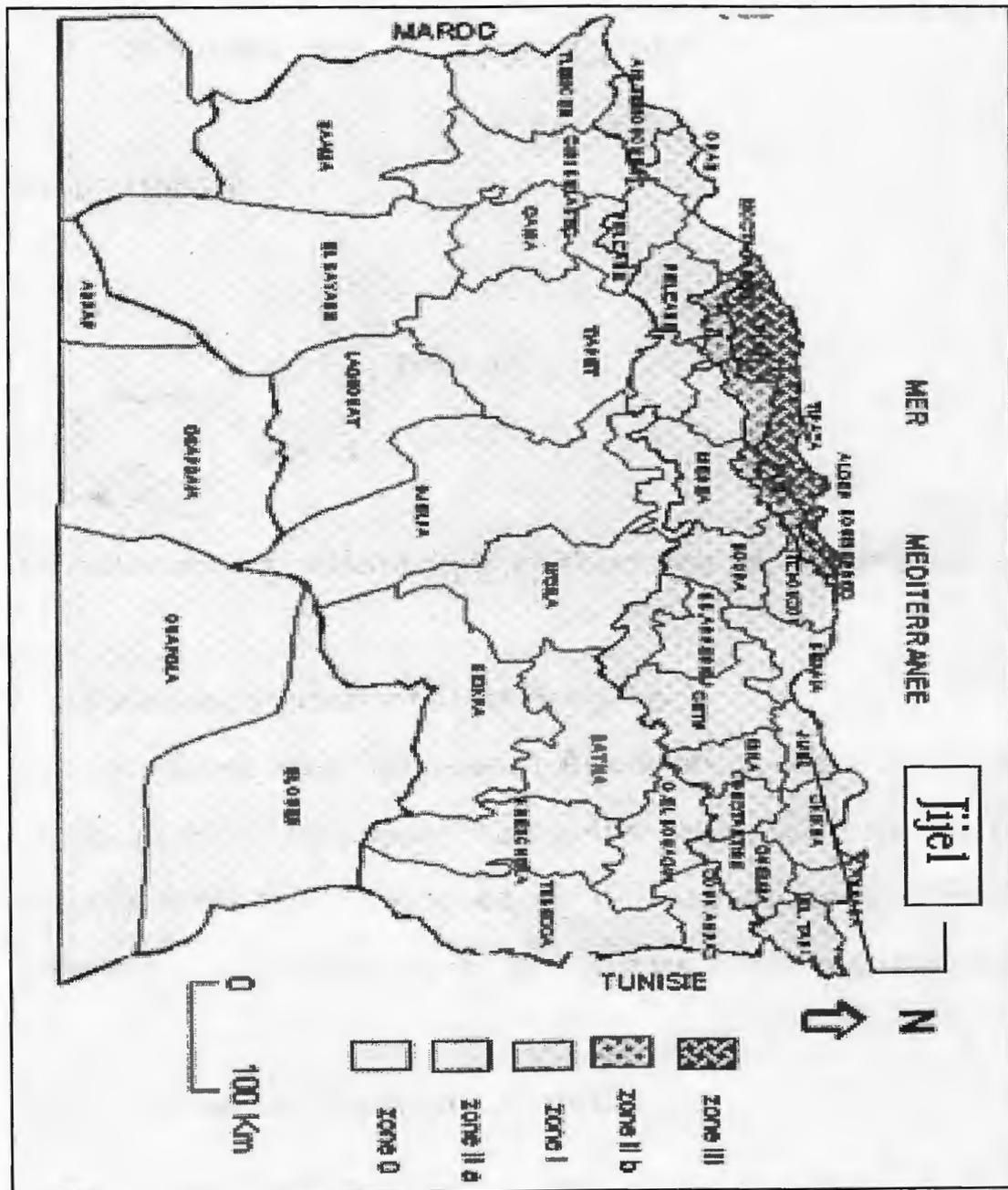


Figure (I-3) : Les zones sismiques en Algérie (d'après les règles parasismiques algériennes R.P.A / version 2003).

I-2-5- Le coefficient sismique « K_c ».

Le coefficient sismique « K_c » définissant la fraction de l'accélération de la pesanteur utiliser dans les études de stabilité des ouvrages à des tremblements de terre, peut être déterminer à partir de l'accélération maximale horizontale « K_s » qui est fonction de la zone sismique et du degré d'usage de la structure, par la formule empirique :

$$K_c = 2 / 3 K_s.$$

II-1- Introduction :

La région de la Petite Kabylie occidentale appartient à la marge méridionale de l'orogène Alpin périméditerranéen et comprend les ensembles géologiques suivants :

- **Un domaine Kabyle** : issu du domaine interne de l'orogène Alpin comprenant le Socle Kabyle et l'ensemble des nappes supérieures qu'il supporte.

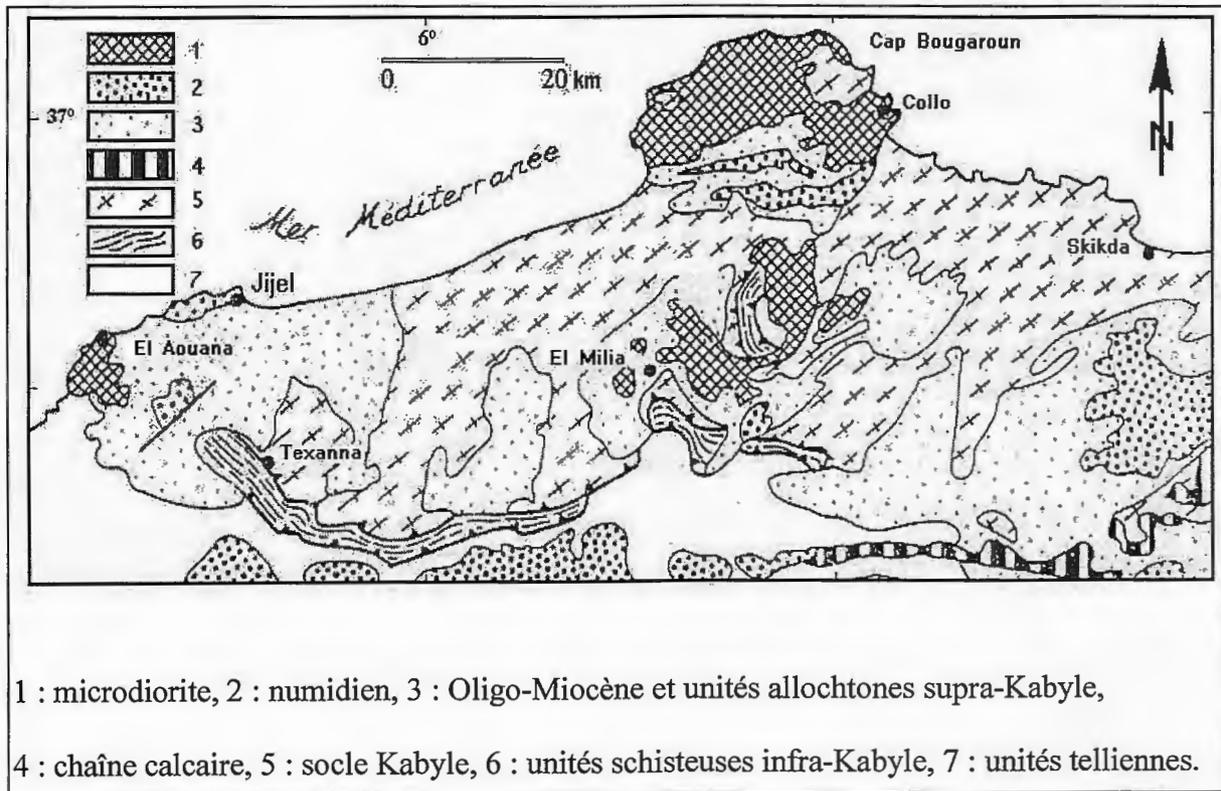


Figure (II-1) : Esquisse géologique de la Petite Kabylie

(Andrieux et Djellit, 1989).(H.Kharrouba, 2008).

- **Un domaine Tellien** : issu du domaine externe de l'orogène Alpin comprenant les nappes infra Kabyles représentées par les formations dites volcano-sédimentaires, les nappes de flyschs, et les nappes telliennes.

II-2- Les formations du domaine Kabyle :

II-2-1- Socle Kabyle :

Le socle de la Petite Kabyle est composé de deux grands ensembles géologiques.

a- Ensemble supérieur :

C'est un ensemble décrit pour la première fois par Ehrmen (1928) dans la partie occidentale de la Petite Kabylie, et ensuite par Durand Delga (1956). Il comporte de bas en haut :

- Des schistes noirâtres qui surmontent, parfois, des conglomérats remaniant les formations sous-jacentes.
- Des psammites rouges et vertes à Graptolites.
- Des grès calcaireux à Tentaculites.
- Des calcaires à Orthocères.

b- Ensemble inférieur :

Gneissique, constitué de para-gneiss, d'ortho-gneiss, et de gneiss granulitiques, à intercalations de calcaires métamorphiques et d'amphibolites.

En Petite Kabylie les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type flyschs et les formations telliennes (Durand Delga, 1955 ; Bouillin, 1977).

II-2-2- Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle(OMK) et les olistostromes :

a- L'Oligo-Miocène Kabyle :

Il forme la couverture sédimentaire transgressive du socle kabyle (Raoult, 1974, 1975, Bouillin, 1977).

L'Oligo-Miocène Kabyle est constitué par des formations détritiques comportant trois termes.

.Un terme de base, formé de conglomérats grossiers polygéniques reposant en discordance sur le socle Kabyle.

.Un terme médian, comportant des grés micacés à débris de socle associés à des pélites micacées.

.Un terme sommital formé de sélinites.

Les formations de (OMK) affleurent largement dans le secteur étudié.

b- Les Olistostromes :

Les Olistostromes sont des formations Tectono-sédimentaires à débris de flyschs mauritanien, massylien et numidien reposant sur les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle.

Ces formations, ont été décrites pour la première fois en Algérie par Durant Delga (1955) au sud du massif du chenoua (région d'Alger), puis par Raoult et Bouillin (1971) en Petite Kabylie. L'âge de ces formations est supposé Aquitaniens à Burdigalien inférieur probable (Bouillin, Raoult, 1971. Bouillin et al, 1973 et Bouillin, 1977), et d'âge Aquitano-Serravallien pour certains. (H.Kharrouba, 2008)

II-3- Le domaine des Flyschs :

Les flyschs en Algérie sont classiquement subdivisés en deux types principaux montrant des termes allant du Néocomien à l'Eocène : ce sont les flyschs Mauritaniens et les flyschs Massyliens (Bouillin. et al, 1969). (Djellit, 1987).

II-3-1-Flysch maurétanien :

Ce terme a été proposé pour la première fois par Gélard (1969). Le flysch maurétanien comporte des terrains allant du Néocomien au Lutétien. Il comporte de bas en haut :

- Un préflysch calcaire du Tithonique-Néocomien constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidites calcaires.
- Un ensemble d'environ (300 m) de grès homométriques à cassure verte (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blancs du Cénomaniens supérieur.
- Des microbrèches à ciment spathique riche en quartz détritique, et parfois des microconglomérats du Sénonien.
- Au sommet des conglomérats puis des grès micacés Tertiaires (Eocène à l'Oligocène). (Gelard, 1969).

II-3-2- Flysch massylien :

Il est caractérisé essentiellement par des alternances de petits bancs de quartzites et d'argile schistosées à aspect chaotique, des microbrèches à éléments calcaires et ciment pélitique et des marnes allant du Néocomien à l'Albien supérieur. (Raoult, 1969). (H.Kharrouba, 2008).

II-4- Les formations du domaine Tellien :

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléomarge Africaine, à l'aval des zones internes qui le chevauchent. Il est lui-même charrié sur un para-autochtone représenté par les calcaires mésozoïques des massifs Bibaniques (Djellit, 1987). Du point de vue structural il est constitué par un empilement de trois grandes nappes, qui sont du Nord vers le Sud :

II-4-1- Les nappes épi-telliennes :

Constituées de terrains marneux allant de l'Albien au Lutétien supérieur.

II-4-2- Les nappes méso-telliennes :

Qui montre un dispositif de cinq écaïlles, formées de sédiments allant du Sénonien au Miocène (Mattauer, 1958).

II-4-3-Les nappes infra- telliennes :

Ces nappes sont les unités les plus basses structurellement. Elles sont caractérisées par une structure chaotique : le Trias gypsifère, le Jurassique, le Crétacé, et le Nummulitique ont glissé sur les sédiments, en cours de dépôts du Miocène inférieur, et ont été remis en mouvement avec celui-ci, ces glissements ont commencés dès l'Eocène supérieur et se sont poursuivis au cours de l'Oligocène et surtout au Burdigalien (Djellit, 1987).

Les variations progressives de faciès d'une unité à l'autre montrent qu'il s'agit de formations issues d'un même grand bassin (Kikent, 1960-1962) ; tectonisé essentiellement après l'Oligocène.

A leur front méridional, les nappes telliennes se mettent en place dans des dépôts miocènes (Miocène synchro-nappes) transgressifs sur les séries carbonatées des hauts plateaux.

Toutefois, dans le constantinois une partie de ces séries carbonatées est elle même débitée en nappe (nappe néritique ; de Vila, 1980)

D'autre part notons que le tellien existe sous forme de blocs au sein des molasses Oligo-Miocène en position supra-Kabyle (Raymond, 1976).

II-5-Flysch numidien :

Généralement le flysch numidien occupe une position structurale la plus haute dans l'édifice Alpin. Ce flysch comporte de bas en haut :

- Des Argiles colorées dites «argiles numidiennes » de teinte verte, rouge ou violacée à tubotomoculum d'âge Oligocène supérieur.
- Des grès numidiens en bancs épais, à grains hétérométriques, et à dragées de quartz datés Aquitaniens à Burdigalien inférieur (Durand Delga, 1955).
- Le sommet se termine par des silexites dont la partie supérieure atteint le Burdigalien basal (Bouillin, 1977 ; et Lahonder, 1979).

Le flysch numidien est attribué en partie à l'Aquitano-Burdigalien (depuis la base des grès aux argiles à silexites). Les argiles sous numidiennes sont en effet azoïques. (Bouillin, 1977).

II-6-Les formations post-nappes :

Mis à part les dépôts récents (quaternaires et alluvions), le Pliocène continental est franchement discordant sur un Mio-Pliocène constituée dans la région de Jijel de marnes grises ou bleues, celle-ci sont datées, à leur extrême base du Burdigalien-Langhien (Bouillin, 1977), ou du Tortono-Messenien (Djellit, 1987). Les formations post-nappes comportent deux cycles :

- Un premier cycle, constitué de marnes grises ou bleues transgressives sur les terrains précédents.

- Un deuxième cycle, d'épaisseur réduite ne dépassant guère les 50 mètres, formé essentiellement de grès provenant de la destruction du flysch numidien.

Dans le bassin néogène de Jijel, sur les marnes miocènes viennent des conglomérats datés du Pliocène, sur lesquels reposent par endroits des marnes bleues dites marnes du Sahélien (Durand Delga, 1955).

II-7-Edifice structural de la petite Kabylie occidentale :

La petite Kabylie occidentale appartient à la branche sud de l'orogène alpin périméditerranéen représentée par la chaîne des maghrébides.

La géologie alpine de l'Algérie du Nord se caractérise par un édifice structural polyphasé qui a été construit essentiellement durant les phases paroxysmales tertiaires avec notamment les paroxysmales situés à l'Eocène (fini Lutétien) et à l'Oligocène.

L'édifice structural de la région est constitué d'un empilement de nappes réparties en deux compartiments structuraux distincts.

*Un compartiment structural supérieur au Nord composé du socle kabyle et les nappes supérieures qui supportent.

*Un compartiment structural inférieur plus au Sud composé des nappes infra-Kabyle (nappes des flysch et nappes Telliennes).

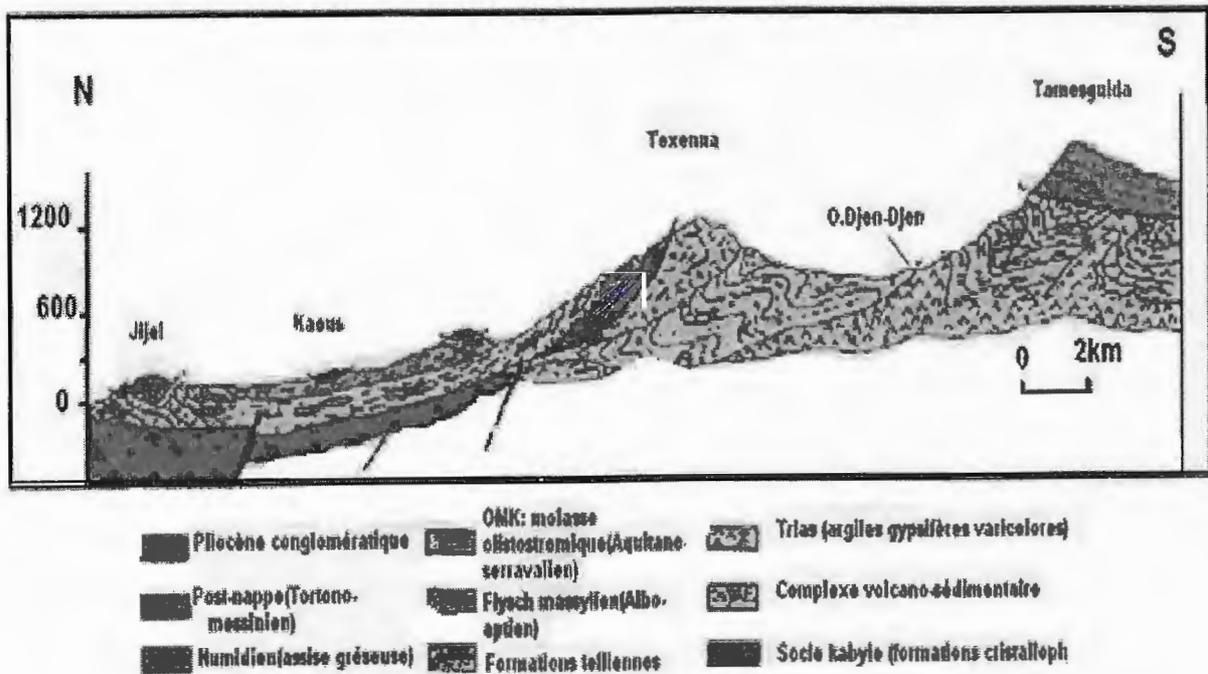


Figure (II-2) : Schéma structurale de la petite Kabylie Occidentale (Y.Rouikha, 2008)

II-7-1-L'aspect structural de la Petite Kabylie occidentale :

La structure géologique du massif de la Petite Kabylie est le résultat de plusieurs phases tectoniques, Qui ont données les déformations suivantes :

a- Les déformations cassantes :

La déformation cassante se manifeste essentiellement par des failles normales décrochantes formant généralement de réseaux de fractures suborthogonaux dont l'un à une orientation approximative N10° à N20°.

* Le réseau subméridien N10° est responsable du compartimentage Nord-Sud du socle métamorphisé. Par contre le réseau N110° est responsable de l'effondrement de certaines zones formant des chaînons d'Est en Ouest.

* Le réseau hydrographique qui suit les zones d'effondrement issues de ces fractures profondes qui ont certainement rejoué durant l'Origène alpine (D.Delga, 1971).

En effet le bassin des flysch d'orientation Est-Ouest qui est largement chevauché par le socle Kabyle selon un contact frontalier majeur serait le témoin certain de la dynamique récente de ces anciennes cicatrices. (Rouikha, 2008)

b- Les déformations ductiles :

Elle est représentée par deux réseaux de plis :

* Un premier réseau de pli d'axe N110° à N150°.

* Un deuxième réseau de pli d'axe N10° à N340°.

Ces déformations ductiles se sont traduites dans le compartiment structural inférieur par des structures métamorphiques telles :

* Le développement de plan de schistosité à caractère régional.

* Le développement d'une schistosité de flux.

* Le développement de microplis au sein de certain bancs.

Les différentes unités de se compartiment structural sont séparés par des contacts tectoniques anormaux généralement inclinés (30° à 50°) Nord-Est puis tardivement redressés (H.Djellit, 1987).

Le compartiment structural supérieur et quant à lui opposé au premier par la nature des contacts qui séparent ces différent unités qui sont plats, de même ces unités sont caractérisés par des glissements gravitaires superficiels. (Rouikha, 2008)

III-1-Introduction :

Avant d'établir une étude géotechnique de n'importe quel site réserver à l'implantation d'un projet de travaux publique ou de génie civil, il faut faire une étude préliminaire du site qui doit comporte les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, structurales et tectoniques du terrain. Ces derniers sont l'objectif du présent chapitre.

III-2-Géologie du site :

Les données géologiques du site mettent en évidence une composition lithologique représentée essentiellement par les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK), surmonté par une couverture argileuse à argilo- sableuse d'âge Quaternaire, et des marnes gris bleutées au pied de talus. La description et la répartition de ces formations sur le terrain d'étude est comme suite :

III-2-1-Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) :

III-2-1-1- Alternance de bancs de grés et de marnes :

On rencontre ces formations directement vers le Nord-est du site étudié au niveau de la plage (3^{ème} Kilomètre), formant le littoral rocheux. Elles sont représentées par une alternance de grés et de marnes, avec une orientation variable N68° à N80° E et un pendage compris entre 52° et 58° SSE. Les bancs de grés sont épais et réguliers (décimétriques à métriques), ce sont des grés quartzeux à granulométrie hétérométrique, présentant par fois des passés conglomératiques (photo III-1) polygéniques remaniant divers débris.

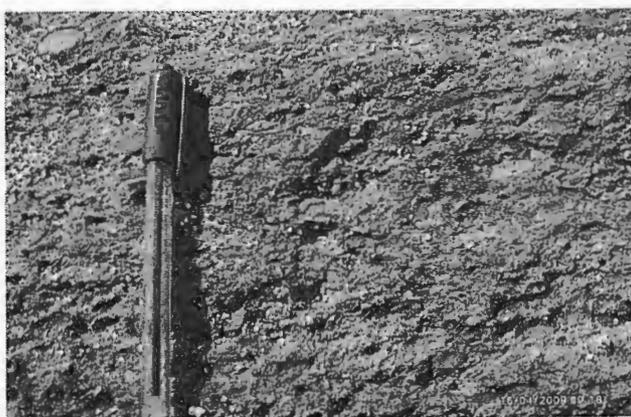


Photo (III-1) : Les passés conglomératiques dans les formations gréseux de l'OMK.
(3^{ème} Km).

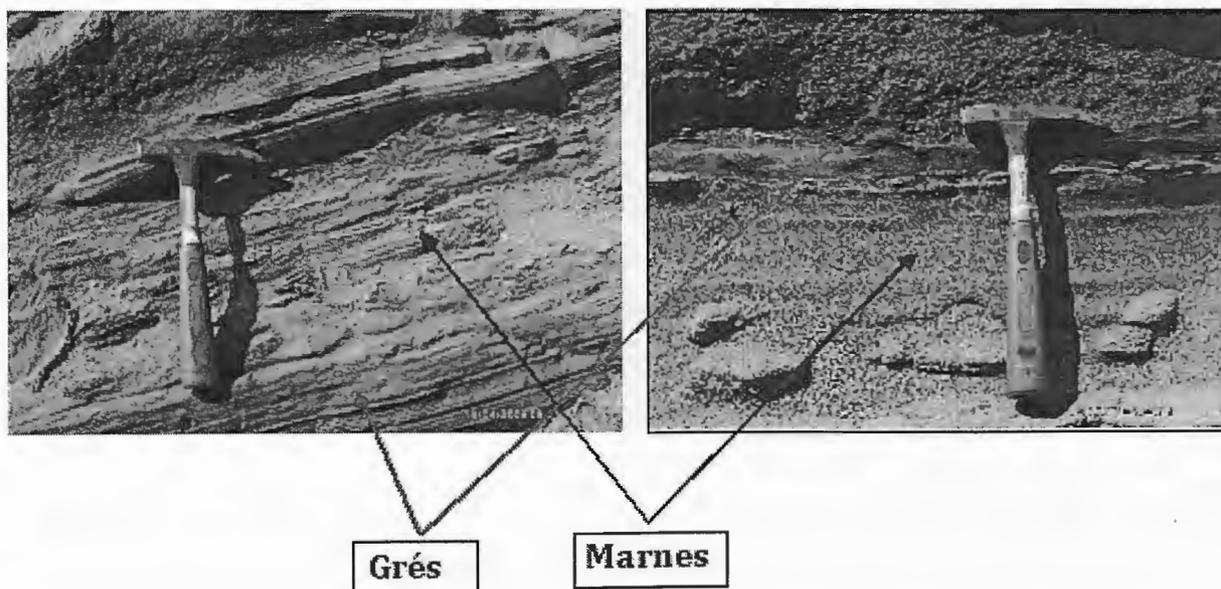


Planche (III-2): Photo illustrant les niveaux de marnes alternant avec les bancs de grés micacés.

Cette formation présente par endroit une altération superficielle, qui laisse apparaître un débit en boules essentiellement dû aux eaux marines. (Planche III-3).

Les niveaux marneux sont de couleur gris bleuté, centimétrique à décimétrique indurée, très vulnérable à l'érosion.

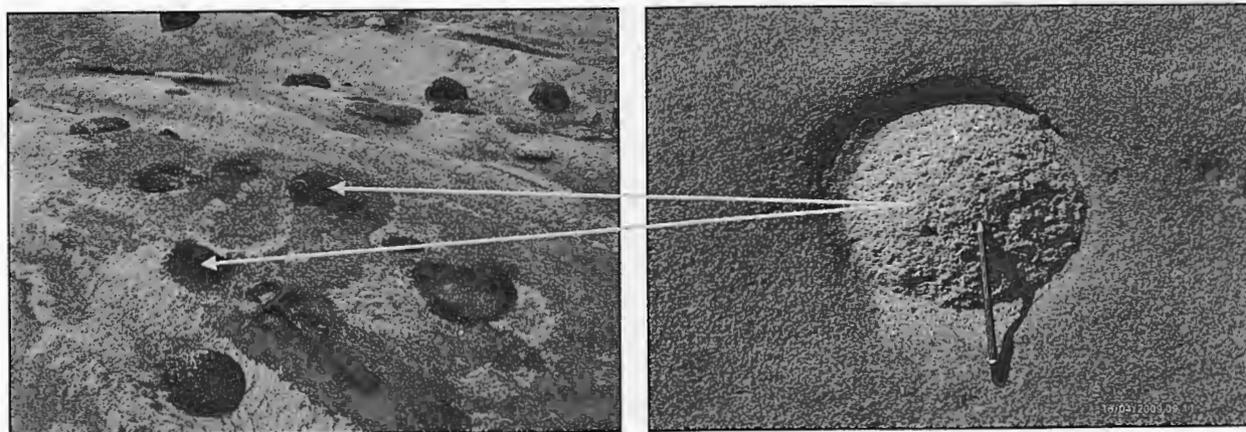


Planche (III-3) : illustration du débit en boules de gris micacés de l'OMK.

Cette alternance garde la même orientation, et se prolonge dans la mer. Elle est surmontée du côté continental par des argiles et sables limoneux rougeâtres (sable dunaire) de recouvrement ainsi que des remblais récents d'âge Quaternaire.

Vers le sud de cet affleurement, les formations de l'OMK apparaissent de nouveau au niveau du projet 140 logements de l'agence foncière d'El Aouana où on rencontre une alternance de bancs de grés et des niveaux de marne sur la partie Nord du versant qui abrite le site d'étude.

Les bancs de grés qui forme l'alternance se caractérise par une épaisseur variante centimétriques à décimétriques présentant une granulométrie fine, de couleur varie du jaunâtre à rougeâtre rouille par l'altération et à cassure jaunâtre. Les niveaux marneux sont de couleurs grisâtre à bleuâtre, d'où on constate la prédominance des niveaux gréseux.

Cette alternance présente des fractures mit en évidence grâce aux travaux de terrassement, cet ensemble est orienté N67° à N74° E et plonger vers le SSE avec un angle de 55° à 63°.

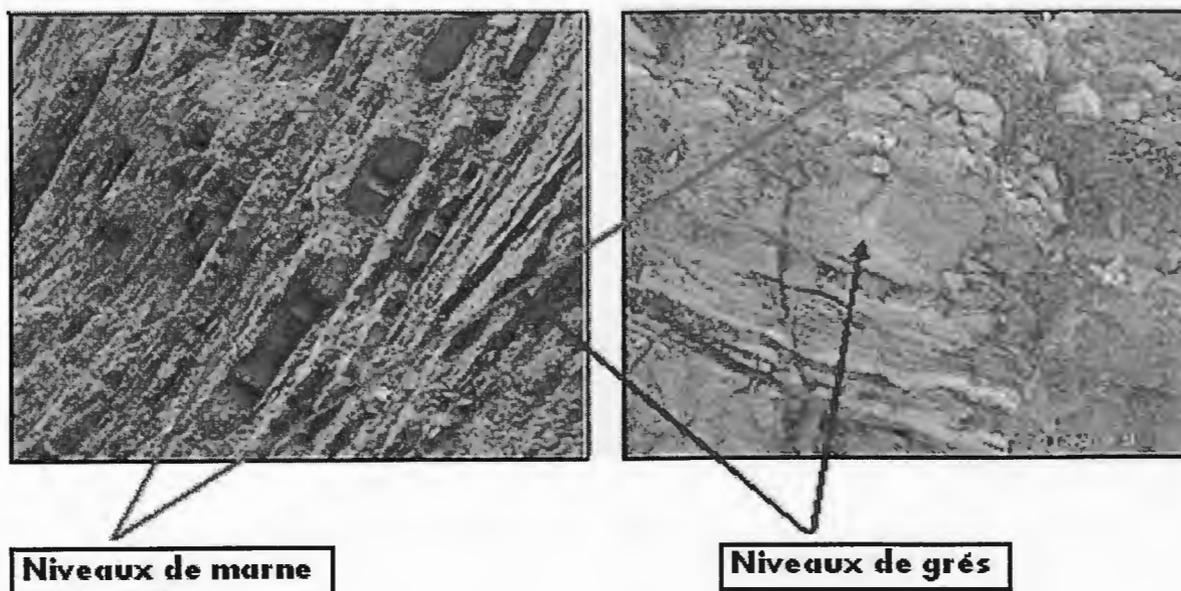


Planche (III-4) : illustration de l'alternance des bancs de grés et de marnes.

On tient à signaler que cette alternance marno-gréseuse occupe toute la colline sur laquelle est implanter la maison de culture, le conservatoire et le terrain réservé pour l'implantation du théâtre de verdure. Ces bancs de grés prolongent vers l'Ouest jusqu'aux villas (BRIGHAN), où on remarque une importante variation d'épaisseur des bancs gréseux qui devient plus épais (métriques) (Photo III-5) par rapport aux niveaux marneux qui deviennent plus minces (centimétriques).



Photo (III-5) : illustrant l'alternance des bancs gréseux et des niveaux de marnes au niveau des villas « BRIGHAN ».

Les formations de l'alternance au niveau des villas « BRIGHAN », gardent toujours la même orientation et le même plongement que celle enregistré au niveau du théâtre de verdure et au 3^{ème} Km.

III-2-1-2- Les marnes : (du post nappes)

Elles n'affleurent pas dans le secteur d'étude, mais ils ont été mis en évidence grâce aux sondages de reconnaissance réalisés près de la limite inférieure du terrain d'étude, elles sont surmontées par des argiles de recouvrements d'âge Quaternaire.

Ces marnes présentent une épaisseur importante (15 m, sondage carottée N°=01), qui nous fait pensé qu'elles s'étendent sur des dizaines de mètres jusqu'à la plaine côtière, Leurs nature est plus ou moins graveleuse au niveau de leurs contacte avec l'alternance marno-gréseuse, puis elles deviennent de plus en plus saines.

La coupe géologique ci après représente la disposition des formations constituants le site concerné par l'étude.

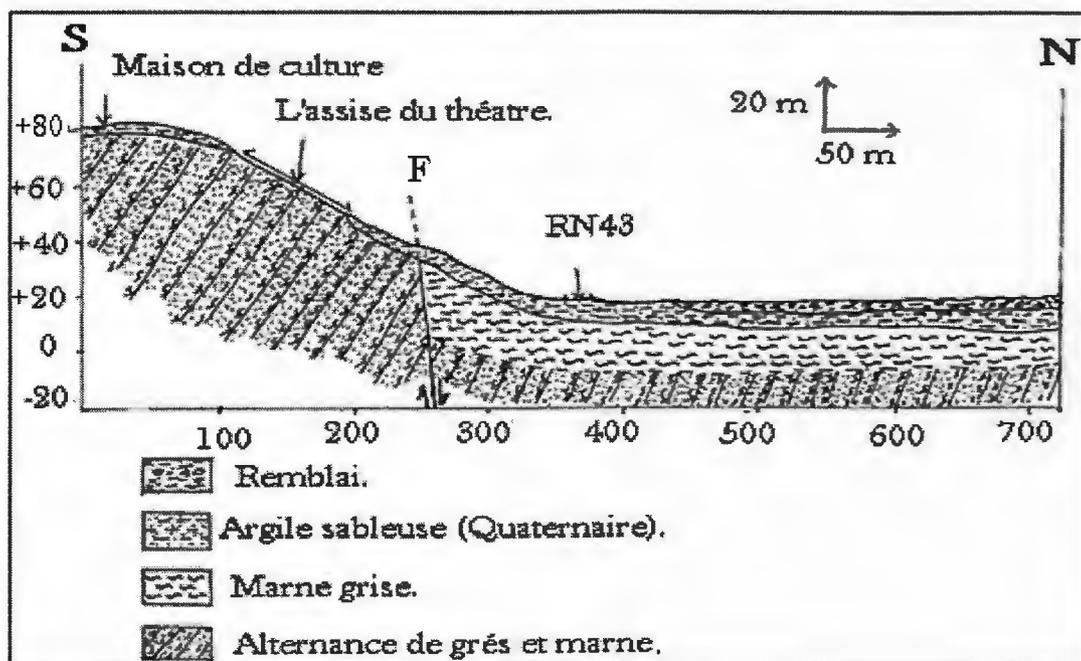


Figure (III-1) : Coupe géologique au niveau du site.

III-2-1-3- Les formations de Quaternaires :

Au niveau du site étudié, les formations du quaternaire sont représentées d'une part, par des argiles de recouvrements de couleur rougeâtre plastiques renfermant par endroits des particules à granulométrie plus grossière d'origine divers, leurs épaisseurs varie de quelques décimètres au sommet du talus à quelques mètres au niveau du pied du talus, et d'autre part, par des sables limoneux de couleur rougeâtre plus ou moins consolidés (sable dunaire).



Photo (III-6) : Les sables limoneux (3^{ème} Km).

Vu que l'épaisseur de ces argiles de recouvrements est importante au pied du talus, des instabilités ont été constatées le long de la route nationale RN43 représentés par des mouvements de terrain, ces derniers ont été amplifiés principalement par les travaux de terrassement et le chargement du talus par des nouvelles constructions et remblais.

Ce dernier a vus des travaux de confortement pour le stabiliser principalement par du gabionnage, ouvrages de drainages et le reboisement. (Photo III-7).



Photo (III-7) : Les indices d'instabilité sur le talus au niveau de la route RN43.

III-3- Aperçu hydrogéologique :

Le réseau hydrographique du terrain étudié ne représente pas une intensité remarquable sauf que quelques talwegs à faible apport lors des périodes pluviales, le plus important parmi eux est localisé à l'Ouest du site, passe entre la maison de culture et le lycée. Ainsi la pente importante du versant (30 à 35%), jouent le rôle d'un accélérateur des écoulements sur le talus. qui ne laisse pas l'infiltration des eaux dans le sol.

Aussi la nature géologique du terrain (alternance des grés et de marnes) qui ne favorisent pas l'emmagasinement des eaux. Nous permet de dire que la présence de l'eau sous terrain dans le site étudié est presque nul, mis à part les formations de pied de talus de nature argileuse a blocs et les marnes graveleuses de fond, qui peuvent être un ensemble favorable à l'emmagasinement de l'eau. Cependant, la nature argileuse et marneuse dominante de ces formations rend l'importance de cette aquifère assez faible.

III-4- L'altération des formations du site :

Ce facteur est un élément destructif des formations géologiques, son impact varie selon la nature lithologique des formations et le facteur climatique du milieu environnant, on constate son effet sur le terrain par la fracturation et la friabilité des formations avec le changement de leurs couleurs superficielles surtout à la présence des éléments ferrugineux qui donnent la couleur jaune tabac à rougeâtre à la surface altérée , c'est ce qu'on a remarqué sur les formations de notre terrain d'étude surtout pour les bancs de grés où l'altération est illustré clairement par la couleur brun tabac est leurs friabilité sur toute la surface des bancs qui est en contacte directement avec l'atmosphère. Pour les bancs marneux l'effet de l'altération apparaît par une friabilité superficielle de ces formations. Sur la surface terrassée du terrain

réservé à l'implantation de l'assise du théâtre on a constaté que les formations les plus profondes sont plus conservées.



Photo (III-08) : L'effet de l'altération sur les formations du site.

III-5- Analyse structurale et tectonique :

La structure géologique de notre site est complètement bouleversée par la tectonique. Ce bouleversement est bien illustré par le redressement des couches. Ces dernières sont orientées selon une direction NE-SW avec un plongement de 55° à 63° vers le Sud-Est.

Au niveau du terrain on a constaté la présence probable de deux failles, l'une de direction Nord-Sud aménagée par un talweg à l'ouest du site (entre le lycée du 8 mai 1945 et le centre culturel), qui a vraisemblablement joué en décrochement, cette dernière a été la cause principal du changement du premier site vers l'Est du versant (terrain plus stable), a fin d'éviter toute instabilité, essentiellement lors des travaux de terrassements.

La deuxième faille est de direction Est-Ouest sensiblement parallèle à la route nationale RN43, juste au niveau du pied de talus permettant de scinder la partie Est de la ville de Jijel en deux blocs, un bloc Nord affaissé occupé actuellement par des remblais qui comblent les anciens marécages. Et un autre bloc Sud soulevé formé par une alternance de grés et de marne reposant sur des marnes graveleuses.

III-6- Conclusion :

Le site devant réservoir le théâtre de verdure, est implanté sur un talus de pente assez raide de 30 à 35% orienté vers le Nord. Il est formé en majeure partie par des formations de l'Oligo-Miocène-kabyle (OMK), représentées par une alternance marno-gréseuse de direction $N68^{\circ}E$ à $N80^{\circ}E$, et d'un plongement de 52° à 58° vers le SSE, et des marnes.

L'ensemble est recouvert par des argiles de recouvrement plus ou moins sableuses d'âge Quaternaire.

Du point de vue hydrogéologie et en fonction des formations géologiques le site ne présente en aucun cas un milieu favorable à l'emménagement de l'eau.

L'altération des formations au niveau du site est d'une intensité variable d'un point à l'autre elles se manifestent sous forme de nodule dû à l'action physique des eaux de mère et des carapaces ferrugineuses de couleur rougeâtre dû essentiellement à l'action chimique selon l'influence des paramètres climatologiques sur les formations suivant leurs caractéristiques mécaniques et physico-chimiques.

Mame grableuse

IV-1- Introduction :

Les études géotechniques complètent celles réalisées par la géologie, elles doivent permettre de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol étudié, pour but de savoir son comportement lors des travaux de réalisation de l'ouvrage et pendant l'exploitation de ce dernier. Enfin, de définir les méthodes d'exécutions, le dimensionnement des ouvrages, les précautions particulières, et les traitements spéciaux à envisager pendant la construction.

IV-2- Programme des essais géotechniques des terrains de fondation :

Il est bien évidant qu'un programme de reconnaissances des sols est fonction des caractéristiques de l'ouvrage à réaliser et de la nature géologique de la zone étudiée.

Une campagne de reconnaissance par essais géotechniques in situ a été menée sur le terrain réservé à l'implantation du théâtre de verdure, de telle sorte à tenter de définir les caractéristiques géotechniques des formations. Deux types d'essais géotechniques in situ ont été réalisés, le tableau (IV-1) donne dans le détail les travaux de reconnaissances effectués sur le site :

Tableau (IV- 1) : Nombre des essais réalisés.

Type d'essai	Nombre d'essais
Sondages carottés	06
Sondages pressiométriques	03

NB : La totalité des essais géotechniques effectués in situ et au laboratoire ont été réalisés par le laboratoire FONDASOIL de Constantine.

On tient a signalé que les sondages pressiométriques ont été réalisés au niveau de l'ancien site (voir figure IV- 1).

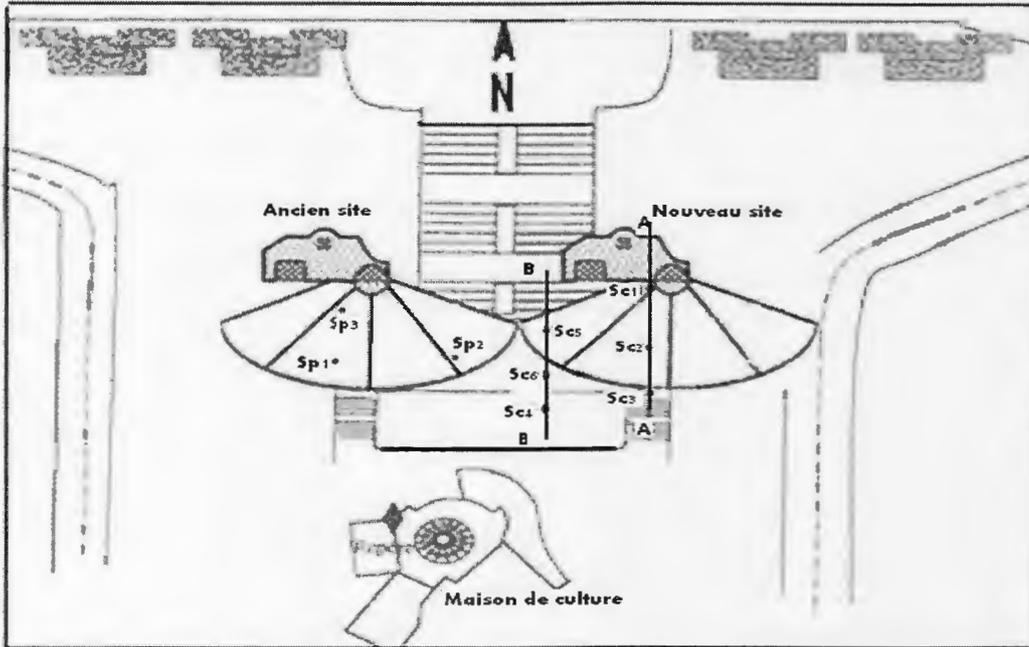


Figure (IV-1) : Plan d'implantation des sondages de reconnaissance.

IV-2-1- Essais in-situ :

C'est des essais réalisés sur terrain, leurs avantages est d'éviter le problème de remaniement des échantillons de sols extraits à partir d'un sondage, d'être plus représentatif de l'état naturel du sol et plus rapide qu'un essai au laboratoire.

IV-2-1-1- Sondages carottés :

C'est un sondage non destructif où on utilise en pratique les carottiers qui sont composés d'un outil d'attaque qui permet de découper le matériau (trousse tranchante,...) et d'un ensemble de tubes. L'échantillon découper doit remonter à la surface dans l'état où il a été découpé. Le diamètre intérieur du carottier varie entre 28 et 120 mm, avec une longueur de 0.50 à 3.0 m. le carottier peut pénétrer dans le sol par battage, rotation ou pression suivant le type du sol.

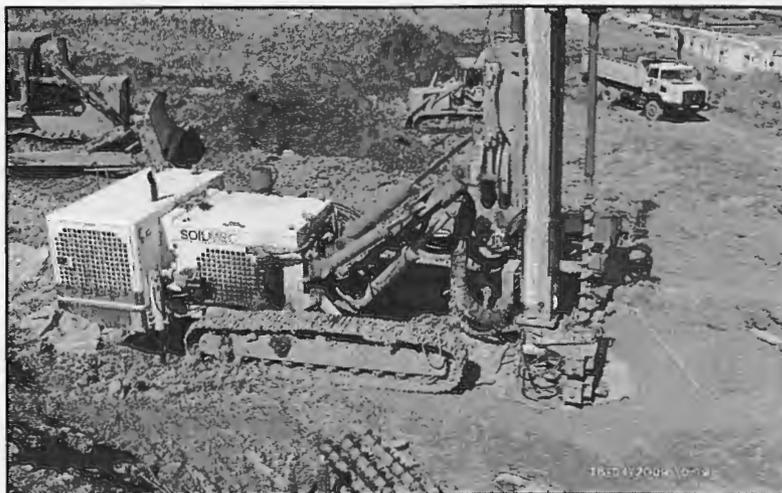


Photo (IV-1) : illustrant une sondeuse de type « SOILMEC ». (Prise du site étudié)

Les échantillons prélevés du site par sondage carotté comme l'indique le plan d'implantation (Figure : IV-1), ont donné les formations lithologiques présentées dans le tableau (IV-2) ci-après :

Tableau (IV-2) : Résultats des sondages carottés (FONDASOIL ; 2007).

Sondage N°	Profondeur (m)	Description de la lithologie
Sc1	0.00---3.50	Couverture, argile rouge sableuse.
	3.50---4.30	Alternance grés marne
	4.30---19.00	Marne graveleuse gris bleutée.
Sc2	0.00---2.00	Couverture, argile rouge sableuse.
	2.00---15.00	Alternance grés marne.
Sc3	0.00---0.60	Couverture, argile rouge sableuse.
	0.60---11.00	Alternance de grés et de marne.
Sc4	0.00---0.50	Remblais.
	0.50---2.60	Argile sableuse rouge.
	2.60---2.80	Marne gris foncée plus ou moins dure.
	2.80---4.40	Sable argileux plus ou moins consolidé.
	4.40---4.90	Grés compacte.
	4.90---6.80	Alternance grés friable et sable.
	6.80---8.70	Alternance grés compacté et sable.
8.70---9.00	Sable, argileux avec passés marneux à la base.	
Sc5	0.00---0.30	Couverture de terre végétale.
	0.30---5.00	Argile sableuse bariolée avec passés gréseuses.
	5.00---7.20	Alternance marne grés.
	7.20---10.00	Marne grise plus ou moins argileuse.
Sc6	0.00---0.30	Couverture, de terre végétale.
	0.30---2.40	Sable argileux plus ou moins consolidé.
	2.40---6.40	Argile sableuse à sable argileux.
	6.40---9.00	Marne grise à passé de sable et argile sableuse.
	9.00---11.00	Grés compacte.
	11.00---12.40	Marne compacte grise.
12.40---13.00	Sable.	

D'après les résultats obtenus par les sondages de reconnaissances on distingue que le terrain d'étude se compose de trois formations majeure :

1 - Une couverture argilo-sableuse à sable argileux avec présence de la terre végétale, présentant une épaisseur de 0.6 m en amont (Sc3) à 3.5 m en aval (Sc1).

2 - Une deuxième couche représentée par une alternance marno-gréseuse avec une épaisseur allant jusqu'à 4.3 m (Sc1).

3 - Une troisième et dernière couche, mit en évidence par le sondage (Sc1), représentée par des marnes graveleuses gris bleutée, d'une épaisseur de 15 m.

La coupe ci-dessous réalisée à partir des trois sondages de reconnaissances Sc1, Sc2, Sc3, montre la disposition des trois couches ainsi que leurs profondeurs au niveau des sondages concernés.

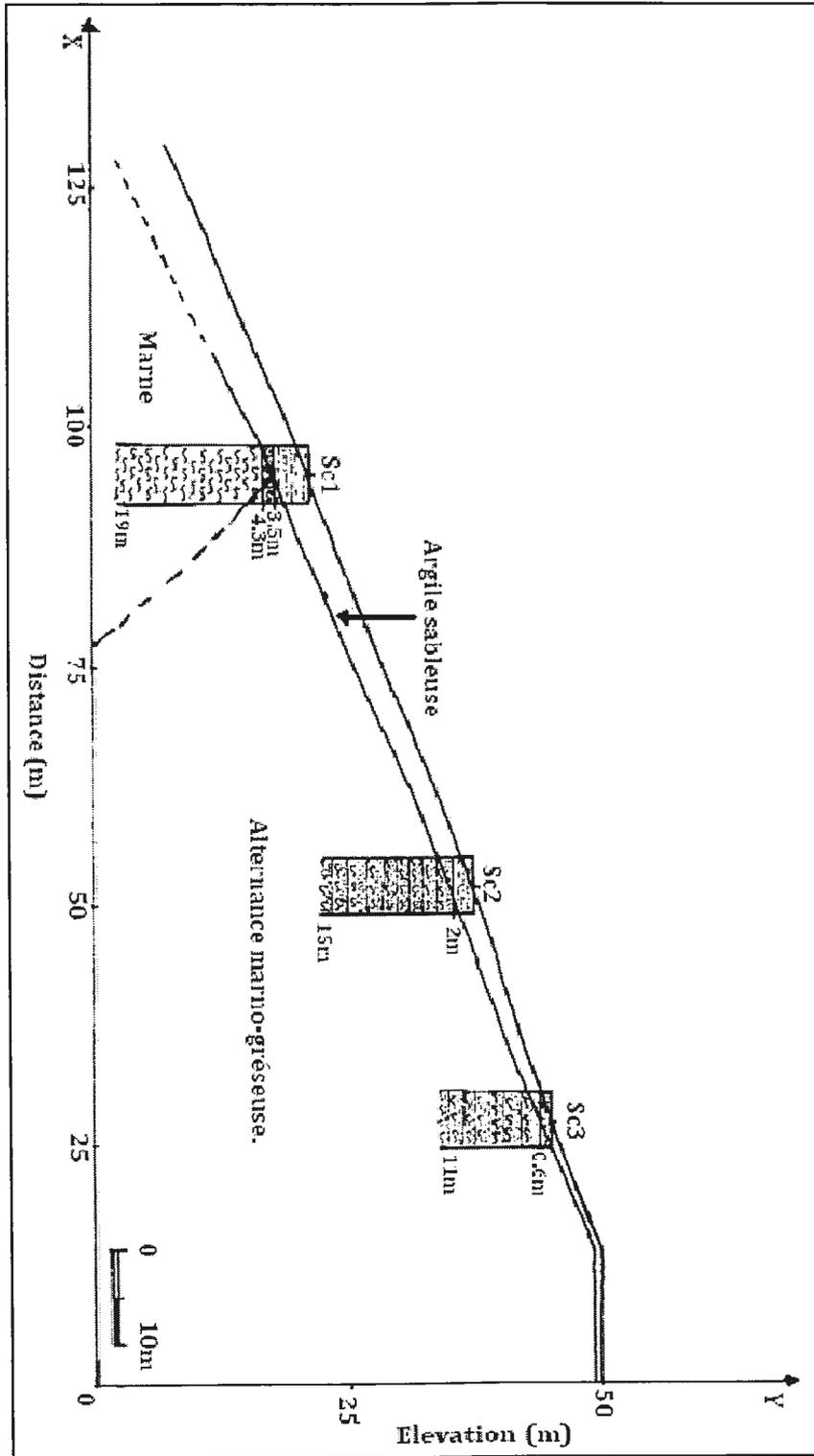


Figure (IV-2) : Coupe lithologique réalisée à partir des sondages de reconnaissance.

IV-2-1-2 : Sondages pressiométriques :

L'essai pressiométrique Ménard s'applique :

- Dans tous les types de sols naturels saturés ou non de puis les vases et argiles molles jusques et y compris le rocher.
- Dans les remblais ou tout autre matériau artificiel utilisé en géotechnique.

L'essai pressiométrique Menard est un essai de chargement de sol en place. Il consiste à dilater radialement ou sain du sol une sonde cylindrique (voir figure IV-3), et à déterminer la relation entre la pression appliquée sur le sol selon un programme du chargement imposé et le déplacement de la paroi de la sonde.

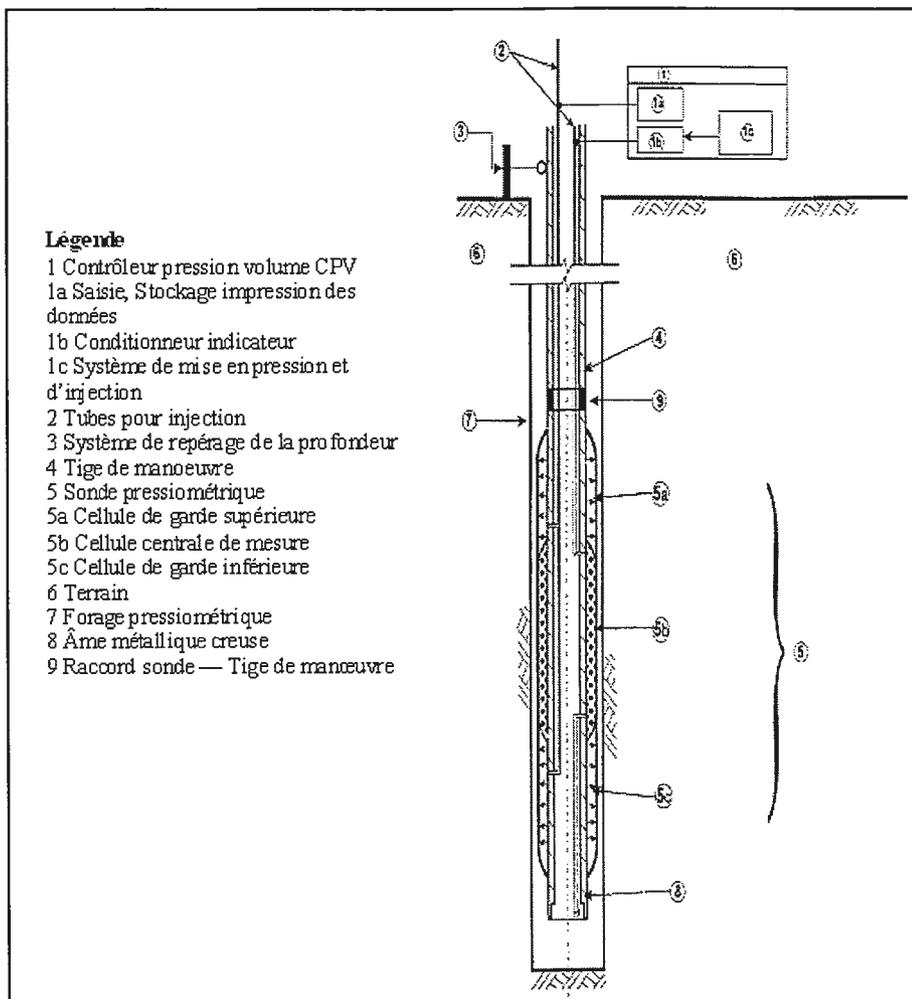


Figure (IV-3) : Pressiomètre Ménard. (NFP 94-110)

Cet essai permet d'obtenir une caractéristique de déformabilité du sol (module pressiométrique E_M) et une caractéristique de rupture (pression limite P_L).

Trois (03) sondages pressiométriques ont été réalisés au niveau de l'ancien site, qui est distant de 70m du nouveau terrain réservé à l'implantation du théâtre de verdure, et qui présente en principe le même faciès.

Les résultats des essais pressiométriques et les caractéristiques ainsi déterminés sont récapitulés dans le tableau (IV-3) ci-après.

Tableau (IV-3) : Les résultats des essais pressiométriques.

Paramètres N°=Sondage	Profondeur (m)	Lithologie	Pression de fluage Pf (bars)	Pression limite Pl (bars)	Module Pressiométriqu e E _M (bars)
Sp1	0 --- 3	Argile sableuse	1.7≤Pf≤4.7	5≤Pl≤8.9	99≤E _M ≤130
	3 --- 9	Alternance marno-gréseuse	11≤Pf≤15	19≤Pl≤25	160≤E _M ≤1300
Sp2	0 --- 1.5	Argile sableuse	2.3	4	81
	1.5 --- 9	Alternance marno-gréseuse	7.8≤Pf≤19	15≤Pl≤32	150≤E _M ≤380
Sp3	0 --- 2.5	Argile sableuse	2.8≤Pf≤6.2	5.7≤Pl≤13	140≤E _M ≤190
	2.5 --- 9	Alternance marno-gréseuse	14≤Pf≤17	24≤Pl≤28	290≤E _M ≤480

Les résultats résumés dans le tableau ci dessus montre que les valeurs moyennes des paramètres étudiés (Pf, Pl, E_M) sont de (3.95, 8.5, 135.5) pour les argiles sableuses, et de (13.4, 23.5, 725) pour l'alternance marno-gréseuse. Ces paramètres augmentent en profondeur.

IV-2-2- Essais de laboratoire :

Après la réception des échantillons au laboratoire, le bureau d'étude a effectué des essais et des analyses au laboratoire pour la détermination des paramètres physico-mécaniques ainsi que les propriétés chimiques du sol.

IV-2-2-1- Les essais physiques :

Ces paramètres nous permettent de déterminer la nature du sol, sa structure et ces propriétés physiques avec précision. Ces paramètres sont :

a- Teneur en eau : W(%)

Elle permet la détermination de la quantité d'eau existante dans le sol naturel (échantillon).

La teneur en eau est exprimée en pourcentage, c'est le rapport du poids de l'eau au poids de la matière sèche.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

b- Degré de saturation : S_r (%)

C'est le rapport du volume occupé par l'eau au volume des vides, (J.Cost et G.Sanglerat ; 1981).

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

c- Poids volumique humide : γ_h (t/m^3)

C'est le poids volumique de l'unité de volume, eau et air compris.

$$\gamma_h = \frac{W_t}{V_t} \dots\dots\dots (3)$$

d- Poids volumique sec: γ_d (t/m^3)

C'est le poids volumique de l'unité de volume du sol exempt d'eau interstitielle.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \dots\dots\dots (4)$$

Le tableau (IV-4), présente les différentes valeurs des paramètres précédant obtenu par le laboratoire. (Fondation).

Tableau (IV- 4) : Présentation des paramètres physiques du sol (W , S_r , γ_h , γ_d).

Paramètres			Poids volumique humide $\gamma_h(t/m^3)$	Poids volumique sec $\gamma_d(t/m^3)$	Teneur en eau naturelle $W(\%)$	Degré de saturation $S_r(\%)$
Sondages	Profondeur (m)	Lithologie				
Sc1	1.30---1.70	Couverture,	2.04	1.76	15.93	80.78
	3.00---3.40	argile sableuse	2.14	1.87	14.38	87.26
	8.20---8.50	Alternance grés marne	2.28	2.02	12.88	98.30
	9.00---9.20		2.30	2.10	09.54	90.50
	10.0---10.2		2.21	1.89	16.65	99.86
Sc2	1.00---1.50	Couverture,	2.02	1.70	18.97	87.63
	1.70---2.00	argile sableuse	2.07	1.79	15.26	81.71
Sc3	1.20---1.70	Alternance grés	2.08	1.80	15.39	83.49
	2.50---3.00	marne	1.98	1.72	14.78	70.62
Sc4	1.20---1.30	Couverture	1.91	1.66	15.04	64.50
	3.00---3.40	argile sableuse	1.98	1.76	12.48	63.52
Sc5	1.80---2.00	Couverture, argile sableuse	2.01	1.73	16.63	79.62
	2.70---2.90		2.01	1.74	16.07	78.07
	3.40---3.60		2.03	1.76	15.00	75.97
	4.00---4.40	Alternance, grés marne	2.00	1.76	14.26	71.69
	7.80---8.00		2.03	1.80	12.88	69.23
Sc6	2.00---2.40	Couverture, Agile sableuse à sable argileux	1.98	1.72	14.66	69.84
	3.20---3.40		2.01	1.78	12.84	67.11
	4.20---4.60		1.95	1.62	20.27	82.30
	5.50---5.90		2.01	1.76	14.81	73.26
	6.30---6.40	Marne grise à passés de sable et argile sableuse	1.93	1.74	10.93	53.53
	7.10---7.40		2.00	1.74	15.17	74.26

D'après les résultats obtenus, on constate que les valeurs des deux premiers paramètres (γ_h , γ_d) sont presque identiques pour toutes les formations, avec γ_h comprise entre 1.93 et 2.4 (t/m^3) et γ_d entre 1.62 à 2.1 (t/m^3).

Les grandes valeurs du degré de saturation (Sr) sont enregistrées dans la deuxième couche (alternance grés marne) avec 90.50 à 99.86 % pour le sondage Sc1, qui se situe au pied du talus.

Pour la teneur en eau (W), la première couche (argile sableuse) est un peu plus humide que le reste des formations.

e- Analyse granulométrique :

Elle permet de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle est effectuée :

- Par tamisage: pour les grains de diamètre supérieure à 80 μm .
- Par sédimentométrie : pour les grains de diamètre inférieur à 80 μm .

On parlera de granulométrie étalée, ou continue, lorsque toutes les dimensions de grains sont représentées, et de granulométrie uniforme, ou discontinue, lorsqu'une fraction granulométrique prédomine. (GECOTEC, groupement des CTC, 2003).

Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe appelée « courbe granulométrique », (G.Phillipponnat, 1979). (Voir Figure des courbes granulométriques du site ci-après).

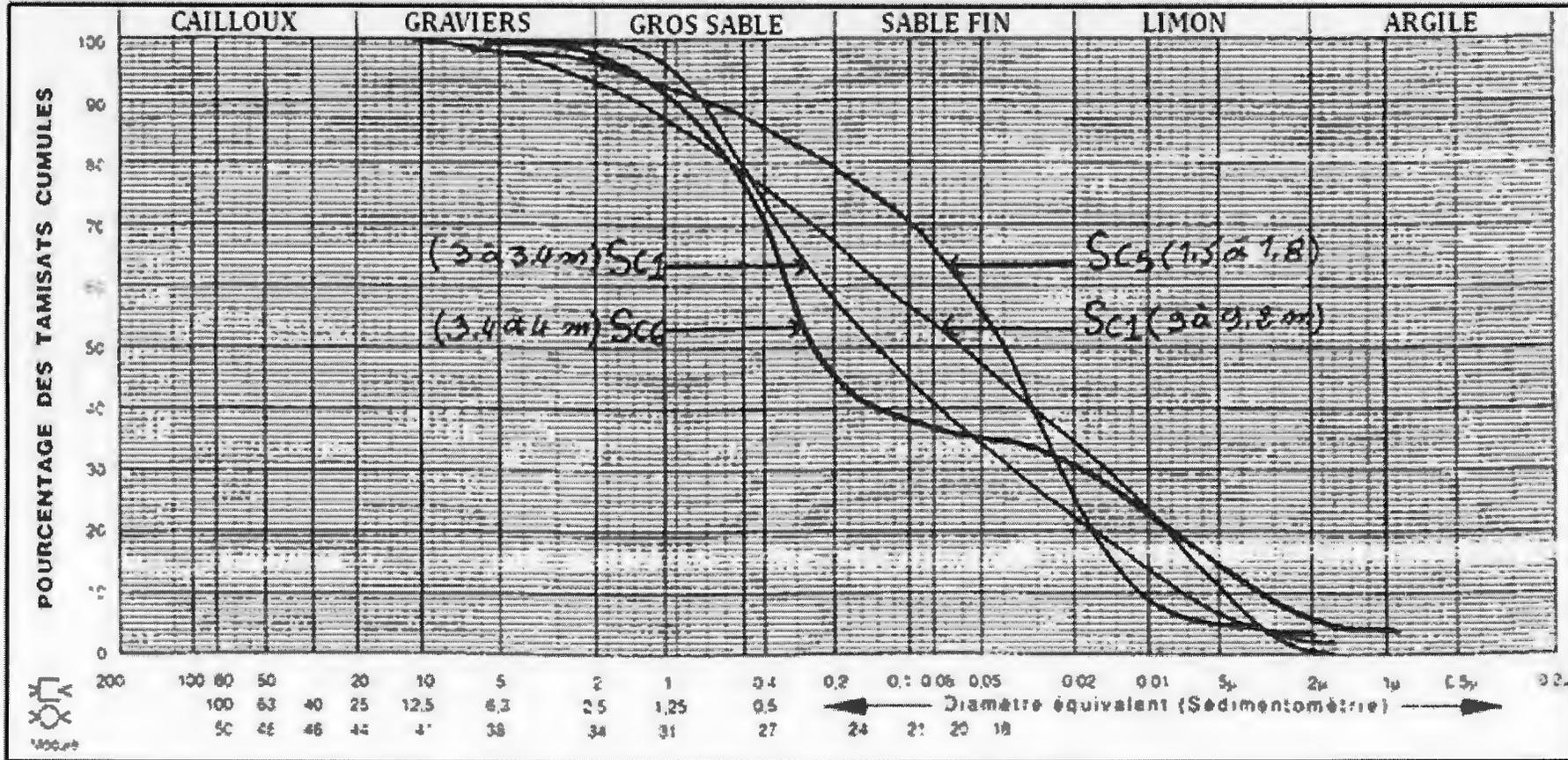


Figure (IV-4): Courbes granulométriques du sol étudié.

A partir des courbes granulométriques on peut calculer le coefficient d'uniformité :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots(5)$$

Si : C_u est supérieur à 2, granulométrie étalée.

Si : C_u est inférieur à 2, granulométrie serrée.

Le tableau ci-après résume les résultats des C_u obtenues par l'essai de granulométrie réaliser par le laboratoire.

Tableau (IV- 5) : Les valeurs du coefficient d'uniformité.

Sondage N°	Profondeur (m)	Lithologie	D ₆₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	C _u
Sc1	3.00---3.40	Couverture, argile sableuse	0.22	0.007	31.42
Sc1	9.00---9.20	Marne	0.14	0.005	28
Sc5	1.50---1.80	Couverture, argile sableuse	0.06	0.012	5
Sc6	3.40---4.00	Couverture, argile sableuse	0.32	0.0035	91.42

D'après le tableau ci-dessus cet essai est faites essentiellement sur les formations friables du site (la couverture argilo- sableuse et les marnes), ou on constate un écart assez important des valeurs de coefficient d'uniformité C_u entres les différents formations ainsi que dans la même formation d'un sondage à l'autre (la couverture argilo-sableuse : C_u va de 5 à 91.42).

f- Les limites d'Atterberg :

L'état d'un sol dépend de la teneur en eau de celui-ci ; on peut distinguer trois états différents (état liquide, plastique et solide).

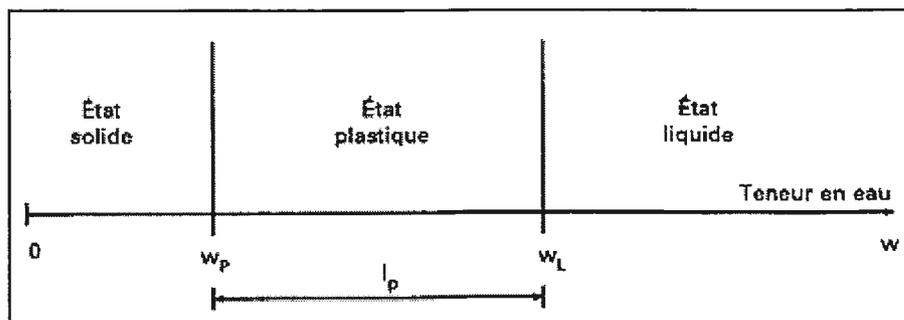


Figure (IV-5): Représentation des limites d'Atterberg. (NFP 94-051)

Pour marquer le passage d'un état à l'autre on doit fixer les limites qui portent le nom « limites d'Atterberg » :

- La limite de liquidité (W_L), c'est la teneur en eau pour laquelle le sol se transforme de l'état plastique à l'état liquide.

- La limite de plasticité (W_P), c'est la teneur en eau pour laquelle le sol se transforme de l'état solide à l'état plastique.

- La limite de retrait (W_S), c'est une limite qui sépare l'état solide lui-même en deux états (c'est une démunissions de volume qui accompagne l'élimination de l'eau absorbé).

- L'indice de plasticité (I_p) : il définit l'étendue du domaine plastique du sol entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

$$I_p = W_L - W_P \dots\dots\dots(6) \text{ (L.C.P.C ; 1982).}$$

- L'indice de consistance (I_C), il permet d'apprécier le degré de consistance d'un sol. Est calculé par la relation suivante :

$$I_C = \frac{W_L - W}{I_p} \dots\dots\dots(7) \text{ (J.P. Magnan ; 2001).}$$

Où : W est la teneur en eau du sol dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieurs à 400 μm .

Les deux indices (I_p et I_C), nous permet d'apprécier l'état des sols.

Tableau (IV- 6) : Classification des sols en fonction de I_p et I_C . (J.P. Magnan ; 2001).

Valeur de I_p (%)	Sensibilité à l'eau	Valeur de I_C (%)	Etat du sol
$1 < I_p < 5$	Légère	$0 < I_C < 0.25$	Sol plastique, la construction s'enfonce dans le sol.
$5 < I_p < 10$	Faible	$0.25 < I_C < 0.5$	Sol de faible consistance, le tassement est très grand.
$10 < I_p < 20$	Moyenne	$0.5 < I_C < 0.75$	Sol ferme.
$20 < I_p < 40$	Elevée	$0.75 < I_C < 1$	Sol très ferme, le tassement est modéré.
$I_p > 40$	Très élevée	$I_C > 1$	Sol dure, le tassement est petit.

L'essai s'effectue en deux phases :

1-Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquer dans un sol placer dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés.

2-Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimensions fixée et confectionné manuellement, se fissure.

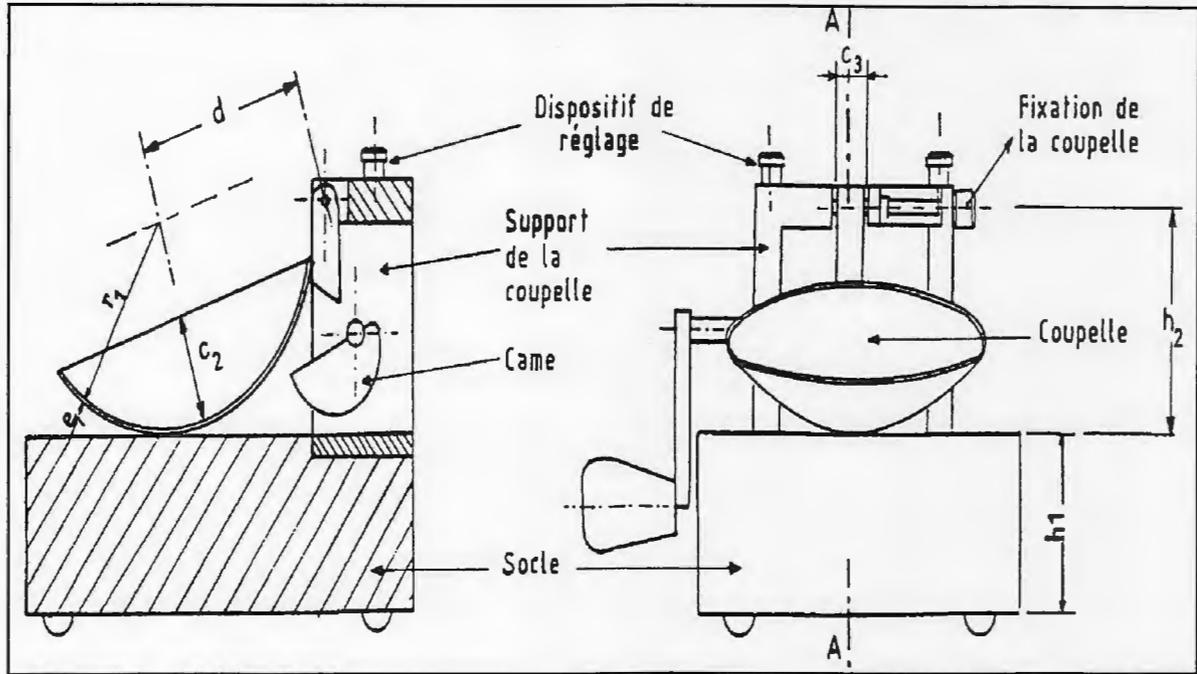


Figure (IV-6) : Appareil de Casagrande. (NFP 94-051)

Le tableau suivant résume les résultats de (W_l , W_p , I_c et I_p).

Tableau (IV-7) : Présentation des résultats des limites d'Atterberg.

Sondages	profondeurs (m)	Lithologie	Limite de liquidité W_l (%)	Limite de plasticité W_p (%)	Indice de consistance I_c	Indice de plasticité I_p
Sc1	9.00---9.20	Marne	37	25	2.28	12
Sc5	1.50---1.80	Couverture, argile sableuse	43	22	1.25	21
Sc6	3.40---4.00	Couverture, argile sableuse	27	16	1.28	11

Les valeurs de l'indice de plasticité (I_p) montre que le sol étudié est classé parmi les sols moyennement sensible à l'eau.

En fonction de l'indice de consistance (I_c) le sol étudié est classé comme un sol dur le tassement est petit.

(J.P. Magnan)

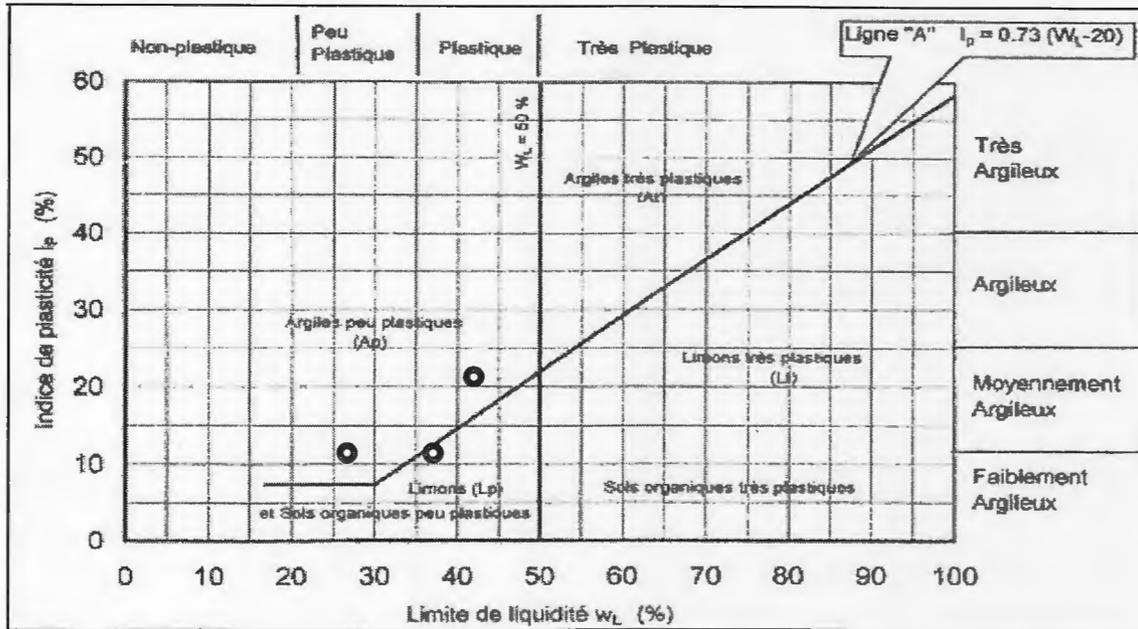


Figure (IV-7) : représentation des résultats sur diagramme de plasticité de Casagrande.

(G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

Le diagramme de Casagrande montre que notre sol d'étude appartient aux argiles peu plastiques

g- Analyse chimique :

Elle permet de déterminer les différents composants chimiques constituant le sol, telle que (SO_4^- , $CaCO_3$, Ca^{++} ,.....).

Le tableau suivant (IV-8), récapitule l'agressivité des soles en fonction de la teneur en SO_4^-

Tableau (IV-8) : Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO_4^- .
(NFP 18- 011 du 06/92)

Teneur en SO_4^-	Faiblement agressif	Moyennement agressif	Fortement agresif	Très fortement agressif
SO_4^- dans le sol sec en (%)	0.24 --- 0.6	0.6 --- 1.2	1.2 --- 2.4	> 2.4
SO_4^- Extrait du sol en (mg / l)	1200 à 2300	2300 à 3700	3700 à 6700	> 6700

Les résultats obtenus par l'analyse chimique du sol, sont représenté sur le tableau suivant :

Tableau (IV-8) : les résultats de l'analyse chimique.

Sondages	Sc 4	Sc 5	Sc 6
Profondeur (m)	2.2---2.3	1.5---1.6	1.4---2.1
Pourcentage de saturation	60	60	62
PH	7.2	7.9	7.9
Conductivité CE (mh/cm)	0.6	0.5	0.6
Co ₃ H ⁻ (mg/kg)	61	61	61
So ₄ ⁻ (mg/kg)	1488	1632	1584
Cl ⁻ (mg/kg)	781	532.5	710
Ca ⁺⁺ (mg/kg)	680	520	660
Mg ⁺⁺ (mg/kg)	132	216	396
Na ⁺ (mg/kg)	46	46	69
K ⁺ (mg/kg)	39	158	39
CaCO ₃ (%)	3.9	--	--

La teneur en So₄⁻ montre que sol étudié est faiblement agressif, donc l'agressivité vis-à-vis du béton est nulle, et l'utilisation de tous types de ciment pour l'infrastructure est possible.

IV-2-2-2- Essais mécaniques :

Ils permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols et sont définis par les essais suivants :

IV-2-2-2-1- Essai de cisaillement rectiligne :

L'essai de cisaillement rectiligne (UU), est un essai qui nous renseigne sur les caractéristiques intrinsèques du sol, c'est-à-dire la valeur de l'angle de frottement interne (ϕ°), et la cohésion apparente (C).

❖ Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- appliqué sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai.
- produire après consolidation de l'éprouvette sous effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif σ_1 à vitesse constante.
- mesure l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

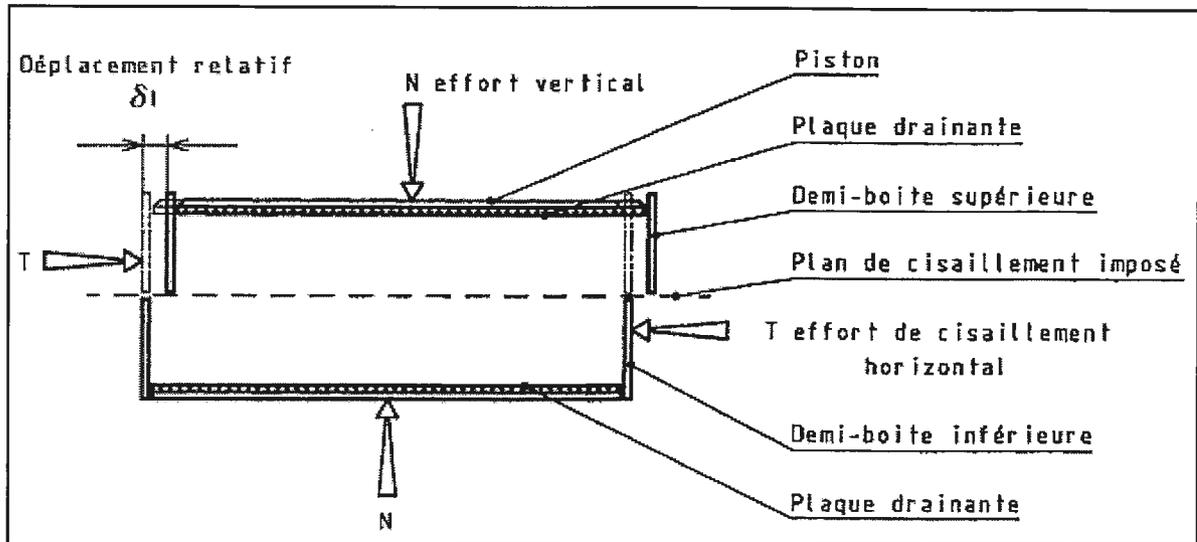


Figure (IV-8) : Principe d'un essai de cisaillement rectiligne à la boîte.
(NFP 94-071-1)

Le tableau ci après récapitule les résultats déterminés :

Tableau (IV-9):Résultats des essais de cisaillement rectiligne.

Référence de l'échantillon			Cisaillement rectiligne (UU)	
Sondage N°=	Profondeur (m)	Lithologie	C (bar)	ϕ (°)
Sc 1	1.30---1.70	Couverture, argile sableuse	0.30	10
	9.00---9.20	Marne	0.35	26
Sc 2	1.00---1.45	Couverture, argile sableuse	0.25	7
	1.70---2.00		0.50	10
Sc 3	1.20---1.70	Alternance, marne grés	0.73	5
	2.50---3.00		0.25	12
Sc 4	1.20---1.40	Couverture, argile sableuse	0.67	28
Sc 5	1.80---2.00	Couverture, argile sableuse	0.70	3
	2.70---2.90		0.30	5
	3.40---3.60		0.30	10
	4.00---4.40	Alternance, grés marne	0.35	15
	7.80---8.00		0.17	21
Sc 6	2.00---3.00	Couverture, argile sableuse à sable argileuse	0.08	15
	3.20---3.40		0.20	16
	4.20---4.70		0.05	2
	5.50---5.90		0.06	7
	6.30---6.40	Marne grise à passés de sable et argile sableuse	-	21
	7.10---7.40		-	20
	8.00---8.40		0.15	8

Les résultats montrent que les valeurs moyennes de ϕ et C des formations du site sont :

- ✓ La couverture argilo-sableuse, ($\phi = 10^\circ$) et ($C = 0.30$ bar).
- ✓ L'alternance marno-gréseuse, ($\phi = 14^\circ$) et ($C = 0.37$ bar).
- ✓ Les marnes, ($\phi = 19^\circ$) et ($C = 0.35$ bar).

D'une manière générale on peut dire que ces résultats sont caractéristiques d'un sol cohérent.

IV-2-2-2-2- Essai de compressibilité à l'oedomètre :

L'essai de compressibilité à l'oedomètre étudie la variation de l'indice des vides du sol quand celui-ci est soumis à des charges verticales et quand les déformations verticales sont empêchées.

❖ Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau placé dans une enceinte cylindrique rigide (oedomètre). Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axiale vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai (voir figure IV-9).

La charge est appliquée par paliers maintenues constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée de l'application de la charge.

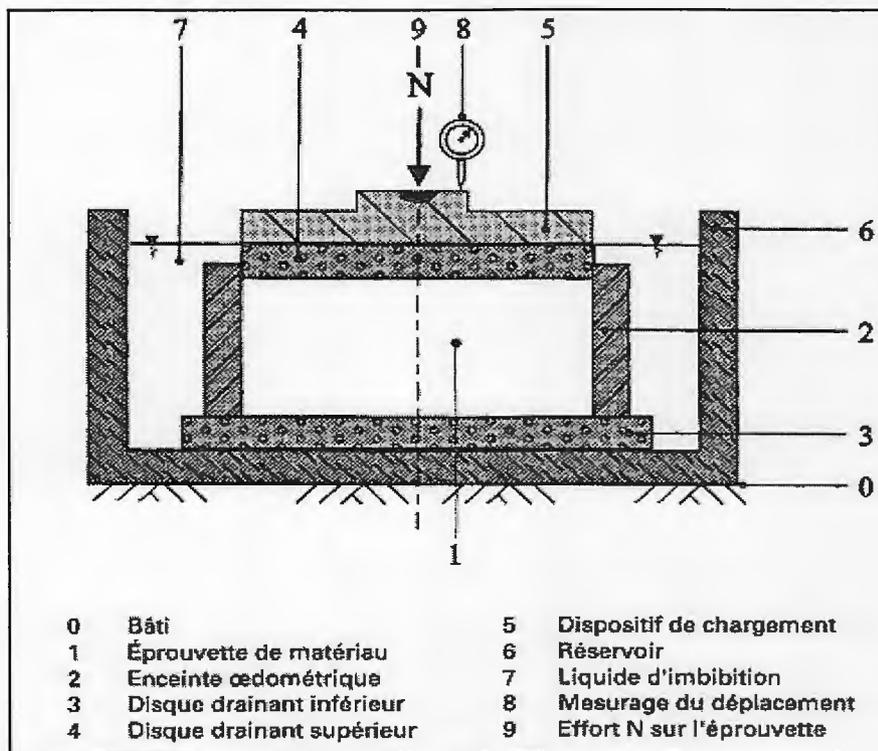


Figure (IV-9) : Principe de l'oedomètre. (NFP 94-090-1)

Cet essai nous fournit des courbes de compressibilités du quelles on déduit le degré de consolidation σ_c ainsi que le coefficient de tassement C_c , et de gonflement C_g , à différentes profondeurs.

On classe les sols à partir de l'indice de compression C_c avec les valeurs suivantes :

- . $C_c / (1+e_0) < 0.015$: sol incompressible.
- . $0.015 < C_c / (1+e_0) < 0.050$: sol peu compressible.
- . $0.050 < C_c / (1+e_0) < 0.20$: sol moyennement compressible.
- . $C_c / (1+e_0) > 0.20$: sol très compressible.

Avec : e_0 : indice des vides initial. (Philipponnat.G et Pertrand.H, 2003).

Les résultats de l'essai sont exposés dans le tableau (IV-10) ci-après :

Tableau (IV-10) : les résultats C_c des essais oedométriques.

Sondage N°=	Profondeur (m)	Lithologie	C_c (%)	e_0	$\frac{C_c}{1+e_0}$	C_g (%)	Pression de consolidation P_c (K_g/cm^2)
Sc 1	8.15---8.50	Marne	4.50	0.3	0.034	2.70	3.45
	10.0---10.15		13.35	0.36	0.098	3.70	2.10
Sc 3	2.50---3.00	Couverture, argile sableuse	6.64	0.35	0.049	2.70	1.72
Sc 5	2.70---2.90	Couverture, argile sableuse à	35.20	1.6	0.135	15.50	1.58
	4.00---4.40	sable argileuse	20.40	1.31	0.088	3.90	2.00
Sc 6	4.20---4.60	Couverture, argile sableuse à	35.20	1.74	0.128	10.71	1.63
	5.50---5.90	sable argileuse	15.17	1.22	0.068	4.61	2.72
	8.00---8.40	Marne grise à passés de sable et argile sableuse	40.10	1.86	0.140	10.06	1.90

Selon les valeurs de $C_c / (1+e_0)$, et qui sont compris entre 0.034 et 0.14 pour les marne et de 0.049 à 0.135 pour l'argile sableuse, le sol examiner est un sol moyennement à peu compressible.

IV-3- Conclusion générale :

Après l'exécution du programme d'étude géotechnique, pour déterminé les caractéristiques physico-chimique du sol du site étudié. L'analyse des résultats obtenus est comme suit :

- 1- Les essais pressiométriques montrent que les valeurs moyennes des paramètres géotechniques (P_f , P_l , E_M) sont de :
 - (3.95, 8.5, 135.5) pour les argiles de recouvrement.
 - (13.4, 23.5, 725) pour l'alternance marno-gréseuse.
 - 2- Selon les résultats donnés par l'essai des limites d'Atterberg, le sol étudié est classé parmi les argiles peu plastiques noté « AP », dur (de tassement petit) et de moyenne sensibilité à l'eau.
 - 3- Les essais d'identifications physiques par granulométrie et sédimentométrie confirment la nature lithologique rencontrée dans la campagne de reconnaissance
 - La plage de coefficient d'uniformité C_u est de : $5 \leq C_u \leq 91.42$. (qui indique que le sol est d'une granulométrie étalée).
 - 4- Les paramètres de résistance au cisaillement du sol représentés par la cohésion « C » et l'angle de frottement « φ » ont les valeurs moyennes suivantes :
 - La couverture argilo-sableuse, ($\varphi = 10^\circ$) et ($C = 0.30$ bar).
 - L'alternance marno-gréseuse, ($\varphi = 14^\circ$) et ($C = 0.37$ bar).
 - Les marnes, ($\varphi = 19^\circ$) et ($C = 0.35$ bar).
 - 5- Les mesures de la compressibilité à l'oedomètre ont permis d'obtenir les valeurs du coefficient de compressibilité (C_c) et du coefficient du gonflement (C_g) et la pression de consolidation (P_c) des couches du terrain, sont comprises dans les intervalles ci-après :
 - Coefficient de compressibilité C_c (%) : $4.50 \leq C_c \leq 40.10$.
 - Coefficient de gonflement C_g (%) : $2.70 \leq C_g \leq 15.50$.
 - Pression de consolidation P_c (Kg/cm^2) : $1.53 \leq P_c \leq 3.45$.
- Au vu des valeurs de $C_c / 1+e_0$, comprises entre 0.034 et 0.14 pour les marnes et de 0.49 à 0.135 pour l'argile sableuse, le sol étudié présente un sol moyennement à peu compressible.
- 6- L'analyse chimique des échantillons de sol prélevés dans les sondages réalisés révèle une agressivité nulle vis-à-vis du béton.

V-1- Introduction :

Les risques d'instabilité des terrains, quelle que soient leurs ampleurs et leur fréquence. Il serait cependant excessif et dangereux d'en conclure que l'absence de mouvements passés ou présent et une garantie de stabilité pour l'avenir (FLAGEOLLET ; 1989).

Les risques de glissements de terrains, d'éboulements, d'affaissement, de coulées boueuses pour n'en citer que quelques un doivent dorénavant faire l'objet d'une grande attention. Il en résulte que l'on cherche à apprécier aussi la possibilité de survenance, ou occurrence, en dehors des endroits déclarés à définir les zones de probabilité d'apparition de mouvement.

C'est pour cette raison qu'on va développer ce chapitre pour but de vérifier la stabilité de notre terrain d'étude contre le risque de glissement, à l'aide d'un logiciel utilisé spécialement pour ce genre de calcul à savoir le « GEOSLOPE ».

V-2- Description des principaux types de mouvements de terrain :

Un mouvement de terrain est un déplacement, plus ou moins brutale, du sol ou du sous sol sous l'effet d'influence naturelles (agents d'érosion, pesanteur, séismes, etc..). Ou anthropiques (terrassements, exploitations de matériaux, déboisement, etc..). Ce phénomène comprend diverses manifestations, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leurs structures.

Cependant on peut citer les principaux types de mouvements de terrain qui sont les suivants :

V-2-1- Ecoulements :

Concernant les massifs rocheux plus ou moins fracturés, qui se rompent progressivement par tassement, basculement, rupture de bancs rocheux,...etc. Ils consistent en une chute de terrain rocheux se détachant d'une falaise sous l'action de la pesanteur, complété ou non par une secousse sismique ou des surpressions d'eau, en général par manque d'appuis à la base.

V-2-2- Glissements de terrain (land slide) :

Le glissement est un déplacement d'une masse de terrain cohérente, généralement lent (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture (surface de cisaillement) identifiable.

Cette surface est généralement courbée (glissement circulaire), mais elle peut aussi se développer à la faveur d'une discontinuité préexistante telle qu'un joint de stratification (glissement plan). Les profondeurs des surfaces de glissement sont très variables : de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, voire la centaine de mètres pour certains glissements de versant.

Des indices caractéristiques peuvent être observés dans les glissements de terrain actifs : niches d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zones de rétention d'eau, etc...

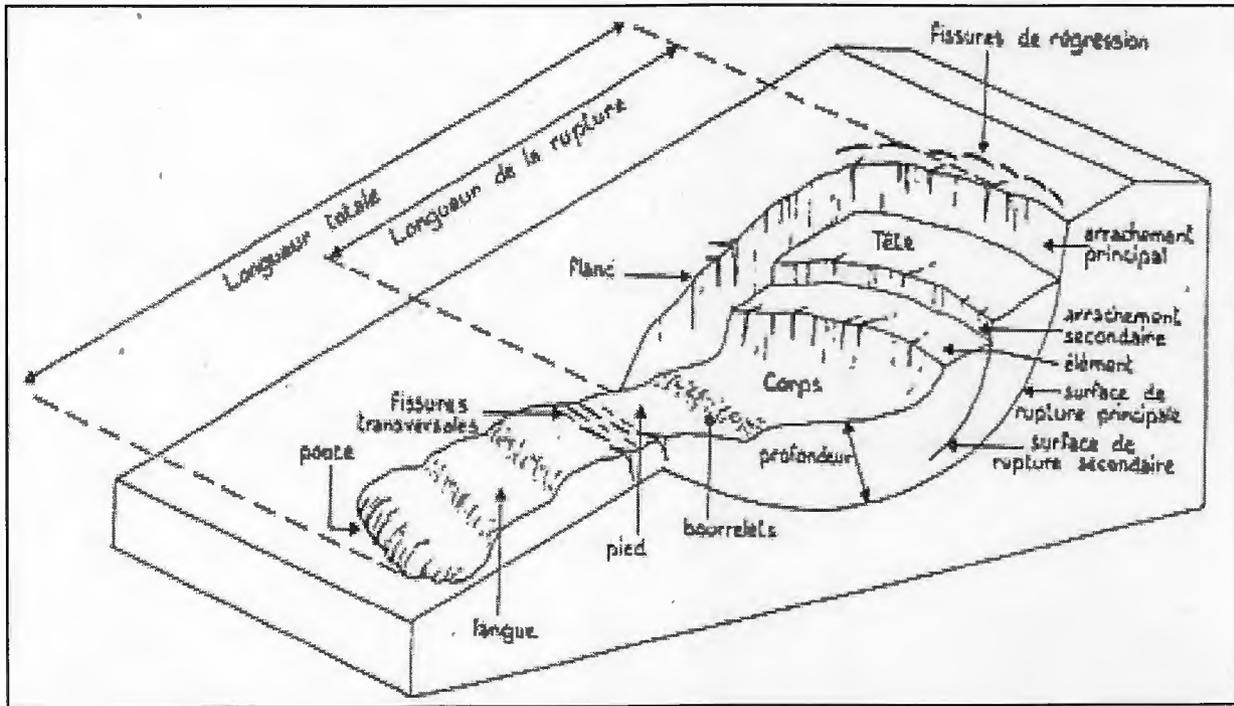


Figure (V- 1) : Forme générale d'un glissement.
(A. BenAissa ; 2003).

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement d'ampleur pluri-métrique, poussée des terres incompatible avec la résistance mécanique de la structure).

V-2-3- Fluages et solifluxions :

- **Fluage** : correspond à des mouvements lents dus à des sollicitations proches de la rupture du sol. L'état ultime pouvant être soit la stabilisation, soit la rupture.

- **Solifluxion** : c'est un cas particulier de fluage. C'est un phénomène superficiel provoqué par les variations volumiques du sol au cours des saisons (gel-dégel en montagnes, alternances de saisons sèches et pluvieuses). Elle se repère par la présence d'ondulations du sol et par l'inclinaison des arbres. (A.BenAissa ; 2003).

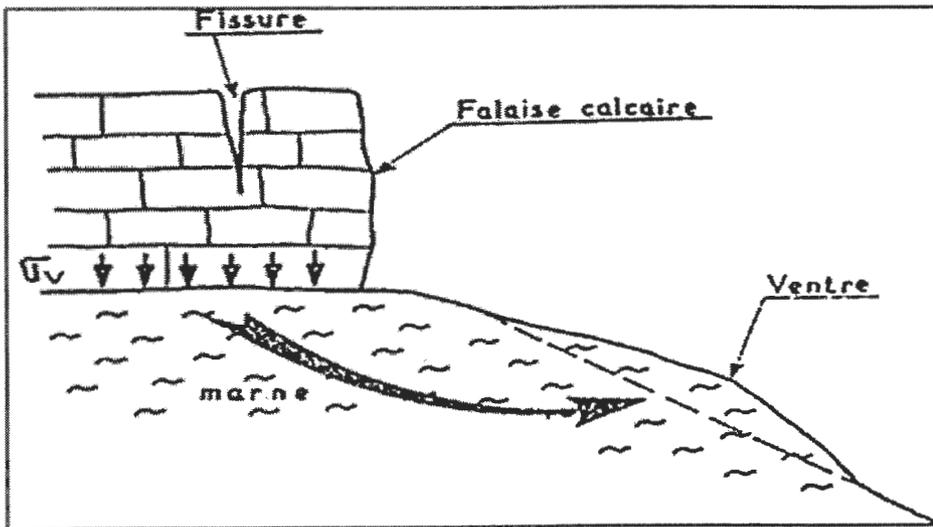


Figure (V- 2) : Exemple de fluage. (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

V-2-4- Coulées boueuses :

Due aux infiltrations importantes des eaux, transportant des matériaux solides. Elles se produisent surtout en montagne. Elles sont caractérisées par leur très fort remaniement interne et par leur apparition dans les sols meubles, l'extension peut être très grande surtout si la teneur en eau est importante. (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

V-3- Principaux types de glissements de terrain :

Ces mouvements de terrains ont lieu le long d'une surface définie et sans déformation interne importante. La forme de la surface de rupture a permis de définir les types de glissements suivants :

V-3-1- Glissement plan :

En général, la ligne de rupture est une couche mince de mauvaise qualité sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée « couche savon ».

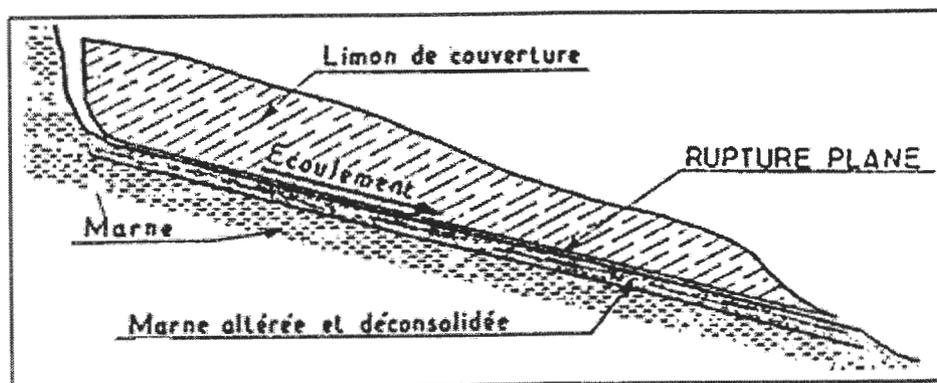


Figure (V- 3) : Glissement plan. (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

V-3-2- Glissement rotationnel simple :

C'est le cas de glissement le plus répandu. La surface de rupture présente une forme simple et peut être assimilée à un cylindre dans la plus part des cas.

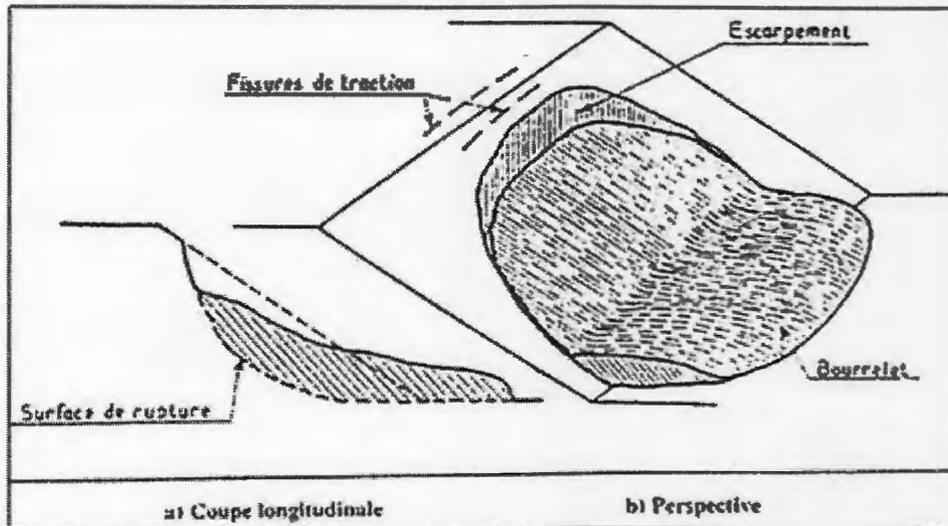


Figure (V- 4) : Glissement rotationnel. (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

V-3-3- Glissement rotationnel complexe :

C'est un glissement multiple « emboîtés » les uns dans les autres. L'apparition du premier glissement, en bas de la pente, provoque une perte brutale de butée pour les terres situées au dessus, et aussi des glissements successifs remontant vers l'amont.

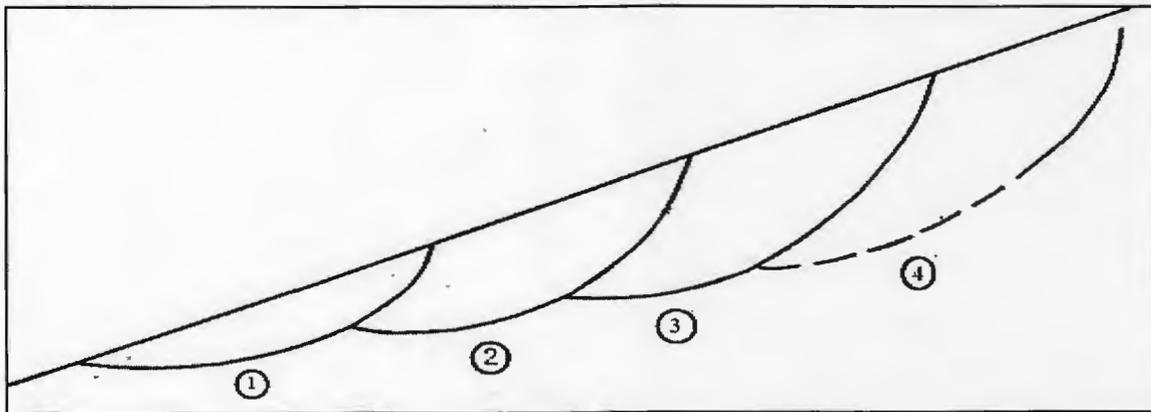


Figure (V-5) : Glissement successifs emboîtés. (G. Philipponnat; et H. Bertrand ; 2003).

Dans un très grand nombre de cas, il faut cependant noter que les glissements ne se réduisent pas à l'un ou à l'autre de ces types, mais résultent d'une combinaison plus ou moins complexe des deux.

En considérant la longueur du glissement(L) et son épaisseur(D), **Hutchinson** et **Skempton,(1996)** sont parvenus à définir un critère pour différencier les deux types de glissement :

- Si $D/L < 0.15$: c'est un glissement plan.
- Si $0.15 < D/L < 0.35$: c'est un glissement rotationnel. (A. BenAissa ; 2003).

V-4- Origine et principaux causes de glissements de terrain :

A chaque fois que l'on étudie un mouvement de terrain, se pose toujours la question de savoir pourquoi il y a-t-il eu rupture de l'équilibre ? La rupture de l'équilibre d'un massif sous entend la modification d'au moins un des paramètres participant à la stabilité. L'équilibre d'un massif peut être donné par un facteur de sécurité pris comme étant le rapport entre la somme des forces stabilisatrices et déstabilisatrices. Celles-ci sont guidées par les forces de volume, les propriétés rhéologiques, la géométrie ainsi que l'action de l'eau, de la pesanteur, de la sismicité et l'action anthropique. La qualification et la quantification de ces paramètres permettent de mieux comprendre et d'appréhender les instabilités. (Durville, 1992, Durville et Lacube, 1992).

V-4-1- Action et influence de l'eau :

La variation des conditions hydrauliques est l'une des principales causes de glissement de terrain et son action dans la rupture de l'équilibre se manifeste de plusieurs façons et à différents stades. C'est principalement, la pluviométrie que les auteurs s'accordent à considérer comme étant le facteur le plus influent, et plus particulièrement ils montrent une occurrence entre des mouvements et des pluies de fortes intensités (Cartier, 1981, Cartier et Delmas, 1984).

En règle générale, le stade ultime de l'instabilité se traduit par un mouvement qui est précédé d'une augmentation des niveaux piézométriques, lui-même précédé d'un intervalle de temps variable après une forte pluie (Meneroud, 1983). L'étude hydrogéologique d'un bassin versant permet à partir d'un suivi piézométrique, d'estimer la quantité critique de hauteur d'eau précédant le mouvement.

V-4-2- Action de la pesanteur :

L'action de la pesanteur est le moteur principal du mouvement. La stabilité d'un bloc est donnée par le rapport entre les forces stabilisantes et les forces déstabilisantes. On parle du facteur de sécurité (F_s). Si celui-ci est inférieur à 1, il y a rupture de l'équilibre, et s'il est supérieur à 1, il y a conservation de l'équilibre. Si l'on augmente le poids d'un bloc ou d'une portion de terrain, cela engendrera une augmentation des forces déstabilisantes et le rapport F diminuera jusqu'à atteindre le seuil d'équilibre limite avant rupture. L'action de la pesanteur, en tant que facteur de mouvement, est intimement liée à l'action anthropique, car le plus souvent l'homme change les conditions du milieu vers et parfois au-delà de la limite de rupture, soit par surcharge, soit par suppression de la butée en pied (Besson, 1996).

La morphologie du terrain (la hauteur et la pente) joue un rôle principal dans la dynamique des mouvements causé par l'action de la pesanteur.

V-4-3- Actions sismiques :

La stabilité d'un massif est fonction du rapport des forces stabilisantes sur les forces déstabilisantes. Lors d'un séisme, il y a émission d'ondes sismiques (ou ondes élastiques) qui se propagent dans le sol. On distingue deux types d'ondes : les ondes de volume (ondes

longitudinales et ondes transversales) et les ondes de surface (ondes de Love et ondes de Rayleigh). Généralement, les séismes engendrent des ondes de surface caractérisées, lors de leur passage, par un mouvement horizontal de va-et-vient. Ces ondes sont dispersives, c'est à dire que leur célérité est fonction de leur fréquence. Les ondes de Rayleigh agitent le sol selon une trajectoire elliptique. Ces ondes ont une amplitude qui décroît exponentiellement avec la profondeur (Durville et Sève, 1996).

Les ondes sismiques provoquent une sollicitation dynamique supplémentaire qui s'ajoute dans le bilan des forces d'un massif. Ce nouveau état pose un problème dynamique complexe, qui est représenté (dans le bilan) par une accélération. Cette accélération intervient dans le bilan d'équilibre et fonctionne comme une force déstabilisatrice. Cette déstabilisation peut se manifester immédiatement et peut provoquer des glissements de terrains, des coulées, des chutes de blocs, et des dérangements engendrés par la thixotropie des sables. A plus long terme, si le phénomène se manifeste régulièrement, il peut y avoir modification de la résistance (fatigue du matériau) et rupture. (Passage pour le matériau de sa résistance de pic à sa résistance résiduelle).

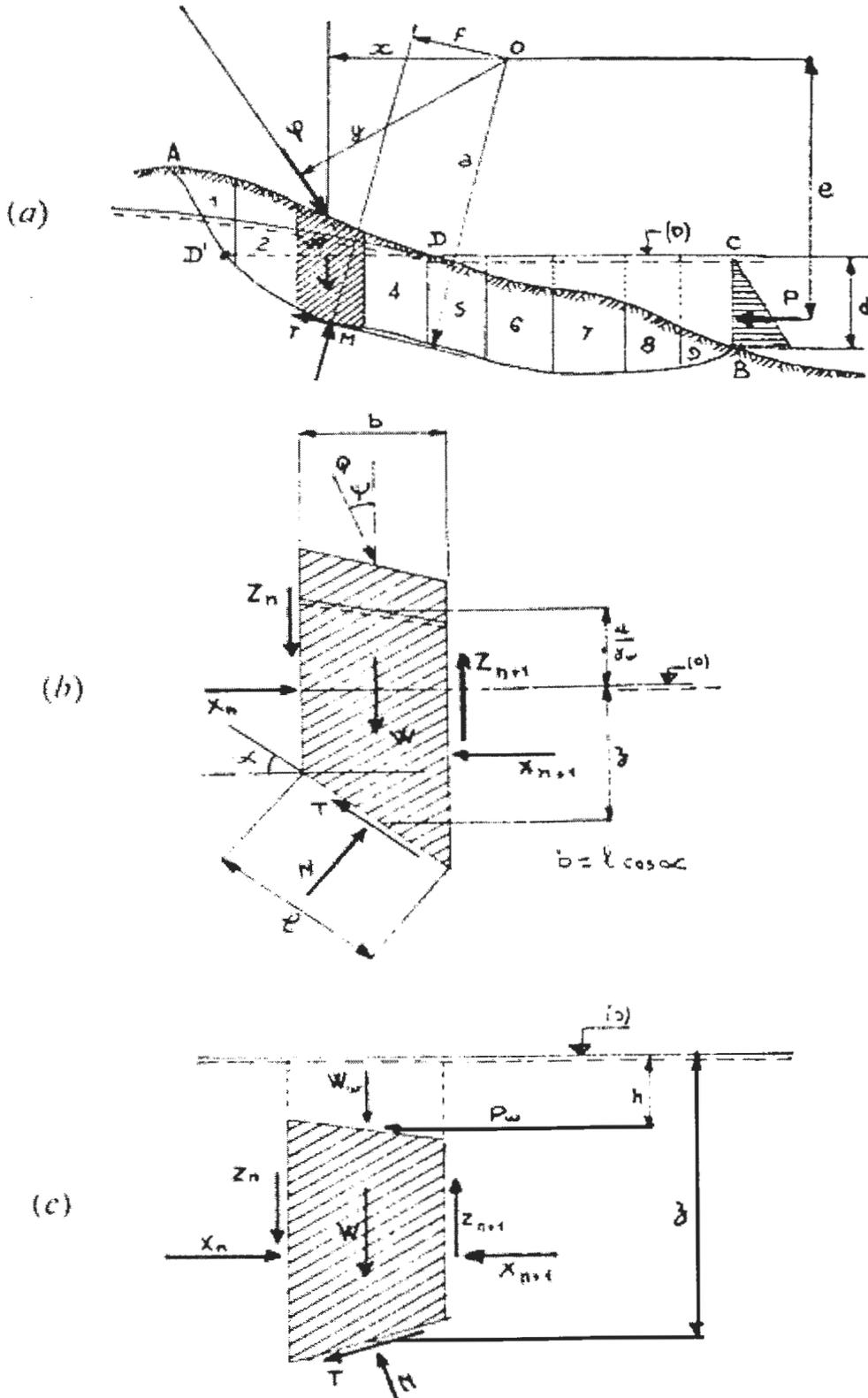
V-4-4- Actions anthropiques :

L'aménagement de terrain provoque des déséquilibres qui généralement, à l'échelle humaine, passent inaperçus, mais lorsqu'une situation est à l'état d'équilibre précaire, la moindre intervention peut générer des désordres importants. Malgré l'état actuel des connaissances, il est encore fréquent de constater des instabilités, suite à des travaux et à une mauvaise anticipation de la stabilité (Pilot, 1982). Cette action, qu'elle soit directe ou indirecte, est un sujet très vaste à traiter. On se contentera de ne citer que quelques exemples liés à des travaux de génie civil. La construction d'ouvrages sur des versants provoque de fréquents glissements avec surcharge et génération de fortes pressions interstitielles ou bien une diminution de la perméabilité des sols sous-jacents avec une perturbation de l'écoulement de la nappe et augmentation des pressions interstitielles. Le terrassement ou la création d'un talus routier peut entraîner la suppression de la butée au pied de versant et activer le glissement (Besson, 1996).

V-5- principe des méthodes de calcul du coefficient de sécurité :

Il existe différentes méthodes de calcul (méthode des perturbations, méthodes des éléments finie, méthode des tranches, etc.). Le principe général des méthodes des tranches consiste à substituer la surface réelle de rupture par une surface approchée ayant des caractéristiques simples (la plupart du temps, on utilise une ligne circulaire). Les méthodes des tranches se basent sur deux hypothèses. La première consiste à dire que la rupture se produit d'un coup sur la surface unique de glissement. La seconde dit que la résistance au cisaillement est entièrement mobilisée sur toute la surface de rupture.

La méthode des tranches a été créée par (PETTERSON, 1916) et développée pour les ruptures circulaires par (FELLENIUS, 1927) et (BISHOP, 1954), et tendu en fin aux ruptures non circulaires par (NONVEILLER, 1965). Consiste à scinder la masse de terre sujette au glissement en une série de tranches verticales relativement minces, et de représenter les forces qui agissent sur chaque tranche. (G. Sanglerat, J. Costet ; 1983).



- a) Massif sujet au glissement, bras de levier des forces.
- b) Equilibre de la tranche de rang n (la surface de la tranche est hors d'eau).
- c) Equilibre de la tranche de rang n (la surface de la tranche est sous l'eau).

Figure (V-6) : Méthode des tranches. (G. Sanglerat, J. Costet ; 1983).

Le coefficient de sécurité F_s est défini comme le rapport :

$$F_s = \frac{\sum \text{Des moments résistants}}{\sum \text{Des moments moteurs}} \dots\dots\dots(8)$$

V-5-1- Choix du coefficient de sécurité F_s :

Le facteur de sécurité minimal F_s adopté est assez rarement inférieur à 1.5. Il peut quelques fois être égale à 2 voire à 2.5 pour des ouvrages dont la stabilité doit être garantie à tout prix (grand risque pour les personnes, site exceptionnel) ou pour des méthodes dont l'incertitude est grandes (analyse en contraintes totale avec risque d'erreur sur la valeur de la cohésion drainé).

Pour certains sites peu importants ou pour certains ouvrages courants, et lorsqu'il n'ya pas de risque pour la vie humaine, on peut accepter des valeurs plus faibles pendant un moment très court ou pour des fréquences faibles (1.2—1.1) mais pour pouvoir se rapprocher ainsi de 1 (c'est-à-dire de la rupture), il faut être sure de la validité des hypothèses et des paramètres adopter, ce qui est souvent difficile en géotechnique.

Le tableau ci-dessous, nous donne des valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage et des conditions particulières qui l'entoures.

Tableau (V- 1): Valeurs de F_s en fonction de l'importance de l'ouvrage.

F_s	Etat de l'ouvrage.
< 1	Danger.
1.0 --- 1.25	Sécurité contestable.
	Sécurité satisfaisante pour les ouvrages peu importants.
1.25 --- 1.4	Sécurité contestable pour les barrages, ou bien quand la rupture serait catastrophique.
> 1.4	Satisfaisante pour les barrages.

La définition des seuils des facteurs de sécurité dépend de l'approche adoptée, des fréquences de sollicitations de l'ouvrage en question et du risque crée par rupture. En condition normales FELLENIUS propose un seuil égal à 1.25, alors que F_s égale 1.5 pour BISHOP (l'approche de FELLINIUS est plus conservatoire que celui de BISHOP). (Site web)

a- Choix des caractéristiques géotechniques :

Pour le calcul de stabilité des talus il faut bien choisir les valeurs des caractéristiques mécaniques du sol qui sont :

- L'angle de frottement interne φ .

- La cohésion C.
- Le poids volumique humide γ_h .

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques mécaniques qu'on va les utiliser pour les calculs de stabilité de notre site. On prend en compte que le terrain étudié se compose de trois couches (la couverture argileuse du Quaternaire, l'alternance marno-gréseuse de l'Oligo-Miocène Kabyle et la couche marneuse au pied de talus).

On note que : pour les valeurs de l'angle de frottement interne ϕ et la cohésion C on prend toujours la valeur moyenne.

Tableau (V- 2) : Les caractéristiques géotechniques utilisés dans les calculs de (Fs).

Couche N°=	Les caractéristiques géotechniques.		
	L'angle de frottement ϕ (°)	La cohésion C (KN/ m ²)	Le poids volumique humide γ_h (KN/m ³)
01	10	31	19.8
02	14	40	20.8
03	23.5	26	22

b- Choix de la méthode de calcul :

Le critère fondamental dans le choix de la méthode de calcul est la forme de la surface de glissement.

En pratique, on considère trois types de ruptures :

- La rupture le long d'une surface plane.
- La rupture circulaire.
- la rupture le long d'une surface de forme quelconque.

Pour les ruptures planes les calculs sont très simples et des formules peuvent être définies pour obtenir facilement les conditions de stabilité.

En ce qui concerne les ruptures circulaires, les méthodes de calculs font très souvent appel à des hypothèses simplificatrices différentes et les coefficients de sécurité que l'on évalue sont donc différents.

Des études comparatives ont montré que la méthode de Bishop fournit de bons résultats. La méthode simplifiée est généralement employée car la méthode exacte n'améliore pas sensiblement la valeur de Fs et demande des calculs supplémentaires.

En première approximation, il est également possible d'utiliser la méthode de Fellenius qui est conservative. On estime voisine de 10 % la différence entre les coefficients de sécurité de Bishop et de Fellenius.

Pour les ruptures selon une surface quelconques, c'est la méthode des perturbations qui est la plus performante. Cependant son champ d'application demeure, à l'heure actuelle, relativement réduit. (A.Benaissa, 2003).

A nos jours, il existe plusieurs méthodes pour le calcul de stabilité de talus, les méthodes les plus utilisées sont :

- Méthode des tranches de Fellenius. (Méthode suédoise).
- Méthode des tranches de Bishop.
- Méthode de Taylor.
- Méthode de Fröhlich.

c- Détermination des cercles critiques de glissement :

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination du lieu des cercles (centre de glissement), parmi lesquelles, on distingue :

- Méthode de Terzaghi.
- Méthode de Taylor.
- Méthode de Xutavic.

c-1- Méthode de Terzaghi :

Cette méthode permet de déterminer les centres des cercles de glissement qui se trouvent sur l'axe (DO^*), le cercle le plus critique correspond au coefficient de sécurité minimal, les valeurs de (β_1, β_2) sont données au tableau suivant :

Tableau (V- 3): Les valeurs de (β_1, β_2). (A.Baghdad, mémoire de fin d'étude, 1994)

1 : m Pente	1.75 : 1	1 : 1	1 : 1.5	1 : 2	1 : 3	1 : 5
α	60°	45°	33° 41'	26° 34'	18° 25'	11° 9'
β_1	29°	28°	25°	25°	25°	25°
β_2	40°	37°	35°	35°	35°	35°

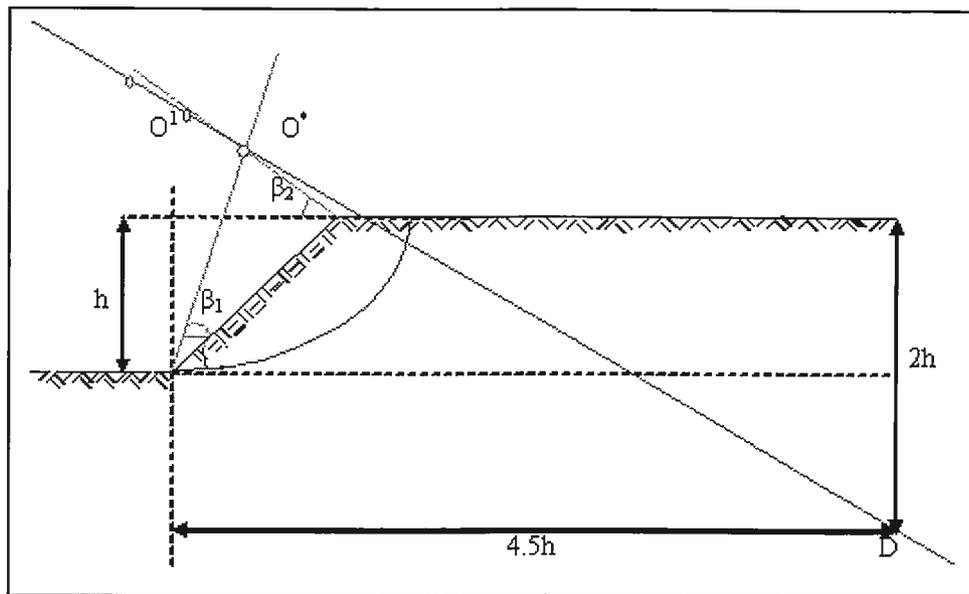


Figure (V-7) : Schéma représente le choix des cercles critiques par la méthode de Terzaghi. (A.Baghdad, mémoire de fin d'étude, 1994)

c-2- La méthode de Taylor :

Cette méthode permet de déterminer la position de la surface de glissement la plus possible pour ça on doit déterminer les valeurs de (β_0, α_0) en fonction de (β, α) , d'après les abaques de Taylor.

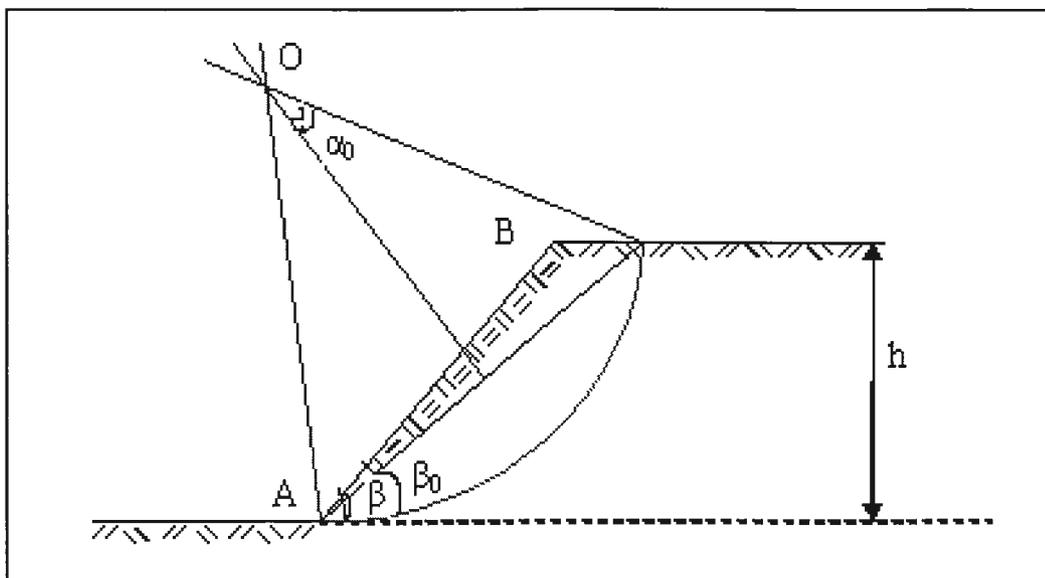


Figure (V-8) : Choix de cercle critique par la méthode de Taylor. (A.Baghdad, mémoire de fin d'étude, 1994)

c-3- La méthode de Xutavic :

D'après cet auteur, les cercles de glissements se trouvent dans la droite XBX' faisant un angle $\alpha = 35^\circ$ avec l'horizontal.

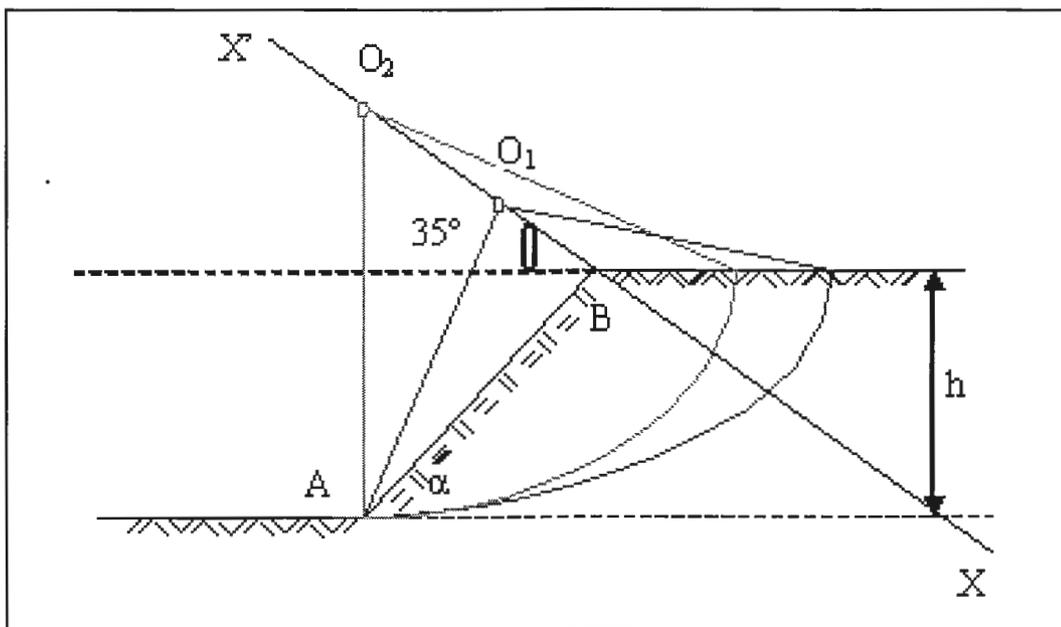


Figure (V- 9) : Choix du cercle critique par la méthode de Xutavic.
(A.Baghdad, mémoire de fin d'étude, 1994)

V-6- Calcul pratique de la stabilité des talus :

Dans cette partie on va prendre par description trois méthodes de calcul de stabilité des talus qui sont les suivantes :

- Méthode de Taylor.
- Méthode de Goldstein.
- Méthode des tranches de Fellenius.

V-6-1- Méthode de Taylor : (dite aussi méthode du cercle de frottement).

Cet auteur à introduit le coefficient de sécurité en : $F = \frac{C_u}{C''} \dots\dots\dots(9)$

Avec :

C_u : Cohésion non drainé du sol.

C'' : Cohésion correspondant strictement à la stabilité.

La valeur de C'' est déterminée par l'expression : $N_s = \frac{C''}{\gamma.H} \dots\dots\dots(10)$

Avec :

N_s : Nombre de Taylor tiré d'après l'abaque de ce dernier (grandeur sans dimension) en fonction de φ (angle de frottement interne) et β (angle d'inclinaison du talus).

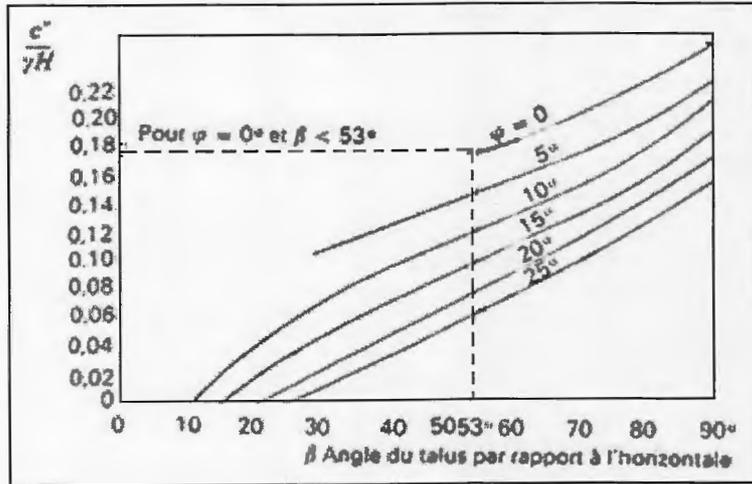


Figure (V- 10) : Abaque de Taylor pour la détermination de N_s .
(G. Sanglerat, J. Costet ; 1983).

H : Hauteur du talus en (m).

γ : Poids volumique en (KN/ m³).

❖ **Application pratique pour le site étudié:**

❖ **Pour le talus naturel :**

On a :

$$\beta = 22^\circ, \varphi = 12^\circ, \gamma = 20.3 \text{ (KN/m}^3\text{)}, H = 50\text{m}, C_u = 35.5 \text{ (KN/m}^2\text{)}.$$

D'après l'abaque de Taylor :

$$\frac{C''}{\gamma.H} = 0.04 \rightarrow C'' = 20.3 \times 50 \times 0.04 = 40.6$$

Donc : $F = \frac{C_u}{C''} = 0.87$

❖ **Pour le talus terrassé :**

On a :

$$\beta = 29^\circ, \varphi = 16^\circ, \gamma = 20.3 \text{ (KN/m}^3\text{)}, H = 36.3\text{m}, C_u = 35.5 \text{ (KN/m}^2\text{)}.$$

D'après l'abaque de Taylor :

$$\frac{C''}{\gamma.H} = 0.04 \rightarrow C'' = 20.3 \times 36.3 \times 0.04 = 29.47$$

$$F = \frac{C_u}{C''} = 1.20$$

V-6-2- Méthode de Goldstein :

D'après cette méthode le coefficient de sécurité est déterminé d'après la formule suivante :

$$F = f.A + \frac{C_u}{\gamma.H} .B \dots \dots \dots (11)$$

Avec : A et B : coefficients dépendants de la pente du talus données dans le tableau de Goldstein.

Et f : c'est $\tan \phi$.

H : La hauteur du talus (m).

C_u : La cohésion non drainé du sol (KN/ m²).

γ_h : Le poids volumique humide (KN/m³).

Tableau (V- 4) Les valeurs des coefficients A et B de Goldstein.

1 : m	1 : 1	1 : 1.25	1 : 1.15	1 : 1.75	1 : 2	1 : 2.25	1 : 2.5	1 : 2.75	1 : 3
β	45°	38° 65'	33° 69'	29° 74'	26° 56'	23° 96'	21° 80'	19° 98'	18° 43'
A	2.34	2.64	2.64	2.87	3.23	3.19	3.53	3.59	3.59
B	5.79	6.05	6.50	6.58	6.70	7.27	7.30	8.02	8.91

❖ **Application pratique pour le site étudié:**

❖ **Pour le talus naturel :**

La pente de talus est : 22°

Coefficients correspondent à la pente 22° : $\begin{cases} A = 3.53 \\ B = 7.30 \end{cases}$

La hauteur de talus : H = 50 m.

Le poids volumique humide : $\gamma_h = 20.3 \text{ KN/m}^3$.

La cohésion : $C_u = 35.5 \text{ KN/m}^2$.

L'angle de frottement interne : $\varphi = 12^\circ$: Donc : $f = \tan 12^\circ = 0.212$

Et on a : $F = f \cdot A + \frac{C_u}{\gamma \cdot H} \cdot B = 1.003$

❖ **Pour le talus terrassé :**

La pente de talus : 29°

Coefficients correspondent à la pente 29° : $\left\{ \begin{array}{l} A = 2.87 \\ B = 6.58 \end{array} \right.$

La hauteur de talus terrassé : $H = 36.3\text{m}$

Le poids volumique humide : $\gamma_h = 20.3\text{KN/m}^3$

La cohésion : $C_u = 35.5 \text{ KN/m}^2$

L'angle de frottement : $\varphi = 16^\circ$: $\tan 16^\circ = 0.286$

Et on a : $F = f \cdot A + \frac{C_u}{\gamma \cdot H} \cdot B = 1.13$

On note que les valeurs de γ , φ , C_u , sont des valeurs moyennes des 3 couches.

V-6-3-Méthode des tranches de Fellenius :

V-6-3-1- En absence de nappe :

Dans cette méthode, on suppose que la surface de rupture potentielle est circulaire, est on néglige totalement les efforts inter tranches, qui se divisent en efforts verticaux V_n et V_{n+1} et horizontaux H_n et H_{n+1} . Considérons un talus recoupant un certain nombre de couches de sol de caractéristiques différentes : C_i , φ_i , γ_i .

On veut déterminer le coefficient de sécurité vis- à- vis du glissement (F_s), il est défini :

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments résistants}}{\sum \text{Moments moteurs}}$$

Soit un cercle quelconque de centre « O » et de rayon « R ».

Cette méthode consiste à diviser le volume concerné dans l'arc E M F en une série de tranches verticales (Figure V- 11). (G. Philliponnat, et H.Bertrand ; 2003).

- Les réactions sur les faces verticales B C et A D décomposées en réactions horizontales : H_n et H_{n+1} , et en réactions verticales V_n et V_{n+1}

Par rapport au centre « O » on peut définir : (Figure V- 12 b)

a- Moments moteurs : Celui du poids des terres, de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles tendant à provoquer le glissement.

b- Moments résistants : Celui des réactions s'opposant au glissement.

Le moment résistant est fourni par la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle R_n .

D'après Coulomb : $R_n = C_i \cdot AB + N_n \operatorname{tg} \varphi_i \dots\dots\dots(12)$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches sera :

$$\sum_{n=1}^{n=m} (C_i \cdot AB + N_n \operatorname{tg} \varphi_i)$$

Avec : m : nombre total des tranches.

C_i, φ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle se trouve AB

$$\Rightarrow F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + N_n \operatorname{tg} \varphi_i]}{\sum_{n=1}^{n=m} T_n} \dots\dots\dots(13).$$

$$\text{Avec: } \begin{cases} N_n = W \cos \alpha. \\ T_n = W \sin \alpha. \\ L = AB = b / \cos \alpha. \end{cases}$$

La formule (1) devient :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[C_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + W_i \cdot \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \dots\dots\dots(14).$$

Remarque :

Les Paramètres géométriques intervenant dans le calcul de F_s sont :

b : la largeur des tranches.

α : l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de la tranche avec la verticale. Et La hauteur de la tranche pour le calcul du poids (W).

V-6-3-2- En présence de nappe :

La prise en compte des écoulements est assez délicate. La méthode des tranches de Fellenius est appliquée en utilisant l'équation de Coulomb :

$$\tau = C + (\sigma - U) \operatorname{tg}\varphi \dots \dots \dots (15)$$

La pression interstitielle « U » en chaque point du massif de sol se détermine à partir du réseau d'écoulement.

Considérons la tranche A B C D (Figure V- 13), la valeur de « U » est donnée sur la figure par :

$$U = \gamma_w \cdot Z_w \dots \dots \dots (16)$$

Z_w : La distance entre le point M et le point N où l'équipotentielle passant par M recoupe la surface libre.

Par définition de l'équipotentielle, les charges hydrauliques en M et en N sont identiques On a donc :

$$U = (Z_n - Z_m) \gamma_w \dots \dots \dots (17)$$

V-7-1- Calcul du coefficient de sécurité global :

Soit : **W** : le poids total de la tranche AB C D, V_1 et V_2 les volumes :

$$W = \gamma_h \cdot V_1 + \gamma_{sat} \cdot V_2 \dots \dots \dots (18)$$

N et **T** : les composantes normale et tangentielle sur l'arc AB du poids W de la tranche ABCD (Figure V- 13).

La résistance maximale au cisaillement le long de AB est donnée par :

$$C \cdot AB + (N - U \cdot AB) \operatorname{tg} \varphi$$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches :

$$\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (N - U \cdot AB) \operatorname{tg} \varphi_i] \Rightarrow F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} [C_i \cdot AB + (W_i \cdot \cos \alpha_i - U \cdot AB) \operatorname{tg} \varphi_i]}{\sum_{n=1}^{n=m} T} \dots \dots \dots (19)$$

La formule devient : $F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=m} \left[C_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} + \left(W_i \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b_i}{\cos \alpha_i} \right) \operatorname{tg} \varphi_i \right]}{\sum_{n=1}^{n=m} W_i \cdot \sin \alpha_i} \dots \dots \dots (20)$

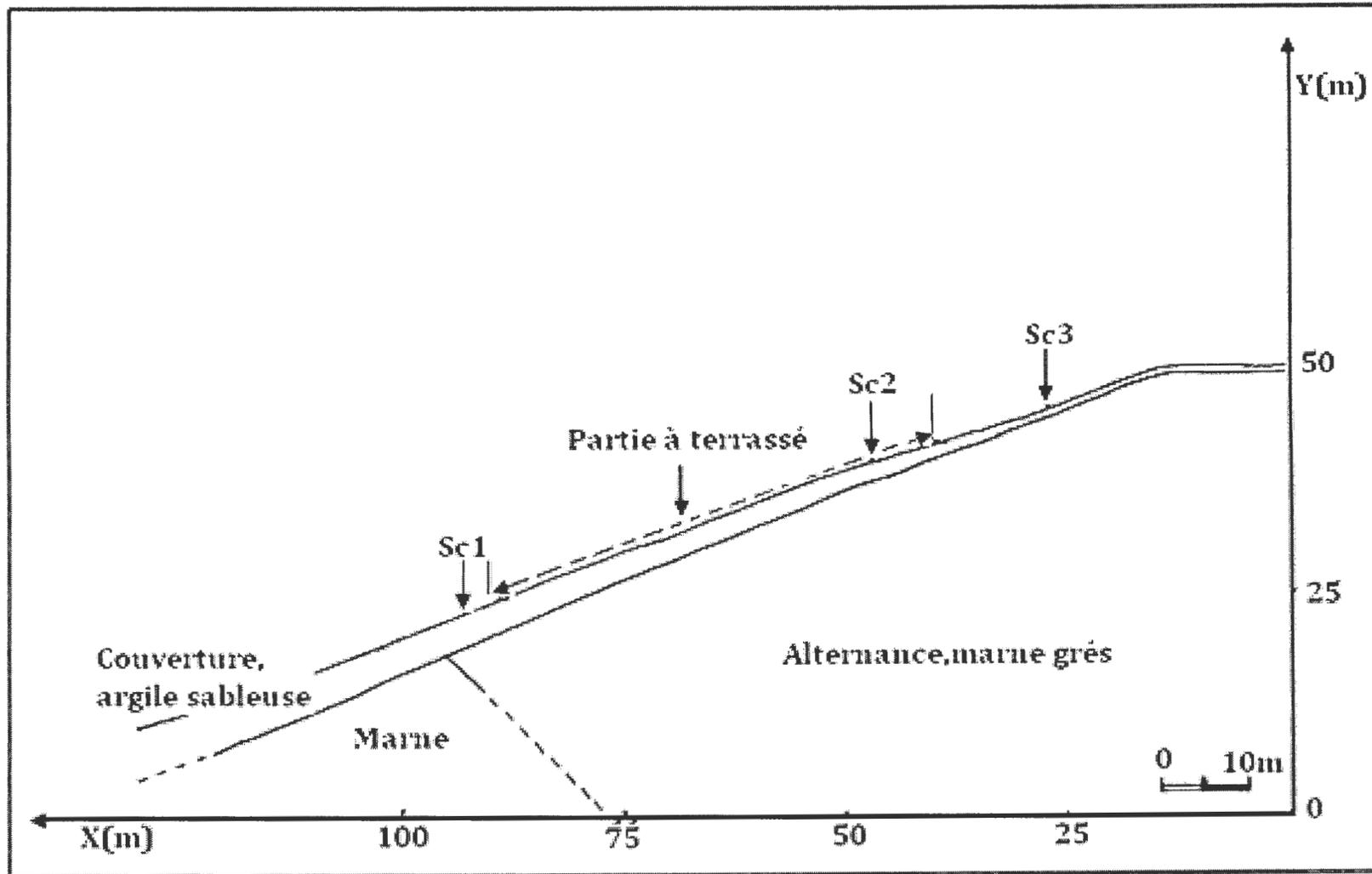


Figure (V- 14) : Schéma du talus naturel.

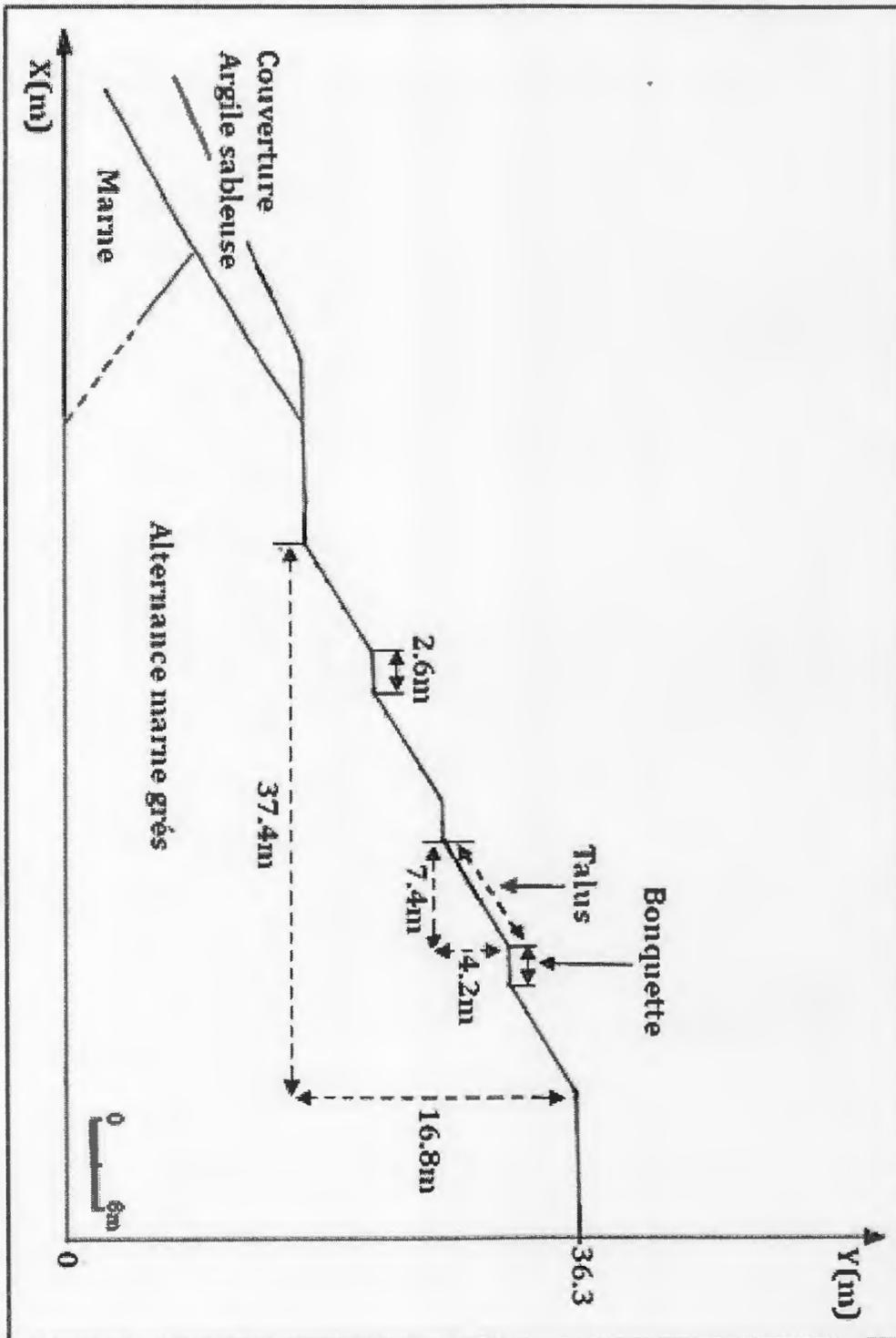


Figure (V-15) : Schéma du talus terrassé.

V-7-2-1 : Calcul manuel :

Dans les calculs manuels on a calculé trois cercles pour le talus naturel et trois cercles pour le talus terrassé. D'où les résultats sont représentés dans les tableaux et les diagrammes ci-dessous.

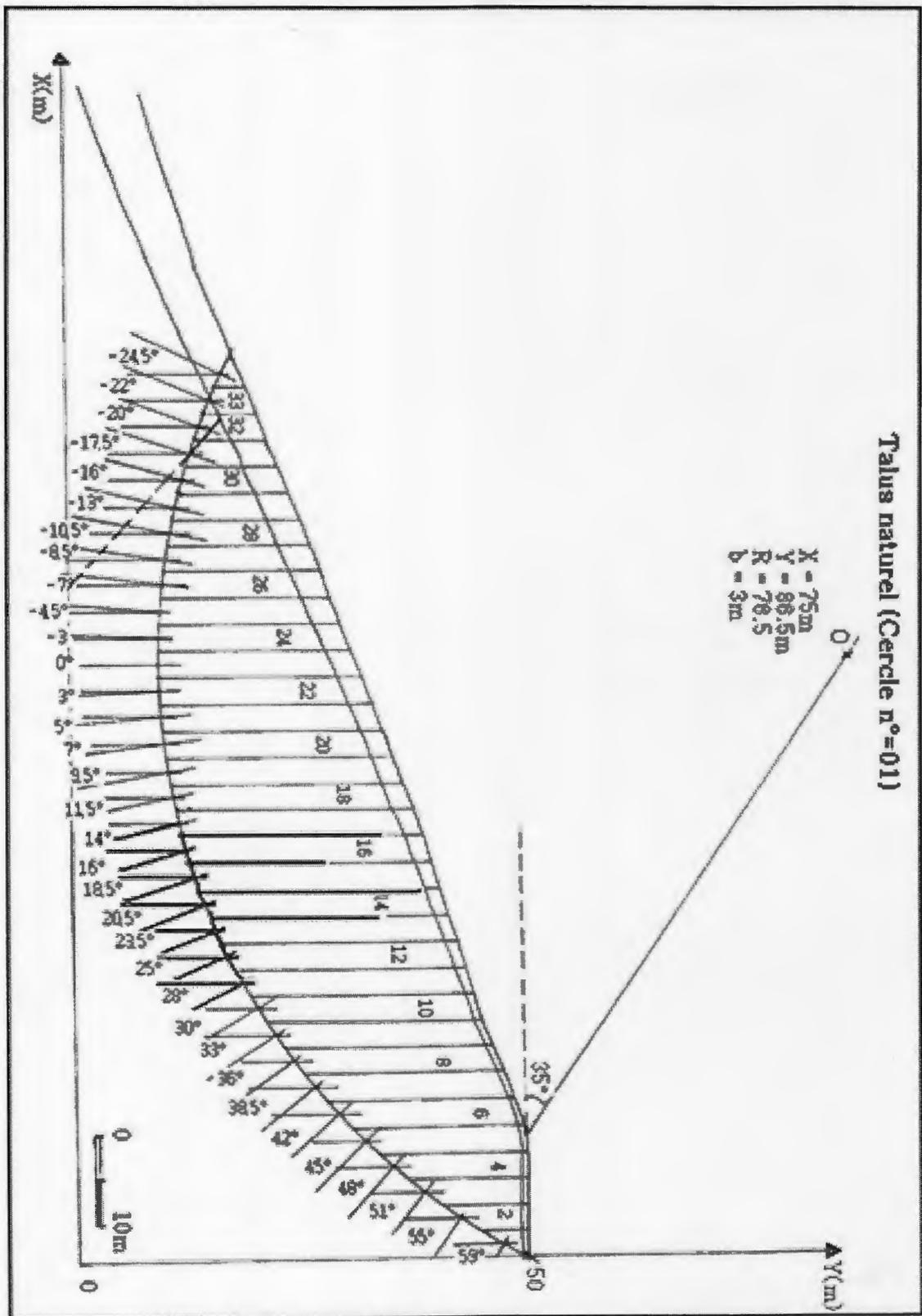


Figure (V-16) : Calcul manuel du talus naturel.

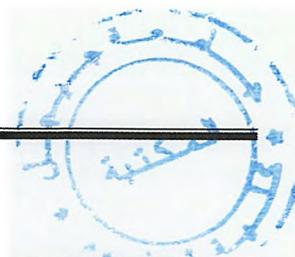


Tableau (V-5) : Talus naturel (cercle 01).

Tranche n°	W1 (KN)	W2 (KN)	W3 (KN)	Wt (KN)	α°	Sin α	Wt Sin α	Cos α	Wt Cos α	b	b / Cos α
1	32,67	114,4	0	147,07	59	0,857	126,03899	0,515	75,74105	3	5,82524272
2	35,64	414,96	0	450,6	55	0,819	369,0414	0,573	258,1938	3	5,23560209
3	35,64	672,36	0	708	51	0,777	550,116	0,629	445,332	3	4,76947536
4	35,64	890,76	0	926,4	48	0,743	688,3152	0,669	619,7616	3	4,48430493
5	35,64	1073,28	0	1108,92	45	0,707	784,00644	0,707	784,00644	3	4,24328147
6	39,35	1216,8	0	1256,15	42	0,669	840,36435	0,743	933,31945	3	4,03768506
7	48,11	1310,4	0	1358,51	38,5	0,622	844,99322	0,782	1062,35482	3	3,83631714
8	64,35	1372	0	1436,35	36	0,587	843,13745	0,809	1162,00715	3	3,70828183
9	48,26	1435,2	0	1483,46	33	0,544	807,00224	0,838	1243,13948	3	3,57995227
10	48,26	1489,69	0	1537,95	30	0,5	768,975	0,866	1331,8647	3	3,46420323
11	56,3	1513,2	0	1569,5	28	0,469	736,0955	0,882	1384,299	3	3,40136054
12	80,38	1544,4	0	1624,78	25	0,422	685,65716	0,906	1472,05068	3	3,31125828
13	80,38	1560	0	1640,38	23,5	0,398	652,87124	0,917	1504,22846	3	3,27153762
14	96,52	1552,2	0	1648,72	20,5	0,35	577,052	0,936	1543,20192	3	3,20512821
15	128,7	1552,09	0	1680,79	18,5	0,317	532,81043	0,948	1593,38892	3	3,16455696
16	128,7	1544,4	0	1673,1	16	0,275	460,1025	0,961	1607,8491	3	3,12174818
17	133,65	1521	0	1654,65	14	0,241	398,77065	0,97	1605,0105	3	3,09278351
18	141,07	1482	0	1623,07	11,5	0,199	322,99093	0,979	1588,98553	3	3,06435138
19	160,87	1443	0	1603,87	9,5	0,165	264,63855	0,986	1581,41582	3	3,04259635
20	160,87	1396,2	0	1557,07	7	0,121	188,40547	0,992	1544,61344	3	3,02419355
21	168,3	1341,6	0	1509,9	5	0,087	131,3613	0,996	1503,8604	3	3,01204819
22	176,71	1263,6	0	1440,31	3	0,052	74,89612	0,998	1437,42938	3	3,00601202
23	185,13	1201,2	0	1386,33	0	0	0	1	1386,33	3	3
24	193,54	1099,8	0	1293,34	-3	-0,052	-67,25368	0,998	1290,75332	3	3,00601202
25	201,96	1014	0	1215,96	-4,5	-0,078	-94,84488	0,996	1211,09616	3	3,01204819
26	201,96	928,2	0	1130,16	-7	-0,121	-136,74936	0,992	1121,11872	3	3,02419355
27	209,13	842,4	0	1051,53	-8,5	-0,147	-154,57491	0,989	1039,96317	3	3,03336704
28	225,22	702	0	927,22	-10,5	-0,182	-168,75404	0,983	911,45726	3	3,05188199
29	225,22	585	0	810,22	-13	-0,224	-181,48928	0,974	789,15428	3	3,08008214
30	249,03	452,4	0	701,43	-16	-0,275	-192,89325	0,961	674,07423	3	3,12174818
31	257,4	296,4	0	553,8	-17,5	-0,3	-166,14	0,953	527,7714	3	3,14795383
32	257,4	78	82,5	417,9	-20	-0,342	-142,9218	0,939	392,4081	3	3,19488818
33	252,45	0	33	285,45	-22	-0,374	-106,7583	0,927	264,61215	3	3,23624595
34	126,12	0	0	126,12	-24,5	-0,414	-52,21368	0,909	114,64308	3	3,30033003
Somme							10183,049		36005,4355		118,110672
				ϕ°	15,83						
				tang ϕ	0,283						
				C (KN/m ²)	32,33						
				Fs	1,376						

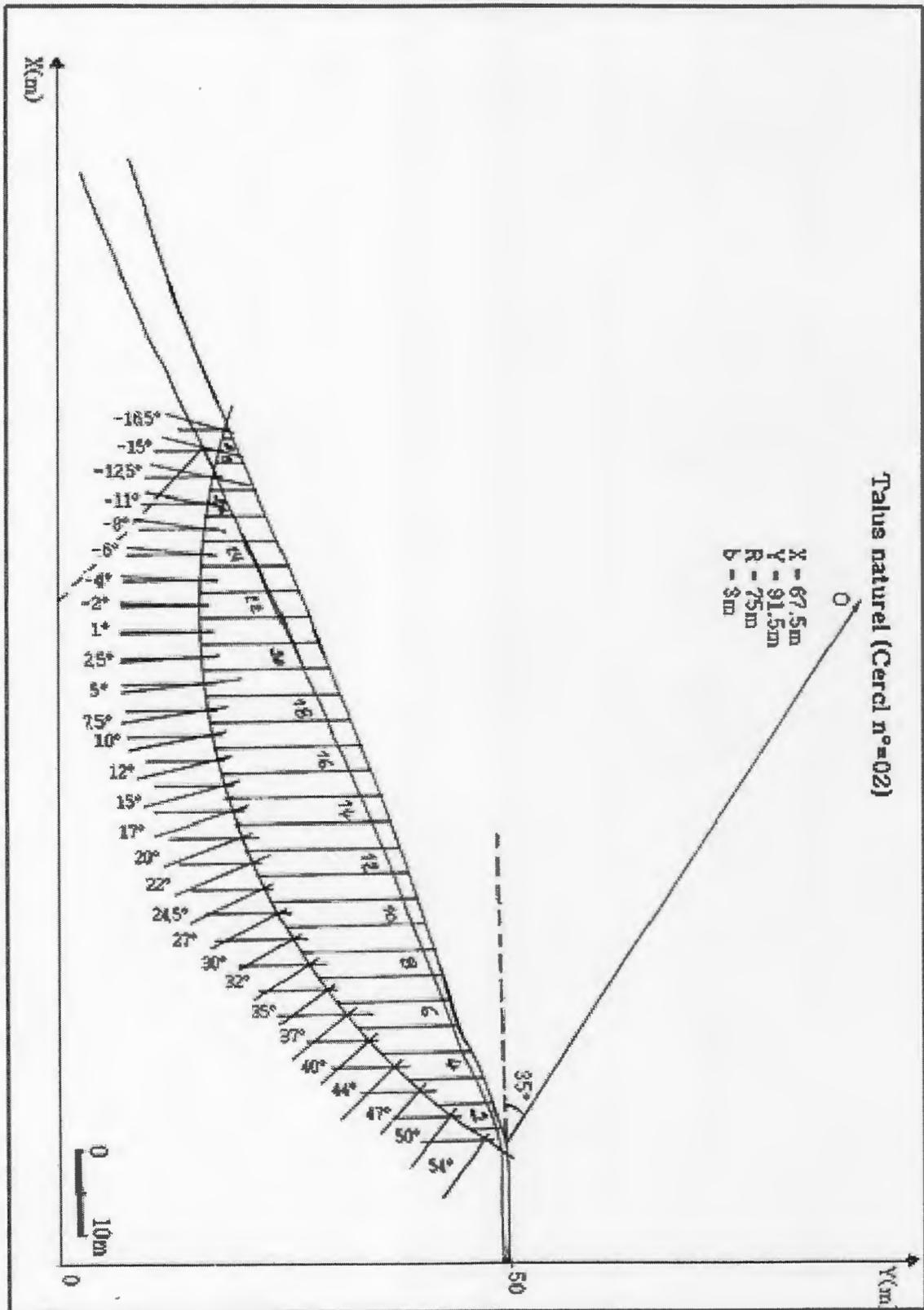


Figure (V-17) : Calcul manuel du talus naturel.

Tableau (V-6) : Talus naturel (cercle 02).

Tranche n°	W1 (KN)	W2 (KN)	Wt (KN)	α°	Sin α	Wt Sin α	Cos α	Wt Cos α	b	b / Cos α
1	35,64	84,5	120,14	54	0,809	97,19326	0,587	70,52218	3	5,11073254
2	44,55	280,8	325,35	50	0,766	249,2181	0,642	208,8747	3	4,6728972
3	59,4	421,2	480,6	47	0,731	351,3186	0,681	327,2886	3	4,40528634
4	64,35	545,89	610,24	44	0,694	423,50656	0,719	438,76256	3	4,17246175
5	64,35	631,69	696,04	40	0,642	446,85768	0,766	533,16664	3	3,91644909
6	64,35	717,6	781,95	37	0,601	469,95195	0,798	623,9961	3	3,7593985
7	72,07	811,2	883,27	35	0,573	506,11371	0,819	723,39813	3	3,66300366
8	80,38	873,36	953,74	32	0,529	504,52846	0,848	808,77152	3	3,53773585
9	80,38	920,4	1000,78	30	0,5	500,39	0,866	866,67548	3	3,46420323
10	81,67	928,2	1009,87	27	0,453	457,47111	0,891	899,79417	3	3,36700337
11	112,61	943,8	1056,41	24,5	0,414	437,35374	0,909	960,27669	3	3,30033003
12	128,7	959,4	1088,1	22	0,374	406,9494	0,927	1008,6687	3	3,23624595
13	144,78	967,2	1111,98	20	0,342	380,29716	0,939	1044,14922	3	3,19488818
14	160,87	967,2	1128,07	17	0,292	329,39644	0,956	1078,43492	3	3,13807531
15	160,87	936	1096,87	15	0,258	282,99246	0,965	1058,47955	3	3,10880829
16	160,87	889,2	1050,07	12	0,207	217,36449	0,978	1026,96846	3	3,06748466
17	168,91	858	1026,91	10	0,173	177,65543	0,984	1010,47944	3	3,04878049
18	185	803,4	988,4	7,5	0,13	128,492	0,991	979,5044	3	3,02724521
19	193,05	748,8	941,85	5	0,087	81,94095	0,996	938,0826	3	3,01204819
20	193,05	686,4	879,45	2,5	0,043	37,81635	0,999	878,57055	3	3,003003
21	193,05	624	817,05	1	0,017	13,88985	0,999	816,23295	3	3,003003
22	209,13	546	755,13	-2	-0,034	-25,67442	0,999	754,37487	3	3,003003
23	225,22	452,4	677,62	-4	-0,069	-46,75578	0,997	675,58714	3	3,00902708
24	225,22	358,8	584,02	-6	-0,104	-60,73808	0,994	580,51588	3	3,01810865
25	233,26	265,2	498,46	-8	-0,139	-69,28594	0,99	493,4754	3	3,03030303
26	241,31	156	397,31	-11	-0,19	-75,4889	0,981	389,76111	3	3,05810398
27	233,26	31,2	264,46	-12,5	-0,216	-57,12336	0,976	258,11296	3	3,07377049
28	148,5	0	148,5	-15	-0,258	-38,313	0,965	143,3025	3	3,10880829
29	29,7	0	29,7	-16,5	-0,284	-8,4348	0,958	28,4526	3	3,13152401
Somme						6118,88342		19624,68		98,6417324
				ϕ°	15,83					
				tang ϕ	0,283					
				C (KN/m ²)	32,33					
				Fs	1,429					

Tableau (V-7) : Talus naturel (cercle 03).

Tranche n°	W1 (KN)	W2 (KN)	wT (KN)	α°	Sin α	WT Sin α	Cos α	WT Cos α	b	b / Cos α
1	35,64	78	113,64	53	0,798	90,68472	0,601	68,29764	3	4,99168053
2	44,55	265,2	309,75	48	0,743	230,14425	0,669	207,22275	3	4,48430493
3	59,4	382,09	441,49	43	0,681	300,65469	0,731	322,72919	3	4,10396717
4	64,35	467,79	532,14	39	0,629	334,71606	0,777	413,47278	3	3,86100386
5	64,35	553,69	618,04	35	0,573	354,13692	0,819	506,17476	3	3,66300366
6	64,35	569,4	633,75	31	0,515	326,38125	0,857	543,12375	3	3,50058343
7	72,07	577,2	649,27	27	0,453	294,11931	0,891	578,49957	3	3,36700337
8	80,38	639,6	719,98	23	0,39	280,7922	0,92	662,3816	3	3,26086957
9	80,38	655,2	735,58	19	0,325	239,0635	0,945	695,1231	3	3,17460317
10	81,67	639,39	721,06	15,5	0,267	192,52302	0,963	694,38078	3	3,1152648
11	112,61	639,39	752	12	0,207	155,664	0,978	735,456	3	3,06748466
12	128,7	616,09	744,79	9	0,156	116,18724	0,987	735,10773	3	3,03951368
13	144,78	530,4	675,18	5,5	0,095	64,1421	0,995	671,8041	3	3,01507538
14	160,87	483,6	644,47	2	0,034	21,91198	0,999	643,82553	3	3,003003
15	160,87	413,4	574,27	-1,5	-0,026	-14,93102	0,999	573,69573	3	3,003003
16	160,87	327,6	488,47	-4,5	-0,078	-38,10066	0,996	486,51612	3	3,01204819
17	168,91	226,2	395,11	-8	-0,139	-54,92029	0,99	391,1589	3	3,03030303
18	185	117	302	-11	-0,19	-57,38	0,981	296,262	3	3,05810398
19	133,65	15,6	149,25	-15	-0,258	-38,5065	0,965	144,02625	3	3,10880829
20	30,93	0	30,93	-18	-0,309	-9,55737	0,951	29,41443	3	3,15457413
Somme						2787,7254		9398,67271		68,0142018
				ϕ°	15,83					
				tang ϕ	0,283					
				C (KN/m ²)	32,33					
				Fs	1,743					

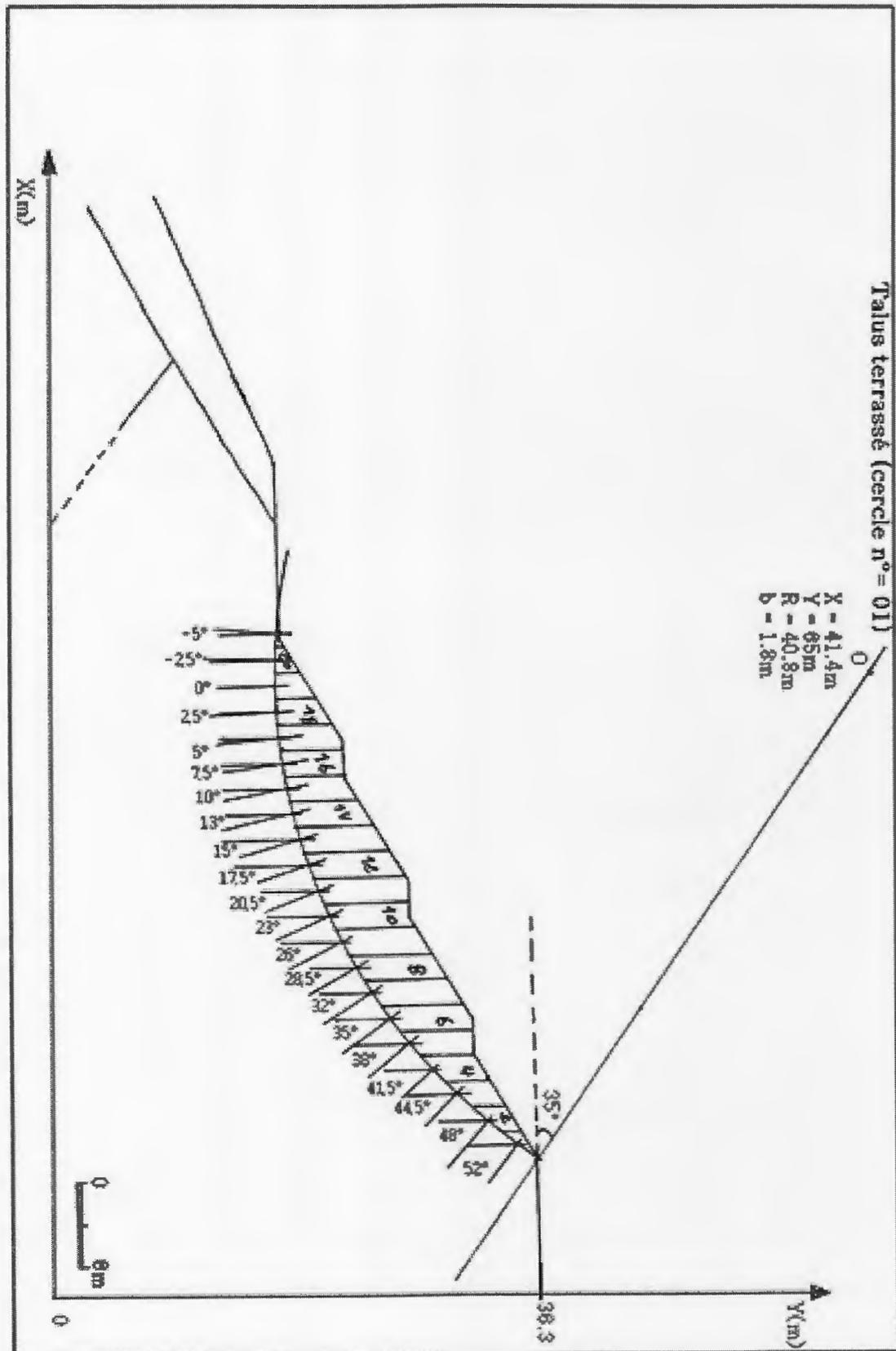


Figure (V-19) : Calcul pratique du talus terrassé.

Tableau (V-8) : Talus terrassé (cercle 01).

Tranche n°	W (KN)	α°	Sin α	W Sin α	Cos α	W Cos α	b	b / Cos α
1	28,08	52	0,788	22,12704	0,615	17,2692	1,8	2,92682927
2	70,09	48	0,743	52,07687	0,669	46,89021	1,8	2,69058296
3	101,08	44,5	0,7	70,756	0,713	72,07004	1,8	2,52454418
4	126,25	41,5	0,662	83,5775	0,748	94,435	1,8	2,40641711
5	162,86	38	0,615	100,1589	0,788	128,33368	1,8	2,28426396
6	206,75	35	0,573	118,46775	0,819	169,32825	1,8	2,1978022
7	213,2	32	0,529	112,7828	0,848	180,7936	1,8	2,12264151
8	213,2	28,5	0,477	101,6964	0,878	187,1896	1,8	2,0501139
9	210,49	26	0,438	92,19462	0,898	189,02002	1,8	2,00445434
10	207,79	23	0,39	81,0381	0,92	191,1668	1,8	1,95652174
11	228,38	20,5	0,35	79,933	0,936	213,76368	1,8	1,92307692
12	230,15	17,5	0,3	69,045	0,953	219,33295	1,8	1,8887723
13	210,49	15	0,258	54,30642	0,965	203,12285	1,8	1,86528497
14	188,03	13	0,224	42,11872	0,974	183,14122	1,8	1,84804928
15	159,95	10	0,173	27,67135	0,984	157,3908	1,8	1,82926829
16	157,24	7,5	0,13	20,4412	0,991	155,82484	1,8	1,81634712
17	156,2	5	0,087	13,5894	0,996	155,5752	1,8	1,80722892
18	120,64	2,5	0,043	5,18752	0,999	120,51936	1,8	1,8018018
19	84,24	0	0	0	1	84,24	1,8	1,8
20	44,92	-2,5	-0,043	-1,93156	0,999	44,87508	1,8	1,8018018
21	10,19	-5	-0,087	-0,88653	0,996	10,14924	1,8	1,80722892
Somme				1144,3505		2824,43162		43,3530315
			ϕ°	15,83				
			tang ϕ	0,283				
			C (KN/m2)	32,33				
			Fs	1,92329				

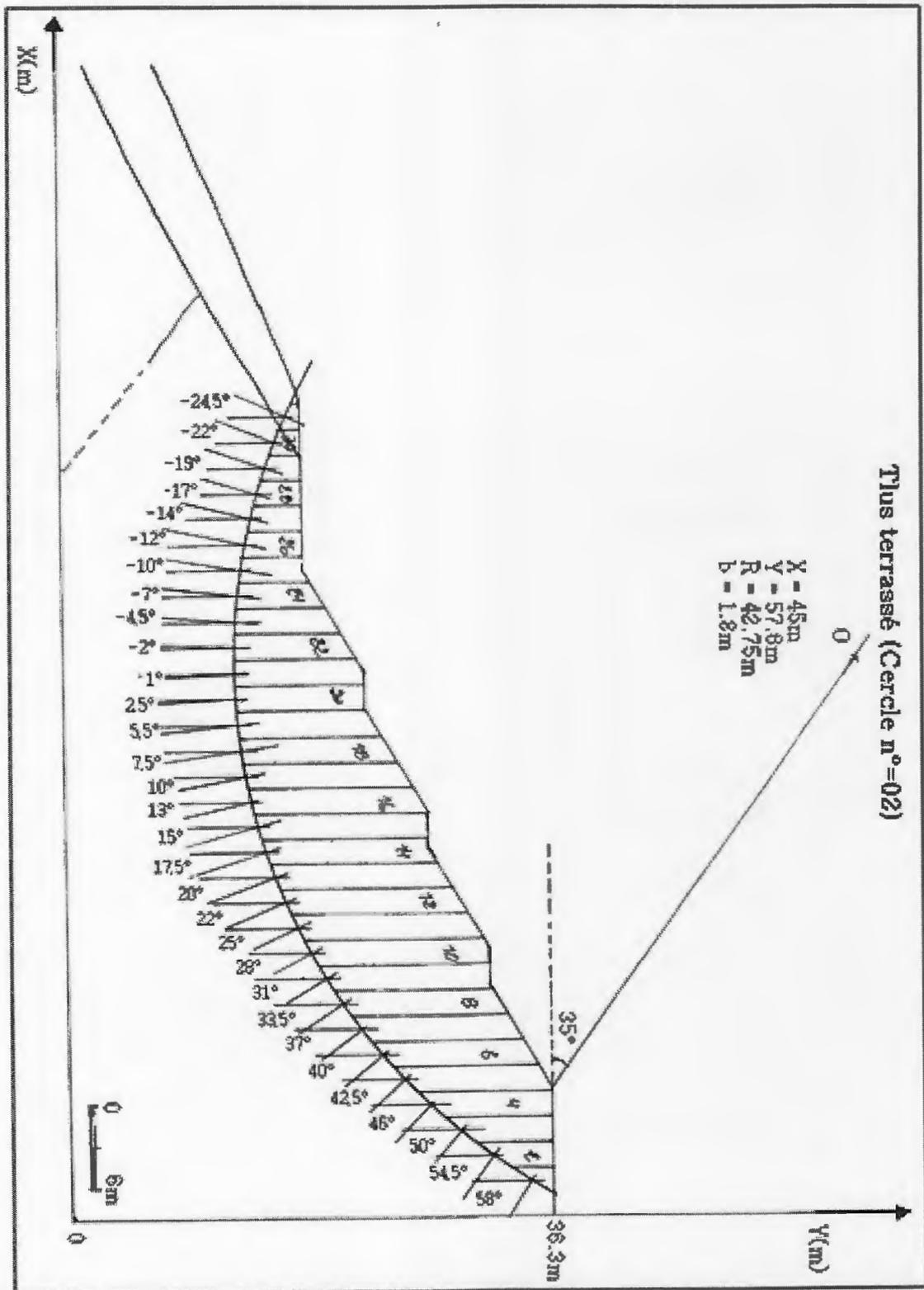


Figure (V-20) : Calcul manuel du talus terrassé.

Chapitre V : Etude de stabilité.

Tableau (V-9) : Talus terrassé (cercle 02).

Tranche n°	W1 (KN)	W2 (KN)	Wt (KN)	α°	Sin α	W Sin α	Cos α	W Cos α	b	b / Cos α
1	0	56,16	56,16	58	0,848	47,62368	0,529	29,70864	1,8	3,4026465
2	0	157,24	157,24	54,5	0,814	127,99336	0,58	91,1992	1,8	3,10344828
3	0	241,48	241,48	50	0,766	184,97368	0,642	155,03016	1,8	2,80373832
4	0	314,49	314,49	46	0,719	226,11831	0,694	218,25606	1,8	2,59365994
5	0	365,04	365,04	42,5	0,675	246,402	0,737	269,03448	1,8	2,44233379
6	0	390,2	390,2	40	0,642	250,5084	0,766	298,8932	1,8	2,34986945
7	0	401,44	401,44	37	0,601	241,26544	0,798	320,34912	1,8	2,2556391
8	0	401,44	401,44	33,5	0,551	221,19344	0,843	338,41392	1,8	2,13523132
9	0	426,81	426,81	31	0,515	219,80715	0,857	365,77617	1,8	2,10035006
10	0	460,51	460,51	28	0,469	215,97919	0,882	406,16982	1,8	2,04081633
11	0	460,3	460,3	25	0,422	194,2466	0,906	417,0318	1,8	1,98675497
12	0	446,36	446,36	22	0,374	166,93864	0,927	413,77572	1,8	1,94174757
13	0	435,13	435,13	20	0,342	148,81446	0,939	408,58707	1,8	1,91693291
14	0	421,2	421,2	17,5	0,3	126,36	0,953	401,4036	1,8	1,8887723
15	0	432,43	432,43	15	0,258	111,56694	0,965	417,29495	1,8	1,86528497
16	0	432,22	432,22	13	0,224	96,81728	0,974	420,98228	1,8	1,84804928
17	0	407,05	407,05	10	0,173	70,41965	0,984	400,5372	1,8	1,82926829
18	0	381,88	381,88	7,5	0,13	49,6444	0,991	378,44308	1,8	1,81634712
19	0	348,19	348,19	5,5	0,095	33,07805	0,995	346,44905	1,8	1,80904523
20	0	325,72	325,72	2,5	0,043	14,00596	0,999	325,39428	1,8	1,8018018
21	0	325,72	325,72	1	0,017	5,53724	0,999	325,39428	1,8	1,8018018
22	0	289,12	289,12	-2	-0,034	-9,83008	0,999	288,83088	1,8	1,8018018
23	0	247,1	247,1	-4,5	-0,078	-19,2738	0,996	246,1116	1,8	1,80722892
24	0	199,26	199,26	-7	-0,121	-24,11046	0,992	197,66592	1,8	1,81451613
25	0	154,33	154,33	-10	-0,173	-26,69909	0,984	151,86072	1,8	1,82926829
26	0	140,4	140,4	-12	-0,207	-29,0628	0,978	137,3112	1,8	1,8404908
27	0	126,25	126,25	-14	-0,241	-30,42625	0,97	122,4625	1,8	1,8556701
28	0	109,4	109,4	-17	-0,292	-31,9448	0,956	104,5864	1,8	1,88284519
29	0	89,85	89,85	-19	-0,325	-29,20125	0,945	84,90825	1,8	1,9047619
30	21,38	39,31	60,69	-22	-0,374	-22,69806	0,927	56,25963	1,8	1,94174757
31	32,07	0	32,07	-24,5	-0,414	-13,27698	0,909	29,15163	1,8	1,98019802
Somme						2762,7703		8167,27281		64,392068
				ϕ°	15,83					
				tang ϕ	0,283					
				C (KN/m2)	32,33					
				Fs	1,59					

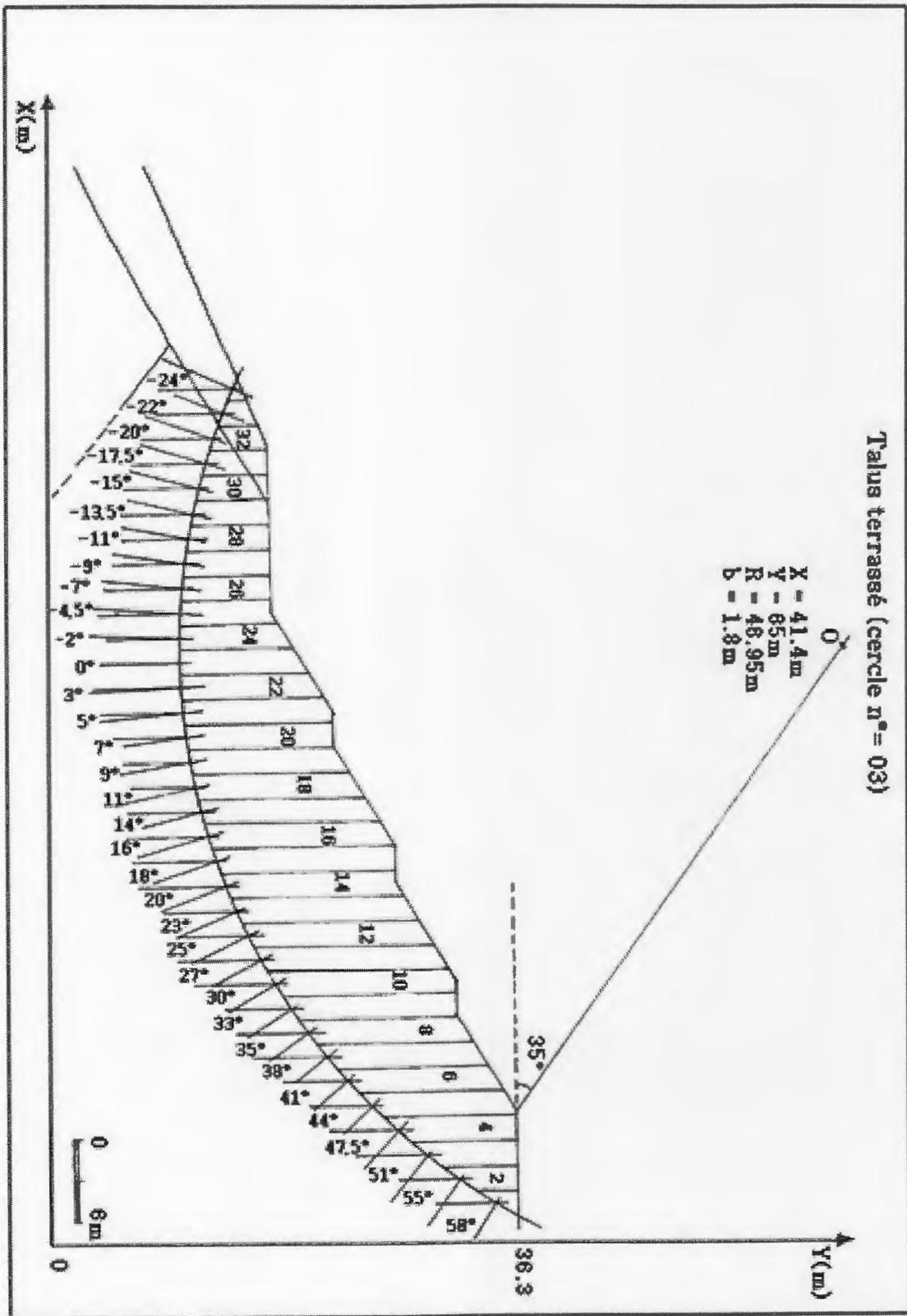


Figure (V-21) : Calcul manuel du talus terrassé.

Tableau (V-10) : Talus terrassé (cercle 03).

Tranche n°	W1(KN)	W2(KN)	Wt(KN)	α°	Sin α	Wt Sin α	Cos α	Wt Cos α	b	b/ Cos α
1	0	55,12	55,12	58	0,848	46,74176	0,529	29,15848	1,8	3,4026465
2	0	153,5	153,5	55	0,819	125,7165	0,573	87,9555	1,8	3,14136126
3	0	238,57	238,57	51	0,777	185,36889	0,629	150,06053	1,8	2,86168521
4	0	314,49	314,49	47,5	0,737	231,77913	0,675	212,28075	1,8	2,66666667
5	0	365,04	365,04	44	0,694	253,33776	0,719	262,46376	1,8	2,50347705
6	0	383,76	383,76	41	0,656	251,74656	0,754	289,35504	1,8	2,3872679
7	0	397,69	397,69	38	0,615	244,57935	0,788	313,37972	1,8	2,28426396
8	0	415,58	415,58	35	0,573	238,12734	0,819	340,36002	1,8	2,1978022
9	0	438,04	438,04	33	0,544	238,29376	0,838	367,07752	1,8	2,14797136
10	0	477,15	477,15	30	0,5	238,575	0,866	413,2119	1,8	2,07852194
11	0	474,44	474,44	27	0,453	214,92132	0,891	422,72604	1,8	2,02020202
12	0	480,06	480,06	25	0,422	202,58532	0,906	434,93436	1,8	1,98675497
13	0	463,21	463,21	23	0,39	180,6519	0,92	426,1532	1,8	1,95652174
14	0	451,98	451,98	20	0,342	154,57716	0,939	424,40922	1,8	1,91693291
15	0	471,74	471,74	18	0,309	145,76766	0,951	448,62474	1,8	1,89274448
16	0	474,44	474,44	16	0,275	130,471	0,961	455,93684	1,8	1,87304891
17	0	449,07	449,07	14	0,241	108,22587	0,97	435,5979	1,8	1,8556701
18	0	426,81	426,81	11	0,19	81,0939	0,981	418,70061	1,8	1,83486239
19	0	398,73	398,73	9	0,156	62,20188	0,987	393,54651	1,8	1,82370821
20	0	387,5	387,5	7	0,121	46,8875	0,992	384,4	1,8	1,81451613
21	0	387,5	387,5	5	0,087	33,7125	0,996	385,95	1,8	1,80722892
22	0	353,8	353,8	3	0,052	18,3976	0,998	353,0924	1,8	1,80360721
23	0	320,11	320,11	0	0	0	1	320,11	1,8	1,8
24	0	280,8	280,8	-2	-0,034	-9,5472	0,999	280,5192	1,8	1,8018018
25	0	241,48	241,48	-4,5	-0,078	-18,83544	0,996	240,51408	1,8	1,80722892
26	0	230,25	230,25	-7	-0,121	-27,86025	0,992	228,408	1,8	1,81451613
27	0	221,72	221,72	-9	-0,156	-34,58832	0,987	218,83764	1,8	1,82370821
28	0	210,49	210,49	-11	-0,19	-39,9931	0,981	206,49069	1,8	1,83486239
29	0	196,56	196,56	-13,5	-0,233	-45,79848	0,972	191,05632	1,8	1,85185185
30	21,38	162,86	184,24	-15	-0,258	-47,53392	0,965	177,7916	1,8	1,86528497
31	58,8	95,31	154,11	-17,5	-0,3	-46,233	0,953	146,86683	1,8	1,8887723
32	89,89	33,69	123,58	-20	-0,342	-42,26436	0,939	116,04162	1,8	1,91693291
33	69,49	0	69,49	-22	-0,374	-25,98926	0,927	64,41723	1,8	1,94174757
34	21,38	0	21,38	-24	-0,406	-8,68028	0,913	19,51994	1,8	1,97152245
Somme						3086,43605		9659,94819		70,5756915
			ϕ°	15,83						
			tang ϕ	0,283						
			C (KN/m2)	32,43						
			Fs	1,6						

Tableau (V-11) : Les valeurs des Fs de calcul manuel.

Talus	Naturel			Terrassé		
Cercle N°	01	02	03	01	02	03
Fs	1.37	1.42	1.74	1.92	1.59	1.60

Les calculs manuels montrent que la valeur minimale du coefficient de sécurité Fs est de 1.37 (cercle n°=01) pour le talus naturel qui indique que le talus est très proche de l'équilibre limite se qui peut engendrer un risque de glissement.

Pour le talus terrassé les valeurs de Fs sont généralement supérieures à 1.5 (talus stable) et ça due à l'élimination d'une grande partie de la couche argilo-sableuse, qui a des caractéristiques physico-mécaniques assez médiocres.

V-7-2-2- Calcul automatique par le logiciel GEOSLOPE :

V-7-2-2-1- Présentation du logiciel :

C'est un logiciel conçu par la compagne canadienne « Mitre Software corporation » et qui permet la détermination de la valeur minimale du coefficient de sécurité Fs.

GEOSLOPE : exécute l'analyse de la stabilité des pentes naturelles à l'équilibre limite, des pentes artificielles non renforcées, ou pentes avec de la terre renforcée.

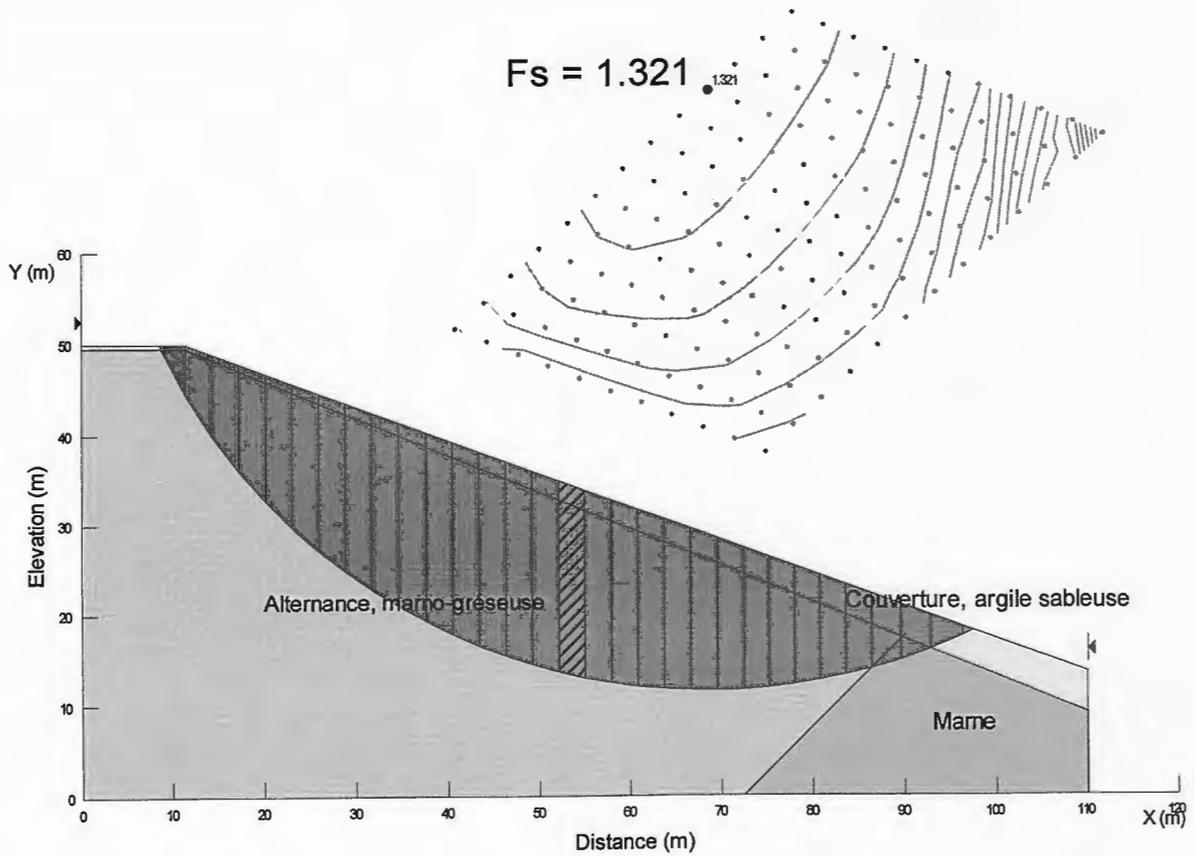
Le programme emploi la méthode ordinaire (Fellenius), Bishop, Jambu et Morgensten-Price dites méthode des tranches, il permet d'appliquer l'une ou l'autre méthode à des surfaces circulaires, composer et non circulaire. Il manie les géométries complexes avec jusqu' à 20 types de mâtereaux, 9 surfaces piézométriques, et 100 charges linéaires externes.

Pour les pressions interstitielles, le paramètre (Ru) et les surfaces piézométriques peuvent être utilisé seul ou en combinaison, les pentes peuvent être analysées dans l'une ou l'autre direction et un coefficient sismique est fourni en analyse pseudo-statique.

Le critère de rupture adopté est celui de Mohr-Coulomb : $\tau = C + \sigma \tan \phi$.
(A. baghdad, 2008)

❖ Application pratique : Cas du site étudié.

Les figures ci-dessous (V: 22, 23, 24, 25) présentent les résultats de calculs par le logiciel dans le cas du talus naturel (sans prise en compte de la sismicité).



Talus naturel

Slice 17 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.321
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	119.35
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	2.9048
Mid-Height	21.141
Base Length	2.9837
Base Angle	13.206
Polygon Closure	25.418
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	1270.9
Base Shear Force	323.87
Base Normal Force	1237.3

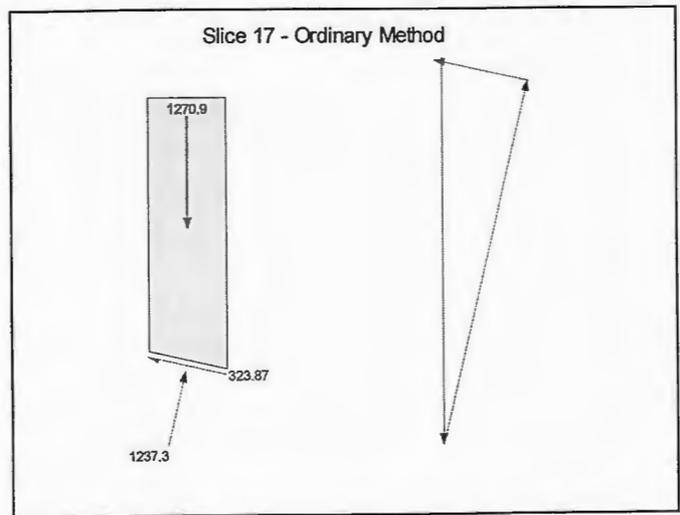
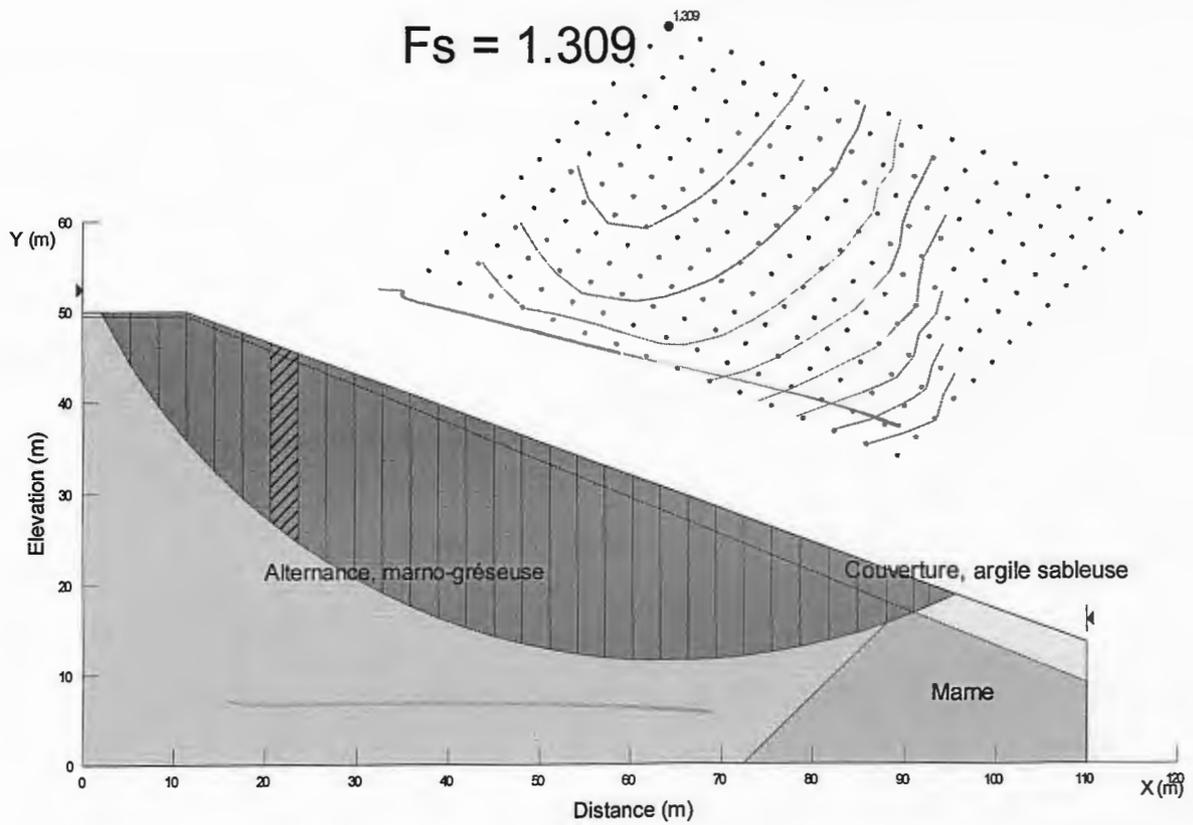


Figure (V-22) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).



Talus naturel

Slice 8 - Ordinary Method

Factor of Safety	1.3092
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	153.2
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	3.05
Mid-Height	20.299
Base Length	3.8301
Base Angle	37.219
Polygon Closure	468.99
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	1284.9
Base Shear Force	311.9
Base Normal Force	1023.2

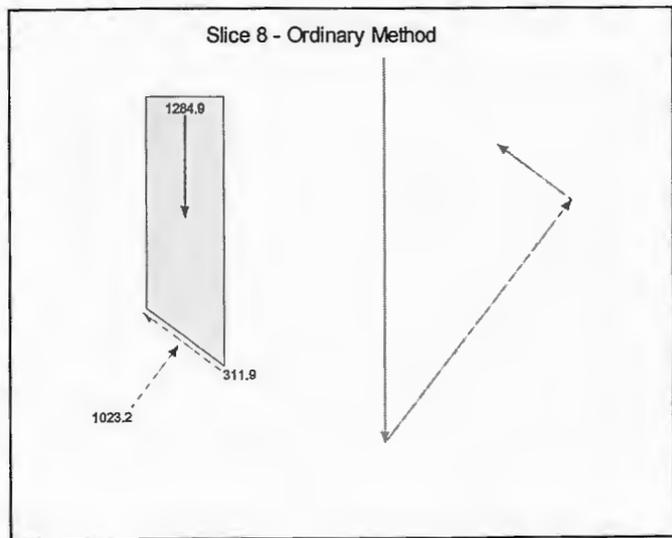
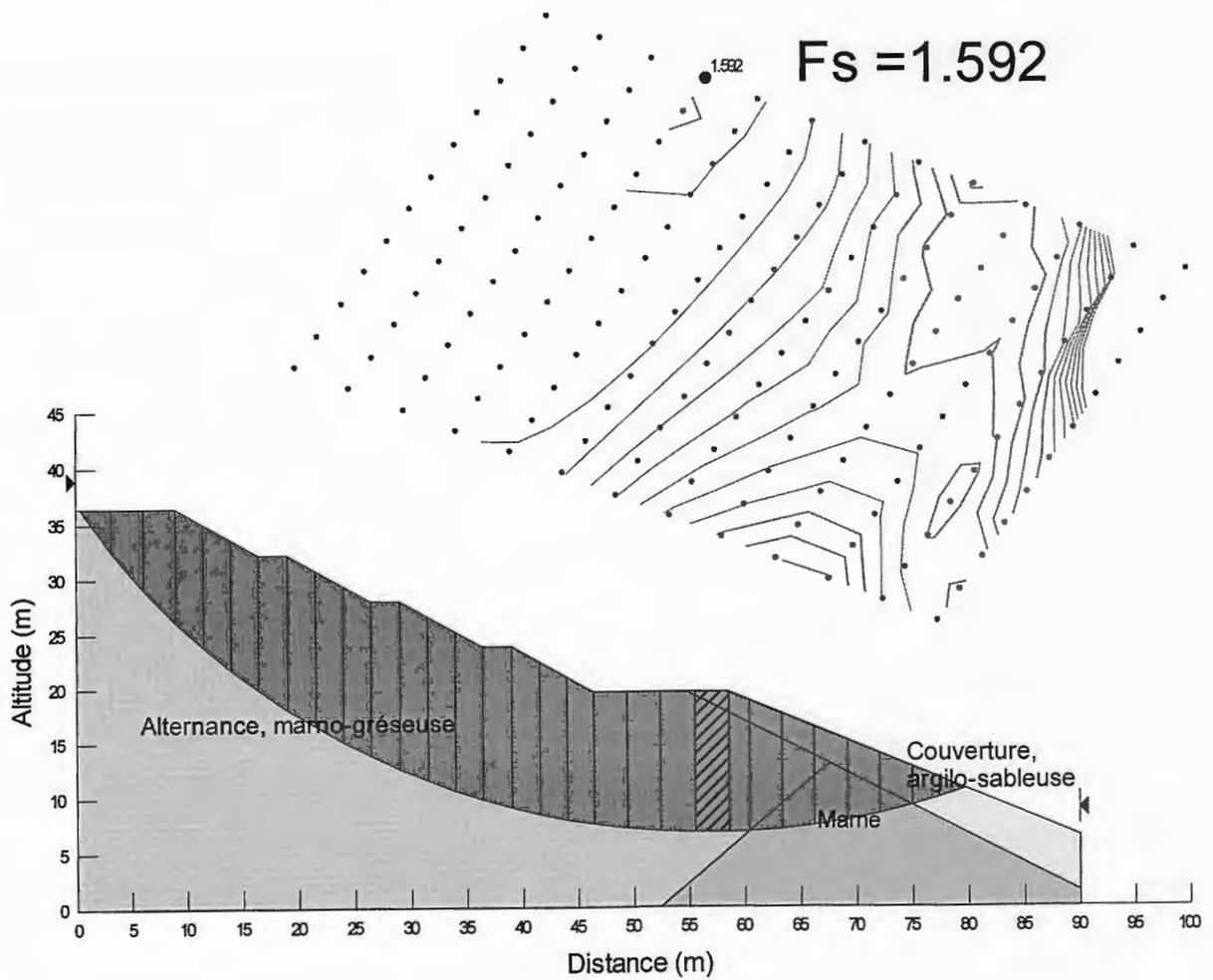


Figure (V-23) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).



Talus terrassé

Slice 22 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.5919
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	124
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	3.1
Mid-Height	12.866
Base Length	3.1
Base Angle	0.25094
Polygon Closure	203.25
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	829.6
Base Shear Force	207.84
Base Normal Force	829.59

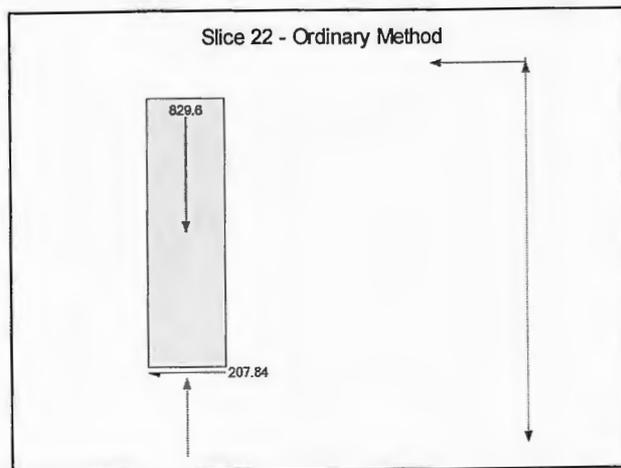
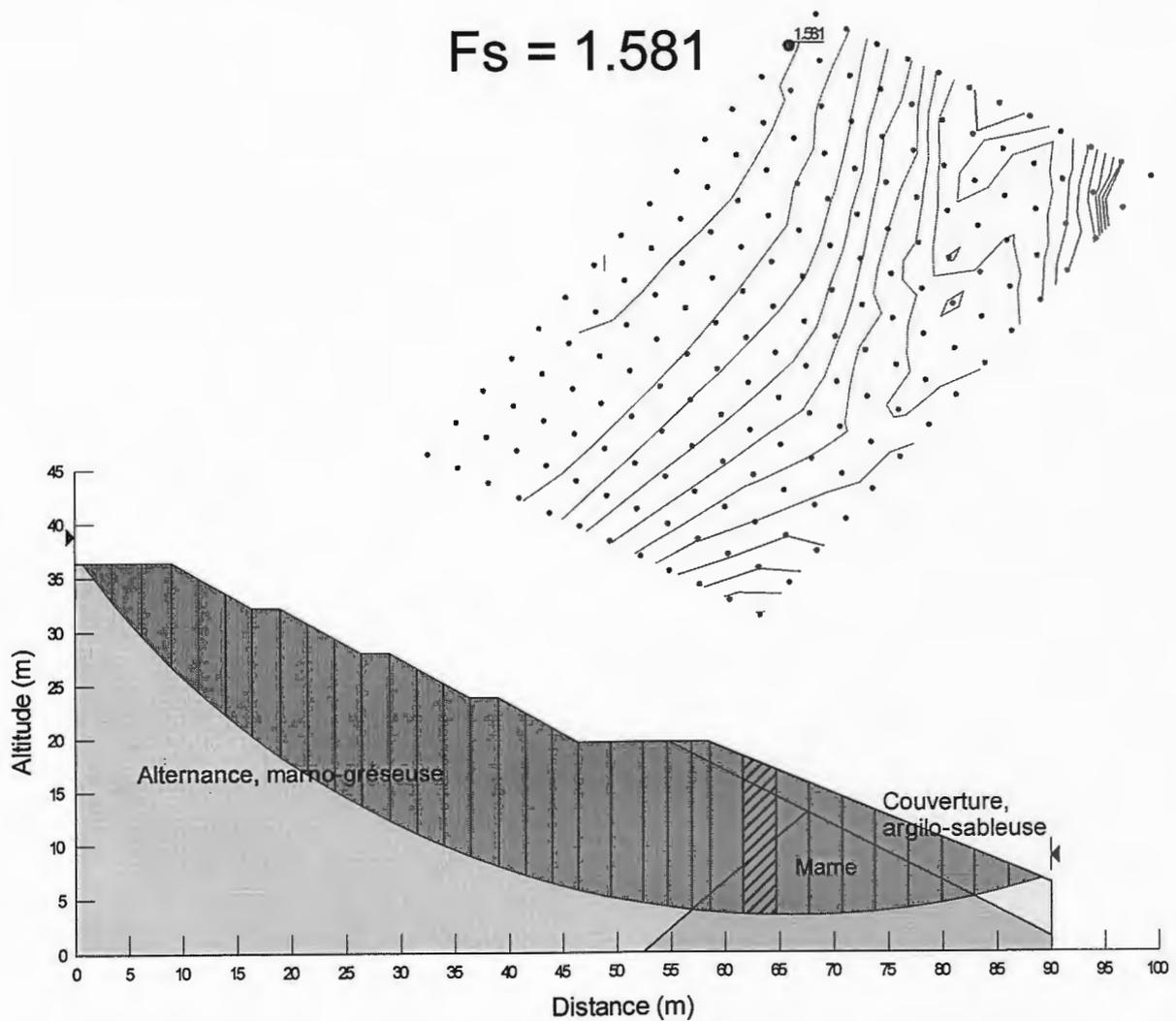


Figure (V-24) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).



Talus terrassé

Slice 25 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.5807
Phi Angle	23.5
C (Strength)	26
C (Force)	78.865
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	3.0314
Mid-Height	14.304
Base Length	3.0333
Base Angle	2.0356
Polygon Closure	260.99
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	915.74
Base Shear Force	301.63
Base Normal Force	915.16

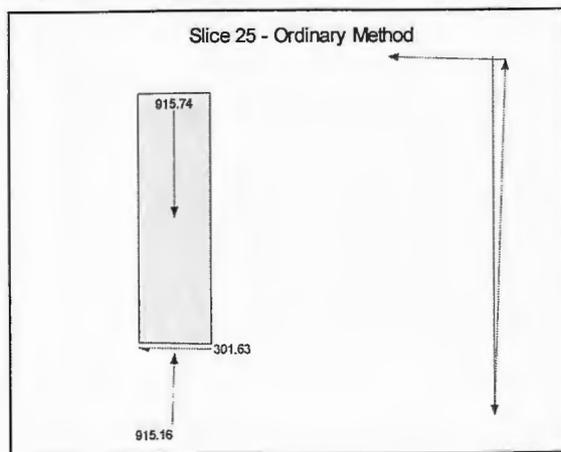


Figure (V-25) : Résultat de calcul numérique (sans sismicité).

V-7-2-2-2- Prise en compte de la sismicité :

1. Les talus et les versants naturels ou artificiels dans leur configuration en fin de projet doivent rester stables sous l'action sismique, compte tenu des charges apportées par les constructions éventuelles.

2. En absence de sols liquéfiables, la vérification de la stabilité peut être effectuée en première analyse avec un calcul statique équivalent par application à tous les éléments de sol et aux charges supportées de deux coefficients sismiques $k_h = 0.5 A$ (%g) et $k_v = 1.0,3 k_h$ représentant les forces horizontales contenues dans les plans verticaux de plus grande pente et dirigées vers l'aval et les forces verticales descendantes ou ascendantes selon les combinaisons (k_h, k_v) et $(k_h, -k_v)$. (RPA 99/ Version 2003)

Le coefficient A est le coefficient d'accélération de zone (tableau V-11) choisi en fonction de la zone sismique et du groupe d'importance de l'ouvrage affecté par le glissement ou menacé par lui.

3. L'équilibre du massif délimité en profondeur par la surface de rupture doit être vérifié compte tenu d'un coefficient de sécurité partiel égal à 1 sur les résistances des sols concernés.

Tableau (V-12) : Coefficient d'accélération de zone "A".
(R.P.A 99/ Version 2003)

Groupe	Importance de l'ouvrage	ZONE			
		I	Ila	Iib	III
1A	Ouvrages d'importance vitale	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	Ouvrages de grande importance	0.12	0.20	0.25	0.30
2	Ouvrages courants où d'importance moyenne	0.10	0.15	0.20	0.25
3	Ouvrages de faible importance	0.07	0.10	0.14	0.18

Le site du théâtre de verdure peut être classé en groupe 2 (Ouvrage courant où d'importance moyenne). On prend $A = 0.15$

❖ **Calcul de k_h et k_v :**

$$k_h = 0.5 \times A \text{ (% g)} \dots \dots \dots (20)$$

$$k_v = 0.3 \times k_h \dots \dots \dots (21)$$

Avec : k_h : Coefficient sismique (horizontal).

k_v : Coefficient sismique (vertical).

A : coefficient d'accélération de zone (0.25 pour notre cas de calcul).

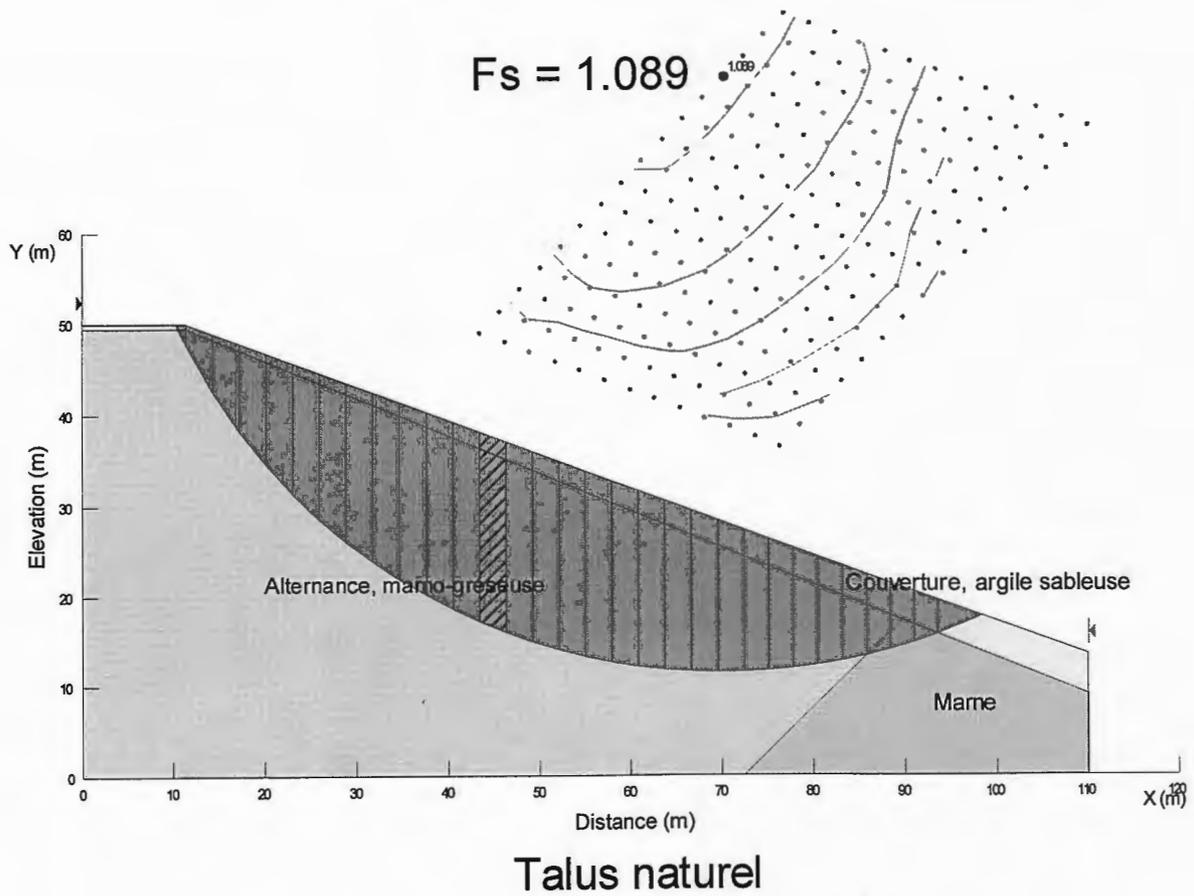
g : Accélération de la pesanteur.

Donc : $kh = 0.5 \times 0.15 = 0.075$ (% g).

$k_v = 0.3 \times 0.075 = 0.0225$ (% g).

❖ **Application Pratique :**

Les figures ci-dessous (V : 26, 27, 28, 29) présentent les résultats de calcul on introduisant le facteur sismicité.



Slice 14 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.0887
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	125.92
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	2.9048
Mid-Height	21.032
Base Length	3.148
Base Angle	22.673
Polygon Closure	207.01
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	1293.8
Base Shear Force	380.69
Base Normal Force	1157.2
Seismic Force	94.9

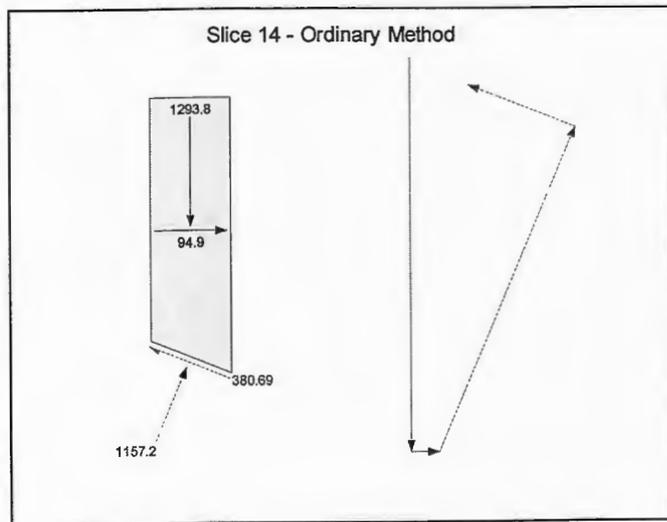
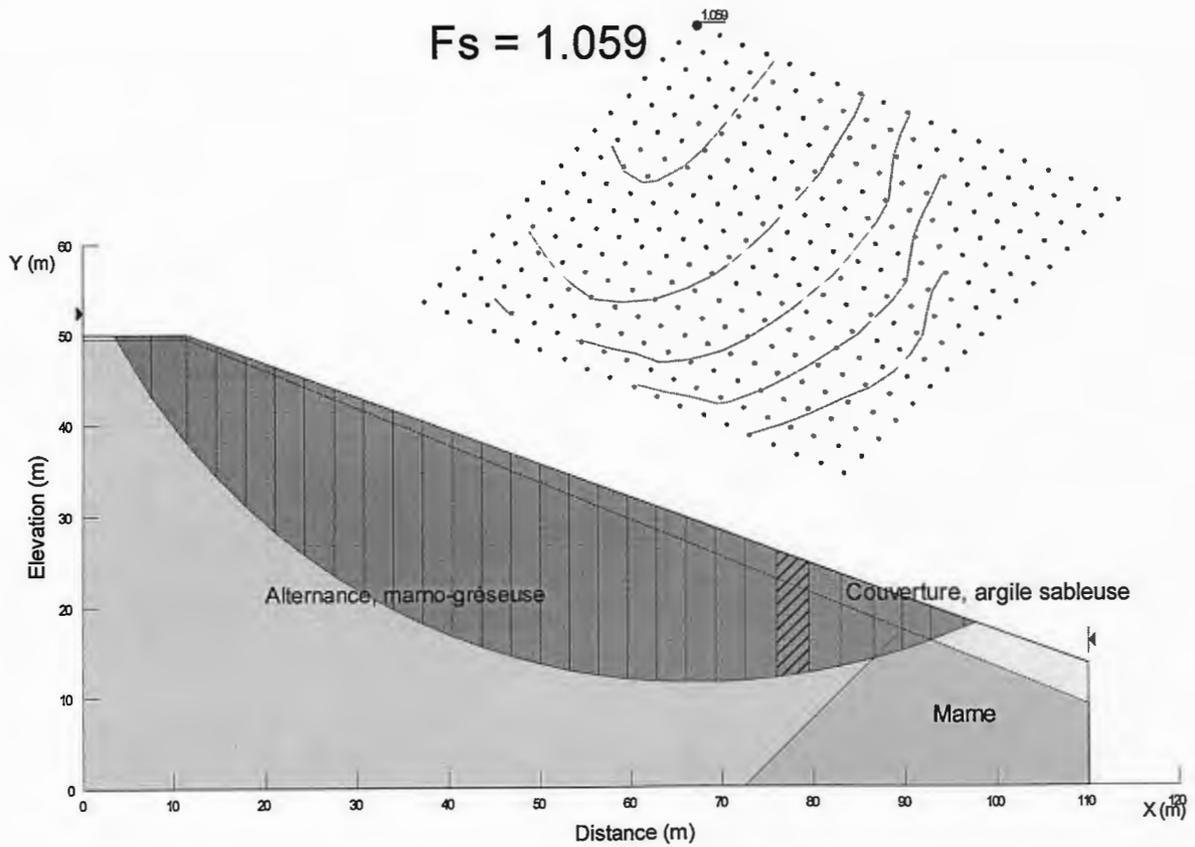


Figure (V-26) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).



Talus naturel

Slice 24 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.0594
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	141.9
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	3.5117
Mid-Height	13.213
Base Length	3.5474
Base Angle	8.1441
Polygon Closure	424.43
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	975.39
Base Shear Force	363.58
Base Normal Force	975.69
Seismic Force	71.544

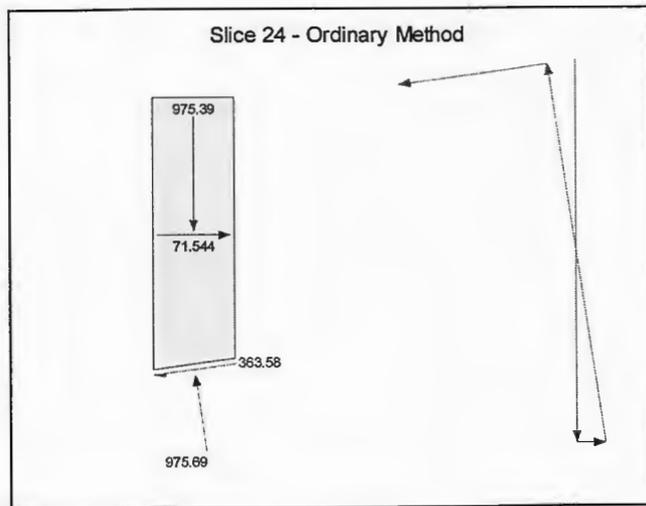
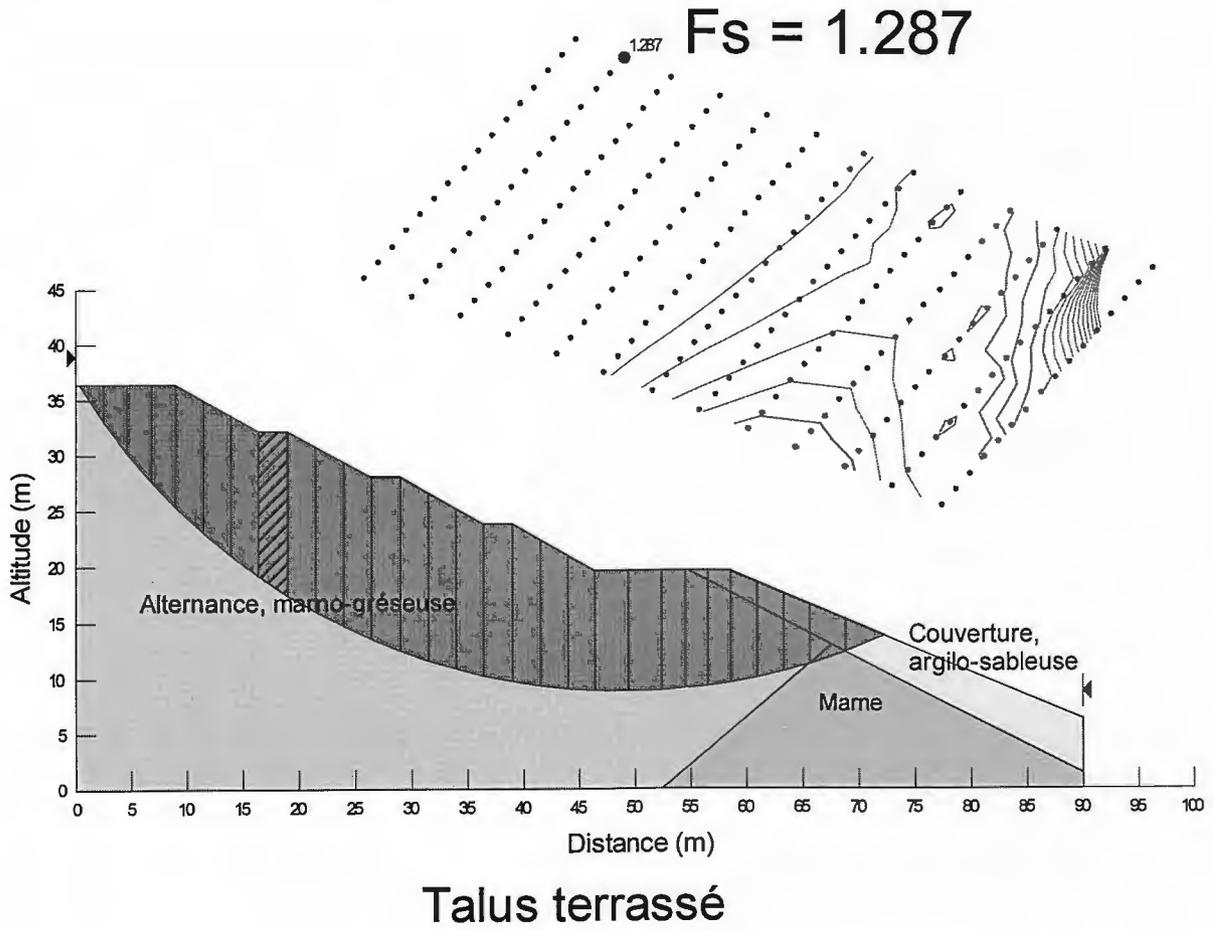


Figure (V-27) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).



Slice 8 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.2866
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	124.62
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	2.6
Mid-Height	13.908
Base Length	3.1154
Base Angle	33.43
Polygon Closure	261.48
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	769.07
Base Shear Force	215.23
Base Normal Force	610.76
Seismic Force	56.411

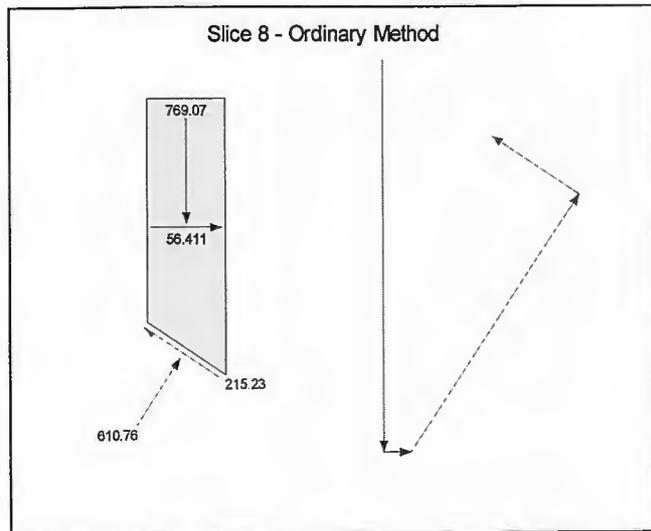
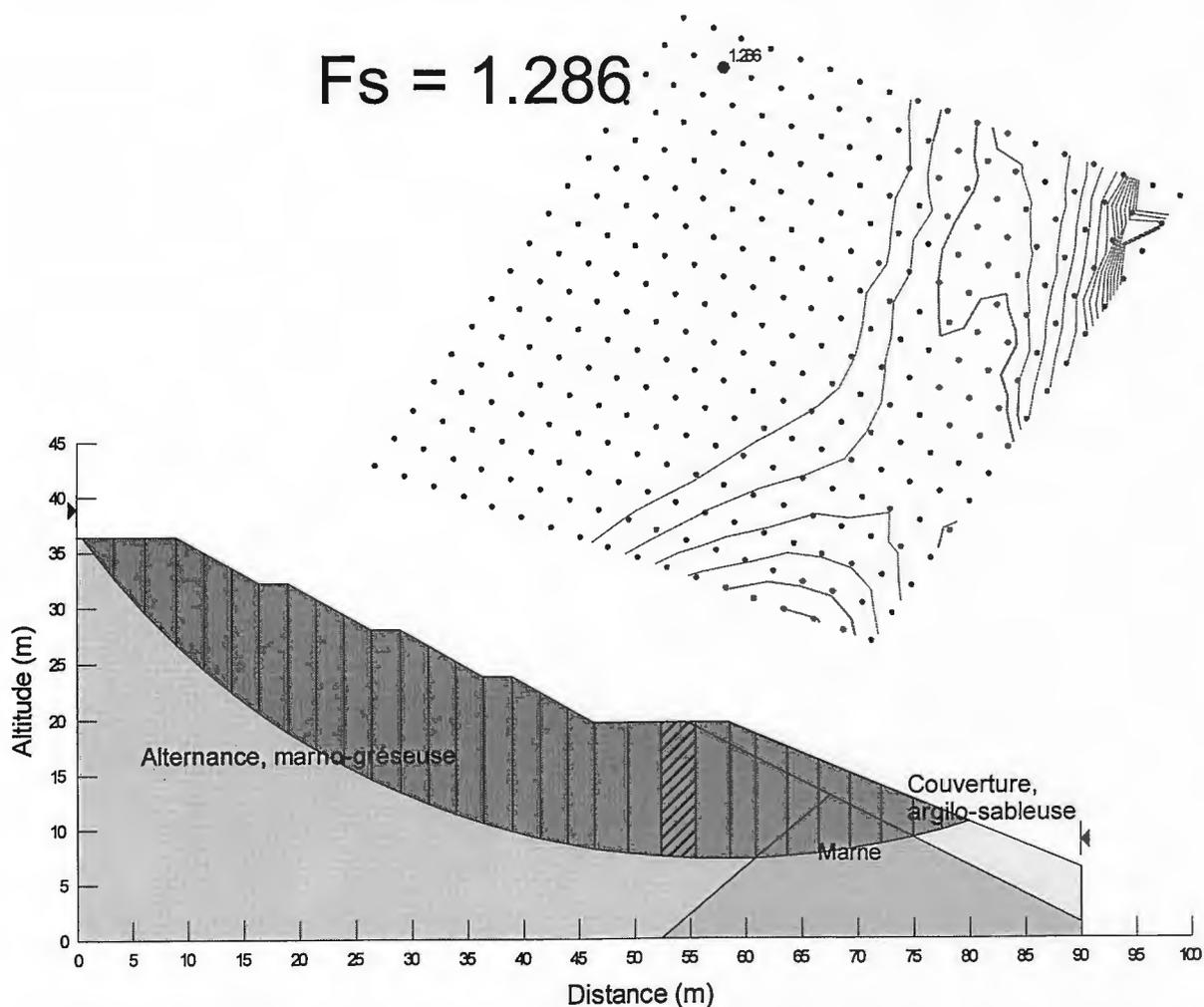


Figure (V-28) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).



Talus terrassé

Slice 21 - Ordinary Method	
Factor of Safety	1.2859
Phi Angle	14
C (Strength)	40
C (Force)	124.21
Pore Water Pressure	0
Pore Water Force	0
Pore Air Pressure	0
Pore Air Force	0
Slice Width	3.1
Mid-Height	12.279
Base Length	3.1052
Base Angle	3.3316
Polygon Closure	145.72
Anisotropic Strength Modifier	1
Weight	809.57
Base Shear Force	252.63
Base Normal Force	804.75
Seismic Force	59.382

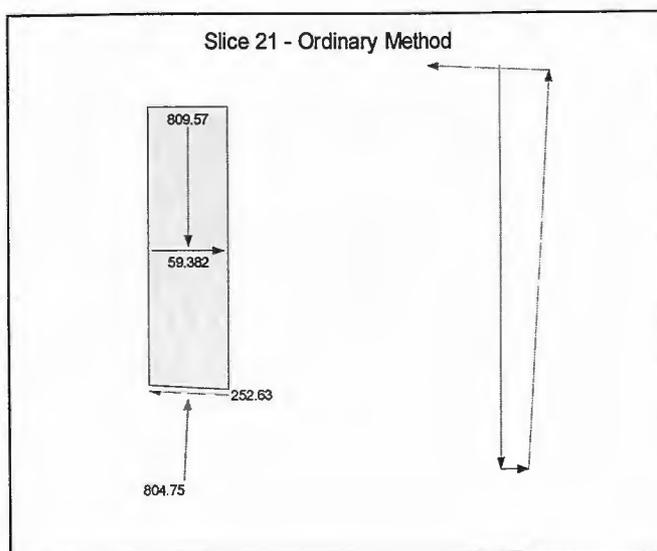


Figure (V-29) : Résultat de calcul numérique (avec sismicité).

V-8-3- Présentation et interprétation des résultats :

Le tableau suivant récapitule les résultats obtenues par les différentes méthodes de calculs cités dans le chapitre V pour les différents cas de talus (Naturel et terrassé), sans sismicité et pris en compte de cette dernière.

Tableau (V-13) : Résultats des F_s calculés dans le chapitre V.

Talus		Talus naturel			Talus terrassé		
Fs des méthodes empiriques	Taylor	0.870			1.200		
	Goldstein	1.003			1.130		
Fs des calculs manuels		1.376	1.429	1.743	1.923	1.590	1.600
Fs de calcul numérique (sans sismicité)		1.321		1.309	1.592		1.581
Fs de calcul numérique (avec sismicité)		1.089		1.059	1.287		1.286

Les résultats obtenus par les calculs numériques confirment ceux réalisés manuellement, ou on y trouve toujours que pour le cas du talus naturel, la valeur minimale du coefficient de sécurité F_s est inférieure à 1.5 ce qui signifie que le talus d'étude est très proche de l'équilibre limite. Pour être plus précis les valeurs minimales de F_s sont des valeurs correspondantes à des cercles de pied de talus et des cercles profonds.

Les calculs numériques et manuels du talus après terrassement (talus terrassé), ont montré que le talus est stable car le facteur de sécurité minimal obtenu est supérieur à 1.5 dans tous les cas de calculs. Ce qui indique que la couche d'alternance marno-gréseuse qui va recevoir l'ouvrage a des bonnes caractéristiques géotechniques.

Par contre, les calculs en pris en compte de la sismicité montrent que le facteur de sécurité F_s minimal est inférieur à 1.5 pour les deux talus naturel et terrassé. Ou on peut dire que le talus est douteux dans les deux cas.

Annexes

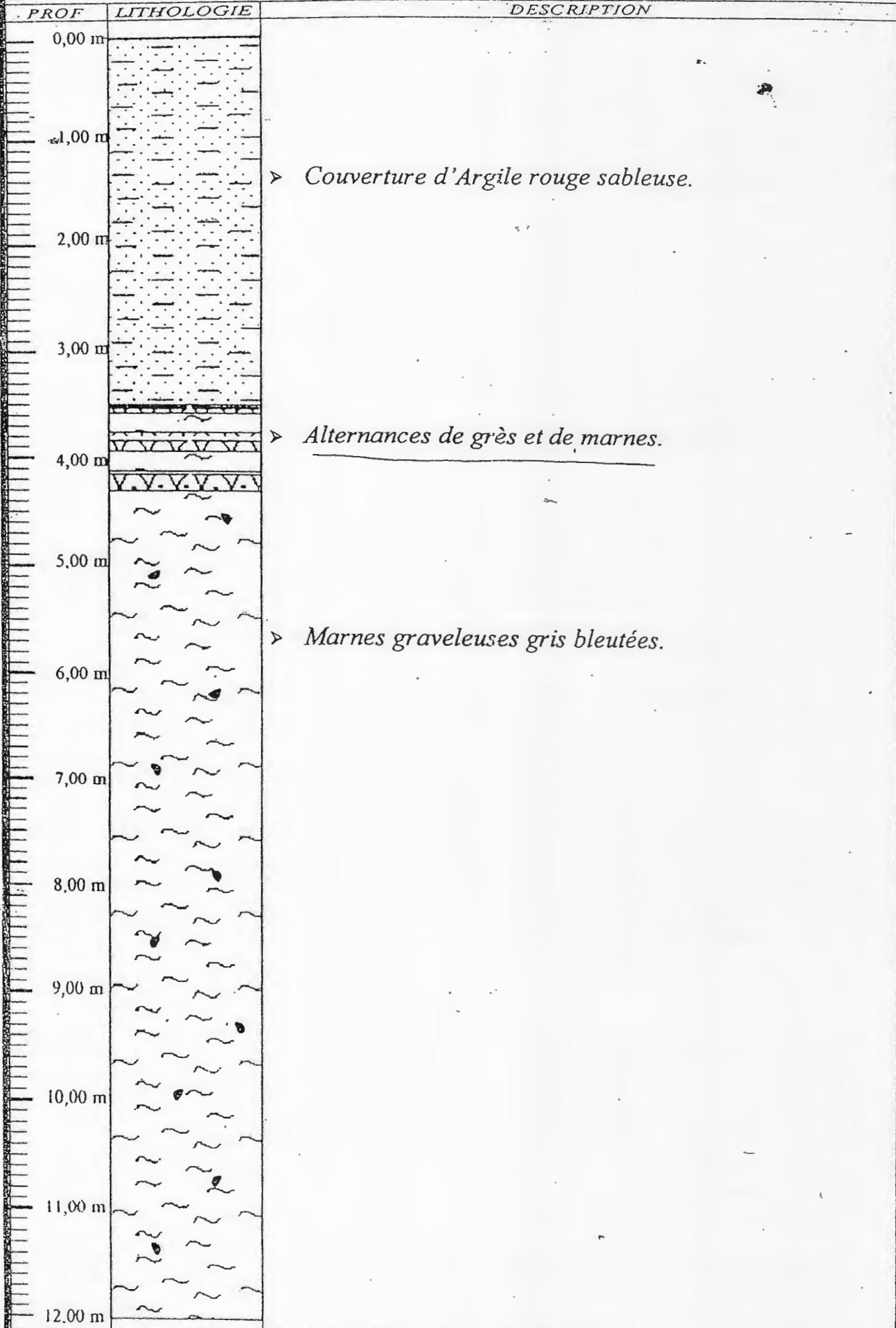
COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc1

Projet : Théâtre de Verdure

Lieu : Jijel

FONDASOIL



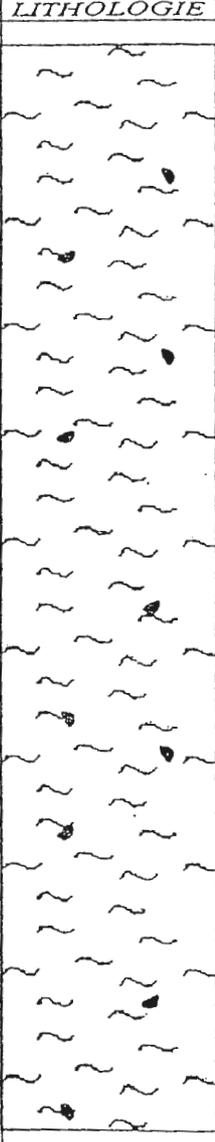
COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Scl suite

Projet : Théâtre de Verdure

Lieu : Jijel

FONDASOIL

PROF	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
12,00 m		
13,00 m		> Marnes graveleuses gris bleutées.
14,00 m		
15,00 m		
16,00 m		
17,00 m		
18,00 m		
19,00 m		

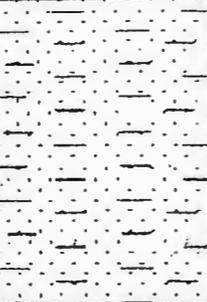
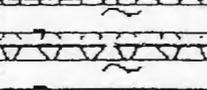
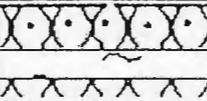
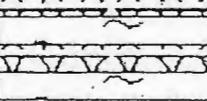
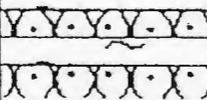
COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc2

Projet : Théâtre de Verdure

Lieu : Jijel

FONDASOIL

PROF	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
0,00 m		
1,00 m		> Couverture d'Argile rouge sableuse.
2,00 m		
3,00 m		
4,00 m		> Alternances de grès et de marnes.
5,00 m		
6,00 m		
7,00 m		
8,00 m		

COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc2 suite

Projet : Théâtre de Verdure

Lieu : Jijel

FONDASOIL

PROF	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
8,00 m		
9,00 m		
10,00 m		➤ Alternances de grès et de marnes.
11,00 m		
12,00 m		
13,00 m		
14,00 m		
15,00 m		

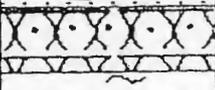
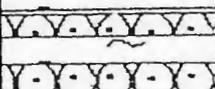
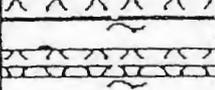
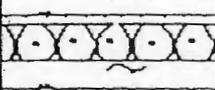
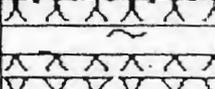
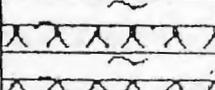
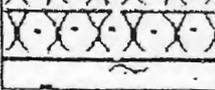
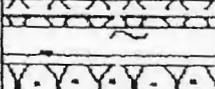
COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc3

Projet Théâtre de Verdure

Lieu: Jijel

FONDASOIL

PROF	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
0,00 m		> Couverture d'Argile rouge sableuse.
1,00 m		
2,00 m		> Alternances de grès et de marnes.
3,00 m		
4,00 m		
5,00 m		
6,00 m		
7,00 m		
8,00 m		
9,00 m		
10,00 m		
11,00 m		

COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc4
 Projet : Théâtre de Verdure
 Lieu : Jijel

FONDASOIL	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
0,00 m		> Remblai.
1,00 m		> Argile sableuse rouge.
2,00 m		> Argile sableuse bariolée.
3,00 m		> Marne gris foncée plus ou moins dure.
4,00 m		> Sable argileux plus ou moins consolidé.
5,00 m		> Grès compact.
6,00 m		> Alternance de grès friable et sable.
7,00 m		> Grès compact.
8,00 m		> Grès friable.
9,00 m		> Sable.
9,00 m		> Grès plus ou moins compact.
9,00 m		> Sable argileux avec passées marneuse à la base.

COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc5

Projet : Théâtre de Verdure

Lieu : Jijel

FONDASOIL

PROF	LITHOLOGIE	DESCRIPTION
0.00 m		> Couverture de terre végétale.
1.00 m		> Argile sableuse marron à jaunâtre.
2.00 m		> Argile bariolée sableuse avec fines passées gréseuses.
3.00 m		> Argile sableuse marron et jaune.
5.00 m		> Grès compact.
6.00 m		> Marne grise.
7.00 m		> Grès compact.
8.00 m		> Marne grise compacte.
9.00 m		> Marne grise plus ou moins argileuse.
10.00 m		

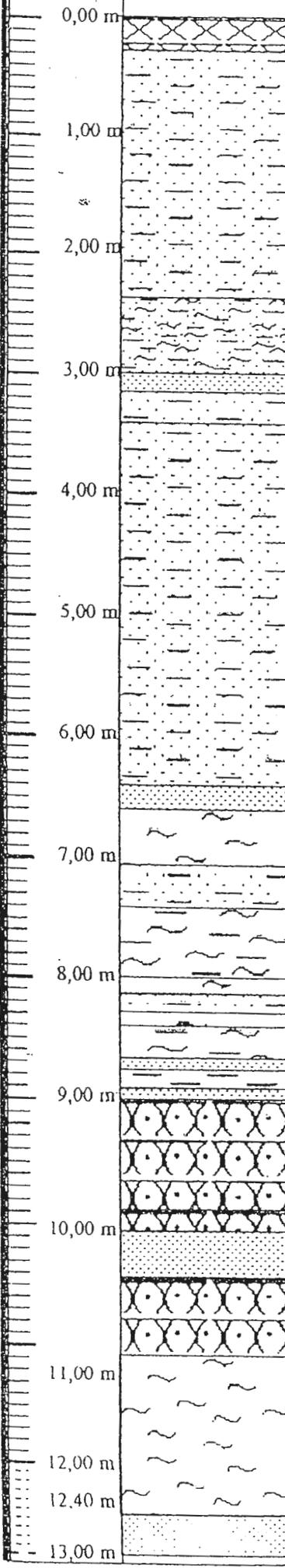
COUPE LITHOLOGIQUE

Coupe du Sondage carotté Sc6
Projet : Théâtre de Verdure ; Jijel

FONDASOIL

PROF LITHOLOGIE

DESCRIPTION



- Couverture de terre végétale.
- Sable argileux plus ou moins consolidé.
- Argile sableuse barriolée marneuse.
- Sable jaune avec tâches grisâtres.
- Argile sableuse.
- Argile sableuse à sable argileux jaune.
- Sable consolidé gris.
- Marne grise.
- Argile sableuse.
- Marne grise.
- Alternance de marne et d'argile sableuse.
- Marne grise.
- Sable et passées argileuses.
- Grès compact RQD = 80%.
- Grès.
- Sable.
- Grès.
- Marne compacte grise.
- Sable.