

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences de la Terre

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Master

En Sciences de la Terre

Filière : Géotechnique

Option : Géotechnique



THÈME

**ANALYSE DE STABILITÉ D'UN VERSANT NATUREL ET
CHOIX DE CONFORTEMENT**

CAS DE VERSANT KOUALA -MÉDÉA

Présenté par :

▪ **Lami Imene .**
) **Radim Nadia .**

Devant le jury :

) M :Bensaada	: Président
) M :Sahraoui	: Examineur (1)
) M _{me} : Filali Mira	: Examinatrice (2)
) M : Mebarki	: Promoteur

Année Universitaire : 2016 / 2017



Remerciement

Nous remercions notre Dieu
qui nous a donné le courage et la
volonté de poursuivre nos études.

Nous tenons à exprimé notre profonde
gratitude et nos sincères remerciements à
notre encadreur **Monsieur Mebarki Abd
Elouahab**, pour nous avoir suivi et dirigé tout au
long de ce travail.

Toute notre gratitude envers les membres
du jury qui nous font l'honneur de juger
notre travail.

Un remerciement très spécial pour **Monsieur
Ilyes Selami**, pour ses précieux conseils
et toute l'aide qu'il nous a rapporté .

Nous remercions nos parents et
toute la famille, tous les amis
pour leurs encouragements.

Imene & Nadia



Dedicace

Je dédie ce modeste travail avant tout À:

*Deux âmes les plus chères au monde mon père
et ma mère, qui ont tout sacrifié pour mon bien.*

*mes chères soeurs **Fatiha, Hadjer
et Wissam** .*

*Mes chères amies **Chemse ,
Wahiba ,Souad sans oublier Sanaa,
Souhila ,Saïda², Rima et Farida***

*Ma chère binôme **Nadia
mon neveu et mon ange Haithem***

*mes collègues d'études, toute la famille, et
tous ceux qui ont contribué de près ou de
loin pour que ce Projet soit possible.*

Lami Imene



Dedicace

Je dédie ce modeste travail avant tout À:

Mes très chères parents qui ont tout sacrifié pour mon bien .

Ma chère soeur et mes chères frères.

*Ma très chère binôme **Imene**.*

Mes chères amies et mes collegues d'études.

Toute la famille et tous ceux qui ont contribué de près ou de Loin pour que ce Projet soit possible.

Radim Nadia



Introduction Générale

Les mouvements de terrain sont les manifestations du déplacement gravitaire de masses de terrains ou de la roche déstabilisée sous l'effet de sollicitations naturelles ou anthropiques qui provoquent des dommages importants aux ouvrages et aux constructions, avec un impact économique extrêmement sensible, et parfois peut causer des pertes humaines et les risque naturel .

La wilaya de Médéa est située dans le centre du pays au cœur de l'Atlas tellien, cette dernière favorise l'apparition des mouvements de terrain, on parle de glissement de terrain dans les formations meubles, et des éboulements et chute de blocs dans les formations rocheuses.

Les méthodes numériques sont devenues aujourd'hui un complément utile voire nécessaire à des méthodes d'équilibre limites, qui elles, souffrent de sérieuses limitations pour l'analyse de la stabilité.

Dans cette étude, nous avons utilisé le code de calcul Plaxis 8.5, basé sur la méthode des éléments finis, on a fait une modalisation numérique de versant naturel Kouala en examinant l'état d'équilibre de versant pour différentes situations.

Notre travail s'articule en trois chapitres à savoir :

-) Dans le premier chapitre, nous avons présenté une synthèse sur les différents types des mouvements de terrain et les causes déclenchant, avec quelques cas dans le monde et en Algérie.
-) Dans le deuxième chapitre, nous avons montré les différentes observations et informations collectées sur notre zone d'études, le programme des essais et une caractérisation générale de la zone d'étude.
-) Dans le troisième chapitre, nous avons présenté nos différentes hypothèses probables pour le déclenchement de glissement de terrain en se basant sur la modélisation numérique par le code de calcul PLAXIS .



Chapitre I

Les mouvements de terrain Types & causes

I.1 . Introduction

Parmi les définitions de l'activité géotechnique dans le domaine de Géosciences est « l'art de vivre en sécurité », l'ingénieur géotechnicien est le premier responsable sur la sécurité et la stabilité de la partie de contact structure – terrain ou terrain terrain.

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels qui participent largement dans le changement de la forme extérieur de la terre. Un mouvement de terrain est devenu un problème lorsqu'il constitue une menace pour les êtres humains et leur vie sociale ou économique, en effet, Il peut constituer des catastrophes, au même titre qu'un séisme ou un tsunami. On trouve dans la littérature plusieurs articles scientifiques et thèmes de recherche traitent le problème de mouvement de terrain pour but de développer des méthodes et techniques et de protection ; Mougine, J. P. (1973), Malatrait, A. M. (1975), Hutchinson, J. N. (1989, March), Friedel, S., et al (2006) ...etc.

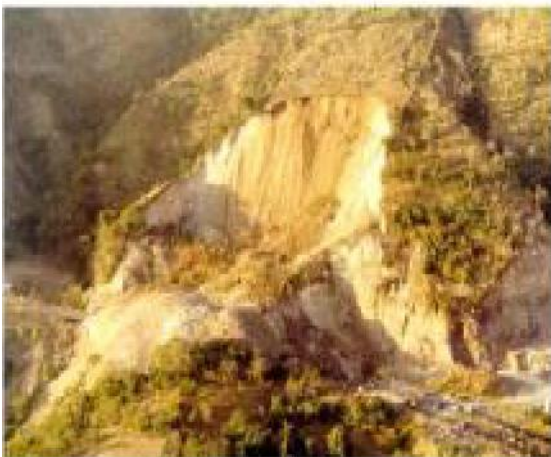
Dans ce chapitre on citera pour mémoire quelques mouvements de terrain et les pertes humaine et économique résultantes, puis on présentera les différents types de mouvement de terrain. Dernièrement on présentera une recherche bibliographique détaillée sur les mouvements de terrain en pente « glissement de terrain ».

I.2 . Quelques Mouvements de terrain dans le monde

A-Cas de Salvador (en Amérique) :

A la suite d'un tremblement de terre de magnitude 7.6 à l'échelle Richter survenu en 2001 au large des cotes du Salvador, deux glissements de terrain se sont produits : le glissement de La Leona près de San Vicente et le glissement de Las Collinas (Figure 17).

a/ La Leona



b/ Las Collinas



Photo1.1 : glissements de La Leona(a), Las Collinas (b), (C.Bourdeau, 2005).

B- Cas de La Clapiere (France)

On cite le glissement de terrain survenu au Sud de la France dans une région dénommée la Clapiers en rive gauche de la vallée de la Tinée, La comparaison des photographies prises entre 1976 et 2002 (Figure 18) à permet de suivre les modifications géomorphologiques de la surface du glissement ainsi l'évolution des différentes instabilités du site de la région concernée.

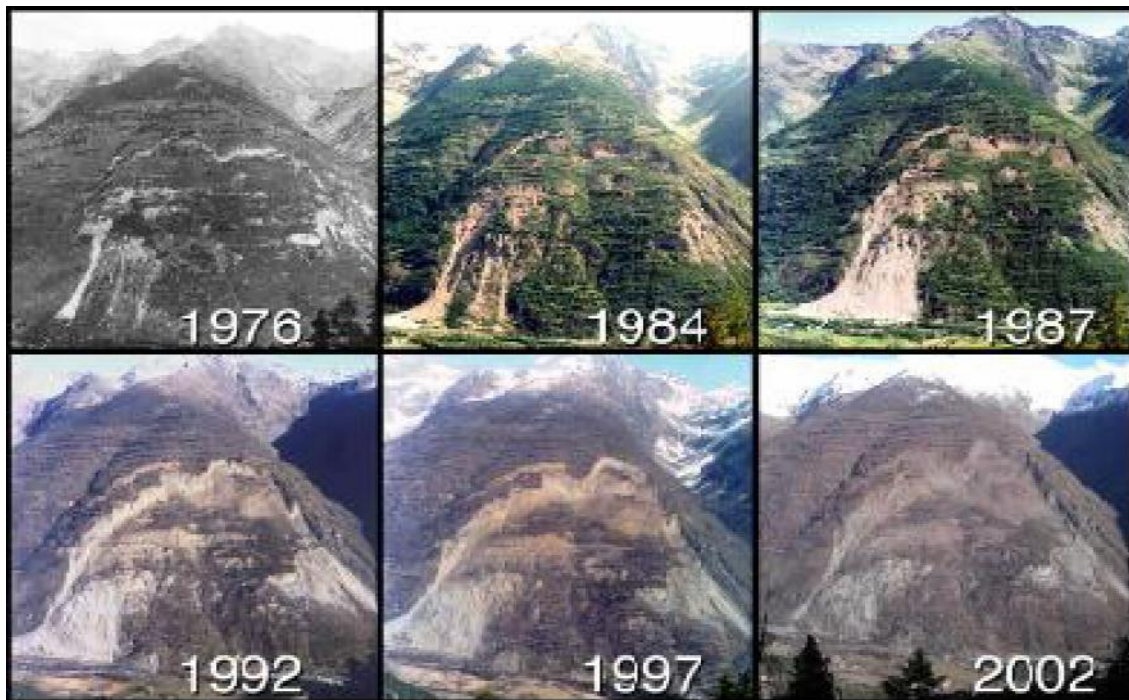


Photo1.2 : évolution de glissement de la Clapiers (D.Benouis, 2004).

1.3. quelques mouvements de terrain récent en Algérie:

On peut citer plusieurs cas de glissement de terrain survenus en Algérie, plus particulièrement celui de Bedjaia et des Abattoirs à Ténès (Chlef).

a/ Cas de Bedjaia :

Comme le montre la figure1.3 , le terrain concerné par le glissement de terrain présente une forte pente supérieure à 60° et qui est sujette à un glissement certain, compte tenu de la forte pluviométrie affectant la région de Bedjaia.

Il a concerné une route avec un profil mixte déblai-remblai dans une zone montagneuse. La zone s'étend sur une longueur de 80m. Les investigations géotechniques ont mis en évidence depuis la surface, des éboulis gréseux, des bancs gréseux et des alternances de marnes schisteuses et de grés.



Photo 1.3 :fissures longitudinales dans la route affecté par le glissement

La figure 1.5 présente un schéma global du glissement survenu à Bedjai a où des infiltrations d'eau du côté amont et l'absence totale de drainage ont favorisé l'évolution du glissement. Les couches supérieures ont glissés sur la couche de marne d'épaisseur limitée et la couche de grés altérés.

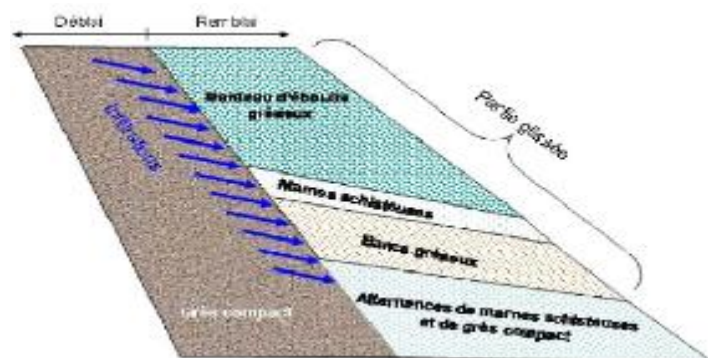


Figure 1.4: Cinématique du glissement

Plusieurs propositions techniques de traitement du glissement et de la reconstruction de la chaussée ont été présentées. La solution retenue est celle d'un massif renforcé par géotextiles avec un parement à face enverloppée en couche végétale (Voir fig1.5).



Photo1.5 : Construction de l'ouvrage par couches

Les géosynthétiques de renforcement et de drainage ont été utilisés avec succès pour traiter le glissement et reconstruire la chaussée.

b/ Cas de Routes des Abattoirs Ténès (Chlef) :

Le glissement des abattoirs Ténès, se trouvant sur un talus de 10m environ de hauteur (D'après des informations recueillies par la DTP de Chlef agissant comme maître de l'ouvrage). Ce glissement a été provoqué dans les années 80 sous l'effet des infiltrations souterraines ayant fait déplacer la masse de remblai composée d'alluvions récentes.

L'étude à été réalisée par le laboratoire des travaux publics du centre (Antenne de Chlef), où une solution à été dégagée consistant à recharger le pied du talus tout en proposant des murs de soutènement reposant sur des pieux ancrés à plus de 25 m de profondeur.

Cette solution a été en quelques sortes très onéreuse pour le maître de l'ouvrage à l'époque et le projet n'a pas été entamé pour sa réalisation.

Dans ce but depuis 1982 à 2006 de graves préjudices ont été observés sur le terrain (voir fig1.6), dont la partie se trouvant en haut du talus a été complètement déplacée et touchant même les fondations des bâtiments se trouvant à côté de l'emprise.

De ce fait, compte tenu des dégâts observés sur les lieux, les parties concernées ont pris au sérieux ce problème pathologique et ont refait une deuxième fois l'étude par le laboratoire cité ci-dessus et ce pour aboutir aux solutions du mur de soutènement et dont les travaux ont repris incessamment.



Photo 1.6 : Affaissement de plus de 50cm du glissement en bas du talus
(Les Abattoirs Ténès)

1.4. Classification de mouvement de terrain

On trouve dans la littérature de nombreuses classifications de mouvement de terrain, l'une basée sur les descriptions géologiques et géomécaniques, et d'autre basée sur la vitesse de mouvement. On peut résumer ces mouvements en 2 types(MALATRAIT, Alain-Michel,1975) .

1.4.1. Mouvement subverticaux

1.4.1.1 Les affaissements

Ce sont des déplacements parfois brutaux (effondrement), causés par ablation en profondeur due à la circulation de l'eau, il en résulte une dépression de dimension très variable.

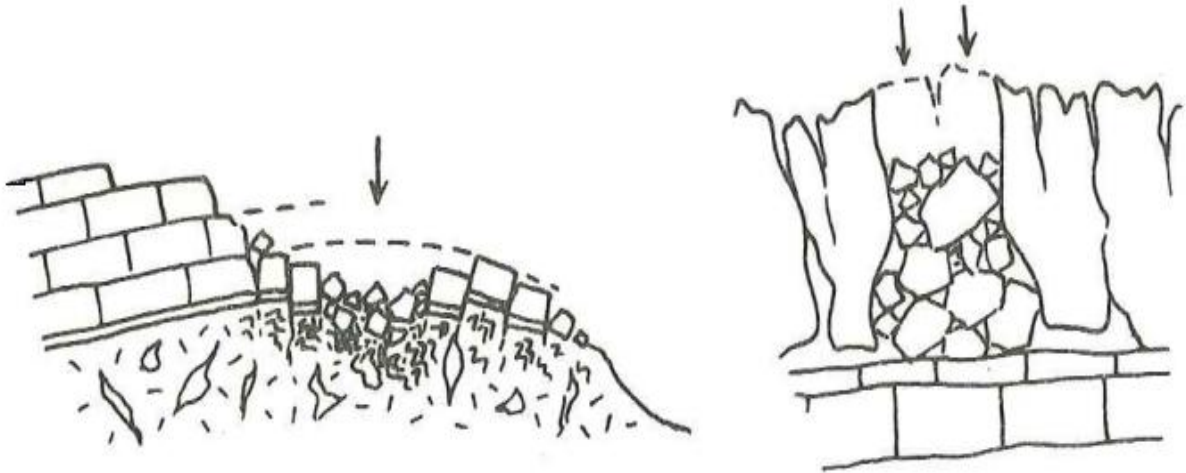


Figure 1.7 : schémas représente un effondrement de terrain(MALATRAIT, Alain-Michel,1975) .

1.4.2. Mouvements en pentes

Dans les formations rocheuses, on trouve ;

1.4.2.1. Les écoulements

Ces mouvements affectent les roches dures et fracturées formant une falaise (70° au surplomb) ou une pente escarpée. Ils consistent en chute de masses rocheuses plus ou moins importante, se détachant d'une paroi pour former au pied de versant un amas chaotique de matériaux grossiers.

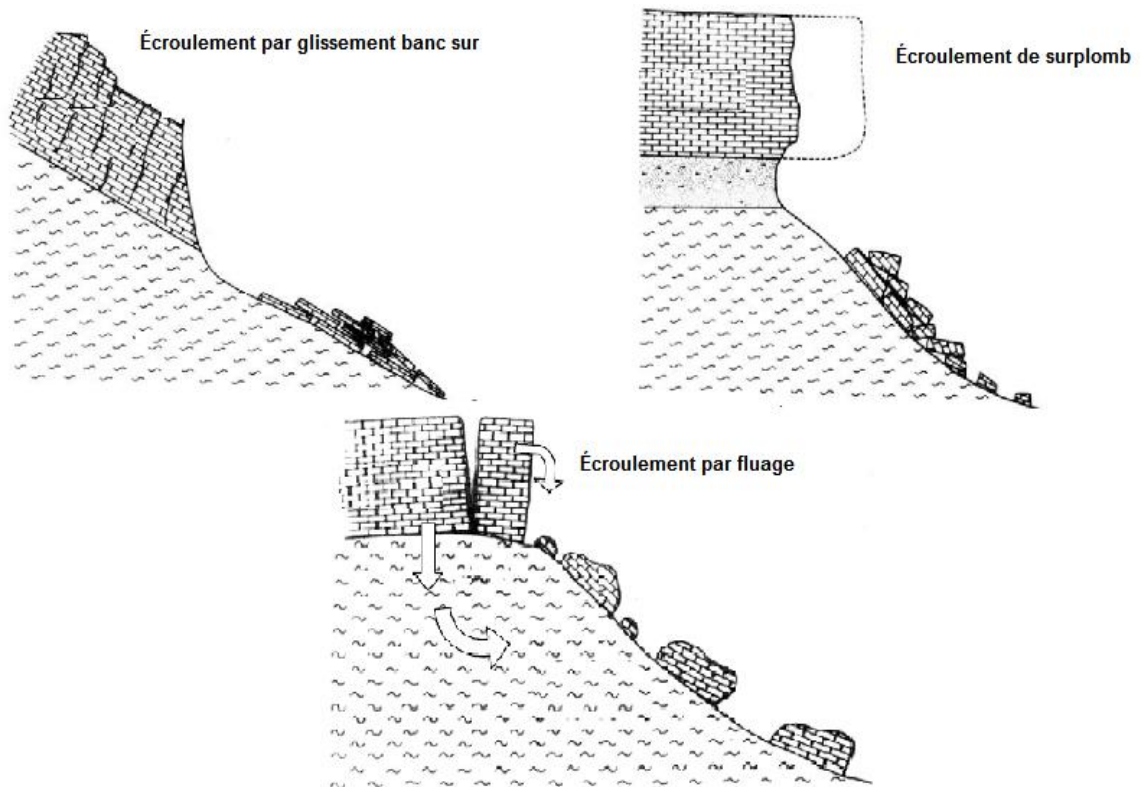


Figure 1.8 : schémas représente les principaux mouvements dans les formations rocheuses.

1.4.2.2. Le fauchage

L'inclinaison des extrémités supérieures ou de feuillet rocheux en direction de la vallée par basculement de blocs ou torsion, le fauchage est particulièrement sensible dans les séries feuilletées ou stratifiées ou, plus généralement, présentant une famille de discontinuités à pendage très redressé et de direction parallèle à la vallée.

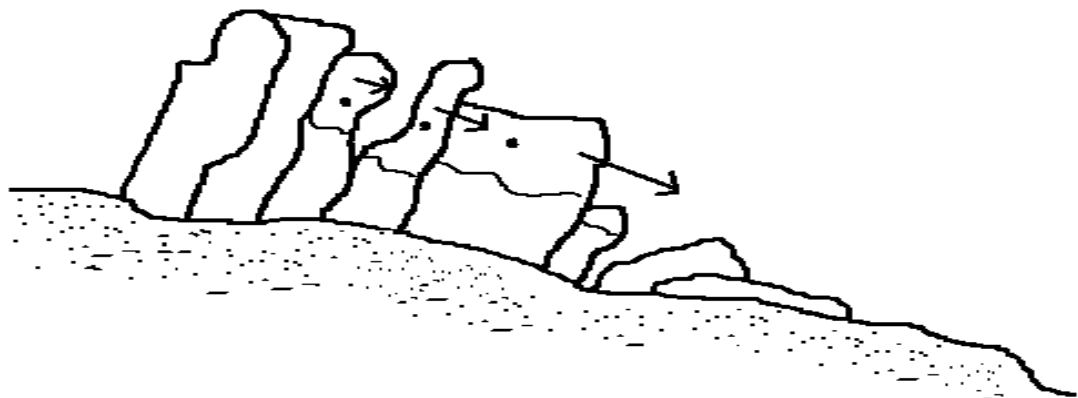


Figure 1.9 : schémas représente une rupture d'une pente par fauchage.

1.4.2.3. Les glissements

Sont des mouvements de masses compactes et/ou de terrain meuble glissant vers l'aval. Ils résultent d'une rupture par cisaillement et se produisent en général sur des talus ou des versants de pente modérée à raide. Les instabilités naturelles de ce genre sont extrêmement courantes et apparaissent sous de nombreuses formes ;

a) Le glissement rotationnel

C'est l'exemple le plus commun. La surface de rupture présente une concavité orientée vers le haut. Il peut y avoir des fissures concentriques en plan, et concaves suivant la direction du glissement. L'image classique est la forme d'une cuillère. La forme du glissement peut être influencée par la nature des terrains concernés et les éventuelles discontinuités rencontrées. L'escarpement au niveau de la niche d'arrachement peut être relativement vertical et les mouvements sont relativement rapides. En amont de la niche d'arrachement, il peut apparaître des fissures de traction et une évolution régressive vers l'amont ou latérale du mouvement est possible.

b) Le glissement plan

Dans ce cas, la masse évolue le long d'un plan de faible résistance mécanique. Un glissement plan, dans lequel une seule unité est mobilisée les glissements plans sont très souvent contrôlés par la structure géologique du massif et les surfaces ou zones de plus faible résistance mécanique.

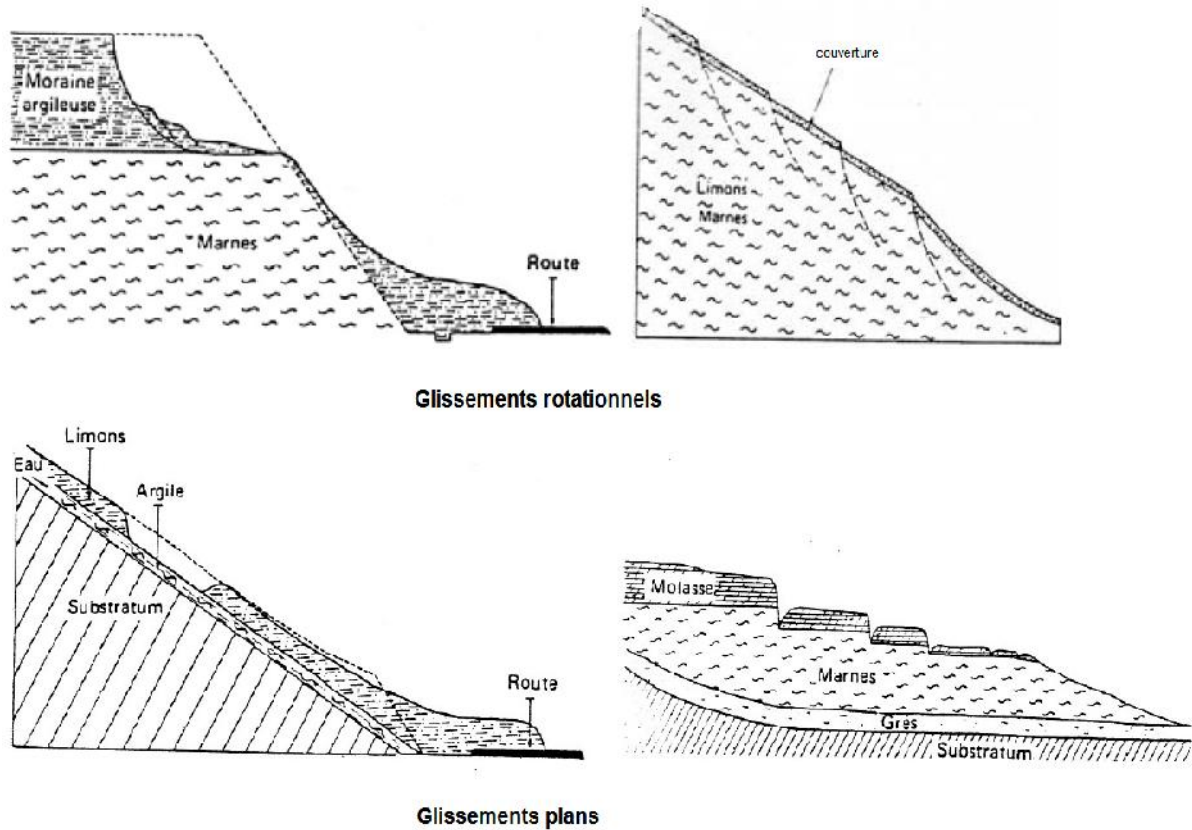


Figure 1.10 : schémas représente les principaux types de glissements de terrain.

1.4.2.4. Coulées boueuses :

Les coulées se comportent comme des glissements de terrain au début, mais le facteur eau intervient dans la consistance du terrain mis en mouvement. Les coulées sont souvent alimentées par les matériaux issus de glissements de terrain qui se transforment en matériaux polyphasiques (solide et/ou air/eau).

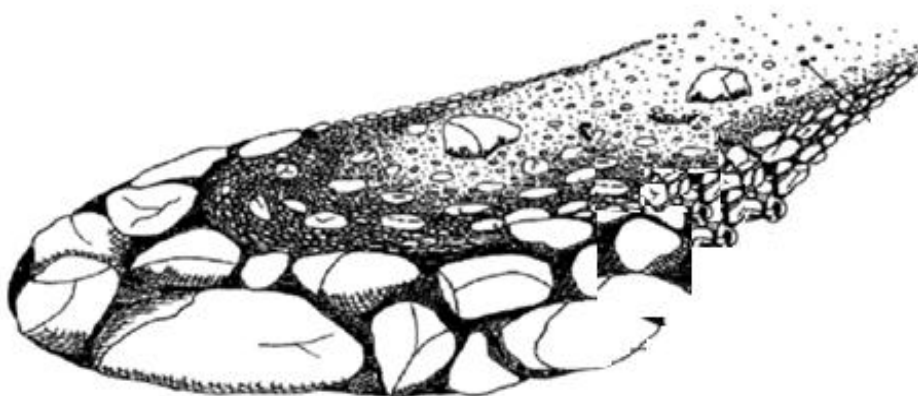


Figure 1.11 : schémas représente la rupture d'une pente par coulées.

1.5. Principales causes des glissements de terrain

L'analyse des causes des glissements de terrain met en évidence un certain nombre de paramètres qui interviennent à différentes échelles de temps et qui peuvent être regroupés en trois catégories : les facteurs de prédisposition, les facteurs aggravants, les facteurs déclenchants, ces trois aspects sont brièvement présentés ci-dessous.

1.5.1. Les facteurs de prédisposition

Les facteurs de prédisposition correspondent aux conditions intrinsèques d'un versant et ne sont pas susceptibles de changer au cours du temps (échelles comprises entre 10^4 et 10^6 années). Elles sont déterminées par l'histoire géologique (éléments lithologiques, structurels, géomorphologique et géotechnique.)

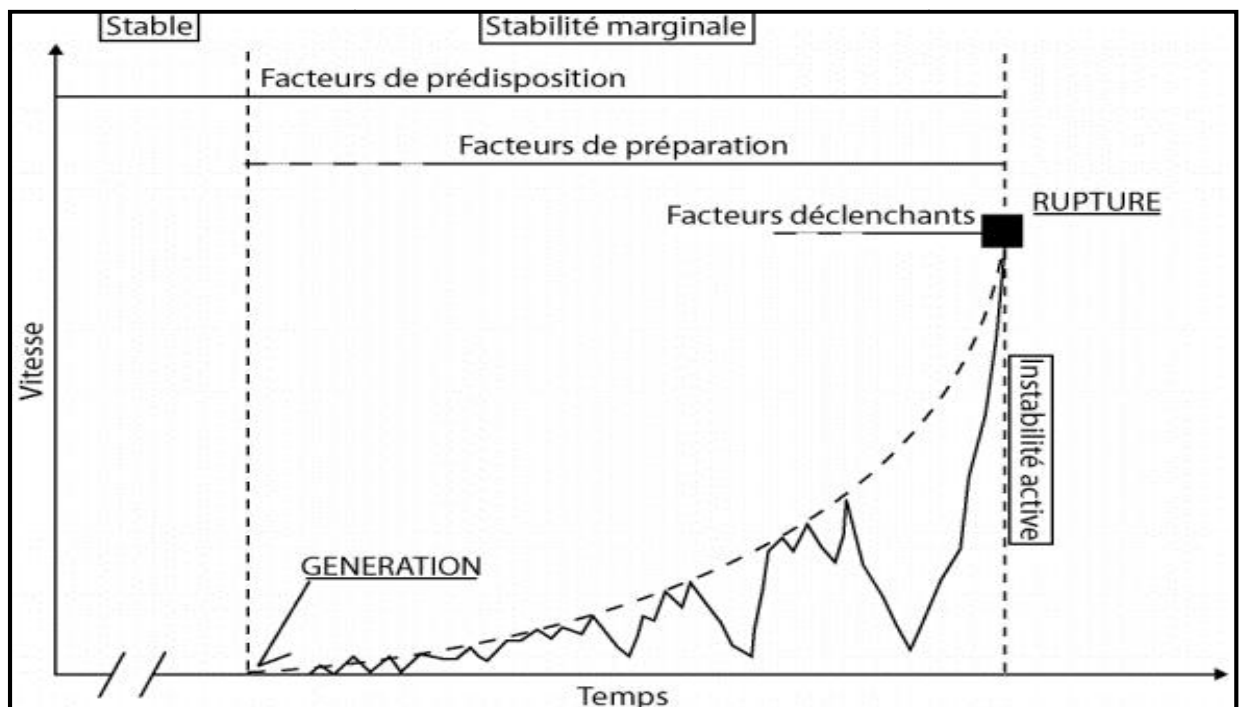


Figure 1.12 : illustration de la genèse d'un glissement de terrain par un graphique montrant les vitesses de déplacement du versant en fonction du temps, in pollet(2004).

1.5.2. Les facteurs de préparation

Les facteurs de préparation (aggravants) sont liés d'une part aux processus climatologiques à moyen et long terme (échelles comprises entre 10 et 10^4 années) et d'autre part à l'utilisation du sol. Les processus climatiques provoquent des impacts notamment sur l'altération des formations géologiques, sur les variations des conditions hydrogéologique et hydrologique, l'utilisation du sol peu également constitue un facteur aggravant pour les phénomènes de glissement de terrain, par exemple la déforestation, ou développement de l'urbanisation, par contre l'utilisation du sol peut parfois jouer un rôle stabilisant par une diminution des infiltrations par exemple.

1.5.3. Les facteurs déclenchants

Les facteurs déclenchants initient le mouvement, ils sont liés à des phénomènes météorologiques et hydrologiques extrêmes, à des phénomènes sismiques et /ou à des activités anthropiques ponctuelles. Ces phénomènes sont soit de courtes durées soit durée prolongée (échelle comprise entre quelques jours et quelques mois, voire quelque année).

Les évènements météorologiques et hydrologiques extrêmes peuvent provoquer une modification des conditions hydrologique à très court terme par une augmentation des pressions interstitielles, ce qui peut provoquer une dégradation des paramètres géotechniques (Cohésion, angle de frottement, teneur en eau) qui caractérisent une formation géologique. Les vibrations produites par un tremblement de terre peuvent également être à l'origine du déclenchement d'un phénomène d'instabilité. Les activités anthropiques qui provoquent un glissement de terrain sont principalement liées à des excavations, des surcharges du terrain.

1.5.3.1. L'influence de l'eau sur la stabilité d'un versant

Les expériences accumulées dans le domaine de l'auscultation des glissements de terrain mettent en évidence que 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 (les infiltrations depuis la surface, les circulations souterraines et l'érosion exercée en pied de versant). 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.

1.5.3.2. Action rhéologique de l'eau

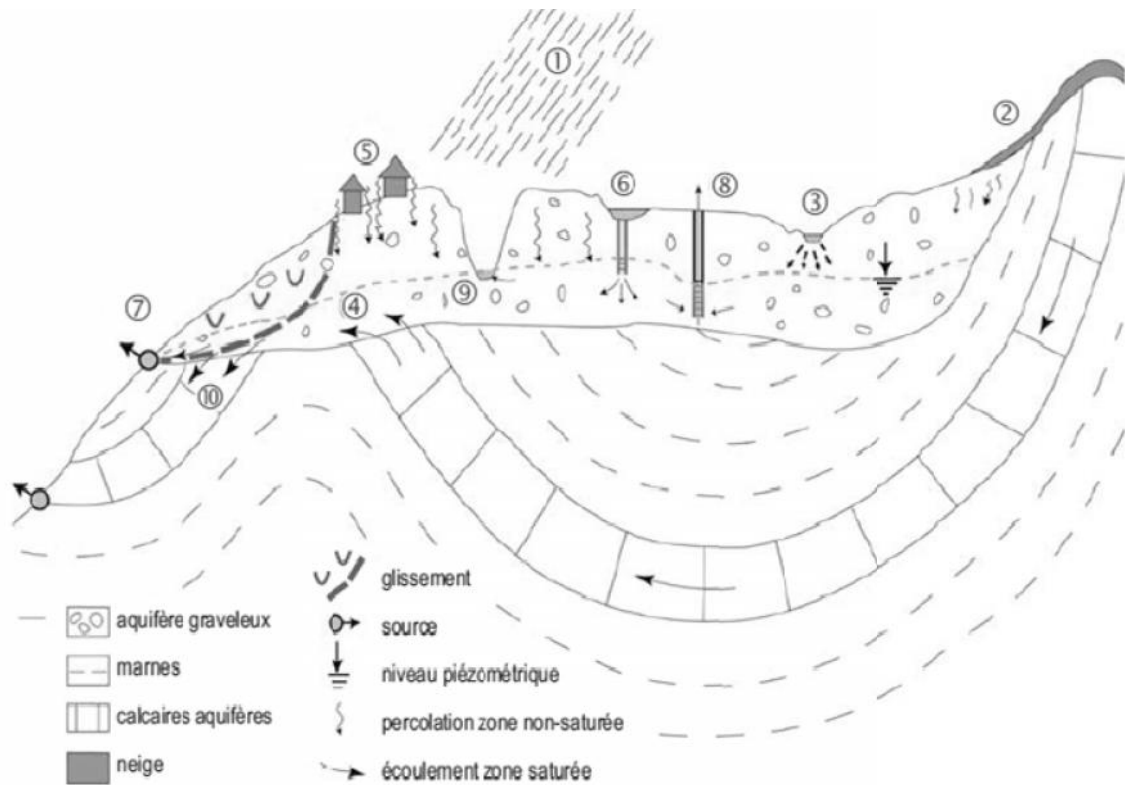
- La présence "anormale " d'eau peut provoquer la chute des caractéristiques mécaniques d'un sol, par exemple l'angle de frottement interne qui ne change pas dans un milieu pulvérulent, mais qui diminue dans un milieu argileux. Les valeurs de cohésion changent, et c'est pour cela que lors des essais géotechniques, on s'intéresse de près aux valeurs des limites d'Atterberg, lorsque le sol est caractérisé par un pourcentage important de particules fines ;
- Le changement du comportement rhéologique du sol (le sol peut passer d'un état solide à l'état visqueux).

1.5.3.3. Alimentation en eau des terrains

Une grande partie de l'alimentation en eau du sol provient des précipitations, tandis que l'autre partie provient des réseaux hydrauliques souterrains. En temps normal, le sol contient de l'eau jusqu'à une certaine hauteur (surface piézométrique). On distingue ainsi une zone saturée et une zone non saturée.

Suivant le mode de précipitation, différentes répartitions de l'eau dans le sol apparaissent.

L'eau humidifie le sol, puis, s'il y en a suffisamment, s'infiltrer, et enfin ruisselle à la surface. On remarque qu'une même quantité d'eau tombant en quelques jours est souvent beaucoup plus néfaste qu'une grosse pluie. Comme cela est mis en évidence dans de nombreux glissements, les déplacements varient au cours des saisons et leurs amplitudes sont en relation étroite avec les conditions climatiques : fortes chutes de pluie, fonte des neiges.



1. Infiltration de la pluie. 2. Infiltration de la fonte des neiges. 3. Infiltration des cours d'eau. 4. Apports d'autres aquifères. 5. Infiltration artificielle des eaux claires urbaines. 6. Installation de réalimentation artificielle. Les sorties : 7. Sources. 8. Puits et forages de pompage. 9. Alimentation du débit de base des rivières. 10. Pertes dans d'autres aquifères.

Figure 1.13 : Les entrées / sorties de l'eau dans un versant (Parriaux 2009).

1.5.3.4. Action des écoulements souterrains et superficiels

Les écoulements souterrains correspondent à l'écoulement dans une matrice poreuse d'un fluide visqueux qui est freiné par cette même matrice poreuse. La pression va engendrer des efforts mécaniques déstabilisants et l'écoulement de l'eau dans le sol peut générer un transport de matériaux qui se traduisent par le colmatage et l'érosion souterraine.

Le colmatage résulte du dépôt dans les interstices du milieu poreux des particules qui se trouvaient en suspension dans le liquide filtrant.

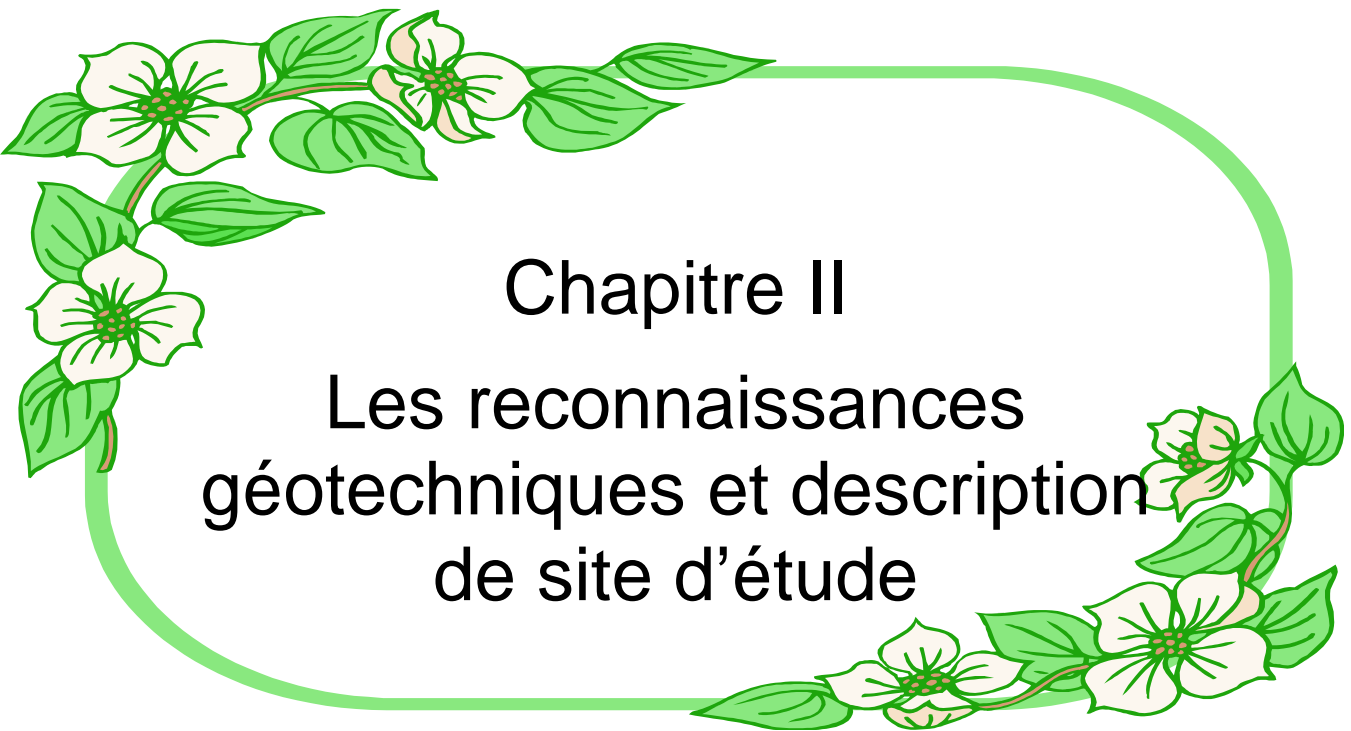
L'érosion souterraine se traduit par l'augmentation de la perméabilité. A l'inverse du colmatage, Les écoulements superficiels (ruissellement) donnent lieu à une érosion externe, qui risque de modifier la géométrie du versant, ce qui modifie les conditions de stabilité.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques cas de mouvement de terrain dans le monde et en Algérie

Nous avons aussi défini les différents types de glissements de terrain en effectuant une classification en fonction de la forme, de la surface de rupture.

Nous avons aussi étudié l'influence de certains facteurs sur l'activité des glissements de terrain telle que : l'action de l'eau, l'action d'un chargementetc.



Chapitre II

Les reconnaissances géotechniques et description de site d'étude

II.1.Introduction

Pour résoudre un problème géotechnique, il faut suivre une méthodologie composée de deux phases principales, une première phase s'appelle les reconnaissances préliminaires, dans lesquelles on analyse les différents documents existants sur la zone d'étude, une deuxième phase s'appelle les reconnaissances secondaires ou détaillées dans laquelle on suit un programme des sondages et des essais géotechniques nécessaires pour analyser et trouver la solution de problème.

Dans les lignes qui vont venir, on va montrer les différentes observations et informations collectées sur notre zone d'études, le programme des essais et une caractérisation générale de la zone d'étude.

II .2 . Situation géographique et limitation du site

La wilaya de Médéa est située dans le centre du pays au cœur de l'Atlas tellien, elle constitue une zone de transit et un trait d'union entre le Tell et le Sahara, et entre les Hauts Plateaux de l'Est et ceux de l'Ouest. Elle est délimitée au nord par la wilaya de Blida , à l'ouest par les wilayas de Aïn Defla et Tissemsilt, au sud par la wilaya de Djelfa et à l'Est par les wilayas de M'Sila et Bouira.

La Wilaya de Médéa est caractérisée par une nature montagneuse, cette dernière favorise l'apparition des mouvements de terrain, on parle de glissement de terrain dans les formations meubles « notre cas d'étude », et des éboulements et chute de blocs dans les formations rocheuses.

Le quartier 'Kouala' dans le nord-ouest de la ville de Médéa a connu un glissement de terrain important, l'intensité de mouvement est apparue dans des villas basculées, des murs fracturés, des poteaux et des arbres penchés...etc

Le terrain étudié est délimité comme suit :

- A l'EST : terrain vague ;
- A l'ouest : la résidence universitaire Hacène Benmouloud et le Quartier Gasto ;
- Au NORD : le Quartier Gasto ;
- Au SUD : le quartier Chrachria.

La longueur maximale du versant affecté par le mouvement est de l'ordre de 900m, sa pente est variable entre 8 % et 35 %, sa largeur maximale est d'environ 600m ,et sa largeur minimale au pied du versant est de l'ordre 100m.



Figure 2.1. Délimitation de la zone mouvementée (Google earth 2017) avec des Photographies présentant les endommagements des constructions avoisinantes (A) des désordres au niveau du mure de la clôture de la résidence universitaire (B) une villa basculée.

II.3. Aperçu géologique

II.3.1. Géologie régionale

La région de Médéa est couverte par des terrains Néogènes post nappes, délimitées par d'importants massifs montagneux d'âges anciens, où le crétacé prédomine : l'Atlas de Blida au Nord et le massif de Berrouaghia au Sud.

Les terrains post nappes de Médéa s'étendent jusqu'aux plaines de Béni Slimane et de Cheliff. Ils forment des bassins Néogènes intramontagneux relativement peu élevés par rapport aux massifs de bordures.

D'après la carte géologique de Médéa (**voire l'annexe**) on peut résumer les différentes formations géologiques de la région de Médéa comme suit :

A/ Formations de tertiaire (Néogène) :

) **Grès supérieurs (Helvétien supérieure m^3_d) :**

Ils constituent le couronnement de l'Helvétien, dans toutes les parties culminantes, ces grès friables sont généralement décomposés et réduits en sables jaunes, à la surface.

Leur épaisseur maximale dans la région dépasse le 80m, leur contact avec les argiles sous-jacentes donne lieu à nombreuses et abondantes sources qui sont la richesse du plateau de Médéa.

) **Argiles supérieures (Helvétien moyen m^3_c)**

Ces argiles sont très déliquescentes et constituent un sol très instable. Elles sont parfois intercalées de petits lits de grès friables, renfermant des moules de bivalves.

Elles sont de couleur gris bleuâtre et forment l'assise moyenne de l'étage Helvétien, constante dans la région, avec une épaisseur comprise entre 100 et 250 m.

) **Grès d'Hassan Ben Ali (m^3_b) :**

Ils sont sableux, friables, intercalés de poudingues, principalement sur les bords du bassin. Leur épaisseur est extrêmement variable, atteint 80 à 100 m de puissance dans les parties centrales et au Sud, elle se réduit à quelques bancs au Nord- Ouest.

Ces grès, intimement liés à l'assise argileuse sous-jacente, formant en quelques points, la base de l'étage Helvétien. Ces assises détritiques sont des dépôts de comblement dont on peut suivre les variations brusques, en des points très rapprochés.

) **Argiles inférieures (Helvétien inférieure m^3_a) :**

Elles sont d'âge Helvétien inférieur, absolument semblables à celles de l'assise m^3_c (Argiles supérieures), auxquelles elles se relient directement par la réduction des grès m^3_b .

L'épaisseur maximale de cette assise atteint plus de 100m à l'est de Hassan Ben Ali

B/formations de secondaires (crétacé) :

) sénonien

) Marnes schisteuses grises.

) Albien

Il s'agit d'une formation marine franche comprenant des alternances des marnes et des calcaires, cette formation affleure sur les rives d'oued Merriréne et au sud-ouest de la ville de Médéa.

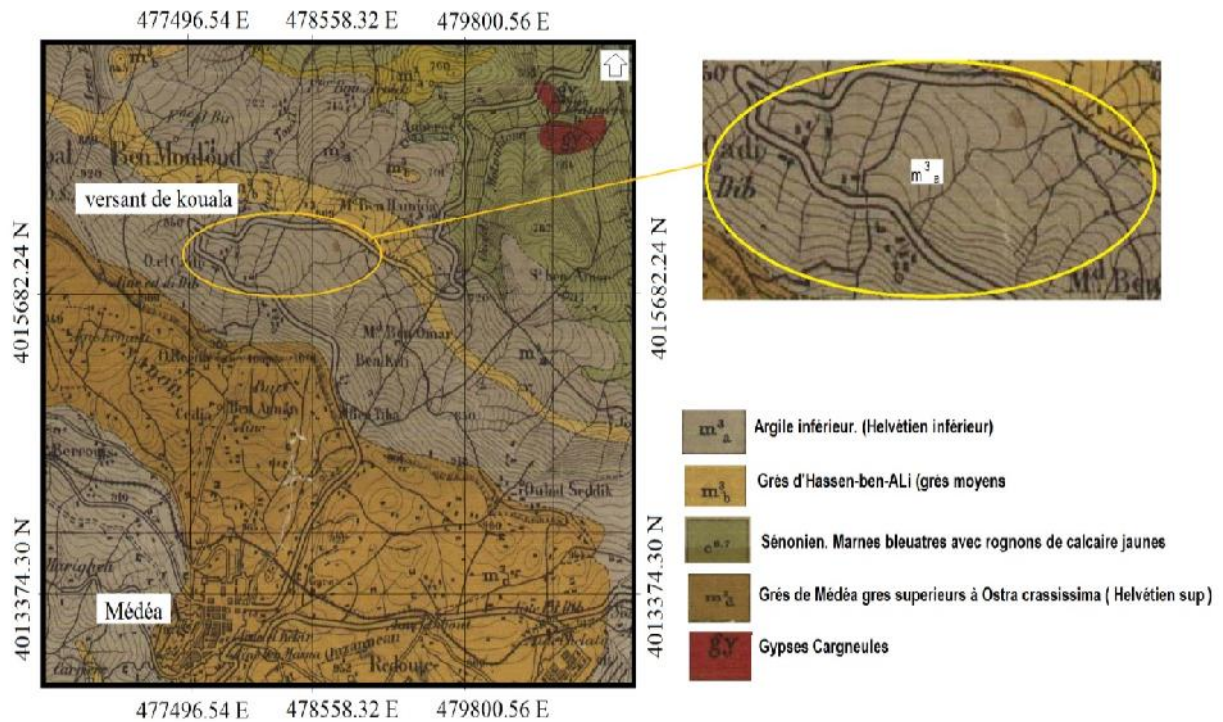


Figure 2.2 : extrait de la carte géologique de Médéa, feuille n °86

II.3.2. Géologie locale

Les formations géologiques de la région de Kouala peuvent être résumées d'après la carte géologique de Médéa N°86 à l'échelle 1/50,000 (fig. 2.2)

-) **M³_a** : Marnes argileuses (Helvétien inférieur), absolument semblables à celles de l'assise m³_c auxquelles elles se relient directement par la réduction des grès m³_b, l'épaisseur maxima de cette assise atteint plus de 100 mètres à l'est de Hassen-Ben-Ali, on y rencontre les mêmes ostracées que dans les grès qui la surmontent.

II.4 . Géomorphologie du site

L'examen de la carte des pentes réalisée sur un fond topographique à l'échelle 1/1000 montre que le site reflète une distribution variable des pentes, d'un endroit à un autre avec des pentes variables de 8 % à 35 % (Figure 2.3).

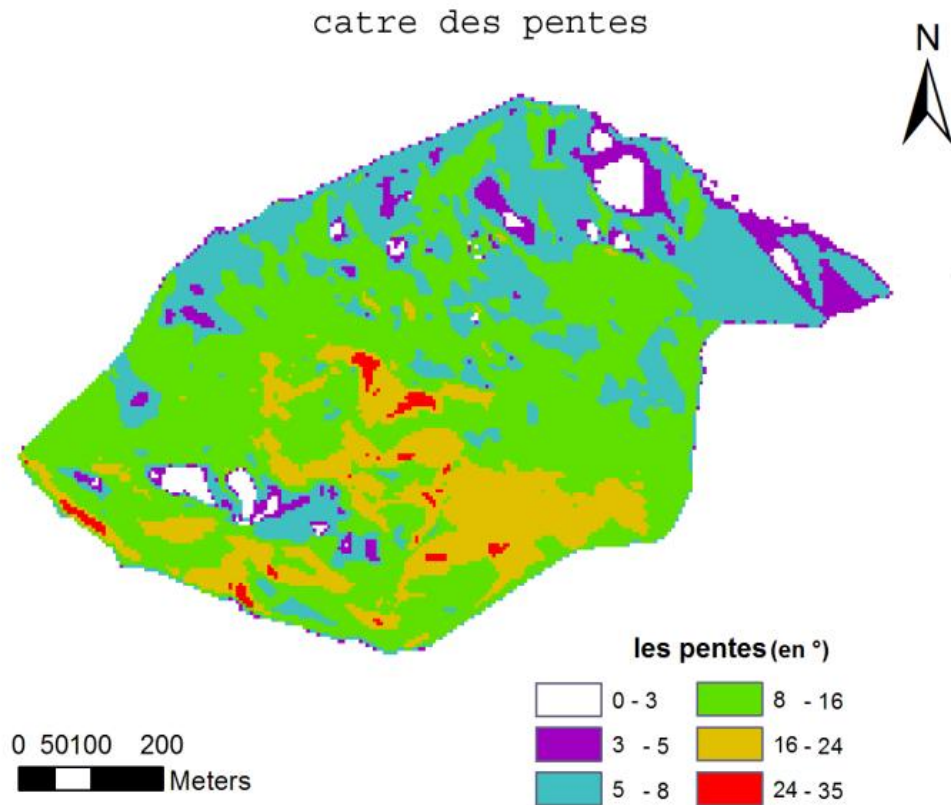


Figure 2.3 : Carte des pentes du versant de Kouala.

II.5. Aperçu Hydrogéologie et Hydrologie

Sur le plan hydrogéologique, le plateau de Médéa est constitué d'alternances de bancs gréseux perméables plus ou moins sableux avec des couches d'argiles, cela constitue un réservoir d'eau qui alimente en permanence de nombreuses et abondantes sources en aval.

Le versant étudié est raviné par plusieurs cours d'eau (figure 2.4), le plus important et le plus profond est le talweg qui prend naissance au sud de site drainant les eaux de la source et alimente les zones marécageuses résultantes de la stagnation d'eau sur des replats et crevasses d'un rejet d'un grand glissement de terrain profond, ce talweg traverse le site du côté ouest avec un écoulement vers le nord passant à côté d'un réservoir qui a subi un basculement, ou une autre zone marécageuse s'est installée (zone de stagnation d'eau).

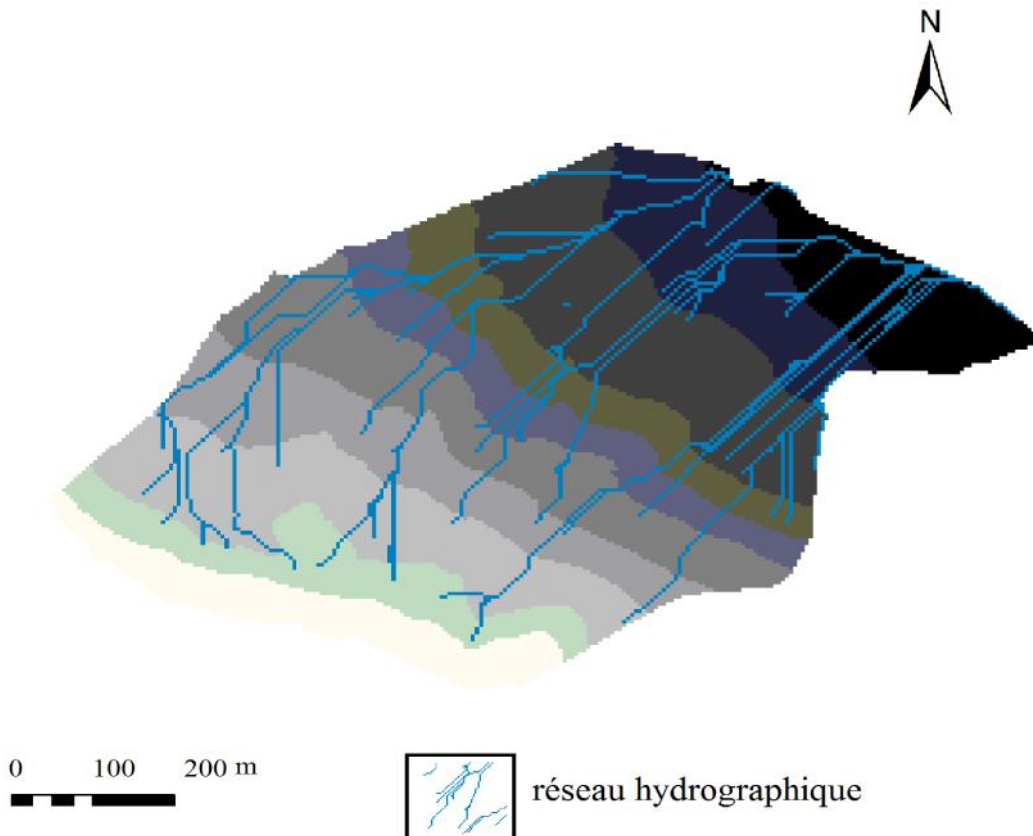


Figure 2.4 : le réseau hydrographique du versant de kouala réalisé à partir de Modèle numérique d'Élévation (MNE)

II.6. Aperçu climatologique

Les données climatologiques enregistrées au niveau de la station météorologique de l'Office National de la Météorologie « ONM » dans la région de Médéa, montrent que la ville a un climat méditerranéen subhumide, avec des étés chauds et secs, avec des températures atteignant 40 °C. En hiver le climat est pluvieux et neigeux, la température peut atteindre 0 °C, la valeur de la température moyenne mensuelle enregistrée oscille autour de 15 °C.

Les précipitations maximales sont enregistrées durant les mois de décembre et janvier avec des valeurs supérieures à 100 mm/mois, par contre le minimum s'observe durant les mois de juillet et août, en période sèche avec des valeurs inférieures à 10 mm/mois. La précipitation moyenne annuelle est de 140 à 180 mm (fig2.4).

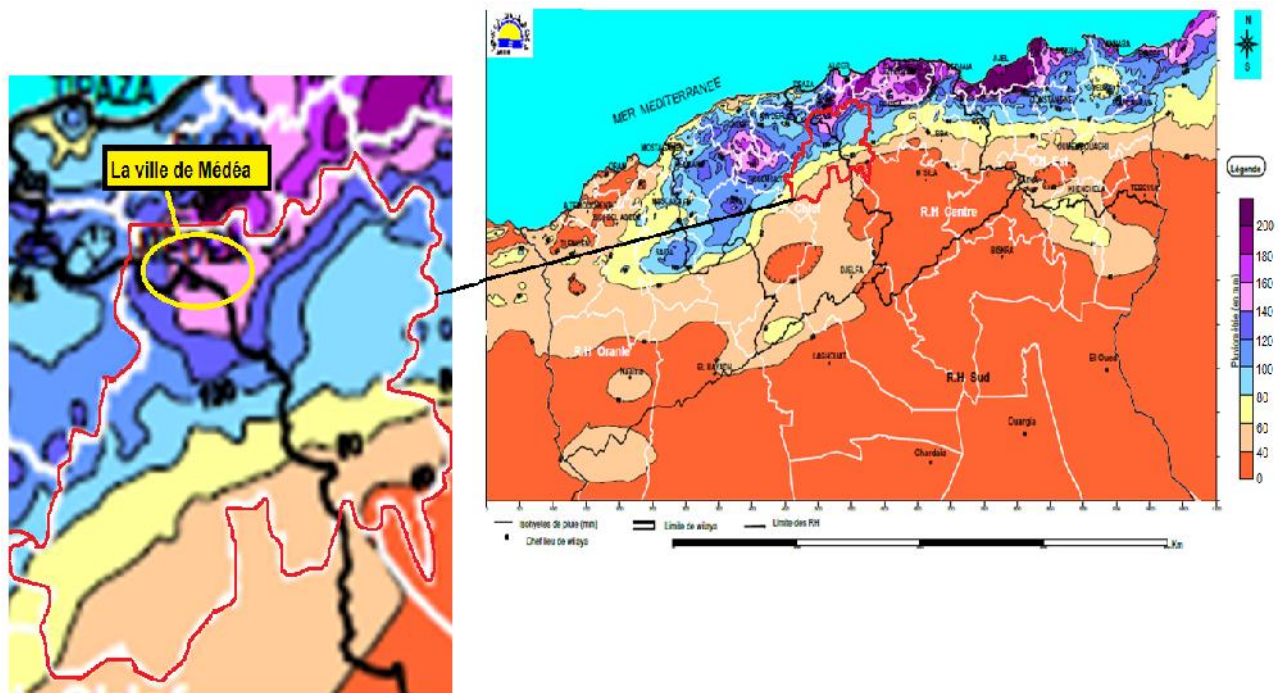


Figure 2.5 : Carte des précipitations annuelles moyennes du Nord algérien
« A.N.R.H., 2012 »

II.7. Les reconnaissances géotechnique

Dans cette étape l'ingénieur géotechnicien prépare un programme des essais in situ et au laboratoire qui répond au besoin de calcul ou analyse du problème.

L'analyse et le calcul de la stabilité d'un versant naturel nécessitent la détermination de la géométrie du versant, la nature de terrain (les essais d'identifications), et les paramètres de résistance mécanique, généralement la cohésion et l'angle de frottement interne

Le tableau 2.1 : résume les différents essais réalisés par laboratoire (L.G.G Setif)

	TYPE D'ESSAI	NOMS DE L'ESSAI	NOMBRE D'ESSAIS
Essais in situ	Essais mécaniques	Sondages carottés	17
		Pénétromètre type ?? NF P94-113	61
Essais au laboratoire	Essais physiques	Teneur en eau NF P 94-050	2
		Degré de saturation (Sr%)	2
		Limites d'Atterberg NF P 94-051	2
		Analyses granulométriques NF P 94 -057	17
	essais mécaniques	Cisaillement à la boîte NF P94-071	17
		Compressibilité à L'oedomètre NF P94-090	17
	Analyses chimiques	Teneur en carbonates NF P 94-048	2

II.7.1. Les sondages carottés

Le laboratoire L.G.G Setif a réalisé 374ml de sondage carotté divisé sur 17 sondages, les sondages sont exécutés selon un maillage qui couvre la totalité de versants

D'après les coupes lithologiques fournies par les sondages carottés, le terrain objet de l'étude est composé de :

Sondage n°1 :

-) 0.00-4.20m : Argile sableuse rouge avec des gros blocs de grés .
-) 4.20-22.00m : Marne grise altérée en surface et compacte en profondeur.

Sondage n°2

-) 0.00-6.40m : Argile limoneuse brune.
-) 6.40-22.00m : Marne grise altérée en surface et compacte en profondeur.

Sondage n°3 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale (Argile brune).
-) 0.65-7.20m : Argile sableuse rouge a et graveleuse avec des gros blocs de grés.
-) 7.20-22.00m : Marne grise altérée en surface et compacte en profondeur.

Sondage n°4 :

-) 0.00-6.20m : Argile sableuse rouge a et graveleuse avec des gros blocs de grés.
-) 6.20-22.00m : Marne grise altérée en surface et compacte en profondeur.

Sondage n°5 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale(Argile sableuse).
-) 0.65-8.20m : Argile beige avec des gros blocs de grés.
-) 8.20-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°6 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale.
-) 0.65-6.10m : Argile sableuse varicolore à dominance rouge .
-) 6.10-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°7 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale .
-) 0.65-6.20m : Argile sableuse rouge a et graveleuse avec des gros blocs de grés.
-) 6.20-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°8 :

-) 0.00-0.40m : Terre végétale.
-) 0.40-6.40m : Argile beige et parfois bariolée avec des niveaux sableux.
-) 6.40-8.40m : Argile beige et rouge avec des blocs de grés.
-) 8.40-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°9 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale (Argile brune).
-) 0.65-4.10m : Argile beige et parfois bariolée.
-) 4.10-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°10 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale.
-) 0.65-2.70m : Argile sableuse rouge.
-) 2.70-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°11 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale.
-) 0.65-2.70m : Argile sableuse varicolore.
-) 2.70-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°12 :

-) 0.00-2.70m : Argile sableuse varicolore.
-) 2.70-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°13 :

-) 0.00-0.50m : Terre végétale.
-) 0.50-4.30m : Argile sableuse beige à rouge.
-) 4.30-22.00m : Marne grise compacte .

Sondage n°14 :

-) 0.00-3.50m : Argile sableuse rouge .
-) 3.50-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°15 :

-) 0.00-0.65m : Terre végétale.
-) 0.65-7.50m : Argile sableuse rouge.
-) 7.50-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°16 :

-) 0.00-3.50m : Argile sableuse rouge.
-) 3.50-22.00m : Marne grise compacte.

Sondage n°17 :

-) 0.00-6.40m : Argile sableuse rouge.
-) 6.40-22.00m : Marne grise compacte.

La carte (figure 2.6) montre le positionnement de sondage avec aussi la topographie de terrain selon la coupe qui relié les sondages S03 S04 S13.

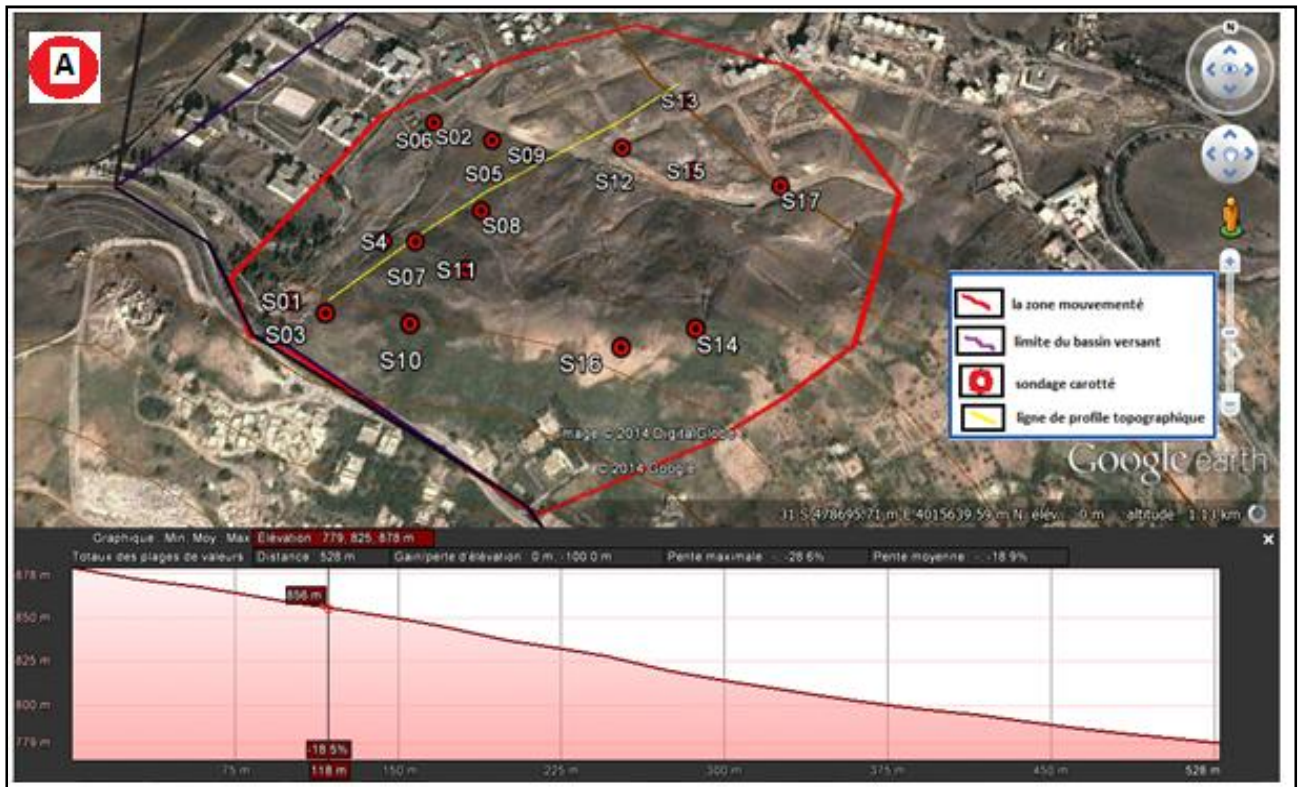


Figure 2.6 : Positionnement des sondages carottés dans la zone d'étude

II.7.2. Les essais au laboratoire

Les principaux résultats de l'analyse du sol au laboratoire sont présentés dans le tableau 2.2

	couche 01			couche 02			
	max	min	moy	altérée			compacte
les paramètres géotechniques				max	min	moy	
w_n (%)	29.70	17.51	23.00	26.82	18.06	22.24	
γ_d kn/m ³	1.8	1.49	1.66	1.81	1.57	1.69	20
sr (%)	100	90.88	97.88	100	91.67	98.84	
limites d'Atterberg							
w_L (%)	60.76	40.73	52.02	62.75	39.82	50.29	
w_P (%)	31.36	20.70	27.66	30.79	20.25	25.63	
I_p	29.40	20.03	24.36	31.71	19.57	24.66	
I_c	1.05			1.13			
résistance au cisaillement							
C_u (bar)	0.72 < C_u < 0.83			0.60 < C_u < 0.90			0.72
φ_u (°)	0.72 < φ_u < 3.86			1.32 < φ_u < 3.49			15

Le niveau piézométrique a été détecté à 2 m par rapport à la surface.

II.8. Interprétation de résultat

Les coupes lithologiques fournies par les sondages carottés montrent que le terrain est homogène, il est caractérisé par deux couches principales et une couche 3ème de marnes compactes (figure 2.7)

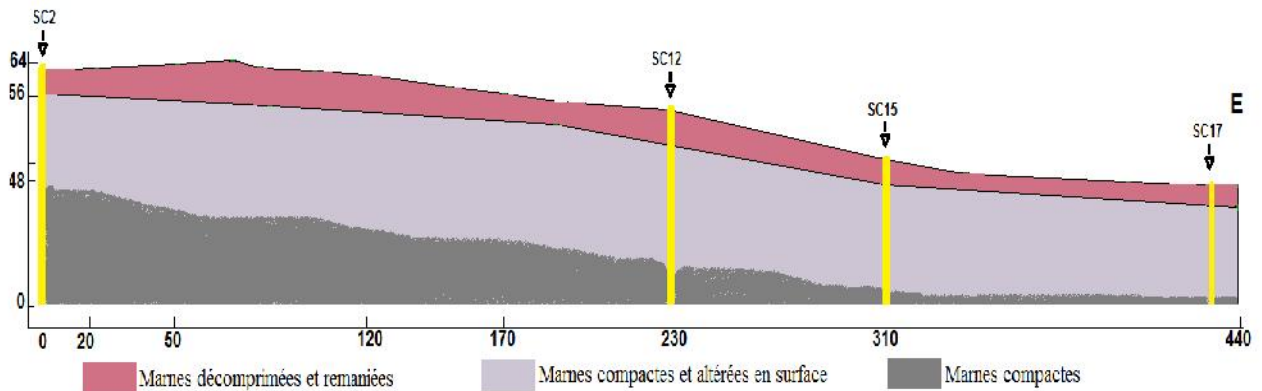


Figure 2.7 : Coupe lithologique simplifiée du versant de Kouala

La première couche de 2 m à 8 m, de couleur rouge, elle est dense avec une densité sèche moyen $\gamma_d = 16.60 \text{ KN/m}^3$. L'analyse granulométrique montre que la couche est caractérisée par 70 % des grains dans le diamètre est inférieur à 0.08 mm, la portion qui reste est de diamètre $2\text{mm} < \phi < 0.08$. La teneur de CaCO_3 dans le sol est de 50 %, donc le sol c'est de la Marne. La teneur en eau naturelle de terrain de 17.51 à 29.70 % avec un indice de plasticité IP entre 29.4 et 20.03 donc le sol est de nature peu plastique à plastique.

La résistance au cisaillement de la couche est présentée par des valeurs de l'angle de frottement varie de $0.72^\circ < \varphi < 3.86^\circ$ et des cohésions entre $0.72 < C_u < 0.83 \text{ bar}$. La deuxième couche de 8 m à 20m, de couleur grisâtre à bleuâtre est de même nature de la couche une, mais avec un état altéré en surface et compact en profondeur

La résistance au cisaillement de la couche est présentée par des valeurs de l'angle de frottement varie de $1.32^\circ < \varphi < 3.49^\circ$ et des cohésions entre $0.71 < C_U < 0.90 \text{ bar}$.

II.9. Conclusion

Le versant de Kouala est caractérisé par des pentes variables entre fortes à moyennes

. La campagne de reconnaissance géotechnique montre que le versant est composé principalement par deux couches dans la nature est marne

La première couche est de nature plastique, elle est saturée d'eau, la deuxième couche est altérée dans la partie de contact avec la première couche et compacte en profondeur, cette partie altérée est considérée comme le milieu le plus favorable de la naissance de surface de glissement.

Dans le chapitre suivant, on va présenter nos différentes hypothèses probables pour le déclenchement de glissement de terrain en se basant sur la modélisation numérique par le code de calcul PLAXIS.



Chapitre III

Analyse de la stabilité de versant
par la méthode des éléments finis

III.1. Introduction

Le monde a connu une révolution importante dans le domaine de l'informatique, les chercheurs géotechniciens ont profité cette situation pour créer des logicielles de modélisation et des tablettes de calcul qui servent à faire des analyses et des calculs difficiles rapidement et avec une précision élevée, on trouve dans le marché des logiciels comme Plaxis , Geostudio , Talren, GE05Etc.

- **Calcul en élément finit** : La méthode a été développée dans le domaine des structures vers les années 1950, elle a été ensuite généralisée et appliquée, dans tous les domaines de l'ingénieur. L'application de cette méthode nécessite la connaissance d'une loi de comportement (contrainte - déformation) pour le sol considéré, moyennant quoi ; le volume étudié est divisé en éléments géométriques simples (triangle dans le cas d'un problème à deux dimensions). ces éléments séparés les uns des autres par des lignes ou des surfaces imaginaires sont seulement interconnectés en nombre des points ou nœuds. Chaque élément est soumis à l'action des éléments voisins. Le calcul consiste à déterminer un champ de forces et de déplacement compatibles avec les équations de la mécanique et la loi de comportement adoptée.

Dans cette étude, nous avons utilisé le code de calcul Plaxis 8.5, on a fait une modalisation numérique de versant naturel Kouala en examinant l'état d'équilibre de versant pour différentes situations.

Cette modélisation nous a permettre de découvrir

- la partie du versant qui a subi la plus grande déformation
- le déplacement total maximal
- la surface de cisaillement et le type de glissement probable.

III.2. Présentation du logiciel

Le logiciel PLAXIS est le logiciel d'éléments finis de référence en géotechnique dont le développement commença en 1987 à l'initiative du ministère des Travaux publics et d'hydrologie des Pays-Bas. Son but initial était de créer un code éléments fini facilement utilisable en 2 D pour analyser l'effet de l'implantation d'une digue fluviale sur les argiles molles des Pays-Bas. En quelques années, PLAXIS a été étendu à plein d'autres domaines de la géotechnique. En 1998, la première version de Plaxis pour Window est développée. Durant la même période, une version 3D du logiciel a été développée. Après quelques années de développement le logiciel 3D PLAXIS Tunnel programme est sorti en 2001.

Son principal objectif était de fournir un outil permettant des analyses pratiques pour l'ingénieur géotechnique qui n'est pas nécessairement un numéricien. Il en résulte que Plaxis est utilisé par de nombreux ingénieurs géotechniques de nos jours, dans le monde entier.

III.2.1. Le plan général du programme PLAXIS

Le plan général du programme PLAXIS est présenté dans l'organigramme de la Figure (3.1) une brève description de ce programme est présentée.

L'interface du programme PLAXIS utilise principalement quatre sous-programmes (PLAXIS-Input, PLAXIS-Calculations, PLAXIS-Output and PLAXIS-Curves).

PLAXIS-Input : le sous programme Input appelé aussi la préproression programme contient les toutes facilités nécessaires à la création et modification des modèles géométriques, à l'engendrement des maillages des éléments finis et à la définition des conditions initiales.

PLAXIS-Calculations : le procession programme ou le sou programme de calculs contient les facilités utiles à la définition des phases et au commencement de la procédure de calcul des éléments finis.

PLAXIS-Output : ou le programme post-processing contient les facilités pour la visualisation des résultats de la phase de calculs, comme les déplacements au niveau des nœuds, les contraintes les forces au des éléments structuraux, etc.

PLAXIS-Curves : le sou programme curve sert à la construction des courbes de chargement – déplacement, des chemins de contraintes, en plus de divers autres diagrammes.

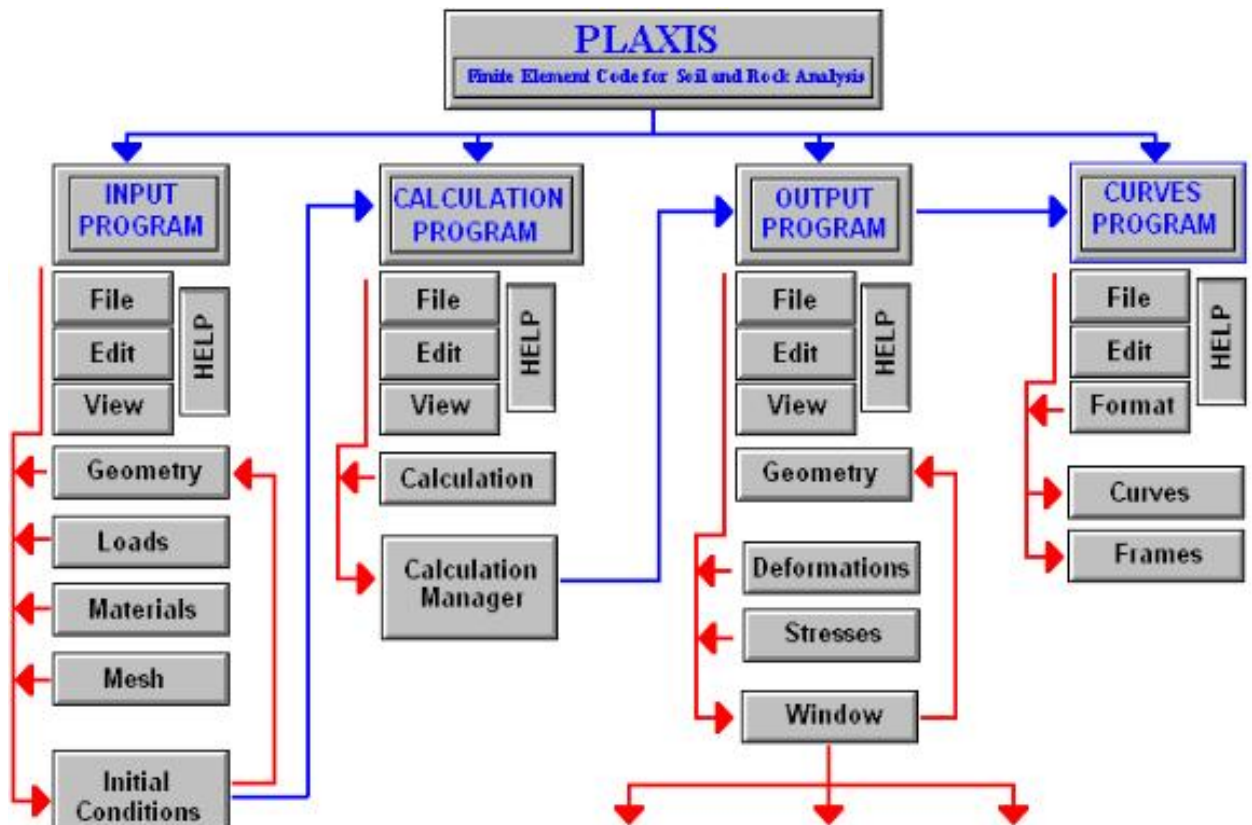


Figure 3.1 : Le plan général du programme PLAXIS

III.3. Les modèles de sol incorporés dans le plaxis code

Le PLAXIS code version 8.5 utilisée dans la présente investigation contient les modèles constitutifs des sols suivants :

III.3.1. Le modèle élastique linéaire (EL)

Le comportement mécanique des sols peut être modélisé à différents niveaux d'exactitude. La loi de Hook par exemple est la plus simple relation contrainte déformations disponible. Cette loi considère le matériau comme étant linéaire, isotropique et élastique. Le comportement est caractérisé par le module de Young, E , et le coefficient de Poisson (cette loi est trop simple pour modéliser le comportement réel des sols).

III.3.2. Le modèle de Mohr — Coulomb (MCM)

Le modèle de Mohr-Coulomb, ou modèle elasto-plastique est un modèle constitutif de sol qui inclut cinq paramètres caractéristiques du sol, c.-à-d. le module de Young, E , le coefficient de Poisson (sont représentatifs de l'élasticité du sol, l'angle de frottement interne

(et la cohésion, c , sont représentatifs de la plasticité du sol (est un paramètre qui représente la dilatance du sol. Le modèle de Mohr — Coulomb est considéré comme un modèle de première approximation du comportement du sol, et recommandé pour les analyses primaires des problèmes géotechniques.

Dans le plan de Mohr, la droite intrinsèque est représentée par : $\tau = \sigma n \tan\phi + c$

Où n et τ sont respectivement les contraintes normales et de cisaillement, et c et ϕ respectivement la cohésion et l'angle de frottement du matériau.

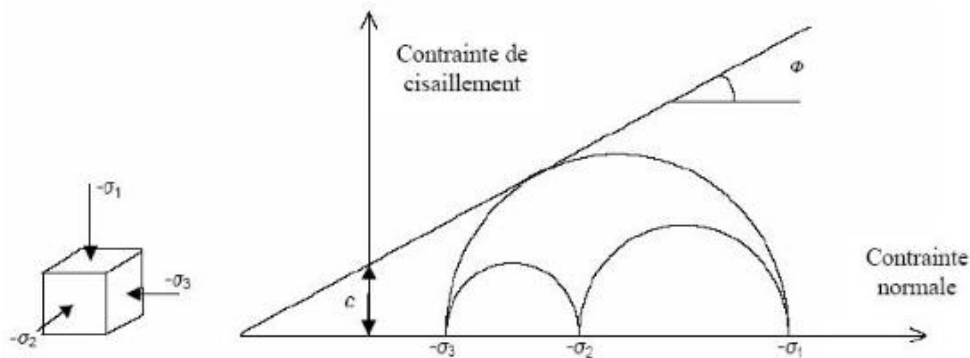


Figure 3.2 : Courbe intrinsèque du modèle de Mohr — Coulomb.

III.3.3. Modèle de durcissement par écrouissage isotropique ‘Hardening -Soil model’ (HSM)

le modèle de durcissement par écrouissage isotropique ou ‘Hardening -soil model’ est un modèle beaucoup plus développé que le modèle de Mohr — Coulomb. Les états limites de contraintes sont présentés par l'angle de frottement « ϕ », la cohésion « c », et l'angle de dilatance, « ψ ». La rigidité du sol est quantifiée plus précisément par l'utilisation de trois différents paramètres de rigidité : la rigidité de chargement triaxial, « E_{50} », la rigidité de déchargement triaxiale, « E_{ur} » et la rigidité de chargement oedométrique, « E_{oed} ». Par rapport au modèle de Mohr-Coulomb, le HSM modèle prend en considération la dépendance aux contraintes, du module de rigidité, ce qui signifie que les rigidités augmentent avec la pression.

III.3.4. Modèle des sols doux ou ‘Soft –Soil -Creep model’ (SSCM)

Le modèle SSCM, est convenable pour tous les sols, mais ne prend pas en considération l'effet de la viscosité, c'est-à-dire le fluage et la relaxation des contraintes. En réalité, tous les

sols exhibent un certain fluage et une compression initiale est souvent suivie par une certaine quantité de compression secondaire. Cette compression est plus dominante dans les sols doux, les argiles normalement consolidées, les vases et les tourbes.

III.4. Description du modèle numérique

La création d'un modèle numérique dite de référence en éléments finis nécessite la réalisation des principales phases à savoir :

-) La création de la géométrie du modèle (le sol et la structure)
-) La mise en place des conditions aux limites du modèle
-) La saisie des propriétés physico-mécaniques des couches de sol et de la structure
-) Le maillage du modèle géométrique
-) La prise en compte des conditions hydrogéologiques
-) calcul pour différentes situations

III.4.1. La géométrie du modèle

Nous avons créé un modèle numérique dans la géométrie ressemble à celle de la coupe lithologique obtenue par les sondages carottés S01, S04, S08, SC13, avec une longueur 300 m, une altitude maximale est 50 m (figure 3.3).

On a choisi les conditions aux limites par défaut, les conditions aux limites imposées au modèle sont les suivantes :

- Le bas du modèle est totalement bloqué dans toutes les directions, pas de rotation et translation par rapport aux axes principaux x et y
- Les deux côtés du modèle sont bloqués en rotation et translation par rapport à l'axe x et libres pour l'axe y.

Le modèle fait par des éléments à 6 nœuds. Le nombre d'éléments est de (126) et le nombre des nœuds est de (1093).

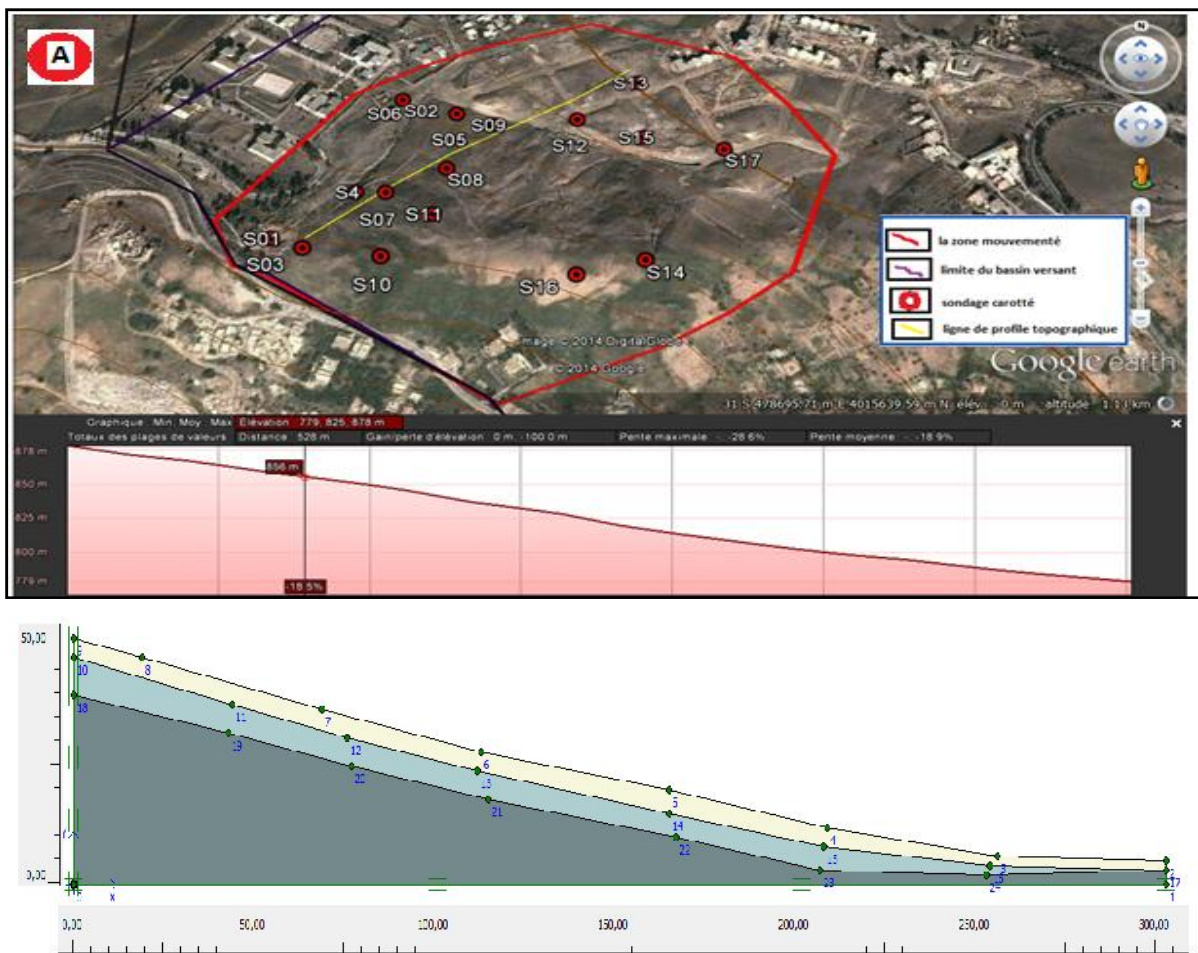


Figure 3.3 : versant de Kouala : (A) profil topographique par Google earth (B) modèle numérique de référence (plaxis8.5)

La partie altérée de la marne à des caractéristiques géotechniques faibles (tableau 3.1, figure 3.3), pour cela, on a remplacé la lithologie réelle constituée de deux couches par une lithologie composée de trois couches :

- couche d'argile
- couche de marne altérée
- couche de marne compacte

On a considéré tous les matériaux comportent comme un matériau élastique - parfaitement plastique, pour simuler ce comportement nous avons utilisé le modèle de comportement Mohr-Coulomb. Les différentes caractéristiques des couches sont présentées dans le tableau (3.1)

Tableau 3.1 : les caractéristiques géotechniques de différentes couches

MOHR-COULOMB		ARGILE DE SURFACE	MARNE ALTEREE	MARNE COMPACTE
Type		UnDrained	UnDrained	Non-porous
g_{unsat}	[kN/m ³]	16,00	16,00	16,00
g_{sat}	[kN/m ³]	18,00	18,00	16,00
k_x	[m/day]	0,001	0,001	0,000
k_y	[m/day]	0,001	0,001	0,000
c_{ref}	[kN/m ²]	75,00	52,00	54,00
ϕ	[°]	0,00	0,00	30,00
E_{ref}	[kN/m ²]	2390,000	2390,000	10000,000
n	[-]	0,300	0,350	0,350

III.4.2. Conditions initiales

Les conditions initiales nécessitent la génération des pressions interstitielles initiales ainsi que des contraintes initiales.

III.4.3. Conditions hydrauliques

Le niveau de la nappe phréatique initiale est à -2 m de la surface les conditions aux limites hydrauliques sont montrées dans la Figure (3.4), la base et les deux côtés du modèle sont non drainés pour cela on utilise la frontière de consolidation fermée, en d'autres termes, l'eau ne peut pas s'écouler à travers ces limites.

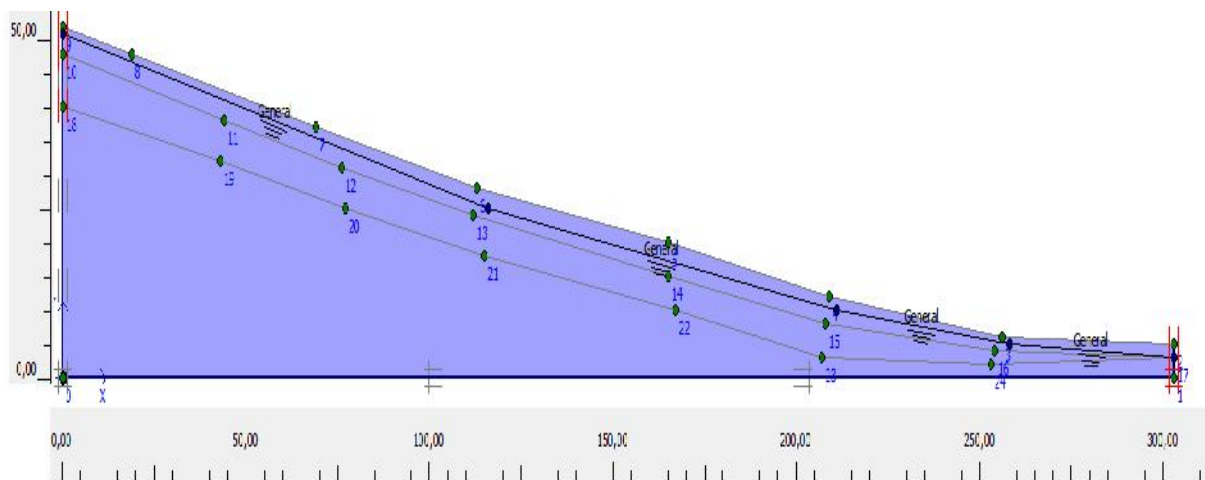


Figure 3.4 : Condition hydraulique initiale.

III.4.4. Contrainte initiale

Pour le calcul des contraintes initiales, on génère alors les contraintes initiales en prenant les valeurs de K_0 par défaut. La valeur de K_0 est proposée automatiquement d'après la formule de Jaky ($K_0=1-\sin \phi$). On garde le poids du sol à 1, ce qui correspond à une application totale de la gravité.

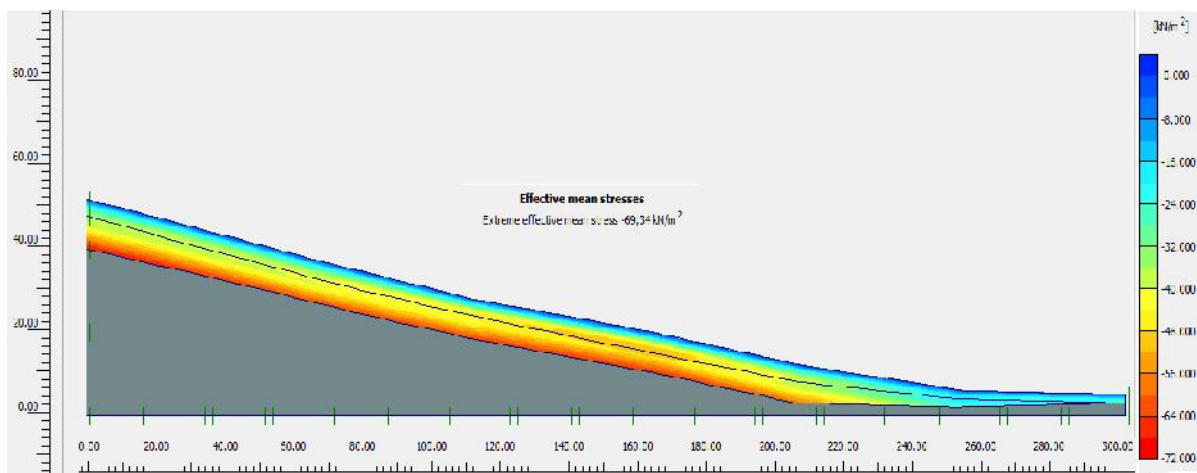


Figure 3.5 : Génération des contraintes initiales.

III.5. Procédure et résultats de calculs

Le but de la série des calculs effectués est de déterminer :

- La valeur de coefficient de la sécurité de versant par la méthode « Phi-c réduction »
- la déformation qui peut subir le versant après 01 jour en prend en considération les variations de la pression interstitielle.
- Calcul total de la déformation qui peut subir le versant sans prendre en considération le paramètre de temps

III.5.1. Calcul phi-c réduction

La réduction des caractéristiques mécaniques (Phi-c réduction) est une option permet de calculer les coefficients de sécurité FS. Dans l'approche Phi-c réduction, les caractéristiques $\tan \varphi$ et c du sol sont réduites progressivement jusqu'à l'obtention de la rupture.

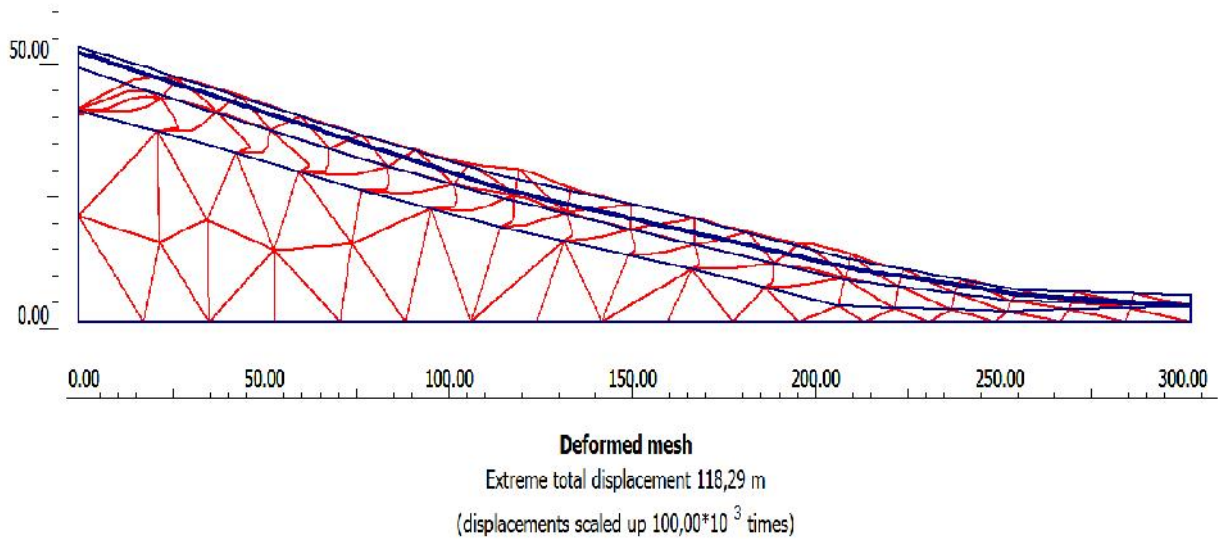


Figure 3.6 : Déplacement total représenté par la déformation des mailles

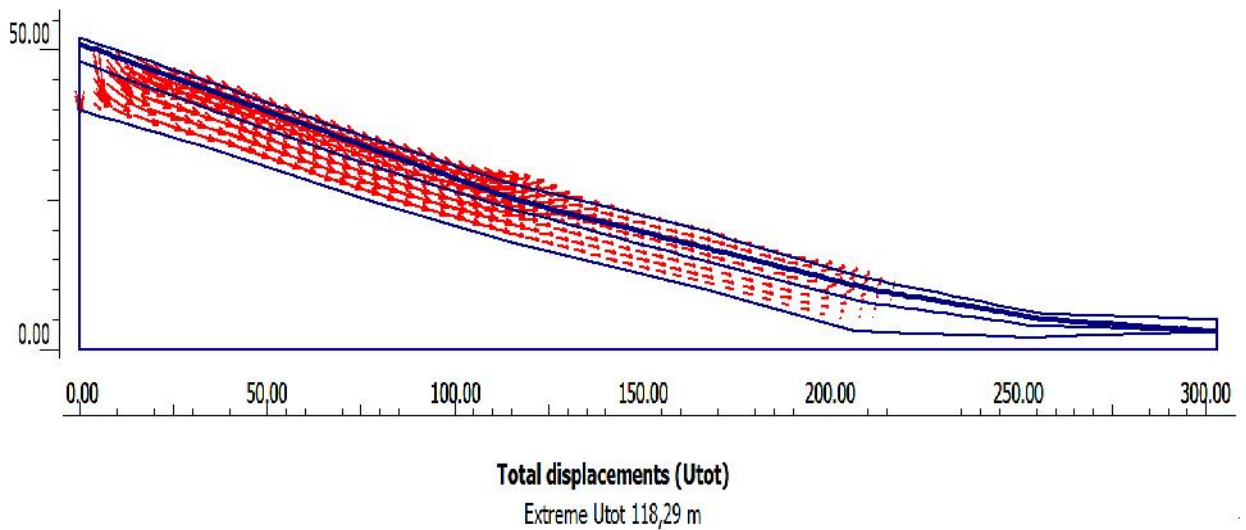


Figure 3.7 : Direction de mouvement de terrain

La déformation par maillage (Figure 3.6) montre que la partie amont du versant subit un tassement, avec un changement léger dans les reliefs de versant.

a) Déplacement total

La figure 3.8 montre que les déplacements est atteintes le 120×10^{-3} m, ces déplacements sont diminués jusqu'à une valeur de 60×10^{-3} m au milieu de versant et 0m dans la partie aval.

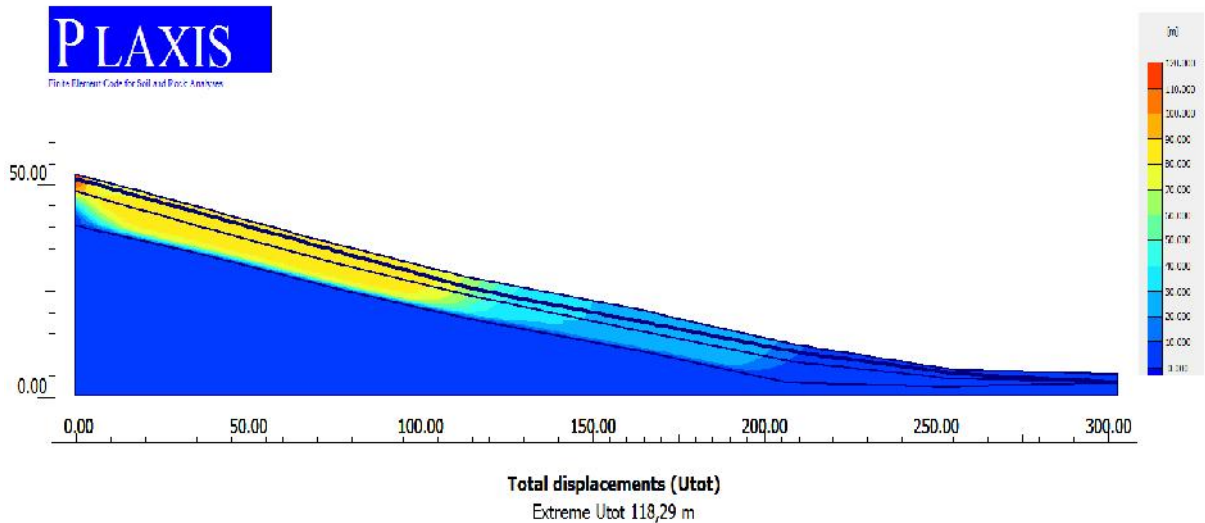


Figure 3.8 : Variation de l'intensité de mouvement de terrain

b) Contraintes de cisaillement

La figure montre que les contraintes de cisaillement sont concentrées dans la partie de contact entre la couche de marne compacte et la marne altérée, elles atteintes une valeur de 40 KN/m²

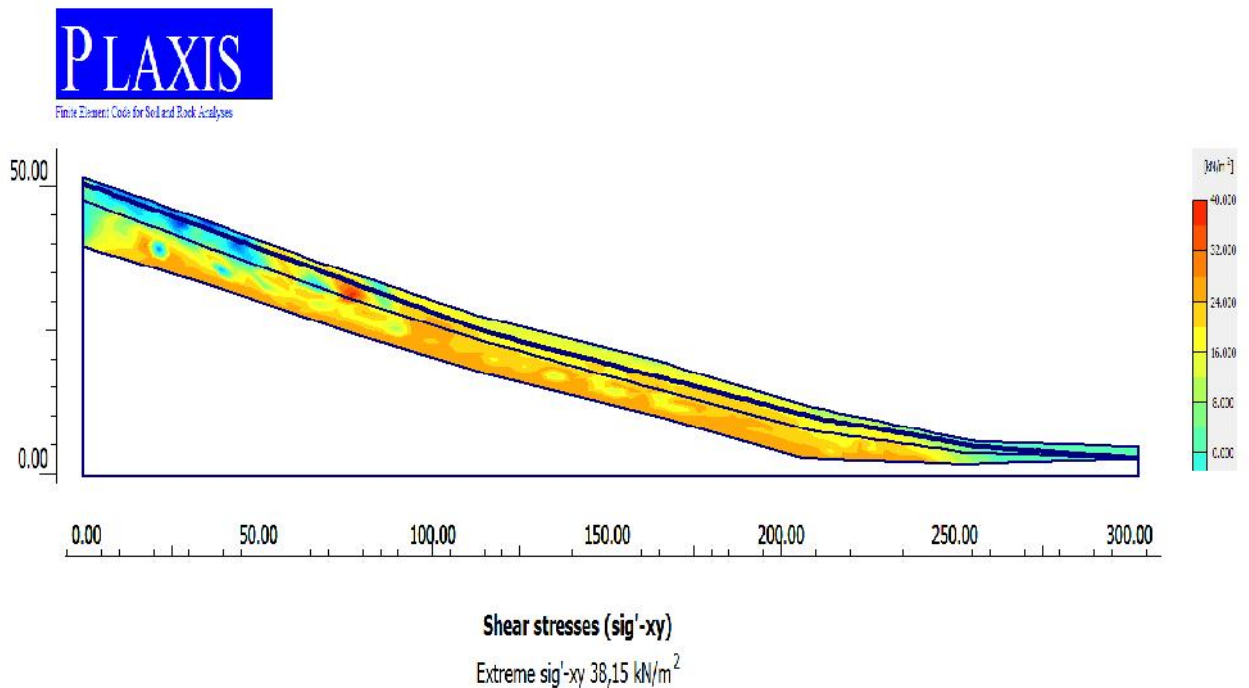


Figure 3.9 : Présentation des zones de cisaillement dans le versant

c) Le coefficient de sécurité

D'après les résultats de la modélisation numérique de versant Kouala on peut observer que le versant est généralement dans un état stable, avec des déformations concentrées dans la partie amont, le coefficient de sécurité calculé par la méthode phi-c réduction $FS = 1.9$ (état d'équilibre)

III.5.2. Calcul en consolidation

L'analyse après la consolidation est choisi pour détermine le développement de la stabilité de versant après la dissipation de la pression interstitielle pendant un jour.

Dans ce cas, la partie amont du versant a connu des petits déplacements dans déférentes directions, le milieu de versant et la partie aval reste stable, le déplacement maximal atteint 0.006m , les contraintes de cisaillement est concentré toujours dans la patrie de contacte marne altérée - marne compacte.

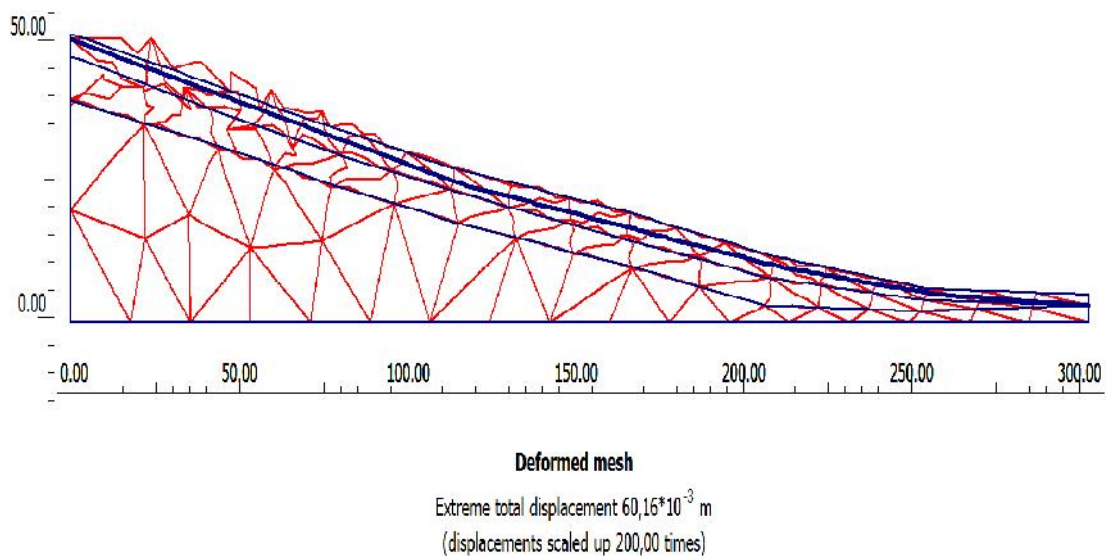


Figure 3.10 : le déplacement total représenté par la déformation des mailles

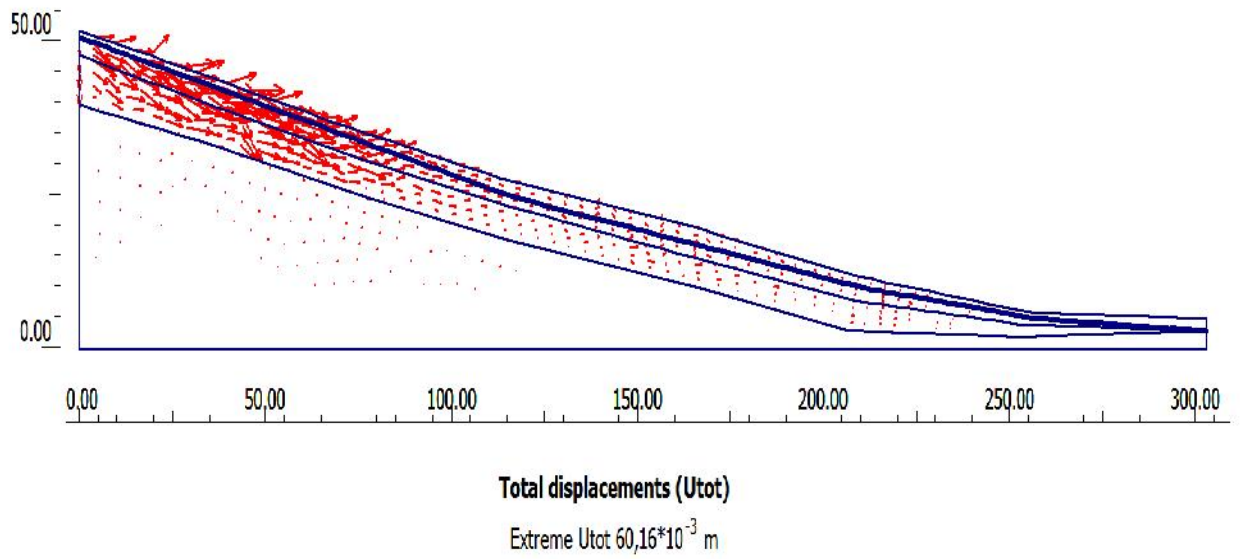


Figure 3.11 : le sens de déplacement de terrain

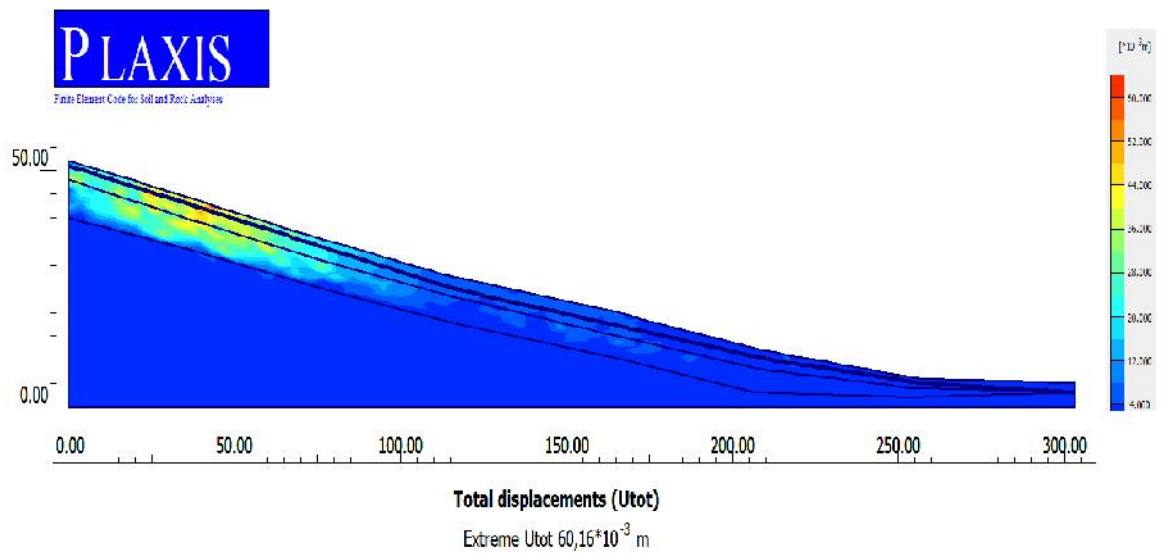


Figure 3.12 : la variation de l'intensité de mouvement de terrain

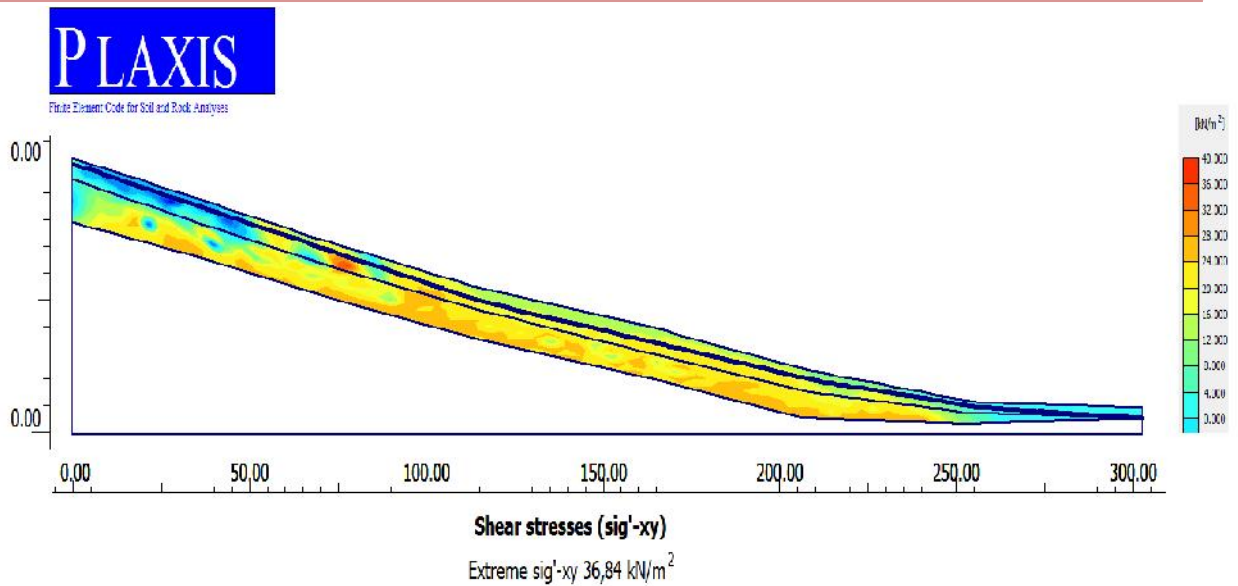


Figure 3.13 : présentation des zones de cisaillement dans le versant après consolidation

III.6. Résultats et discussions

Le mouvement de terrain apparu dans le versant Kouala est concentré dans la partie amont, la surface de glissement est située entre la partie de marne compacte et l'autre altéré.

Les déplacements de terrain sont devenus très petits lors de l'analyse à la consolidation, par contre l'analyse par la méthode phi-c réduction (on prend en considération la présence de l'eau) donne des déformations et des déplacements grands.

Donc on peut constater que le moteur principal de ces mouvements est la présence de l'eau en union avec la pente du versant

Pour stabiliser cette partie de versant mobile on a proposé de faire une série de pieux au milieu de versant en traversant toute la couche marneuse jusqu'à la couche de marne compacte, pour déterminer la position idéale des pieux on a effectué deux analyses numériques, dans la première on a positionné un pieu au milieu de versant, dans la deuxième proposition on a mis le pieu dans la partie amont du versant

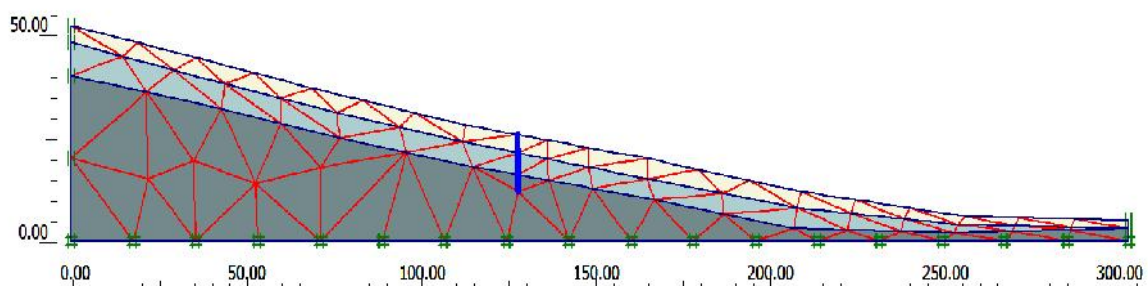


Figure 3. 14 : Positionnement de pieu au milieu du versant

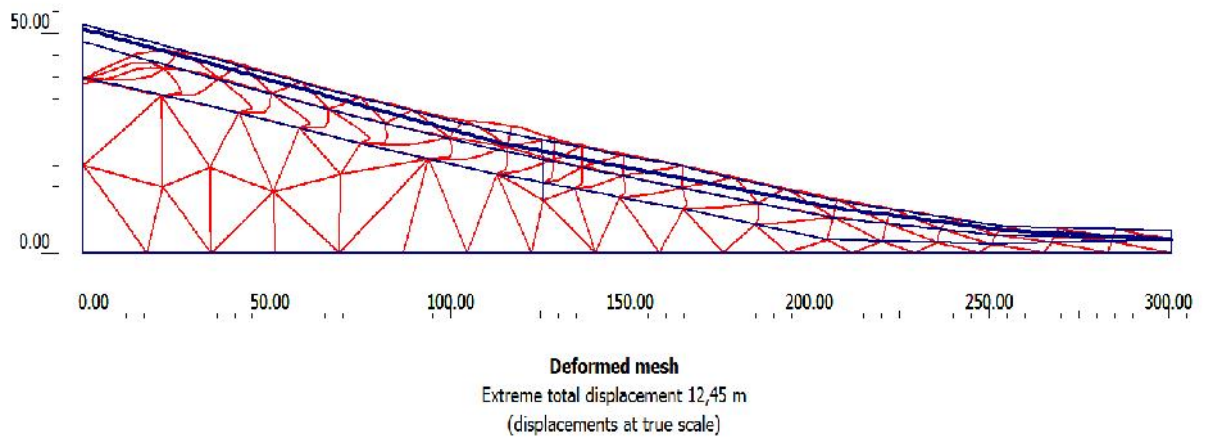


Figure 3. 15 : Déformation par maillage après l'installation de pieu au milieu du versant

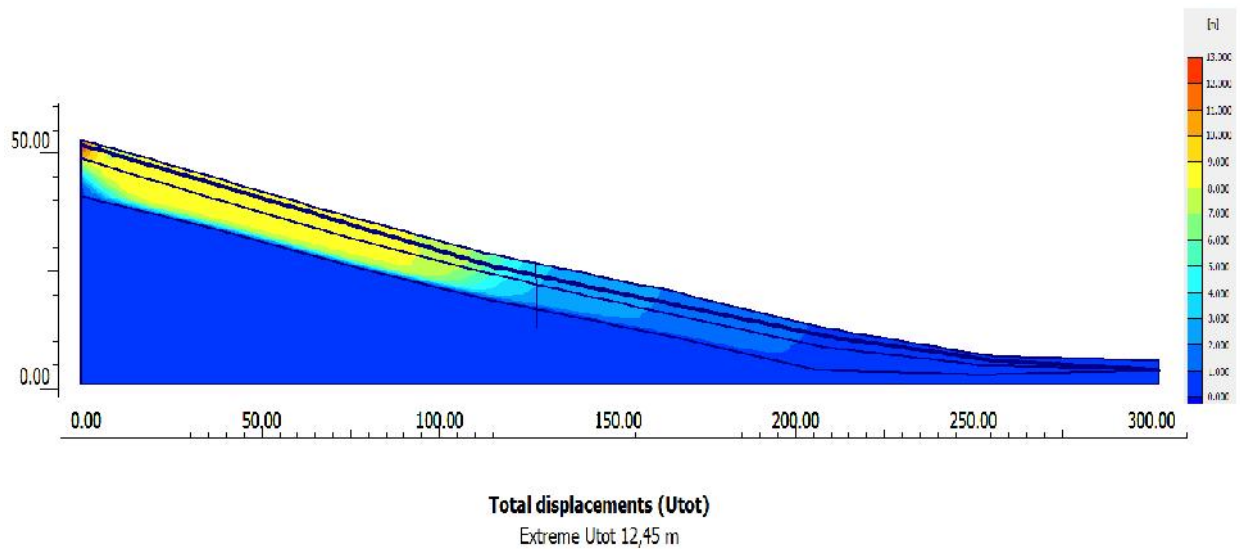


Figure 3.16 : Déplacement total après l'installation de pieu au milieu du versant

Le pieu au milieu de versant travaille comme une butée, les déplacements sont devenus très petits, le déplacement maximal est $12.45 \times 10^{-3} \text{ m}$. Dans cette position garde sa forme et sa stabilité

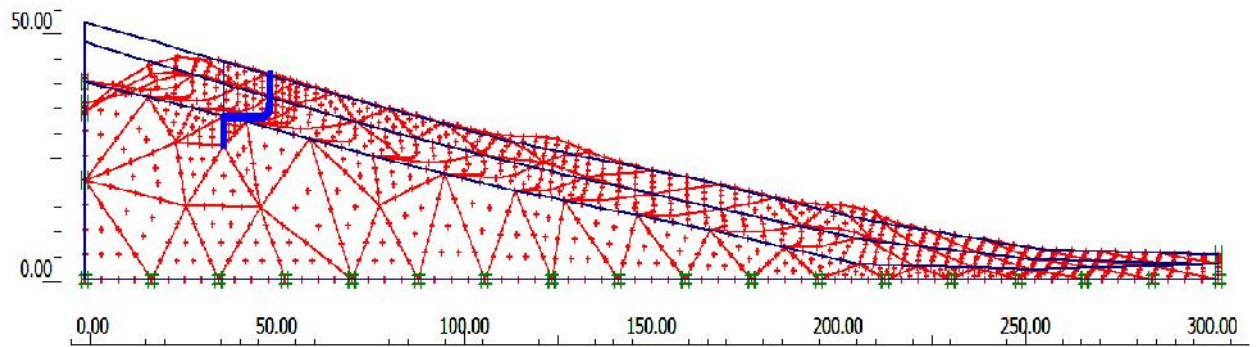


Figure 3.17 : Déformation de pieu lors de l'installation dans la partie amont du versant

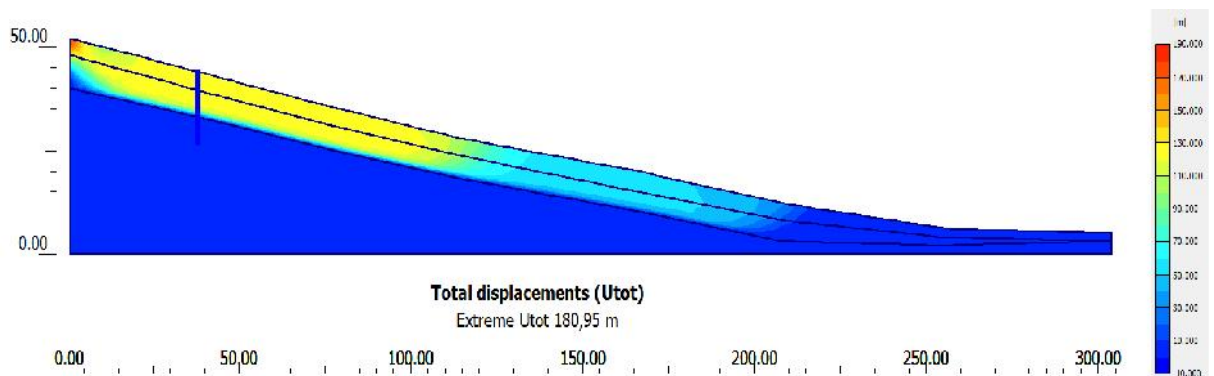


Figure 3.18 : Déplacement total après l'installation de pieu dans l'amont du versant

On remarque que lors de l'installation des pieux dans la partie amont de versants, ce dernier est réagi comme une surcharge et non un buté que peut stabiliser le terrain, l'intensité de mouvement est devenue plus grand avec un déplacement maximal $180,95 \times 10^{-3}$ m. il ya aussi un risque de la rupture de pieu.

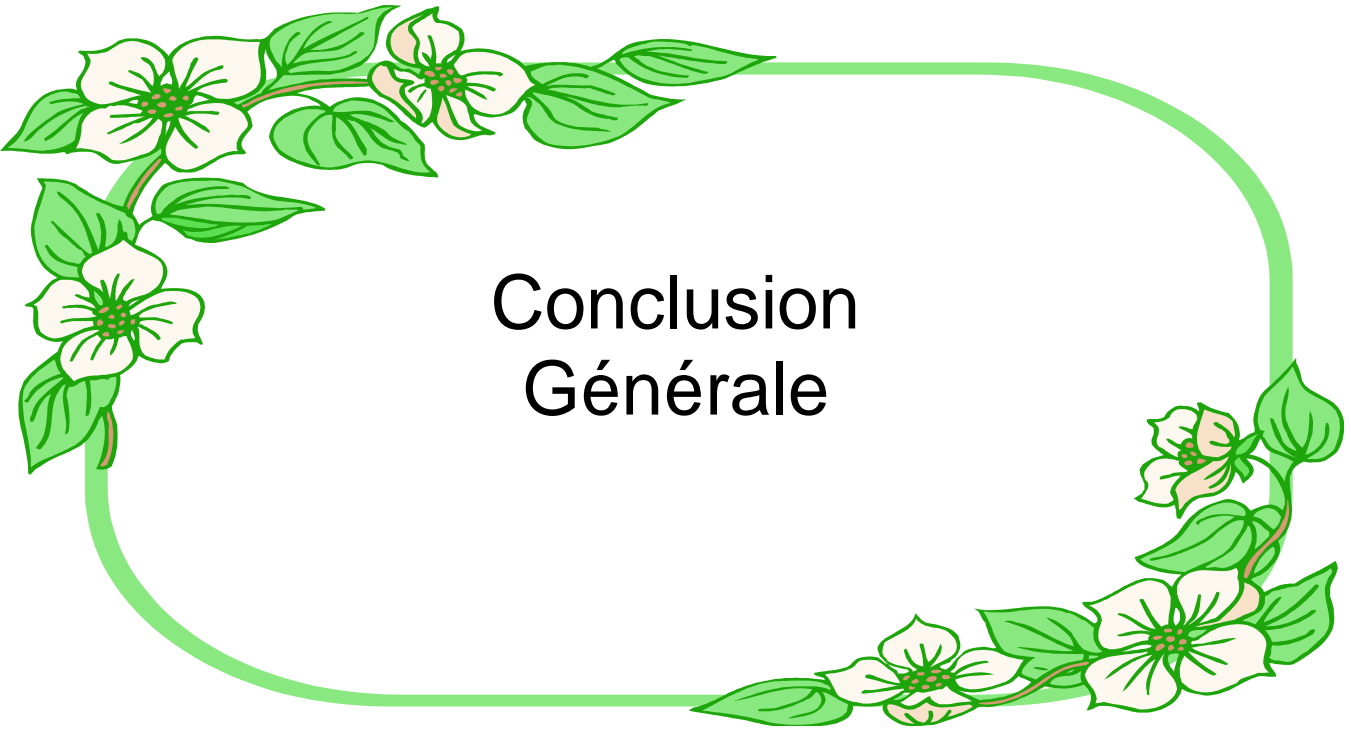
III.7. Conclusion

Le versant de Kouala est situé dans la ville de Médea , cette région se caractérise par une nature montagneuse, cette morphologie favorise l'apparition des mouvements de terrain.

L'investigation géotechnique montre que le versant est caractérisé principalement par deux formations ;une couche d'argile au dessus d'une couche de marne très compacte, ce l'effet d'infiltration de l'eau, la surface de contact entre ces deux couches et devenue altéré.

L'analyse de la stabilité de versant par la méthode des éléments finie montre que la partie amont de versant connut des déplacements et des déformations importantes, par contre la partie aval reste stable.

Pour stabiliser la partie mobile, on recommande l'installation des pieux au milieu de versant.



Conclusion Générale

Les glissements de terrain constituent une menace croissante pour notre société et en particulier au niveau de Médéa où les zones d'habitations et d'activité industrielle se développe de plus en plus sur des formations à stabilité précaire représentées par les formations marneuses du tell dont fait partie notre zone d'études.

Le versant de Kouala est caractérisé par des pentes variables entre fortes à moyennes , Le mouvement de terrain apparu dans le versant Kouala est concentré dans la partie amont, la surface de glissement est située entre la partie de marne compacte et l'autre altéré.

La synthèse géotechnique présentée ici montre que le versant est composé principalement par deux couches dans la nature est marne .

La première couche est de nature plastique, elle est saturée d'eau, la deuxième couche est altérée dans la partie de contact avec la première couche et compacte en profondeur, cette partie altérée est considérée comme le milieu le plus favorable de la naissance de surface de glissement.

L'analyse de la stabilité de versant par la méthode des éléments finie montre que la partie amont de versant connut des déplacements et des déformations importantes, par contre la partie aval reste stable.

Donc on peut constater que le moteur principal de ces mouvements est la présence de l'eau en union avec la pente du versant

Pour stabilisé cette partie de versant mobile on a proposé de faire une série des pieux au milieu de versant en traversant toute la couche marneuse jusqu'à la couche de marne compacte, pour déterminer la position idéale des pieux on a effectué deux analyses numériques, dans la première on a positionné un pieu au milieu de versant, dans la deuxième proposition on a met le pieu dans la partie amont du versant



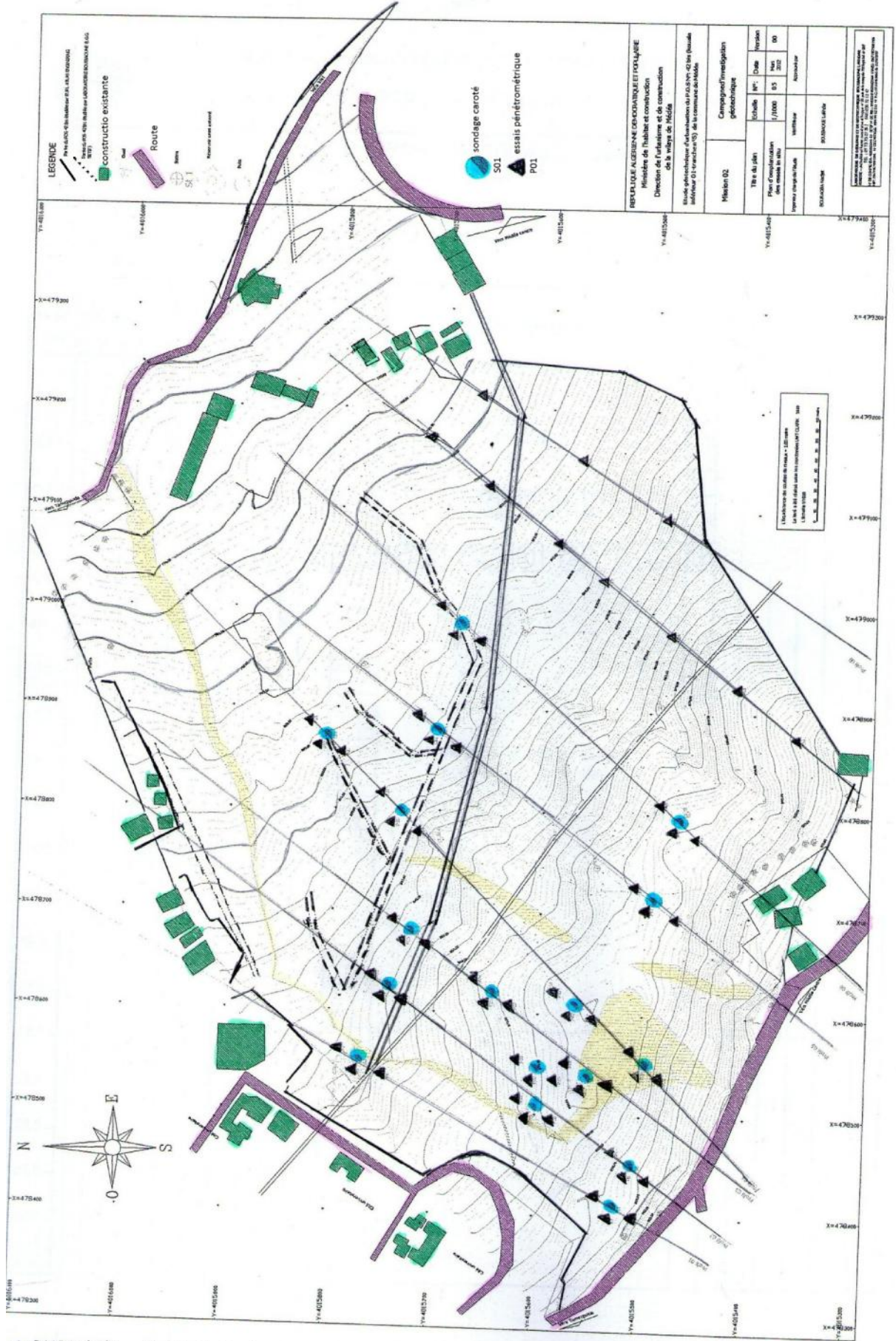
Les références

- BRINKGREVE, R. B. J. et VERMEER, P. A. Plaxis v8, manuel de référence. DELFT University of Technology & Plaxis BV, Pays-Bas, 2003.
- DJERBAL, Lynda et MELBOUCI, Bachir. Le glissement de terrain d'Ain El Hammam (Algérie): causes et evolution. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2012, vol. 71, no 3, p. 587-597.
- FRIEDEL, S., THIELEN, A., et SPRINGMAN, S. M. Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. Journal of Applied Geophysics, 2006, vol. 60, no 2, p. 100-114.
- GUIROUS, Lydia, DUBOIS, Laurent, et MELBOUCI, Bachir. Contribution à l'étude du mouvement de terrain de la ville de Tizirt (Algérie). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2014, vol. 73, no 4, p. 971-986.
- KALENCHUK, K. S., HUTCHINSON, D. J., DIEDERICHS, M. S., et al. Three-dimensional mixed continuum-discontinuum numerical simulation of the Beauregard Landslide. In : ISRM International Symposium-EUROCK 2010. International Society for Rock Mechanics, 2010.
- KEZAI, Ilyes. Analyse des glissements de terrain de grande ampleur par la méthode des éléments finis. 2015. Thèse de doctorat.
- MALATRAIT, Alain-Michel. Analyse et classement des mouvements gravitaires-Feuille St Jean de Maurienne à 1/50 000°. 1975. Thèse de doctorat. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- MEDJNOUN, Amal, KHIATINE, Mohamed, et BAHAR, Ramdane. Caractérisation minéralogique et géotechnique des argiles marneuses gonflantes de la région de Médéa, Algérie. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2014, vol. 73, no 4, p. 1259-1272.
- MOUGIN, Jean Pierre. Les mouvements de terrain: recherches sur les apports mutuels des études géologique et mécanique à l'estimation de la stabilité des pentes. 1973. Thèse de doctorat. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- PARRIAUX, Aurèle. Géologie: bases pour l'ingénieur. PPUR presses polytechniques, 2009.



Les annexes

Les annexes





RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: S 04

ETUDE : Etude géotechnique du POS n° 42 bis

LIEU : Kouala inférieur- Médéa

CLIENT : DUC Médéa

DATE DEBUT :

PROFONDEUR TOTALE : 22 ML

BOUE DE FORAGE :

DATE FIN :

COORDONNEES : X = Y =

TYPE FORAGE :

NIVEAU NAPPE : m

Z =

TYPE DE MACHINE :

Prof (m)	Récupération					S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	w _n %	γ _d Tln ³	I _p %	Classe TPC	Type B et	
	0	25	50	75	100															
1,5																				
3,0																				
4,5																				
6,0										5,20										
6,20										6,20		4,77	2,32	39,79	20,43	30,62				
7,5																				
9,0																				
10,5																				
12,0																				
13,5																				
15,0																				
16,5																				
18,0																				
19,5																				
21,0																				
22,5																				
24,0																				
25,5																				
27,0																				
28,5																				
30,0																				



LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOTECHNIQUE BOUIBAOUNE LAKHDAR
CITE BELKHEIRD HASSENE COOPERATIVE EL HOGGAR N° 05 BEL AIR SETIF

RAPPORT DE FORAGE Sondage N°: S 13

ETUDE : Etude géotechnique du POS n° 42 bis

LIEU : Kouala inférieur- Médéa

CLIENT : DUC Médéa

DATE DEBUT :

PROFONDEUR TOTALE : 22 ML

BOUE DE FORAGE :

DATE FIN :

COORDONNEES : X = Y =

TYPE FORAGE :

NIVEAU NAPPE : m

Z =

TYPE DE MACHINE :

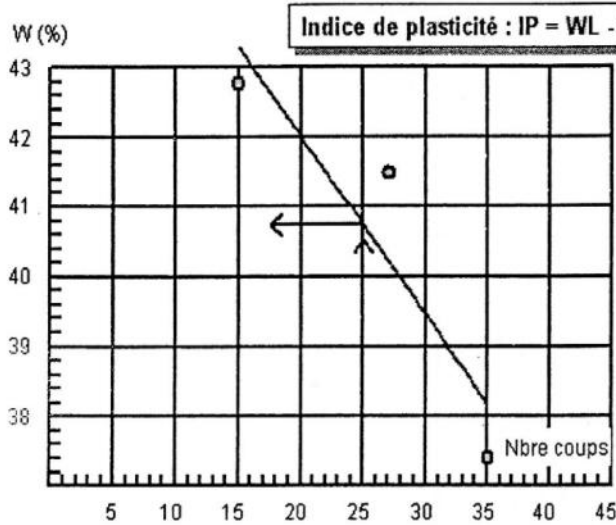
Prof (m)	Récupération				S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	w _n %	γ _d Tkn	I _p %	Classe T.P.C.	Type Best	
	φ	25	50	75																200
0,50												Terre végétale								
1,5										2,54		Argile sableuse beige à rouge	0,67	3,06	17,53	1,70	20,33			
3,0									3,50											
4,5										4,30		Marne grise altérée en surface et compacte en profondeur	0,84	4,09	22,43	1,53	26,54			
6,0									5,50											
7,5										6,50										
8,0																				
10,5																				
12,0																				
13,5																				
15,0																				
16,5																				
18,0																				
19,5																				
21,0																				
22,5																				
24,0																				
25,5																				
27,0																				
28,5																				
30,0																				



RAPPORT D'ESSAI

LIMITES D'ATTERBERG: NF P 94 - 51

Etude : Etude géotechnique du POS n°42 bis	Réf : S 03
N° Dossier : 044/ES/2010	Profondeur : 6.20-7.20 m
Lieu : Kouala inférieur- Médéa	Nature : Argile sableuse rouge
Client: DUC Médéa	Date essais : 12/10/2011

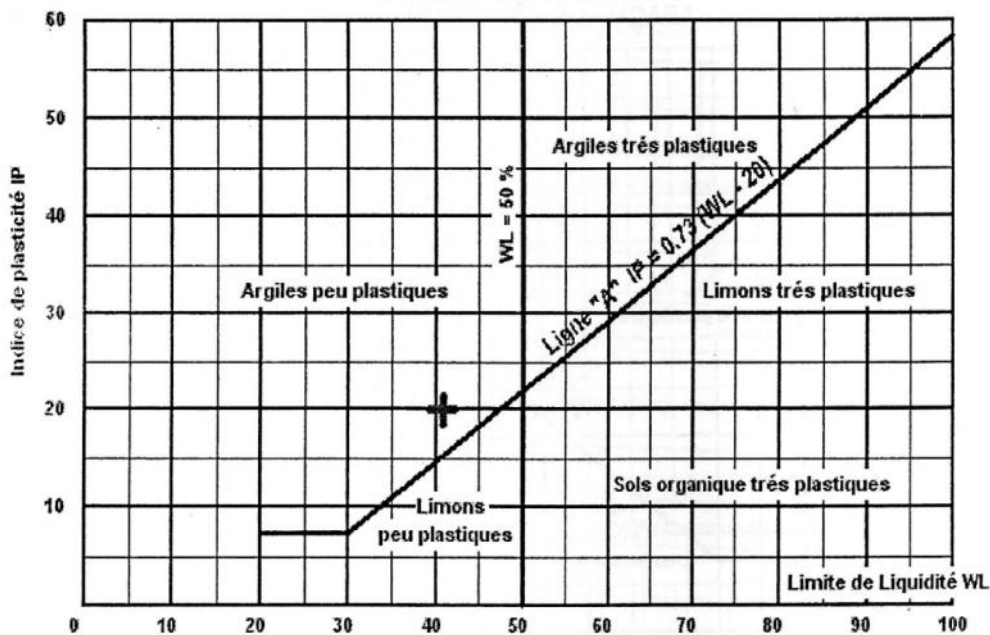


Essai N°	W (%)
1	21,37
2	21,12
3	20,25
4	20,43

**Limite de Plasticité
 WP = 20,79 %**

Limite de Liquidité (WL) = 40,73 %

ABAQUE DE CASAGRANDE





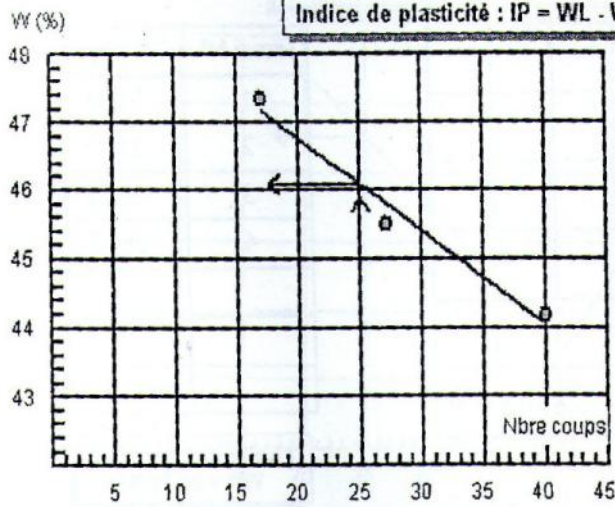
LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOTECHNIQUE BOUIBAOUNE LAKHDAR
 UITE BELKHEIRED HASSENE COOPERATIVE EL HOGGAR N° 05 BEL AIR SETIF

RAPPORT D'ESSAI

LIMITES D'ATTERBERG: NF P 94 - 51

Etude : Etude géotechnique du POS n°42 bis	Réf : S 03
N° Dossier : 044/ES/2010	Profondeur : 8.20-9.20 m
Lieu : Kouala inférieur- Médéa	Nature : Argile marneuse
Client: DUC Médéa	Date essais : 20/10/2011

Indice de plasticité : $IP = WL - WP = 23,22\%$

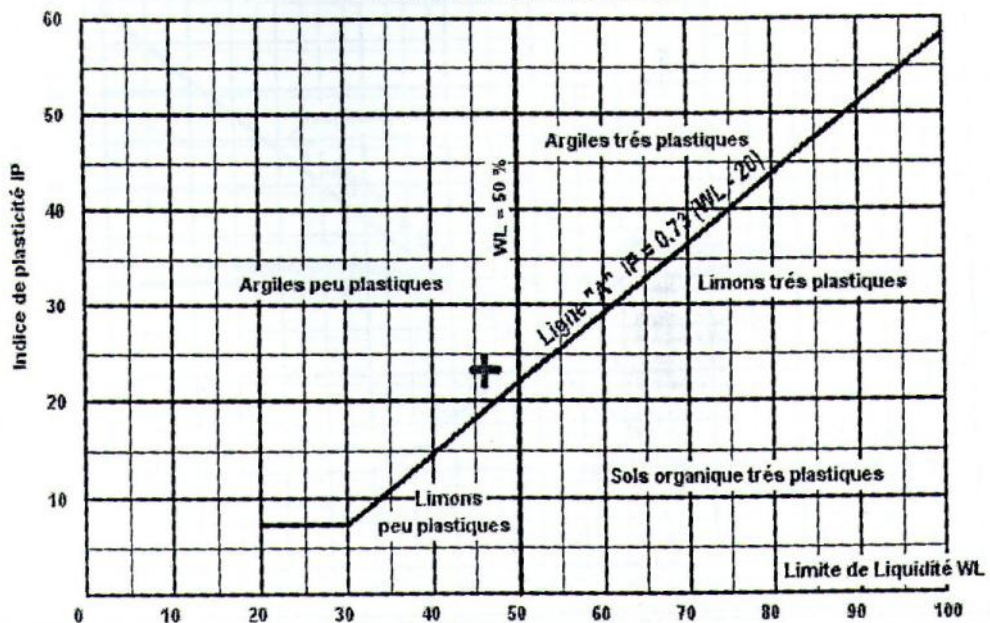


Essai N°	W (%)
1	22,58
2	22,75
3	23,02
4	23,11

Limite de Plasticité
 $WP = 22,87\%$

Limite de Liquidité (WL) = 46,09 %

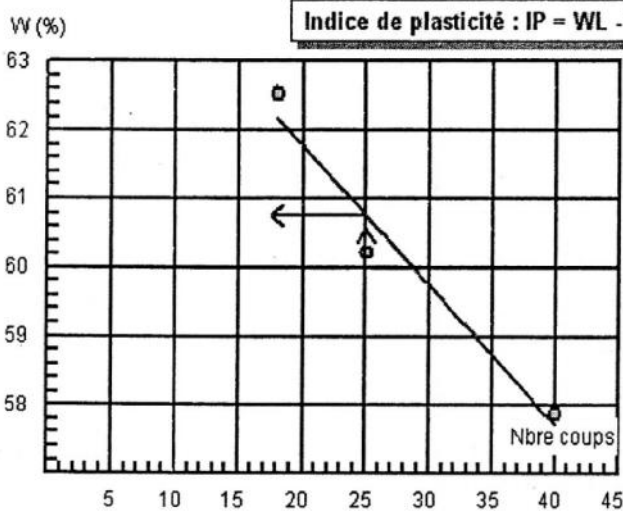
ABAUQUE DE CASAGRANDE





RAPPORT D'ESSAI
LIMITES D'ATTERBERG: NF P 94 - 51

Etude : Etude géotechnique du POS n°42 bis	Réf : S 04
N° Dossier : 044/ES/2010	Profondeur : 5.20-6.20 m
Lieu : Kouala inférieur- Médéa	Nature : Argile sableuse rouge
Client: DUC Médéa	Date essais : 20/10/2011

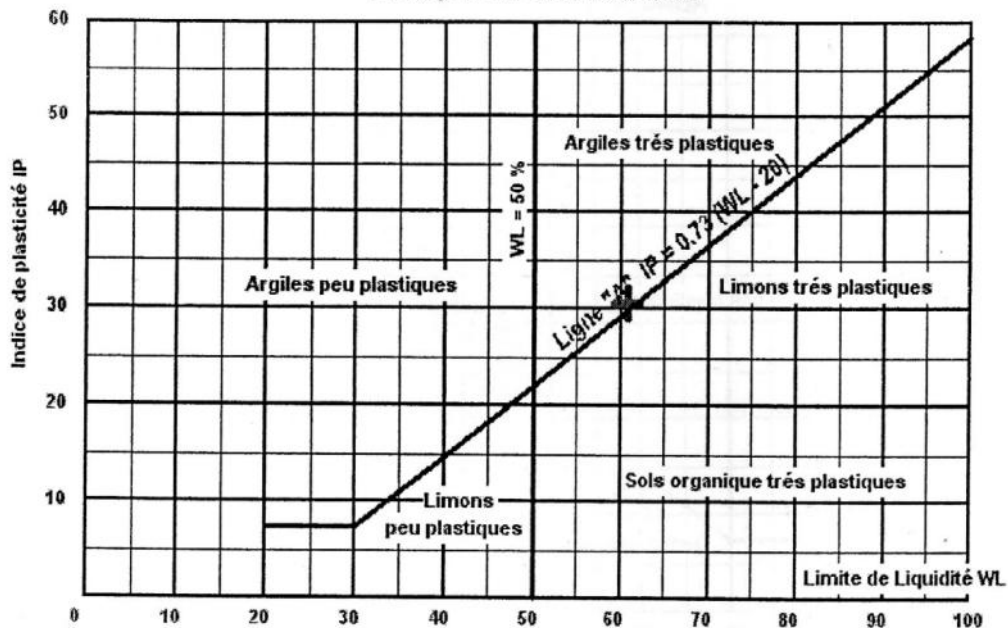


Essai N°	W (%)
1	29,55
2	30,01
3	31,22
4	29,78

Limite de Liquidité (WL) = 60,76 %

Limite de Plasticité
 WP = 30,14 %

ABAQUE DE CASAGRANDE

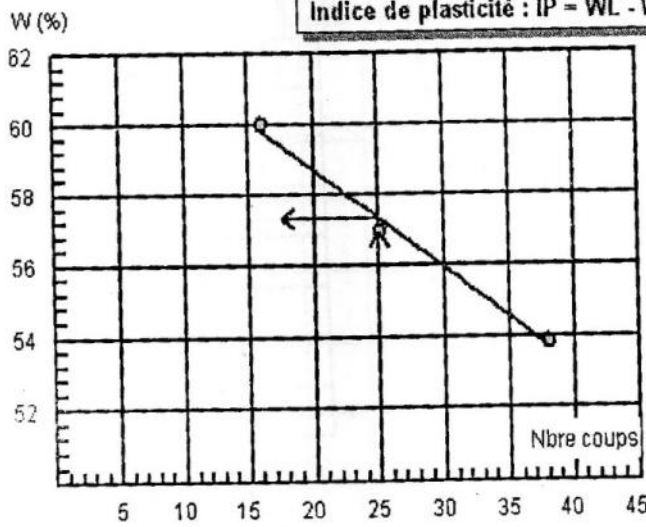




RAPPORT D'ESSAI
LIMITES D'ATTERBERG: NF P 94 - 51

Etude : Etude géotechnique du POS n°42 bis	Réf : S 13
N° Dossier : 044/ES/2010	Profondeur : 5.50-6.50 m
Lieu : Kouala inférieur- Médéa	Nature : Argile marneuse
Client: DUC Médéa	Date essais : 13/10/2011

Indice de plasticité : IP = WL - WP = 26,94%

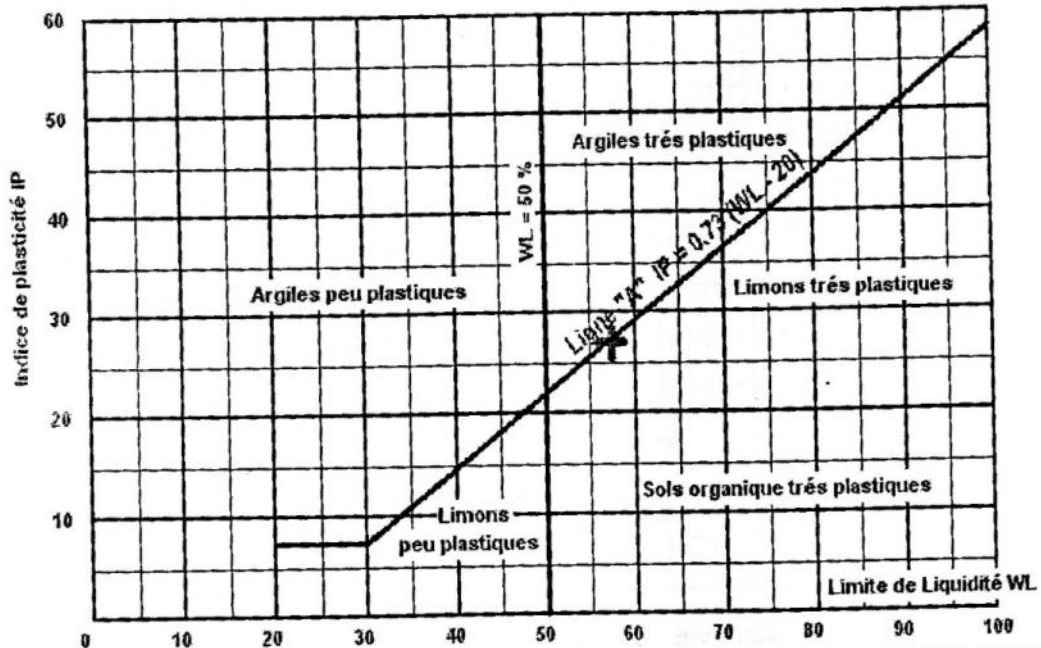


Essai N°	W (%)
1	30,4
2	30,42
3	30
4	30,74

**Limite de Plasticité
 WP = 30,39 %**

Limite de Liquidité (WL) = 57,33 %

ABAQUE DE CASAGRANDE



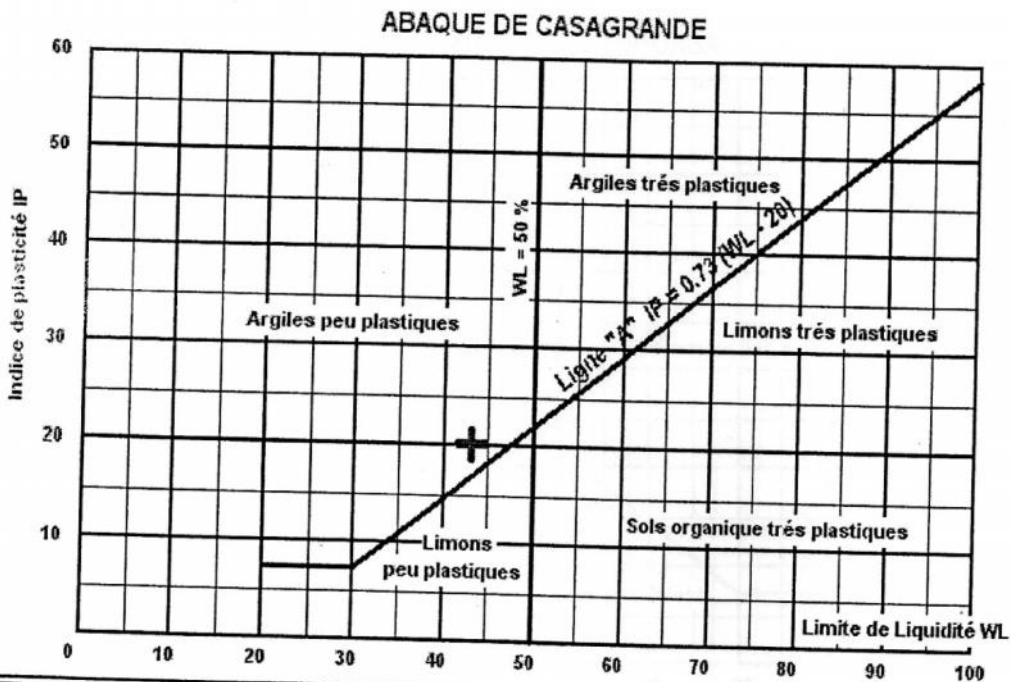
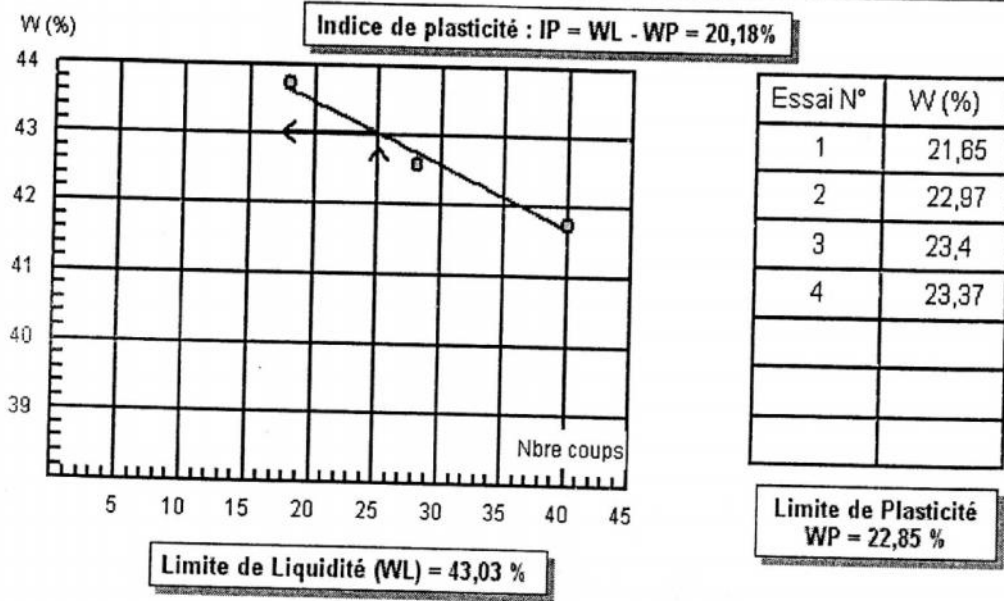


LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOTECHNIQUE BOUIBAOUNE LAKHDAR
 VILLE BELKHEIRD HASSENE COOPERATIVE EL HOGGAR N° 05 BEL AIR SETIF

RAPPORT D'ESSAI

LIMITES D'ATTERBERG: NF P 94 - 51

Etude : Etude géotechnique du POS n°42 bis	Réf : S 13
N° Dossier : 044/ES/2010	Profondeur : 2.50-3.50 m
Lieu : Kouala inférieur- Médéa	Nature : Argile sableuse rouge
Client: DUC Médéa	Date essais : 17/10/2011

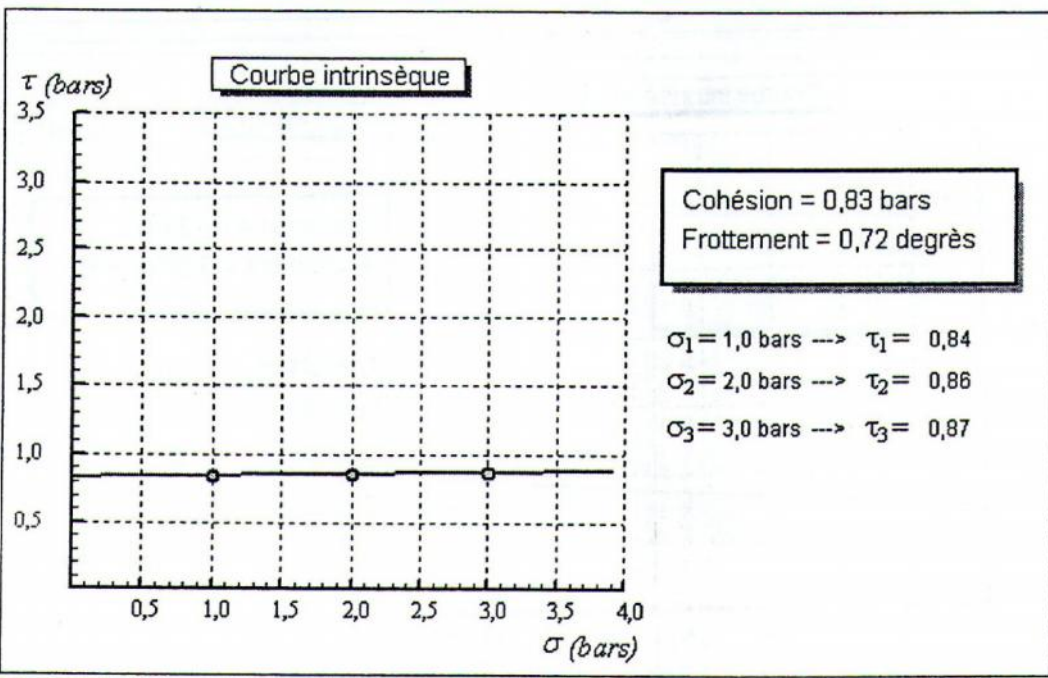
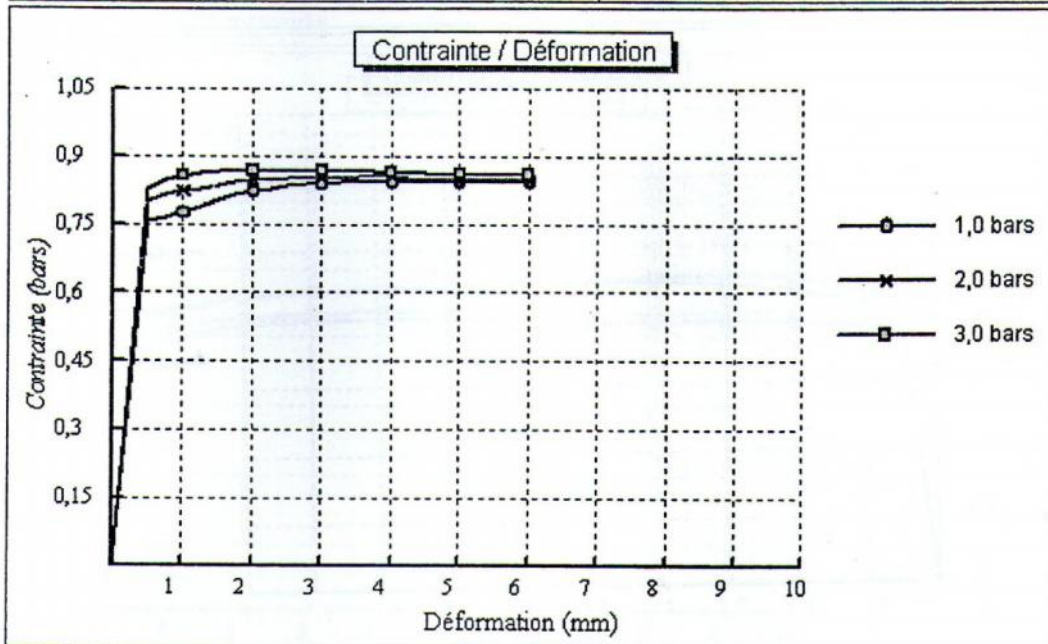




RAPPORT D'ESSAI
ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE: NF P94.071-1 Août 1994

Etude : Etude géotechnique du POS n° 42 bis
Dossier N° : 044/ES/2010
N° Sond : S 03
Prof : 6.20-7.20 m
Nature sol : Argile sableuse rouge

Type d'essai : UU
Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
Date début essais : 03/12/2011
Date fin essais : 05/12/2011





LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOTECHNIQUE BOUIBAOUNE LAKHDAR

CITE BELKHIRED HASSENE COOPERATIVE EL HOGGAR NO 05 BEL AIR SETIF

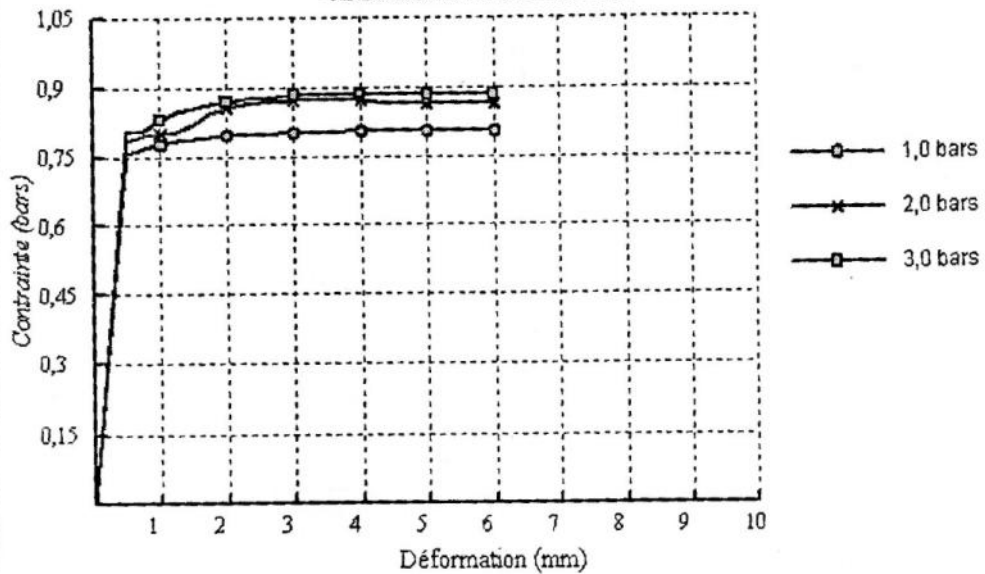
RAPPORT D'ESSAI

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE: NF P94-071-1 Août 1994

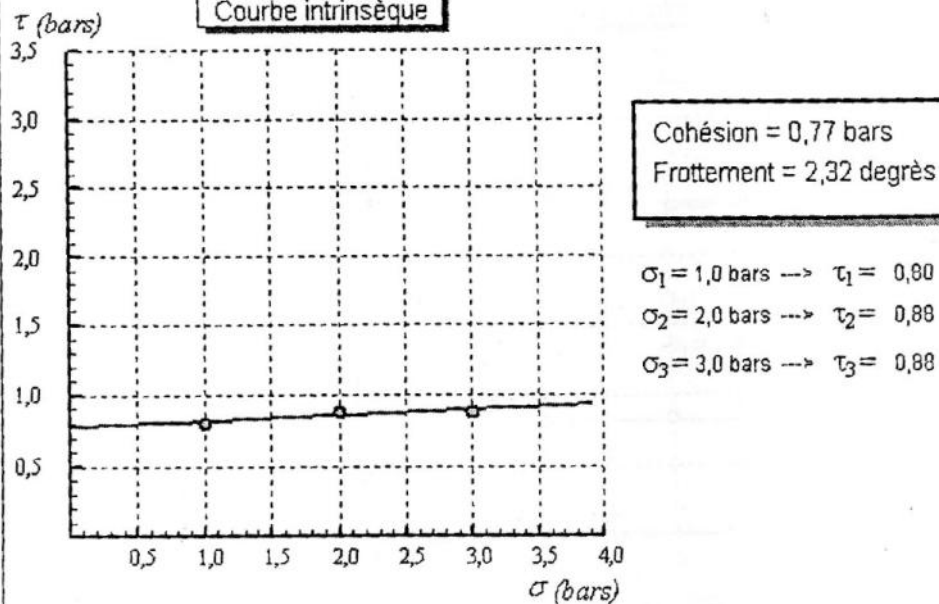
Etude : Etude géotechnique du POS n° 42 bis
 Dossier N° : 044/ES/2010
 N° Sond : S 03
 Prof : 8.20-9.20m
 Nature sol : Argile marneuse

Type d'essai : UU
 Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
 Date début essais : 12/10/2011
 Date fin essais : 14/10/2011

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque



Cohésion = 0,77 bars
 Frottement = 2,32 degrés

$\sigma_1 = 1,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_1 = 0,80$
 $\sigma_2 = 2,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_2 = 0,88$
 $\sigma_3 = 3,0 \text{ bars} \rightarrow \tau_3 = 0,88$

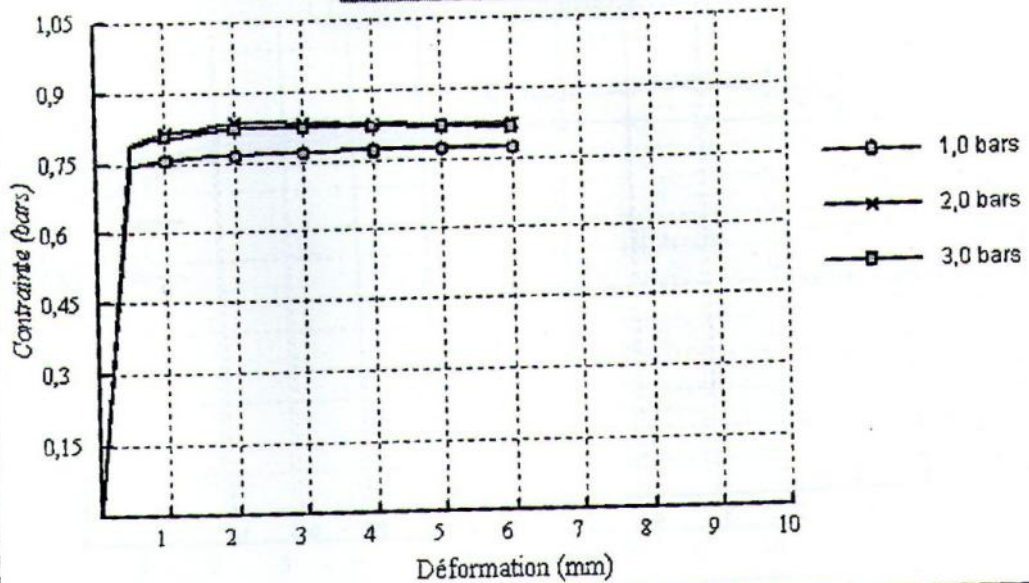


RAPPORT D'ESSAI
ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE: NF P94-071-1 Août 1994

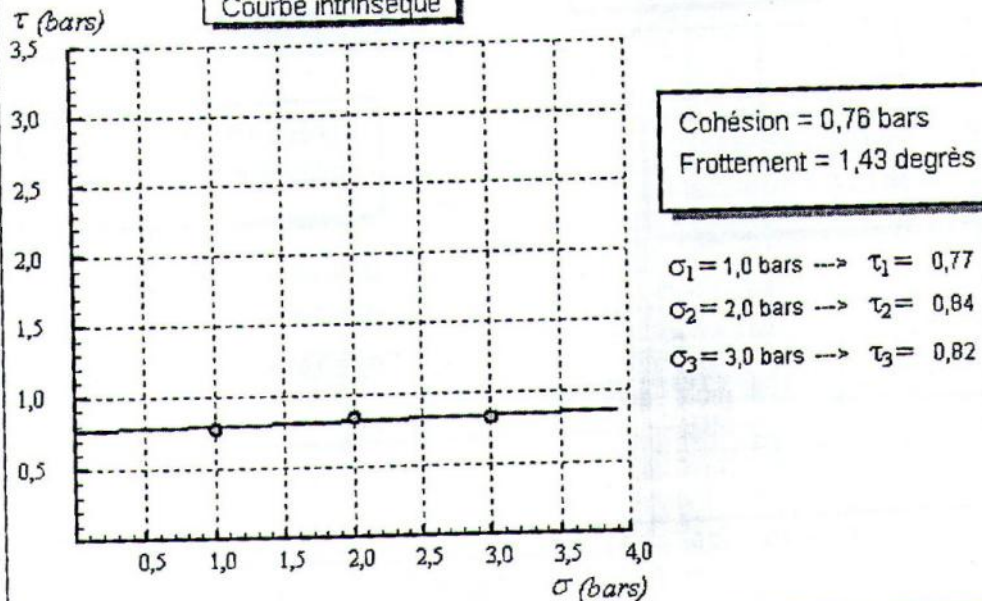
Etude : Etude géotechnique du POS n° 42 bis
Dossier N° : 044/ES/2010
N° Sond : S 04
Prof : 5.20-6.20 m
Nature sol : Argile sableuse rouge

Type d'essai : UU
Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
Date début essais : 22/10/2011
Date fin essais : 24/10/2011

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque





LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOTECHNIQUE BOUIBAOUNE LAKHDAR

CITE BELKHIRED HASSENE COOPERATIVE EL HOGGAR NO 05 BEL AIR SETIF

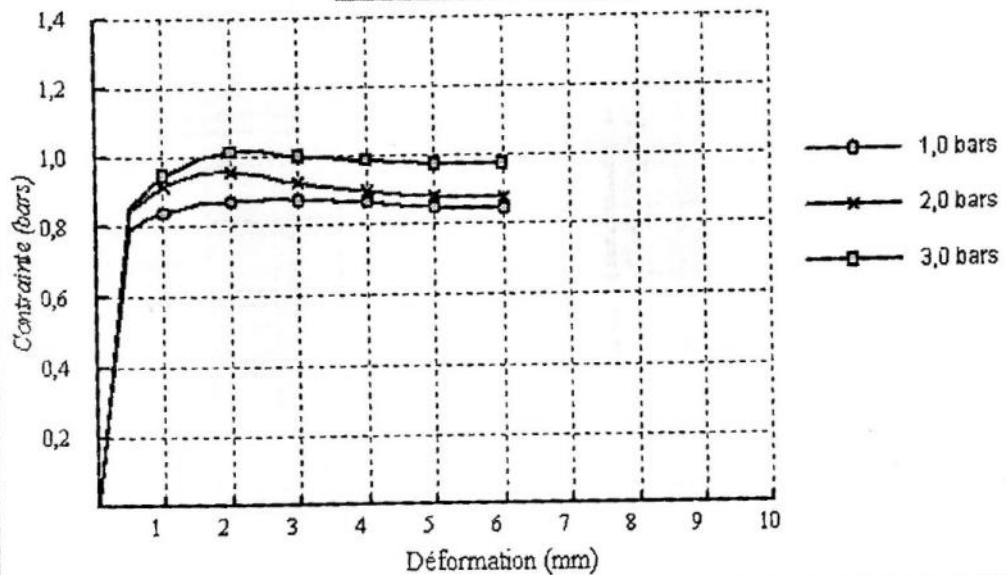
RAPPORT D'ESSAI

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE: NF P94-071-1 Août 1994

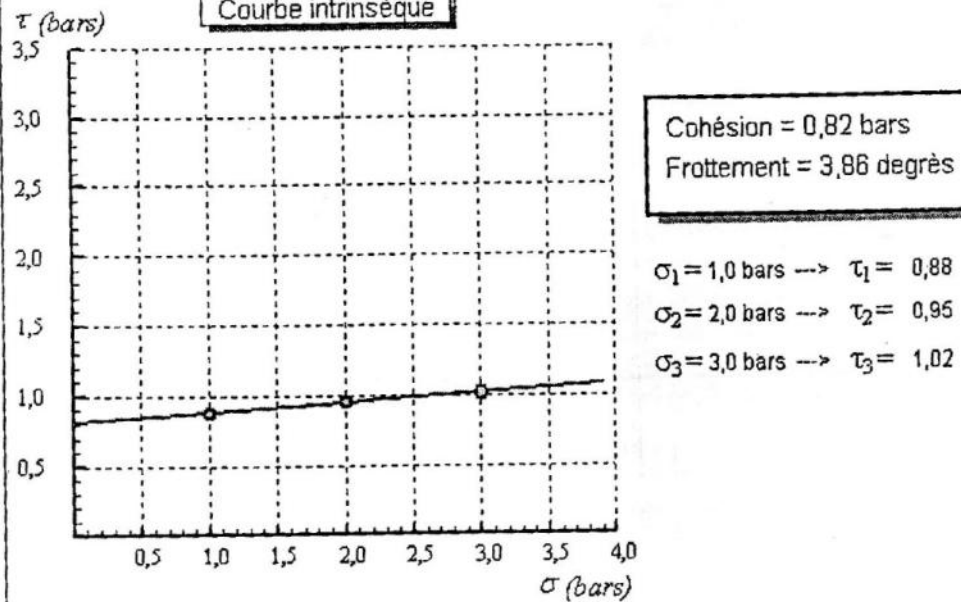
Etude : Etude géotechnique du POS n° 42 bis
 Dossier N° : 044/ES/2010
 N° Sond : S 13
 Prof : 2.50-3.50 m
 Nature sol : Argile sableuse rouge

Type d'essai : UU
 Vitesse de cisaillement : 1 mm/rnn
 Date début essais : 20/10/2011
 Date fin essais : 22/10/2011

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque





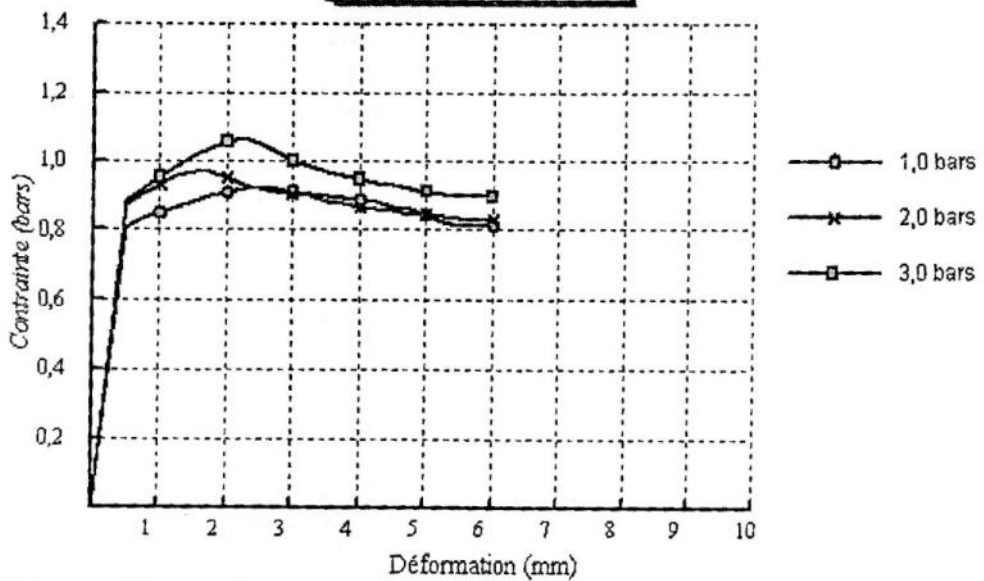
RAPPORT D'ESSAI

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE: NF P94-071-1 Août 1994

Etude : Etude géotechnique du POS n° 42 bis
 Dossier N° : 044/ES/2010
 N° Sond : S 13
 Prof : 5,50-6,50 m
 Nature sol : Argile mameuse

Type d'essai : UU
 Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
 Date début essais : 14/10/2011
 Date fin essais : 16/10/2011

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque

