

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -  
Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel -

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : des Sciences de la Terre et de  
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم : علوم الأرض و الكون

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie

Option : Génie Géologique

### Thème

**Etude géologique et géotechnique des instabilités au niveau de  
Boushoul, la commune de Boussif Ouled Askeur-Jijel.**

#### Membres de Jury

Président : M.C.A F. Mebrouk  
Examinatrice : A. Baghdad  
Encadrant : H. kebab

#### Présenté par :

Yahia Ahlem  
Deffous Farah

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener notre formation et pouvoir réaliser ce travail de recherche.*

*Nous tenons à exprimer nos profonds remerciement à notre encadrant Mr Kebeb Hamza qui nous a attribué le sujet de ce mémoire et nous a guidés par ses précieux conseils et suggestion, et la confiance qu'il nous a témoignés tout ou long de ce travail.*

*Nous tenons à gratifier aussi les membre de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner.*

*Nous adressons aussi nos remerciement sans exception aux enseignants du département STU surtout : Mr ELH. Boukaoud ; Mr A. Baghdad ; Dr R. Benzaid ; et Mr Y. Rouikha*

*À tous Enfin, on adresse nos sincères sentiments de gratitudes et de reconnaissance a toutes les participés de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# Ahlem et Farah

# Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Je dédie ce mémoire :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père El-Hachemi.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman Houria que j'adore.*

*A mon frère Amine et sa femme Roukya.*

*A mes sœurs : Ibtissem et son mari Mohamed, Hanane et son mari noufel et Amina.*

*A tous mes amies sans exception: Naima, Hanouna, Nesrine, Noussa, Halima Spécialement à mes amies les plus proche Zohra, Salwa et Bechbouchtiiii.*

*A la promotion Génie Géologie 2017.*

*A ma sœur, mon amie et mon binôme : Ahlem Spécialement à khali Mourad, Douida, Ines et Loubna*

*A tous mes famille Deffous et Taloub*

*VaRiHa*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail de fin d'étude :*

*Pour l'âme de mon père qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études, puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !*

*A ma mère qu'elle sache que l'amour qu'elle me donne continue à m'animer et me permet d'envisager l'avenir comme un défi*

*« **MESSOUDA** »*

*A mon très chère marie Mr. « **WALID** » et son famille*

*A ma tante et 2<sup>ème</sup> mère « **NADRA** » et son mari*

*Pour mon seul frère « **YASSINE** » qui est toujours à mes côtés et son femme*

*A ma grande sœur « **IBTISSEM** » et son mari*

*A ma sœur « **ZOHRA** » et son mari*

*A mes sœurs pour leur pères et soutiens « **NEZRINE, ANFEL** »*

*Aux jumelles de ma sœur « **SAFA et CHAHINAZ** »*

*Aux enfants de la famille: « **SIF, AYA, AMIRA "TOUBA", ADEM, BAH A EDDIN** »*

*A mes amis dans cette vie : « **MOUNA, SALMA, DOUNIA, MERIEM, NAKHLA, RABIAA, RIMA, LOUBNA** »*

*Pour A tous mes collègues de promotion de master II G.G et mes Amis « **HALIMA, INESS** », et spécialement mon binôme « **FAROUHA** »*

*A tout la famille Yahia, Bousbià et qui m'aiment.*

# **AHLEM**

## *Table des matières*

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé .....	i
Résumé en anglais.....	ii
Résumé en arabe.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux .....	vi

### *Introduction Générale*

1. Introduction.....	1
2. Situation géographique .....	2
3. Problématique et méthodologie .....	2

### *CHAPITRE I : Cadre Géologique*

1. Introduction.....	4
2. Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie .....	5
2.1. Domaine interne .....	5
2.1.1. Le socle Kabyle.....	5
2.1.2. Couverture sédimentaire du socle .....	6
2.2. Domaine des flyschs .....	7
2.2.1. Le flysch Maurétanien.....	7
2.2.2. Le flysch Massylien .....	7
2.2.3. Le flysch Numidien.....	8
2.3. Domaine externe : formations Telliennes.....	8
2.4. Les formations post-nappes .....	8
2.5. Les roches magmatiques.....	9
3. Géologie locale de la région d'étude .....	9
4. Sismicité de la région.....	11
5. Conclusion .....	11

## ***CHAPITRE II : Climatologique et hydrogéologique du site***

1. Introduction.....	12
2. La topographie et morphologie du site .....	12
2.1. Classe de pente de < 5 % : Zone A.....	13
2.2. Classe de pente de 5 à 15 % : zone (B) .....	13
2.3. Classe de pente de >15 % : zone (C).....	14
3. Analyse des caractéristiques hydro-climatiques de site.....	14
3.1. Les précipitations.....	14
3.2. Les températures.....	16
3.3. L'humidité .....	17
3.4. Détermination de l'humidité du sol (Méthode de l'Euverte) .....	18
3.5. Détermination de l'aridité (indice de Martonne).....	19
3.6. Gelée blanche .....	19
4. Etablissement du bilan hydrique .....	19
4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) : .....	20
4.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	20
4.3. Estimation du ruissellement(R) .....	21
4.4. Estimation de l'infiltration .....	21
5. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite .....	22
6. Conclusion .....	23

## ***CHAPITRE III : Reconnaissance Géotechnique et Géophysique du site***

1. Introduction.....	24
2. Reconnaissance géotechnique du site de Boushoul - Boussif Ouled Askeur .....	24
2.1. Les essais in situ .....	24
2.1.1. Les sondages carottés .....	25
2.1.2. Les essais de pénétromètre dynamique .....	27
2.2. Les essais de laboratoire .....	33
2.2.1. Paramètres physiques .....	33
2.2.2. Paramètres mécaniques .....	34
2.2.3. Essais chimiques .....	36
3. Reconnaissance géophysique du site de Boushoul - Boussif Ouled Askeur .....	36

3.1. Principe de la prospection électrique .....	36
3.2. Reconnaissance géophysique du site d'étude .....	37
4. Conclusion .....	42

## ***CHAPITRE IV : Analyse et étude de stabilité***

1. Introduction .....	43
2. Généralités sur les mouvements de terrain .....	43
3. Calcul de stabilité des pentes .....	43
3.1. Cas d'un glissement plan .....	44
3.2. Cas d'un glissement circulaire ou complexe : rupture circulaire ou quelconque .....	45
3.3. Les logiciels utilisés pour l'analyse de la stabilité .....	45
4. Les instabilités de Boushoul : Description et causes probables .....	46
5. Etude de stabilité .....	48
6. Conclusion .....	52

## ***Conclusion Générale***

Conclusion générale et recommandations .....	53
❖ Recommandations .....	54

## ***Bibliographie***

Références bibliographiques .....	55
-----------------------------------	----

## ***Annexes***

Annexe A : tableaux des classifications .....	I
Annexe B : les graphes de l'essai Oedométrique .....	II

## *Liste des figures*

- Figure 01** : Situation géographique de la commune de Boussif Ouled Askeur
- Figure 02** : Situation géographique de la zone d'étude « Boushoul »
- Figure 03** : Configuration des grands domaines de l'orogène alpin en méditerranée occidentale (H. Djellit, 1987) modifié par (D.Délga, 1969)
- Figure 03** : Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989)
- Figure 05** : Géologie de la région de Boussif Ouled Askeur –Extrait de la carte géologique de l'ouest de la chaîne numidique et des régions voisine (D. Délaga, 1955)
- Figure 06** : Molasse au niveau de Boushoul, affleure dans les chabaats
- Figure 07** : Coupes géologiques (A-A' : N-S) et B-B' : NE-SW)
- Figure 08** : Carte sismique de l'Algérie selon les R.P.A version 2003 (C.G.S)
- Figure 09** : Levé Topographique de la région d'étude
- Figure 10** : Carte représentée la pente du POS
- Figure 11** : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (D'après l'A.N.R.H, 1996)
- Figure 12**: Précipitation moyenne mensuelle (Station de Taher : 1988/1989,2013/2014)
- Figure 13** : Température moyenne mensuelle (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)
- Figure 14** : Diagramme Ombrothermique (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)
- Figure 15** : Humidité moyenne mensuelle (Station Taher 1990/1991,2013/2014)
- Figure 16** : Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite
- Figure 17** : Matériels utilisés
- Figure 18** : Cartes d'implantation des sondages carottés
- Figure 19** : Coupe géotechnique selon profil (1-1')
- Figure 20** : Coupe géotechnique selon profil (2-2')
- Figure 21** : Coupe géotechnique selon profil (3-3')
- Figure 22** : Cartes des profondeurs des marnes
- Figure 23** : Cartes d'implantation des essais de pénétromètre dynamique
- Figure 24** : Variation des niveaux de refus en fonction des essais
- Figure 25** : Carte de variation spatiale de refus en fonction de profondeur dans le site
- Figure 26** : Schéma de la configuration d'un dispositif électrique. A et B sont les électrodes d'injection (de courant) et M et N les électrodes de mesure (de potentiel)
- Figure 27** : Carte d'implantation des sondages électriques
- Figure 28** : La variation de la résistivité en fonction des couches
- Figure 29** : Coupe géophysique selon le profil 1-1' (corrélation E6 et E14)

**Figure 30 :** Coupe géophysique selon le profil 2-2' (corrélation E4, E7 et E13)

**Figure 31 :** Carte de la variation spatiale des profondeurs des marnes

**Figure 32 :** Carte de la variation spatiale des profondeurs des marnes compactes

**Figure 33 :** Calcul de stabilité pour le cas d'un glissement plan

**Figure 34 :** Les différents désordres observés au niveau des instabilités

**Figure 35 :** Les profils choisis pour les calculs de stabilité

**Figure 36 :** Etude de stabilité des sept profils

## *Liste des tableaux*

- Tableau 01** : Les classes des pentes de site
- Tableau 02** : Précipitation moyenne mensuelle (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)
- Tableau 03** : Température moyennes mensuelles (station de Taher1988/1989,2013/2014)
- Tableau 04**: Humidité moyenne mensuelle (station de Taher : 1991,1991-2013/2014)
- Tableau 05** : Evaluation de l'humidité de sol par la Méthode de l'Euverte
- Tableau 06** : Le rapport précipitation /température pour le sol de Boushoul/Ouled Askor
- Tableau 07** : La classification "De Martonne"
- Tableau 08** : Les données de La gelée blanche selon les stations de mesures
- Tableau 09** : L'évapotranspiration selon la formule de thornthwaite
- Tableau 10** : Résultat d'ETR (en mm) d'après la formule de Turc
- Tableau 11** : Le ruissellement selon la formule de Texeron –Berkaloff modifiée par Romantchouk
- Tableau 12** : Résultats du bilan hydrologique (mm)
- Tableau 13** : Bilan hydrique d'après la formule de Thornthwaite
- Tableau 14** : Résultats de l'essai de pénétromètre dynamique
- Tableau 15** : Corrélation entre les niveaux de refus et la lithologie
- Tableau 16** : Les paramètres physiques
- Tableau 17** : Résumé des paramètres d'identification physique
- Tableau 18** : Les paramètres mécaniques
- Tableau 19** : Les caractéristiques mécaniques de chaque formation
- Tableau 20** : Les résultats des  $R_C$  et  $C_U$  des marnes compactes
- Tableau 21** : Les résultats des essais chimiques
- Tableau 22** : Les résultats de l'étude géophysique
- Tableau 23** : Les caractéristiques des formations
- Tableau 24** : Les valeurs de  $F_s$
- Tableau 25** : Les valeurs de  $F_s$  obtenus

## **Résumé**

La région de Boushoul se situe à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Boussif- Ouled Askeur dans le sud de la wilaya de Jijel, est un nouveau site destiné à l'aménagement de territoire. Dans cette région, des instabilités sont manifestées. Évidemment ces dernières sont considérées comme des obstacles face aux travaux d'aménagement. Ce travail est proposé dans le cadre d'étudier ces instabilités et de trouver les solutions adéquates

Du point de vue géologique la région de Boushoul est occupée par les formations molassiques. Sur le plan topographique, elle possède une pente moyenne. L'étude climatologique a montré que la région est caractérisée par une forte pluviométrie liquide et solide, ce que rend le sol humide et sensibles aux mouvements. Les résultats obtenus par les études géotechniques et géophysiques ont montré que le terrain est constitué de trois formations à savoir : les argiles en surface, les marnes et marnes compactes (substratum) en profondeur. Les résultats obtenus par les calculs de stabilités qui sont effectués manuellement et par Geoslope, nous ont permet de connaitre que les instabilités sont produites à cause en l'occurrence des ruptures planes qui s'évoluent à des ruptures circulaires et donneront à la fin des glissements complexes et des coulées boueuses.

En effet, l'origine de ces instabilités est le mouvement de reptation qui peut s'évoluer à des glissements, des coulées boueuses et des laves torrentielles, dont leurs conditions et leurs conséquences sont reniés dans la région de Boushoul. Dans cette optique pour atténuer ces instabilités pendant et après les travaux d'aménagement, il est recommandé d'effectuer des solutions : éliminations des apports d'eau superficielle, le reprofilage des pentes, et substitution des masses déplacées par des matériaux de qualité

**Mots clés** : instabilités, Boushoul, reptation, marne, molasse

## **Abstarct**

The region of Boushoul is located to the West of the chief town of the commune of Boussif-Ouled Askeur in the south of the wilaya of Jijel, is a new site destined for the development. In this region, instabilities are manifested. Obviously, these are considered as obstacles to development work. This work is proposed in the context of studying these instabilities and finding the appropriate solutions

From the geological point of view, the Boushoul region is occupied by the Molassic formations. On the topographic level, it has an average slope. The climatological study showed that the region is characterized by strong liquid and solid rainfall, which makes the soil moist and sensitive to movements. The results obtained by the geotechnical and geophysical studies showed that the ground consists of three formations namely: clays in surfacce, marls and compact marls (substratum) in depth. The results obtained by the calculations of stability which are carried out manually and by Geoslope, allowed us to know that the instabilities are produced by the occurrence of the plane ruptures which will evolve to circular ruptures and will give at the end of the slides complex and muddy flows.

Indeed, the origin of these instabilities is the movement of reptation which can evolve to slides, mudflows and torrential lava, whose conditions and consequences are rejected in the region of Boushoul. In order to stop these instabilities during and after the development work, it is recommended to carry out opted solutions : elimination of surface water supplies, modification of slope geometry and substitution of masses displaced by quality materials

**Keywords:** instabilities, Boushoul, reptation, marl, molasse

## ملخص

منطقة بوسهول تقع في غرب بلدية بوسيف اولاد عسكر بجنوب ولاية جيجل، تعتبر كموقع جديد موجه للتهيئة. في هذه المنطقة نشأت اماكن غير مستقرة ومن الواضح هذه الأماكن تشكل عقبة في وجه اعمال التهيئة. واقتراح هذا العمل من اجل دراسة هذه الاختلالات وإيجاد الحلول المناسبة.

من الناحية الجيولوجية تشكل منطقة بوسهول من المولاس، وطبوغرافيا تتميز بميل متوسط للمنحدرات، حيث أظهرت الدراسة المناخية أن المنطقة تتميز بنسبة تساقط عالية سائلة وصلبة، مما يجعل التربة رطبة وحساسة للحركة. من جهة أخرى قد أظهرت نتائج الدراسات الجيوتقنية والجيوفيزيائية أن الموقع يتكون من ثلاث تشكيلات أساسية وهي: الطين في السطح، المارل والمارل المضغوط ( الأساس) في العمق. وقد أجريت حسابات الاستقرار يدويا وباستعمال برنامج جيوسلوب ، حيث ان نتائج الحسابات سمحت لنا أن نعرف أن عدم الاستقرار ناتج عن مساحات انكسار مستوية التي يمكن أن تتطور إلى كسور دائرية وتعطي في نهاية انزلاقات المعقدة والتدفقات الطينية.

في الواقع سبب عدم الاستقرار هو حركة زحف التربة التي يمكن أن تتطور إلى انزلاقات، تدفقات الطينية وتدفقات الحطام، حيث ان اسبابها ونتائجها متجمعة في منطقة بوسهول. وفي هذا الصدد لوقف هذه الاختلالات أثناء وبعد أعمال التهيئة، فمن المستحسن تطبيق حلول مختارة مثل تصريف المياه السطحية، وتغيير هندسة المنحدرات، واستبدال التربة المتحركة بترربة ذات جودة

كلمات الدلالية: عدم الاستقرار ، بوسهول ، الزحف، المارل، الطين

# *Introduction générale*

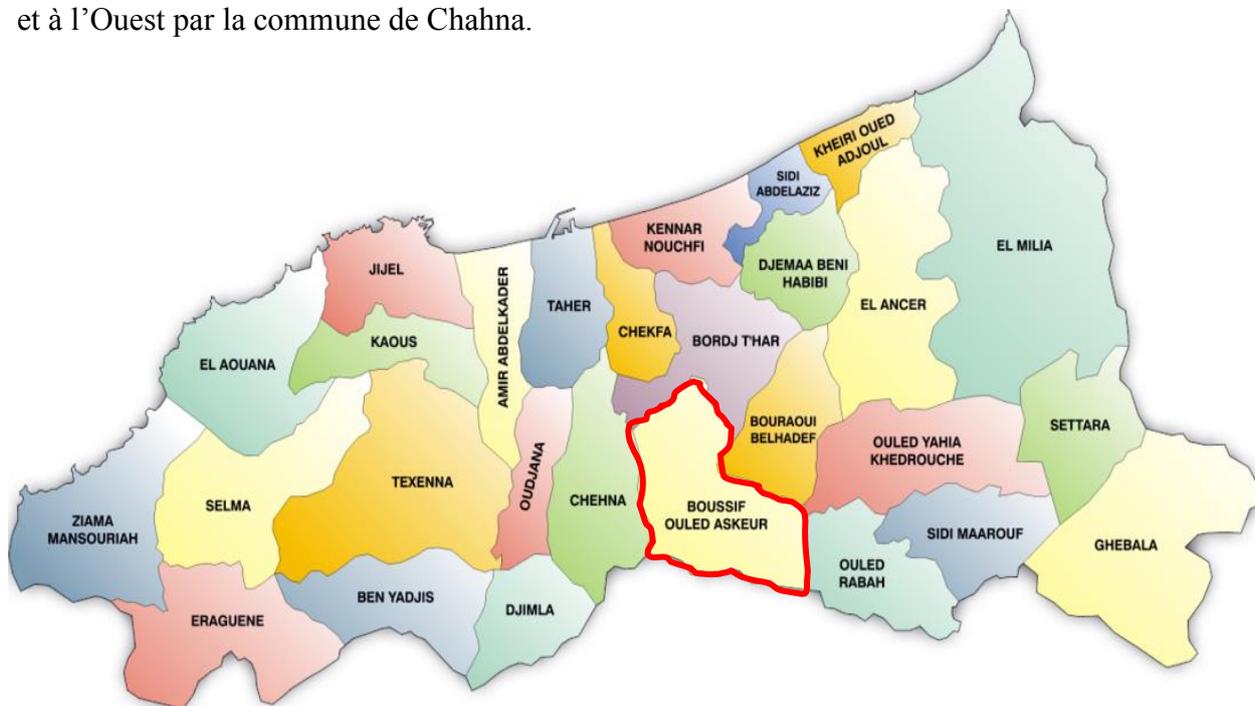
## 1. Introduction

A l'amont de tous projets d'aménagement, ou de construction au niveau des nouveaux sites, les études géologiques, géomorphologiques, géophysiques et géotechniques de terrain sont d'une importance capitale. Ces études nous permettent de déterminer la nature, la géométrie et l'extension des différentes unités lithologiques et leurs relations mutuelles, ainsi que les paramètres physiques, chimiques et mécaniques. La connaissance des différentes caractéristiques géotechniques de terrain nous ont permis de vérifier et étudier la stabilité des talus afin de proposer des moyens de confortements plus assurés et plus économiques...etc.

Pour répondre aux besoins de la population de la commune de Boussif Ouled Askeur, en vue de son développement, les autorités ont décidé d'aménager un nouveau site au niveau de Boushoul à Boussif Ouled Askeur. Evidemment ce site nécessite une étude géologique, géotechnique pour déterminer les différentes caractéristiques géotechniques de terrain afin de pouvoir aménager ce site en toute sécurité.

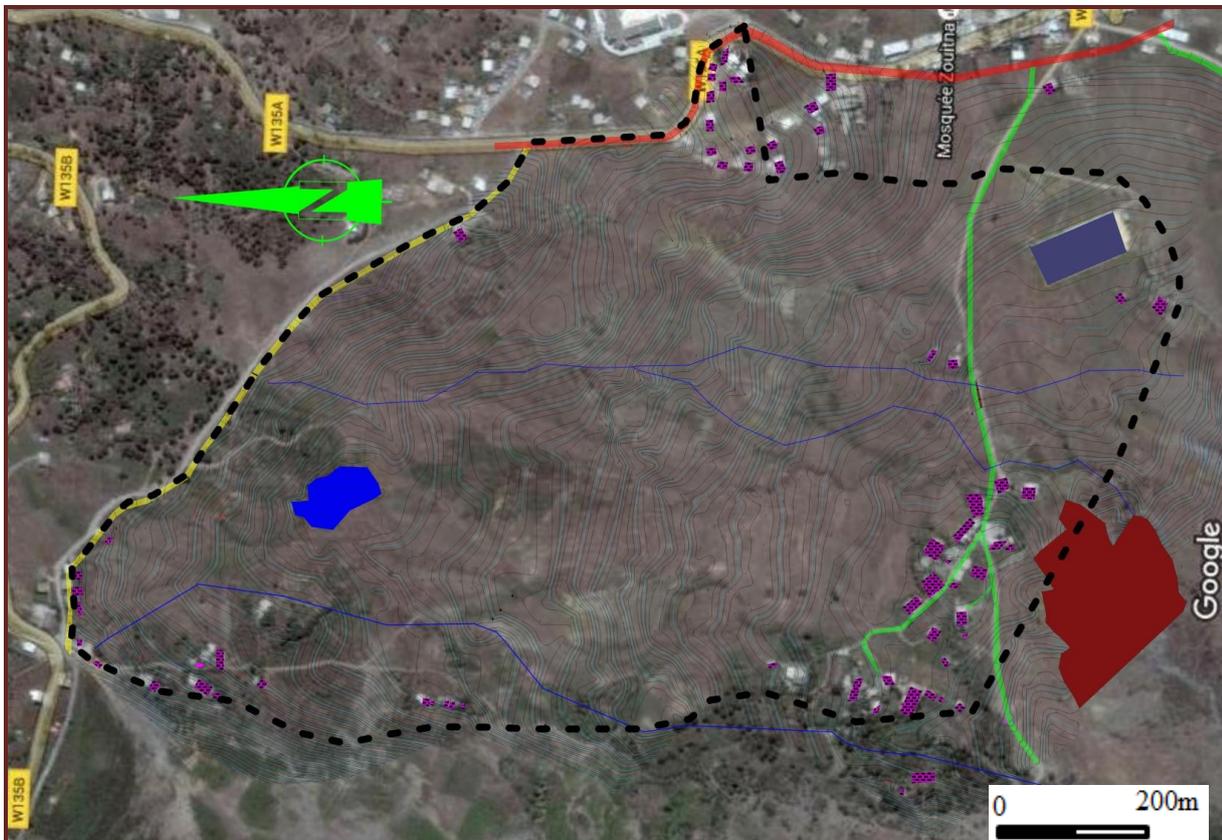
## 2. Situation géographique

La région d'étude fait partie de la commune de Boussif Ouled Askeur. Cette commune se trouve au sud de la wilaya de Jijel sur une altitude de 730 mètres, elle est liée administrativement à la daïra de Taher. Elle est limitée au nord par les communes de Bordj Taher et Chekfa, au sud par la wilaya de Mila, à l'Est par la commune de Bouraoui Belhadeuf et à l'Ouest par la commune de Chahna.



**Figure 01** : Situation géographique de la commune de Boussif Ouled Askeur  
( rapport de sol –Phase 01 )

La région d'étude se trouve plus exactement à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Boussif Ouled Askeur au niveau du secteur de Boushoul. Elle est limitée au Nord par la route CW135B, à l'Est par la route CW135A, et par des terrains vagues au Sud et à l'Ouest.



**Figure 02 :** situation géographique de la zone d'étude « Boushoul »-Boussif Ouled Askeur

Image d'extrait à partir de Google Earth, 2017

La région de Boushoul est une zone montagneuse partiellement urbanisée et couvre une superficie de 71,4 Ha, dont une petite partie est occupée par des habitats de type individuelles, la grande partie reste c'est un terrain nu non aménagé, agricole vague.

### 3. Problématique et méthodologie

Parmi les problèmes rencontrés pendant l'aménagement du nouveau site, c'est les instabilités, dont elles présentent un grand souci aux planificateurs et les autorités, puisqu'elles empêchent la réalisation des différents programmes d'urbanisme. Pour cela, il est recommandé de effectuer des études géologiques et géotechniques d'une façon rigoureuse, afin de déterminer les causes responsables et par la suite de trouver les meilleures solutions les plus assurées et plus économiques.

Dans cette optique, notre travail est proposé dans le but d'étudier les différentes zones instables afin de déterminer les causes responsables de ses instabilités et de proposer des solutions adéquates par une caractérisation géologique, géophysique, géotechnique de ces zones.

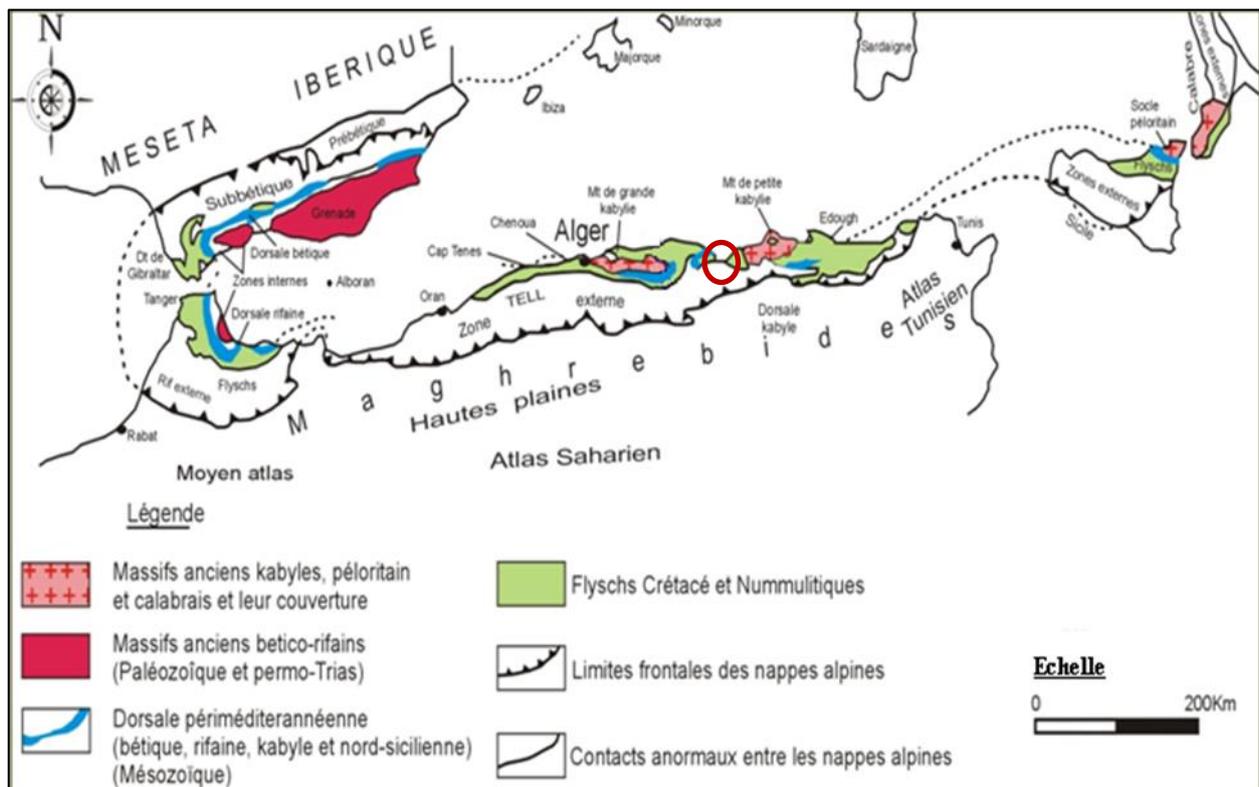
Après l'introduction générale, le mémoire sera divisé en 4 chapitres:

- **Chapitre I** : Cadre géologique.
- **Chapitre II** : Géomorphologie-hydroclimatologie de site.
- **Chapitre III** : Reconnaissance géotechnique et géophysique de site.
- **Chapitre IV** : Analyse et étude de stabilité.
- **Conclusion générale et recommandations.**

*Chapitre I*  
*Cadre géologique*

## 1. Introduction

La région d'étude fait partie du massif de petit kabyle. En Algérie, ce massif occupe une position septentrionale dans le domaine interne de la chaîne Alpine (W. Wildi, 1983). Il s'étend sur plus de 150 Km, le long du littoral Algérien (figure 03). Il est limité à l'Ouest par la chaîne des Babors, et l'Est par le massif de l'Edough, avec une extension Nord-Sud sur plus de 50Km.



**Figure 03 :** Configuration des grands domaines de l'orogène alpin en méditerranée occidentale, d'après (D. Delga, 1969), modifié par H. Djellit.

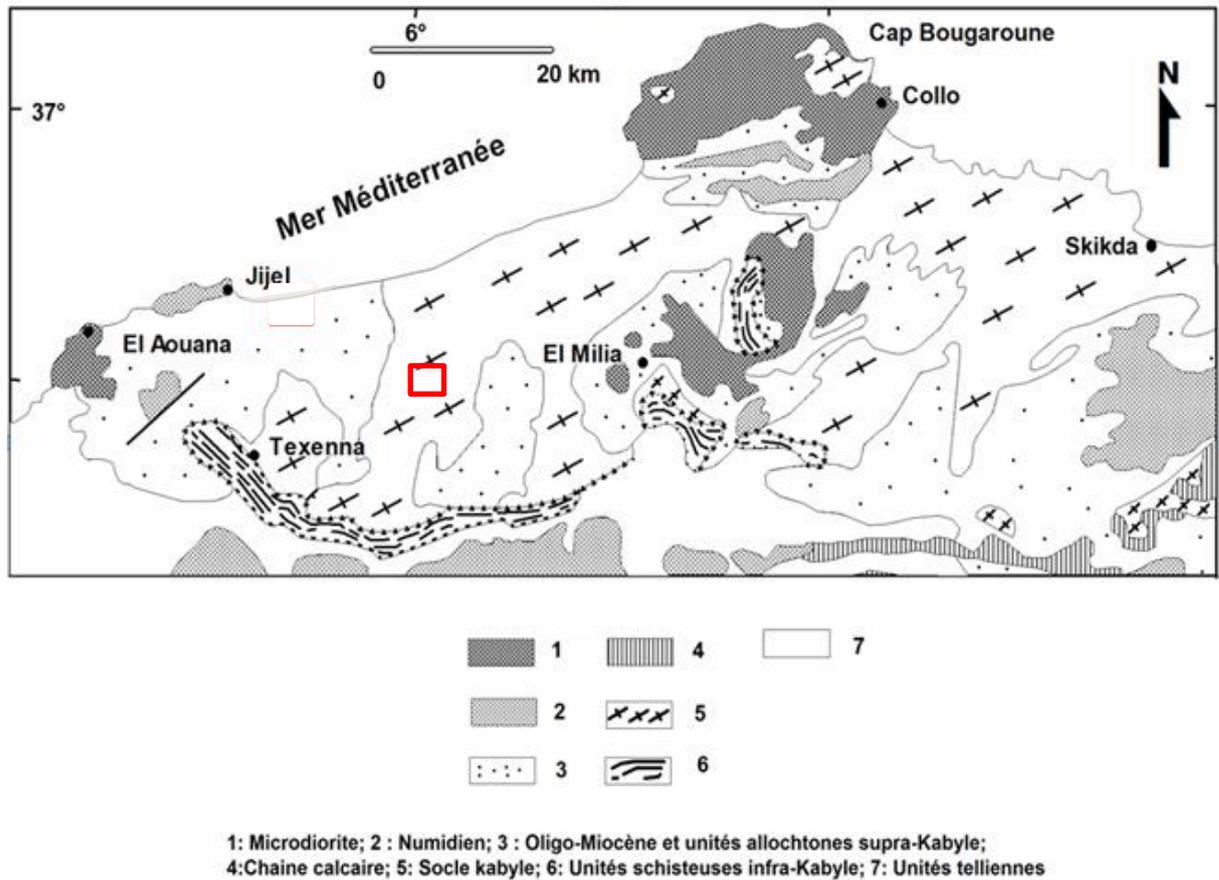
Du point de vue structural, les Maghrébides sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme Africaine, transversalement on distingue de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne :

- Le domaine interne : le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire
- Le domaine des flyschs.
- Le domaine externe (tellien et l'avant pays).

Cet ensemble de nappes est recouvert en discordance par la nappe Numidien et par les formations post-nappes (D. Délga, 1955 ; Wildi, 1983, Bouillin 1986 et H. Djellit, 1987).

## 2. Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie

Le secteur d'étude appartient au domaine de la petite Kabyle plus exactement à son extrémité occidentale (Figure 04), qui est formé par la superposition de plusieurs ensembles géologiques, séparés par des contacts anormaux.



**Figure 04 :** Esquisse géologique de la Petite Kabylie (Andrieux et Djellit, 1989)

### 2.1. Domaine interne

Il comporte le socle kabyle et sa couverture sédimentaire

#### 2.1.1. Le socle Kabyle

Il est constitué par des formations cristalphylliennes Anté-triasiques charriées vers le sud sur les terrains Mésozoïques et Paléogènes (D. Delga, 1955 ; J.P. Bouillin, 1977 et 1984). Les formations cristalphylliennes du socle Kabyle comportent deux grands ensembles :

- Un ensemble supérieur formé essentiellement de schistes, de micaschistes et de phyllades surmontés en discordance par des formations Siluriennes (D. Delga, 1955).
- Un ensemble inférieur constitué de gneiss à intercalation de marbres et d'amphibolites (J.P. Bouillin, 1977).

- 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 (D. Delga, 1955 ; J.P. Bouillin, 1977).

### **2.1.2. Couverture sédimentaire du socle**

Elle est représentée par la dorsale kabyle, les formations de L'OMK et les olistostromes

#### **2.1.2.1. La dorsale kabyle (chaîne calcaire)**

La dorsale Kabyle marque la limite entre le socle Kabyle au Nord et les zones telliennes plus externes au Sud. Elle occupe les extrémités méridionales du socle Kabyle, et montre des termes allant du Permo-Trias à l'Eocène. Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois sous unités qui sont du Nord au Sud (D. Delga, 1969, J.F. Raoult, 1974, J.M. Villa, 1980 et Lahondère, 1987) :

##### **a- La dorsale interne**

Elle comporte des séries allant du Permo-Trias au Néocomien. Ces séries sont représentées par des calcaires néritiques massifs riches en microfaune benthiques (Algues et Foraminifères) qui atteignent le sommet du lutétien (J.F. Raoult 1969, 1974).

##### **b- La dorsale médiane**

Elle est caractérisée surtout par la constance des dépôts marneux à microfaunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur, et par une lacune des termes du Crétacé moyen.

##### **c- La dorsale externe**

Elle est caractérisée par des séries détritiques peu épaisses et lacuneuses. Elle comporte des calcaires silicifiés, surmontés par des conglomérats du Campanien qui les recouvrent en discordance. Ces derniers soulignent une intense érosion Sénonienne. Les dépôts de la dorsale externe s'étalent jusqu'au Lutétien. La dorsale externe repose en contact anormal sur les flyschs (J.P. Bouillin 1970).

#### **2.1.2.2. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostromes**

##### **a- L'Oligo-Miocène Kabyle (O.M.K)**

C'est une formation détritique, constitue la couverture sédimentaire, transgressive et discordante du socle Kabyle (Raoult, 1974 ; Bouillin, 1977). Elle comporte trois termes (Bouillin, 1977) :

- Un terme de base formé de conglomérats reposant en discordance sur le socle kabyle
- Un terme médian comporte des grés micacés à débris de socle associés à des pelites micacés
- Un terme de sommital formé de silexites

**b- Les Olistostromes**

Ce sont des formations tectono-sédimentaires synchro nappes de blocs et klippes de flysch dans des passées de grés-micacées. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable (J.P. Bouillin et J.F Raoult, 1971 ; J.P. Bouillin et Al, 1973 et J.P Bouillin, 1977).

**c- Le Nummulitique**

Formations grés-micacées d'âge Priabonien (Eocène supérieur) à Oligocène supérieur, qui constitue la couverture de la chaîne calcaire (dorsale Kabyle) et du flysch maurétanien. (J.P. Bouillin, 1977 ; J.F. Raoult 1979).

**2.2. Domaine des flyschs**

Il forme une bande presque continue située au sud des massifs anciens et scindé en unité affleurant en :

- Bande coincée entre le domaine Kabyle et tellien.
- En superposition tectoniques (flysch numidien).

Les flyschs occupant une position allochtone d'âge Crétacé à Eocène sont classiquement subdivisés en deux types principaux : le flysch Maurétanien et le flysch Massylien (J.P. Bouillin et Al, 1969).

**2.2.1. Le flysch Maurétanien**

Comporte des terrains allant du Néocomien au Lutétien ; il comporte de bas en haut :

- Un pré flysch calcaire du Tithonique-Néocomien.
- Un puissant ensemble (300 m) à grés fins homométrique, à cassure verdâtre (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien (J.P. Bouillin et Al, 1970).
- Des phtanites rouges et blanches du Cénomani supérieur (H. Djellit, 1989).
- Des micros brèches à ciment spathique du Sénonien.
- Au sommet des conglomérats et des grés micacés Tertiaires (Eocène à Oligocène).

**2.2.2. Le flysch Massylien**

Le terme de flysch Massylien a été proposé par J.P. Raoult (1969), pour caractériser les formations détritiques schisto-quartzitiques. Ce flysch comporte une série allant du Néocomien au Lutétien terminal et regroupe trois ensembles qui sont du bas en haut :

- Des argiles et grés quartzitiques, des grés légèrement calcaireux et localement des niveaux conglomératiques de l'Albo-Aptien.
- Des marnes et calcaires fins du Vraconien, des microbrèches et des conglomérats du Sénonien inférieur et moyen auxquels sont associées des phtanites noires.

- Des bancs calcaires à microfaunes pélagiques du Turonien-Cénomaniens. Il est caractérisé par des schistes, des grès quartzitiques surmontée par des microbrèches à éléments calcaires et à ciment pélétique et des marnes, allant du Néocomien à l'Albien supérieur (J.P. Raoult, 1969).

### **2.2.3. Le flysch Numidien**

Dans l'édifice structural de la Petite Kabylie, le flysch numidien occupe la position la plus haute de l'édifice Alpin. Il est composé de trois termes qui sont en continuité stratigraphique :

- Un terme de base comportant des argiles sous numidiennes.
- Un terme médian formé de grès numidien à grains hétérométriques.
- Un terme supérieur comportant des argiles supra numidiennes de couleurs verdâtres à rouge sombre.

### **2.3. Domaine externe : formations Telliennes**

L'ensemble tellien est caractérisé par la prédominance de faciès de marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (J.P. Bouillin, 1977). Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes séries qui sont d'après J.M. Villa, 1980 du Nord au sud :

#### **a. Une série Ultra-tellienne**

Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (J.M. Villa, 1980).

#### **b. Une série Méso-tellienne**

Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique, elle est considérée comme la couverture de la plate-forme constantinoise (J.M. Vila, 1980).

#### **c. Une série Péni-tellienne**

Cette série se distingue par des formations Jurassique-Crétacés, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plate-forme (calcaire et marno-calcaire du néritique) ; et des faciès de bassin (marne du domaine tellien).

### **2.4. Les formations post-nappes**

Elles sont constituées par les dépôts marins et continentaux. Dans la partie nord de la petite kabyle, ces formations comportent deux cycles sédimentaires (J.P. Bouillin, 1977) :

- Un premier cycle est constitué par des marnes grises ou bleues à rare passées calcareuses discontinues et plus ou moins arrondies transgressives sur les terrains précédant La série marneuse repose en discordance à la fois sur le socle Kabyle et l'OMK (H. Djellit, 1987).

- Un deuxième cycle, constituées essentiellement par des conglomérats d'au moins 50 m d'épaisseur qui comportent des blocs anguleux, mal classés et de taille variable empruntées en totalité soit au socle kabyle, soit aux unités à matériel flysch. (H. Djellit, 1987).

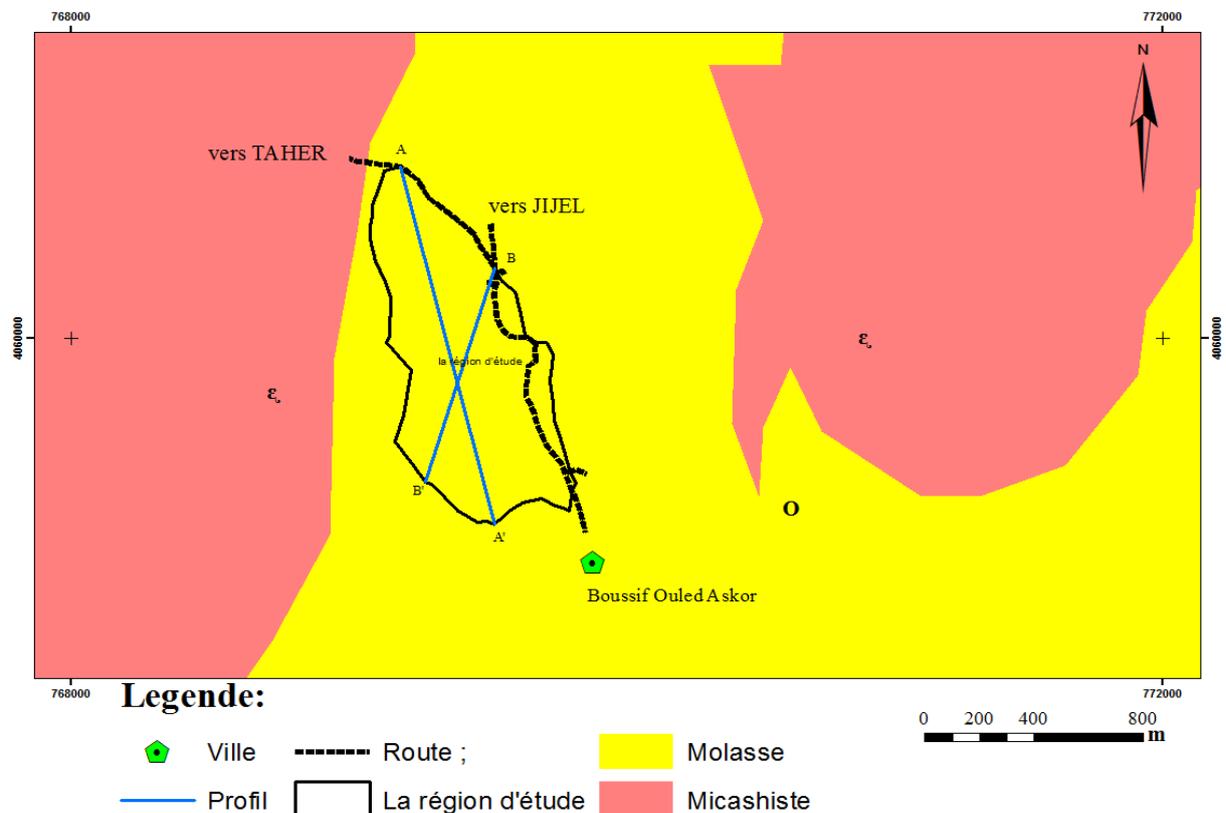
## 2.5. Les roches magmatiques

Les roches magmatiques de la Petite Kabylie sont principalement représentées par :

- Des roches basiques et ultrabasiques (péridotites, gabbros, diorites, microdiorites et dolorites) de Texenna et du Cap Bougaroun.
- Des roches volcaniques (rhyolites, trachytes, andésites, dacites, rhyodacites, pyroclastites) dans la région de Cavallo, Cap de fer, et Collo.
- Des roches granitiques (granites, microgranites, et grano-diorites) dans la région d'El-Milia, et Collo. Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique miocène sont une particularité de la partie orientale de la Petite Kabylie (M. Roubaut, 1934 ; C. Robin, 1970 ; B. Semroud, 1971 ; J. Fougnot, 1990 ; A. Ouabadi, 1994).

## 3. Géologie locale de la région d'étude

La région de Boussif Ouled Askeur appartient au domaine de la petite Kabylie. Elle est occupée par les formations molassiques.



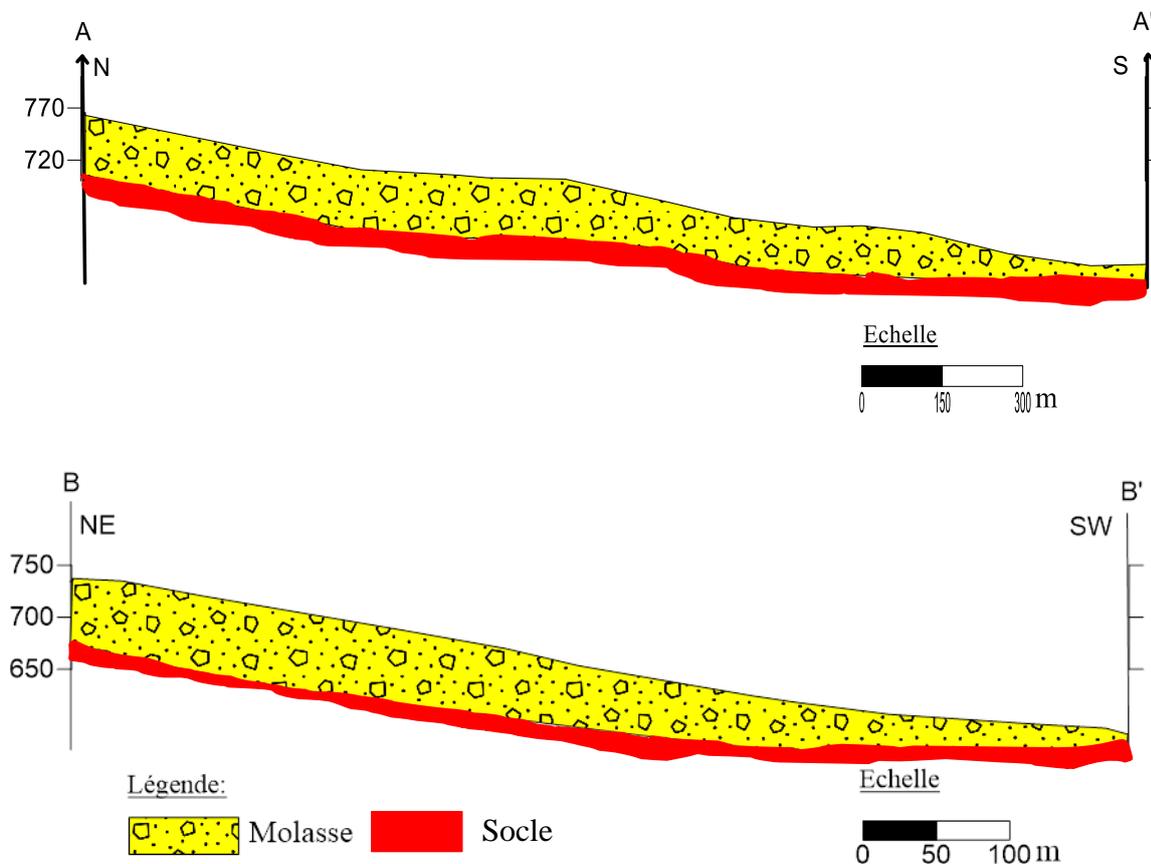
**Figure 05 :** Géologie de la région de Boussif Ouled Askeur –Extrait de la carte géologique de l'Ouest de la chaîne numidique et des régions voisine (D. Délaga, 1955)

Les formations molassiques sont d'âge aquitano-serravallien. Elles sont composées par une matrice marneuse qui contient des blocs de taille, d'âge et de nature variés (H. Djellit, 1987).



**Figure 06 :** Molasse au niveau de Boushoul, affleure dans les chabaats

Des coupes géologiques ont été effectuées à partir de l'extrait de la carte géologique de l'ouest de la chaîne numidique et des régions voisine (D. Délaga, 1955).



**Figure 07 :** coupes géologiques (A-A' : N-S) et B-B' : NE-SW)



*Chapitre II*  
*Géomorphologie et*  
*hydroclimatologie de*  
*site*

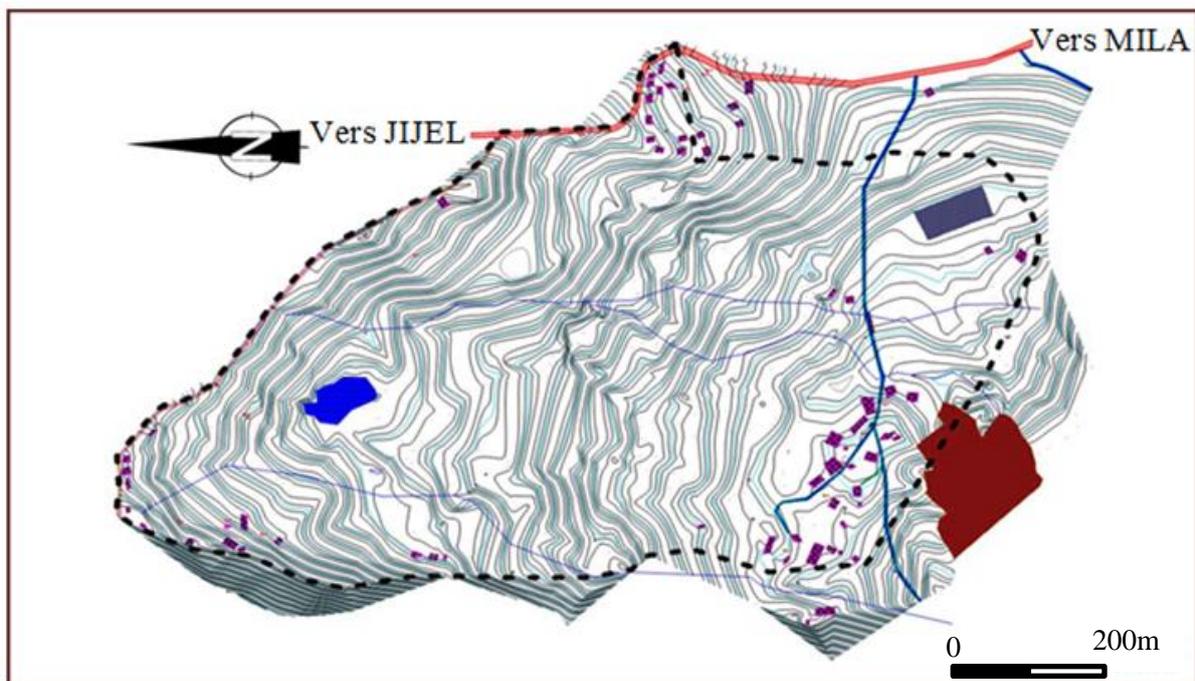
## 1. Introduction

Le climat est le temps qu'il fait au cours de l'année dans une région du monde, et ses caractéristiques et variations habituelles sur une assez longue durée de temps. L'étude des variations du temps sur une courte durée de temps (quelques jours ou semaines) est la météorologie. Un climat est souvent représenté par un graphique (ou plusieurs) qui indiquent pour une année les températures et les précipitations moyennes relevées (mesurées) par mois.

## 2. La topographie et morphologie du site

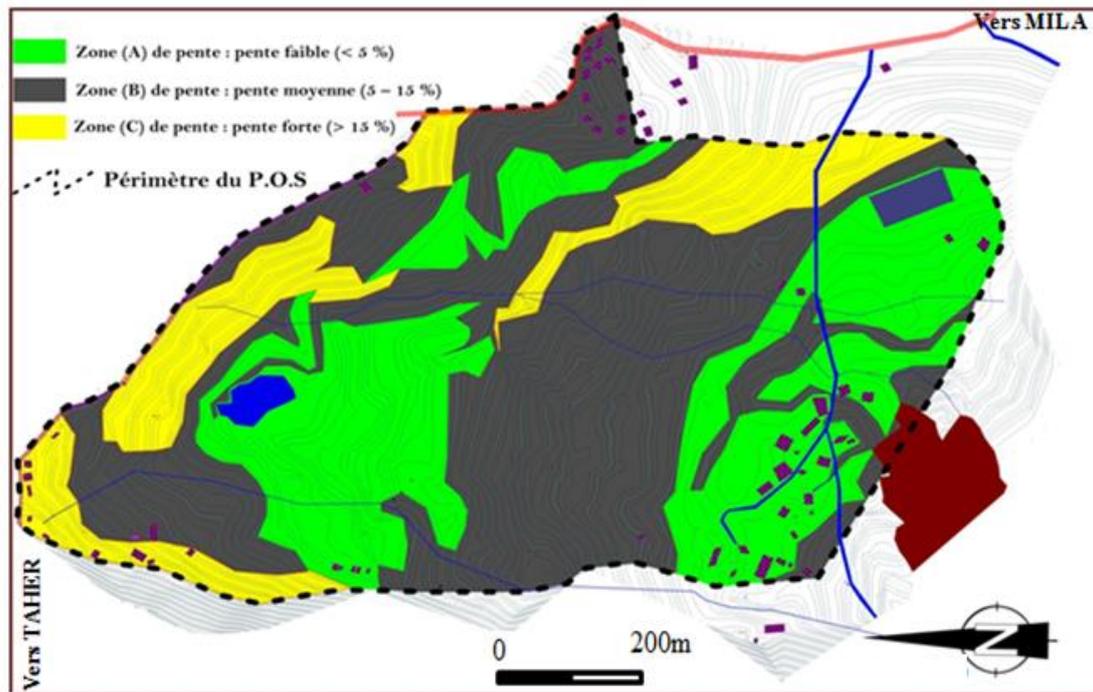
Le levé topographique est l'outil de base pour reproduire l'état physique existant, il permet d'avoir l'image du terrain, sa morphologie, ses pentes, ses contraintes naturelles et urbanistiques et donne les limites du terrain concerné par l'étude.

Son but est de faire figurer tous les détails sur un plan ou une carte et de donner avec précision et exactitude, l'implantation des constructions à caractère d'habitat ou équipements divers et le tracé des routes existantes reproduites avec leurs dimensions réelles.



**Figure 09** : Levé topographique de la région d'étude

En général, le site du Boushoul à Boussif Ouled Askeur, se présente en versant allongé d'orientation Nord-Sud. Ce versant présente des pentes faibles à forte accessibles, peu accidentées sur la totalité de surface. Une carte de pente a été réalisée à partir du levé topographique du site de Boushoul.



**Figure 10** : Carte de pente du POS

D'après la carte de la figure 10, trois classes de pentes sont déterminées sur le site à savoir :

### 2.1. Classe de pente de < 5 % : Zone A

Cette zone est caractérisée par une pente faible, elle est de l'ordre de < 5 %, occupe quelque partie au centre du site sur une superficie de 25,4 HA environ, du fait qu'il n'y a pas lieu de craindre ni de problèmes de stabilité dans la mesure où l'aménagement d'assiettes ne laisse prévoir que de légers travaux de terrassements.



### 2.2. Classe de pente de 5 à 15 % : zone (B)

Cette zone occupe une superficie plus importante, elle est caractérisé par une déclivité de l'ordre de 5 à 15 %, occupant quelque partie au Nord et quelque partielle au centre du POS sur une superficie de 33,6 HA environ.



### 2.3. Classe de pente de >15 % : zone (C)

Cette zone occupe une superficie plus restreinte par rapport aux autres zones, elle occupe la partie Nord et quelque partie au centre du POS sur une superficie de 12,4 HA environ.



**Tableau 01** : Les classes des pentes de site

Classe des pentes	Surfaces-en (Ha)	% de la surface totale de site
<b>Zone (A) de pente de &lt; 5 %</b>	25.4	35.60
<b>Zone (B) de pente de 5 à 15 %</b>	33.4	47.05
<b>Zone (C) de pente &gt;15 %</b>	12.4	17.35

D'après le tableau, la classe de la pente dominante est celle moyenne (5 à 15 %).

## 3. Analyse des caractéristiques hydro-climatiques de site

L'objectif de cette partie est de déterminer le régime climatique de la région de Boussif Ouled Askeur, en se basant sur l'analyse et la comparaison de la variation temporelle des différents paramètres climatique, à partir des données de station météorologique d'Achouat (Taher), sur une période d'observation qui s'étale sur 26 ans (1988/1989,2013/2014).

### 3.1. Les précipitations

A l'échelle de l'Algérie, les cartes pluviométriques montrent une répartition géographique des précipitations, caractérisées par une décroissance générale du Nord au sud et d'Est en Ouest. D'après la carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (A.N.R.H.1996), (Figure 11), la région de Boussif Ouled Askeur est caractérisée par une précipitation annuelle forte (comprise entre 1200-1400 mm)

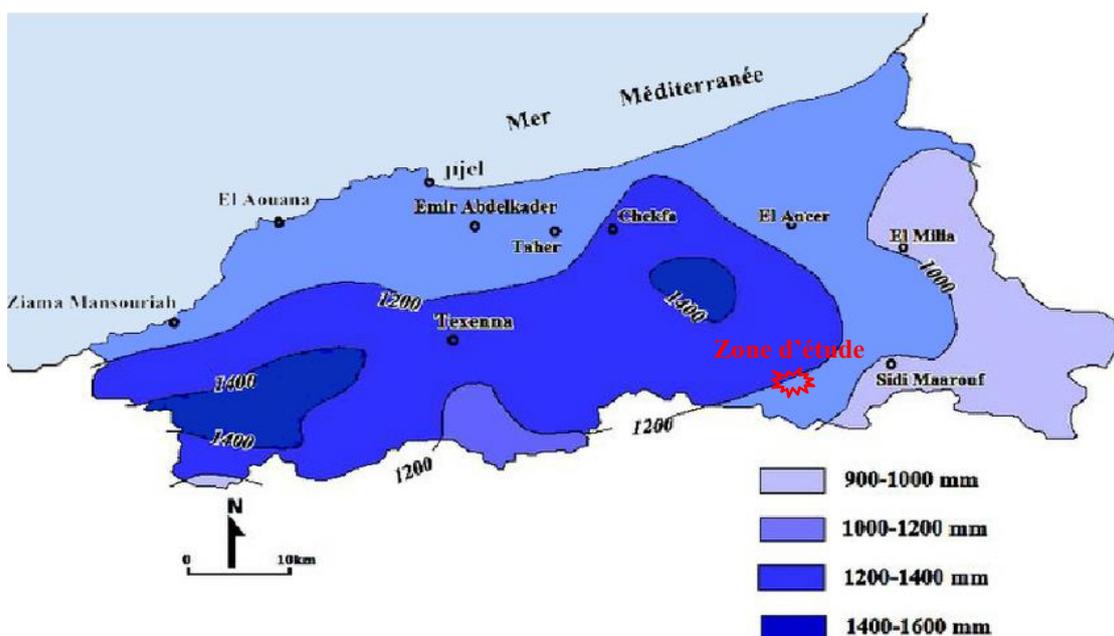


Figure 11 : Carte pluviométrique de la wilaya de Jijel (D'après l'A.N.R.H, 1996)

L'exploitation des données climatiques enregistrées dans la station de Taher nous a permis de déterminer les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations (tableau 02).

Tableau 02 : Précipitation moyenne mensuelle (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Année
P (mm)	64,31	94,16	158,66	186,65	131,8	115,35	86,31	85,83	51,44	13,77	3,11	16,18	1007,61
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	105,71			144,6			74,52			11,02			

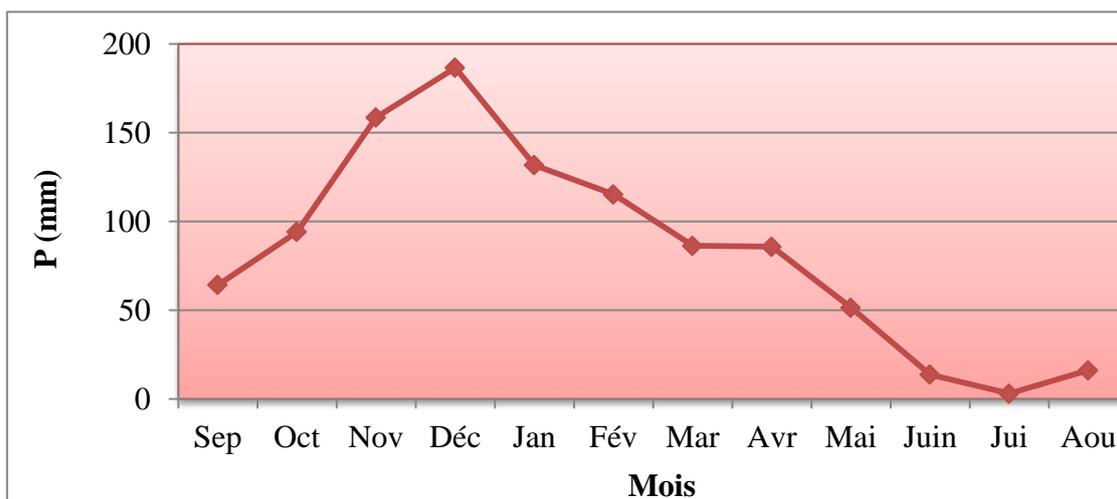


Figure 12: Précipitation moyenne mensuelle (Station de Taher : 1988/1989,2013/2014)

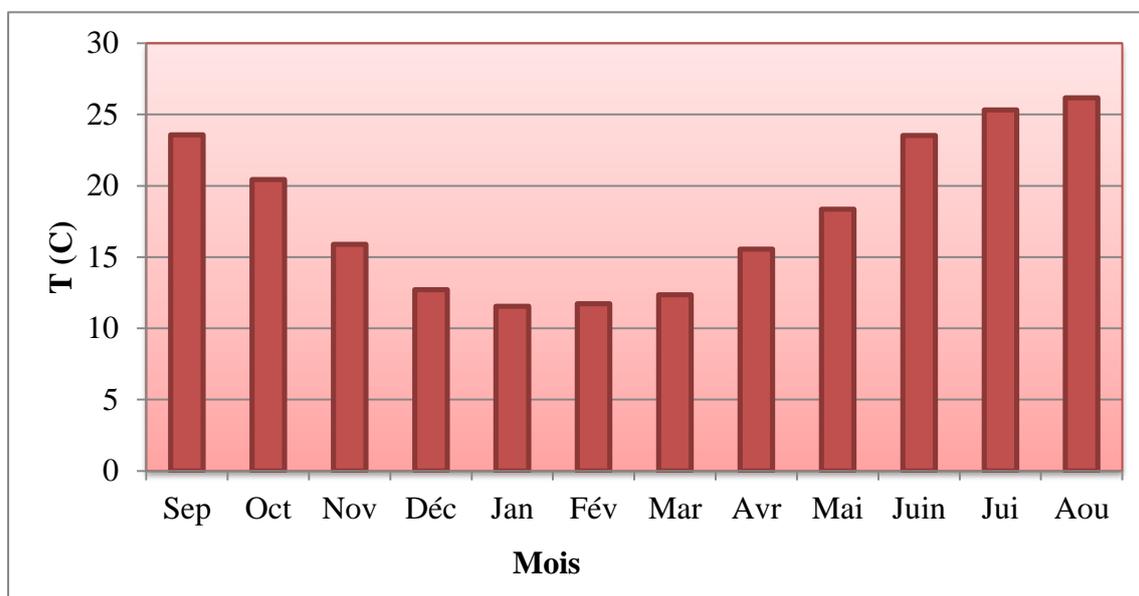
L'analyse du tableau 02 et le graphique de la figure 12, nous ont permis de remarquer que le mois juillet est le mois le plus sec, avec un taux de précipitation faible de 3,11 mm. En contrepartie les précipitations record sont enregistrées au mois de Décembre avec un taux de précipitation de 186.65mm.

### 3.2. Les températures

La température ressentie est un indice qui tient compte de l'impression physiologique de chaud ou de froid ressentie par le corps humain, selon des valeurs combinées de température, d'humidité relative et de mouvement de l'air. Elle est calculée à l'aide de formules mathématiques empiriques qui comparent les conditions météorologiques rapportées avec la température qu'il faudrait atteindre à humidité normale et vent calme pour que le corps ressente la même impression.

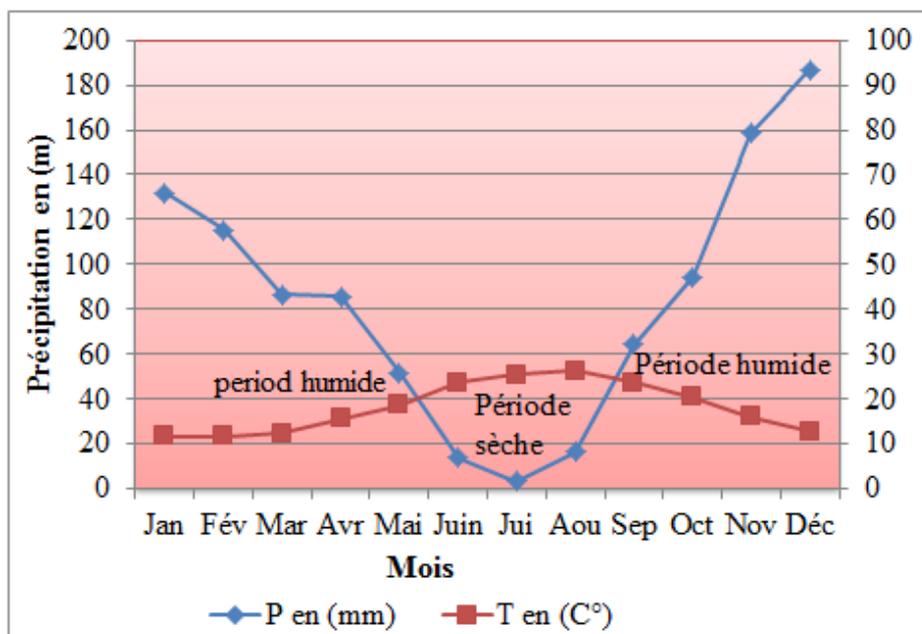
**Tableau 03 :** Température moyennes mensuelles (station de Taher 1988/1989,2013/2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Année
T en (C°)	23,57	20,44	15,90	12,71	11,55	11,73	12,36	15,56	18,53	23,53	25,31	26,18	18,59
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	19,97			19,99			17,42			25,00			



**Figure 13 :** Température moyenne mensuelle (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)

D'après le graphique de la figure 13 et le tableau 03 représentant les températures moyennes mensuelles, on distingue deux périodes : la première ou le mois le plus chaud de l'année est celui d'Aout avec une température moyenne de 26,18 °C, et la deuxième ou le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 11,55 °C.



**Figure 14 :** Diagramme Ombrothermique (Station de Taher 1988/1989,2013/2014)

On remarque la succession de deux périodes, la première dite période humide se caractérisant par une forte pluviométrie et une faible température, elle s'étend du début de septembre jusqu'au mois de mai. Au cours de cette période, les précipitations sont importantes. La période sèche occupe le reste des mois, c'est-à-dire du mois de mai, jusqu'au le mois de septembre.

### 3.3. L'humidité

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance. Dans l'air elle peut se mesurer grâce à un hygromètre à cheveu ou numérique et s'exprime en pourcentage le plus souvent. Le terme humidité utilisé dans le langage de la construction correspond à une présence anormale d'eau dans un bâtiment. Celle-ci peut être sous forme de liquide, de vapeur d'eau ou de remontée capillaire.

**Tableau 04:** Humidité moyenne mensuelle (station de Taher : 1990,1991-2013/2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou
<b>Humidité</b>	74,89	74,87	76,59	76,95	77,87	77,32	76,43	76,29	76,93	73,83	73,78	71,59

Le graphique de la figure 15 représentant l'humidité moyenne mensuelle, qui montre que notre région d'étude est caractérisé par une humidité durant toute l'année, elle oscille entre 71.59% 77.87%.

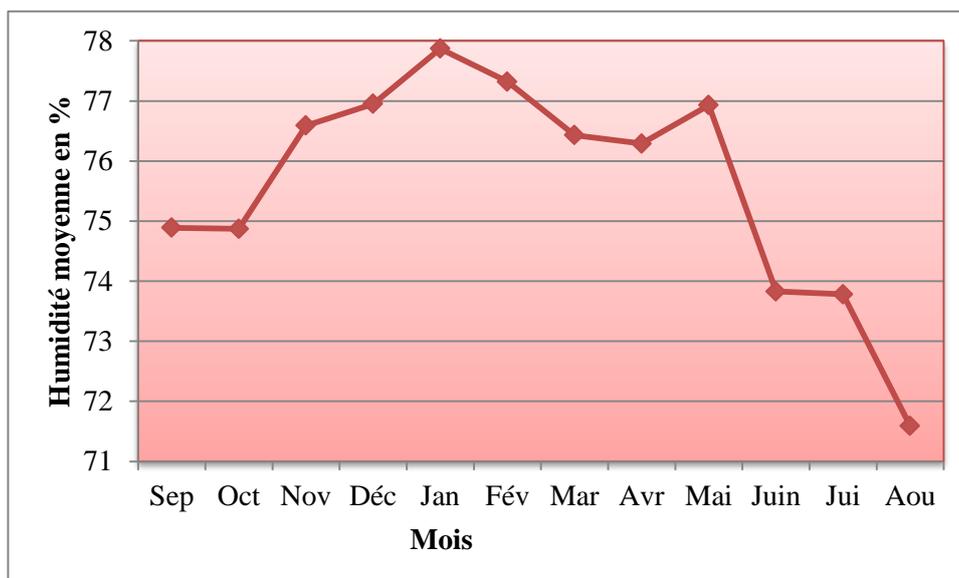


Figure 15 : Humidité moyenne mensuelle (Station Taher 1990/1991,2013/2014)

### 3.4. Détermination de l'humidité du sol (Méthode de l'Euverte)

Cette méthode est basée sur l'établissement d'un rapport entre précipitation et température moyenne mensuelle (P/T) d'une période. Le rapport précipitation température donne la valeur de l'humidité du sol et permet de distinguer quatre types de régime climatique.

Tableau 05 : Evaluation de l'humidité de sol par la Méthode de l'Euverte

Rapport (P/T)	P/T<1	1<P/T<2	2<P/T<3	P/T>3
Le régime	Très sec	Sec	Subhumide	Humide

Le tableau suivant représente le rapport précipitation température (P/T) pour le site de Boushoul -Boussif Ouled Askeur

Tableau 06 : Le rapport précipitation /température pour le sol de Boushoul -Boussif Ouled Askeur

Les mois	P Moy (mm)	T Moy (C°)	P/T	Régime
Sep	64.31	23.57	2.72	Subhumide
Oct	94.16	40.44	4.60	Humide
Nov	158.66	15.90	9.97	Humide
Dec	186.69	12.71	14.68	Humide
Jan	131.8	11.56	11.40	Humide
Fév	115.35	11.73	9.83	Humide
Mar	86.31	13.56	6.36	Humide
Avr	85.83	15.56	5.51	Humide
Mai	51.44	18.36	2.80	Subhumide
Juin	13.77	22.53	0.61	Très sec
Jui	3.11	25.31	0.12	Très sec
Aout	16.18	26.18	0.61	Très sec
Année	1007.61	217.41	4.63	

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, le sol de site de Boushoul est très sec pendant la saison d'été et subhumide dans les deux mois septembre et Mai et le reste de l'année il est humide

### 3.5. Détermination de l'aridité (indice de Martonne)

L'indice l'aridité (de Martonne, 1923) est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles, il est donné selon la formule suivante :

$$A = \frac{P}{(T+10)}$$

Avec:

T: température moyenne annuelle (C°).

A: indice de "De Martonne".

P: précipitation moyennes annuelles (mm).

**Tableau 07 :** La classification "De Martonne".

Indice (A)	A<5	5<A<7.55	7.55<A<10	10<A<20	A>20
Type de climat	hyperbolique	désertique	steppique	Semi-aride	tempéré

Pour la région de Boushoul : P=1007.61mm et T=18.59c°. Donc l'indice de "De Martonne": A=35.24 suivant la classification de "De Martonne" (tableau 07), la région d'étude est caractérisée par un climat tempéré.

### 3.6. Gelée blanche

Les données la gelée sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 08 :** Les données de La gelée blanche selon les stations de mesures

Station	Jijel		Taher	
	Données P.Seltzer 1913-1938	Données ONM 1982-1991	Données P.Seltzer 1913-1938	DonnéesONM 1989- 1992
Moyenne Annuelle	0,2	0,5	2,1	5,95

La gelée blanche à une moyenne de 0.35 à Jijel ainsi qu'une moyenne de 4 à Taher, ces valeurs sont négligeables.

## 4. Etablissement du Bilan hydrique

Le but de l'analyse du bilan hydrique est d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

$$P = ETR + R + I$$

**P** : précipitation moyennes annuelles en mm. **R**: Ruissellement en mm.

**I** : Infiltration en mm. **ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.

#### 4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) représente la quantité d'eau maximum qui peut être abandonnée pour des conditions météorologiques données et pour un stock d'eau du sol maximum et infiniment renouvelable.

$$ETP_c(mm) = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \times K \quad ETP (mm) = 16 (10T/I)^a$$

Avec:

$$I = \sum i; i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 0.016.I + 0.5$$

T : température moyenne du moins considère.

K : coefficient d'ajustement mensuel.

ETP : évapotranspiration potentielle du moins considéré (mm).

I : indice thermique.

**Tableau 09** : L'évapotranspiration selon la formule de thornthwaite.

Moins	P (mm)	T (C°)	I	ETP (mm)	K	ETPc
Sep	64.31	23.57	10.45	105.63	1.03	108.79
Oct	94.16	20.44	8.42	80.69	0.97	78.26
Nov	158.69	15.90	5.76	50.19	0.86	43.13
Déc	168.69	12.71	4.1	32.87	0.84	27.61
Jan	131.8	11.56	3.55	27.48	0.87	23.9
Fév	115.35	11.73	3.63	28.24	0.85	24.00
Mar	86.31	13.56	4.52	37.15	1.03	38.26
Avr	85.83	15.56	5.57	48.18	1.1	52.99
Mai	51.44	18.36	7.16	65.87	1.21	79.70
Juin	13.77	22.53	9.76	96.99	1.22	118.32
Jui	3.11	25.31	11.65	120.85	1.24	149.85
Aou	16.18	26.18	12.26	128.82	1.16	149.43
Année	1007.61	217.41	86.86	822.96		894.27

#### 4.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, l'évapotranspiration réelle est calculée selon Méthode de Turc. Cette méthode tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climat, la formule est la suivante :

$$\text{Avec:} \quad ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)^2}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

P : Précipitation moyennes annuelle en mm.

T : température moyennes annuelle en C°.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

**Tableau 10** : Résultat d'ETR (mm) d'après la formule de Turc

Paramètre	P (mm)	T (C°)	L	ETR (mm/an)	ETR (%)
Valeur	1007.61	18.59	1085.97	761.61	75.58

#### 4.3. Estimation du ruissellement(R)

L'évaluation du ruissellement est impérative pour estimer l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol, il est calculé selon la formule de Taxeron –Berkaloff

$$R = \frac{P^3}{3 \cdot (ETPc)^2}$$

Avec :

R: Ruissellement annuelles (mm).

P : Précipitation annuelles (mm).

ETR : évapotranspiration potentielle (mm).

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous

**Tableau 11** : Le ruissellement selon la formule de Texeron –Berkaloff modifiée par Romantchouk

Paramètre	P (mm)	ETPc (mm)	R (mm)
Valeur	1007.61	894.27	427

#### 4.4. Estimation de l'infiltration

L'infiltration est calculée à partir de la formule générale du bilan.

$$I = P - (ETR + R)$$

Avec :

I: Infiltration (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation annuelles (mm).

R : Ruissellement annuelles (mm).

Les résultats du bilan hydrologique sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau 12** : Résultats du bilan hydrologique (mm)

Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Valeur	1007.61	536.99	427	43.62

$$I\% = I \text{ (mm)} \cdot 100 / P \text{ (mm)}$$

$$I\% = 43.62 \cdot 100 / 1007.61 = 4.32\%$$

D'après les résultats obtenus, les quantités des eaux de l'infiltration sont très faible par rapport aux autres composants du bilan avec 43.62mm soit 4.32% de quantité précipitée, alors que le ruissellement représente 42.37% de précipitation.

### 5. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite

Ce bilan consiste à calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle à partir des précipitations moyennes mensuelles, l'évapotranspiration potentielle (ETP) et la réserve facilement utilisable contenue dans le sol (RFU) qui est nécessaire pour le bon fonctionnement physiologique des plantes.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle est liée au volume de précipitations dans trois cas :

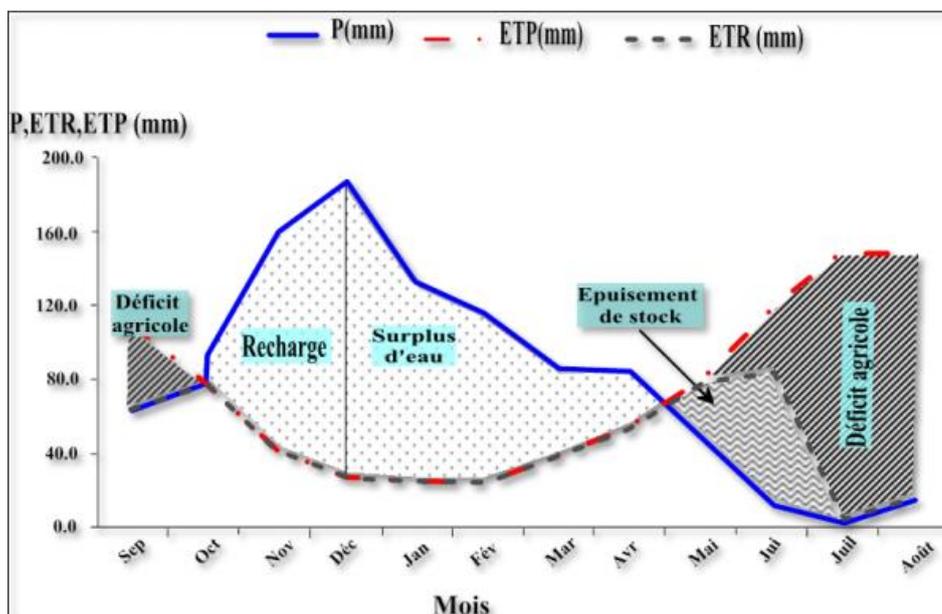
- 1er Cas : ( $P \geq ETP \rightarrow ETR=ETP$ ) : Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm), le surplus(EXC) représentera l'écoulement superficiel.
- 2<sup>ème</sup> Cas : ( $P < ETP \rightarrow ETR=P+RUF$ ) : Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.
- 3<sup>ème</sup> Cas : ( $P < ETP$  et  $RUF = 0 \rightarrow ETR=P$ ) : Dans ce cas, on aura un déficit qui représentera la quantité d'eau à apporté pour l'irrigation (déficit agricole) :

$$DA = ETPc - ETR$$

Le tableau 13 suivant récapitule les résultats du bilan hydrologique pour la station de Taher pour une période d'observation de 26 ans (1990/1991-2013/2014).

**Tableau 13** : Bilan hydrique d'après la formule de Thornthwaite

(mm)	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Total
P	64.31	94.16	158.66	186.69	131.8	115.35	86.31	85.83	51.44	13.77	3.11	16.18	1007.61
ETPc	108.79	78.26	43.16	27.61	23.9	24	38.26	52.99	79.7	118.32	149.85	149.43	894.27
ETR	64.31	78.26	43.16	27.61	23.9	24	38.26	52.99	79.7	85.51	3.11	16.18	536.99
P-ETP	-44.48	15.9	115.5	159.08	107.09	91.35	48.05	32.84	-28.26	-104.55	-146.74	-133.25	
RFU	0.00	15.9	100	100	100	100	100	100	71.74	0.00	0.00	0.00	
EX	0.00	0.00	31.4	159.08	107.9	91.35	40.05	32.84	0.00	0.00	0.00	0.00	470.62
Da	44.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.04	146.74	133.25	357.28



**Figure 16** : Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite.

Le graphique de la figure 16 montre l'existence de deux périodes ; La première hivernale s'étale du mois d'octobre au mois d'avril, caractérisée par des précipitations importantes de 858.8 mm, tandis que l'évapotranspiration est réduite avec une valeur de 288.18 mm. La reconstitution du stock se fait à partir du mois d'Octobre et l'écoulement se manifeste à partir de novembre et se poursuit jusqu'au mois d'Avril. Durant cette période, la quantité coulée est égale à 470.62 mm. Alors que, la deuxième période est estivale, s'étale du mois de Mai à Septembre où l'ETP est nettement supérieure aux précipitations. Le stock commence à épuiser pour vider complètement au mois de Juillet accompagné d'un déficit agricole, qui atteint son maximum à ce mois, ce qui signifie que l'irrigation doit commencer, et devient indispensable en juillet, août et septembre.

## 6. Conclusion

La région de Boussif Ouled Askeur est caractérisée par un climat tempéré avec une température moyenne de 18.59°C, et des précipitations annuelles de l'ordre de 1007.61mm ; dont 42.37% de ces précipitations participe aux ruissellements, et 4.32% de ces précipitations sont sous forme des infiltrations.

Cette région est caractérisée par deux périodes : la première hivernale s'étale du mois d'octobre à avril, caractérisée par des précipitations importantes et la deuxième période d'été, s'étale du mois de Mai à Septembre où les précipitations sont faibles.

***Chapitre III***  
***Reconnaissance***  
***géotechnique et***  
***géophysique de la***  
***zone d'étude***

## 1. Introduction

Les études géotechniques et géophysiques, mettent à notre disposition des techniques qui nous permettent d'étudier d'une façon globale ou détaillée le sol et le sous-sol. L'intérêt de l'étude géotechnique réside dans le fait qu'elle nous permet de collecter des informations sur les propriétés physiques et mécaniques des différentes couches de sol. L'étude géophysique est une étude complémentaire aux différentes études, à titre d'exemple elle peut confirmer les résultats obtenus par l'étude géotechnique, notamment la variation spatiale de sous-sol.

## 2. Reconnaissance géotechnique du site de Boushoul - Boussif Ouled Askeur

La reconnaissance géotechnique de site complète celles réalisées par la géologie. Elles doivent permettre de préciser la description des terrains en question, leurs états de contraintes in situ, leurs caractéristiques physiques et mécaniques par la réalisation de essais in situ et au laboratoire.

### 2.1. Les essais in situ

La campagne de reconnaissance du site de Boussif Ouled Askeur est effectuée par le laboratoire des études géotechniques GEO-LAB -TOUABET. Le programme de reconnaissance consiste en la réalisation (Figure 17) de :

- 42 sondages carottés ayant des profondeurs de 15 m.
- 35 pénétromètres dynamiques sont réalisés près des sondages carottés.

Pour exécuter ce programme d'investigation in situ, le laboratoire des études géotechniques GEO-LAB -TOUABET a utilisé une sondeuse puissante de type « DIAMANT BOART », et un pénétromètre dynamique type « TECOINSA ».



Sondeuse Type DIAMANT BOART

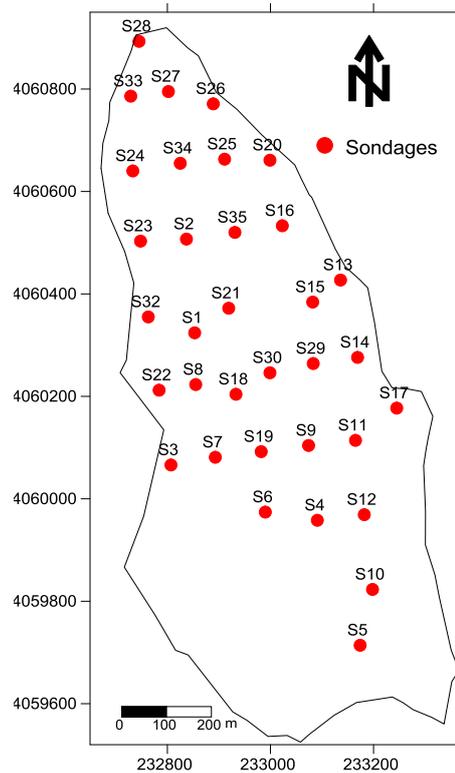


Pénétromètre Dynamique TECOINSA

**Figure 17 : Matériels utilisés**

### 2.1.1. Les sondages carottés

Le programme de reconnaissance géotechnique de site consiste en la réalisation 42 sondages carottés ayant des profondeurs de 15 m (Figure 18)

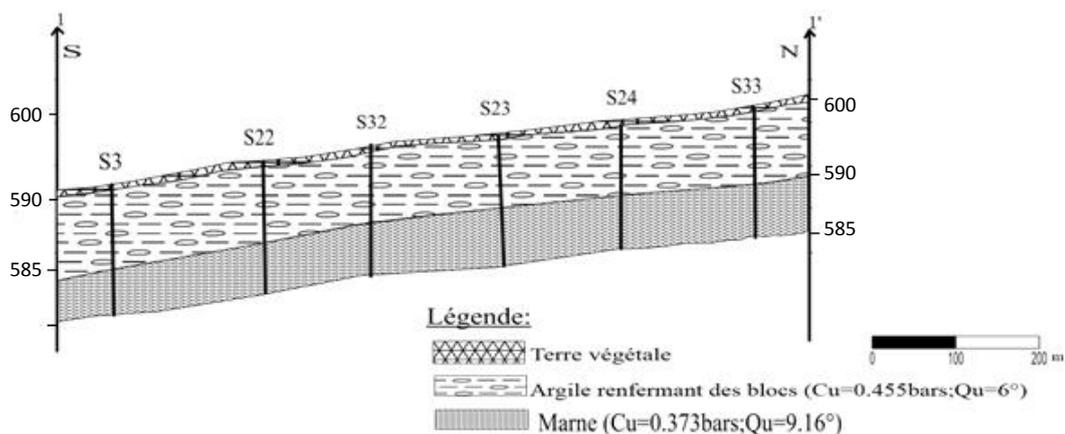


**Figure 18 :** Cartes d'implantation des sondages carottés

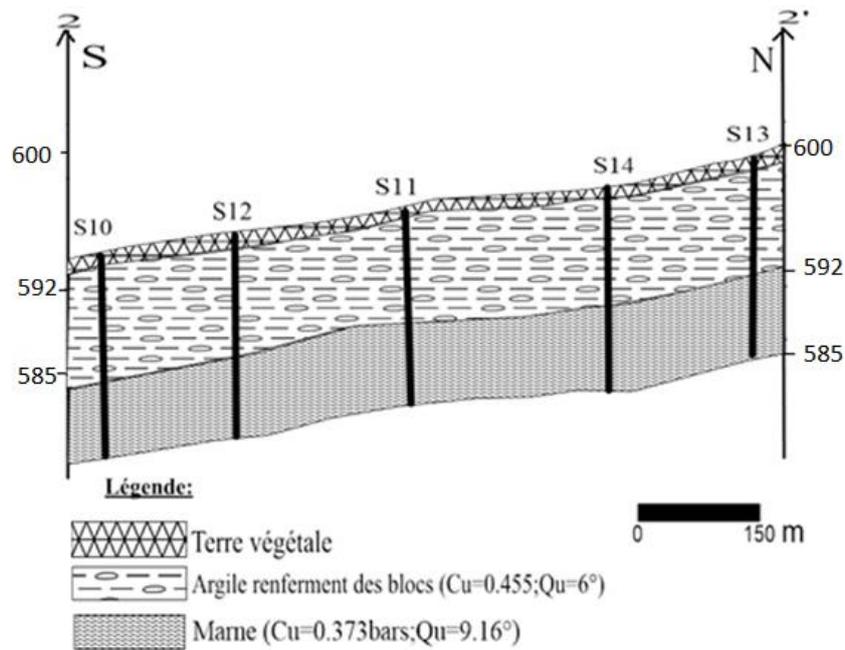
Dans le but de comprendre la variation spatiale de la lithologie du site, des coupes géotechniques ont été réalisés par la corrélation entre les logs des sondages carottés réalisés.

En total trois coupes géotechniques ont été effectuées selon trois profils à savoir :

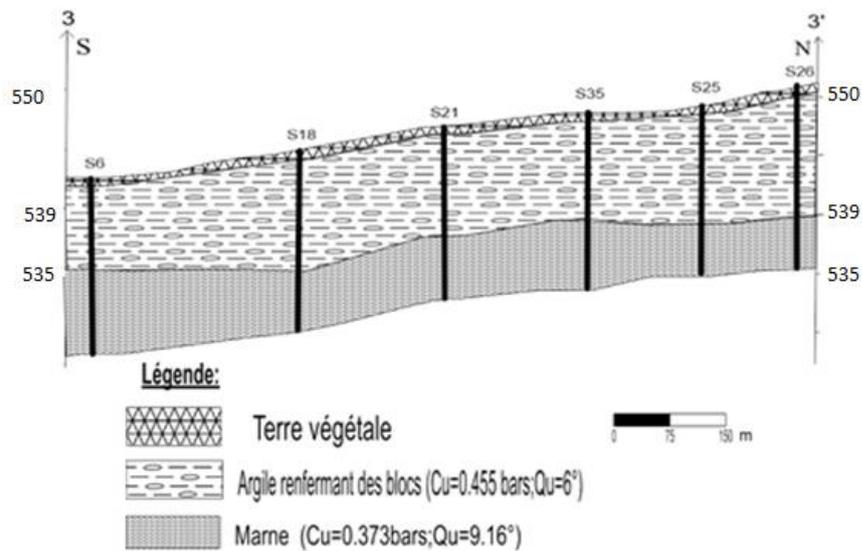
- Profil (1-1') : (N-S) : qui corréle entre les sondages 3, 22, 32, 23, 24 et 33
- Profil (2-2') : (N-S) : qui corréle entre les sondages 10, 12, 11, 14 et 13
- Profil (3-3') : (N-S) : qui corréle entre les sondages 6, 18, 21, 35, 25 et 26



**Figure 19 :** Coupe géotechnique selon profil (1-1')



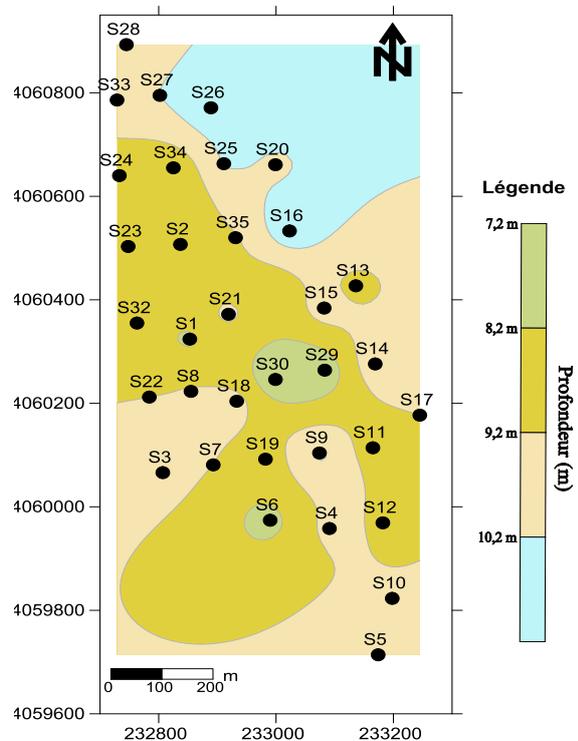
**Figure 20 :** Coupe géotechnique selon profil (2-2')



**Figure 21 :** Coupe géotechnique selon profil (3-3')

Les trois coupes géotechniques réalisés selon les trois profils (1-1'), (2-2'), et (3-3') nous ont permis de constater que le site est occupé par trois couches à savoir : argile, marne et les marnes compactes en profondeur.

La carte de la figure 22 est établie à partir des logs des sondages carottés, dont elle présente la variation spatiale des marnes en fonction de la profondeur.

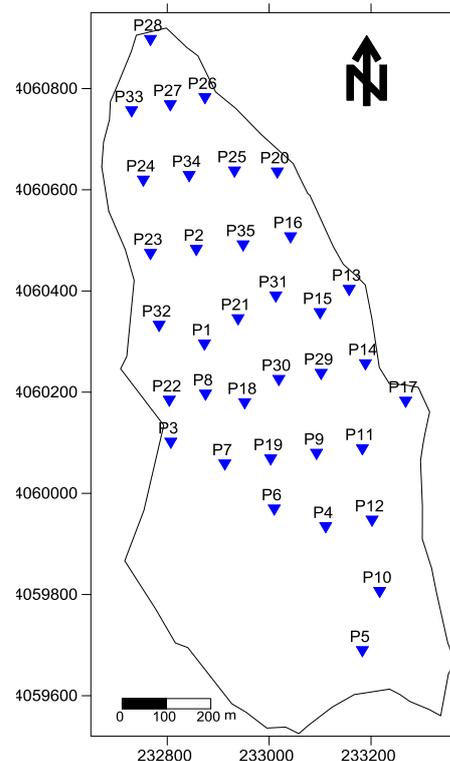


**Figure 22 :** Cartes des profondeurs des marnes

L'examen de la carte de la figure 22, nous a permis de constater que la profondeur des marnes varie entre 8 et 9 m dans la majorité du site et de plus de 10 m dans la partie NE.

**2.1.2. Les essais de pénétromètre dynamique**

Le programme de reconnaissance géotechnique de site consiste en la réalisation de 35 pénétromètres dynamiques près des sondages carottés.



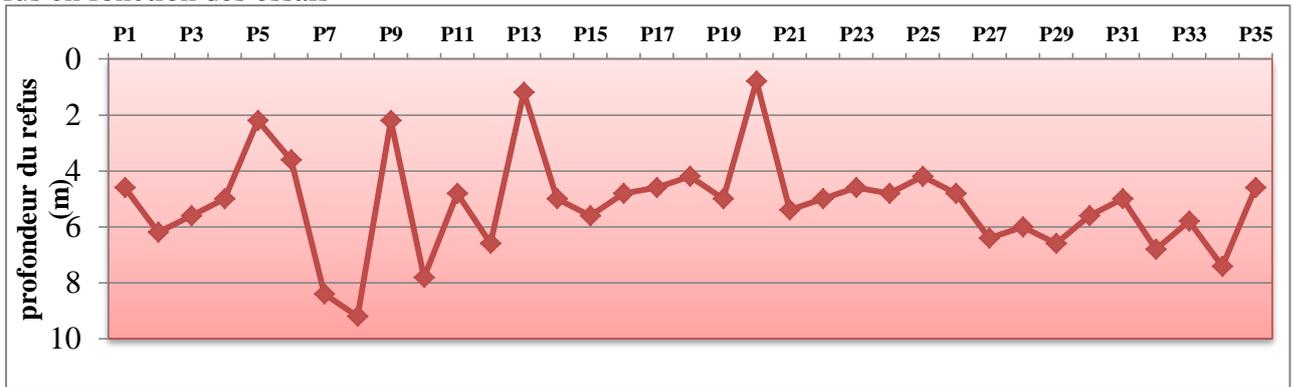
**Figure 23 :** Cartes d'implantation des essais de pénétromètre dynamique

Les résultats de l'essai de pénétromètre dynamique sont regroupés dans le tableau ci-dessous

**Tableau 14 : Résultats de l'essai de pénétromètre dynamique**

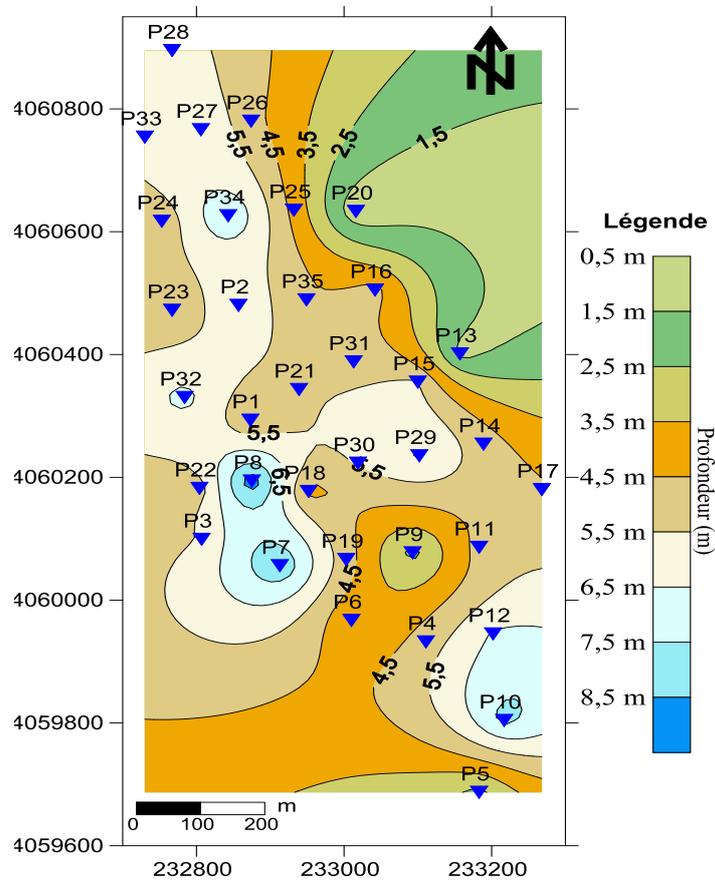
Essai	Valeur Rp min (bars)	Valeur Rp max (bars)	Refus (m)	Appréciation
P1	50	> 500	4.6	Moyenne à forte
P2	50	> 500	6.2	Moyenne à forte
P3	50	> 500	5.6	Moyenne à forte
P4	50	> 500	5.0	Moyenne à forte
P5	>100	> 500	2.2	Moyenne à forte
P6	50	> 500	3.6	Moyenne à forte
P7	50	> 500	8.4	Moyenne à forte
P8	30	> 500	/	Faible
	50		9.2	Moyenne à forte
P9	>100	> 500	2.2	Moyenne à forte
P10	50	> 500	7.8	Moyenne à forte
P11	70	> 500	4.8	Moyenne à forte
P12	50	> 500	6.6	Moyenne à forte
P13	>100	> 500	1.2	Moyenne à forte
P14	>100	> 500	5.0	Moyenne à forte
P15	>100	> 500	5.6	Moyenne à forte
P16	>100	> 500	4.8	Moyenne à forte
P17	>100	> 500	4.6	Moyenne à forte
P18	60	> 500	4.2	Moyenne à forte
P19	30	/	/	Faible
	>100	> 500	5.0	Moyenne à forte
P20	>100	> 500	0.8	Moyenne à forte
P21	55	> 500	5.4	Moyenne à forte
P22	40	/	/	Faible !
	50	> 500	5.0	Moyenne à forte
P23	55	> 500	4.6	Moyenne à forte
P24	>100	> 500	4.8	Moyenne à forte
P25	55	> 500	4.2	Moyenne à forte
P26	50	> 500	4.8	Moyenne à forte
P27	70	> 500	6.4	Moyenne à forte
P28	65	> 500	6.0	Moyenne à forte
P29	60	> 500	6.6	Moyenne à forte
P30	70	> 500	5.6	Moyenne à forte
P31	>100	> 500	5.0	Moyenne à forte
P32	>100	> 500	6.8	Moyenne à forte
P33	50	> 500	5.8	Moyenne à forte
P34	50	> 500	7.4	Moyenne à forte
P35	80	> 500	4.6	Moyenne à forte

Le graphe ci-dessous et la carte de la Figure 25 donnent la variation de la profondeur de refus en fonction des essais



**Figure 24 :** Variation des niveaux de refus en fonction des essais

Les niveaux des refus marqués par les essais de pénétromètre dynamique nous ont permis de faire une carte de variation spatiale des refus (Figure25).



**Figure 25 :** Carte de variation spatiale de refus en fonction de profondeur dans le site

Le tableau ci-après présente une corrélation entre le niveau de refus marqué par le pénétromètre dynamique et la nature de sol correspondant.

**Tableau 15 :** Corrélation entre les niveaux de refus et la lithologie

Sondage	Profondeur	Lithologie	Pénétr.	Refus (m)
1	0.0 / 1.0 m	Terre végétale.	P1	4.6
	1.0 / 8.0 m	Argile renfermant des blocs.		
	8.0 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
2	0.0 / 0.9 m	Terre végétale.	P2	6.2
	0.9 / 8.5 m	Argile renfermant des blocs.		
	8.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
3	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.	P3	5.6
	0.7 / 9.7 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.7 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
4	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	P4	5
	0.8 / 9.5 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
5	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	P5	2.2
	0.8 / 10 m	Argile renfermant des blocs.		
	10 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
6	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.	P6	3.6
	0.6 / 7.8 m	Argile renfermant des blocs.		
	7.8 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
7	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.	P7	8.4
	0.5 / 9.2 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
8	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.	P8	9.2
	0.7 / 9.3 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.3 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
9	0.0 / 0.9 m	Terre végétale.	P9	2.2
	0.9 / 10.5 m	Argile renfermant des blocs.		
	10.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
10	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	P10	7.8
	0.8 / 9.3 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.3 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
11	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.	P11	4.8
	0.7 / 8.6 m	Argile renfermant des blocs.		
	8.6 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
12	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	P12	6.6
	0.8 / 9.0 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.0 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
13	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.	P13	1.2
	0.6 / 8.8 m	Argile renfermant des blocs.		
	8.8 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
14	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.	P14	5
	0.7 / 10 m	Argile renfermant des blocs.		
	10 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
15	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.	P15	5.6
	0.6 / 9.8 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.8 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
16	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	P16	4.8
	0.8 / 11 m	Argile renfermant des blocs.		
	11 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
17	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.	P17	4.6
	0.5 / 9.2 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
18	0.0 / 0.4 m	Terre végétale.	P18	4.2

	0.4 / 9.6 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.6 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
19	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.	P19	5
	0.6 / 8.6 m	Argile renfermant des blocs.		
20	8.6 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P20	0.8
	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.		
	0.8 / 10 m	Argile renfermant des blocs.		
21	10 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P21	5.4
	0.0 / 0.3 m	Terre végétale.		
	0.3 / 9.5 m	Argile renfermant des blocs.		
22	9.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P22	5
	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.		
	0.5 / 9.2 m	Argile renfermant des blocs.		
23	9.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P23	4.6
	0.0 / 0.3 m	Terre végétale.		
	0.3 / 8.4 m	Argile renfermant des blocs.		
24	8.4 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P24	4.8
	0.0 / 0.4 m	Terre végétale.		
	0.4 / 8.5 m	Argile renfermant des blocs.		
25	8.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P25	4.2
	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.		
	0.8 / 10.3 m	Argile renfermant des blocs.		
26	10.3 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P26	4.8
	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.		
	0.7 / 11 m	Argile renfermant des blocs.		
27	11 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P27	6.4
	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.		
	0.6 / 10.2 m	Argile renfermant des blocs.		
28	10.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P28	6
	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.		
	0.7 / 9.2 m	Argile renfermant des blocs.		
29	9.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P29	6.6
	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.		
	0.8 / 7.4 m	Argile renfermant des blocs.		
30	7.4 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P30	5.6
	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.		
	0.6 / 7.3 m	Argile renfermant des blocs.		
31	7.3 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P31	5
	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.		
	0.7 / 8.2 m	Argile renfermant des blocs.		
32	8.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P32	6.8
	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.		
	0.5 / 8.6 m	Argile renfermant des blocs.		
33	8.6 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P33	5.8
	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.		
	0.6 / 10 m	Argile renfermant des blocs.		
34	10 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P34	7.4
	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.		
	0.6 / 8.2 m	Argile renfermant des blocs.		
35	8.2 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	P35	4.6
	0.0 / 0.4 m	Terre végétale.		
	0.4 / 9.1 m	Argile renfermant des blocs.		
36	9.1 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	/	/
	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.		
	0.5 / 8.1 m	Argile renfermant des blocs.		
37	8.1 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.	/	/
	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.		
	0.6 / 8.5 m	Argile renfermant des blocs.		

	8.5 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
38	0.0 / 0.6 m	Terre végétale.	/	/
	0.6 / 9.0 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.0 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
39	0.0 / 0.5 m	Terre végétale.	/	/
	0.5 / 8.7 m	Argile renfermant des blocs.		
	8.7 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
40	0.0 / 0.7 m	Terre végétale.	/	/
	0.7 / 9.8 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.8 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
41	0.0 / 0.8 m	Terre végétale.	/	/
	0.8 / 10 m	Argile renfermant des blocs.		
	10 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		
42	0.0 / 0.9 m	Terre végétale.	/	/
	0.9 / 9.3 m	Argile renfermant des blocs.		
	9.3 / 15 m	Marne devenant compacte en profondeur.		

L'examen de la carte de la figure 25, le tableau 15 et le graphe de la figure 24 nous ont permis de ressortir les remarques suivantes :

1) L'existence de trois niveaux de refus qui sont dus à la forte compacité de marnes révélés en profondeur et à la présence des blocs en surface dans les argiles à savoir :

➤ **Le premier niveau de refus entre 2.2 et 3.6 m** : il est marqué par les essais P5, P6, P9 qui sont réalisés près des sondages carottés S5, S6, S9 respectivement. Ce refus correspond à argile peut contenir des blocs.

➤ **Le deuxième niveau de refus entre 4.2 et 5.8m** : il est marqué par les essais P1, P3, P4, P11, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P30, P31, P33, P35 qui sont réalisés près des sondages carottés S1, S3, S4, S11, S14, S15, S17, S18, S19, S21, S22, S23, S24, S25, S26, S30, S33, S35 respectivement. Ce refus correspond à marne altérée.

➤ **Le troisième niveau de refus entre 6 et 7.8 m** : il est marqué par les essais P2, P10, P12, P27, P28, P29, P32, P34 qui sont réalisés près des sondages carottés S2, S10, S12, S27, S28, S29, S32, S34 respectivement. Ce refus correspond aux marnes compactes.

2) Les valeurs de la résistance minimale sont variables, elles sont variées entre 50 et 100 bars dans les marnes, caractérisant un sol de résistance moyenne à forte, et de l'ordre de 30 à 50 bars dans les argiles, caractérisant un sol de résistance faible.

3) Les valeurs les plus faibles sont détectées dans la couche de couverture qui représente par les argiles.

## 2.2. Les essais de laboratoire

La connaissance des caractéristiques physiques et du comportement mécanique et hydraulique des sols constituant la fondation de l'ouvrage étudié. Cette connaissance est acquise grâce à la réalisation d'essais géotechniques en laboratoire. La réalisation de ces essais requiert la mise en œuvre de procédures normalisées et de matériels spécifiques. Les essais de laboratoire les plus utilisés sont résumés ci-dessous :

- **Les paramètres physiques :** Teneur en eau  $W(\%)$ , les degrés de saturations  $S_r(\%)$ , La densité sèche  $\gamma_d(\text{KN/m}^3)$ , densité apparente humide  $\gamma_h(\text{KN/m}^3)$ , limites de liquidité ( $W_L$ ) et limite de plasticité ( $W_p$ ).
- **Les paramètres mécaniques :** Cisaillement à la boîte (Angle de frottement interne  $\phi$  ( $^\circ$ ) et le Cohésion non drainée  $C_u$  (Bars)) ; Compressibilité à l'oedomètre (Contrainte de consolidation ( $P_c$ ) et Coefficient de compression ( $C_c$ ) et Coefficient de gonflement ( $C_g$ ) ; Essai de gonflement libre (Pression de gonflement ( $P_g$ )) ; Résistance à la compression simple  $R_c$ .
- **Les Essais chimiques :** % de carbonates  $\text{CaCO}_3$ , % de gypses  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , et le taux de Sulfates  $\text{SO}_4$  103 mg/kg.

### 2.2.1. Paramètres physiques

Les paramètres physiques des sols du site étudié obtenus par les essais de laboratoire sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 16 :** Les paramètres physiques

Formation	Son.	Prof (m)	W (%)	$\gamma_h$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	Sr (%)	0.08 $\mu$	WL(%)	Ip(%)	Ic(%)
Argile	S6	5.5/6.0	25	17.5	16	91	84	55	31	0,97
	S8	5.0/5.5	23	17	15.5	92	85	54	32	0,97
	S28	3.5/4.0	26	17	16	93	82	52	31	0,84
	S30	3.5/4.0	28	17.5	16.5	90	88	52	29	0,83
Marne	S1	3.5/4.0	16	17.5	16	83	91	41	19	1,32
	S9	4.0/4.5	19	19	16	84	91	43	22	1,09
	S15	5.0/5.5	22	19	16.5	77	95	44	23	0,96
	S17	3.5/4.0	20	18.5	16	75	93	40	19	1,05
	S28	3.0/3.5	21	18	15	78	92	42	21	1,00
	S32	4.0/4.5	15	17	15.5	80	93	43	23	1,22
Marne compacte	S11	5.5/6.0	6	22	21	/	/	/	/	/
	S12	6.0/6.5	5	23	21	/	/	/	/	/
	S14	5.0/5.5	8	22	20	/	/	/	/	/

D'après les résultats des essais effectués sur les différents échantillons, on constate que :

- 1) Les argiles sont humides ( $23 < W < 28\%$ ), peu lâches ( $\gamma_h = 17.5 \text{KN/m}^3$ ) et ( $15.5 < \gamma_d < 16.5 \text{KN/m}^3$ ). Ces Argiles présentent une potentialité de gonflement moyenne

( $52 < WL < 55\%$ ), elles sont de nature plastique ( $29 < IP < 32\%$ ) et de sol très ferme, le tassement est modéré ( $0.83 < IC < 0.97\%$ )

2) Les marnes sont légèrement humides ( $15 < W < 22\%$ ), Semi dense ( $17 < \gamma_h < 19 \text{KN/m}^3$ ) et ( $15 < \gamma_d < 16.5 \text{KN/m}^3$ ), de potentialité de gonflement moyenne

( $40 < WL < 44\%$ ), elles sont de nature plastique ( $19 < IP < 23\%$ ), Sol dur, le tassement est petit ( $0.96 < IC < 1.32\%$ ).

3) Les marnes compactes sont légèrement humide ( $5 < W < 8\%$ ), denses  $22 < \gamma_h < 23 \text{KN/m}^3$ ) et ( $20 < \gamma_d < 21 \text{KN/m}^3$ ).

Les tableaux de classifications de sol sont jointés dans l'annexe A.

Les paramètres d'identification physique pour chaque formation sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 17 : Résumé des paramètres d'identification physique**

Lithologie	Paramètres d'identification physique						
	W(%)	Sr (%)	$\gamma_h$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	W <sub>L</sub> (%)	Ip(%)	Ic(%)
Argile	25.5	91.5	17.5	16	53.25	30.75	0.9
Marne	18.33	79.5	18.1	16	42.16	21.16	1.10
Marne compacte	6.33	/	22	21	/	/	/

### 2.2.2. Paramètres mécaniques

Deux essais sont effectués :

- Essai de cisaillement (selon la norme NF P94-071-1) : pour détermine la cohésion et de l'angle de frottement des sols
- Essai œdométrique (Selon XP P94-090-1) pour détermine la contrainte de consolidation (Pc), le Coefficient de compression (Cc) et le Coefficient de gonflement (Cg).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 18 (les graphes de l'essai œdométriques sont jointés dans l'annexe B).

**Tableau 18 : Les paramètres mécaniques**

Sondage	Prof. (m)	Lithologie	Paramètres mécaniques					
			Pc (bars)	Cc (%)	Cg (%)	Pg (bars)	$\phi$ (°)	Cu (KPa)
S8	5.0/5.5	Argile	1.44	24.12	5	0.9	7	0.04
S28	3.5/4.0		1.32	28.65	6.18	/	5	0.05
S30	3.5/4.0		1.41	21.36	5	/	6	0.045
S6	5.5/6.0	Marne	1.72	26.39	6	/	6	0.47
S1	3.5/4.0		1.86	21.86	1.92	/	9.5	0.34
S9	4.0/4.5		1.62	20.86	2.61	/	8.5	0.44
S15	5.0/5.5		1.94	19.85	2.15	/	9	0.39
S17	3.5/4.0		1.7	18.60	2.08	/	9	0.36
S28	3.0/3.5		1.77	19.85	2.54	/	9	0.41
S32	4.0/4.5		1.62	21.86	2.92	/	10	0.3

L'analyse des résultats des essais mécaniques effectués sur les différents échantillons, montre que :

- 1) **Pour les argiles :** Les valeurs de la pression de consolidation (**Pc**) sont comprises entre 1.3 et 1.4 bars, ce qui montre que cette couche est normalement consolidée. Les valeurs du coefficient de compressibilité (**Cc**) ayant des valeurs comprises entre 21 et 28%, il s'agit un sol fortement compressible, les indices de gonflement (**Cg**) ont donnée des valeurs supérieures au seuil de 4%, il s'agit donc des sols gonflant.
- 2) **Pour les marnes :** Leurs valeurs des trois paramètres obtenus sont comme suivies : Pc = 1.6 à 1.9 bars ; Cc= 18 à 21% ; Cg <4%. Ces paramètres indiquent bien est un sol sur consolidé, moyennement compressible et non gonflant.

**Tableau 19 :** Les caractéristiques mécaniques de chaque couche

Lithologie	Paramètre mécanique					
	Pc (bars)	Cc (%)	Cg (%)	Pg (bars)	$\phi$ (°)	Cu (Kpa)
Argile	1.39	24.71	5.39	0.9	6	5
Marne	1.74	21.32	2.88	/	8.71	38

➤ **Résistance à la compression simple (marne compacte)**

Pour la marne compacte, le laboratoire GEO-LAB -TOUABET a réalisé un seul essai de compression simple sur un échantillon prélevé de marne compacte et taillé de telle sorte qu'il prend une forme géométrique bien déterminée (élancement).

Cet essai consiste de mettre l'échantillon dans une presse, puis la chargée progressivement jusqu'à la rupture par compression simple à charges ou à déplacements contrôlés. La contrainte axiale de rupture, notée Rc, est appelée résistance à la compression simple, Qu étant nul et la cohésion non drainée est calculée selon la formule suivante :

$$R_C = 2 C_u$$

Les résultats obtenus de Rc sont donnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 20 :** Les résultats des Rc et Cu des marnes compactes

N° sondage	S11	S12	S14
Profondeur (m)	5.5/6.0	6.0/6.5	5.0/5.5
Rc (bars)	120	160	110
Cu (bars)	60	80	55

### 2.2.3. Essais chimiques

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau ci-dessous

**Tableau 21 : Les résultats des essais chimiques**

Echantillons	Formation	% de carbonates CaCO <sub>3</sub>	% de gypses CaCO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Sulfates
S6 (5.5/6.0 m)	Argile	9.2	Néants	Néants
S28 (3.5/4.0 m)		10.7	Néants	Néants
S09 (4.0/4.5 m)	Marne	8.7	Néants	Néants
S17 (3.5/4.0 m)		5	Néants	Néants

Les résultats des analyses chimiques montrent que les teneurs en CaCO<sub>3</sub> sont comprises entre 5 à 9 % dans les Marnes, et celles supérieures à 9 % sont trouvées dans les Argiles. Aucune présence du sulfate ou du gypse n'a été révélée sur la totalité des échantillons qui a été analysés. Donc le sol ne présente aucun risque d'agressivité.

### 2.2.4. Essais de gonflement libre

La lithologie du terrain qui est constituée essentiellement par une couche de couverture représentée par les argiles, cette couche de base est caractérisée par une sensibilité au gonflement, avec une pression  $P_g$  de l'ordre de 0.9 bars.

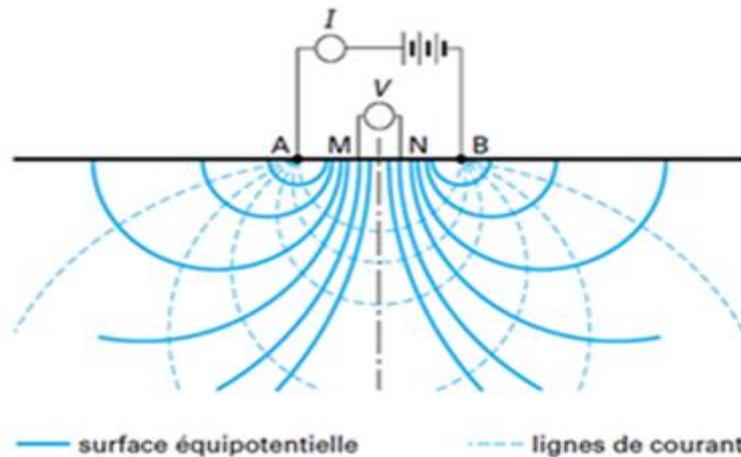
## 3. Reconnaissance géophysique du site de Boushoul - Boussif Ouled Askeur

L'objectif de l'étude géophysique est de déterminer l'architecture du sous-sol caché en mesurant certaines propriétés physiques à partir de la surface. Cette information est de prime importance pour les études géotechniques dont elle vient de confirmer les résultats obtenus par l'étude géotechnique. Il existe plusieurs méthodes de prospection géophysique et celle la plus utilisée dans le domaine géotechnique est la prospection par la méthode électrique.

### 3.1. Principe de la prospection électrique

La prospection électrique est l'une des plus anciennes méthodes de prospection géophysique. Sa mise en œuvre est relativement simple. Appliquée dans l'exploration du sous-sol, par sondage vertical ou par profilage.

Le principe de cette méthode est d'injecter un courant continu au moyen de deux électrodes dites d'injection et on mesure la différence de potentiel en résultant avec deux électrodes dites de mesure. Celle-ci dépend de la résistance électrique du sous-sol (figure 26).



**Figure 26 :** Schéma de la configuration d'un dispositif électrique. A et B sont les électrodes d'injection (de courant) et M et N les électrodes de mesure (de potentiel)

La prospection électrique fournit des renseignements sur la constitution du sous-sol en grande profondeur. Elle consiste en la mesure de la résistivité apparente  $\rho_a$  (exprimée en  $\Omega m$ ). Cette caractéristique dépend de la granulométrie, de la teneur en eau, de la minéralisation de l'eau et du contenu en argile. La profondeur d'investigation s'étale de quelques centimètres à quelques centaines de mètres de profondeur

On note que la source d'énergie est assurée par un jeu de batteries permettant l'émission d'un courant continu à travers les électrodes A et B. La mesure de la résistance R ( $\Omega$ ) du sous-sol traversé par des filets de courant, est alors réalisée entre les électrodes M et N. Celle-ci, par la suite, convertie en valeur de résistivité apparente par la relation :

$$\rho_a = k \frac{V}{I} ; \quad K = 2\pi (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN)$$

Avec : K : le coefficient qui dépend de l'espacement entre A B et M N.

V: différence de potentiel électrique (en m. volts).

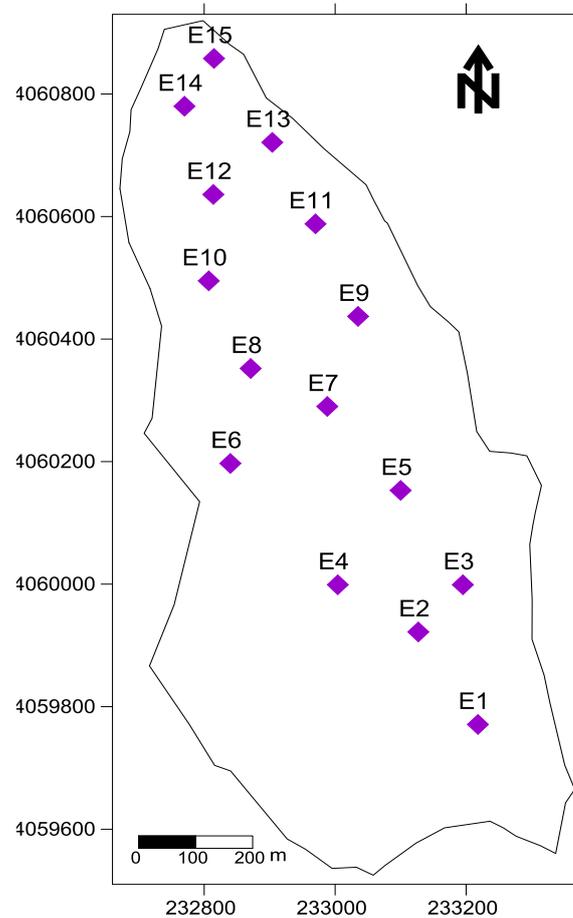
I : intensité du courant (m. Ampère).

### 3.2. Reconnaissance géophysique du site d'étude

La campagne de reconnaissance Géophysique du site de Boushoul- Boussif d'Ouled Askeur est effectuée par le laboratoire GEO-LAB -TOUABET.

Le programme de reconnaissance consiste en la réalisation quinze (15) sondages électriques jusqu'à une profondeur de 15 m (figure 27).

Ces sondages ont permis de reconnaître les différentes natures de terrains en fonction de la valeur de la résistivité exprimée en ohm.



**Figure 27 :** Carte d'implantation des sondages électriques

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant.

**Tableau 22 :** Les résultats de l'étude géophysique

Sondage électrique verticale	Profondeur (m)	Résistivité ( $\Omega$ m)	couche
E1	0.0/5.4	6.1	Argile
	5.4/9.4	19.2	Marne
	9.4/15	103	Marne compacte
E2	0.0/2.8	6.4	Argile
	2.8/5.0	21	Marne
	5.0/15	111.2	Marne compacte
E3	0.0/2.0	8.5	Argile
	2.0/6.6	28.4	Marne
	6.6/15	119.3	Marne compacte
E4	0.0/7.5	9.7	Argile
	7.5/10.2	20.8	Marne
	10.2/15	109.2	Marne compacte
E5	0.0/3.5	8.8	Argile
	3.5/6.8	26.3	Marne
	6.8/15	129.4	Marne compacte
E6	0.0/5.5	5.5	Argile
	5.5/9.2	25.4	Marne
	9.2/15	118	Marne compacte
E7	0.0/4.2	4.2	Argile
	4.2/5.6	18.4	Marne
	5.6/15	117	Marne compacte
E8	0.0/3.2	7.9	Argile
	3.2/4.6	17.5	Marne
	4.6/15	106.5	Marne compacte

E9	0.0/4.0	6.1	Argile
	4.0/5.0	17	Marne
	5.0/15	112.5	Marne compacte
E10	0.0/4.0	5.1	Argile
	4.0/6.2	16.3	Marne
	6.2/15	127	Marne compacte
E11	0.0/4.8	5.1	Argile
	4.8/7.8	19.3	Marne
	7.8/15	104.5	Marne compacte
E12	0.0/5.6	9.8	Argile
	5.6/7.4	14.5	Marne
	7.4/15	115.9	Marne compacte
E13	0.0/3.2	8.4	Argile
	3.2/4.8	28	Marne
	4.8/15	125.5	Marne compacte
E14	0.0/3.6	5.0	Argile
	3.6/6.4	28.4	Marne
	6.4/15	126	Marne compacte
E15	0.0/4.0	7.6	Argile
	4.0/6.0	23.8	Marne
	6.0/15	114.5	Marne compacte

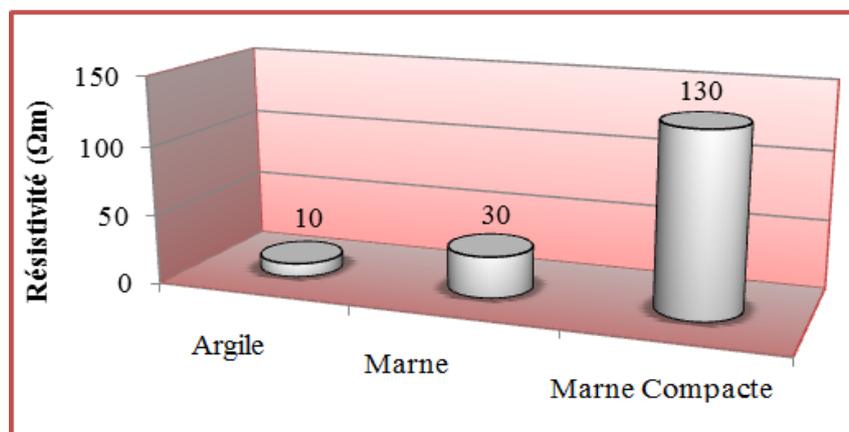


Figure 28 : La variation de la résistivité en fonction de la couche

Des coupes géoélectriques (profils géophysiques) ont été réalisées par la corrélation entre les sondages électriques verticaux et les logs des sondages carottés, pour voir la variation latérale des différentes couches

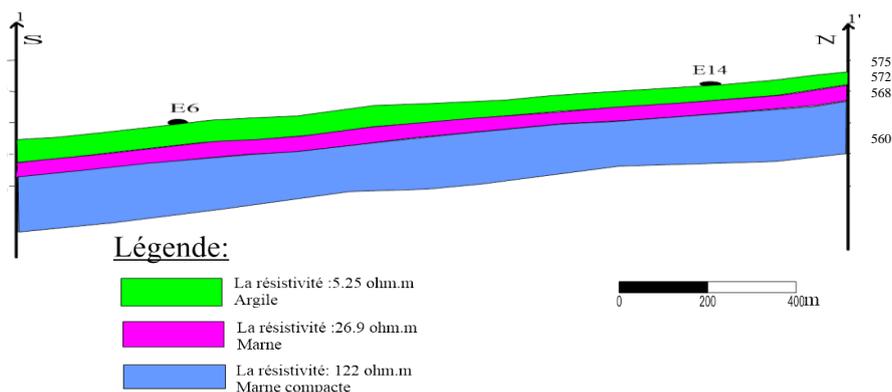
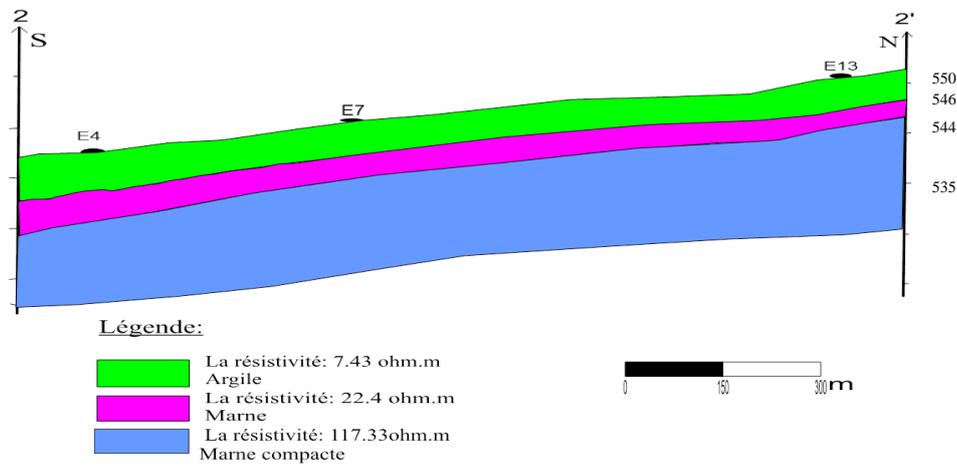


Figure 29 : Coupe géophysique selon le profil 1-1' (Corrélation E6 et E14)



**Figure 30 :** Coupe géophysique selon le profil 2-2' (Corrélation E4, E7 et E13)

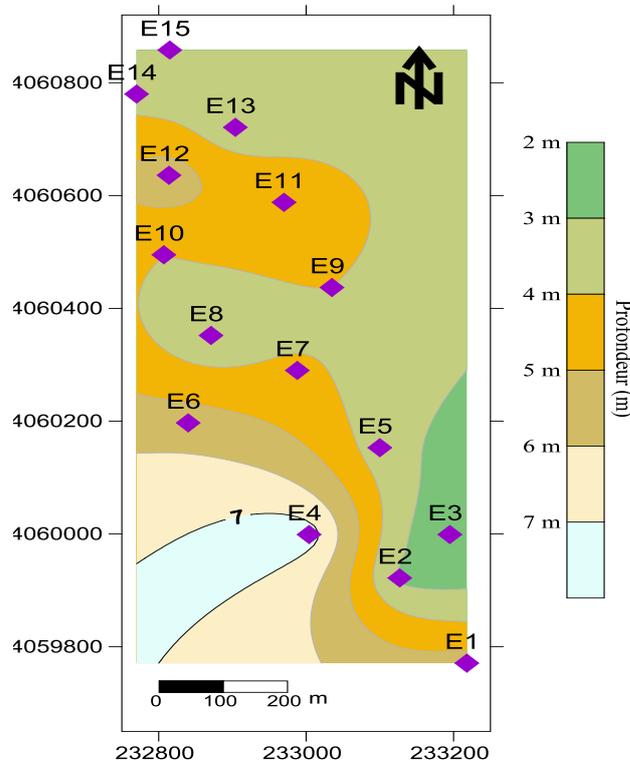
L'examen du tableau 22, graphe (figure 28) et les coupes géoélectriques réalisées (figure 29,30), nous ont permis de constater la présence de trois gammes de résistivité, ce qui résulte de l'existence de trois couches différentes dans le site, à savoir :

- La première gamme de résistivité est faible, elle est de l'ordre de 6.1 à 10  $\Omega\text{m}$ , sur une épaisseur de 0 à 7.5 mètre, correspondant à des argiles.
- La deuxième gamme de résistivité est faible à moyenne, elle est de l'ordre de 10 à 30  $\Omega\text{m}$ , sur une épaisseur de 5.4 à 10.2 mètre, correspondant aux marnes.
- La troisième gamme, atteint des résistivités oscillent entre 100 à 130  $\Omega\text{m}$ , sur une épaisseur de 9.4 à 15 mètre représentant également les marnes compactes.
- Des coupes géo-électriques (profil géophysique) ont été réalisées par la corrélation entre les sondages électriques verticaux, qui nous ont permis de voir la variation latérale des différentes couches.

Les conclusions obtenues ci-dessus ont montré que l'étude géotechnique et l'étude géophysiques de site de Boushoul – Boussif Ouled Askeur sont abouties aux mêmes résultats.

Pour voir la variation spatiale des marnes et des marnes compactes en fonction de profondeur, des cartes ont été établies (figure 31 et 32) à partir des données géophysiques (tableau 22)

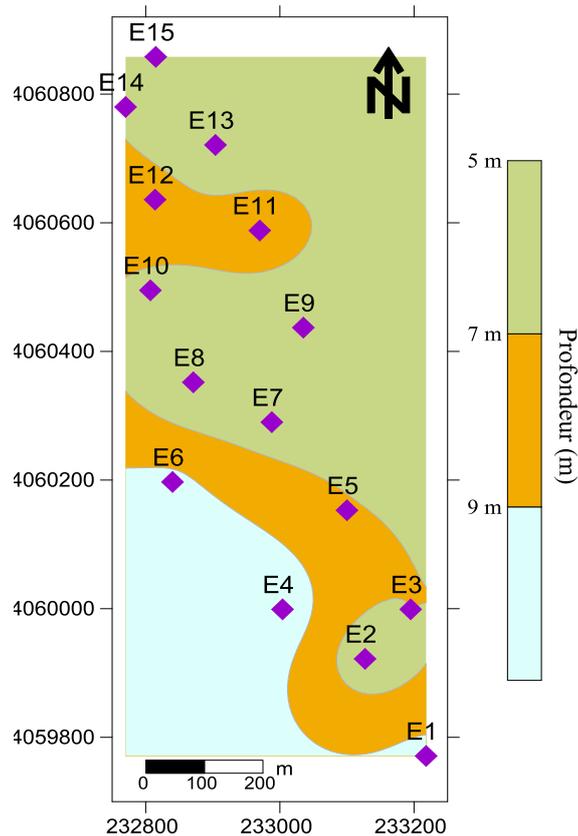
La carte de la figure 31 donne la variation spatiale des profondeurs, des marnes obtenues, par l'étude géophysique. Elle montre que les marnes commencent à apparaître dans les profondeurs de 3 à 5 m presque dans la majorité du site et de 6 à 7 m dans la partie SW.



**Figure 31 :** carte de la variation spatiale des profondeurs des marnes

La carte de la figure 32 donne la variation spatiale des profondeurs, de marnes compactes, obtenues par l'étude géophysique

La carte de la figure 32 montre que les marnes compactes commencent à apparaître dans les profondeurs de 5 à 7 m presque dans la majorité du site et de 9 m dans la partie SW.



**Figure 32 :** carte de la variation spatiale des profondeurs des marnes compactes

#### 4. Conclusion

Le site de Boushoul –Boussif Ouled Askeur est occupé par trois couches différentes, comme l'étude géotechnique et géophysique ont révélé, à savoir :

- **Première couche :** les argiles qui correspondent à des résistivités faibles (de 6.1 à 10  $\Omega\text{m}$ ), sur une épaisseur de 0 à 7.5 mètre,
- **Deuxième couche :** les marnes altérées, elles sont sous les argiles et correspondent à des résistivités faibles à moyennes (de 10 à 30  $\Omega\text{m}$ ), sur une épaisseur de 5.4 à 10.2 mètre
- **Troisième couche :** est représentée par les marnes compactes qui se trouvent sous les marnes altérées, dont leurs résistivités oscillent entre 100 à 130  $\Omega\text{m}$ , sur une épaisseur de 9.4 à 15 mètre

En effet, les argiles présentent des caractéristiques géotechniques médiocres à faible, par contre les marnes leurs caractéristiques géotechniques sont bonnes.

# *Chapitre IV Analyse et étude de stabilité*

## 1. Introduction

Les problèmes d'instabilités des terrains se rencontrent fréquemment au cours des différentes activités d'aménagement des sites et du génie civil. Toutefois, en fonction de leurs natures, de leurs inclinaisons, et des agents climatiques, certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables

## 2. Généralités sur les mouvements de terrain

Les mouvements de terrain ce sont des phénomènes naturels, qui évoluent dans le temps et résultent de la déformation, de la rupture et du déplacement simultané des matériaux. Ils sont des déplacements gravitaires de masses de terrain sous l'effet de sollicitations naturelles (pluviométrie, infiltrations) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation de matériaux etc.). Selon la vitesse de déplacement, deux ensembles de mouvements de terrain peuvent être distingués : les mouvements lents continus tels que : les affaissements, les tassements, le fluage, les glissements, et les mouvements rapides tels que : les effondrements, les éboulements ou écroulements, les coulées boueuses, les laves torrentielles.

Les mouvements qui affectent les versants sont extrêmes variés par leur dimension, leur morphologie, leur évolution cinématique et la nature des matériaux les constituants. Ils sont classés également selon plusieurs. Selon l'agent de déplacement, la nature du matériau et la surface de rupture : les éboulements ; les glissements de terrain ; les coulées ; le fluage et les solifluxions, le fauchage, renversement, reptation.

Un glissement de terrain est défini comme le déplacement d'une masse de terrain bien délimitée, meubles ou rocheux au long d'une surface de rupture par cisaillement qui correspond souvent à une discontinuité préexistante. En fonction de la géométrie de la surface de rupture on distingue : les glissements plans, les glissements rotationnels et les glissements quelconques, composites ou complexes

## 3. Calcul de stabilité des pentes

L'ensemble des données géologiques, morphologiques et géotechniques recueillies fait l'objet, en général, d'une représentation sur un fond de plan et sur une ou plusieurs coupes longitudinales. Un modèle géotechnique est construit pour les calculs de stabilité, dans lequel la surface topographique, les différentes couches de sol et les hypothèses hydrauliques sont définies

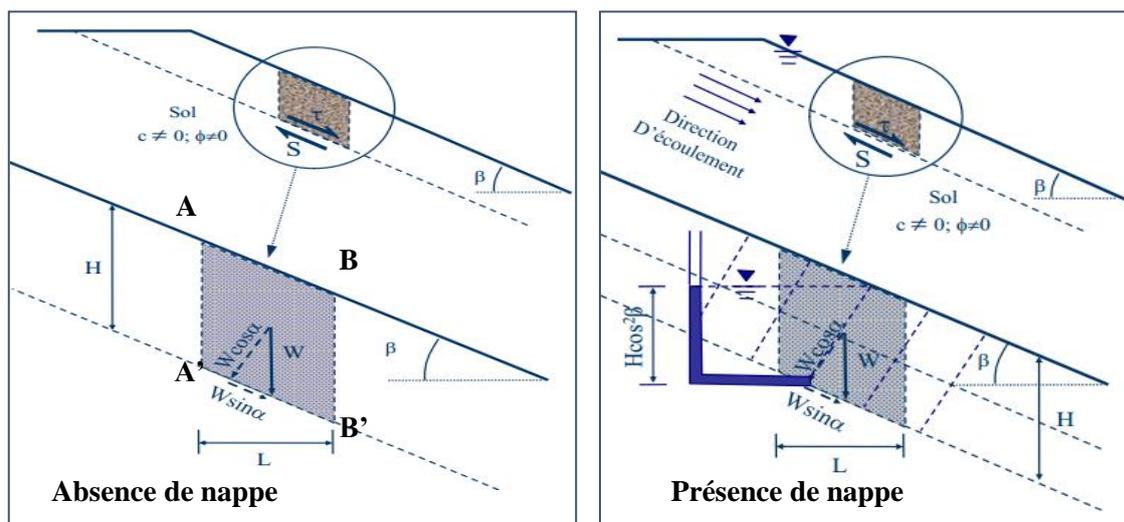
Le principe de calcul de stabilité des talus consiste à déterminer le facteur de sécurité FS par lequel il faut diviser la résistance de la surface de glissement pour que la masse

potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre. Ce facteur peut être écrit de la façon suivante :  $F_s = \text{force motrices} / \text{forces résistantes}$

Il existe plusieurs dizaines de méthodes de calcul de stabilité ayant toutes des avantages et des inconvénients. Aucune n'est parfaite, car aucune ne tient compte de la déformabilité du sol mais la confiance que l'on peut leur accorder sera essentiellement fonction de l'expérience que l'on peut en avoir.

### 3.1. Cas d'un glissement plan

Pendant longtemps on a préféré croire (par simplicité des calculs) que les surfaces de glissement étaient planes. Or la simple observation sur le terrain prouve que les surfaces sont courbes. Cependant dans des cas particuliers, on peut admettre des rayons de courbure infinis, ce qui nous amène à des glissements plans. Si on considère une pente infinie, la pente est supposée s'étendre infiniment dans toutes les directions et le glissement est supposé se produire le long d'un plan parallèle à la face de la pente. Car la pente est infinie, les contraintes sont les mêmes sur tous les deux plans qui sont perpendiculaires à la pente, comme les plans A-A' et B-B' dans la figure 33 (Karray Mourad, 2014).



**Figure 33** : calcul de stabilité pour le cas d'un glissement plan (Karray Mourad, 2014)

Le facteur de sécurité est calculé comme suit :

➤ **En absence de nappe :**

$$F.S = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \beta \tan \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Si  $c = 0$ , FS devient indépendant de la hauteur du talus et égal à  $\tan \phi / \tan \beta$ . Ceci indique que dans les sols granulaires la pente est stable si  $\beta < \phi$ . L'angle  $\phi$  est appelé Angle de repos.

➤ **En présence de nappe :**

$$F.S = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \beta \tan \beta} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \beta}$$

Si  $C = 0$ ,  $F_s$  devient indépendant de la hauteur du talus et égal à  $(\gamma' \tan\phi) / (\gamma_{\text{sat}} \tan\beta)$ . Dans les sols granulaires la pente est moins stable en présence de l'eau.

### 3.2. Cas d'un glissement circulaire ou complexe : rupture circulaire ou quelconque

Les méthodes qui supposent une surface de rupture circulaire envisagent l'équilibre des moments sur le centre du cercle pour l'ensemble de la masse libre composé de toutes les tranches. Les méthodes les plus employées, pour la résolution du calcul de la stabilité des pentes, dans des sols homogènes ou hétérogènes, sont des variantes de la méthode des tranches. Celle-ci permet de s'adapter à des conditions de géométrie complexes, tant en ce qui concerne les frontières, que le sol et les conditions hydrauliques (Ouazid Ilyes, 2014). Il existe environ une douzaine de variantes de cette méthode qui diffèrent entre elles par :

- La manière d'utiliser les équations statiques pour définir le coefficient de sécurité,
- Les hypothèses utilisées pour rendre le problème statiquement déterminé.

Parmi les méthodes les plus couramment utilisées nous pouvons citer ici, sans tenter d'en faire une description exhaustive (Ouazid Ilyes, 2014) :

- Méthode ordinaire (ou conventionnelle) de (Fellenius, 1936) : Qui est la plus utilisée dans la catégorie des méthodes des tranches.
- Méthode simplifiée de (Bishop, 1955) : Qui néglige les forces tangentielles entre tranches.
- Méthode complète de (Janbu, 1968) : Qui suppose que le point d'application de chaque force intertranche peut être défini par sa position sur une ligne de poussée.

### 3.3. Les logiciels utilisés pour l'analyse de la stabilité

L'analyse de la stabilité des talus aujourd'hui peut être effectuée en utilisant divers logiciels de géotechnique sur ordinateur. Les logiciels informatiques utilisant les formulations d'équilibre limite ont été utilisés pendant de nombreuses années. De même, les logiciels qui utilisent la méthode des éléments finis sont basés sur les lois constitutives des sols et des modèles appropriés, a attiré de plus en plus intérêt à la fois des chercheurs et des professionnels.

Parmi les logiciels les plus utilisés aujourd'hui le SLOPE/W. Ce logiciel est développé par GEO-SLOPE International Canada, est utilisé pour l'analyse de la stabilité des talus. Il est basé sur les théories et les principes des méthodes d'équilibre, et il peut même utiliser la méthode des éléments finis mais à l'aide de la modélisation obtenu de logiciel SIGMA/W. Le logiciel calcule le coefficient de sécurité pour différentes surfaces de cisaillement, par exemple circulaire, ou non circulaire. Cependant, seules les surfaces de cisaillement circulaire sont automatiquement recherchées. Plusieurs méthodes de calcul sont disponibles dans

SLOPE/W, il permet de calculer le coefficient de sécurité en utilisant la méthode Ordinaire, Bishop, Janbu généralisée, Spencer, Morgenstern -Price, Sarma, et d'autres.

#### 4. Les instabilités de Boushoul : Description et causes probables

Une description complète d'un mouvement de terrain se révèle extrêmement utile car elle permet de mieux apprécier les causes du phénomène et, par conséquent, d'entreprendre des travaux confortatifs avec le maximum de chances de succès. Il était donc indispensable de définir et de préciser les termes descriptifs d'un mouvement de terrain et d'élaborer une classification simple capable de servir couramment.

Plusieurs instabilités sont observées au niveau de la région de Boushoul, qui sont marquées par des désordres comme indiquent les photos :

- Les talus prennent la forme en escalier suite à l'apparition des niches d'arrachements (photos A, B, D, E, F)
- Des fissures nettes apparues en surface (photo C et H).
- Présence de bourrelets (photo H)
- Présence des arbres inclinés (photo C).
- Présence des lacs (photo G)
- Trace des coulées boueuses (photo E)



Photo A



Photo B



Photo C



Photo D



Photo E



Photo F



Photo G



Photo H

Figure 34 : Les différents désordres observés au niveau du site

L'étude géologique, hydrologique, morphologique et géotechnique de site, avec les observations des différents désordres nous ont permis de déterminer les causes probables de ces instabilités :

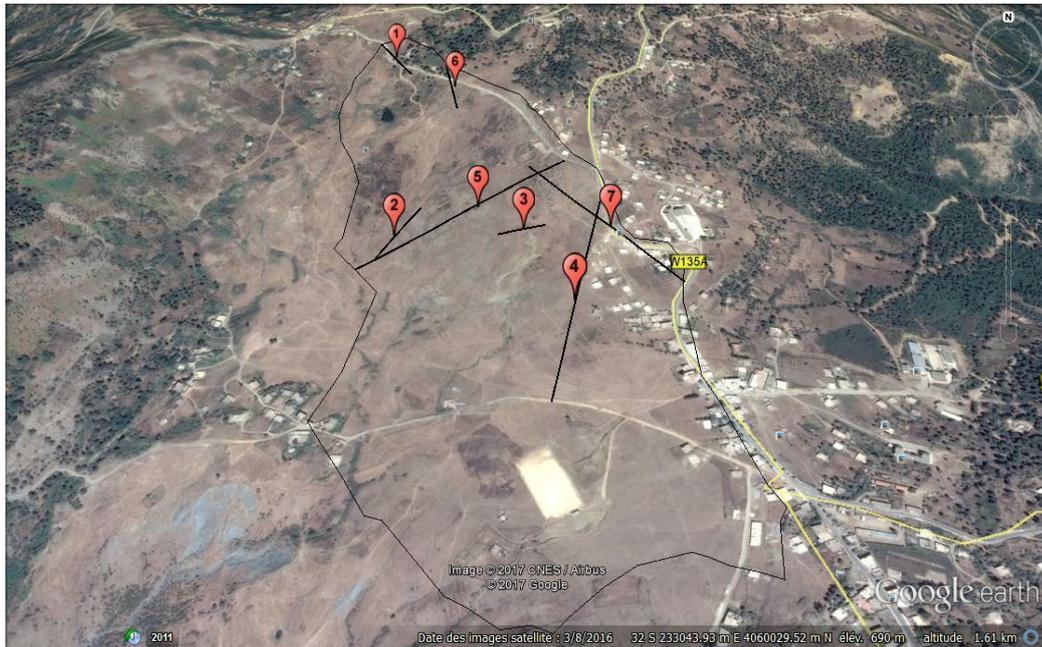
- Une pente importantes variables moyenne à forte et irrégulière
- Le terrain est constitué un sol fin : argiles et marne en profondeur
- La lithologie du terrain est hétérogène, puisqu'elle est constituée par une superposition de deux formations différentes, constituée par une couche d'argiles renfermant des blocs ayant une épaisseur varient entre 0.5 à 7 m environ, reposant sur un substratum de marne altéré au contact avec les marnes compactes en profondeur, l'ensemble recouverte par terre végétale.
- Les caractéristiques géotechniques de la couche de surface de nature argileuse (physique et mécanique) déterminées caractérisant des sols fins, semi dense, sensible à la présence d'eau.
- La région est caractérisée par une pluviométrie importante avec une précipitation annuelle forte (1007.61 mm), ce qui résulte des écoulements et des ruissèlements importants en surface.
- Les apports solides
- Le sol est toujours humide pendant presque toute l'année

### **5. Etude de stabilité**

En vue des désordres observés au niveau des instabilités, on a supposé que ces instabilités en raison à des ruptures circulaires produits par les glissements rotationnels

L'étude de stabilité des différentes talus instables est faite selon la méthode d'équilibre limite qui peut définir la surface de rupture. Pour pouvoir la possibilité d'analyser un grand nombre de surface de rupture, l'analyse se fait par l'outil informatique à l'aide du logiciel Geostudio.

Dans le but de vérifier l'état des instabilités si actif ou non d'une part et d'autre part pour trouver les causes responsables de ces instabilités, plusieurs profils sont choisis dans le site. Ces derniers sont correspond à des instabilités importantes plus ou moins actives. Alors sept profils ont été sélectionnés dans région d'étude qui présente des instabilités actives, à savoir : (1-1'), (2-2'), (3-3'), (4-4'), (5-5'), (6-6'), (7-7').



**Figure 35 :** les profils choisis pour les calculs de stabilité

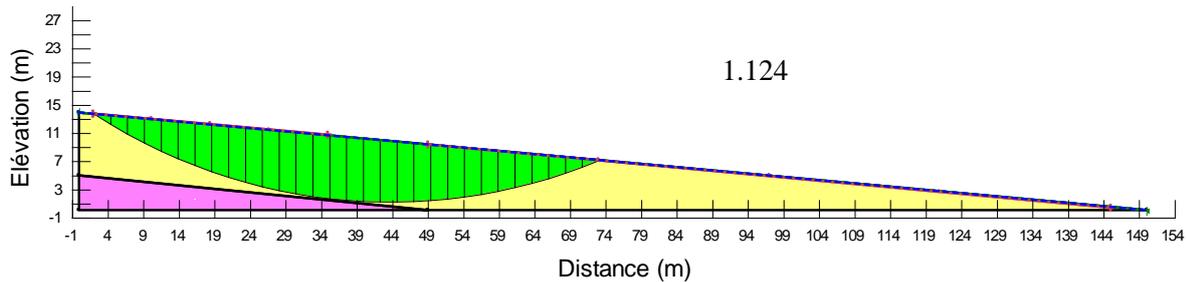
(Image d’extraît à partir de Google Earth, 2017)

Les calculs sont faits en supposant que la couches des argiles renfermant des blocs est un aquifère, qui devient comme une nappe superficielle libre au moment des fortes pluviométries. Les caractéristiques des sols sont représentées dans le tableau ci-dessous :

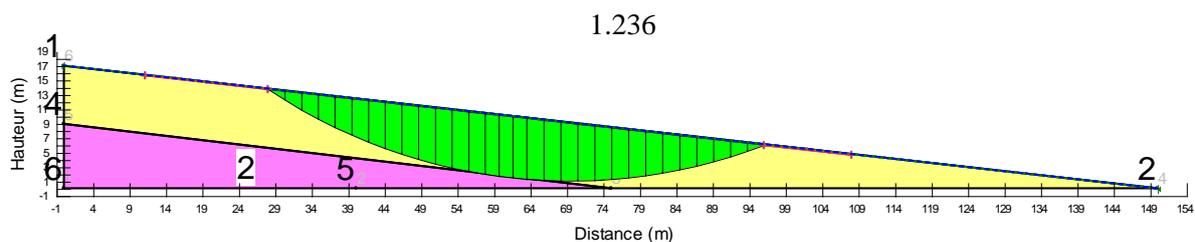
**Tableau 23 :** Les caractéristiques des formations

Lithologie	Eau	$\gamma_h$ (KN/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (Kpa).	$\phi$ (°).
Argile renfermant des blocs	++	17.5	5	6
Marne	-	18	37.3	9.16
Marne compacte (bedrock)	-	/	/	/

La figure ci- après contient les résultats de calcul de chaque profil



**Profil 1-1'**



**Profil 2-2'**

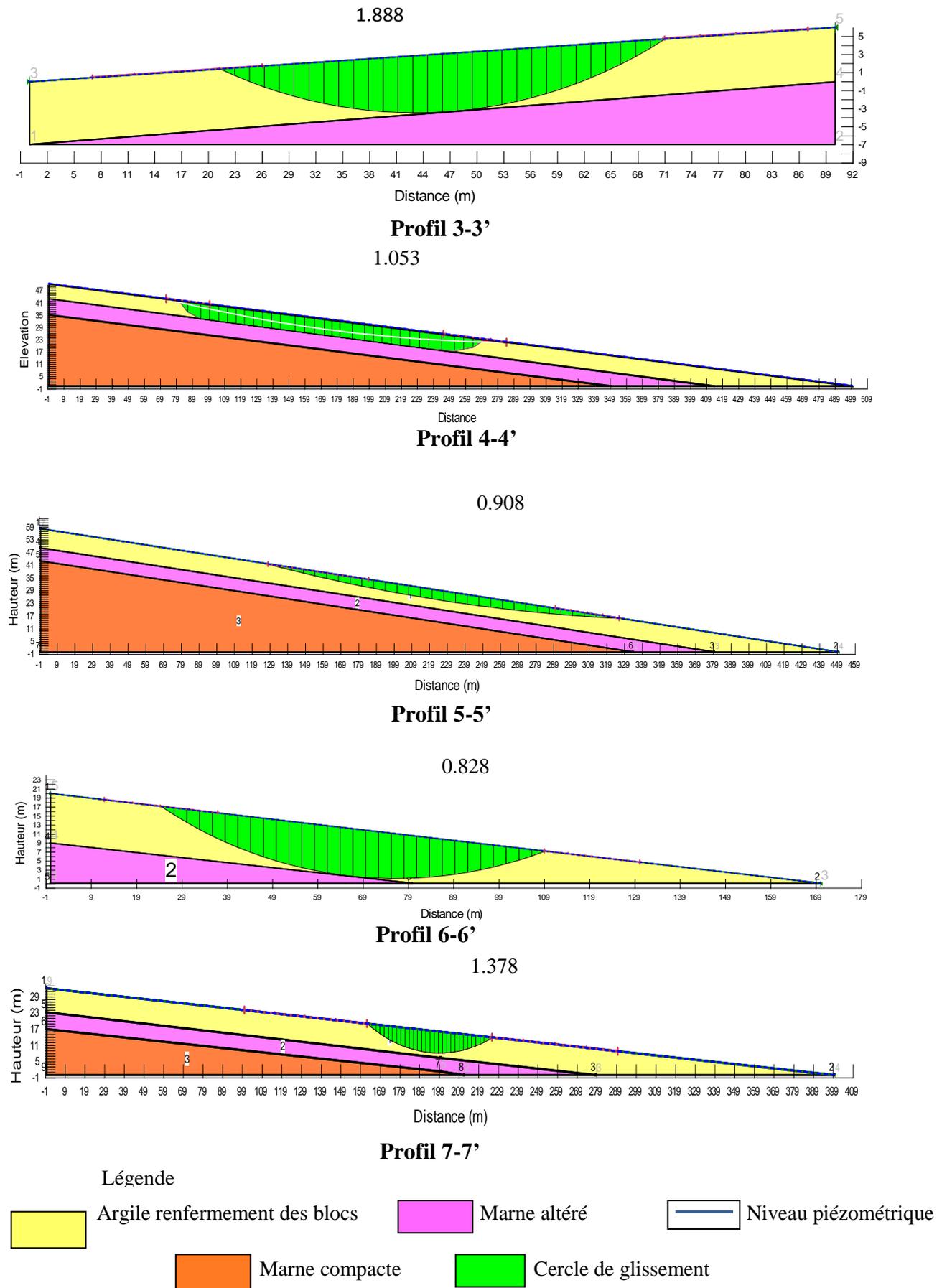


Figure 36 : étude de stabilité des sept profils

Les valeurs obtenues des coefficients de sécurité des trois méthodes, sont reportées dans le tableau 24 :

**Tableau 24** : les valeurs de Fs

Méthode Profil	Bishop	Janbu	Ordinaire
(1-1')	1.124	1.080	1.066
(2-2')	1.236	1.181	1.192
(3-3')	1.888	1.813	1.802
(4-4')	1.053	0.897	1.026
(5-5')	0.908	0.907	0.906
(6-6')	0.828	0.798	0.786
(7-7')	1.378	1.323	1.308

A l'image des résultats obtenus nous ont permet de ressortir les conclusions suivantes :

- Les versants (1-1'), (2-2'), (3-3'), (5-5') et (7-7') sont stables ( $F_s > 01$ )
- Les versants (4-4') et (6-6') sont instables ( $F_s < 01$ )

D'après les résultats obtenus par les calculs de stabilité, les versants (1-1'), (2-2'), (3-3'), (5-5') et (7-7') sont stables, mais pratiquement sur le site sont observés instables et les instabilités sont toujours actives. Dans cet optique les instabilités observés ne sont pas le résultat à des ruptures circulaires (glissements rotationnels), et peut être sont produits selon des surface planes. Pour cela, l'étude de stabilité pour les profils (1-1'), (2-2'), (3-3'), (5-5') et (7-7') est effectuée en considérant que la rupture plane.

Le calcul de stabilité pour le cas d'une rupture plane est effectué manuellement, et la pente est considérée comme infinie. Les angles des pentes sont variés entre  $10^\circ$  et  $15^\circ$  d'après la carte des pentes, pour notre calcul, on prend l'angle égal à  $15^\circ$  qui simule le cas défavorable. Pour la hauteur de la couche des argiles, elle est prise entre 2 m jusqu'à la l'épaisseur réelle de chaque couche. Les  $F_s$  obtenus pour l'épaisseur réelle des couches sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 25** : Les valeurs de Fs obtenus

Profils	Hauteur de la couche (m)	Fs
1-1'	2	0,97
	9.2	0.49
2-2'	2.5	0.85
	8	0.51
3-3'	3	0.78
	7	0.53
4-4'	3.5	0.72
	7.4	0.52
5-5'	4	0.68
	9.8	0.48
6-6'	4.5	0.64
	11	0.47
7-7'	5	0.62
	9.8	0.48

➤ **Exemple de calcul :**

$$F_s = C_u / \gamma H \cos^2 \beta \tan \beta + \tan \phi / \tan \beta$$

Pour le profil (1-1') :

$$C_u = 5 \text{ KPa}, \gamma = 17.5 \text{ KN/m}^3, \phi = 6^\circ, \beta = 15^\circ \text{ et } H = 9.2 \text{ m}$$

$$F_s = 0.49$$

Les  $F_s$  obtenus sont inférieurs à 1, alors les talus sont instables

## 6. Conclusion

Les résultats obtenus par l'étude de stabilité, nous ont permis de constater que les instabilités sont produites à cause de l'occurrence des ruptures planes qui peuvent s'évoluer à des ruptures circulaires et donneront à la fin des glissements complexes

Analyse de stabilité, pour la rupture plane, selon différentes profondeurs, a montré que la profondeur des plans de rupture est difficile à identifier, et ce qui résulte que la couche des argiles est responsable sur les instabilités produites

En vue de la lithologie de terrain, le plan de rupture n'est pas net et difficile à identifier, et la région est caractérisée par des rapports solides, les instabilités de Boushoul - Boussif Ouled Askeur sont produites à cause d'un mouvement lent continu représenté par le phénomène reptation (solifluxion).

Ce phénomène de reptation consiste, en réalité, en une succession de déplacements de grandes surfaces, voire des versants entiers peuvent en être affectés sans qu'il y ait de surface de rupture clairement identifiée. On l'identifie dans le paysage à leur topographie bosselée. Il est fréquent dans les versants marneux et les régions caractérisées par les pluies solides. Toutes les caractéristiques citées précédemment de ce phénomène de reptation sont présentes dans le site de Boushoul – Boussif Ouled Askeur. Alors la conclusion, la reptation est le responsable des instabilités manifestées dans le site de Boushoul.

# *Conclusion Générale*

### **Conclusion générale et recommandations**

La région de Boushoul objet de notre étude se trouve à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Boussif Ouled Askeur. Elle est programmée à l'aménagement comme un nouveau site en réalisant les plans d'urbanisme programmés. Malheureusement, des instabilités se manifestées dans la région et évidemment elles vont poser un problème majeur face aux travaux d'aménagement et exécution des plans d'urbanisme. Alors, notre projet porte sur l'étude des causes de ces instabilités et comment les éviter.

Les résultats obtenus par les différentes études géologiques, géotechnique et géophysiques nous ont permis de ressortir les conclusions ces dessous :

- Sur le plan topographique, la région de Boushoul présente en versant allongé d'orientation Nord-Sud, dont le versant présente une pente moyenne (5 – 15 %).
- La région est caractérisée par une pluviométrie implorante,
- Pour la lithologie de terrain l'étude géotechnique et géophysique sont abouties aux mêmes résultats, dont la région est caractérisée par trois formations à savoir :
  - Une couche d'argile qui correspond à des résistivités faibles (de 6.1 à 10  $\Omega$ m), sur une épaisseur de 0 à 7.5 mètre,
  - Sous les argiles, on trouve les marnes qui correspondent à des résistivités faibles à moyennes (de 10 à 30  $\Omega$ m), sur une épaisseur de 5.4 à 10.2 mètre
  - En profondeur, le substratum qui est représenté par les marnes compactes, dont leurs résistivités oscillent entre 100 à 130  $\Omega$ m, sur une épaisseur de 9.4 à 15 mètre

L'analyse a été effectuée selon sept profils qui représentent les majeures instabilités produites dans le site. Les résultats obtenus par les calculs et l'analyse de stabilité, nous ont permet de ressortir les conclusions suivantes :

- Les instabilités sont produites à cause de l'occurrence des ruptures planes qui peuvent s'évoluer à des ruptures circulaires et donneront à la fin des glissements complexes.
- La profondeur des surfaces de rupture est difficile à identifier
- Le type de mouvement responsable sur ces instabilités est la reptation (solifluxion) qui est un mouvement lent et continu fréquent dans les régions caractérisées par des terrains marneux et pluviométrie importante notamment solide qui favorise le phénomène Gel-dégel, dont ces paramètres sont reniés dans le site de Boushoul d'après notre étude.
- Le mouvement de reptation pose un grand problème face aux travaux d'aménagement dans le site, puisque ce mouvement est lent et continu et difficile à repérer, il commence par des petits déplacements de quelques centimètres et avec le temps et en vue aux

conditions lithologique et hydraulique présente dans le site peut s'évoluer à des mouvements rapides brutaux discontinu comme les glissements plans et coulées boueuses et lave torrentielles

❖ **Recommandations**

À la lumière des résultats obtenus par notre travail, et la raison des instabilités décelée, les recommandations présentes sont proposées :

- **Drainage** : Collecte et canalisation des eaux de surface dans le but d'éliminer ou de diminuer au minimum les apports d'eau, par drainage superficiel, captage des eaux de suintement en amont des mouvements ;
- Reboisement de la région ;
- Modification géométrique des pentes soit par des chargements en pied, soit par un nouveau reprofilage, soit par reprofilage bien adapté ;
- Le terrassement toujours commence depuis l'amont et la construction depuis la partie aval
- Substitution totale ou partielle du matériau déplacé par le glissement et remplacé par un matériau de meilleure qualité, notamment dans les travaux routiers et les remblais.
- Fonder tous les projets sur les marnes soit altéré ou compacte sur quelle profondeur.
- Renforcement de sol par des techniques adaptés selon les travaux et les ouvrages telles que : les micropieux, remblai renforcé, géosynthétique ...etc
- Aménage le l'assiette sous forme des banquettes suffisamment larges, dont les talus devront être confortés par des murs de soutènement.
- Installation des systèmes de surveillance des pentes pendant les travaux d'aménagement pour éviter tout risque qui pourra se produire.

# *Bibliographie*

## *Références bibliographiques*

- **Andrieux, J. & Djellit, H. (1989):** Structure de la Petite Kabylie occidentale (Algérie) flysch ultra et flysch externes. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Se, P1191-1196.
- **Bishop, A.W. (1954) :**L'utilisation du cercle de glissement dans l'analyse de stabilité des pentes géotechnique ;5 :7-17
- **Bouanane.A, et Bouafina.L. (2016) :** Auscultation géologique du mouvement de terrain de la commune de Belhadeb-wilaya de Jijel (cas de la mosquée centrale), mémoire de master II, génie géologique, université de MSBY Jijel
- **Bouillin, J.P. ; Durand Delga, M.; Gélard, J.P. ; Leikine, M.; Raoult, J.F.; Raymond, D. ; Téfiiani, M. & Vila, J.M. (1970):**Définition d'un flysch massylien et d'un flyschmaurétanien au sein de flysch allochtones de l'Algérie.C.R.Acad.Sci.Paris (D). T270, série D. P 2249-2252.
- **Bouillin, J.P. & Raoult, J.F. (1971):** Présence sur le socle Kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flysch; le Numidien peut être un néo-autochtone? Comte Rendu : Somm. Soc. Géol. France, 7 :117P.
- **Bouillin, J.P. (1977):**Géologie Alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie), thèse Doct. Uni. P. & M. Curie, 511P.
- **Bouillin J.P. (1986).** Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. Bull. Soc. Géol. France, 8(2) 547-558.
- **Durand Delga, (1955):** Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv.Carte géol. Algérie, 24,533P.
- **Durand Delga, (1969):** Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berberie. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 39: P 89-131.
- **Felleninuse, W. (1936) :** Calcul de la stabilité des barrages terrestres. Trams 2<sup>ème</sup> congrès sur les grands barrages, Vol.4, Washington D.C
- **Fognot, J. (1990) :** Le magmatisme Miocène du littoral Nord constantinois. Thèse. Doct. INPL. Nancy.Paris.
- **Google earth 2017**
- **Janbu, N. (1968) :** Calculs de stabilité en claire. Rapport sur la mécanique des sols et l'ingénieur des fondation, Université technique de Norvège, Trondheim
- **Karray, Mourad (2014) :** cours de mécanique des sols II, faculté de génie, université de Sherbrooke- canada

- **Lahondere J.C. (1987)**. Les séries ultratelliennes d'Algérie Nord Orientale et les formations environnantes, dans leur cadre structural. Thèse es-Sciences, Paris.
- **Ouabadi, A. (1994)** : Pétrologie, Géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap-Bougaroun, Beni-Toufout et Filfila) Algérie Nord orientale. Thèse Doct. Univ Rennes I, France
- **Ouzaid, I. (2014)** : Stabilité des pentes par inclusion rigides mémoire de mastre II, Université Mohamed Khider-Biskra
- **Raoult, J.F. (1969)**: Relation entre la dorsale Kabyle et les flysch sur la transversale de Dj. Rhédir, phase tangentielle Eocène, paléogéographie (Nord Constantinois, Algérie). Bull. Soc. Geol. France (7), XI, Paris. P523-543
- **Raoult, J.F. (1974)**: Géologie du centre de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mem. Soc. Géol. France, 53, 121, 163P.
- **Raoult D. (1979)** : Notes sur la fièvre Boutonneuse Méditerranéenne (à propos de 40 cas récents à Marseille). Bull. Soc. Path. Exot., 72:308-314.
- **Rapport de sol** : Etude Géotechnique phase 01 Du P.O.S N °07 "Boushoul-Ouled Askor" 71,4 Ha / Wilaya de Jijel laboratoire des études géotechnique GEO-LAB TOUABET
- **Rapport de sol** : Etude Géotechnique phase 02 Du P.O.S N °07 "Boushoul\_Ouled Askor" sur 71.4Ha laboratoire des études géotechnique GEO-LAB TOUABET
- **Robin, C. (1970)** : Etude géodynamique du massif volcanique du Cap Cavallo, El - Aouana, Algérie, 2<sup>e</sup> série N°10. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Paris., 130P.
- **Roubaut, M. (1934 b)** : La Kabylie de Collo, Etude géologique. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, Alger, 2<sup>e</sup> série, N°10.
- **RPA (2003)** : Règle parasismique Algérienne.
- **Semroud, B. (1971)** : Etude pétrographique du granite du Filfila (Skikda). Thèse. doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ, Alger. Algérie.
- **Vila, J. M. (1980)**: La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doct. UNIV. Pierre et Marie Curie (Paris VI) ,3 vol, Paris. 663P.
- **Wildi, W. (1983)** : la chaîne Tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie, et évolution du Trias au Miocène REV. Géol. Dyn. Geophys ; 24.P201-297.

# *Annexes*

## **Annexe A : tableaux des classifications**

### ➤ **Classification des sols à partir de la teneur en eau**

<b>W%</b>	<b>Etat</b>
$1 < w < 25$	Légèrement humide
$25 < w < 50$	Humide
$50 < w < 75$	Mouillé
$75 < w < 90$	Détrempé
$w = 100$	saturée

### ➤ **L'indice de consistance IC (J.P. Magnan ; 2001)**

$$Ic = WL - W/Ip$$

<b>Ic %</b>	<b>Etat</b>
$0,25 < Ic < 0,5$	Sol de faible consistance, les tassements sont très grands
$0,5 < Ic < 0,75$	Sol ferme
$0,75 < Ic < 1$	Sol très ferme, le tassement est modéré
$Ic > 1$	Sol dur, le tassement est petit

### ➤ **Classification des sols suivant l'indice de plasticité (J.P.Magnan;2001)**

<b>Indice de plasticité</b>	<b>Degré de plasticité</b>
$0 < Ip < 5$	Sol Non plastique (sol peu sensible à l'eau)
$5 < Ip < 10$	Sol faiblement plastique
$10 < Ip < 20$	Sol moyennement plastique
$20 < Ip < 40$	Sol Plastique
$Ip > 40$	Sol très plastique

### ➤ **Indice de compression Cc**

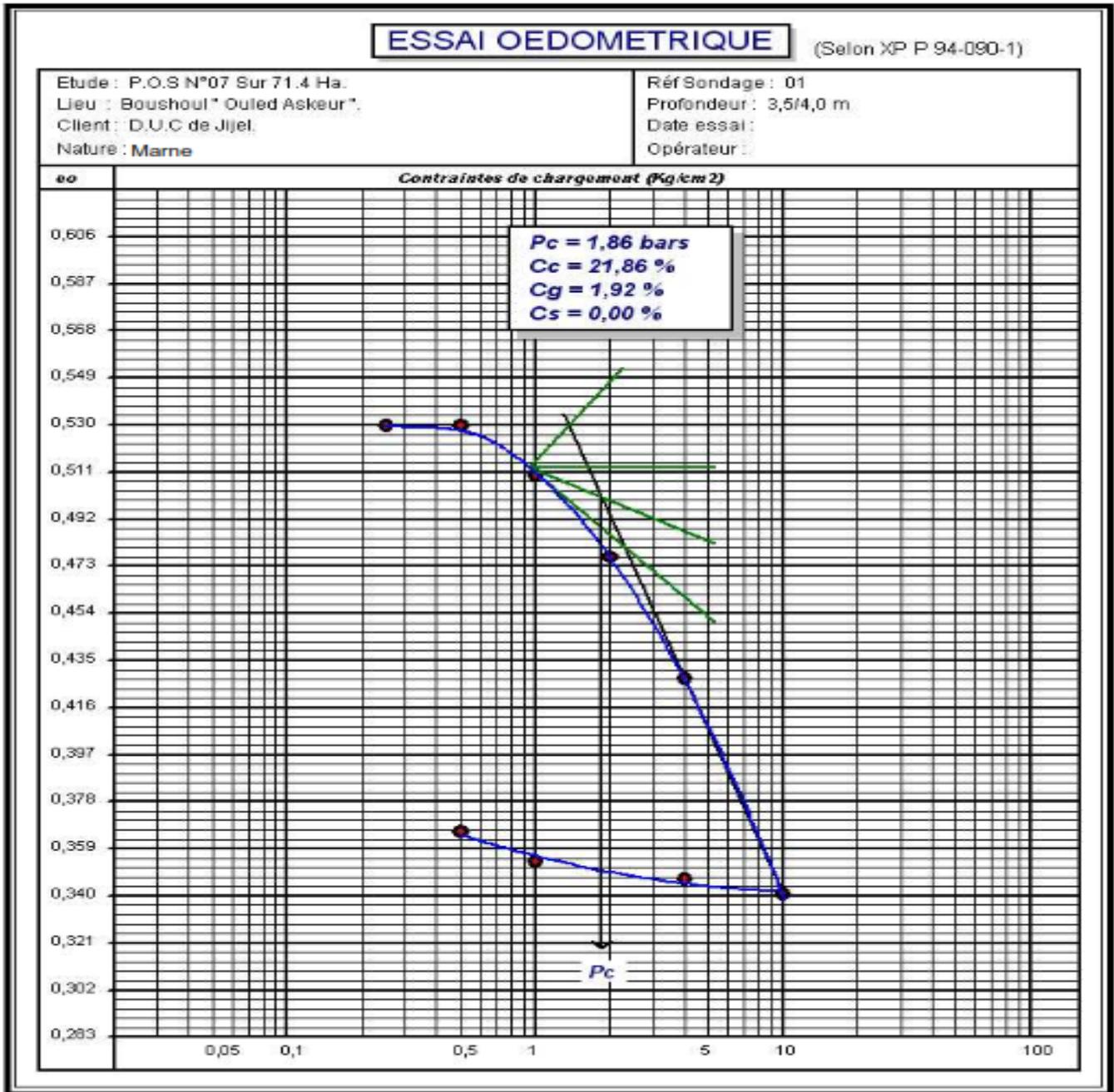
<b>Indice de compression</b>	<b>Nature du sol</b>
$Cc < 0.020$	Sol incompressible
$0,020 < Cc < 0.050$	Sol très peu compressible
$0.050 < Cc < 0.100$	Sol peu compressible
$0,100 < Cc < 0.200$	Sol moyennement compressible
$0.200 < Cc < 0.300$	So assez fortement compressible
$0.300 < Cc < 0.500$	Sol très compressible
$IC < 0.500$	compressible

### ➤ **Le coefficient de gonflement Cg**

<b>Coefficient de gonflement Cg</b>	<b>Susceptibilité</b>
$Cg < 0.025$	Sol faiblement gonflant
$0,025 < Cg < 0.035$	Sol moyennement gonflant
$0.035 < Cg < 0.055$	Sol fortement gonflant
$Cg > 0.055$	Sol très fortement gonflant

D'après Bureau de recherche Géologique et Minières (BRGM, France)

## Annexe B : les graphes de l'essai Oedométrique



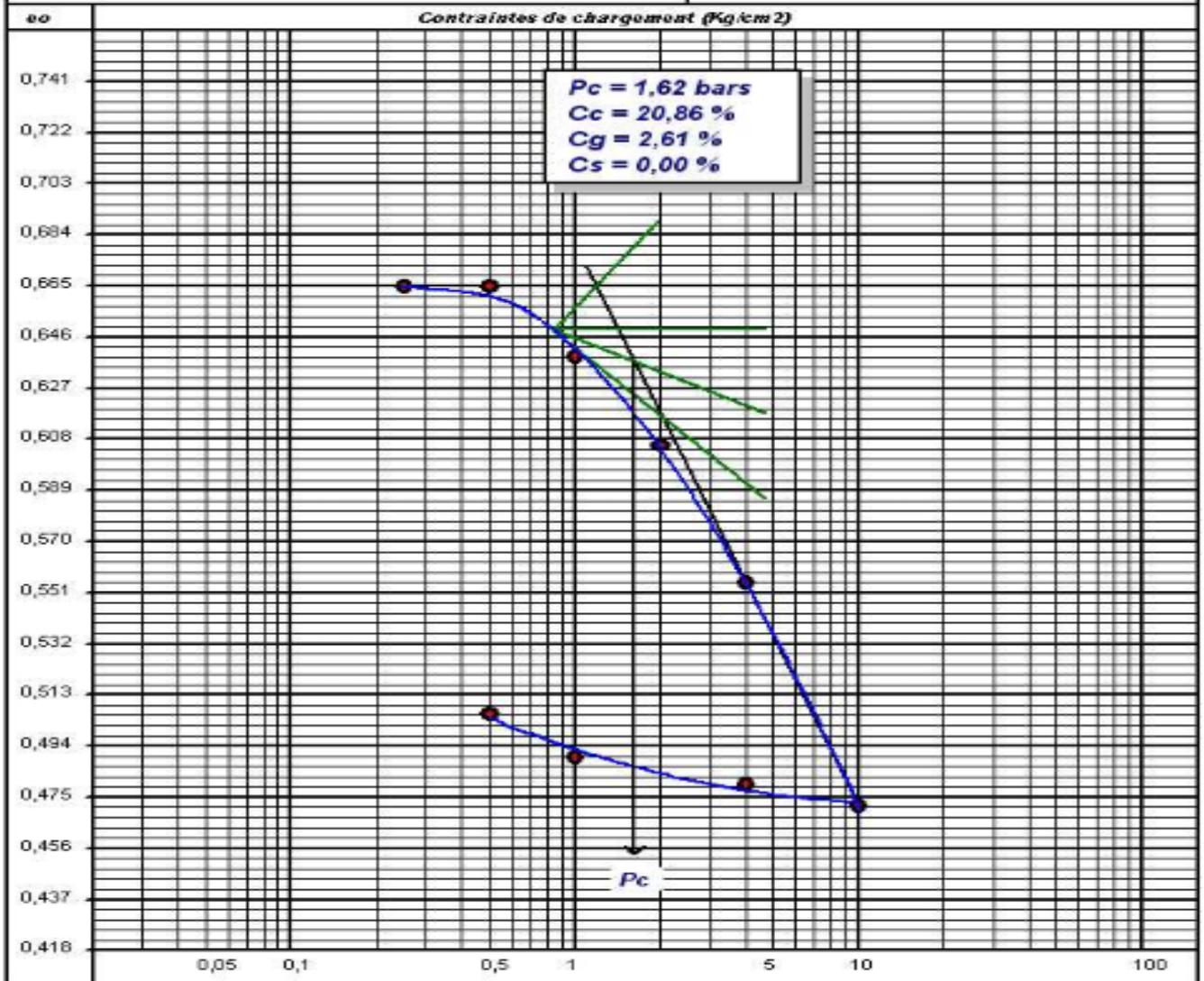
Programme «Solstat». Email: geores\_lab@yahoo.fr

# ESSAI OEDOMETRIQUE

(Selon XP P 94-090-1)

Etude : P.O.S N°07 Sur 71.4 Ha.  
 Lieu : Boushoul " Ouled Askeur",  
 Client : D.U.C de Jijel,  
 Nature : **Marne**

Réf Sondage : 09  
 Profondeur : 4,0/4,5 m.  
 Date essai :  
 Opérateur :

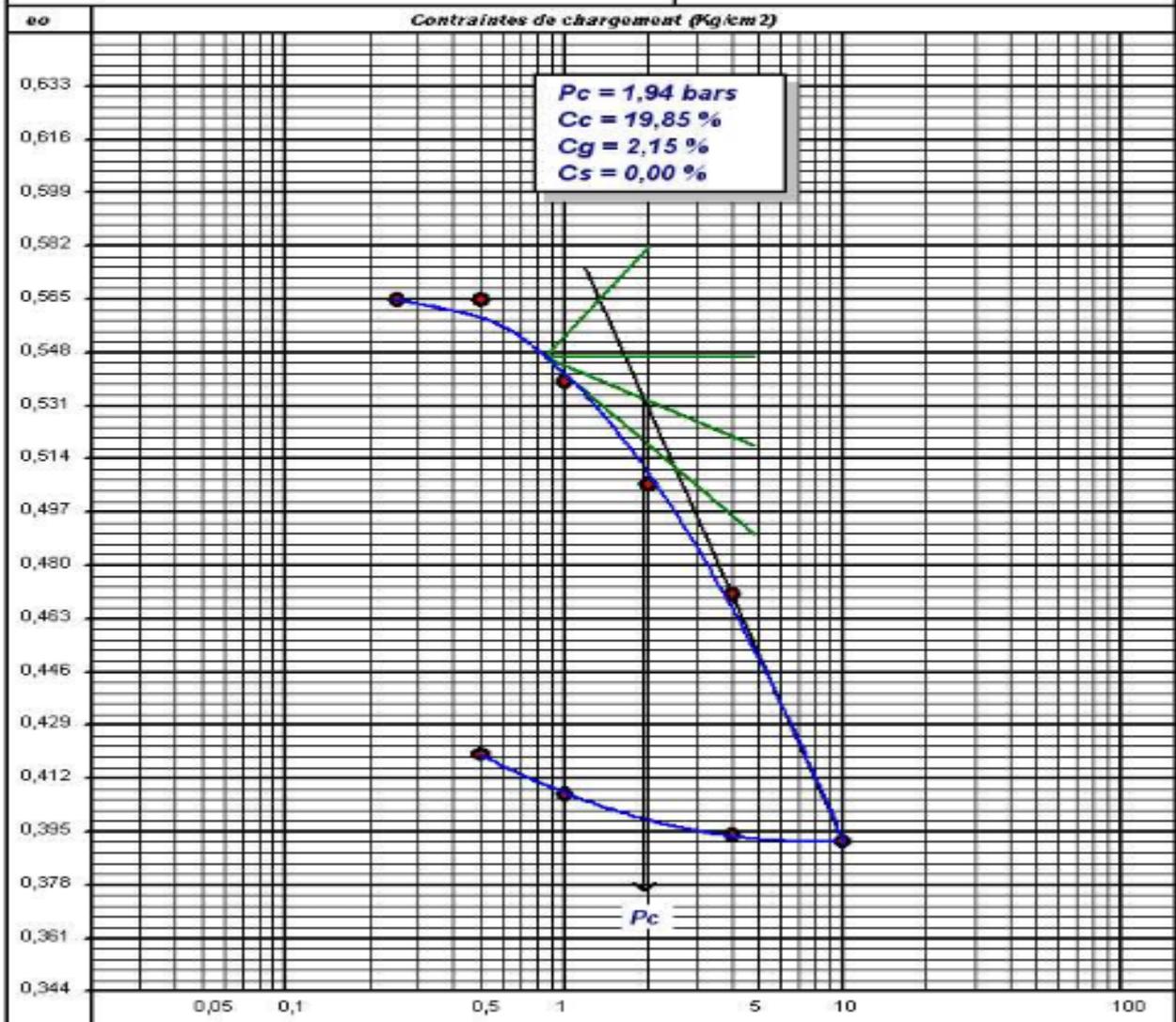


# ESSAI OEDOMETRIQUE

(Selon XP P 94-090-1)

Etude : P.O.S N°07 Sur 71.4 Ha.  
 Lieu : Boushoul " Ouled Askeur",  
 Client : D.U.C de Jijel,  
 Nature : Marnes

Réf Sondage : 15  
 Profondeur : 5,0/5,5 m  
 Date essai :  
 Opérateur :



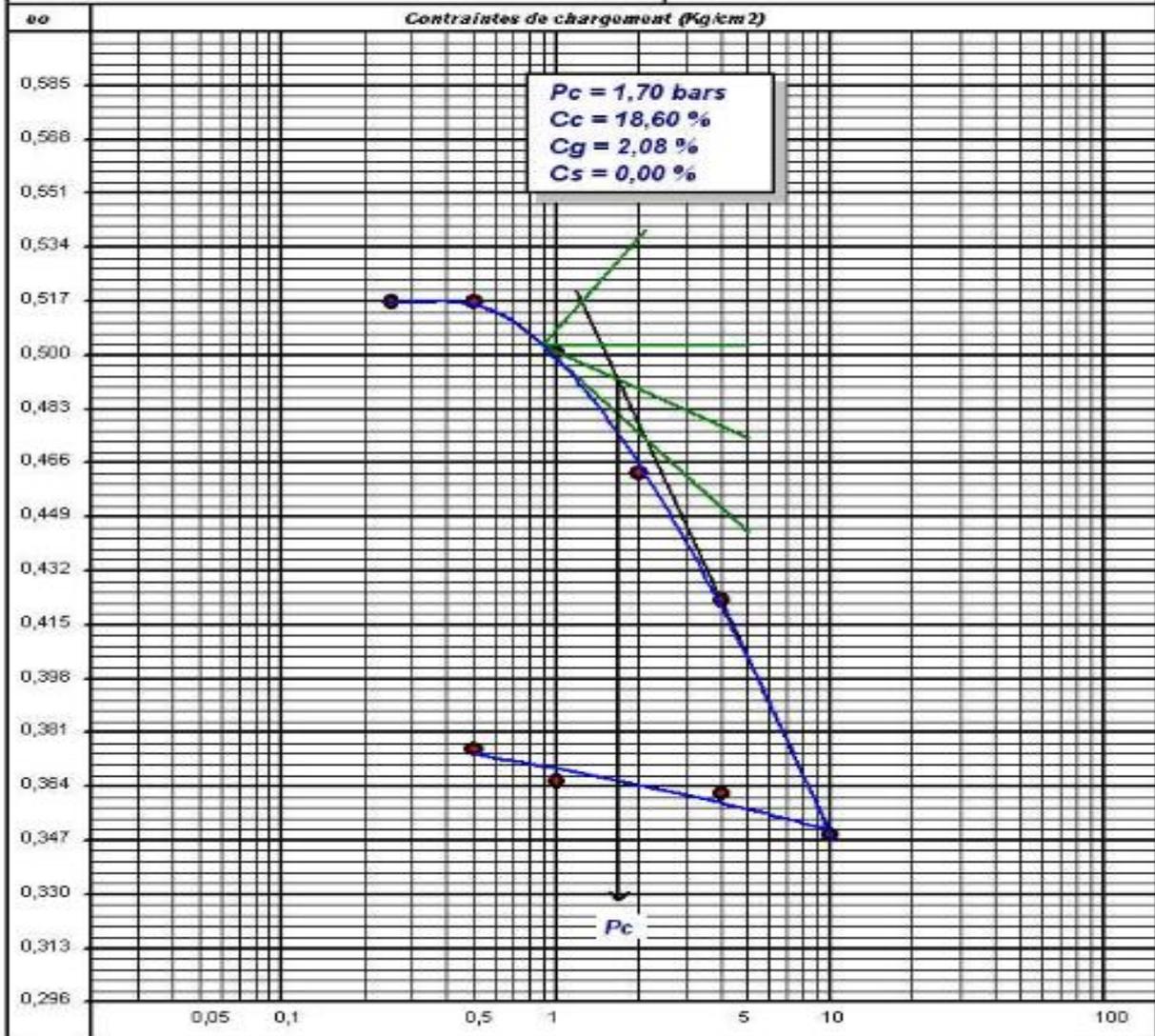
Programme «Oedometre» - Email: geomec\_lab@yahoo.fr

# ESSAI OEDOMETRIQUE

(Selon XP P 94-090-1)

Etude : P.O.S N°07 Sur 71.4 Ha.  
 Lieu : Boushoul " Ouled Askeur ",  
 Client : D.U.C de Jijel,  
 Nature : Marnes

Réf Sondage : 17  
 Profondeur : 3,5/4,0 m  
 Date essai :  
 Opérateur :

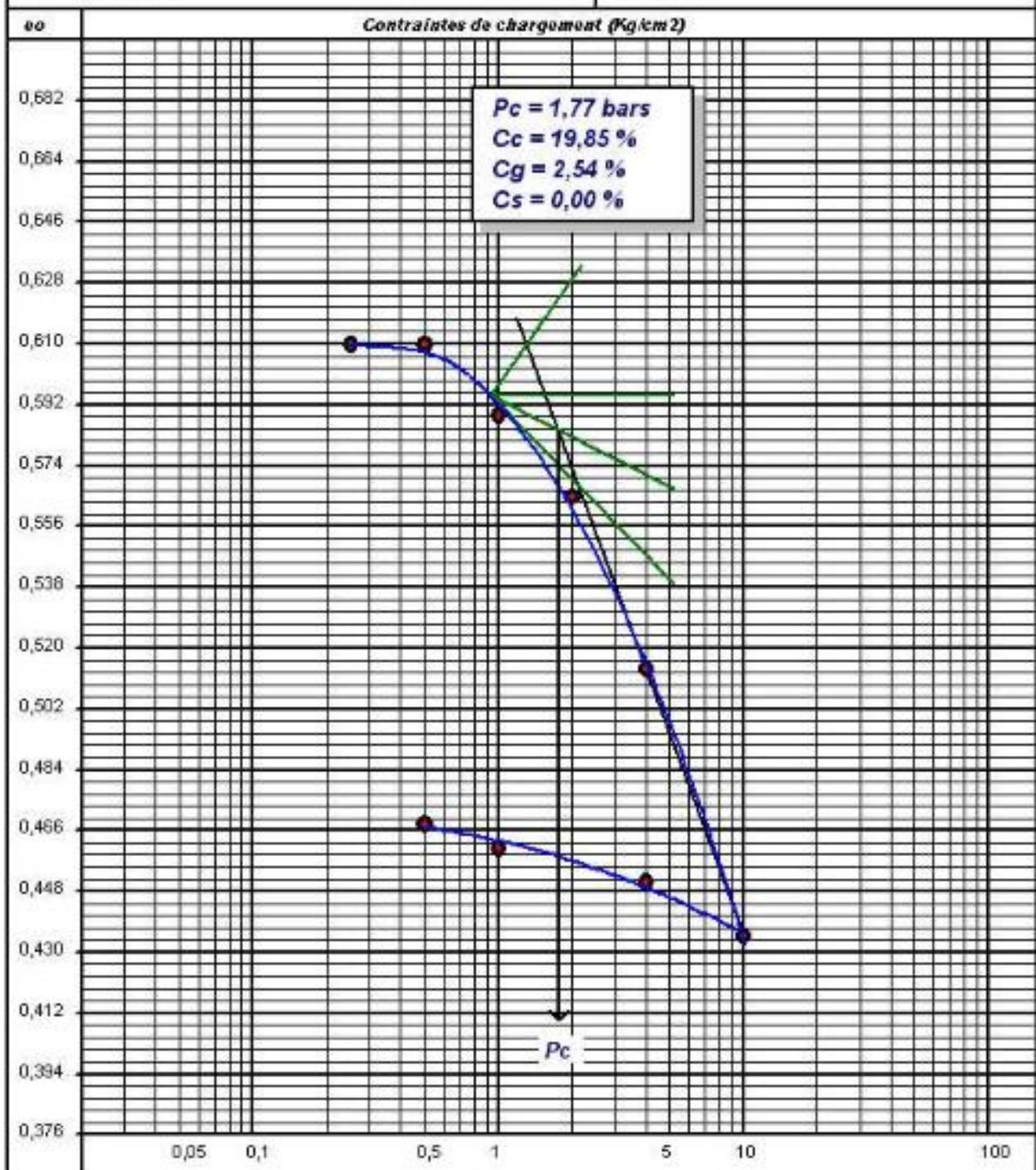


# ESSAI OEDOMETRIQUE

(Selon XP P 94-090-1)

Etude : P.O.S N°07 Sur 71.4 Ha.  
 Lieu : Boushoul " Ouled Askeur "  
 Client : D.U.C de Jijel.  
 Nature : Marnes

Réf Sondage : 23  
 Profondeur : 3,0/3,5 m  
 Date essai :  
 Opérateur :

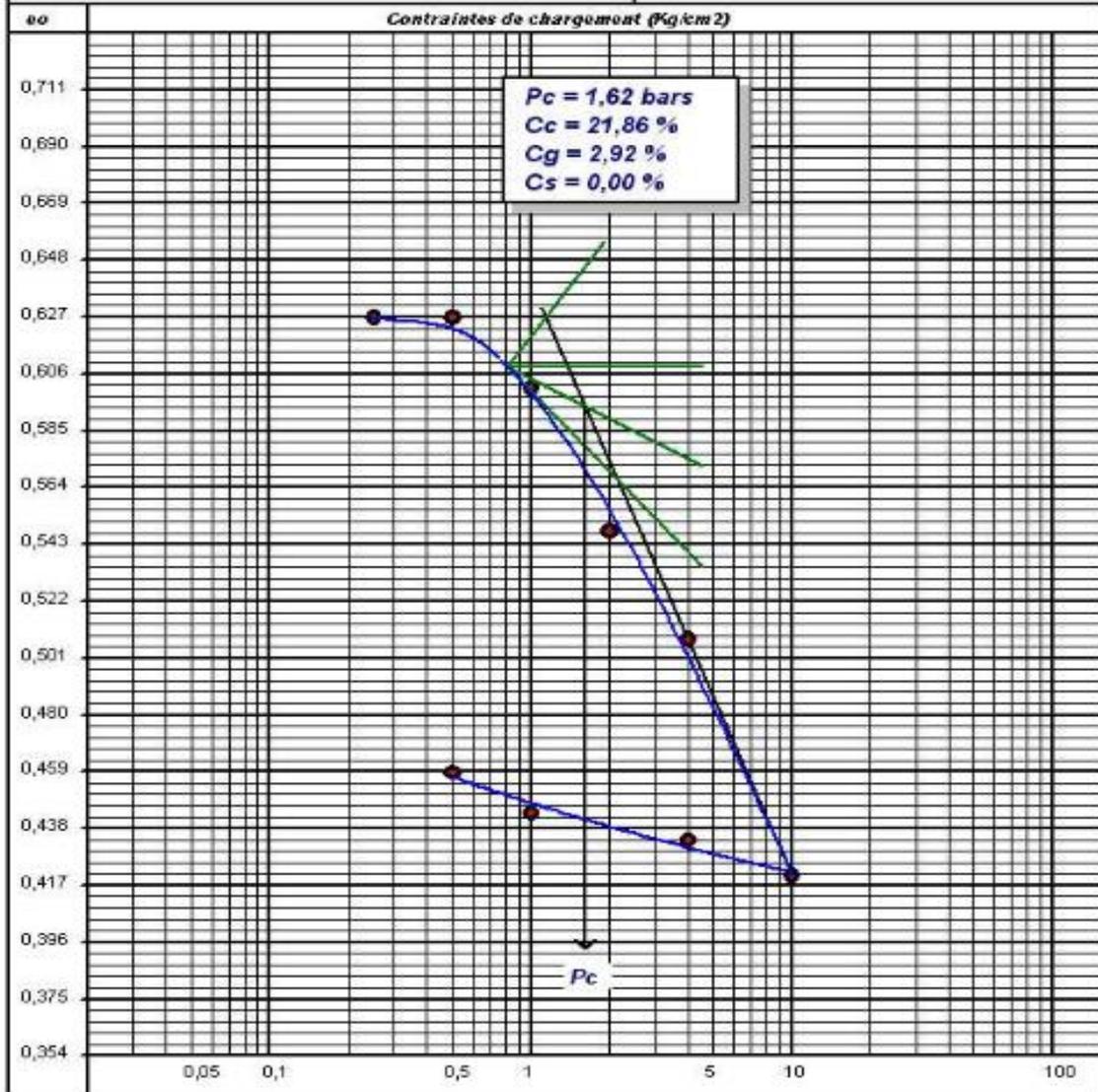


# ESSAI OEDOMETRIQUE

(Selon XP P 94-090-1)

Etude : P.O.S N°07 Sur 71.4 Ha.  
 Lieu : Boushoul " Ouled Askeur "  
 Client : D.U.C de Jijel.  
 Nature : Mame

Réf Sondage : 28  
 Profondeur : 4,0/4,5 m  
 Date essai :  
 Opérateur :



## Résumé

La région de Boushoul se situe à l'Ouest du chef-lieu de la commune de Boussif- Ouled Askeur dans le sud de la wilaya de Jijel, est un nouveau site destiné à l'aménagement. Dans cette région, des instabilités sont manifestées. Évidemment ces dernières sont considérées comme des obstacles face aux travaux d'aménagement. Ce travail est proposé dans le cadre d'étudier ces instabilités et de trouver les solutions adéquates

Du point de vue géologique la région de Boushoul est occupée par les formations molassiques. Sur le plan topographique, elle possède une pente moyenne. L'étude climatologique a montré que la région est caractérisée par une forte pluviométrie liquide et solide, ce que rend le sol humide et sensibles aux mouvements. Les résultats obtenus par les études géotechniques et géophysiques ont montré que le terrain est constitué de trois formations à savoir : les argiles en surface, les marnes et marnes compactes (substratum) en profondeur. Les résultats obtenus par les calculs de stabilités qui sont effectués manuellement et par Geoslope, nous ont permis de connaître que les instabilités sont produites à cause de l'occurrence des ruptures planes qui s'évolueront à des ruptures circulaires et donneront à la fin des glissements complexes et des coulées boueuses.

En effet, l'origine de ces instabilités est le mouvement de reptation qui peut s'évoluer à des glissements, des coulées boueuses et des laves torrentielles, dont leurs conditions et leurs conséquences sont reniés dans la région de Boushoul. Dans cette optique pour arrêter ces instabilités pendant et après les travaux d'aménagement, il est recommandé d'effectuer des solutions optées : éliminations les apports d'eau superficielle, modification la géométrie des pentes, et substitution les masses déplacées par des matériaux de qualité

**Mots clés :** instabilités, Boushoul, reptation, marne, molasse

## Abstract

The region of Boushoul is located to the West of the chief town of the commune of Boussif-Ouled Askeur in the south of the wilaya of Jijel, is a new site destined for the development. In this region, instabilities are manifested. Obviously, these are considered as obstacles to development work. This work is proposed in the context of studying these instabilities and finding the appropriate solutions

From the geological point of view, the Boushoul region is occupied by the Molassic formations. On the topographic level, it has an average slope. The climatological study showed that the region is characterized by strong liquid and solid rainfall, which makes the soil moist and sensitive to movements. The results obtained by the geotechnical and geophysical studies showed that the ground consists of three formations namely: clays in surface, marls and compact marls (substratum) in depth. The results obtained by the calculations of stability which are carried out manually and by Geoslope, allowed us to know that the instabilities are produced by the occurrence of the plane ruptures which will evolve to circular ruptures and will give at the end of the slides complex and muddy flows.

Indeed, the origin of these instabilities is the movement of reptation which can evolve to slides, mudflows and torrential lava, whose conditions and consequences are rejected in the region of Boushoul. In order to stop these instabilities during and after the development work, it is recommended to carry out opted solutions : elimination of surface water supplies, modification of slope geometry and substitution of masses displaced by quality materials

**Keywords:** instabilities, Boushoul, reptation, marl, molasse

## ملخص

منطقة بوسهول تقع في غرب بلدية بوسيف اولاد عسكر بجنوب ولاية جيجل، تعتبر كموقع جديد موجه للتهيئة. في هذه المنطقة نشأت اماكن غير مستقرة ومن الواضح هذه الاماكن تشكل عقبة في اوجه اعمال التهيئة. واقتراح هذا العمل من اجل من دراسة هذه الاختلالات وإيجاد الحلول المناسبة.

من الناحية الجيولوجية تشكل منطقة بوسهول من المولاس، وطوبوغرافيا تتميز بميل متوسط للمنحدرات، حيث أظهرت الدراسة المناخية أن المنطقة تتميز بنسبة تساقط عالية سائلة وصلبة، مما يجعل التربة رطبة وحساسة للحركة. من جهة أخرى قد أظهرت نتائج الدراسات الجيوتقنية والجيوفيزيائية أن الموقع يتكون من ثلاث تشكيلات أساسية وهي: الطين في السطح، المارل والمارل المضغوط ( الأساس) في العمق. وقد أجريت حسابات الاستقرار يدويا وباستعمال برنامج جيوسلوب ، حيث ان نتائج الحسابات سمحت لنا أن نعرف أن عدم الاستقرار ناتج عن مساحات انكسار مستوية التي يمكن أن تتطور إلى كسور دائرية وتعطي في نهاية انزلاقات المعقدة والتدفقات الطينية.

في الواقع سبب عدم الاستقرار هو حركة زحف التربة التي يمكن أن تتطور إلى انزلاقات، تدفقات الطينية وتدفقات الحطام، حيث ان اسبابها ونتائجها متجمعة في منطقة بوسهول. وفي هذا الصدد لوقف هذه الاختلالات أثناء وبعد أعمال التهيئة، فمن المستحسن تطبيق حلول مختارة مثل تصريف المياه السطحية، وتغيير هندسة المنحدرات، واستبدال التربة المتحركة بترية ذات جودة

كلمات الدلالية: عدم الاستقرار، بوسهول، الزحف، المارل، الطين