

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche *SCIENTIFIQUE*

جامعة محمد الصديق بن يحي-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 والحياة
قسم: علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Génie Géologique

Thème

**Soutènement et renforcement par des rideaux de palplanches –
Cas du glissement de terrain sur le CW 135B (PK 50+100) à
Bouraoui Belhadeb (Wilaya de Jijel)**

Membres de Jury

Président : **TEKOUK Moustafa**

Examineur : **REMMOUM Karim**

Encadrant :

- **BENZAID. Riad**
- **BOUROUDI Nihed**

Présenté par :

BOURAS Rima

MIROUH Aya

Année Universitaire 2017-2018

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Remerciement :

On remercie tout d'abord le bon dieu qui nous aidés à terminer ce travail

« Alahamdou li ALLAH ».

On tient à remercier très vivement et respectueusement notre promoteurs Monsieur BENZAID Riad DOCTEUR à l'université de Tijel, et Madame BOUROUDI Nihed, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail.

Nos remerciements vont ensuite aux membres de jury : pour avoir accepté d'examiner le nôtre mémoire et qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'être dans le jury de notre soutenance de fin d'étude.

On tient aussi à remercier vivement et sincèrement toutes l'équipe de bureau d'étude SETS et leurs directeur Monsieur KHECHA Ferhat de ces conseils et remarques concernant ce thème, et aussi d'avoir accepté de mettre à notre disposition les données nécessaires.

Une grande reconnaissance à tous nos enseignants du département des sciences de la terre et l'univers, et en particulier Mr Rouikha Youssef et le chef du département

Mr Tekkouk Moustafa

En fin nous passons nos mercis au tous nos amis et collègues pour leurs encouragements, supportes, et pour tous les bons moments que nous avons passés ensemble.





Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mon affable et aimable maman et mon honorable père. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

A mes très chères frères (Oussama, Amine, Zakaria, et mon petit amour Wassim) pour leurs appuis et encouragement, Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A Kaoula et Souhir mes jolies sœurs, je vous souhaite toute le bonheur et succès.

A tous les membres de la famille BOURAS, surtout mes tantes Saida e Louiza, et ma cousine Imane, Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mon adorable amie avant d'être mon binôme MIROUH AYA et toute sa famille et la famille Boudjedaa.

A mes très chères amies et sœurs SOUMIA et ASMA je souhaite que notre amitié profonde reste toute la vie

Une grande reconnaissance au ceux qui m'ont aidé pour réaliser ce mémoire surtout Mr Hamza Bal, Mehdi Tbibel, Monsieur Abdelghani leghouhi, Monsieur Khecha Ferhat et l'équipe de bureau d'étude SETS

A tous mes amis et mes proches



BOURAS RSM@



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à *maman*, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

À la mémoire de mon grand-père défunt

À ma très chère grande mère

A mes oncles *Abel Aziz, Ahmed, Farid* et à aussi mes tantes *Mouna, Malika, Chafiaa* et toutes mes cousins et cousines

A tous la famille *Boudjedaa*

A mon frères *Aymen, Malek, Ali* et ma sœur *Israa*

A mon binôme *Rima* et toute la famille *Bouras*

A Mes aimables *Scoumia et Asma* et à tous mes amis et collègues d'étude pour les moments passés ensemble à l'université de Jijel.



Mirouh Aya

Résumé

Le tronçon routier du chemin de Wilaya numéro 135 B (CW 135 B) situé à la localité de Bouraoui Belhadeuf est affecté par un glissement de terrain au niveau de son PK 50+100.

Cette instabilité à entraîne des désordres importants au niveau de la maison de jeunes et risque de menacer aussi le lycée ' Mohamed Ben Messaoud ' qui se trouve au pieds du talus en question.

Le glissement objet de notre étude s'est manifesté dans les marnes calcaires et les marnes schisteuses sur un talus chargé en tête par une maison de jeunes.

Les causes probables de ce glissement sont la présence d'eau, la nature lithologique des sols, la pente plus ou moins importante du talus aussi que la surcharge exercée par la maison de jeune en tête du talus.

Nous avons étudié la stabilité du talus avant et après confortement en utilisant le logiciel Géoslope et le code de modélisation par éléments finis PLAXIS 2D afin de vérifier d'un côté le facteur de sécurité (FS) et les déplacements et déformations dans le sol avant et après les travaux de confortements proposés

Les solutions proposées pour stabiliser ce terrain sont :

- ✓ Un rideau de soutènement en palplanche
- ✓ Un système de drainage des eaux de surface (caniveau) et des eaux souterraines (tranchées drainantes) au niveau du site

Les coefficients de sécurité obtenus après confortement du talus sont satisfaisants.

Les mots clés :

Glissement de terrain, facteur de sécurité, instabilité, eau.

ملخص:

يتأثر الطريق الولائي رقم 135B (CW B 135) الواقع ببوراوي بلهاتف بإنزلاق أرضي على مستوى المقطع .PK50+100.

هذا الالاستقرار أحدث اضطرابات كبيرة على مستوى دار الشباب بالمنطقة ويشكل أيضا خطرا على مدرسة محمد بن مسعود المتواجدة أسفل المنحدر المدروس.

هذا الانزلاق يؤثر على المارل الجيري والمارل شبيست المكونة للمنحدر الخاضع لثقل مبنى دار الشباب.

من الأسباب المحتملة لهذا الانزلاق عامل الماء، والخصائص الداخلية للتربة، الانحدار الكبير نسبيا للمنحدر فضلا عن الثقل المطبق من قبل دار الشباب على قمته.

درسنا استقرار المنحدر قبل وبعد تعزيره باستخدام البرنامج Géoslope وكود النمذجة باستعمال العناصر المحدودة PLAXIS 2D للتحقق من عامل الأمان (FS) من جهة، والتحركات وتشوهات في التربة قبل وبعد تطبيق الحلول المقترحة من جهة أخرى.

الحلول المقترحة لتحقيق الإستقرار في المنطقة المدروسة هي:

- الدعامات على شكل ستائر Palplanches
- نظام تصريف للمياه السطحية (caniveau) والمياه الجوفية (خنادق الصرف) على مستوى الموقع
- معاملات الأمان المتحصل عليها بعد تطبيق الحلول المدعمة المنحدر كافية لتحقيق الاستقرار.

الكلمات المفتاحية:

انزلاق الأرض، عامل الأمان، عدم الاستقرار، الماء

Abstract

The road section of Wilaya Road No. 135 B (CW 135 B) in the locality of Bouraoui BelhadeF is affected by a landslide at its PK 50 100.

This instability has led to major disorders in the youth center and may threaten the high school 'Mohamed Benmessaoud' that is at the foot of the embankment in question.

The sliding, object of our study is manifested in limestone marls and schistose marls on a slope loaded at the head by a house of young people.

The probable causes of this shift are the presence of water, the lithological nature of the soils, the incline more or less important of the slope as well as the overloads exerted by the house of young at his head.

We studied the stability of the embankment before and after reinforcement, using the Geoslope software and the 2D PLAXIS finite element modeling code, in order to verify on one side the safety factor (FS), and displacements and deformations in the ground before and after the work of comfort proposed.

The proposed solutions to stabilize this terrain are:

- A sheet pile retaining curtain
- A drainage system for surface water (gutter) and groundwater (drainage trenches) at the site level

the safety coefficients obtained after consolidation of the slope are satisfactory.

Key words:

Landslide, safety coefficient, instability, water.

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	
Chapitre I : Contexte géologique de la zone étudiée	
I.1. Introduction	1
I.2. Synthèse litho stratigraphique de la région d'étude	2
I.2.1. Terrains primaires	2
I.2.2. Terrains secondaires	2
I.2.3. Terrains tertiaires	2
I.2.3.1. Oligo-Miocène Kabyle et les olistostromes	2
I.2.3.2. Flysch numidien	3
I.2.4. Terrains quaternaires	4
Chapitre II : Contexte hydrogéologique	
II.1. Analyse des caractéristiques hydro- climatiques	5
II.1.1. Les précipitations	5
II.1.1.1 Réseau hydrographique	6
II.1.2. Les températures	7
II.1.3. Relation températures – précipitations	9
II.1.4. L'humidité	9
II.15. L'aridité	10
II.2. Bilan hydrique	12
II.2.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	13

II.2.2. Evapotranspiration réelle (ETR)	13
II.2.3. Estimation de ruissellement (R)	14
II.2.4. Estimation de l'infiltration	14
II.3. Conclusion	16
Chapitre III : Contexte géotechnique	
III.1. Introduction	17
III.2. Campagne géotechnique réalisée pour le site étudié	18
III.3. Essais in-situ	18
III.3.1. Les sondages carottés	18
III.3.2. Essai de pénétromètre dynamique	20
III.4. Essai d'identification des sols	22
III.4.1. Analyse granulométrique	22
III.4.2. Limites d'Atterberg	23
III.4.3. Paramètres d'état	24
III.4.4. Essai mécanique	25
III.4.4.1. Essai de cisaillement à la boîte de Cassagrande	25
III.5. Synthèse des données géotechniques	26
III.6. Etude de stabilité	27
III.6.1. Indicateurs du glissement sur le site étudié	27
III.6.2. Causes probables du glissement étudié	27
III.6.3. Danger de glissement	28

III.6.4. Type de glissement	28
III.7. Système de confortement par palplanche	29
III.7.1. Caractéristiques des rideaux des palplanches utilisé	30
III.7.2. Méthodes de calcul de stabilité d'un talus	30
III.8. Analyse numérique de la stabilité du talus étudié	31
III.8.1. Logiciel Géo-studio (Géoslope/W)	32
III.8.2. Logiciel PLAXIS	33
III.9. Calcul numérique de la stabilité du talus étudié	34
III.9.1. Calcul avec Géo-studio (Géoslope/W)	36
III.9.1.1. Stabilité du talus avant le confortement	36
III.9.1.2. Stabilité du talus après le confortement	38
III.9.2. Modélisation avec PLAXIS	43
III.9.2.1. Talus avant le confortement	43
III.9.2.2. Talus après le confortement	44
III. Conclusion	45
Conclusion et recommandation	
Annexe	

Liste des Figure :

Figure I.1. Image satellitaire de la région de Bouraoui BelhadeF.

Figure I.2. Coupe géologique représentant les unités alpines de la région de Bouraoui BelhadeF.

Figure I.3. Carte géologique de Bouraoui BelhadeF (kebab et Bougeroudja 2005)

Figure II. 1. Précipitations moyennes mensuelles (2003 -2014, station Settara).

Figure II.2. Carte de réseau hydrographique de Bouraoui BelhadeF.

Figure II.3. Températures moyennes mensuelles (2003 -2014 station Settara).

Figure II.4. Diagramme Ombrothermique (2003-2014, station Settara).

Figure II.5. Représentation graphique du bilan hydrique par la méthode de THORNTWAITE
(2004-2014, Station Settara).

Figure III .1. Image satellitaire de zone d'étude (Google Earth).

Figure III .2. Sondage carotté 1.

Figure III .3. Sondage carotté 2.

Figure III .4. Implantation des sondages pénétromètres sur site étudié.

Figure III .5. (a et b). Analyse granulométrique par tamisage.

Figure III .6. Analyse granulométrique par sédimentation.

Figure III .7. Fissures et dégradations importantes de structure de la maison de jeunes.

Figure III.8. Fissures de traction sur le talus en question.

Figure III.9. Page de travail de logiciel Géoslope.

Figure III.10. Sous –Programme Input.

Figure III.11. Sous –Programme Calculation.

Figure III.12. Sous –Programme Output.

Figure III.13. Sous –Programme Curves.

Figure III.14. Présentation de talus naturel sur Géoslope.

Figure III.15. Valeur du facteur de sécurité (Fs) selon la méthode de Bishop (logiciel Géoslope).

Figure III.16. Facteur de la sécurité en présence de nappe.

Figure III.17. Stabilité du talus en absence de nappe avec palplanche ancrée à 6 m (Bishop).

Figure III.18. Stabilité du talus en présence de nappe avec palplanche ancrée à 6 m (Janbu).

Figure III.19. Stabilité du talus en absence de nappe avec palplanche ancrée à 10 m de profondeur (méthode de Bishop).

Figure III.20. Stabilité du talus en présence de nappe avec palplanche ancrée à 10 m de profondeur (méthode de Janbu).

Figure III.21. Stabilité du talus sans palplanche en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation de Maillage)

Figure III.22. Stabilité du talus sans palplanche en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation total).

Figure III.23. Stabilité du talus avec palplanche ancrées à 10m en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation du Maillage).

Figure III.24. Stabilité du talus sans palplanche ancrées à 10m en utilisant le logiciel PLAXIS (déformation totale).

Liste des Tableaux

- Tableau II.1.** Précipitations moyennes mensuelles (Station de Settara, 2004-2014).
- Tableau II.2.** Température moyenne mensuelle (Station de Settara, 2004-2014).
- Tableau II.3.** Rapport précipitation température.
- Tableau II.4.** Classification en fonction du rapport P/T.
- Tableau II.5.** Indice de l'aridité.
- Tableau II.6.** Classification 'De Martonne'.
- Tableau II.7.** Evapotranspiration selon la formule de THORNTHWAITE.
- Tableau II.8.** Évapotranspiration réelle.
- Tableau II.9.** Ruissellement.
- Tableau II.10.** Infiltration.
- Tableau II.11.** Bilan hydrique.
- Tableau III.1.** Consistance de la campagne géotechnique réalisée.
- Tableau III.2.** La situation des essais in-situ dans le site étudié.
- Tableau III.3.** Lithologie du site étudié.
- Tableau III.4.** Résultats de l'essai du pénétromètre dynamique lourd.
- Tableau III.5.** Résultats de l'essai granulométrique.
- Tableau III.6.** Résultats des limites d'Atterberg.
- Tableau III.7.** Classement des sols en fonction de l'indice de consistance.
- Tableau III.8.** Caractéristique physique des sols étudiés.
- Tableau III.9.** Les résultats de l'essai de cisaillement.
- Tableau III.10.** Paramètres mécaniques du sol de la zone d'étude.
- Tableau III.11.** Les différentes catégories des palplanches.
- Tableau III.12.** Valeurs nominales de limites d'élasticité f_y et résistance ultime à la traction f_u pour les palplanches proposées dans cette étude (EN 10248-1).
- Tableau III.13.** Des palplanches géotechniques du sol étudié.
- Tableau III.14.** Caractéristiques des palplanches utilisées.
- Tableau III.15.** Présentation du talus naturel sur Géoslope.
- Tableau III.16.** Facteurs de sécurité en présence de nappe (état initial du talus).
- Tableau III.17.** Valeurs du facteur de sécurité en présence et en absence de nappe (palplanche de 6m).
- Tableau III.18.** Facteurs de sécurité du talus avec des palplanches ancrées à 10m de profondeur.

Les glissements de terrains sont parmi les mouvements de masse les plus répandues à la surface. Ce phénomène est considéré comme un danger qui se produit généralement dans des sols meubles à faible cohésion qui peuvent suite à des circonstances très variables, notamment dans les périodes pluvieuses intenses avec des précipitations prolongées, additionnement de la disposition la géologique et la géomorphologique de terrain, la mécanique des sols et les différents tremblements de terre (séismes, explosions souterraines ou sous-marines, etc.), engendrer des importants dégâts humains, matériels et par conséquent économiques quantifier par de grandes pertes.

Pour cela, il faut les traiter beaucoup d'attention afin de mieux cerner ce phénomène, de prendre les précautions nécessaires et d'envisager les solutions les plus adéquates.

L'étude des glissements s'établit par plusieurs méthodes plus ou moins sophistiquées telle que, la méthode des tranches ou les méthodes par éléments finis. Cette méthode vise à découper la masse en mouvement en tranches verticales. Au moment de la rupture, il s'y développe des efforts résistants et des efforts moteurs, et par la suite chercher un coefficient de sécurité qui est le rapport entre les deux moments avec une marge de sécurité vis-à-vis de la rupture du sol, c'est-à-dire, on cherche le coefficient de sécurité le plus faible. Par la suite l'amélioration de la stabilité des terrains nécessite l'augmentation de ce coefficient à une marge plus sécuritaire.

Le présent travail a pour objet d'étudier, en utilisant les rideaux de palplanche, la stabilité d'un glissement de terrain se trouvant sur le Chemin de Wilaya CW 135B, au niveau du point Kilométrique PK 50+100 à l'entrée Nord du chef-lieu de la commune de Bouraoui Belhadef, Cette dernière située dans la région d'El-Ancer, à une soixantaine de kilomètres au Sud-Est de la Wilaya de Jijel...

Cette étude est proposée dans le but d'approfondir les connaissances sur les propriétés géologiques et géotechniques des sols instables afin de proposer les solutions les mieux appropriées aux problèmes posés. La méthodologie suivie se base sur :

- Une consultation des travaux et des études géologiques antérieures avec le sujet d'étude que ce soit sur le plan géologique, sur le plan hydrologique ou sur le plan géotechnique. Aussi des cartes géologiques et topographiques avec le thème ;

Introduction générale

- Des sorties de terrain sur la région d'étude (observations sur site et réalisation des coupes géologiques).
- Une analyse des résultats obtenus lors des études réalisées par la direction des travaux publics (DTP) de Jijel.

Pour cela le plan de travail sera organisé comme suit :

Introduction générale ;

Chapitre I : Contexte géologique ;

Chapitre II : contexte hydrologique ;

Chapitre III : Étude géotechnique ;

Conclusion générale et recommandations.

Chapitre I

Contexte Géologique

I.1. Introduction

L'étude de la stabilité d'un glissement de terrain passe nécessairement par une étude des formations géologiques du site, tant au niveau de la géométrie que de la stratigraphie. En effet les glissements de terrain affectent des formations géologiques pluri métriques voire même plurikilométriques. L'instabilité étudiée dans ce mémoire est localisée dans les formations géologiques dites de l'Oligo- Miocène Kabyle (OMK). Ces dernières présentent des zones reconnues par leur grande exposition au risque de glissements de terrain.

Au voisinage des formations de l'OMK on retrouve les formations appartenant au Socle Kabyle, au flysch numidien et aux dépôts récents du Quaternaire.

- **Situation de projet**

Le site objet de notre étude se trouve sur l'axe routier du CW 135B au PK 50+100 à L'entrée NORD du Chef-lieu de la commune de BELHADEF. La zone présente un problème sérieux d'instabilité à côté du lycée 'Mouhamed Ben Messaoud'.

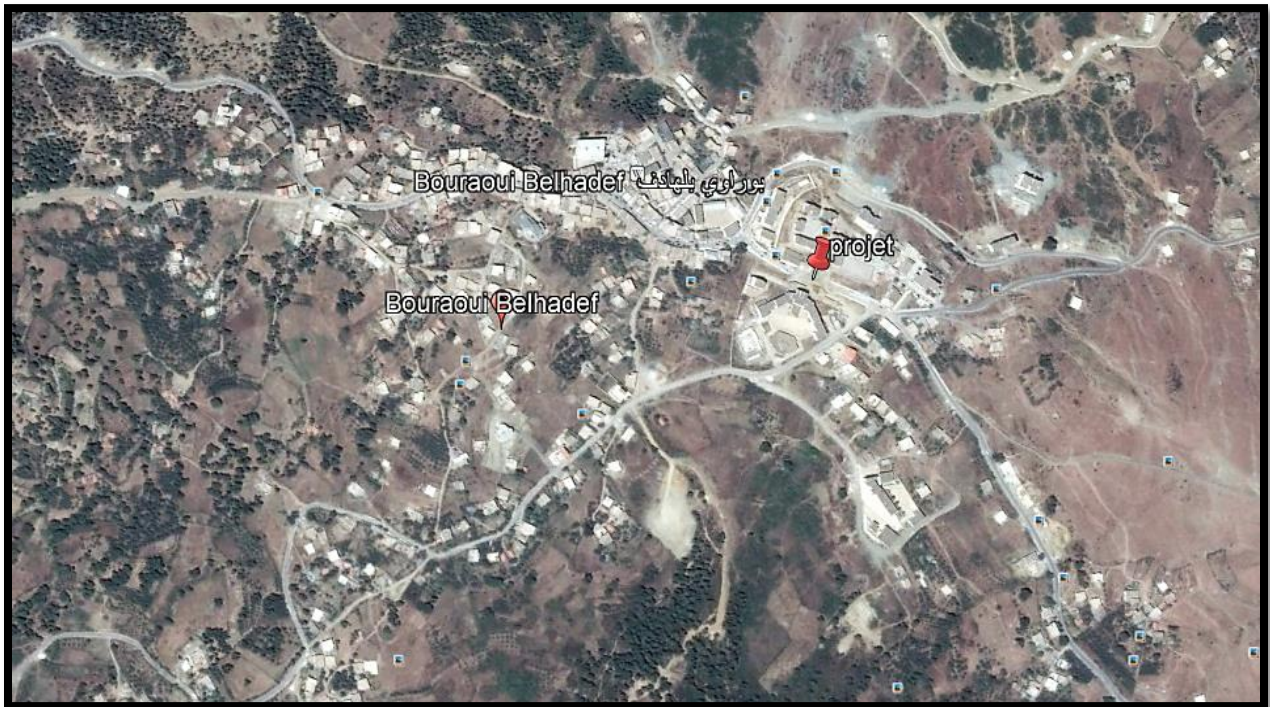


Figure I.1 : Situation de la zone étudiée.

I.2. Synthèse litho stratigraphique de la région d'étude

Afin de mieux cerner le problème de l'instabilité étudiée, nous allons présenter dans ce qui suit une synthèse litho stratigraphique des formations qui affleurent dans la région d'étude.

I.2.1. Terrains primaires

Ils sont représentés par les formations cristallophylliennes du socle de la « Petite Kabyle » occidentale, ce dernier comprend deux ensembles : un ensemble inférieur gneissique et un ensemble supérieur phylladique moins métamorphique (Djellit, 1987 ; Delga ,1955).

Les formations du « Socle Kabyle » affleurent au voisinage de la région d'étude. Elles occupent la totalité de la partie située au Nord du village de Bouraoui Belhadef où sont dominés par les phyllades à nombreux boudinages de quartz de l'ensemble supérieur.

I.2.2. Terrains secondaires

Les terrains secondaires n'affleurent pas dans notre zone d'étude, leur description n'est abordée qu'à titre indicatif.

Les terrains secondaires sont représentés par le flysch maurétanien (typiquement flysch de Guerrouch) et le flysch massylien (typiquement flysch schisto-gréseux) qui sont caractérisés par une sédimentation turbiditique au Crétacé inférieur, ainsi que les formations appartenant au domaine tellien caractérisées par une sédimentation épaisse carbonatée d'âge Mésozoïque et Cénozoïque (Vila, 1980). Ces terrains se présentent sous forme d'olistolites (unités exotique noyées dans la molasse marneuse de l'olistostrome.

I.2.3. Terrains tertiaires

Ils sont représentés dans la région d'étude par les formations de l'Oligo- Miocène Kabyle (OMK) et l'olistostrome ainsi que les formations appartenant au flysch numidien.

I.2.3.1. Oligo- Miocène Kabyle et les olistostromes

Ces formations recouvrent l'essentiel de la région étudiée. Elles constituent la couverture sédimentaire transgressive et discordante du « Socle Kabyle ».

➤ Oligo- Miocène Kabyle

Comprend trois termes du bas en haut :

- Des conglomérats reposant en discordance sur le socle Kabyle dont l'épaisseur peut aller de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres (Durand Delga, 1955 ; Bouillin, 1977).
- Des grés micacés grossiers à débris provenant du socle Kabyle
- Une série pélitique à siléxites.

➤ Olistostrome

Ce sont des formations tectono-sédimentaires de nature et de taille diverses (blocs de flysch mauritanien, massylien et numidien, mais aussi des blocs du tellien et du flysch dissocié dans une matrice marneuse, parfois gréseuse ou argileuse). Ces formations olistostromiques se sont mises en place dans le bassin de l'OMK (Djellit, 1987).

Cette formation occupe la plus grande partie de notre site d'étude.

I.2.3.2. 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 quatre termes qui sont en continuité stratigraphique

- Un terme de base comportant des argiles sous numidiennes à tubatommaculum.
- Une alternance de banes mince argilo gréseuse d'environ 15m d'épaisseur.
- Un terme médian formé de grés à grains hétérométriques à dragées de quartz (Djellit, 1987 ; Rouikha, 2008).
- Un terme supérieur comportant des argiles supra numidiennes de couleurs verdâtres à rouge sombre.

Les formations du flysch numidien affleurent entre Bouraoui Belhadeff et El Mharka au Nord. Elles sont représentées par des argiles vari colores ou argiles sous numidiennes et des grès numidiens jaunâtres à dragées de quartz.

I.2.4. Terrains quaternaires

L'intense érosion qui caractérise le Quaternaire fournit en abondance des éléments détritiques, ces derniers se sont déposés en épandage sur les terrains antérieurs étalés par les cours d'eau (alluvions), et les terres culturales.

La figure I.2 représente une coupe géologique montrant les unités alpines rencontrées dans la région de Bouraoui Belhadef.

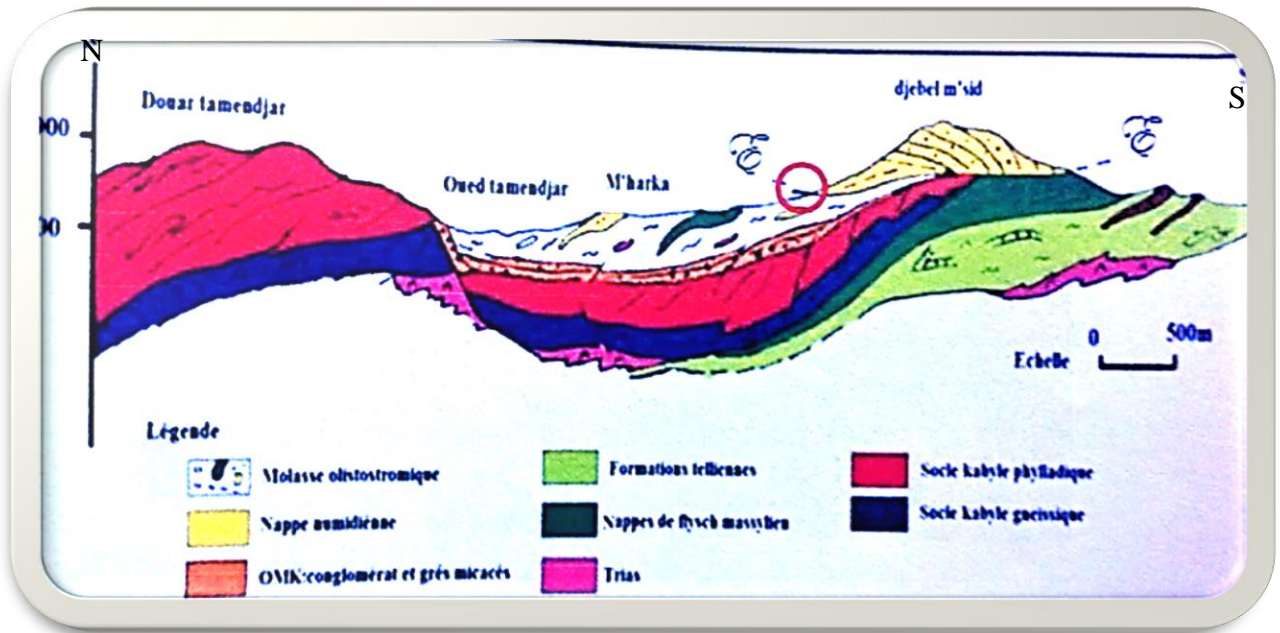


Figure I.2 : coupe géologique représentant les unités Alpines de la région de Bouraoui Belhadef (Rouikha ; 2016) in (Bouanane et Bouafina, 2016)

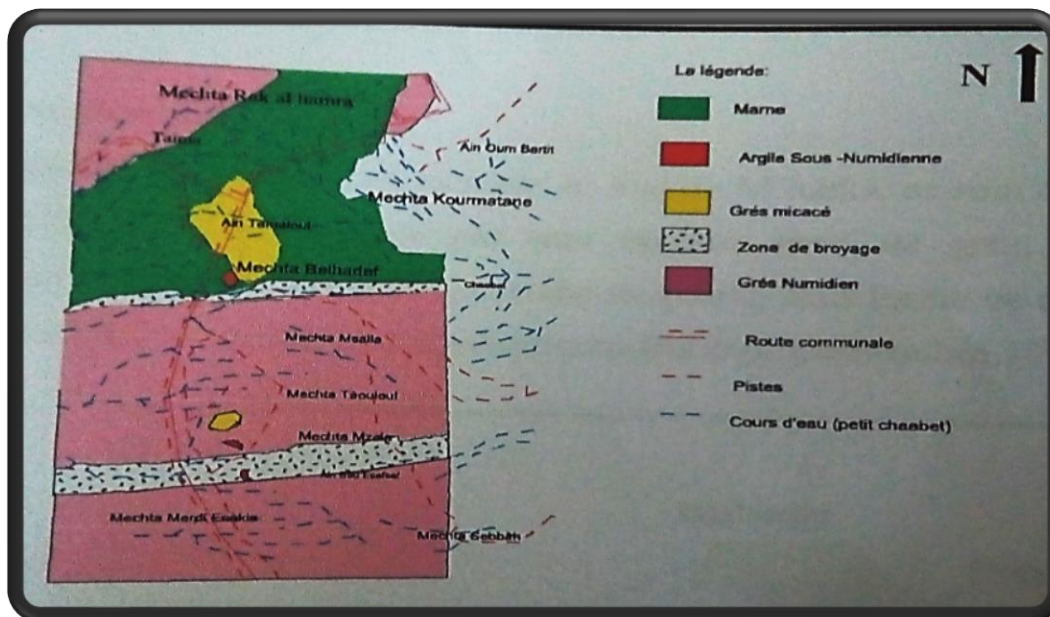


Figure I.3 : Carte géologique de Bouraoui Belhadef (kebab et Bougeroudja 2005)

Chapitre II

Contexte

Hydrogéologique

II.1. Analyse des caractéristiques hydroclimatiques

Le but de ces analyses est de connaître le système climatique et les paramètres climatiques de la région de Bouraoui Belhadeff (wilaya de Jijel).

II.1.1. Précipitations

Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui se forment après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourdes pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre. Ces précipitations sont de plusieurs natures, parmi les plus fréquentes, on peut citer : la pluie, la neige et la grêle.

Le climat d'El-Ancer est un climat méditerranéen qui se caractérise par :

Un été chaud et des températures variant entre 25-35 °C ;

Et un hiver doux et humide, avec des températures variant entre 5 et 20 °C.

La région étudiée reçoit en moyenne plus de 1000 mm de pluie par an.

- **Les précipitations moyennes mensuelles** : Les données climatiques enregistrées en de la Station de Settara du vont la période 2004-20014.

Tableau II.1. Précipitations moyennes mensuelles (station de Settara, ANRH, 2004-2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P (mm)	71,48	83,27	155,62	173,41	137,3	149,81	125,4	91,66	50,12	18,67	1,14	7,07	1065
	Automne			Hiver			Printemps			Été			
	310,37			460,52			267,18			26,88			

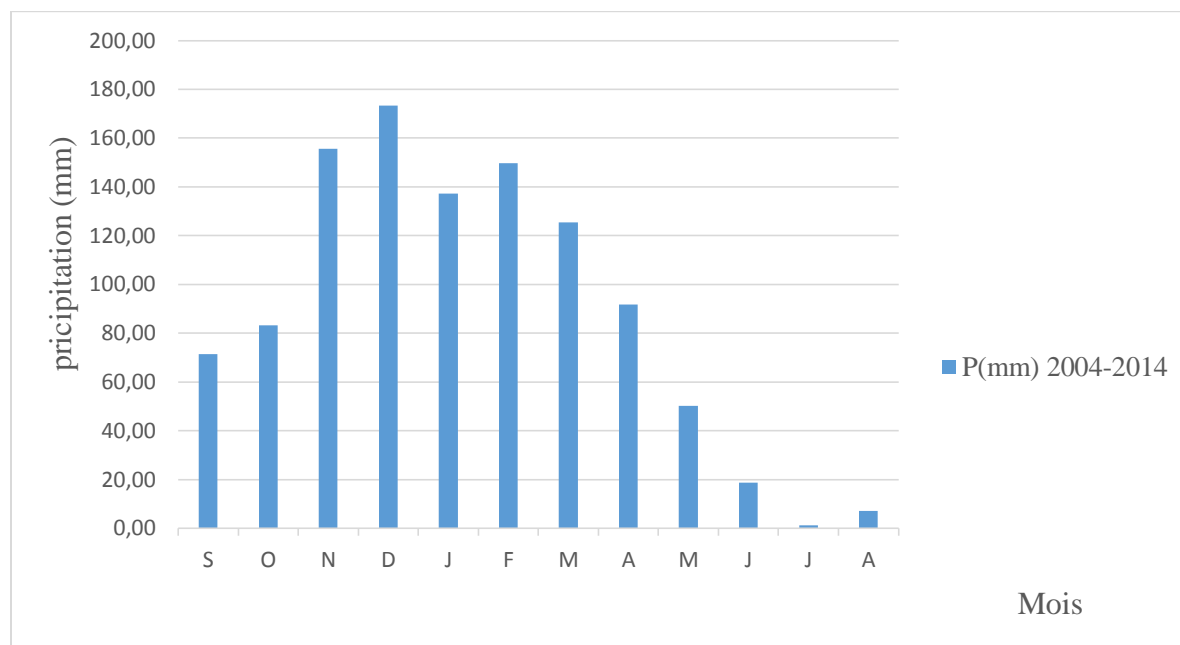


Figure II .1 : Précipitations moyennes mensuelles (station Settara, 2004-2014).

D'après le (Tableau II.1) et le graphique de la figure II.1 on remarque que les précipitations moyennes mensuelles maximales enregistrées au mois de décembre sont **173,41 mm**, Le mois le plus sec est le mois de juillet avec une moyenne mensuelle enregistré de **1,14mm**.

Les précipitations moyennes de la saison Hiver égale à **460,52 mm**, la saison Automne égale à **310,37mm**, et les précipitations moyennes de la saison Printemps est égale **267,18mm** et dans la saison Eté égale **26,88mm**.

II.2.1.1. Réseau hydrographique

Les importantes précipitations que reçoit chaque année notre région étudiée ont permis le développement du réseau hydrographique que nous donnons en figure

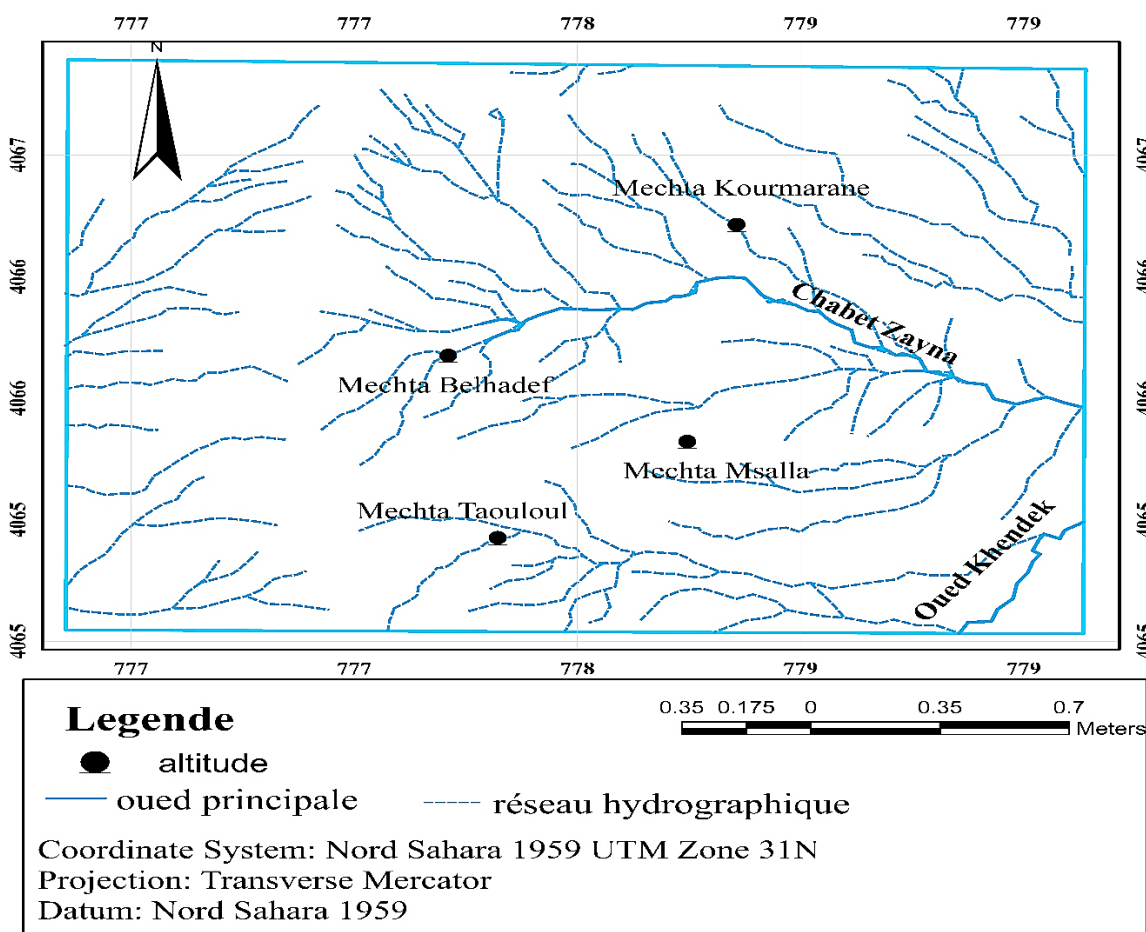


Figure II.2. Réseau Hydrographique de Bouraoui BelhadeF

II.1.2. Températures

Le facteur de température est très important dans les études hydrologiques, il affecte de nombreux facteurs tel que l’humidité, l’aridité, etc.

Tableau II.2 : Températures moyennes mensuelles (station de Settara, 2004-2014).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (C°)	23,76	19,21	15,85	12,89	11,82	11,44	13,92	16,67	19,64	23,57	21,28	24,18	19
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
	19,60			12,05			16,74			23,01			

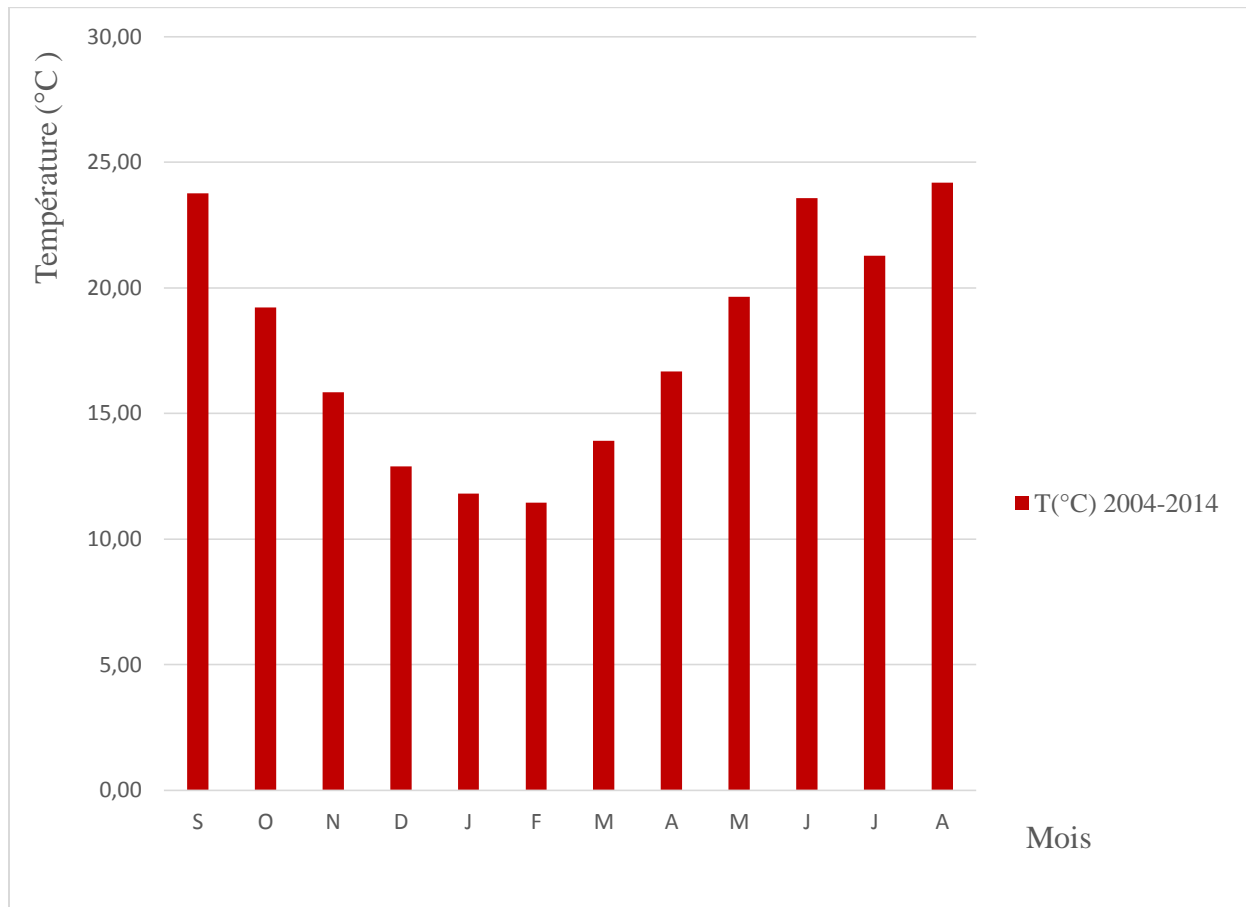


Figure II. 2 : Températures moyennes mensuelles (station de Settara, 2004-2014).

Les températures moyennes de la saison Hiver est égale **12,05 °C**, et la saison Automne égale **19,60 °C**, et égale **16,74 °C** dans la saison Printemps, et aussi dans la saison Eté égale à **23,01°C**.

II.1.3. Relation températures– précipitations

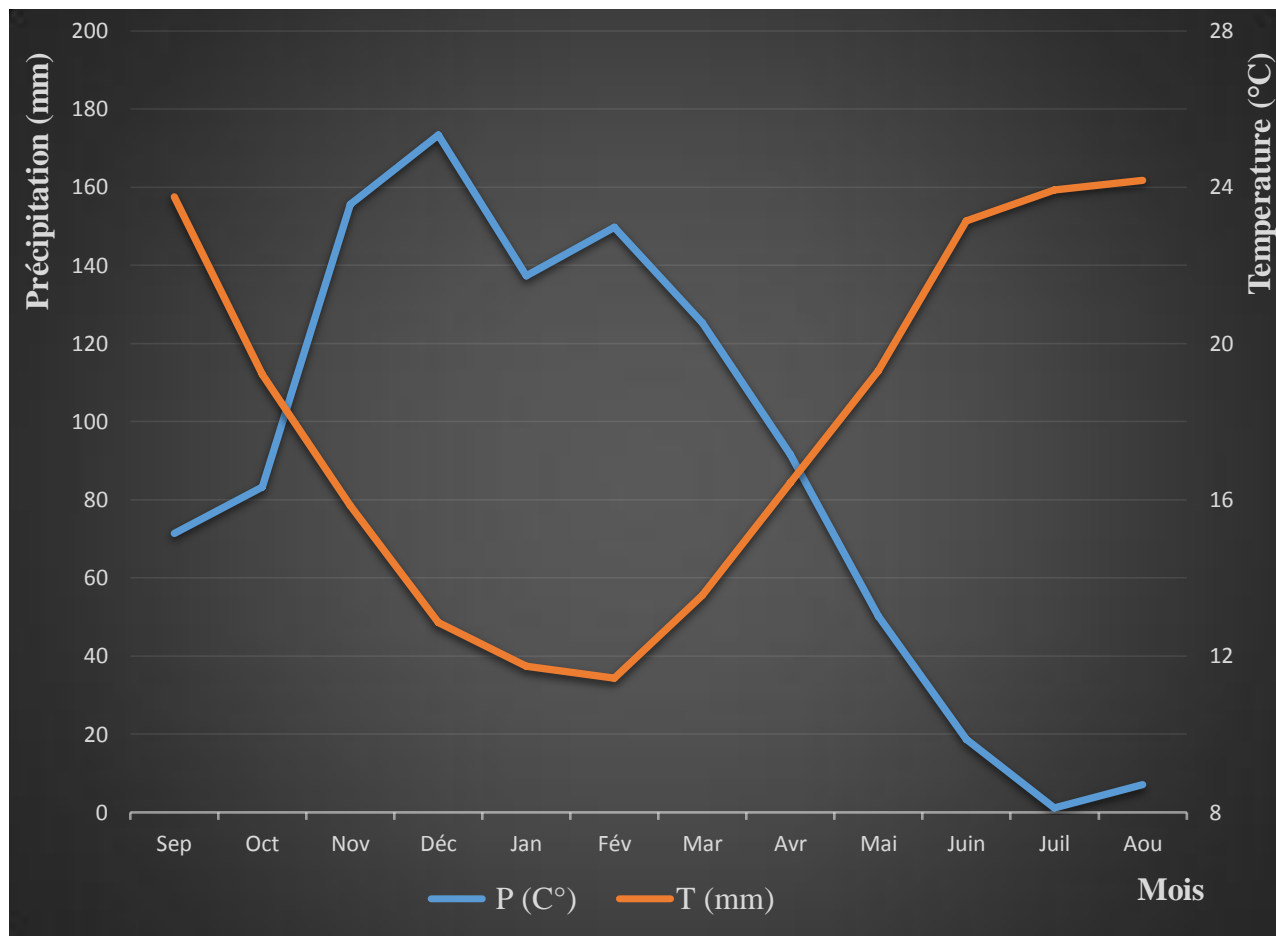


Figure II. 3 : Diagramme Ombrothermique (station de Settara, 2004-2014).

On remarque d'après le diagramme deux périodes : la première période dite la saison humide débute d'Octobre jusqu'au Avril, caractérisé par des températures faibles et des fortes précipitations. La deuxième période est dite la saison sèche étend du mois de Avril vers le mois Novembre.

II .1 .4. L'humidité

Le terme humidité correspond à une présence d'eau dans l'air, elle est considérée comme le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation à la même température, l'humidité est exprimée en pourcentage %.

Tableau 3 : le rapport précipitation température de la région étudiée

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
P (mm)	71.47	83.27	155.62	173.41	137.30	149.81	125.40	91.66	50.12	18.67	1.14	7.06	88.74
T (°C)	23.76	19.21	15.85	12.89	11.82	11.44	13.92	16.67	19.64	23.57	21.28	24.18	19
P/T	3.01	4.34	9.82	13.46	11.62	13.10	9.01	5.50	2.55	0.79	0.05	0.29	4.70
Régime	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Subhumide	Très sec	Très sec	Très sec	Humide

Tableau 4 : classifications en fonction de rapport P/T

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

Du Tableau 4, la région étudiée est classée comme humide du fait que le rapport P/T de cette dernière est de l'ordre de 4,70.

II .1.5. L'aridité (l'indice de Martonne).

Le terme aridité est le résultat de la combinaison de la faiblesse des précipitations et de la puissance de l'évaporation. L'indice de l'aridité est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles. L'indice de Martonne est défini comme par la relation suivante :

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

Avec :

T : température moyenne annuelle en (°C).

p: précipitations moyennes annuelles en (mm).

A : indice de Martonne (mm /T).

Tableau 5 : l'indice de l'aridité

Mois	P (mm)	T (°C)	A (mm/T)
S	71,47	23,8	2,12
O	83,27	19,2	2,85
N	155,62	15,8	6,02
D	173,41	12,9	7,58
J	137,30	11,8	6,29
F	149,81	11,4	6,99
M	125,40	13,9	5,24
A	91,66	16,7	3,44
M	50,12	19,6	1,69
J	18,67	23,6	0,56
J	1,14	21,3	0,04
A	7,06	24,18	0,21
Annuel	1064,95	18,86	36,90

Tableau 6 : Classification des climats selon l'indice de Martonne

Indice (A) (mm/T)	A<5	5<A<7,55	7,55<A<10	10<A<20	A>20
Type de climat	Hypersec	Désertique	Steppique	Semi-aride	Tempère

L'indice de Martonne de la région étudiée est égal 36,90 (mm) ce qui indique un climat **tempère**.

II.2. Bilan hydrique

L'équation utilisons pour calculer l'(ETP) est celle de THORNTHWAITE :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

ETR : évapotranspirations réelles en (mm).

R : ruissellements en (mm).

I : infiltrations en (mm).

II. 2.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

$$\mathbf{ETP \text{ (mm)} = 16(10T/I)^a}$$

$$\mathbf{ETP_c \text{ (mm)} = ETP \times K}$$

Avec :

$$\mathbf{I = \sum i ; i=(T/5)^{1,514}}$$

$$\mathbf{a = 0,016 (I) + 0,5}$$

T : température moyenne du moins considère.

K : coefficient d'ajustement mensuel.

ETP : évapotranspiration potentielle du moins considère.

I : indice thermique.

Tableau 7 : l'évapotranspirations dans la région d'étude

Mois	P (mm)	T (°C)	I	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
S	71,47	23,8	10,58	108,32	1,03	111,57
O	83,27	19,2	7,67	73,09	0,96	70,17
N	155,62	15,8	5,73	51,23	0,84	43,03
D	173,41	12,9	4,19	34,94	0,83	29,00
J	137,30	11,8	3,68	29,75	0,86	25,59
F	149,81	11,4	3,50	28,02	0,83	23,25
M	125,40	13,9	4,71	40,27	1,03	41,48
A	91,66	16,7	6,19	56,26	1,1	61,89
M	50,12	19,6	7,93	76,15	1,22	92,91
J	18,67	23,6	10,46	106,80	1,23	131,36
J	1,14	21,3	8,96	88,37	1,25	110,46
A	7,06	24,18	10,87	111,93	1,17	130,96
Annuel	1065	18,86	84,49	805,13	1,03	828,61

II .2.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

On utilise la méthode de THARNTHWAITE

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

Tableau 8 : valeur de l'évapotranspiration réelle dans la région étudiée

Les paramètre	P(mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Les valeurs	1065	18,86	1106,92	436.01

II .2.3. Estimation de ruissellement (R)

$$R = \frac{P3}{3(ETPC)2}$$

Avec :

R : ruissellements annuelles (mm).

P : précipitations annuelles (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

Les paramètre	P(mm)	ETPc (mm)	R(mm)
Les Valeur	1065	882,276	586,36

Tableau 9 : valeur des ruissellements dans la région étudiée

II. 2 .4. Estimation de l'infiltration

La formule utilisée pour calculer l'infiltration est la suivante :

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

Avec :

I : infiltrations (mm).

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

P : précipitations annuelles (mm).

R : ruissellements annuelles (mm).

Tableau 10 : valeur des infiltrations dans la région étudiée.

Les paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Les valeurs	1065	436,01	586,36	42,57

$$I (\text{mm}) = I * 100 / 1064,95 = 4 \%$$

La quantité de l'infiltration très faible par rapport à la quantité des précipitations et à celle des ruissellements.

Tableau 11 : Résultat du Bilan hydrique

Mois	P(mm)	ETPC (mm)	ETR (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	EXC (mm)	Da (mm)
S	71,48	111,23	71,48	-39,75	0,00	0,00	39,75
O	83,27	69,71	69,71	13,56	0,00	0,00	0,00
N	155,62	42,62	42,62	113,00	100,00	13,00	0,00
D	173,41	28,54	28,54	144,87	100,00	144,87	0,00
J	137,30	24,94	24,94	112,36	100,00	112,36	0,00
F	149,81	22,91	22,91	126,90	100,00	126,90	0,00
M	125,40	39,04	39,04	86,36	100,00	86,36	0,00
A	91,66	59,77	59,77	31,89	100,00	31,89	0,00
M	50,12	89,46	50,12	-39,34	92,55	0,00	39,34
J	18,67	126,52	18,67	-107,85	0,00	0,00	107,85
J	1,14	136,95	1,14	-135,81	0,00	0,00	135,81
A	7,06	130,59	7,06	-123,53	0,00	0,00	123,53
Total	1064,95	825,15	436,01			415,33	446,28

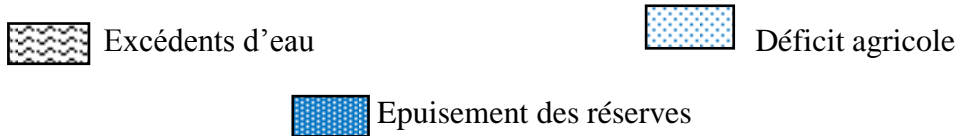
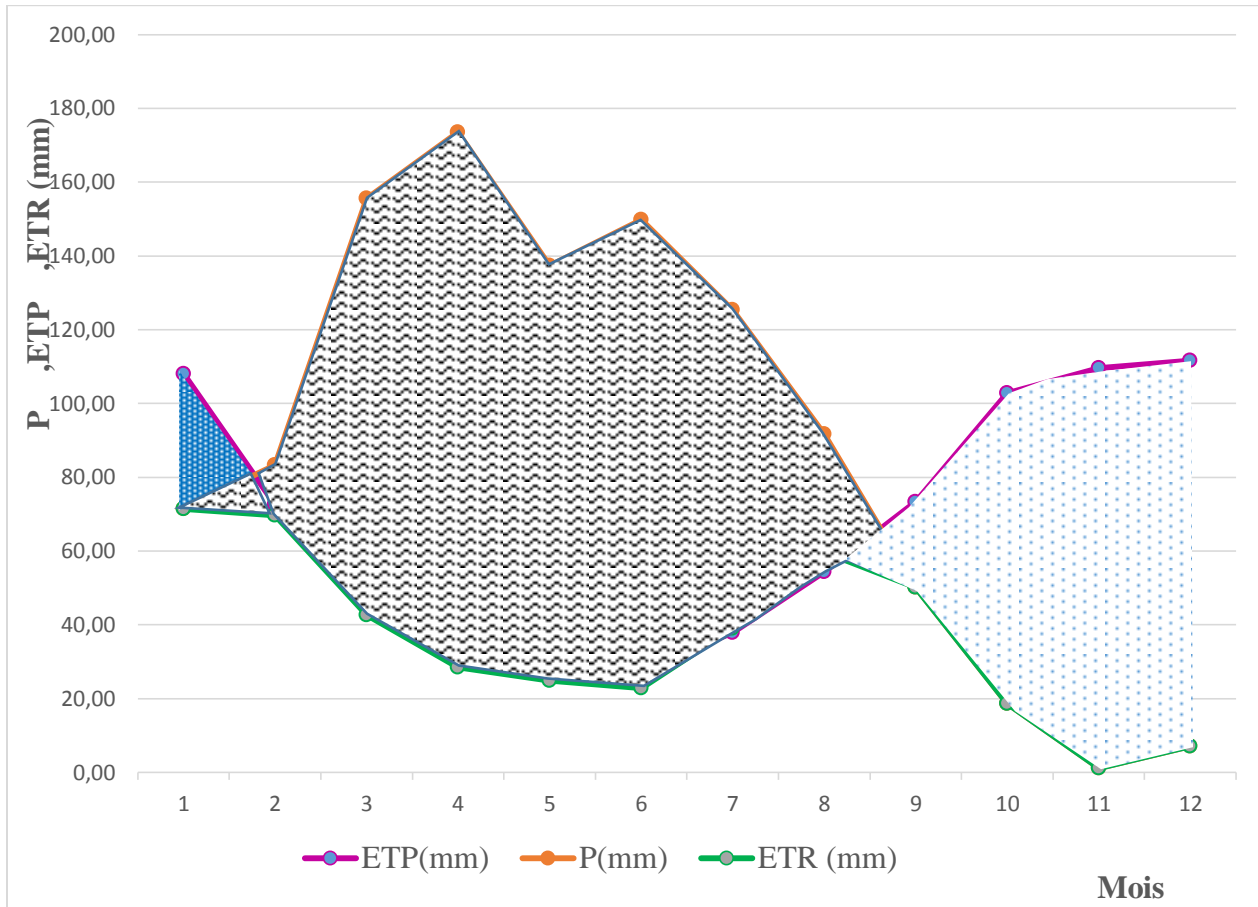


Figure 5 : Représentation graphique du bilan hydrique par la méthode de THORNTHWAITE (Périodique 2004-2014, station Setarra).

II.3. Conclusion

La région de Bouraoui Belhadef est caractérisée par un climat tempéré avec des précipitations annuelles de l'ordre de 1065 mm et une température moyenne d'environ 19 °C.

Chapitre III

Etude Géotechnique

III.1. Introduction

L'étude géotechnique sera consacrée en premier lieu à un travail de diagnostic pour définir les causes probables de l'instabilité étudiée, par la suite une étude de stabilité du talus en question est réalisée pour définir l'état d'équilibre de ce dernier par le biais du facteur de sécurité (Fs) qui sera calculé par le logiciel Géoslope (Géo-studio).

Après, des solutions de confortement seront proposées afin de résoudre le problème d'instabilité et une nouvelle vérification sera faite pour confirmer de l'efficacité des solutions proposées.

A la fin de cette partie une modélisation numérique du talus étudié par le logiciel PLAXIS 2D (V-8.2) dans le but d'estimer les déformations et les déplacements au niveau du talus avant et après confortement.

- **Repérage de site étudié**

Bouraoui Belhadef est situé au centre de la wilaya de Jijel, elle est limitée au Nord par la commune de ELAncer et Djemaa Beni Hebibi, à l'Est par Beni Khetab et la commune de Ouled Yehya Kherdouch, à l'Ouest par Bourj Tahar et au sud par Ouled Asker.

Le site objet de notre étude se situe sur l'axe routier du chemin de wilaya CW 135B au PK 50+100 à l'entrée Nord du Chef-lieu de la commune de Belhadef. La zone étudiée présente un problème sérieux d'instabilité (Figure1).

Les coordonnées UTM de site étudié Earth sont les suivantes :

X : 241163,79 m NE

Y : 4065644,33m N »NE

Z : 500 m



FigureIII.1 : Image satellitaire de zone d'étude (Google Earth)

III.2. Campagne géotechnique réalisée pour le site étudié

Le travail de cette phase est basé sur la mission réalisé sur site et en laboratoire. Dont, le programme des reconnaissances géotechniques a été réalisé par le laboratoire CTPP (**Control Technique des Travaux Publics**). Le type de ces essais a été défini en fonction de la nature du terrain, la description du projet et d'une façon à répondre au mieux à l'objectif de cette étude. Le tableau III.1 montre des reconnaissances géotechniques.

Tableau III.1: Consistance de la campagne géotechnique réalisée.

Type d'essai	Essais	Qte	Description des essais
In-Situ	Sondages carottés de 15m de profondeur	02	L'identification visuel des sols et échantillonnage pour les essais au laboratoire
	Pénétrömètre dynamique lourd (PDL)	09	Tester la résistance des différentes couches composant le sol et la détection du sol support.
Laboratoire	Essais d'identification de sol	3	Identifier les caractéristiques physico- mécaniques des sols
	Essais mécaniques	1	Déterminer les caractéristiques mécanique des sols (c,φ)

Le tableau III.2 présente la situation des essais in-situ réalisés sur le site affecté

Tableau III.2 : la situation des essais in-situ dans le site étudié

N° sondage	Profondeur (m)	Coordonnées prévues	
		X(m)	Y(m)
SC 01	15.00 m	241174.34	4065636.47
SC 02	15.00 m	241173.47	4065653.10
Pénétrömètres dynamiques (PDL)	10 m ou refus	Maillage	

III.3. Essais in-situ

III.3.1. Sondages carottés

Les sondages carottés vont permettre d'effectuer des mesures in situ et, éventuellement, des prélèvements d'échantillons pour des essais de laboratoire.

Les sondages carottés permettent de nous donner plusieurs renseignements tels que la reconnaissance de la lithologie, faire une coupe précise du terrain, le repérage des zones instables, instables, des piézomètres et de prendre des échantillons intacts au laboratoire pour faire les essais d'identifications physico-mécaniques.

Les sondages carottés dans notre projet sont réalisés, à l'aide d'une sondeuse mécanique jusqu'à une profondeur de 15 mètres (Figure 2 et 3).



Figure III.2 : sondage carotté 1



Figure III.3 : sondage carotté 2

Le Tableau III.3 : Lithologie de site étudié

Sondage	Profondeur	Lithologie
(Sondage 01)	0 – 3 m	Remblais.
	3 - 4 m	Passage gréseux
	4 – 10,5 m	Marne schisteuse friable compacte par endroit
	10,5 - 12 m	Passage gréseux
	12 - 15m	Marne schisteuse friable compacte par endroit
(Sondage 02)	0 – 5 m	Marno-calcaire altérée jaunâtre
	5- 8,5m	Marne schisteuse consolidée grisâtre
	8,5 - 12 m	Marne schisteuse friable compacte par endroit
	12- 12,5	Passage gréseux
	12,5 - 14m	Marne schisteuse friable compacte par endroit
	14- 15 m	Passage gréseux

On remarque d'après le tableau 3 l'abondance des marnes schisteuses massives dans les sondages carottés avec des passages gréseux de l'ordre de 1 à 2 mètres, surmonter par des remblais et des massives de marno-calcaire de 3m à 5m d'épaisseur.

III.3.2. Essai de pénétromètre dynamique

L'essai consiste à battre un train de tige finissant par une pointe conique dans le sol, à l'aide d'un mouton de masse (M) tombant d'une hauteur fixe (H) et de mesurer le nombre de coups (Nd) nécessaire pour faire pénétrer la pointe sur une hauteur (h). L'essai est en général rapide, comportement de sol est donc non drainé notamment dans le cas des sols fines saturés. (Benzaid, 2011)

Cet essai permet d'une part de déterminer la résistance du sol par battage ainsi de localiser une profondeur potentielle d'assise des fondations ou des encrages.

La résistance dynamique en pointe calculée à partir de la formule Hollandaise :

$$R_p = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot e(M + P)}$$

Avec :

M : masse de mouton : 64kg.

H : hauteur de chute du mouton (m) : 0.75m.

A : section de la pointe : 20 cm²

P : masse passive associée aux poids des tiges.

e : enfoncement par coup de mouton : 20 cm.

Les sondages pénétrométriques seront réalisés, à l'aide d'un pénétromètre dynamique lourd (PDL). Nous pensons qu'il est plus logique et correct de les placer le long de profil du talus, avec la prévision d'un sondage au niveau de l'endroit des palplanches de manière à prévoir la capacité portante du sol dans le cas de la réalisation d'un système d'ancrage des palplanches.

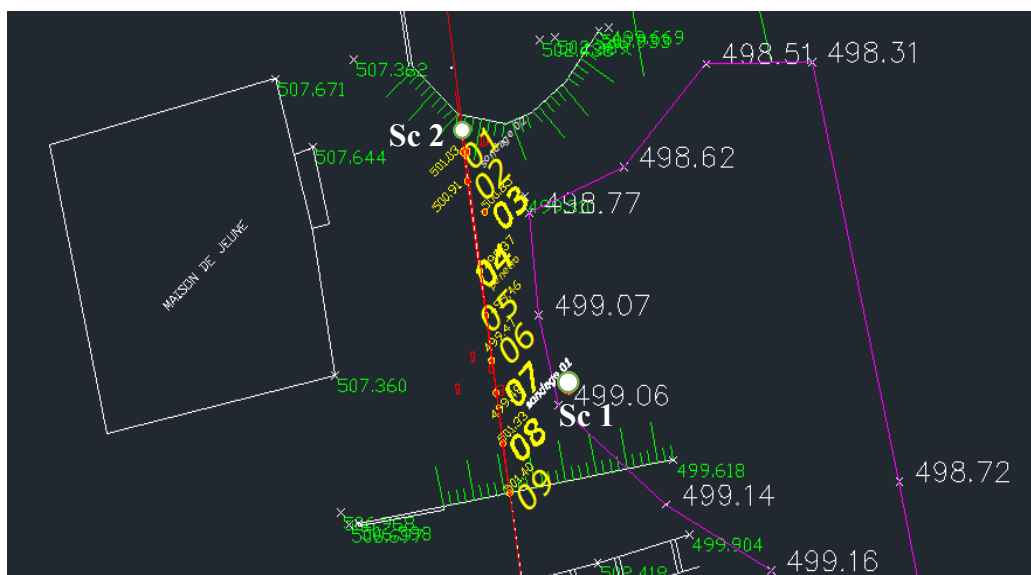


Figure III.4 : Implantation des sondages pénétrométriques sur le site étudié

Tableau III.4 : Résultats de l’essai du pénétromètre dynamique lourd

Essai	R _d moyenne en bars	Profondeur de refus (m)	Contrainte admissible q _d
1	130	5,2	6,5
2	99	5,6	4,95
3	116	7,8	5,8
4	150	2	7,5
5	118	4,8	5,9
6	96,33	4,2	4,82
7	106,3	4,2	5,31
8	75,3	4,8	3,76
9	65,75	3,6	3,28

Du tableau 4 nous remarquons l’hétérogénéité mécanique du terrain représenté par la variation de la résistance dynamique moyenne en fonction de la profondeur.

Cette variation de la capacité portante du sol d’un endroit à un autre est favorable à l’apparition des tassements différentiels.

III.4. Essais d'indentification des sols

Le Tableau ci-après présente les résultats de l'analyse granulométrique du sol au site étudié, dont l'analyse est faite sur des échantillons prélevés à partir des sondages carottés de sol extraits de la profondeur 7.6 à 9.4m du sondage N01 et 9 à 9.5m du sondage N02.

III.4.1. Analyse granulométrique

C'est un essai qui consiste à étudier la répartition et la distribution dimensionnelle des grains constituant un échantillon de sol. Deux essais en laboratoire permettent d'établir la granulométrie des sols :

- ✦ *L'analyse granulométrique par tamisage (figure05) : pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimension supérieur ou égale à 80 μm (NFP94-056) en utilisant une série des tamis de dimensions comprises entre 0,063 et 125 mm.*
- ✦ *L'analyse granulométrique par sédimentation (figure06) : pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimension inférieur à 80 μm (NFP94-056), donc elle complète l'analyse granulométrique par tamisage.*

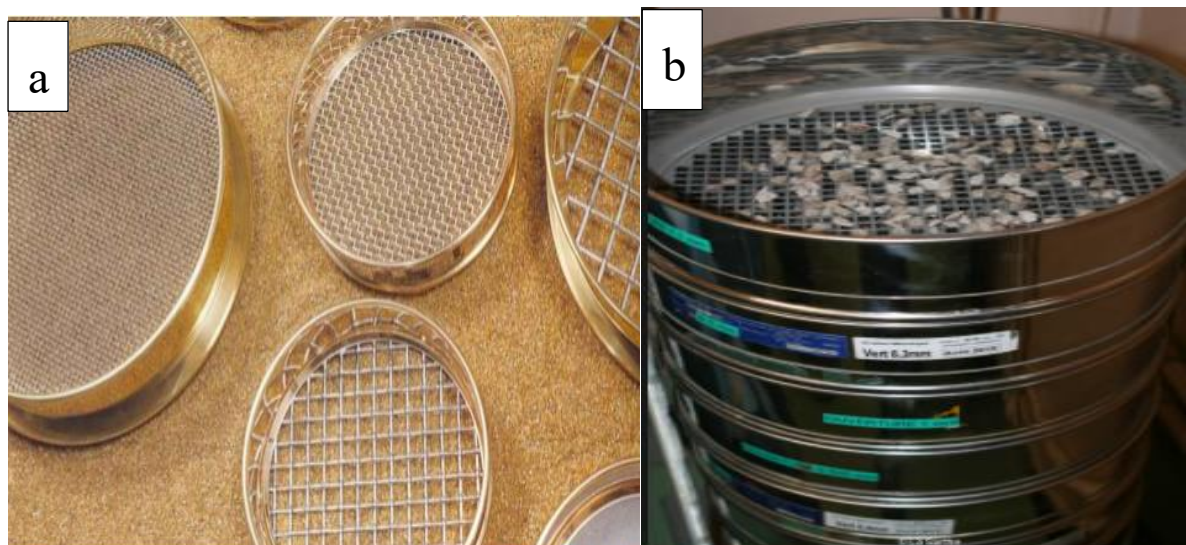


Figure III.5 (a et b) : l'analyse granulométrique par tamisage .



Figure III.6 : analyse granulométrique par sédimentation

Nous signalons que les essais d'identification ont été réalisés par le laboratoire de contrôles techniques et travaux publics - Jijiel (CTTP).

Tableau III.5 : Résultat de l'essai granulométrique

N°	Profondeur. (m)	Granulométrie et sédimentométrie (tamisât en %)											
		5 mm	2 mm	1 mm	0,4 mm	0,2 mm	0,1 mm	0,08 mm	0,06 mm	0,04 mm	0,03 mm	0,02 mm	0,01 mm
Sc.n°1	7.6/8	97	95	94	92	91	90	90	87	80	70	63	50
	9.0/9.4	93	92	92	91	90	90	89	81	78	61	47	44
Sc.n°2	9.0/9.5	100	99	98	96	96	95	95	91	87	73	58	36

Sc : sondage carotté.

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que le sol appartient à la catégorie des sols fins. Le pourcentage des fines dépasse les 89% ce qui reflète la composition des sols en question (Annex04). Il s'agit d'Argiles et Limons.

III.4.2. Limites D'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau caractéristiques des sols fins permettant entre autres d'établir leur classification et d'évaluer leur consistance. Ces valeurs de la teneur en eau permettent de caractériser également les différents états des sols : liquide, plastique, et solide sans retrait de ces matériaux.

Tableau III.6 : Résultat des limites d’Atterberg (laboratoire CTTP).

N° Sc.	Profondeur (m)	Limites d’Atterberg			Observation
		Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	
SCN°1	7,6/8,0	47,87	32,83	15,04	Sol fin peu plastique
	9,0/9,4	45,14	32,46	12,68	
SCN°2	9,0/9,5	42,89	28,71	14,18	

Sc : sondage carotté.

D’après les résultats ci-dessus on constate que :

L’indice de plasticité $I_p = W_L - W_P$ est compris entre 12 et 15. Donc le sol est **peu plastique**.

A partir de diagramme de plasticité qui présente l’indice de plasticité en fonction de l’indice de liquidité on peut classer le sol comme étant des sols organiques peu plastique en basons sur le diagramme de Cassagrande (**Annexe**).

III.4.3. Paramètres d’état

Les essais d’état du sol définissent les différentes phases du sol, ils sont représentés par :

- *Teneur en eau %* qui est le rapport en pourcent de poids d’eau que le sol contient sur le poids de ses éléments secs.

$$\omega\% = (\text{poids d'eau/poids des éléments secs}) \times 100$$

- *Degré de saturation %* : qui est le rapport du volume d’eau au volume des vides.

$$Sr = V_W / V_V$$

- *Poids spécifiques* : ou les poids volumiques, et on note pour notre étude le poids volumique du sol humide ($\gamma_h = W_T / V_T$) et celui du sol sec ($\gamma_d = W_T / V_S$).

- *Indice de consistance du sol I_C* : qui se détermine à partir de l’essai de limites d’Atterberg

$$I_C = \frac{(W_L - W)}{I_P}$$

Laboratoire centrale des ponts et de chaussés (1973).

Tableau III.7 : Classement des sols en fonction de l'indice de consistance

I_c	0	0,25	0,50	0,75	1	>1
consistance	liquide	pâteuse	molle	ferme	très dure	ferme

Tableau III.8 : Caractéristiques physiques des sols étudiés.

N° de Sondage	Profondeur (m)	Wn (%)	Sr (%)	Γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	Ic	Description
SCn°1	7,6/8,0	17,40	100	1,85	2,18	2,02	Sol dense, très consistant et saturé.
	9,0/9,4	18,00	95,7	1,79	2,12	2,14	
SCn°2	9,0/9,5	15,49	100	1,91	2,21	1,93	

Du tableau III.8 : nous tirons les observations suivantes :

Les sols étudiés sont plus ou moins humides en fonction de la profondeur

Ces sols sont denses et consistants avec un degré de saturation qui peut atteindre les 100%.

III.4.4. Essais Mécaniques

III.4.4.1. Essai de Cisaillement à la Boite de Cassagrande

L'essai de cisaillement de notre étude est réalisé sur des échantillons extraits de la profondeur 7m/8m dans le sondage 01 et 9m/9.5 m dans le sondage 02 dans des conditions non consolidées non drainées ; on parle alors d'un essai de cisaillement à court terme.

Tableau III.9 : Les résultats de l'essai de cisaillement

N° de Sondage	Profondeur de Prélèvement	Conditions	Cisaillement		Description
			Cu (Bars)	Φ (°)	
Sc n°1	7,6m/8m	UU	0,34	9	Sol peu cohérent, peu frottant en surface et moyennement cohérent, moyennement frottant en profondeur.
Sc n°2	9m/9,5	UU	0,71	21	

III.5. Synthèse des données géotechniques

Le Tableau ci-dessous représente les résultats des essais réalisés pour les sols étudiés.

Tableau III.10 : paramètres mécaniques du sol dans la zone d'étude.

Eppesseur de la formation (m)	Nature du sol	γ_d (T/m ³)	γ (T/m ³)	C_u (bar)	ϕ_{uu} (°)
1-5	Marno-calcaire	1.68	1.99	0.14	32
1-7	Marne-schiste (sur grés)	1.85	2.18	0.34	09
1-1.5	Blocs étanches de grés	1.65	1.95	0.5	30
1.5-7	Marne-schiste (sous le grés)	1.91	2.21	0.71	21

En général le terrain de notre étude présente des caractéristiques physico-mécaniques hétérogènes d'un endroit à un autre et en fonction de la profondeur.

Ce qui n'arrange pas l'état de stabilité du talus étudié et ce qui explique d'ailleurs une partie des désordres observés sur site.

III.6. Etude de stabilité

III.6.1. Indicateurs du glissement sur le site étudié

La visite et les observations sur le site d'étude nous permettent de constater des indices d'instabilité suivants :

- ✦ Des affaissements très importantes de chaussée et des bourrelets au niveau de la surface du sol.
- ✦ Des fissurations au niveau du sol ce qui indique un mouvement en déplacement peu profond de direction Ouest-Est. Ce mouvement est produit lors des travaux de déblaiement et remblaiement effectués lors de la réhabilitation du tronçon routier.
- ✦ Le développement des fissures et apparition des déformations dans les bâtisses avoisinantes (figure III.7).
- ✦ Inclinaison des poteaux électriques et des murs de soutènement existant sur les lieux.
- ✦ La présence d'eau en surface du sol.



Figure III.7 : Fissures et dégradations importante de la structure de la maison de jeunes

III.6.2. Causes probables du glissement étudié

Le déclenchement du glissement sujet de notre étude est résulté de la combinaison de plusieurs facteurs :

- ✦ *La nature lithologique du site* : la lithologie du site est représentée par des marnes argileux et des marnes schisteux affectées par l'action d'altération.
- ✦ *La pente topographique* : la pente moyenne du talus varie entre 20° et 30°.

- ✦ *La présence d'eau* : l'action des eaux constitue un facteur important qui contribue considérablement à la déstabilisation du talus. La forte pluviométrie et eaux de ruissellement, la couverture neigeuse, le mauvais drainage des eaux augmentent les pressions interstitielles et provoquent des poussées de terres se matérialisant par des mouvements d'importantes masses et provoquent des désordres nécessitant de sérieux remèdes.
- ✦ *Facteurs anthropiques* : suite à des travaux de terrassement et excavation en aval du talus, ainsi que la surcharge causée par la bâtisse de la maison de jeune en tête du talus (figure III.9).

III.6.3. Danger du glissement

Comme il est indiqué précédemment la zone instable étudiée est située en parallèle au chemin de wilaya CW135B à côté d'un lycée ; donc le déclenchement d'un glissement de terrain sur site peut provoquer des sérieux problèmes comme la fermeture du trafic routier, l'affaissement et la destruction de la maison de jeunes en tête du talus, et des dangers humains soit sur les marchant ou sur les étudiants du lycée.

III.6.4. Type de glissement

L'observation des indices géomorphologique de surface (figure 8) indique des ruptures circulaires limitées par la niche d'arrachement en tête et les bourrelets en pied du versant, le type de glissement est donc probablement rotationnel simple avec éboulis.



Figure III.8 : Fissures de traction sur le talus en question

III.7. Système de confortement par les palplanches

Une palplanche (composée de pal et planche) est un pieu conçu pour être battu en terre en s'enclenchant aux pieux voisins par l'intermédiaire de nervures latérales appelées serrures. Les palplanches permettent de constituer un mur de soutènement, un batardeau, une palée ou un écran imperméable.

Une innovation majeure a été apportée avec l'intégration aux profilés, dès leurs formages, de " serrures " permettant de les assembler en rideaux continus en les enclenchant les uns aux autres sans avoir recours à des profilés de raccord. Les premiers profilés possédant de telles serrures apparurent aux Etats Unis vers 1910.

On distingue :

Les palplanches à module ou à inertie : se comportent comme des poutres verticales, mobilisant la butée au niveau de leur encastrement dans le sol et supportant les poussées dues aux dénivellations du terrain.

Les palplanches plates : permettent de réaliser des enveloppes cylindriques fermées, contenant des matériaux dont les poussées engendrent des tractions importantes dans les joints.

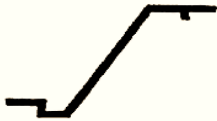



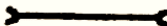
On constate plusieurs types de palplanche selon leurs géométries et leurs formes, parmi on note :

- ✦ Palplanches en porte à faux,
- ✦ Palplanches avec étais ou ancrage,
- ✦ Palplanches en bois,
- ✦ Palplanches en béton armé,
- ✦ Palplanches PVC,

Palplanches métalliques : qui sont des barres d'acier dont la section épouse généralement la forme d'un "U" ou un « Z », caractérisées par un poids au mètre linéaire variable selon le profil, de 20 à plus de 120 Kg, une épaisseur de 5 à plus de 20 mm (chiffres indicatifs) et une longueur livrée varie de 1 à plus de 30 mètres.

Ce type de palplanches est subdivisé en palplanche laminée a chaud et palplanche Laminée à Froid. (Tableau au III.11).

Tableau III.11 : les différentes catégories des palplanches

Type de section transversale	Palplanche simple	Palplanche double
Profils en Z		
Profils en U		
Palplanches plates		

III.7.1. Caractéristiques des rideaux de palplanches utilisés

Pour notre projet, nous proposons des palplanches de type VL604, normalisation de l'acier S270GP, palplanche métalliques laminées à chaud de profil en U en espacement de 1,2m, épaisseur de 10,5mm, longueur jusqu'à 12 m ancré sur le sol à une profondeur minimal de 6m (la figure III.12) représente la mise en œuvre des palplanches). Leurs résistances sont définies selon les normes Françaises dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.12 : valeurs nominales de limites d'élasticité f_y et la résistance ultimes à la traction f_u pour les palplanches proposées dans cette étude (EN 10248-1).

Désignation de l'acier selon EN 10027	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
S240 GP	240	340
S270 GP	270	410
S320 GP	320	440
S355 GP	355	480
S390 GP	390	490
S430 GP	430	510

III.7.2. Méthodes de calcul de stabilité d'un talus

Le calcul de la stabilité des pentes est basé sur la détermination d'un facteur de sécurité (F_s) pour que la masse potentiellement stable soit à la limite de l'équilibre

Le coefficient de sécurité F est défini par l'expression suivante :

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

Si $F_s > 1$, il n'y a pas rupture ; si $F_s < 1$, il y a rupture et $F_s = 1$, il y a un équilibre limite.

Plusieurs méthodes de calculs de stabilité des pentes sont proposées, différencient par les hypothèses admises par leurs auteurs (méthodes des tranches ou par éléments finis...etc) et par la facilité de leur mise en œuvre (méthode classique manuel ou numérique par logiciel) mais accordent toutes à définir un facteur de sécurité satisfaisant pour la stabilité du talus.

Parmi les méthodes de calculs on note :

- **Méthodes globales** qui ne conviennent que pour des profils des talus simple en sol homogène et isotrope.
- **Méthodes par tranches**, qui sont plus souples, le talus est partagé en tranches verticales, profil du talus non rectiligne, hétérogénéité du sol, avec des lignes de glissement quelconque.
- **Méthodes en éléments finis**. Qui consiste à remplacer la structure physique à étudier par un nombre fini de composants discrets ou d'éléments, lié entre eux par des nœuds, qui représente un maillage. On considère d'abord le comportement de chaque partie indépendante, puis en tant qu'objet de telle sorte qu'on assure l'équilibre et la compatibilité des déplacements réel de la structure.

III.8. Analyse numérique de la stabilité du talus étudié

La modélisation numérique est considérée comme un outil très important dans les bureaux d'études et les recherches géotechnique. Leur utilisation est aujourd'hui très courante et la conception de grands projets passe forcément par des analyses de ce type afin de vérifier la stabilité des ouvrages En interaction avec leur environnement, de contrôler que les valeurs des déplacements et des contraintes soient admissibles et d'aider au dimensionnement des structures.

Pour l'analyse du glissement de terrain de notre projet on a utilisé avec deux logiciels. Le logiciel géo-studio 2012 en utilisant le sous-programme SLOPE/W qui est spécialisé au calcul des stabilités des pente, et un deuxième logiciel qui est le PLAXIS 2D (V.8.2).

III.8.1. Logiciel Géo-studio (Géoslope/W)

Géo studio est un logiciel de calcul géotechnique qui permet de traiter les différents problèmes du sol comme le glissement de terrain, les tassements, la consolidation, les infiltrations des eaux dans le corps de la digue d'un barrage et d'autres problèmes liés à la géotechnique. Plusieurs programmes sont intégrés dans la fenêtre générale du logiciel : SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W.

Le sous-programme qui nous intéresse est le SLOPE/W : ce programme de calcul est un programme d'analyse de la stabilité des pentes, basée sur la théorie d'équilibre limite (voir figure III.9).

Cette analyse consiste à calculer un facteur de sécurité en visualisant les résultats graphiques du volume instable correspondant.

Les méthodes de calcul du facteur de sécurité intégrées dans SLOPE/W sont la méthode de Fellenius, de Morgenstern-price, de Jumbo et celle de Bishop simplifié, et enfin la méthode des éléments finis" qu'on peut la trouvée dans la partie " SIGMA/W ".

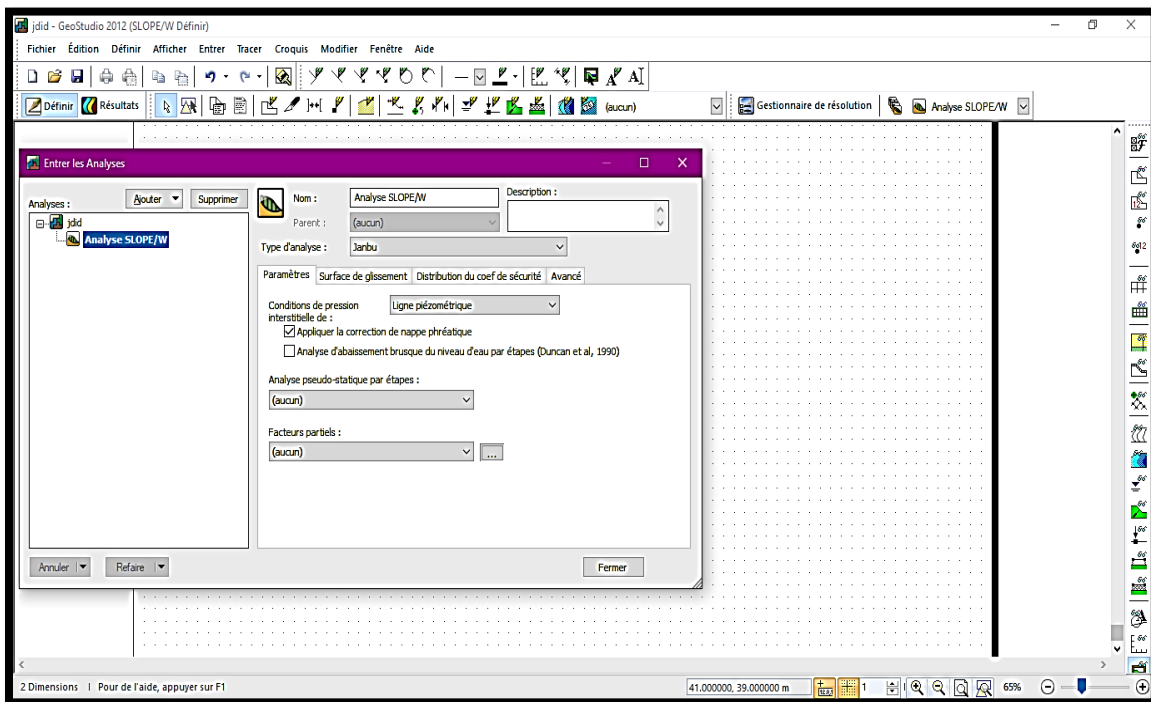


Figure III.9 : page de travail de logiciel Géoslope

III.8.2. Logiciel PLAXIS 2D (V.8.2)

PLAXIS est un programme d'éléments finis en deux dimensions spécialement conçues pour réaliser des analyses en déformation et de stabilité pour différents types d'applications géotechniques. Les situations réelles peuvent être représentées par un modèle plan ou axisymétrique.

Le programme utilise une interface graphique pratique permettant aux utilisateurs de générer rapidement un modèle géométrique avec un maillage d'éléments finis basés sur la coupe verticale de l'ouvrage à étudier (**plaxis référence manuel**)

L'interface d'utilisation de PLAXIS se compose de quatre sous-programmes (Input, Calculations, Output et Curves).

- **PLAXIS-Input** : le sous-programme contient toutes facilités nécessaires à la création et modifications des modèles géométriques, à l'engendrement des maillages des éléments finis et à la définition des conditions initiales. (Figure III.10)
- **PLAXIS-Calculations** : le sou programme de calculs contient les facilités utiles à la définition des phases et au commencement de la procédure de calcul des éléments finis. (Figure III.11).
- **PLAXIS-Output** : contient les facilités pour la visualisation des résultats de la phase de calculs, comme les déplacements au niveau des nœuds, les contraintes les forces au des éléments structuraux, etc. (Figure III.12).
- **PLAXIS-Curves** : le sou programme curve sert à la construction des courbes de chargement déplacement, des chemins de contraintes, en plus de divers autres diagrammes (Figure III.13).

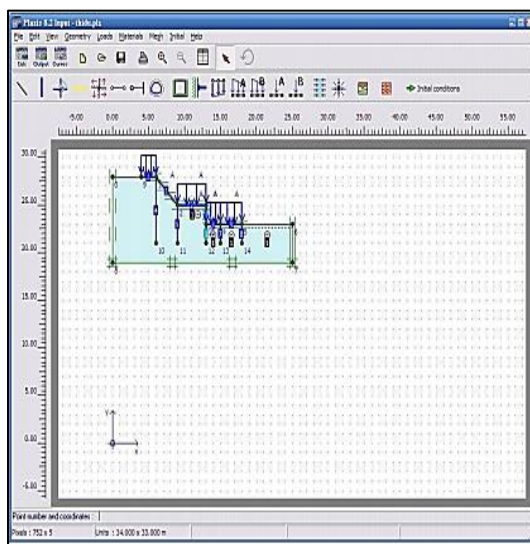


Figure III.10 : sous-programme Input

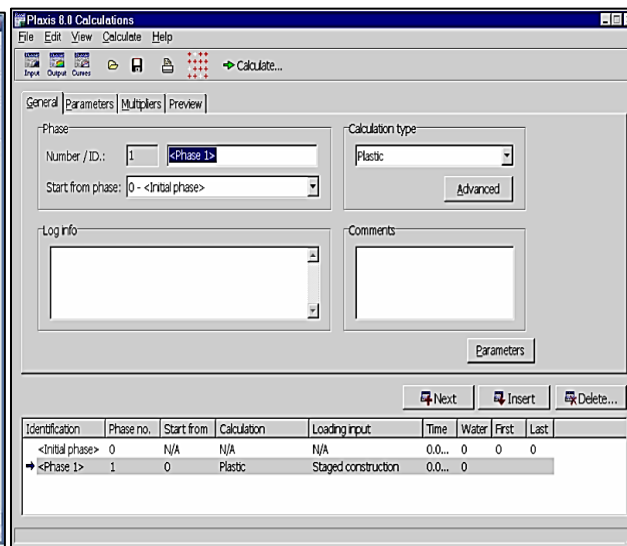


Figure III.11 : sous-programme Calculation

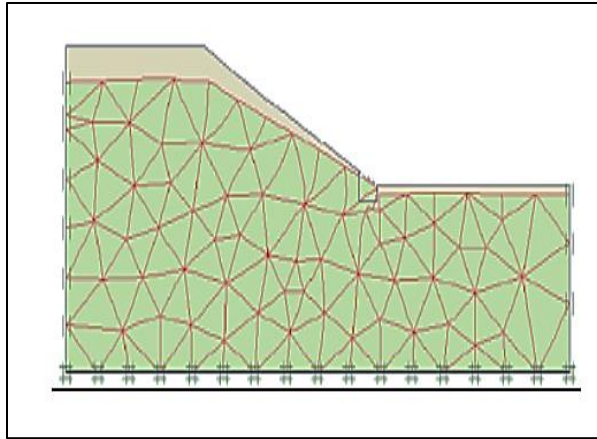


Figure III.12 : sous-programme Output

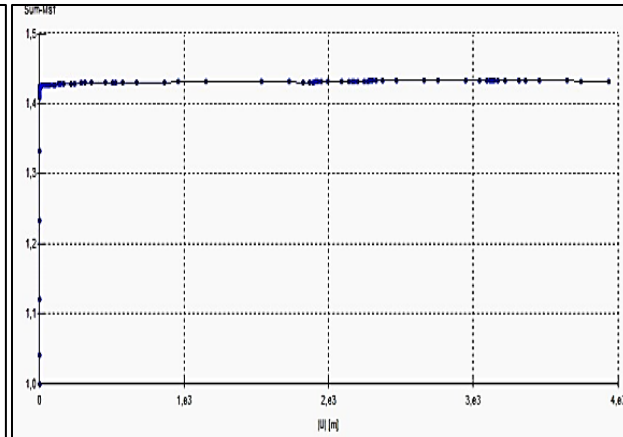


Figure III.13 : sous-programme Curves

III.9. Calcul numérique de la stabilité du talus étudié

Le calcul de stabilité se fait en deux phases, la première phase présente la stabilité de terrain naturel avant solution et la deuxième phase de vérification de la stabilité après confortement.

Le tableau suivant résume les différentes données géotechniques nécessaires pour les calculs numériques

Tableau III.13 : Résumé des paramètres géotechnique du sol étudié

Couche du sol	Marnes calcaire	Marne schisteuse	Marne schisteuse
Profondeur z (m)	0-4	4-10	10-15
Poids volumique sèche γ_d (kN/m ³)	16,8	18,5	19,1
Poids volumique humide γ_d (kN/m ³)	19,9	21,8	22,1
Teneur en eau w (%)	17,40	18	15,49
Degré de saturation S_r (%)	100	95,7	100
Limite de liquidité W_l	47,87	45,14	42,89
Indice de plasticité I_p	15,04	12,68	14,18
Cohésion c (kPa)	1,4	3,4	7,1
Angle de frottement	32	9	21

Les caractéristiques des palplanches utilisées dans le cadre de cette étude sont résumées dans le tableau III.14

Tableau III.14 : caractéristiques des palplanches utilisées

Paramètre de palplanche	Valeurs
Qualité et désigne	VL604 in 270GP
Type de palplanche	U
Dimensions (long x larg.)	12 X 1,2 (m)
Epaisseur (d)	10,5 (mm)
Moment d'inertie (I)	5777 (cm ⁴)
Rigidité à la traction (EI)	41370 KN/m
Module de Young (Acier)	210*10 ⁶ KN/m ²
La résistance à la traction (moy)	463000 KN/m

III.9.1. Calcul avec logiciel Géo-studio (Géoslope)

III.9.1.1. Stabilité de talus avant le confortement

Le talus est constitué de 3 couches superposées couche superficielle de marno-calcaire déposé sur deux couches de marnes schistes séparés en réalité par des blocs centimétriques à métriques de grès durs et denses ce qui forme une différence de ses caractéristiques géotechniques entre ces couches donc on les appelle couche de marne sur grès en haut reposé sur une couche de marne schisteuses sous grès.

Le talus caractérisé aussi par l'apparition d'une surcharge en tête présentée par l'ouvrage maison de jeune, cette surcharge joue un rôle très affectant dans l'instabilité de talus. Par une contrainte de 214.46KN/m³ on a obtenu le fait d'un calcul de poids de maison de Jeunes et son effet sur le talus (figure III.14).

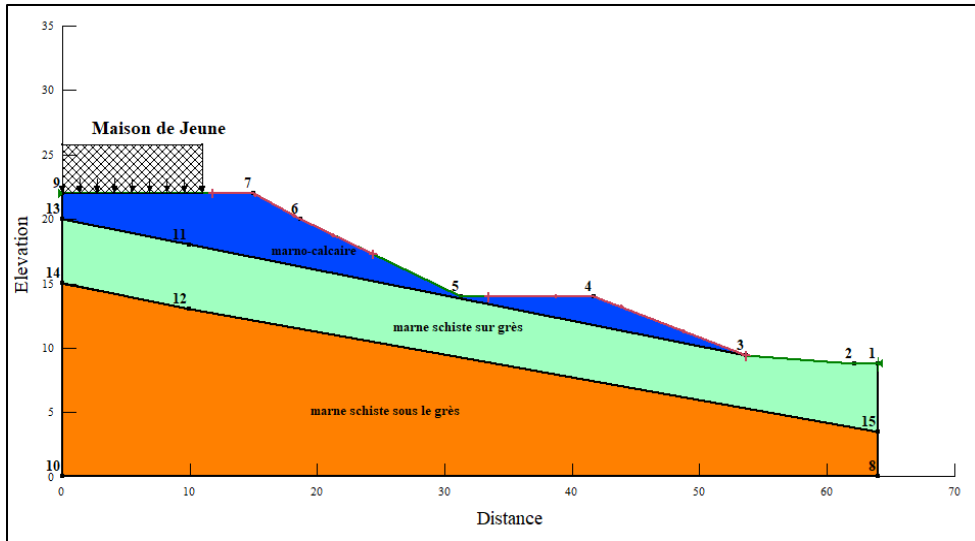


Figure III.14 : présentation du talus naturel sur Géoslope.

L'étude de la stabilité du Talus dans son état initial (avant confortement) à donner les facteurs de sécurités suivants (Tableau III.15).

Tableau III.15 : Résultats de calcul avec le logiciel Géoslope selon trois méthodes (valeurs de Fs).

Méthode de calcul	Fellenius	Bishop	Janbu
Facteur de sécurité (Fs)	0,768	0,751	0,666

Le Tableau III.14 ainsi que la figure III.15 et III.16 montrent que le talus dans son état initial est instable du fait que le facteur de sécurité (Fs) est inférieur à 1.

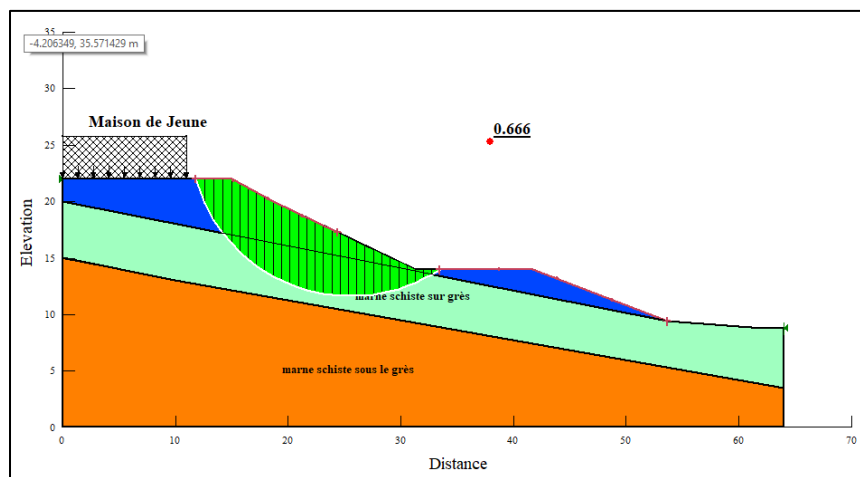


Figure III.15 : la valeur de Facteur de sécurité (Fs) selon la méthode de Bishop (Logiciel Géoslope)

La nappe phréatique est située à environ 7,8m de profondeur.

Le calcul de stabilité du Talus en présence de nappe est schématisé dans la figure III.16. Les valeurs du facteur de sécurité (Fs) pour ce scénario sont résumé dans le Tableau III.15. Les valeurs de Fs en présence de nappe indiquent un talus instable ce qui confirme l'effet défavorable de la nappe sur la stabilité du Talus.

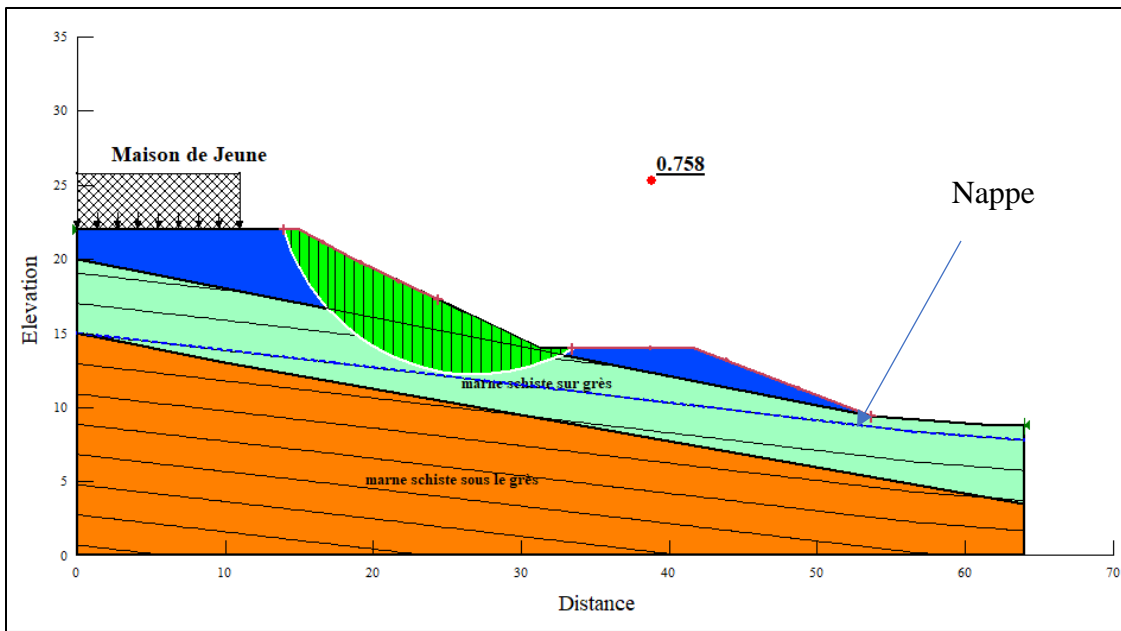


Figure III.16 : facteur de sécurité en présence de nappe

Tableau III.16 : facteurs de sécurité en présence de nappe (état initial du Talus).

Méthodes de calculs	Fellenius	Bishop	Janbu
Facteur de sécurité (Fs)	0,744	0,754	0,684

III.9.1.2. Stabilité de talus après le confortement

Nous proposons l'utilisation d'un rideau en palplanches comme ouvrage de soutènement.

▪ **Variante 1 (palplanches de 6m de profondeur d'ancrage)**

Les calculs de stabilité ont montré que le facteur de sécurité n'a pas amélioré (Fs reste inférieur à 1) ce qui indique que la profondeur d'ancrage proposée (6m) est insuffisante (figures III.17 et III.18).

Tableau III.17 : Valeurs du facteur de sécurité en présence et en absence de nappe (palplanches de 6m)

Méthodes de calculs	Fellenius	Bishop	Junbu
Fs en absence de nappe	0,768	0,751	0.666
Fs en présence de nappe	0.762	0.744	0,660

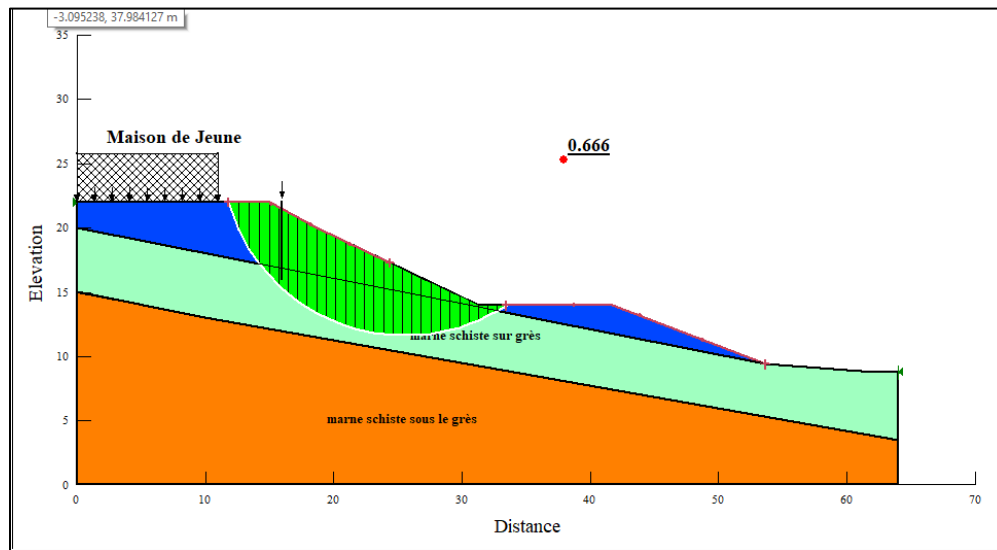


Figure III.17 : Stabilité du Talus en absence de nappe avec palplanches ancrée à 6m (Bishop)

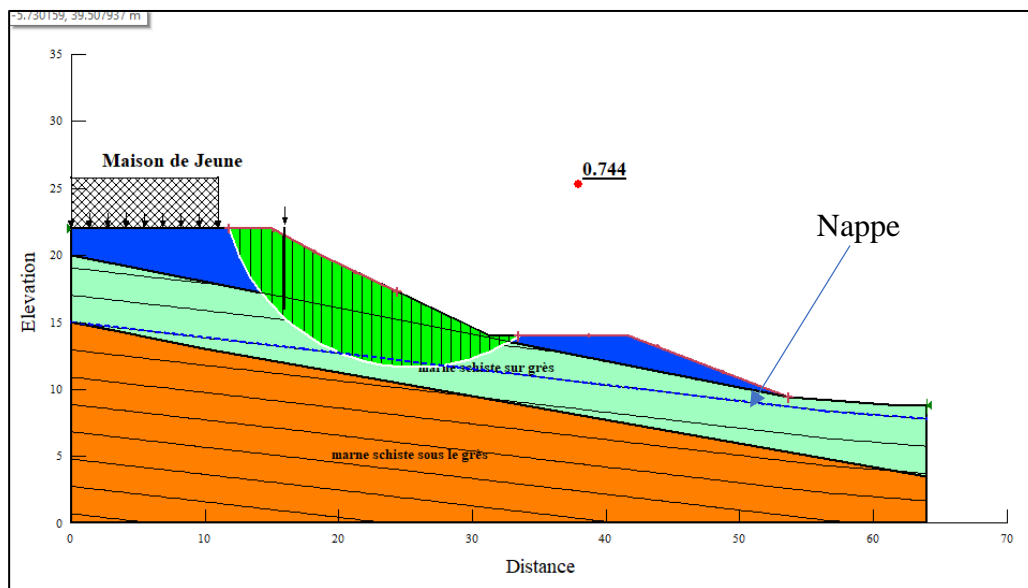


Figure III.18 : Stabilité du talus en présence de nappe avec palplanche ancrée à 6m (Méthode de Junbu)

▪ Variante 2 (Palplanche de 10m de profondeur d'ancrage)

Lorsque les palplanches sont ancrées plus profondément on note une augmentation considérable de facteur de sécurité (Fs) comme le montre les figures III.19 et III.20 ainsi que le tableau III.17, cette amélioration du facteur de sécurité (Fs) est suffisante pour stabiliser le talus. $F_s = 1,7 > 1,5$. Le talus est donc dit stable.

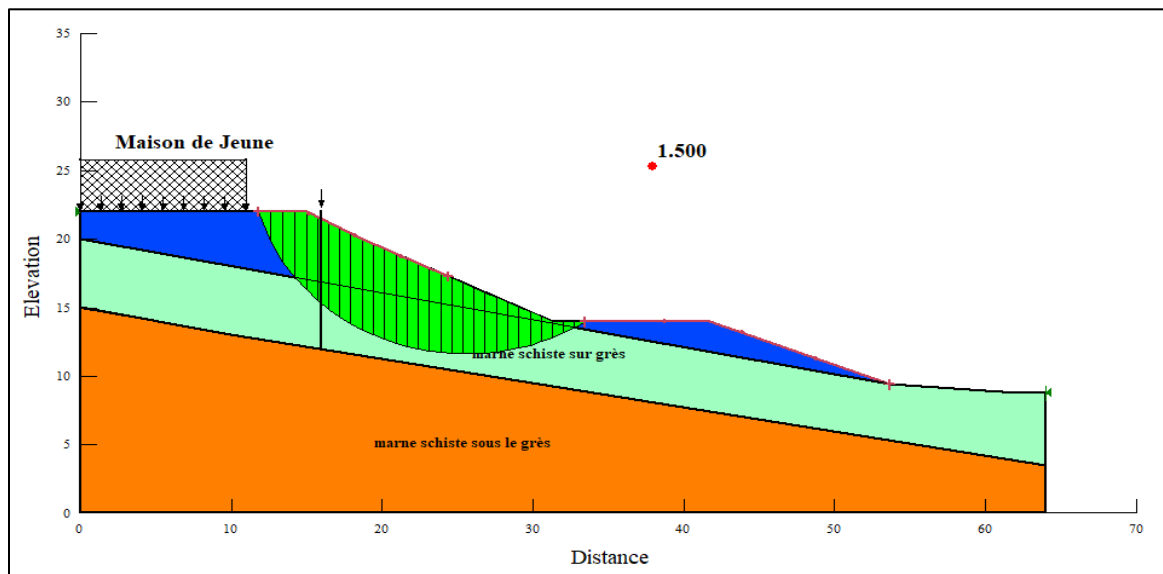


Figure III.19 : Stabilité du talus en absence nappe avec des palplanches ancrées à 10m de Profondeur (méthode Janbu).

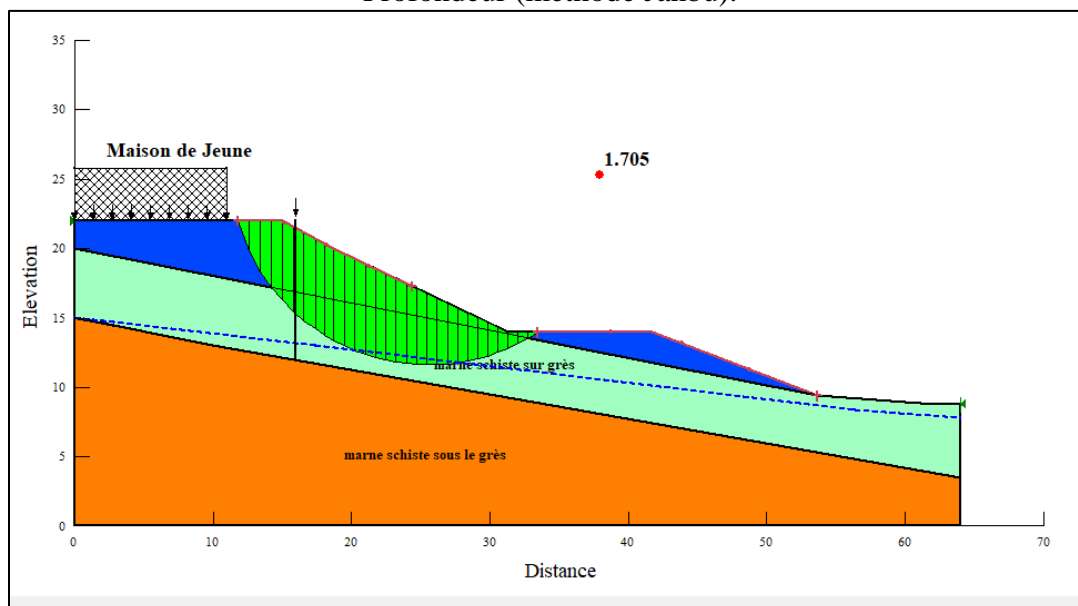


Figure III.20 : stabilité de talus en présence de nappe avec des palplanches ancrées à 10m de profondeur (méthode de Janbu)

Tableau III.18 : Valeurs facteurs de sécurité du talus avec des palplanches ancrées à 10m de profondeur

Méthodes de calculs	Fellenius	Bishop	Janbu
Fs en absence de nappe	1.692	1.719	1.500
Fs en présence de nappe	1,677	1,705	1,477

III.9.2. Modélisation avec PLAXIS

III.9.2.1. Talus avant le confortement

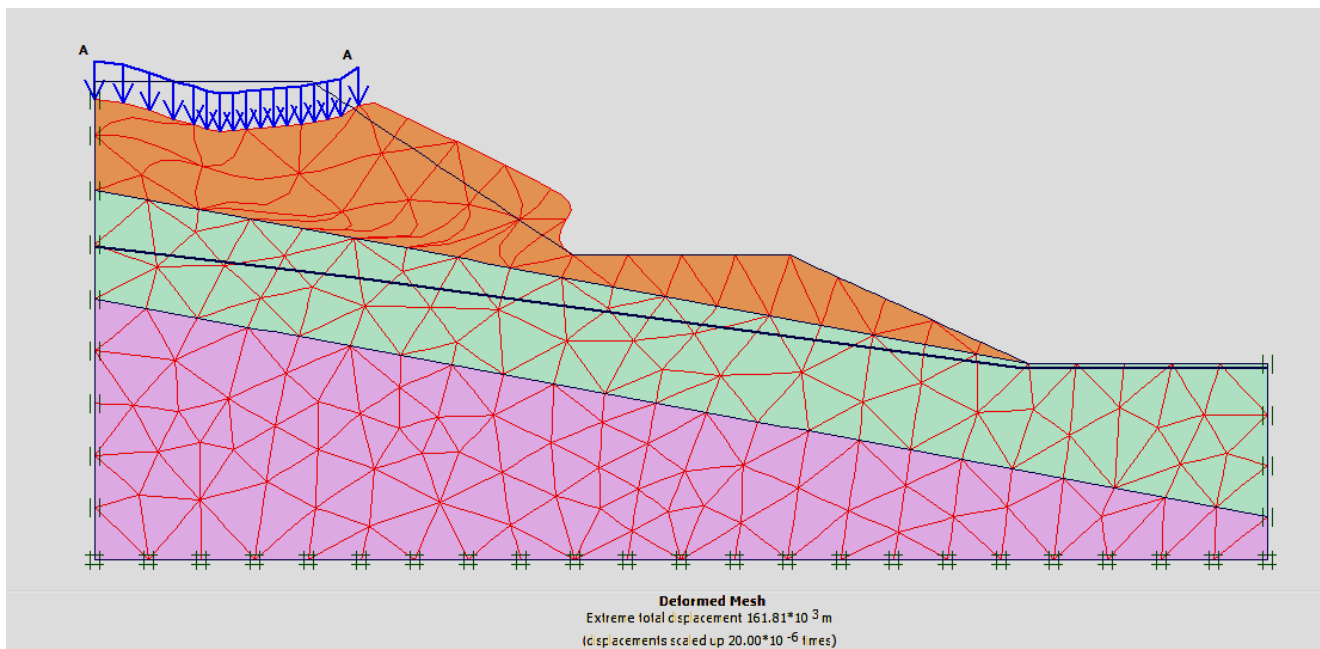


Figure III.21 : Stabilité du talus sans palplanche en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation de Maillage)

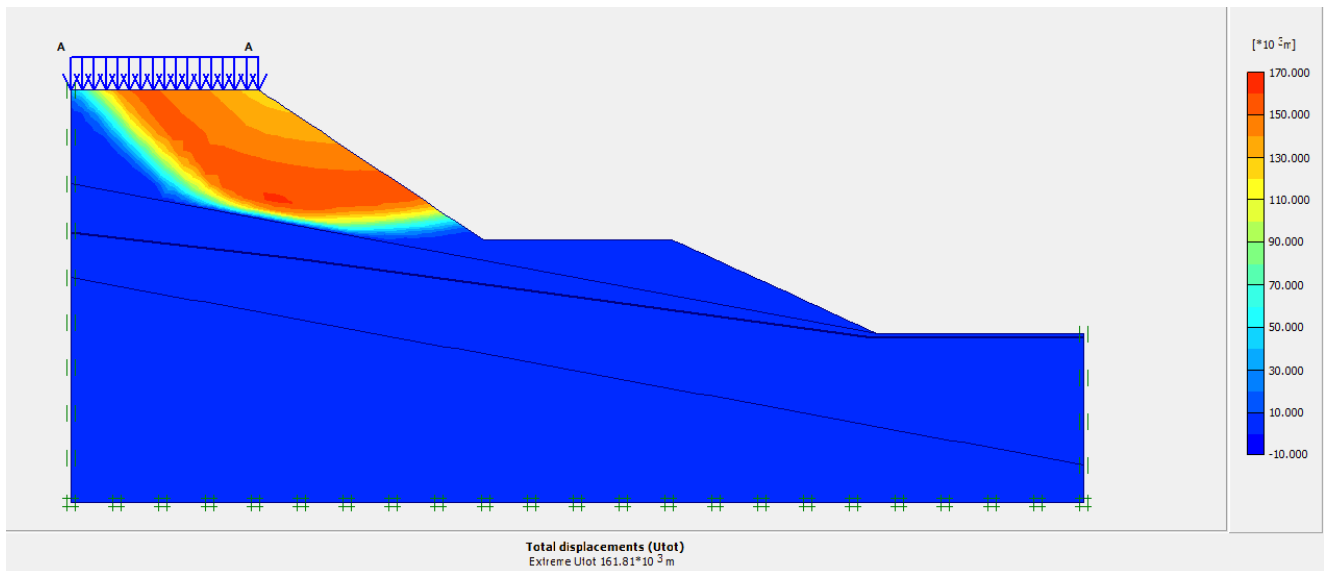


Figure III.22 : Stabilité du talus sans palplanche en utilisant le logiciel PLAXIS : (déplacement totale)

Nous remarquons que le facteur de réduction des contraintes après confortement est de l'ordre de 0,559 (55,9%).

III.9.2.2. Talus après le confortement.

- Stabilité avec des palplanches de 10m de profondeur d'ancrage

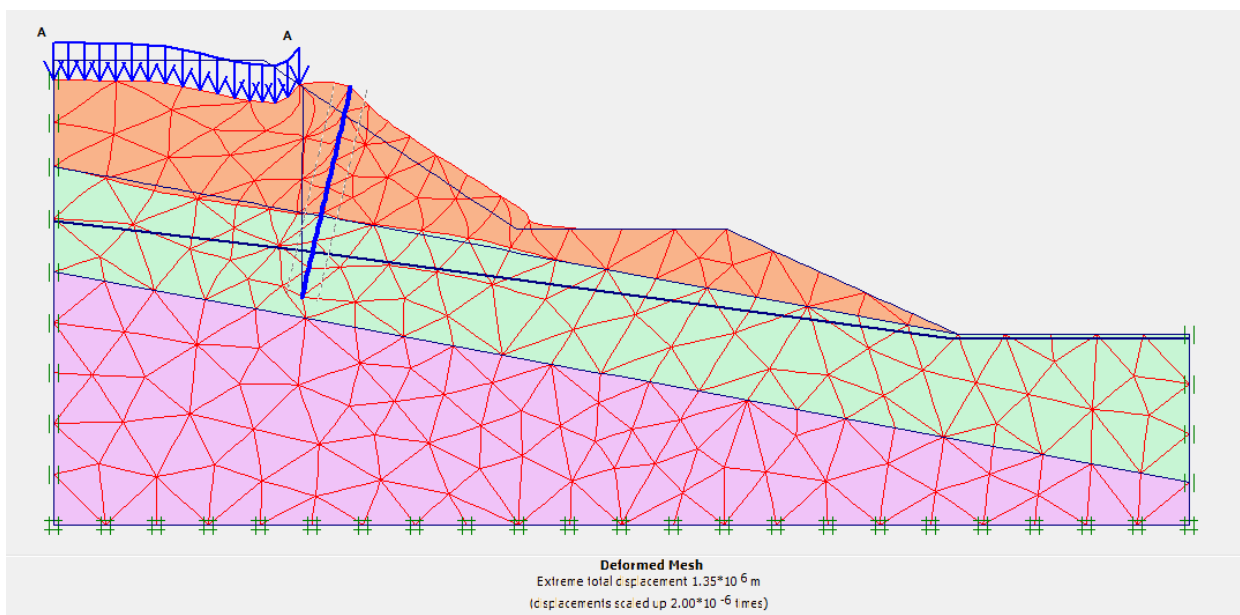


Figure III.23 : Stabilité du talus avec des palplanches ancrées à 10m en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation de Maillage)

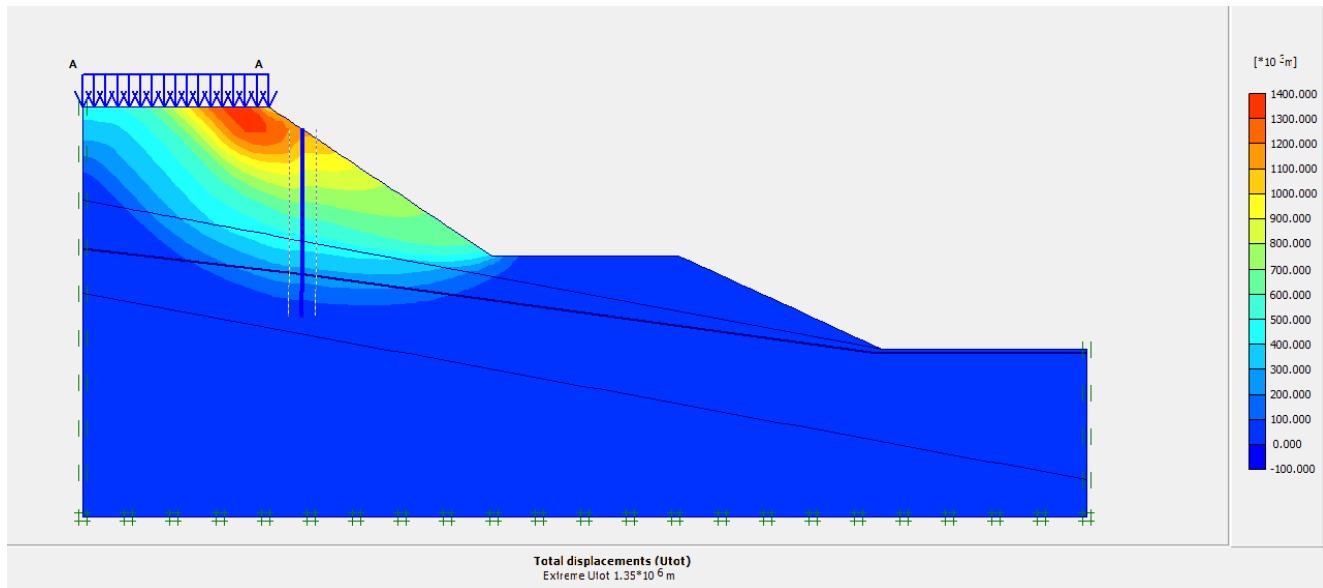


Figure III.24 : Stabilité du talus avec des palplanches ancrées à 10 en utilisant le logiciel PLAXIS : (déformation total)

Cette variante nous à donne un facteur de réduction des contraintes de l'ordre de 1.47.

III.10. Conclusion

Des deux méthodes numériques utilisées (Géoslope et PLAXIS) nous constatons que les valeurs obtenues par la méthode numérique en éléments finis (PLAXIS) sont plus satisfaisantes que celles obtenues par le logiciel Géoslope.

D'autre part, le système de confortement proposé (rideau de palplanches) a nettement amélioré la Stabilité du talus étudié.

Conclusion générale et recommandations

L'analyse de la stabilité des pentes a pour but de comprendre le mécanisme de rupture en profondeur afin de choisir la bonne méthode de confortement. Pour cela chaque étude de stabilité est unique.

L'étude des glissements de terrain commence toujours par une étude géotechnique comme tout autre projet, elle se base sur les observations sur le site, les essais réalisés in – situ et les essais au laboratoire qui permettent d'avoir un aperçu global sur les couches constituant le terrain et leurs caractéristiques géotechniques.

Notre mémoire présente une analyse de stabilité au glissement de terrain en pente avec une étude du cas du talus de Bouraoui Belhadef (Wilaya de Jijel), et le calcul du coefficient de sécurité en utilisant des méthodes modernes (numériques) avec deux logiciels différents qui sont basés sur différents principes de calculs à titre de comparaison entre les deux, ainsi que l'établissement des calculs de positionnement et de présentation de la réaction et la résistance des palplanches au efforts appliqué.

L'analyse de la stabilité par les méthodes de l'équilibre limite implantés dans le logiciel Géoslope a montré que "la méthode de Fellenius" sous-estime les valeurs du facteur de sécurité par rapport à celles calculées par "les méthodes de Bishop et Janbu".

Le calcul par la méthode dite "phi-c reduction" implémenté dans le code PLAXIS 2D (V.8.2) en éléments finis donne des valeurs en termes de coefficient de sécurité très proches de ceux calculés par la méthode de "Bishop"

En fin malgré le développement d'outils de calcul (méthodes numériques) de plus en plus performants et une description du sol de plus en plus proche de la réalité, il existe toujours un écart entre les résultats de calcul et les valeurs des solutions réelles.

Pour cela une combinaison entre les méthodes (numériques et/ou analytiques) réduit la marge d'erreur et rend les solutions proposées plus efficace ces et durables.

Dans le site étudié un système de drainage des eaux superficielles et souterraines est indispensable pour réduire les pressions interstitielles dans le sol et maintenir le niveau de la nappe d'eau loin des fondations des infrastructures de base.

Conclusion générale et

Recommandation

Bibliographie

1. **AFFNOR, 2002** : Calcule des structures en acier, in : Normalisation Française, partie5 : pieux et palplanches.
2. **A.N.R.H. 2004.2014, Settara.**
3. **ARCELOR METAL** : Palplanches, Catalogue général. Edition : Luxembourg,2013.
4. **BOUANANE. A, BOUAFINA. L. (2016)** : Auscultation géologique du mouvement de terrain de la commune de BelhadeF- Wilaya de Jijel (cas de la mosquée centrale). Thème de mémoire de fin d'étude en génie géologique, l'université de Mohammed Seddik Benyahia -Jijel.
5. **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
6. **BRINKGREVE. R.B.J, 2003** : PLAXIS Version 8, Manuel de référence, université de technologie et PKAXIS bv, Pays-Bas.
7. **DJELLIT, H. (1987)** : Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse Doct. Univ d'Orsay Paris.
8. **DURAND DELGA, M. (1955)** : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv. Carte géol. Algérie
9. **FADHEL, S. (2014)** : Stabilité et Renforcement des sols. Thème de mémoire de fin d'étude en Génie Civil, Université Mohamed khider, Biskra.
10. **Florian Weill, Moncef Radi, Ha Phong Nguyen, hamza Sehaqui, Nafaï Ilias. (2010)** : rapport d'identification des sols, Ecole polytechnique fédérale de laussane.
11. **Laboratoire Central des Ponts et Chaussée. (1973)** : essais de laboratoires et en places de Mécanique des sols, pages : 5 et 6.
12. **ROUIKHA, Y et Djaarit. (2015)** : Coupe géologique interprétative au sein des unités Alpines de la région de Béni ftah- Kabylie de Jijel.
13. **SETS ,2017** : Rapport diagnostic et collecte des données géotechniques
14. **SETS ,2017** : Rapport des résultats des pénétromètres dynamique.
15. **SETS ,2017** : Rapport d'interprétation des résultats géotechniques
16. **VILA, J.M., (1980)** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens. Thèse Doct. Paris.

Annexe

Annex 01 : Résultats des sondages carottés

Sondage Carotté N°1

❖ **Lithologie**

- 0/3m : Remblais
- 3m/4m : Passage Gréseux Grisâtre
- 4m/10m.6 : Marne Schisteuse Friable Compacte Par Partie
- 10m.6/12m.2 : Passage Gréseux Grisâtre
- 12m.2/15m : Marne Schisteuse



LOG DE SONDAGE
 Projet Traitement de Glissement Survenu Sur CW
 No SCN°1
 Localisation BelhadeF
 Profondeur 15

X= Y= Z= Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.		V							
-1.									
-2.	47								Remblais
-3.									
-4.	90								Passage Gréseux Grisatre
-5.									
-6.									
-7.									Marne Schisteuse Friable Compacte Par Partie
-8.	66								
-9.									
-10.									
-11.									
-12.	100								Passage Gréseux Grisatre
-13.									
-14.	100								Marne Schisteuse Compacte à Consolidé Par Partie
-15.									

Sondage Carotté N°2

❖ Lithologie

- 0/5m : Marnocalcaires Jaunâtre
- 5m/8m.5 : Marne Schisteuse Consolidé Grisâtre
- 8m.5/12m : Marne Schisteuse Compacte à Consolidée Par Partie
- 12m/12m.6 : Passage Gréseux Grisâtre
- 12m.6/14m.4 : Marne Schisteuse Compacte à Consolidée Par Partie
- 14m.4/15m : Passage Gréseux Grisâtre



LOG DE SONDAGE

Projet Traitement de Glissement Survenu Sur CW

No SCN°2

Localisation Belhadef

Profondeur 15

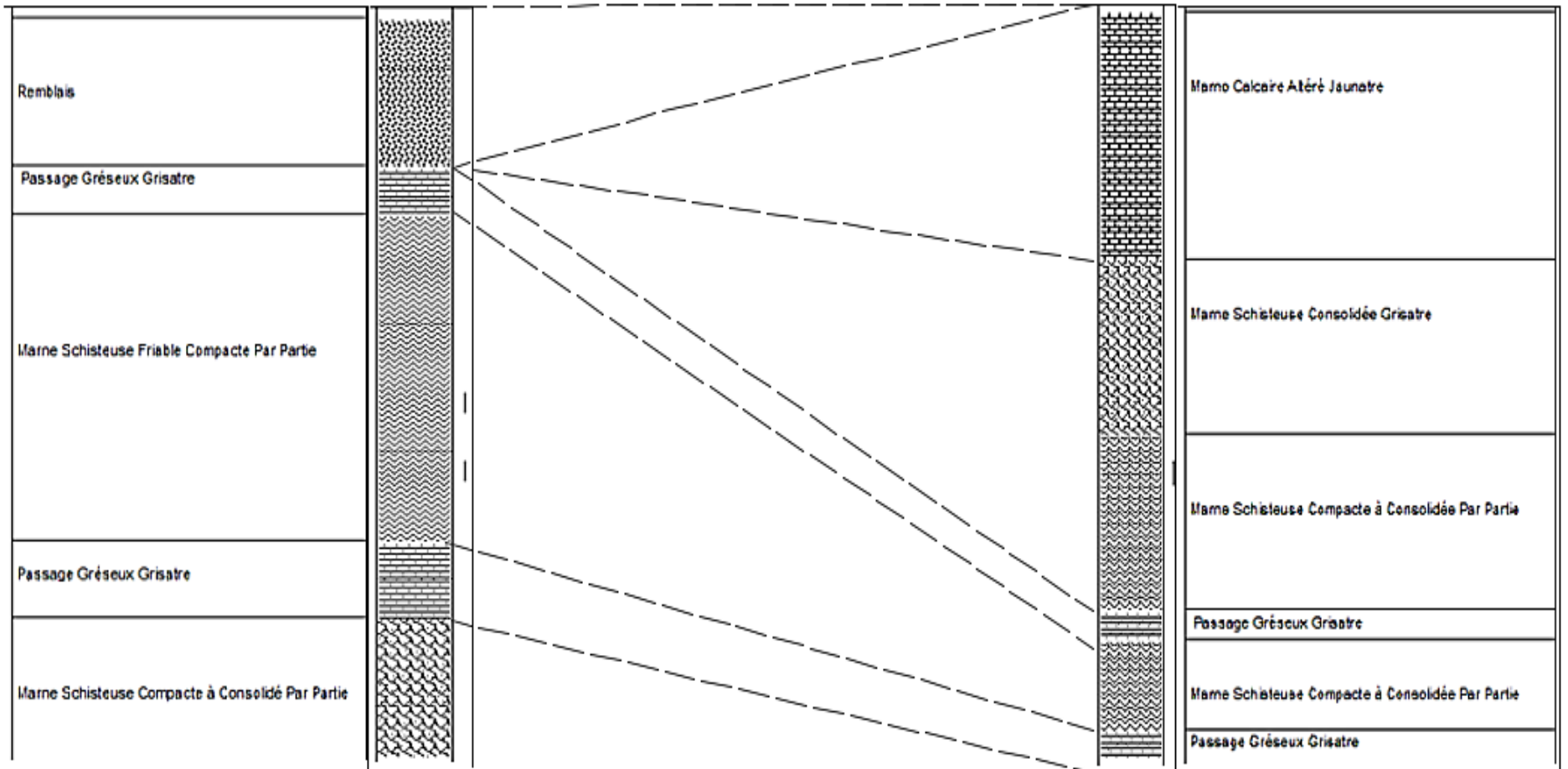
X=

Y=

Z=

Date

m	Recup	NS	Litho	Echt	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.		V							
-1.									Marno Calcaire Altéré Jaunatre
-2.									
-3.	80								
-4.									
-5.									
-6.									Marne Schisteuse Consolidée Grisatre
-7.	90								
-8.									
-9.									
-10.	85								Marne Schisteuse Compacte à Consolidée Par Partie
-11.									
-12.									Passage Gréseux Grisatre
-13.	100								
-14.	100								Marne Schisteuse Compacte à Consolidée Par Partie
-15.	100								Passage Gréseux Grisatre



B/. Corrélation entre les deux sondages carottés 1et

Annexe 02 : : le tableau hydrique

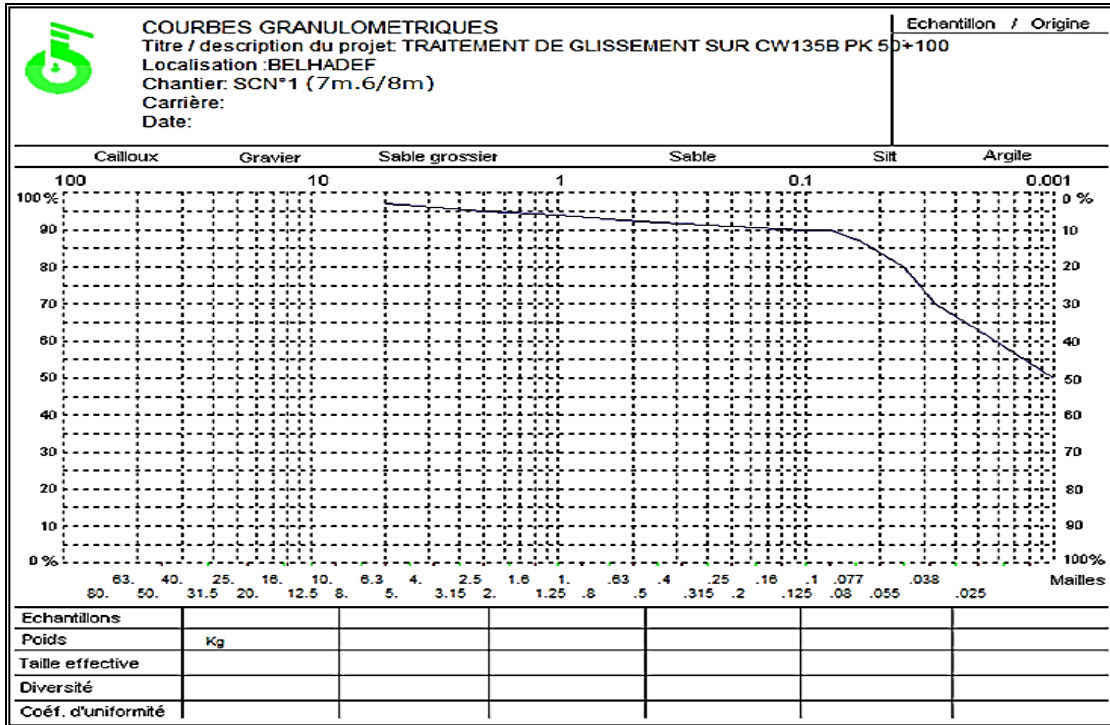
Mois	P(mm)	ETPC (mm)	ETR (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	EXC (mm)	Da (mm)
Sép	71.48	111.23	71.48	-39.75	0.00	0.00	39.75
Oct	83.27	69.71	69.71	13.56	0.00	0.00	0.00
Nov	155.62	42.62	42.62	113.00	100.00	13.00	0.00
Déc	173.41	28.54	28.54	144.87	100.00	144.87	0.00
Jan	137.30	24.94	24.94	112.36	100.00	112.36	0.00
Fév	149.81	22.91	22.91	126.90	100.00	126.90	0.00
Mars	125.40	39.04	39.04	86.36	100.00	86.36	0.00
Avr	91.66	59.77	59.77	31.89	100.00	31.89	0.00
Mai	50.12	89.46	50.12	-39.34	92.55	0.00	39.34
Juin	18.67	126.52	18.67	-107.85	0.00	0.00	107.85
Juil	1.14	136.95	1.14	-135.81	0.00	0.00	135.81
Aout	7.06	130.59	7.06	-123.53	0.00	0.00	123.53
Total	1064.95	825.15	436.01			415.33	446.28

Annexe 03 : Les résultats de Pénétromètre dynamique (Pénétrogrammes).

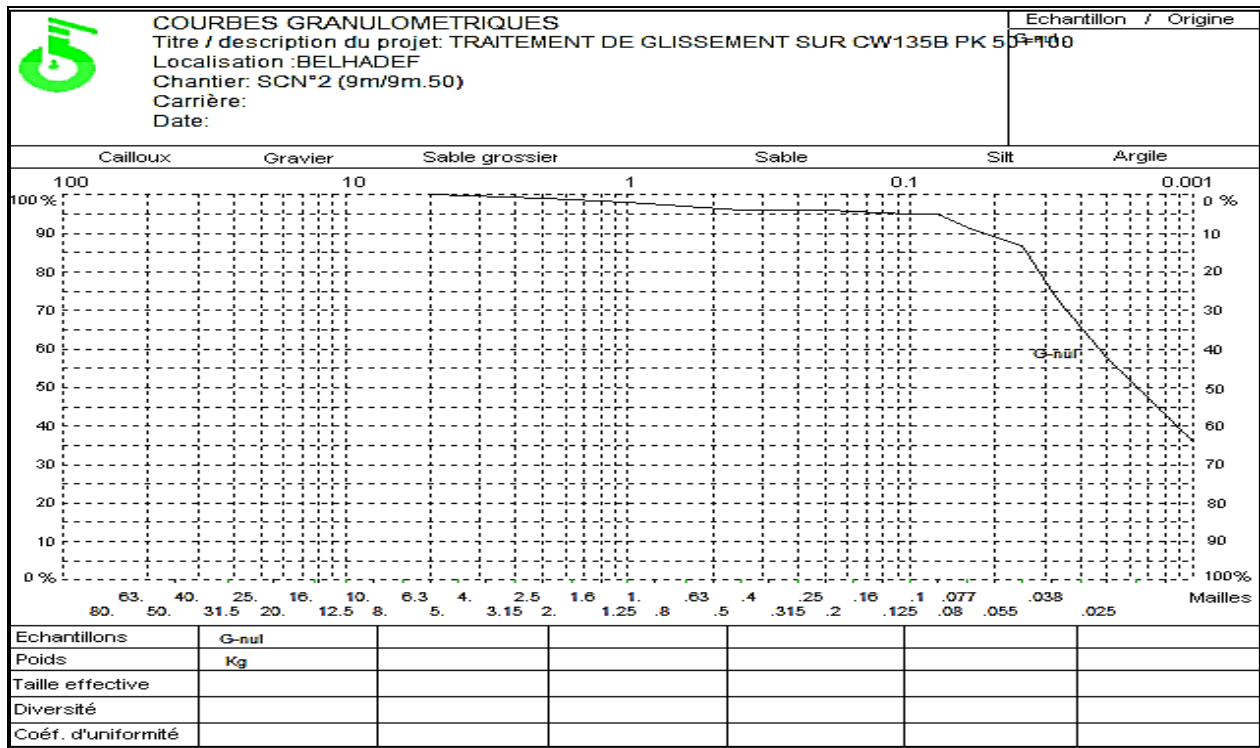
Annexe04 : les essais d'indentification physico-mécaniques des sols :

A/. Les courbes de l'essai granulométrique : l'essai est réalisé par le laboratoire de contrôle techniques et travaux publics CTPP

Sondage01 : profondeur 7.6m-8.0m

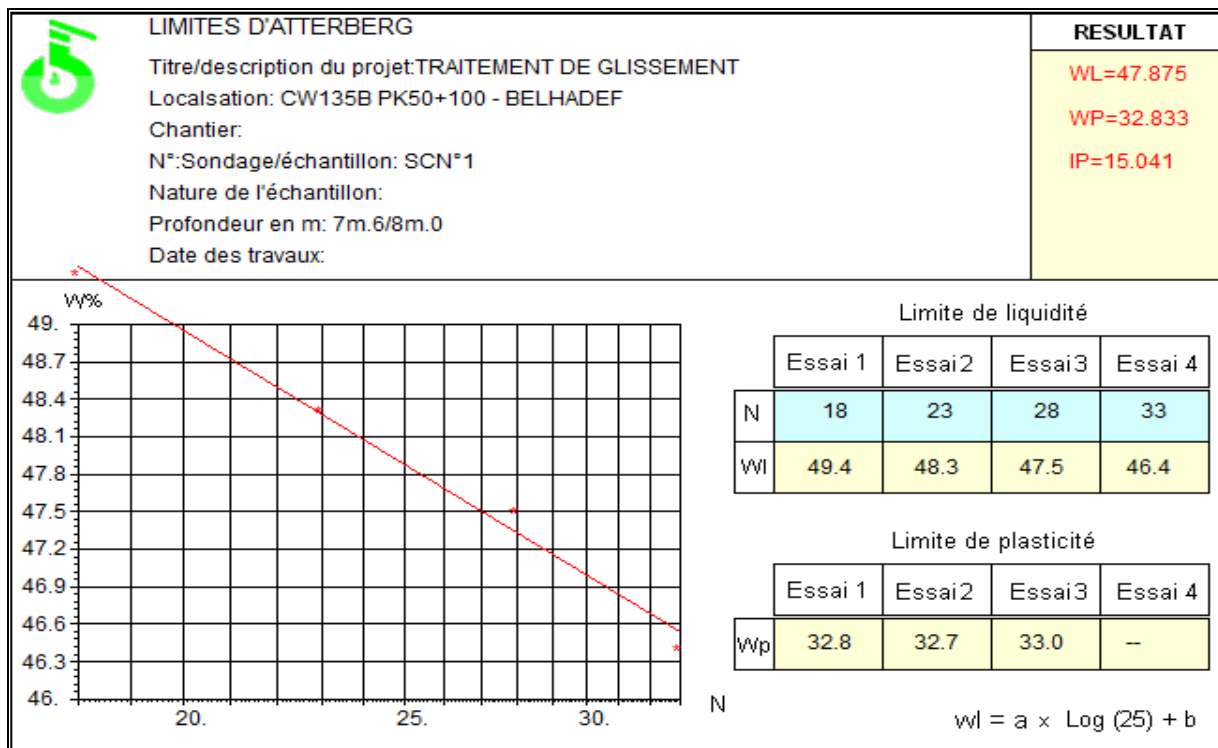


Sondage02 : profondeur de prélèvement 9m – 9.5m

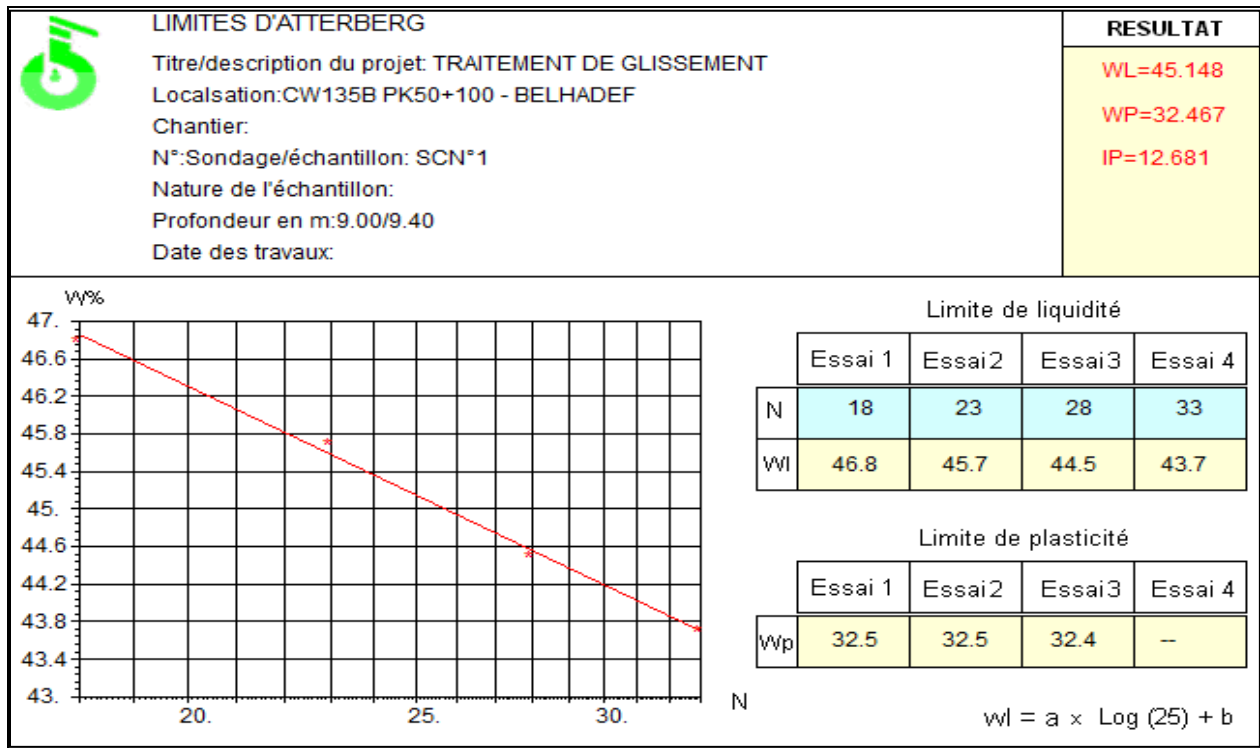


B/. Diagramme de plasticité à partir de limites d'Atterberg :

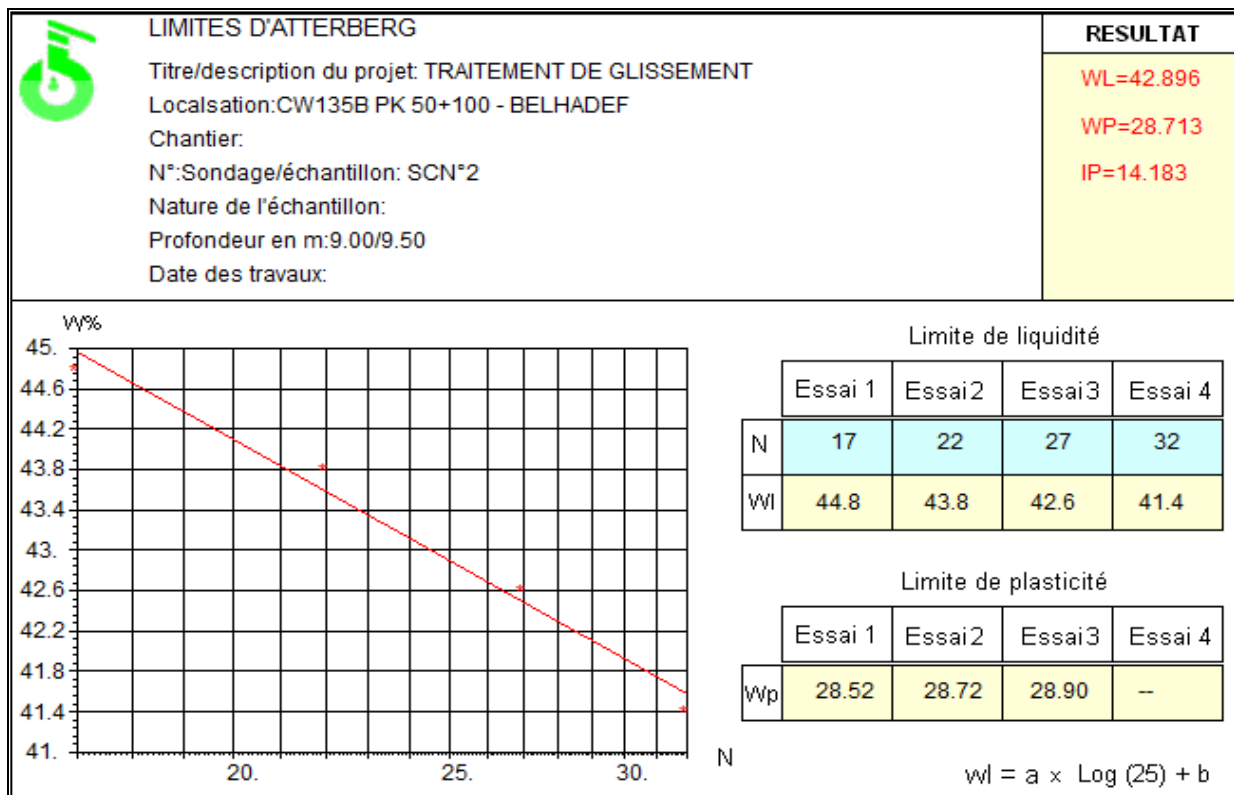
Echantillon de sondage n01 profondeur 7.6m/8m



Sondage n01 : profondeur 9m/9.4m

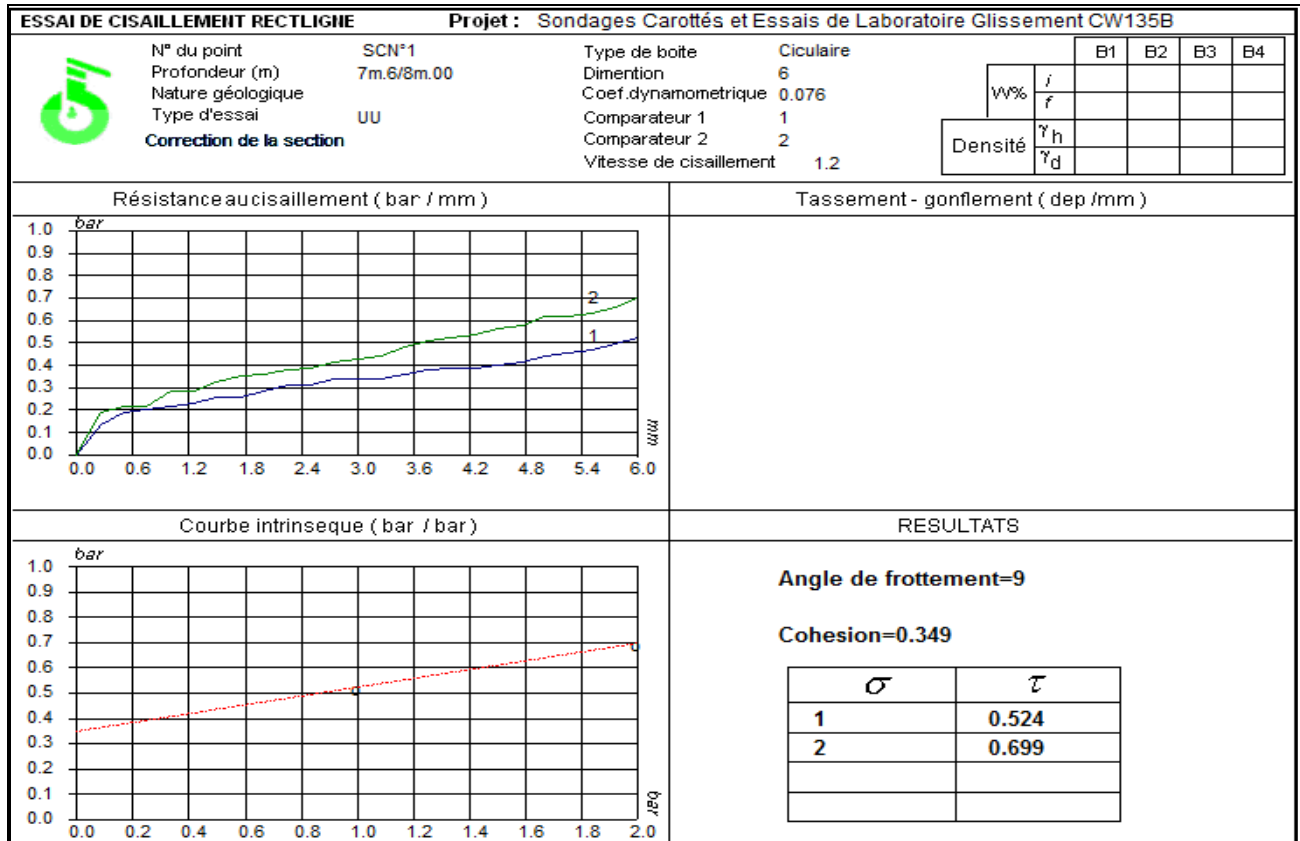


Sondage n02 : profondeur 9/9.5 m

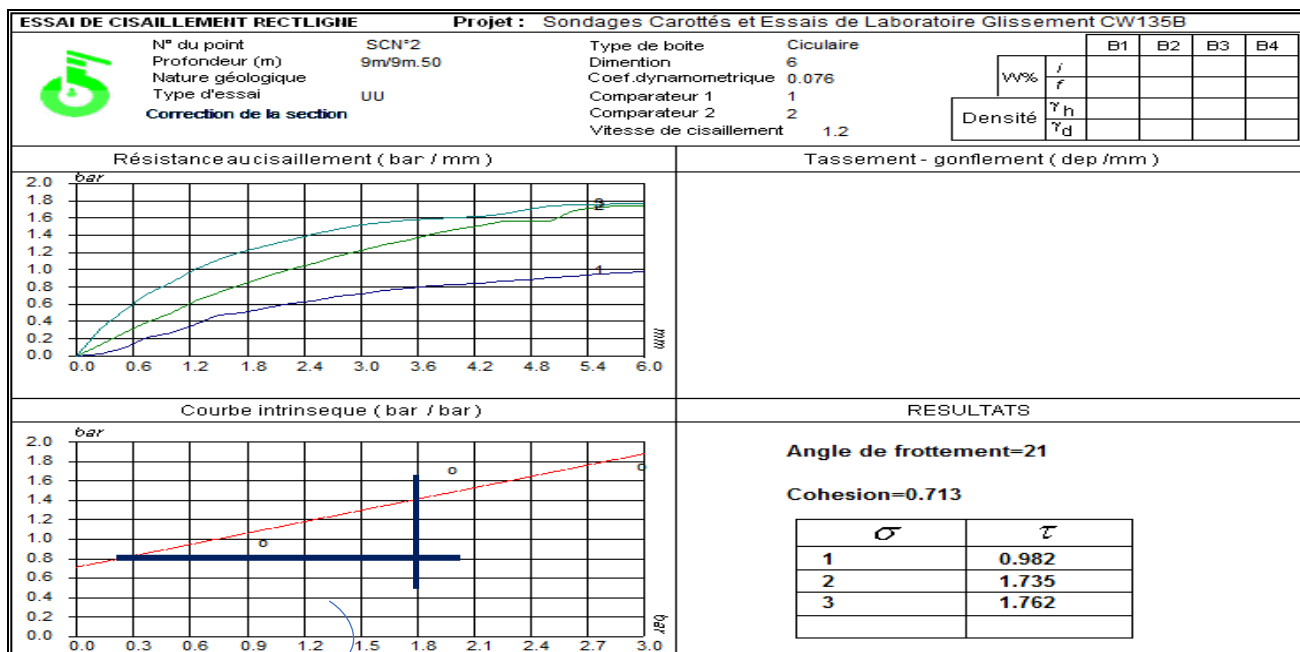


C/. Essai Mécanique : l'essai de cisaillement à la boîte de Cassagrande

Sondage01 : profondeur 7.6m/8.0m



Sondage02 : profondeur de 9.0m/9.5m



Annexe 05 : partie logicielle

A/. Logiciel PLAXIS

Le menu d'entrée des données (input)

Le menu principal du programme d'entrée des données contient des menus déroulant relatifs à la plupart des options pour manipuler des fichiers, transférer des données, afficher des graphiques, créer un modèle géométrique, générer des maillages d'éléments finis et entrer des données en général. Une distinction peut être faite entre le menu du mode de création de la géométrie et le menu des conditions initiales. Le premier est composé des menus File, Edit, View, Geometry, Loads, Materials, Mesh, Initial et Help. Le second est quant à lui composé des menus File, Edit, View, Geometry, Generate et Help.

Le menu File : *New* permet de créer un nouveau projet. La fenêtre des réglages généraux (General settings) apparaît. *Open* : Permet d'ouvrir un projet existant. Le gestionnaire de fichiers apparaît.

Save : permet de sauver le projet en cours sous le nom existant. Si aucun nom n'a été donné, le gestionnaire de fichiers apparaît.

Save as : permet de sauver le projet sous un nouveau nom. Le gestionnaire de fichiers apparaît.

Print : permet d'imprimer le modèle géométrique sur une imprimante choisie. La fenêtre d'impression apparaît.

Work directory : permet de voir le répertoire où les fichiers du projet PLAXIS seront stockés par défaut.

Import Permet d'importer des données géométriques à partir d'autres types de fichiers.

General settings permet de régler divers paramètres de base du modèle.

(Recent projects) permet d'ouvrir rapidement un des quatre projets les plus récemment édité. *Exit* Permet de quitter le programme Input.

Le menu Edit : *Undo* permet de restaurer l'état précédent du modèle géométrique (à la suite d'une erreur de saisie de donnée). L'utilisation à répétition de l'option Undo est limitée aux 10 dernières actions.

Copy permet de copier le modèle géométrique dans le presse-papiers de Windows.

Le menu View : *Zoom in* permet de zoomer sur une zone rectangulaire. Après sélection, la zone à zoomer doit être définie à la souris, en appuyant sur le bouton gauche pour sélectionner un coin de la surface puis en déplaçant la souris en tenant le bouton appuyé jusqu'au coin opposé de la surface où le bouton doit être relâché. Le programme agrandira la surface sélectionnée. L'option de zoom peut être répétée à volonté.

Zoom out permet de restaurer la vue précédant l'agrandissement le plus récent. *Reset view* Permet de restaurer la planche à dessin totale.

Table permet de voir le tableau des coordonnées x et y de tous les points de la géométrie. Le tableau peut être utilisé pour ajuster des coordonnées existantes.

Rulers permet de montrer ou de cacher les règles situées le long de la planche à dessin.

Cross hair permet d'afficher ou de cacher le semis de croix lors de l'entrée d'une géométrie.

Grid permet de montrer ou de cacher la grille de la planche à dessiner.

Axes permet de montrer ou cacher les flèches indiquant les axes x et y.

Snap to grid permet d'activer et de désactiver les points d'ancrage.

Le menu Geometry : Le menu *Geometry* contient les options de base permettant de fabriquer un modèle géométrique. En plus des lignes géométriques normales, l'utilisateur peut sélectionner des poutres, des géotextiles, des éléments d'interfaces, des ancrages et des tunnels.

Le menu Loads : Le menu *Loads* contient les options qui permettent d'ajouter des charges et des conditions aux limites au modèle géométrique.

Le menu Materials : Le menu *Materials* est utilisé pour activer la base de données de création et de modification des propriétés des matériaux pour les sols et les interfaces, les plaques, les géogrilles et les ancrages.

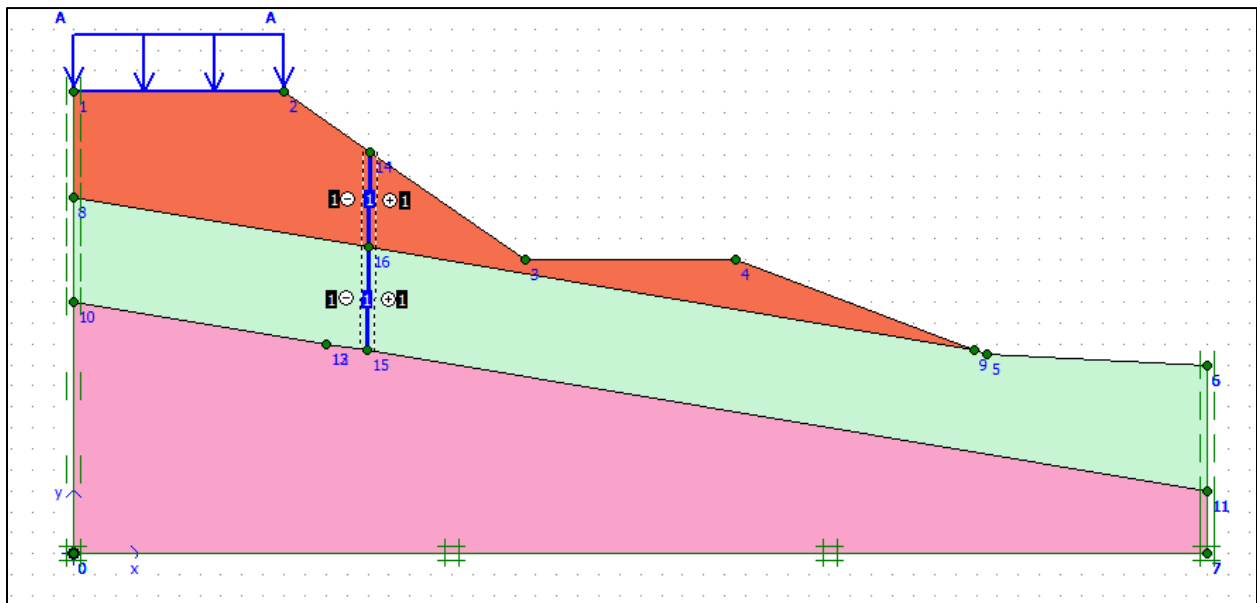
Le menu Mesh : Le menu *Mesh* contient les options permettant de définir le type d'éléments (6 ou 15 nœuds), générer un maillage d'éléments finis ou appliquer un raffinement local ou global du maillage.

Le menu Initial : Le menu *Initial* permet d'accéder au menu des conditions initiales du programme *Input*.

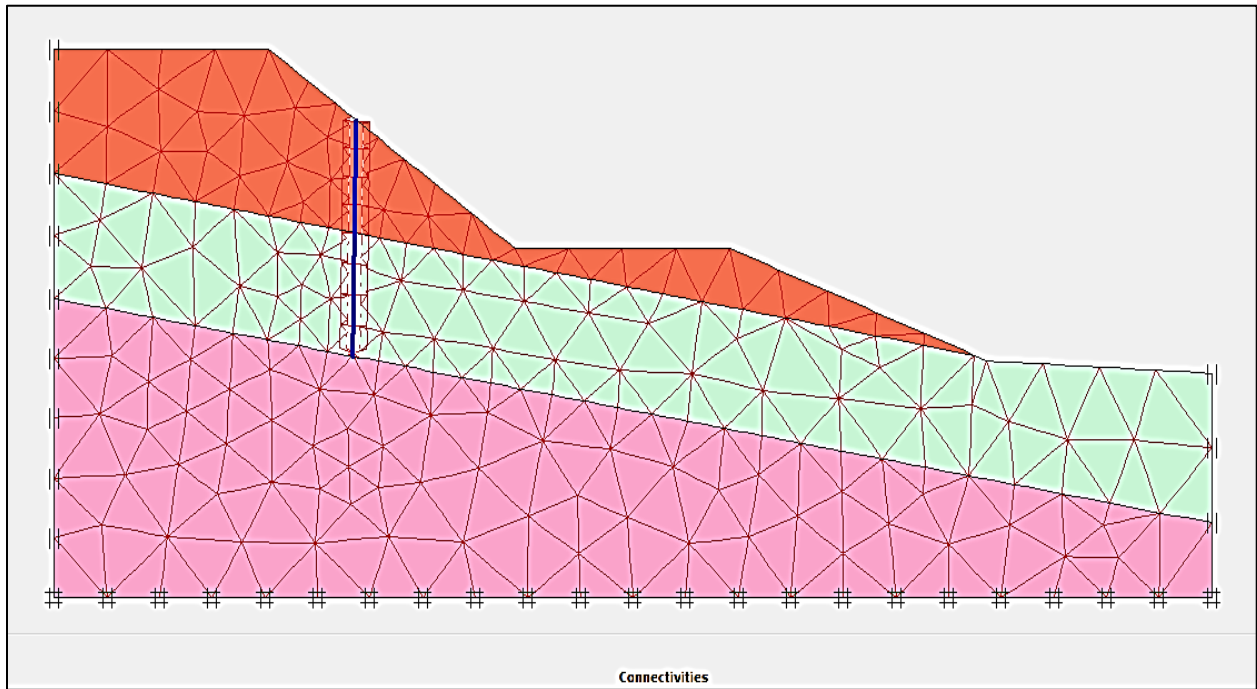
Le menu Geometry du menu des conditions initiales : Ce menu contient les options permettant de modifier le poids volumique de l'eau, dessiner le toit de la nappe phréatique ou créer de nouvelles conditions aux limites pour les écoulements et les analyses de la consolidation.

Le menu Generate du menu des conditions initiales: Ce menu contient les options qui permettent de générer des pressions interstitielles initiales ou des contraintes effectives initiales.

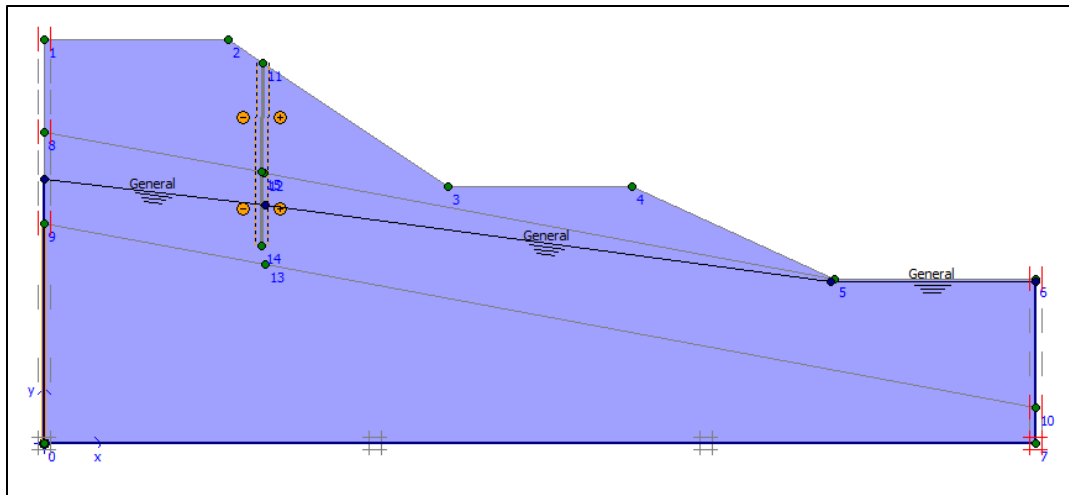
Résultats de la modélisation (modèle numérique réalisé pour le talus étudié)

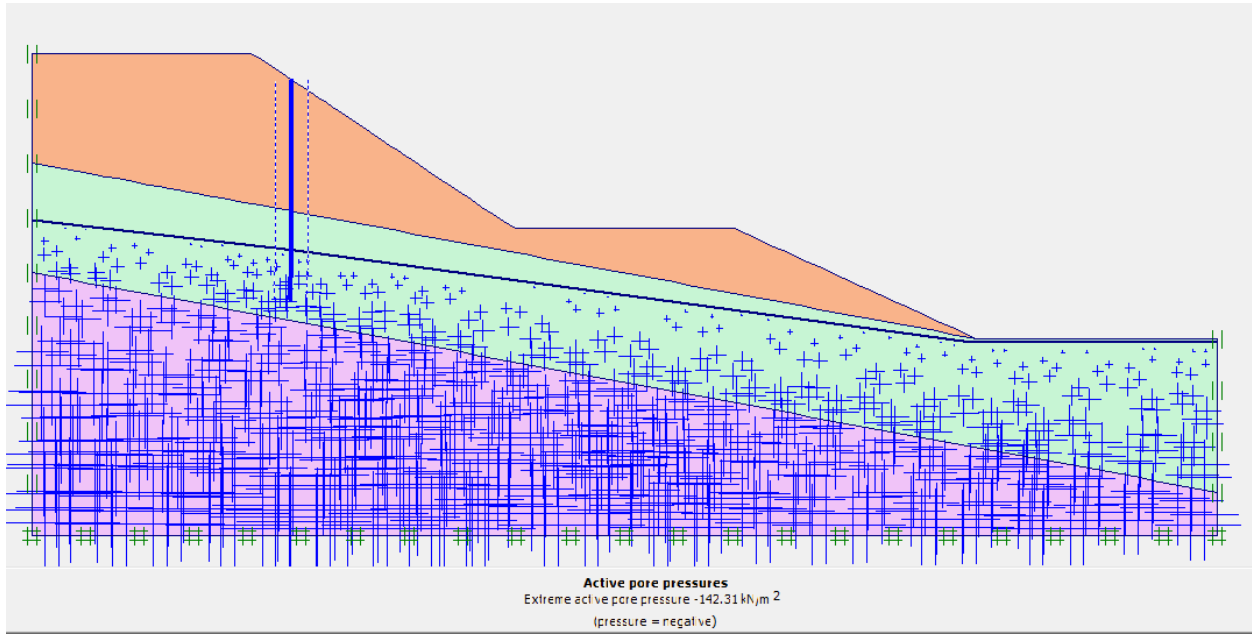


Le Talus étudié

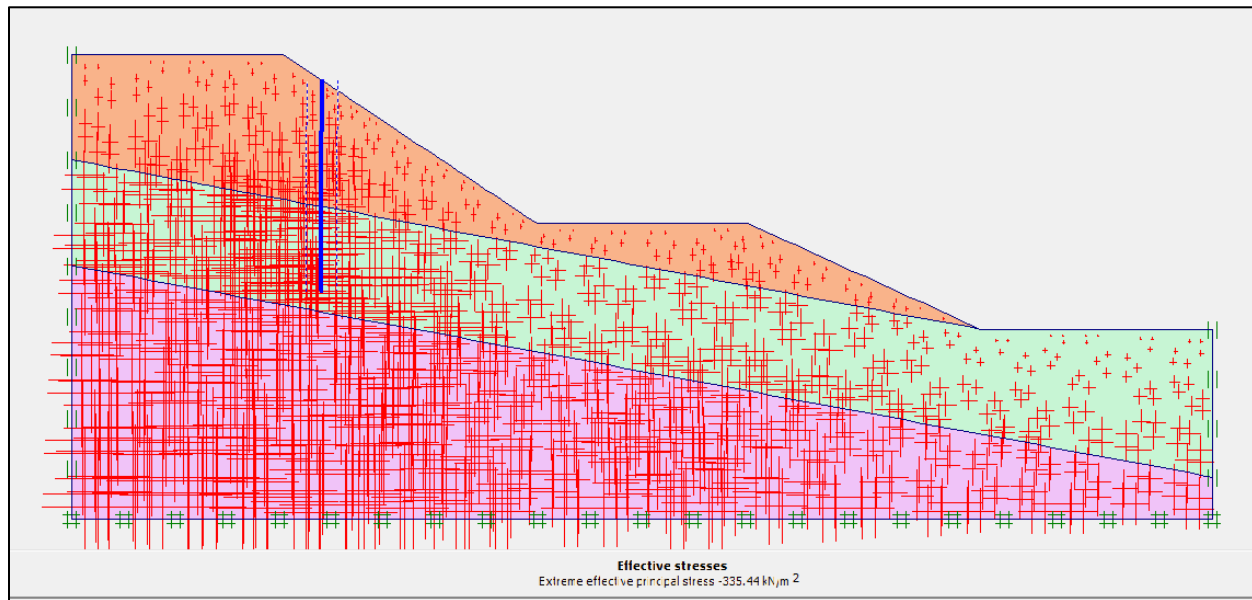


Le maillage du sol (mesh)





Pressions interstitielles forces appliquées



Contraintes effectives

