

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université AboubekrBelkaid
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme
De **Master en Génie Civil**
Option : *Géotechnique*

Thème

RECONNAISSANCE ET ETUDES GEOTECHNIQUES AU SEIN DU LABORATOIRE LTPO

Présenté par :

M^{me} Benhammou Nawel

M^{elle} Boudaoud samira

**Soutenu le 28 septembre 2020
Devant le Jury composé de :**

Mme SMAIL Nadia
Melle AYAD Fatima
Mme BENCHOUK Assia
M. DIB Réda

Maitre de Conférences A
Maitre de Conférences B
Maitre de Conférences A
Ingénieur LTPO

Présidente
Examinatrice
Encadrant
Invité

2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos profonds remerciements à nos encadrants et les employés de LTPO

M^{me} BENCHOUK - BENDIOUIS A. Maître de Conférences A et Mr. DIB .R, Ingénieur au LTPO pour leurs encadrement tout au long de cette période difficile

*A Mr. DAHMANI.H Directeur du LTPO pour nous avoir reçu au laboratoire,
Mr. MECHRENE.M Directeur Technique du LTPO
Mr. ZEGHALEM .F Responsable du laboratoire géotechnique
pour son accompagnement tout au long de notre séjour et ses conseils avisés*

Nous exprimons aussi notre profonde gratitude à :

M^{me} Smail.N, Maître de Conférence A à l'université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen

M^{lle} Ayad F., Maître de conférences A à l'université Abou Bekr

Belkaid, Tlemcen

Pour avoir accepté de faire partie de notre jury et d'examiner ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie le présent travail à

*Mes très chers parents pour leur amour et leur patience, Mon mari , Mes enfants
Ines et Faress ainsi que pour tout ce qu'ils ont fait pour que je réussisse.*

*Qu'ils trouvent à travers ces quelques lignes l'expression de ma profonde gratitude
et de mon éternelle reconnaissance.*

*À mon Frère Nizar et mes sœurs Manel et djazia
À toute ma famille et mes proches.*

À mon très cher neveu Wassim.

*À tous mes ami(e)s et camarades qui m'ont aidé à réaliser ce travail, en
particulier ceux de l'option GEOTECHNIQUE.*

À Ma collègue et binôme BOUADOUD Samira et à sa famille.

À tous ceux qui me sont chers.

À tous les enseignants du Département de Génie Civil, en particulier mon

Encadrant M^{me} BENCHOUK BENDIOUIS.

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma
formation. Je dédie ce travail*

Benhammou.N

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

À ma très chère mère que je ne saurai remercier assez pour les sacrifices

Qu'elle a consentis pour moi.

À mon très cher père qu'il a su se faire sentir dans les moments difficiles ainsi

Que pour chaque instant de bonheur qu'il m'a procuré.

À mes sœurs, mon frère et toute ma famille.

À tous mes amis (es).

À Mon binôme BENHAMMOU .Nawel

Et à toute ma promotion du Département de Génie Civil-option

GEOTECHNIQUE.

À tous les enseignants du Département de Génie Civil en particulier

mon Encadrante M^{me} BENDI-OUIS A .

BOUDAOU D. S

Résumé

L'objectif principal de ce travail est de concrétiser la coopération université-entreprise en effectuant un long séjour dans une entreprise dans le cadre d'un projet de fin d'études.

Suivant le travail du moment au sein du laboratoire de travaux publics de l'ouest nous avons effectué deux missions distinctes :

- La première : Sur terrain, en effectuant une campagne de reconnaissance géotechnique à Maghnia et en exploitant les résultats pour identification du sol.
- La deuxième : Modélisation d'un glissement de terrain au nouveau pôle universitaire de Cheteounele logiciel GeoSlope

Mots clés : Professionnel, LTPO, reconnaissance géotechnique, glissement, Geoslope

ملخص :

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تجسيد التعاون بين الجامعة والأعمال من خلال إقامة طويلة في الشركة كجزء من مشروع التخرج.

بعد العمل الحالي في مختبر الأشغال العامة الغربية ، قمنا بتنفيذ مهمتين متميزتين:

- الأول: في الميدان من خلال القيام بحملة استطلاعية جيوتقنية في مغنية واستخدام النتائج لتحديد نوعية التربة.
- الثاني: نمذجة انهيار أرضي في المركز الجامعي الجديد بشتوان باستخدام برنامج GeoSlope

الكلمات المفتاحية: محترف ، LTPO ، استطلاع جيوتقني ، انزلاق أرضي ، Geoslope

ABSTRACT

The main objective of this work is to embody the cooperation between the university and the business through a long stay in the company as part of the graduation project.

After the current work in the Western Public Works Laboratory, we have carried out two distinct missions:

- The first: In the field, by conducting a geotechnical reconnaissance campaign in Maghnia and using the results to determine the quality of the soil.
- The second: modeling a landslide at the new university center in Pashtiyon, using GeoSlope software

Keywords: professional, LTPO, geotechnical reconnaissance, landslide, Geoslope

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	7
CHAPITRE 1 : Présentation du LTPO	8
1.1 INTRODUCTION :.....	8
1.2 DESCRIPTION DE LTPO :	8
1.2.1 Historique :.....	8
1.2.2 Domaine d'activité :.....	9
1.3 INFRASTRUCTURES ET MOYENS MATERIELS :.....	9
1.3.1 Locaux :	9
1.3.2 Organisation :.....	10
1.3.3 Matériels :	11
1.4 PROJETS ENTREPRIS PAR LE LTPO :	11
1.5 DEROULEMENT DES TRAVAUX :.....	12
1.5.1 Prise en charge des demandes d'essais :.....	12
1.5.2 Prise en chargées échantillons :	12
1.5.3 Identification des échantillons :	12
1.5.4 Réalisation des essais :.....	12
1.6 REFERENCES NORMATIVE :.....	13
1.6.1 Système SMQ :	13
1.6.2 ISO 9001 :	13
1.7 LES ESSAIS IN SITU :.....	13
1.7.1 Définition :	13
1.7.2 Sondage :.....	13
1.7.3 Objectif du sondage :	13
1.7.4 Les différents types de sondages :	14
1.8 ESSAI AU LABORATOIRE :.....	14
1.8.1 Laboratoire des Produits noir :.....	14
1.8.2 Laboratoire géotechnique :.....	14
Essai chimiques :(laboratoire de chimie).....	14
Essai physique (laboratoire routier).....	14
Essaimécanique :(laboratoire routier).....	15
1.8.3 .Laboratoire de ciment	15
1.9 CONCLUSION :.....	15
CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains	16

2.1. INTRODUCTION :	16
2.1.1.) Les glissements :	16
2.2. VITESSE MOYENNE DE MOUVEMENT DES GLISSEMENTS :	17
2.3. CLASSIFICATION :	18
2.3.1. Forme de la surface de rupture :	18
2.3.2. Causes de glissements :	18
2.4. LES TECHNIQUES DE STABILISATION :	18
2.4.1 Choix d'une technique :	18
2.4.2 Caractérisation du site :	18
2.5. ADAPTATION DE LA TECHNIQUE AU GLISSEMENT :	19
2.6. METHODE DE STABILISATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN :	21
2.6.1 Mise en œuvre de terrassements :	21
2.6.2 Les dispositifs de drainage :	22
2.6.3 L'introduction d'éléments résistants :	24
2.6.3.1 Définitions des murs de soutènements :	24
2.6.3.2 Différents type des murs de soutènement :	25
2.7 CONCLUSION:	28
CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique	29
3.1 Introduction :	29
3.2 Localisation De Site Maghnia (Tlemcen) :	29
3.3. Les essais In-Situ :	31
<input type="checkbox"/> But d'essai :	31
<input type="checkbox"/> Principe :	31
<input type="checkbox"/> Usages :	32
<input type="checkbox"/> Types de sondages carottés :	32
3.4. Les essais au laboratoire (L.T.P.O) :	33
a) L'analyse granulométrique (Norme NF P 94-056) :	33
<input type="checkbox"/> But de l'essai :	33
b) Essai de Sédimentométrie : (Norme NFP 94-057) :	33
<input type="checkbox"/> Le but d'essai :	33
<input type="checkbox"/> Résultats :	34
<input type="checkbox"/> Interprétation :	34
<input type="checkbox"/> Interprétation :	35
c) Limite d'ATTERBERG : (Norme NF p 94-051) :	36
<input type="checkbox"/> But de l'essai :	36
<input type="checkbox"/> Préparation de l'échantillon de l'essai :	36
<input type="checkbox"/> Mode opératoire de l'essai :	36

□ Les résultats	37
□ Interprétation :	39
d) L'essai de cisaillement rectiligne direct à la boîte (NF P 94-71-1) :	39
□ But d'essai :	39
□ Principe :	40
□ Préparation de l'échantillon :	40
• Mise en place de l'échantillon dans la boîte :	40
• Saturation et consolidation :	40
• Calcule et Résultats :	40
3.5 Conclusion :	43
CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas	44
4.1 Introduction :	44
4.2 Le projet :	44
4.3 SITUATION DU TERRAIN ET DONNEE FOURNIES SUR LE PROJET :	44
4.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SITE DU GLISSEMENT :	46
4.5 RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE DU TERRAIN	47
2) RESULTATS DES INVESTIGATIONS ET ESSAIS REALISES	48
a) Sondages carottés	48
• Niveau d'eau en sous-sol	50
b) Résultats des essais géotechniques et analyses chimiques réalisés	51
c) Résultats des essais pressiometriques	52
4.6 EXPLOITATION DES DONNEES ET ANALYSE DE LA STABILITE	54
1) Profils géométrique établis :	54
2) Analyse à rebours de la stabilité du versant :	54
2.a)Présentation de logiciel GEOSLOPE :	55
2.b) L'analyse par GEOSLOPE :	56
4.7 Solution de reprise :	59
4.8 Conclusion :	60
CONCLUSION GENERALE	61

TABLE DES FIGURES

Figure (1.1) : organigramme du LCTP.....	9
Figure (1.2):Plan de distribution des services du LTPO-Tlemcen.....	10
Figure (2.3) : Les quatre grands types de mouvements de terrain.	16
Figure (2.4) : représente les deux types de glissement (plan et rotationnel).....	17
Figure (2.5) : Le chargement en pied(ORRM,2014).....	22
Figure (2.6) :Drainage des eaux de surface à l'aide d'un caniveau (Alpes-Maritimes) (ORRM,2014)	22
Figure (2.7): Drains subhorizontaux(ORRM,2014).....	23
Figure (2.8) : Tranchées drainantes(ORRM,2014)	23
Figure (2.9): mur de soutènement (Zeroual. F,2013).....	24
Figure (2.10) : Mur en (T renversé)(Annane .A ; 2013)	25
Figure (2.11) : Mur en déblai (Annane .A ; 2013).....	26
Figure (2.12) : diverses dispositions de bèches (Annane .A ; 2013).....	26
Figure (2.13): Mur à contreforts (Annane .A ; 2013).....	27
Figure (2.14): Mur de cantilever.	28
Figure (3.15): image du projet Google earth.....	30
Figure (3.16): localisation du site et l'implantation des sondages	30
Figure (3.17): Essai de sondage carottier	31
Figure (3.18): <i>Caisse de carottes prélevées après un sondage</i>	32
Figure (3.19): Appareil de Casagrande avec la préparation de l'échantillon.....	37
Figure (3.20): la limite de liquidité du sondage 1	37
Figure (3.21): limite de plasticité	38
Figure (3.22): Limite de liquidité du sondage 2.....	38
Figure (3.23): Limite de plasticité du sondage 2.....	39
Figure (3.24) : Appareillage d'essai granulométrie par vois humide (tamiseuse).....	33
Figure (3.25): Appareillage d'essai sédimentométrie	34
Figure (3.26) : la courbe granulométrique sondage1	34
Figure (3.27) : la courbe granulométrique sondage2	35
Figure (3.28) : représente la déformation de sol en fonction de la contrainte.....	41
Figure (3.29) : Détermination la cohésion	41
Figure (3.30) : Représente la déformation de sol en fonction de la contrainte (sondage2).....	42
Figure (3.31) : Détermination la cohésion sondage 2	42
Figure (4.32):Levé topographique de la zone de l'étude	45
Figure (4.33):Photo du site montrant l'état de dégradation	45
Figure (4.34):Position géographique par Google earth.....	46
Figure (4.35):caisses des sondages SC1.....	48
Figure (4.36):Caisses de sondage SC2.....	49
Figure (4.37): Caisses de sondage SC3	49
Figure (4.38):caisses de sondage SP1	50
Figure (4.39):casses de sondage SP2	50
Figure (4.40):Profil géométrique P1 selon l'axe paant par SP1 et SC2.....	54
Figure (4.41) :le talus sans mur avec un $F_s=1,096$	56
Figure (4.42): talus avec mur avec $F_s=1,553$	57
Figure (4.43): modélisation du talus avec nappe.....	57
Figure (4.44) : talus avec nappe avec $F_s=1,096$	58
Figure (4.45) : talus renforcé par le mur avec l'existence de la nappe $F_s= 1,552$	59
Figure (4.46):Réalisation d'un mur de soutènement.....	60

TABLE DES TABLEAUX

Tableau (2.1) : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.(Djamel .B ;2010)	17
Tableau (2.2) : présente les différentes techniques de stabilisation des glissements de terrain (LCPC,1998)	19
Tableau (3.3): Limites d'Atterberg et classification de sol sondage 1	35
Tableau (3.4) : Limites d'Atterberg et classification de sol sondage 2	36
Tableau (4.5) : Sondage SC1 de 15,0 ml de profondeur,	48
Tableau (4.6) : Sondage SC2 de 11,0 ml de profondeur :	48
Tableau (4.7) Sondage SC3 de 20,0 ml de profondeur,	49
Tableau (4.8) Sondage SP1 de 20,0 ml de profondeur :	49
Tableau (4.9) : Sondage SP2 de 20,0 ml de profondeur :	50
Tableau (4.10):niveau de la nappe d'eau	51
Tableau (4.11): caractéristique marne jaunâtre	51
Tableau (4.12):caractéristique marne verdâtre	52
Tableau (4.13):Résultats pressiométrique	53
Tableau (4.14):caractéristique des argiles	54
Tableau (4.15):valeurs des surcharges	55
Tableau (4.16):classification de coefficient de sécurité selon l'importance de l'ouvrage(Koudrey;2005)	56

PRINCIPALES NOTATIONS ET ABREVIATIONS :

LTPO: Laboratoire travaux publique de l'ouest

LCTP : laboratoire central de travaux publics

SPA : société par action

I_p : indice de plasticité

WL : limite de liquidité

\emptyset : la continue de la pente

LCPC : Laboratoire control des Ponts et
Chaussées

Fs : coefficient de sécurité

pf : Pression de fluage

Ec : Ercode

PI : Pression limite

C : la cohésion

SMQ : système management de qualité

E : Module pressiométrique

BB : béton bitumineux

SP : Sondage

GB : grave bitumineux

γ_d : la densité apparente

Iso : Isolation

ϕ_u : l'angle de frottement

Cu : la cohésion non drainée

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons réalisé notre travail dans un cadre professionnel. En l'occurrence le laboratoire des travaux publics de l'ouest, antenne de Tlemcen LTPO.

Les missions principales du LTPO nous ont permis de prendre conscience du travail sur terrain et l'aspect application de l'ingénieur géotechnicien.

Notre travail en étroite collaboration avec les ingénieurs et techniciens du LTPO nous a permis de prendre conscience de l'importance de bien conduire une étude de sol. Un bon calcul de superstructure ne suffit pas à lui seule pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Une majorité de cas de pathologies sont dues à une insuffisance de reconnaissance du sol d'assise des ouvrages.

Dans cette optique, nous avons fait un travail pratique suivant les projets en cours au sein du laboratoire LTPO.

Pour présenter les travaux qu'on a réalisés au LTPO, nous avons divisé notre mémoire en 4 chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous avons présenté les structures et missions du LTPO.
- ✓ Le second chapitre est consacré à une bibliographie sommaire concernant les glissements de terrain vu que c'est un risque géotechnique qui a des incidences importantes sur la stabilité des ouvrages.
- ✓ Le troisième chapitre est consacré à la première mission réalisée sur chantier concernant une campagne de reconnaissance géotechnique.
- ✓ La quatrième et dernière partie de ce mémoire est dédié à une étude de cas réel concernant un glissement de terrain qui s'est produit à Chetouane. Cette étude est traitée par le logiciel GeoSlope.

En fin nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale où nous montrons l'intérêt d'un mémoire pratique effectué dans un cadre professionnel.

CHAPITRE 1 : Présentation du LTPO

1.1 INTRODUCTION :

Le présent chapitre aborde le cadre où on a effectué notre travail. Notre projet de fin d'étude s'est déroulé dans un cadre professionnel au sein du laboratoire LTPO. Toute cette période passée au LTPO nous a permis de se familiariser avec le domaine professionnel.

C'est dans cette optique qu'on a axé notre travail sur la présentation du laboratoire LTPO, son historique, ses missions et les différents services qui le composent.

1.2 DESCRIPTION DE LTPO :

1.2.1 Historique :

En 1997, le groupe des Laboratoires contrôles des travaux publics (Groupe LCTP) a été institué avec ses trois filiales : le LTP-Ouest, le LTP-Est et le LTP-Sud pour couvrir par leurs interventions techniques l'ensemble du territoire algérien.

Le laboratoire des travaux public de l'ouest LTPO unité de Tlemcen est une entreprise qui siège à Abou-Tachfine, Tlemcen. Elle est née de la restructuration de l'ex laboratoire des travaux publics et Bâtiments (LNTPO), fondé à Alger, il y'a plus d'un siècle.

Aujourd'hui le laboratoire des travaux publics est une entreprise publique économique, une société par action (SPA) et filialisé au groupe LCTP.

La structure mère est divisée en 4 unités dont celle de Tlemcen et les différentes antennes rattachées aux unités. La figure 1.1 représente l'organigramme des différents laboratoires réparties sur le territoire national.

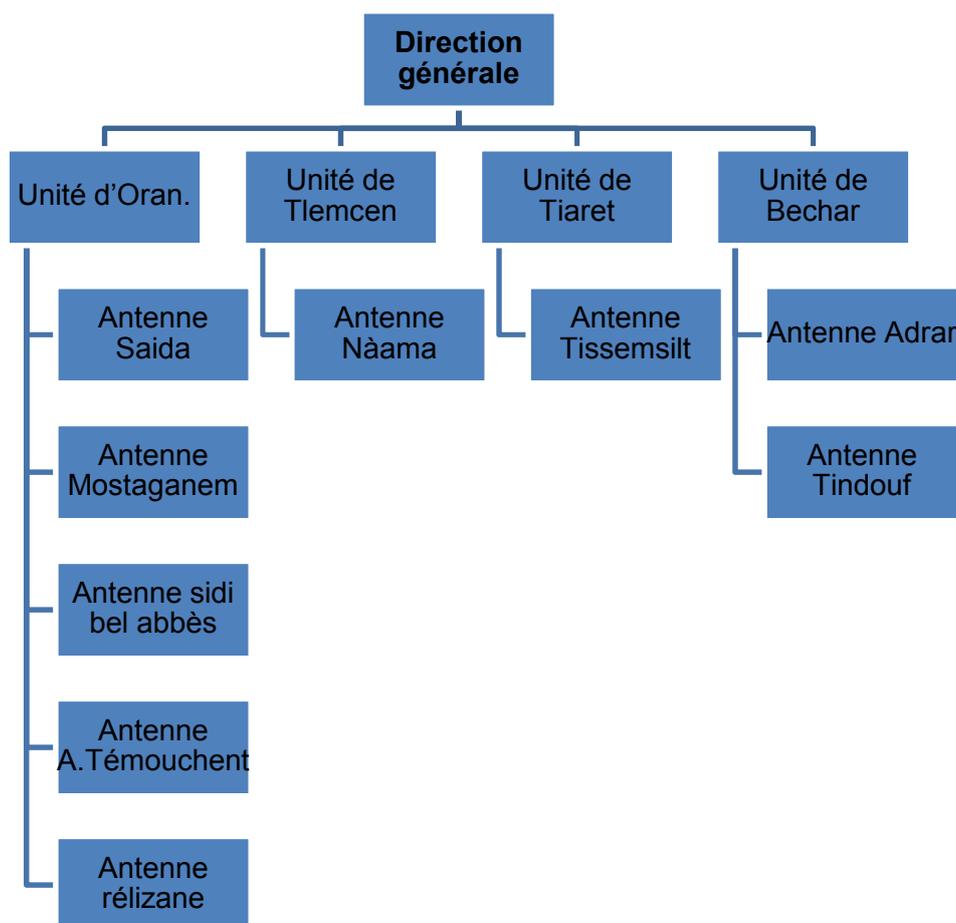


Figure (1.1) : organigramme du LCTP

1.2.2 Domaine d'activité :

Le LTPO fournit différentes prestations pour les clients et les maîtres d'ouvrages d'infrastructures dans les domaines suivants :

- Etudes géotechniques des projets des bâtiments.
- Etudes géotechniques de projets des routes et ouvrages d'art.
- Etudes géotechniques de projets des aéroports.
- Etudes géotechniques de projets de barrages.
- Etudes de formulations des bétons hydrauliques et hydrocarbonés.
- Contrôle et suivi des travaux routiers, bâtiments, aéroports, ports...

1.3 INFRASTRUCTURES ET MOYENS MATERIELS :

1.3.1 Locaux :

Le LTPO fournit à ses équipes d'ingénieurs experts et d'études, des espaces et des moyens de travail propices à la production intellectuelle et au travail d'équipe. Ci-après un plan de distribution des différents services au sein du LTPO.

1.3.2 Organisation :

Les différentes structures composant l'entreprise se répartissent en :

- Direction Générale.
- Direction technique.
- Direction étude et programmation.
- Direction de l'administration et des finances.
- Direction des unités.
- Départements techniques.
- Département physico-chimie.
- Chefs d'antennes.
- Les chefs de service.



Figure (1.2): Plan de distribution des services du LTPO-Tlemcen

1.3.3 Matériels :

Le LTPO s'est doté de l'ensemble des matériels et équipements d'essais, de contrôle, de sondage et auscultation :

- Matériel sondage et essai « IN SITU ».
- Matériel et équipement d'auscultation.
- Matériel de surveillance (topographique, inclinomètres).
- Equipements d'essais de laboratoire (produits noirs, matériaux et bitumes, géotechnique, chimie).
- Matériel de métrologie du groupe des filiales.
- Matériel roulant (véhicule de liaison, camion).

Ce matériel est entretenu régulièrement par la structure concernée, et dans certains cas par le biais des prestations externes.

1.4 PROJETS ENTREPRIS PAR LE LTPO :

Le LTP-Ouest a participé, et participe actuellement à la conception et à l'édification de grandes projets tels que :

- L'Autoroute Est-Ouest et les différentes pénétrantes la desservant (port d'Oran à l'Autoroute Est-Ouest, port de Ténès à Tissemsilt, port Ghazaouat à l'Autoroute Est-Ouest, Sidi Bel-Abbès à Saida, Mascara à Saida, port Mostaganem à Relizane.
 - Les réseaux multitubulaires de l'Autoroute Est-Ouest.
 - La nouvelle ligne ferroviaire Relizane-Tiaret-Tissemsilt
 - La modernisation de la nouvelle ligne ferroviaire Oued Tlelat-Maghnia.
 - L'autoroute des hauts plateaux
 - La route Tsabit-Chenachen (Adrar-Tindouf)
 - La deuxième Rcade autoroutière d'Oran
 - La grande mosquée d'Ibn Badis d'Oran
 - Les tramways d'Oran, de Mostaganem et de Sidi Bel-Abbès
 - Aéroport d'Oran, de Tafraoui, de Tlemcen, de Béchar, de Mecheria, de Bordj BajiMohktar, de Tiaret, de Mostaganem, de Mascara, etc ...ainsi que l'aérogare de l'aéroport d'Oran
 - Cimenterie Zahana
 - Barrages et retenues collinaires à Tlemcen, à El-Bayadh et à Béchar
 - Silos de stockage à Mohammadia, à Oued Tlelat, à Ouled Mimoun, à Oran
 - Bacs de stockage NAFTAL, à Sidi Bel –Abbès et à Arzew
 - Chantier naval d'Arzew
 - Expertise de divers bâtiments à la base navale principale de Mers El Kebir.
 - Collaboration avec les partenaire étrangers :
 - Liaison ferroviaire de Ain-Temouchente, béni Saf pour Ircon (Inde)

CHAPITRE 1 : Présentation du LTPO

- Stations de compression HassiR'mel, Ouargla, Zina, RhourdNouss pour Bechtel (USA).
- Travaux de génie civil Naftal, Remchi, pour Bentini (Italie).
- Assistance technique durant passage de convoi exceptionnel pour ABB &cPETROFAC (multinationale).
- Abri de pêche Marset Ben M'hidi pour Ingraco.
- Université de Tlemcen pour CSCEC (chine)
- Investigations géologiques et géotechnique MezaourouGhazaouet pour Solmers (Canada).
- Autoroute est-ouest pour Egis route/scetauroute (France) Zagreb (Croatie)
- Hôtel ibis.
- Hôtel Renaissance international

1.5 DEROULEMENT DES TRAVAUX :

1.5.1 Prise en charge des demandes d'essais :

- Les demandes d'essais, d'études ou de contrôles des clients sont reçues par le directeur du laboratoire.
- Le registre d'ouverture du dossier technique est tenu à jour par le service administratif.
- Le programme d'essais est défini explicitement en énumérant les essais à réaliser.

1.5.2 Prise en chargées échantillons :

Les prélèvements des échantillons in situ et leurs livraisons sont effectuées soit par des agents de laboratoire, soit par le client. Dans les deux cas la réception des échantillons est assurée par le responsable du laboratoire d'essais qui renseigne une feuille de réception.

Les échantillons sont paraffinés pour conserver leurs caractéristiques et ils sont mis dans des caisses.

1.5.3 Identification des échantillons :

Les échantillons prélevés sur les chantiers sont mis dans des sacs propres soigneusement étiquetés en mentionnant : date de prélèvement, le lieu, ou chantier, le client, numéro de sondage.

1.5.4 Réalisation des essais :

- Le responsable du laboratoire d'essais confie les échantillons aux agents en charge de la réalisation des essais.
- Les échantillons sont identifiés grâce à une étiquette. La feuille d'essai est renseignée par l'opérateur lors de la réalisation de l'essai. Il appose son nom et son visa sur la feuille d'essai après l'achèvement de l'essai.

CHAPITRE 1 : Présentation du LTPO

▪ Enfin le responsable du laboratoire d'essais procède à la vérification des données figurant sur les feuilles d'essai sur lesquelles il appose ensuite son nom et son visa.

1.6 REFERENCES NORMATIVE :

1.6.1 Système SMQ :

Le système SMQ englobe des acteurs, des activités, des matériels divers dans l'entreprise et en même temps interdépendants pour atteindre l'objectif visé en lien avec la satisfaction du client final. Ce système est coordonné et piloté par la ligne managériale de l'entreprise, qui se donne ainsi les moyens d'atteindre les priorités qu'elle a elle-même définies

1.6.2 ISO 9001 :

Le référentiel ISO 9000 en apporte une description et l'ISO 9001 les traduit en exigences à mettre en œuvre. Le respect de celles-ci permet à l'organisme de construire un SMQ pertinent et de viser sa certification s'il le souhaite.

1.7 LES ESSAIS IN SITU :

1.7.1 Définition :

Les essais in-situ sont des mesures physiques directement sur le terrain. Les données récupérées sur le terrain sont traitées par les ingénieurs.

Les essais réalisés sont principalement :

1. L'essai pressiométrique (réalisé dans un sondage)
2. L'essai pénétrométrique (mesure directe de résistivité du sol par enfoncement d'une pointe)
3. Des essais de vérification de compacte de terrain (essai de plaque, pénétromètre léger type Panda)
4. Spt

1.7.2 Sondage :

Les sondages carottés fournissent la meilleure qualité d'échantillon permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols. Les sondages carottés permettent de visualiser les terrains traversés, de préciser avec certitude leur disposition géométrique, d'effectuer un certain nombre d'essais de laboratoire et in situ.

1.7.3 Objectif du sondage :

- La reconnaissance géologique du sol par prélèvements d'échantillons
- La réalisation d'essais pressiométriques
- La pose de piézomètres

1.7.4 Les différents types de sondages :

• **Destructifs** : tarière pour des sols tendre et forage destructif pour des sols durs. Les forages destructifs fournissent des échantillons remaniés.

• **Carottage** (rotatifs, simple, double, triple...) : Adaptable à tous type de sols. Permet le prélèvement d'échantillons intacts.

1.8 ESSAI AU LABORATOIRE :

Chaque service du laboratoire LTPO est spécialisé dans des essais spécifiques :

1.8.1 Laboratoire des Produits noir :

Essai de formulation :

- Formulation BB
- Formulation GB

Lavage des matériaux :

- Analyse granulométrique :(NF P94-056)
- L'équivalent de sable :(NF P18-598)
- Essai de surfaçage :(NF P18-416)
- La densité apparente
- L' densité absolue :(NF P94-064)

Essai d'extraction à chaux :(NP P98-104)

- La teneur en liaison
- Le carottage

1.8.2 Laboratoire géotechnique :

Chaque laboratoire est spécialisé

Essai chimiques :(laboratoire de chimie)

- L'analyse d'eau :(NF P94-132)
- Teneur en sulfate : XP P18-581
- Teneur en chlorures :

C'est une méthode approuvée de fois y'as pas un support normatif alors ils optent pour une méthode ils optent pour méthode approuvée ça c mon analyse

- Matière organique :(NF P94-055)
- Teneur en carbonate :(NA 2789)
- Valeur de Bleu de Méthylène (NF P94-068)

Essai physique (laboratoire routier)

- Teneur en eau :(NF P94-050)
- Limites d'Atterberg :(NF P94-051)

CHAPITRE 1 : Présentation du LTPO

- Masse Volumique :(NF P94-053)
- Analyse granulométrique par tamisage : (NF P94-056)
- Analyse granulométrique par sédimentométrie : (NF P94-057)

Essaimécanique :(laboratoire routier)

- Odomètres consolidation :(XP P94-090-1)
- Cisaillement a la boite :(NF P94-071-1)
- Compression simple :(NF P94-077)
- Gonflement à l'œdomètre :(XP P94-091-1)
- Perméabilité à l'œdomètre :(XP P94-091-2)
- Proctor :(NF P 94-093)

1.8.3 .Laboratoire de ciment

- Masse volumique des liants :(NF P94-054)
- Mesure de surface spécifique des liants :(NF P15-442)
- Essai de consistance (NF P 94-051)
- Essai de prise(NF EN 480-2)
- Essai d'expansion à chaud et à froid (NF EN196-3)
- Essai de retrait et de gonflement (NF P 94-091)
- Essai de traction par flexion (NF P18-360)
- Essai de compression : (NF P94-420)

1.9 CONCLUSION :

L'aspect pratique de notre projet, nous permis de se familiariser avec le milieu professionnel ainsi que de voir le fonctionnement d'une entreprise économique et ses différents services.

Aussi de voir de visu le travail en équipes constitués de plusieurs profils techniques et administratifs.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

2.1. INTRODUCTION :

Le phénomène de glissement de terrain fait partie des quatre aléas naturels permanents qui apparaissent sur les pentes et sont basés sur les concepts de cinématique, la nature du sol et des couches. Cela peut causer des dommages humains et matériels conséquents, il faut donc prendre en compte ces phénomènes et leurs risques, et prendre des précautions.

La figure 2.1 représente les 4 risques naturels les plus importants qui apparaissent sur les pentes.

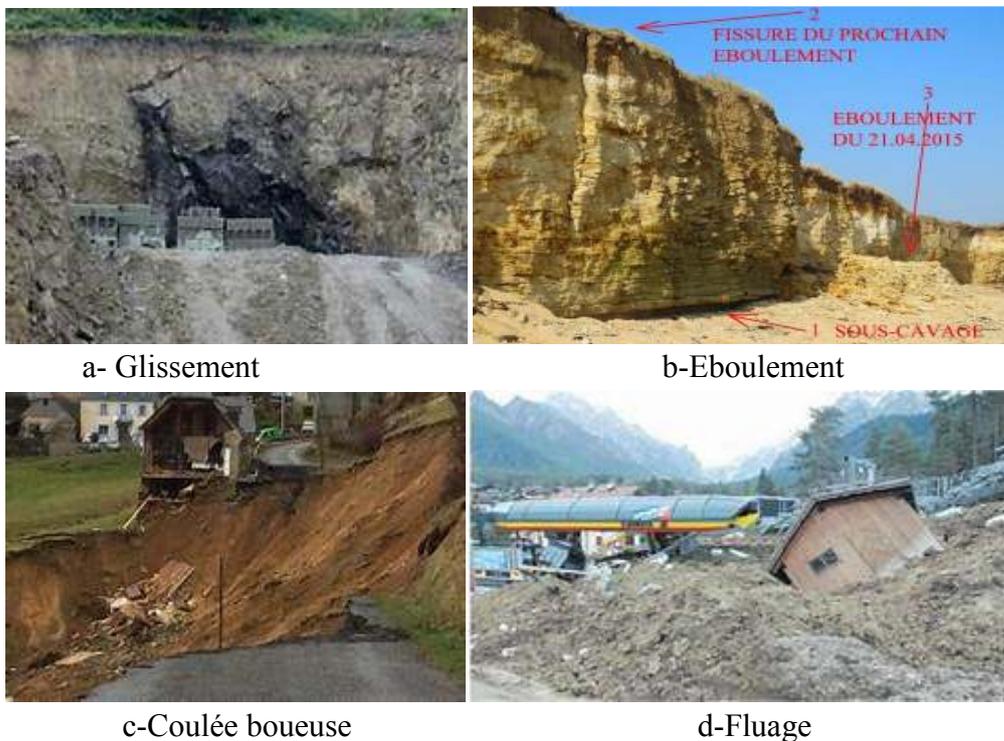


Figure (2.3) : Les quatre grands types de mouvements de terrain.

2.1.1.) Les glissements :

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

*. Les types de glissements :

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

Les glissements de terrain contiennent une série de facteurs, dont l'eau qui est un facteur important qui crée une pression interstitielle, s'écoule sous terre et provoque une pression due au gonflement des minéraux argileux. On peut donc distinguer deux types:

- Les glissements de type rotationnel : Sont en général de volume limité. Ils se produisent principalement dans des terrains meubles surtout argileux et silteux. Dans une coupe verticale, la surface d'est circulaire et plonge presque verticalement dans la niche d'arrachement.

- Lors de glissements transrationnels, les couches ou les ensembles de couches suivent souvent, un plan de fissure ou de rupture. En plan, la taille de tels glissements est très variable et peut comprendre des surfaces allant de quelques mètres carrés à plusieurs kilomètres carrés.

La figure ci-dessous schématise les deux types de glissement.

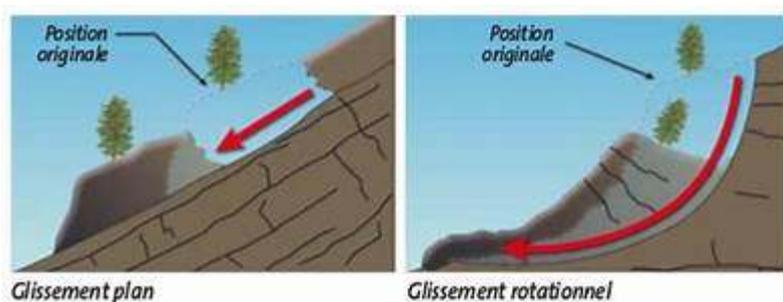


Figure (2.4) : représente les deux types de glissement (plan et rotationnel)

(Djamel .B ;2010)

2.2. VITESSE MOYENNE DE MOUVEMENT DES GLISSEMENTS :

La vitesse moyenne de mouvement des glissements atteint le plus souvent quelques millimètres pour un glissement très lent, et quelques centimètres à quelques décimètres pour un glissement actif. Il existe quelques cas exceptionnels où le glissement peut être bien plus rapide et où la masse en mouvement, sans perdre sa compacité, peut atteindre plusieurs décimètres par jour. Exceptionnellement, des mouvements très rapides peuvent se produire comme m'entre le tableaux (2.1).

Tableau (2.1) : Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.(Djamel .B ;2010)

Vitesse de glissement	Glissement
0 – 2 cm /an	Su stabilisé, très lent
2 – 10 cm /an	peu actif, lent
> 10 cm /an	actif (ou lent avec phases rapides)

2.3. CLASSIFICATION :

2.3.1. Forme de la surface de rupture :

La forme des surfaces de rupture dépend beaucoup des caractéristiques du matériau. Dans les terrains plutôt rocheux, les surfaces de glissement seront liées aux surfaces de discontinuité, dans des terrains plus meubles et homogènes, les surfaces de rupture seront grossièrement des cercles en deux dimensions ou des ellipsoïdes en trois dimensions. Dans des terrains hétérogènes, les surfaces de rupture pourront être une combinaison de surfaces circulaires et planaires. (Djamel .B ;2010)

2.3.2. Causes de glissements :

Les mouvements du sol sont un déplacement en direction du flux de masses rocheuses compactes ou séparées (un changement dans l'équilibre des forces) et dépendent rarement de la géologie et du relief.

Dans la plupart des cas, les glissements de terrain dépendent des causes suivantes: l'eau, activité humain et la présence de fractures microscopiques.

L'eau joue un rôle spécifique pour les mouvements du sol, elle produit une pression hydrostatique dans les pores (pression des pores).

La surcharge de la pente des bâtiments et des ponts, les excavations sans dispositifs de protection dans la pente pendant les travaux de construction, peuvent augmenter le risque de déstabiliser la pente à long terme.

2.4. LES TECHNIQUES DE STABILISATION :

Les énormes problèmes auxquels l'ingénieur est confronté en raison des pentes l'ont amené à réfléchir à des solutions préventives à ce phénomène

2.4.1 Choix d'une technique :

Le choix d'une méthode de stabilisation résulte de la prise en compte de :

- l'analyse des paramètres techniques du site,
- la connaissance des techniques de stabilisation,
- les impératifs technico-économiques.

La méthode retenue devra être le fruit d'un compromis entre ces trois aspects. (LCPC, 1998)

2.4.2 Caractérisation du site :

La reconnaissance des sols dont le programme est définie par l'ingénieur géotechnicien doit comporter un certain nombre de sondages destinés à préciser sans ambiguïté :

- La position dans l'espace des divers éléments et formations constituant le sous-sol,
- L'identification géologique et physico-mécanique des sols soumis au champ de contraintes engendré par la construction à l'intérieur du périmètre géotechnique de protection.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

Ces sondages comprennent des forages, des essais in situ et des prélèvements d'échantillons pour examens ou analyses en laboratoire.

La profondeur des sondages doit être supérieure à la profondeur des sols sur lesquels les fondations engendrent encore des efforts susceptibles de provoquer à terme des déformations préjudiciables la bonne tenue de la construction.

2.5. ADAPTATION DE LA TECHNIQUE AU GLISSEMENT :

La stabilité des pentes est nécessaire et varie d'un cas à l'autre

Tableau (2.2) : présente les différentes techniques de stabilisation des glissements de terrain (LCPC,1998)

	Principe de stabilisation	Moyens techniques	Méthode de dimensionnement	F final	Contraintes d'utilisation
Butée de pied	Rééquilibrage des masses	Remblai	Calcule de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20 à 1.30	-accès et emprises nécessaire -présence d'un horizon résistant à faible profondeur -assurer la stabilité en aval
Allègement en tête	Rééquilibrage des masses	Déblai	Calcule de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20	-accès et emprises nécessaires - assurer la stabilité en amont
Purge totale	Le massif est stable après la purge	Déblai	Calcule de stabilité avec la géométrie modifiée	1.50	-s'applique à de petits volumes -protection de la surface mise à nu -assurer la stabilité en amont
Reprofilage	Adoucissement de la pente	Déblai	Calcule de stabilité avec la géométrie modifiée	1.20	-accès et emprises nécessaire - terrassements importants
Substitution Totale	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai Remblai	Calcule de stabilité avec les caractéristiques du matériau de substitution	1.50	-terrassements importants -ancrer sous la surface de rupture -travail par plots
Substitution partielle contrefort, éperon masque	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai Remblai	Calcule de stabilité avec les caractéristiques du matériau initial et de celui de substitution	1.20	- ancrer sous la surface de rupture. -travail par plots. -gérer le drainage.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

Substitution en tête, matériaux allégés	Diminution du moment moteur	Déblai Poly styrene Matériau alvéolaire	Calcul de stabilité avec les caractéristiques de poids du matériau allégé	1.20	-terrassements réduits -protection du matériau allégé. -gérer les circulations d'eau
Collecte et canalisation des eaux de surface	Limiter les pressions interstitielles	Cunettes Drains Agricoles	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	-implique une surface supérieure à celle du glissement -entretien indispensable
Tranchées drainantes	Diminuer les pressions interstitielles	Tranchées, Haveuse, pelle	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	-connaissance préliminaire du réseau d'écoulement -entretien indispensable
Drains subhorizontaux	Diminuer les pressions interstitielles	Drains plastique, moyennes de forage	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	-connaissance préliminaire du réseau d'écoulement -vérification à rabattement -entretien indispensable
Drainages profonds	Diminuer les pressions interstitielles	Drains Verticaux Puits, galeries	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1.30	-connaissance préliminaire du réseau d'écoulement -entretien indispensable
Soutènements	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Ouvrage fixes Ouvrage souples	Murs fixes : calcul de la longueur de massif mis en butée, murs souples : calcul de stabilité en tenant compte de la résistance du mur	1.50 1.20	-ancrer l'ouvrage sous le niveau de la rupture -gérer la circulation des eaux derrière l'ouvrage
Tirants d'ancrage	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Torons, barres	Calcul de stabilité introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des tirants (F=1.5)	1.20	-problème de déplacements de sol (phases de chantier et en service) -associer un bon drainage
Clous	Apporter un effort stabilisateur perpendiculaire à la surface de rupture	Barres, tubes, micropieux	Calcul de stabilité introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des clous (F=1.5)	1.20 à 1.30	-technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions -associer un bon drainage

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

Pieux	Apporter un effort satabillisateur horizontal	Pieux béton,prof ilés H palplanche s	Calcule de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des pieux(F=1.5)	1.10 à 1.20	-technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions -associer un bon drainage
-------	---	--------------------------------------	---	-------------	--

2.6. METHODE DE STABILISATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN :

Les techniques de stabilisation des glissements peuvent être classées en 3 catégories :

Les terrassements ;

Les dispositifs de drainage ;

L'introduction d'éléments résistants.

2.6.1 Mise en œuvre de terrassements :

Les terrassements

Ces techniques consistent à modifier la topographie du glissement afin de retrouver une situation d'équilibre et décomposer dans les cas suivants :

- **L'allègement en tête de glissement :**

Cela consiste à décharger la "tête du glissement". Ce déchargement entraîne une diminution de la masse et donc des forces motrices.

- **La purge totale :**

Cela consiste à supprimer les matériaux glissés. C'est une solution seulement applicable aux glissements de taille modeste, de faible profondeur.

- **Le chargement en pied :**

Le chargement en pied consiste à construire un ouvrage de butée en pied de glissement afin d'équilibrer les forces motrices et de contenir les déplacements de la masse instable. Il est en général associé à du drainage. La figure ci-dessous représente ce phénomène. (ORRM,2014)

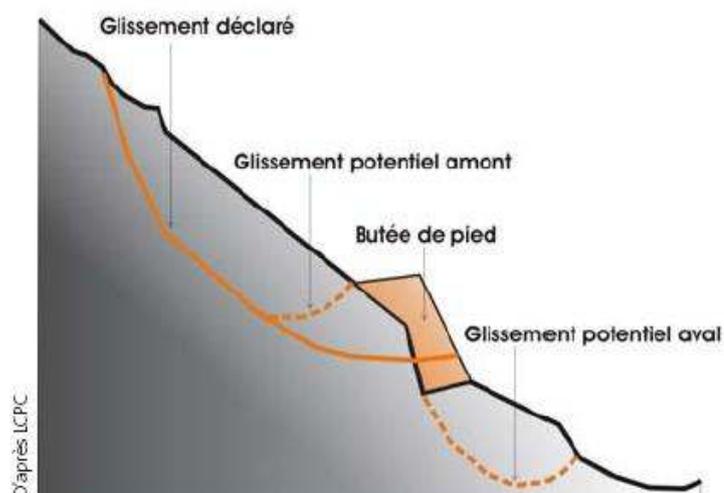


Figure (2.5) : Le chargement en pied(ORRM,2014)

2.6.2 Les dispositifs de drainage :

L'eau joue très souvent un rôle déterminant dans "le déclenchement" des glissements de terrain, que cela soit par son action mécanique, physico-chimique ou chimique. Les dispositifs de drainage ont pour rôle de réduire l'action de l'eau soit en évitant l'alimentation en eau du site, soit en expulsant l'eau présente dans le massif instable. Décomposer dans les cas suivants :

• Drainage de surface :

Il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour limiter les infiltrations dans les terrains en mouvements en collectant et en canalisant les eaux de surface (cunettes, caniveaux, fossés, etc.). La figure ci-dessous représente ce phénomène(ORRM,2014)



Figure (2.6) : Drainage des eaux de surface à l'aide d'un caniveau (Alpes-Maritimes) (ORRM,2014)

•Drains subhorizontaux :

La technique consiste à réaliser de nombreux forages quasi horizontaux dans le glissement et pour y placer des drains (tubes en PVC ou en acier) ainsi qu'un dispositif de captage des eaux.

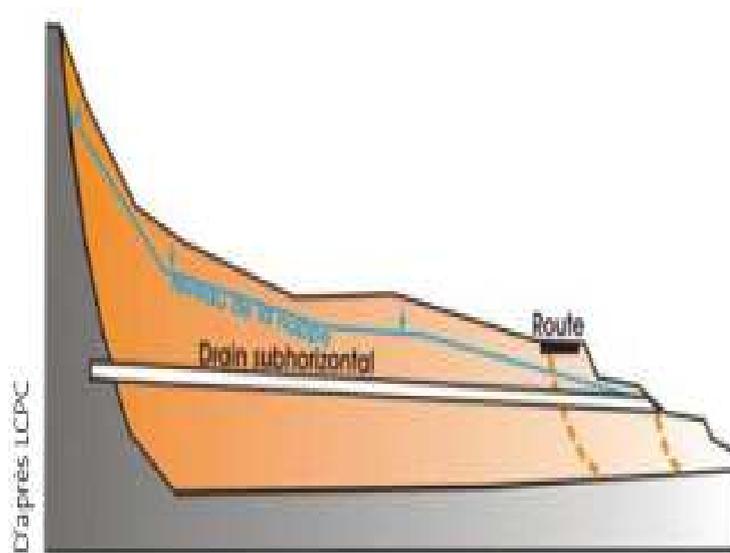


Figure (2.7): Drains subhorizontaux(ORRM,2014)

•Tranchées drainantes :

Ce sont des ouvrages qui permettent de rabattre le niveau des nappes phréatiques diminuant ainsi les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture.



Figure (2.8) : Tranchées drainantes(ORRM,2014)

2.6.3 L'introduction d'éléments résistants

La mise en place d'éléments résistants n'influe pas directement sur la cause du mouvement mais sur ses conséquences.

Les éléments résistants (type ouvrages de soutènement, tirants, ancrages, rangées de pieux...) visent à réduire ou arrêter les déformations. Ces techniques sont utiles dans le cas où les techniques d'installation telles que les travaux de forage ou de drainage ne peuvent pas être appliquées techniquement ou économiquement.

La stabilisation des massifs de sol se fait généralement, soit par la construction d'un ouvrage de soutènement, soit par l'ajout d'éléments de renforcement au sol en place.

2.6.3.1 Définitions des murs de soutènements :

Un ouvrage de soutènement est une construction destinée à prévenir l'éboulement ou le glissement d'un talus raide. Les ouvrages de soutènement sont essentiellement employés, soit en site montagneux pour protéger les chaussées routières contre le risque d'éboulement ou d'avalanches, soit en site urbain pour réduire l'emprise d'un talus naturel, en vue de la construction d'une route, d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art. Il existe deux grandes classes d'ouvrages de soutènement : ceux composés d'une paroi résistante et d'une semelle de fondation et ceux composés d'une paroi (palplanches) (Zeroual. F,2013).



Figure (2.9): mur de soutènement Tlemcen

2.6.3.2 Différents type de murs de soutènement :

La notion (d'écran de soutènement) couvre l'ensemble des structures servant retenir un massif de sol autour d'une excavation à l'aide d'éléments de matériaux résistants à la poussée des terres. Dans la définition Eurocode (EC7_1,2004), un ouvrage de soutènement retient des terrains (sols, roche ou remblai) et/ou de l'eau.

L'effort de poussée exercé par le massif de terres retenu peut être repris de diverses manières, trois modes principaux peuvent être distingués :

1 La poussée est reprise par le poids de l'ouvrage de soutènement :

• Les murs en béton armé :

Les murs en béton armé peuvent avoir des formes diverses et être réalisés de façons multiples (Annane .A ; 2013).

➤ Mur en T renversé classique

C'est la forme fréquente pour un mur en béton armé (Figure 2.8), dite encore cantilever du fait du voile encasté dans la semelle. Sans contreforts, il est économique pour des hauteurs jusqu'à 5 à 6 mètres et peut être érigé sur un sol de qualités mécaniques peu élevées. Par rapport au mur-poids de même hauteur, à largeur égale de semelle il engendre des contraintes plus faibles sur le sol.

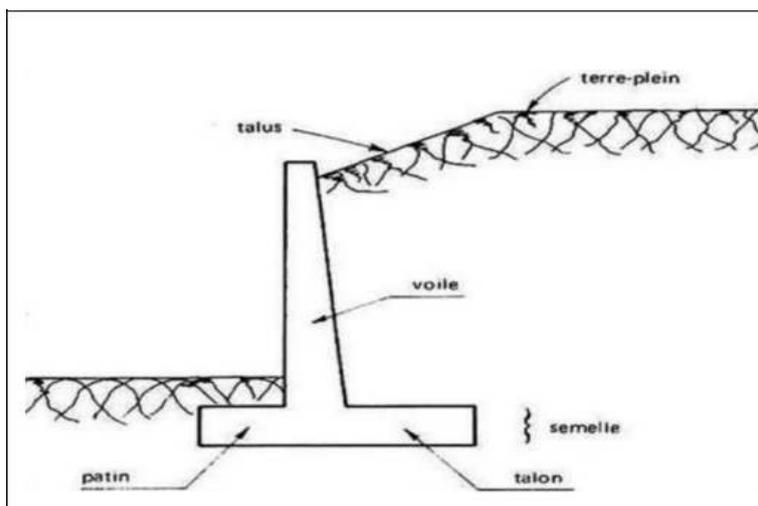


Figure (2.10) : Mur en (T renversé)(Annane .A ; 2013)

➤ Murs en déblai

Dans le cas de murs en déblai, c'est-à-dire réalisés en terrassant un talus (Zeroual. F), les limitations de volume de terrassement et les difficultés de tenue provisoire des fouilles obligent à réduire la longueur du talon et à augmenter celle du patin (Figure 2.9).

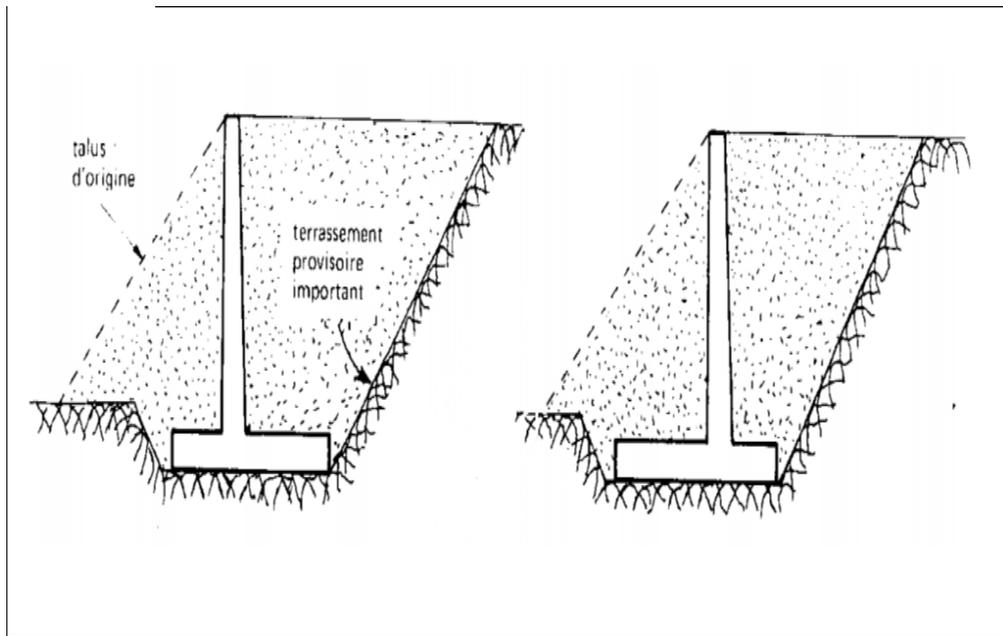


Figure (2.11) : Mur en déblai (Annane .A ; 2013)

➤ **Diverses dispositions de bêches :**

Parfois, la stabilité au glissement du mur nécessite de disposer sous la semelle une bêche. Celle-ci peut être mise soit, à l'avant (Figure 2.10 .A) ou à l'arrière de la semelle (Figure 2.26.B), ou parfois encore en prolongement du voile (Figure 2.26.C).

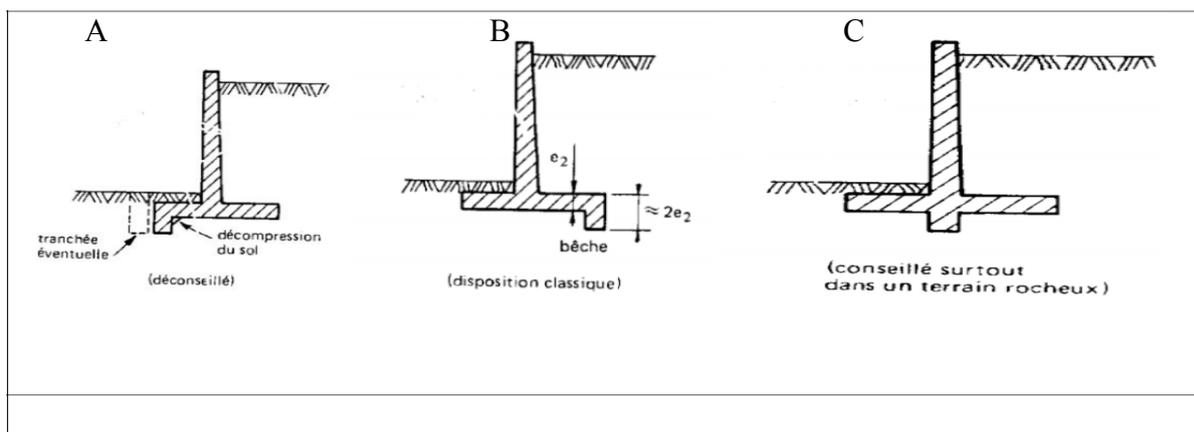


Figure (2.12) : diverses dispositions de bêches (Annane .A ; 2013).

➤ **Mur à contreforts :**

CHAPITRE 2 : Généralités sur les glissements de terrains

Lorsque la hauteur du mur devient importante ou que les coefficients de poussée sont élevés, le moment d'encastrement du voile sur la semelle devient grand. Une première solution consiste à disposer des contreforts ayant pour but de raidir le voile (Figure 2.11).

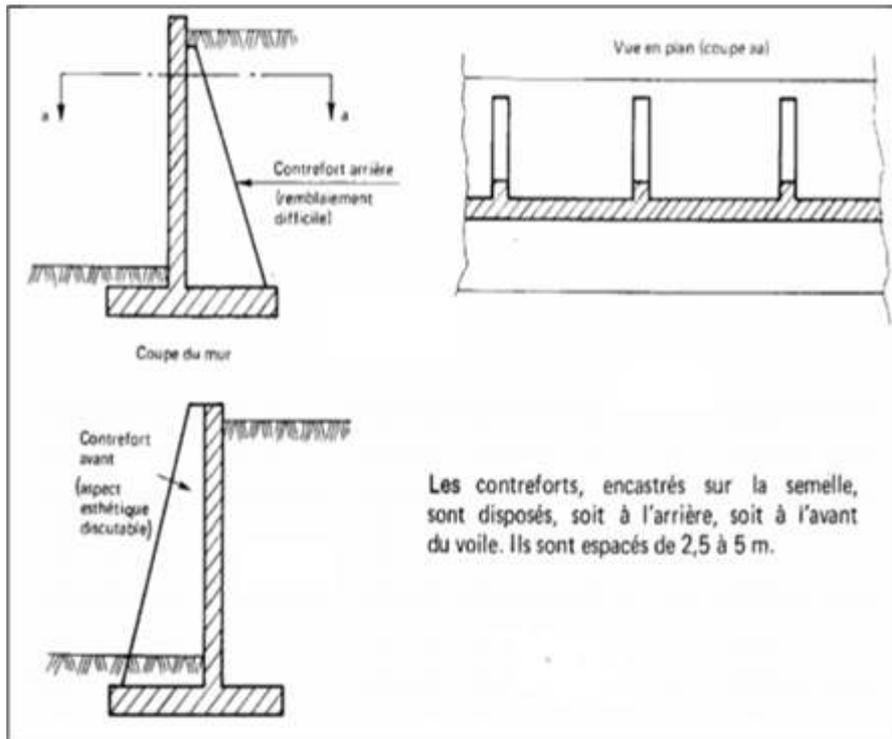


Figure (2.13): Mur à contreforts (Annane .A ; 2013)

2 La poussée reprise par l'encastrement

➤ Les murs cantilevers :

Un mur cantilever est la structure la plus commune pour retenir le sol. Ce sol appelé remblai, est maintenu dans des positions qui ne serait pas normalement se trouver, et s'effluence de la gravité, sans le mur de soutènement ou si la structure a échoué, une paroi en porte à faux est construite à partir de béton armé et est construit avec une plaque de base et la tige qui est plus mince que dans les autre types de murs de soutènement la base est constituée d'un talon, qui se trouve au-dessous du sol et une pointe qui se trouve sur la partie extérieure de la paroi de base.

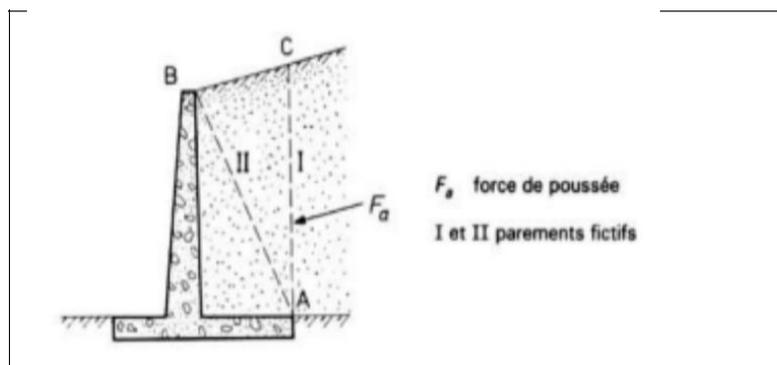


Figure (2.14): Mur de cantilever.

2.7 CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons énuméré les différents types de glissements de terrain ainsi que leurs principales caractéristiques.

Le traitement et l'étude de ces différents cas nécessitent une certaine documentation, notamment des cartes: topographiques, géologiques et hydrogéologiques, afin de réaliser une étude détaillée du site instable.

Aussi nous avons cités quelques techniques de stabilisation des glissements de terrains.

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

3.1 Introduction :

Dans le cadre de la première mission effectuée au LTPO au mois de mars dernier. Cette mission consistait à une visite sur chantier à Maghnia. Le site en question présentait des désordres types glissement de terrain. La mission confiée au laboratoire consistait à analyser le site et effectuer une campagne de reconnaissance pour obtenir le maximum d'informations sur la nature du terrain.

Notre mission a consisté donc à assister l'équipe d'intervention du LTPO à faire les différents sondages sur site et ensuite analyser le sol au laboratoire avec les ingénieurs de laboratoire.

3.2 Localisation De Site Maghnia (Tlemcen) :

Dans le cadre de la réalisation d'un mur de soutènement au niveau de la cité Ibn Sina à Maghnia, le LTPO est intervenu sur le terrain, en vue de procéder à une étude de sol, par l'analyse géologique et géotechnique des sols en place et ce à la demande de la commune de Maghnia, avec comme intitulé de la commande : étude de sol pour un mur de soutènement reliant la RN99 et cité EL Hamri.

Suite à une visite effectuée pour voir le projet, il a été constaté que le terrain objet de la présente étude se trouve au centre ville de Maghnia cité el Hamri reliant la RN99.

Les coordonnées géographiques sont $34^{\circ} 50'58''$ N et $1^{\circ} 43'39''$ W en DMS.

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

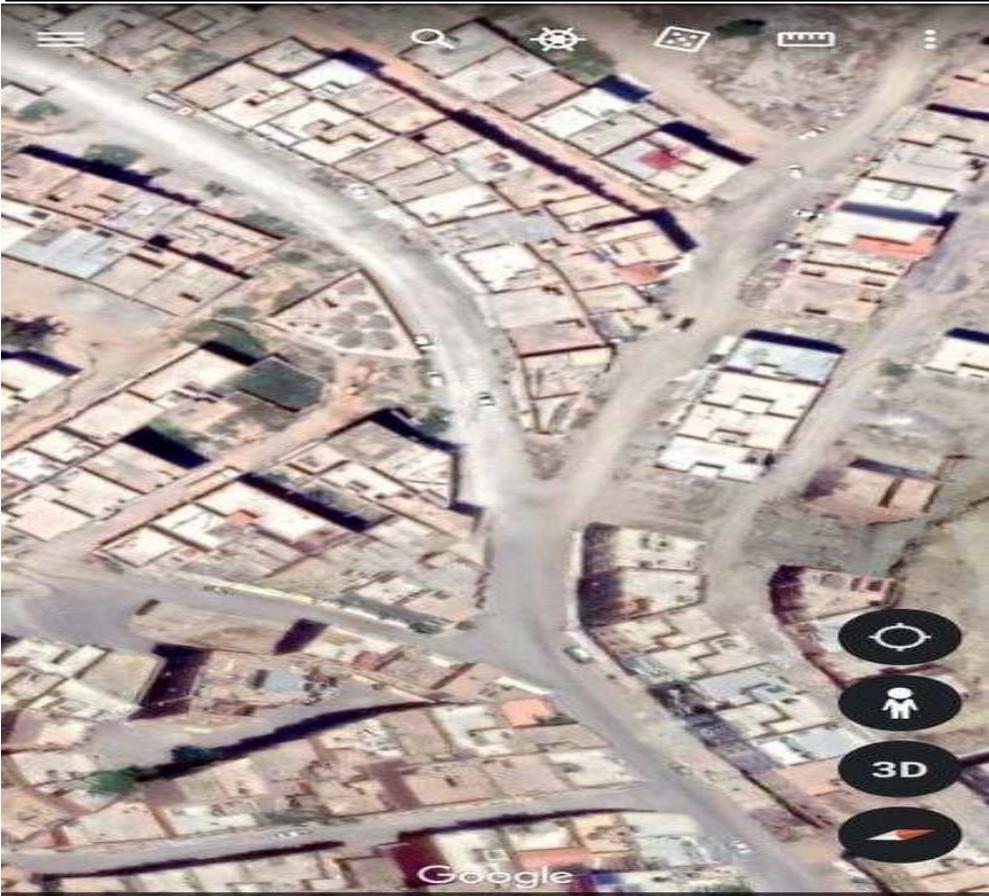


Figure (3.15): image du projet Google earth



Figure (3.16): localisation du site et l'implantation des sondages

3.3. Les essais In-Situ :

a) Essai in situ :

Essai de Sondage carottier

- **But d'essai :**

L'excavation de base fournit la meilleure qualité d'échantillon pour distinguer à la fois la nature et l'état du sol.



Figure (3.17): Essai de sondage carottier

- **Principe**

En règle générale pour effectuer un **sondage**, on va réaliser un **forage** par fonçage ou battage (carottier poinçonneur) ou par rotation (carottier rotatif)

Il s'agit de découper un cylindre de terrain le plus intact possible afin de réaliser des observations et des essais représentatifs des formations en place.

Par conséquent, en fonction de l'objectif fixé et de l'endroit où l'on veut prélever l'échantillon, les forages seront :

- **carottés en totalité** (faible à moyenne couverture)
- **partiellement carottés** (forte couverture).



Figure (3.18): Caisse de carottes prélevées après un sondage

- **Usages :**

Les **Sondages carottés** permettent d'effectuer un certain nombre d'essais. Les échantillons prélevés sont utilisés pour :

- Déterminer la nature de la roche ou du sol, pour analyser le degré de fissuration et la pente des fissures
- Diaclases et stratification dans le cas d'une roche et pour y pratiquer des essais de laboratoire (mécanique des roches ou des sols, analyses minéralogiques ou chimiques).
- Mesurer in situ des modules et du champ de contraintes ;
- Mesurer in situ de la perméabilité (essais Lefranc et Lugeons).

De façon générale, les carottes de sondages sont conservées dans des caisses adaptées à cet effet. Il est conseillé de les photographier en couleur afin de disposer d'un document de travail et d'archive utile.

- **Types de sondages carottés :**

En fonction de contraintes liées au terrain et aux usages, on peut être amené à réaliser différents types de sondages carottés :

- **Sondages verticaux :** Les plus classiques et les plus faciles à réaliser. On les utilise en règle générale pour la reconnaissance et lorsqu'il est nécessaire de connaître la nature du recouvrement où l'on n'a besoin que de renseignements ponctuels.
- **Sondages horizontaux :** ce type de sondage est très intéressant lorsque la connaissance des terrains sus-jacents n'est pas impérative. Ces sondages sont réalisables d'une façon économique sur des **longueurs atteignant 200 m** à l'aide de **carottiers à câble** limitant

notamment les déviations de trajectoire. Le **prix derevient est environ 1,5fois** celui du forage vertical traditionnel.

- **Sondages inclinés** : ce type de sondage est utilisé dans le cas de structures à couches obliques et homogènes. Inclinés perpendiculairement à la stratification ces sondages permettent de recouper toute la série intéressant l'ouvrage avec une faible longueur de forage.

3.4. Les essais au laboratoire (L.T.P.O) :

a) L'analyse granulométrique (Norme NF P 94-056)

- **But de l'essai** :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la classification d'un matériau à partir de la dimension de différente graine de l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale supérieure ou égale à 63 μm .



Figure (3.19) : Appareillage d'essai granulométrique par voie humide (tamiseuse)

b) Essai de Sédimentométrie : (Norme NFP 94-057)

- **Le but d'essai** :

L'analyse par sédimentométrie complète l'analyse par tamisage. Elle permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètres inférieurs à 80 μm) d'un sol.

La séparation par décantation consiste à déterminer les diamètres équivalents des particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute dans un environnement

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

visqueux afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieures à 0.08mm



Figure (3.20): Appareillage d'essai sédimentométrie

- **Résultats**

Sondage n 1

Profondeur : 12m

Matériaux : remblais composée de la marne gravier et les blocs de calcaire.

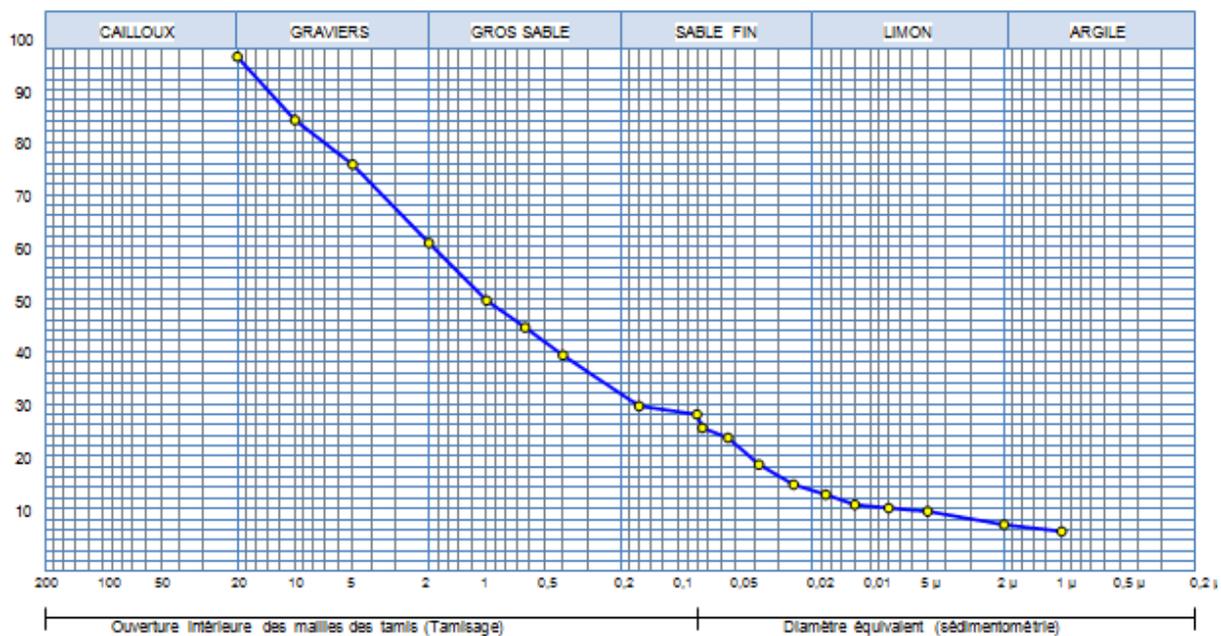


Figure (3.21) : la courbe granulométrique sondage1

- **Interprétation :**

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

A partir de la de courbe granulométrique Plus de 50% d'éléments supérieur à 0,08 mm et moins de 5% d'éléments inférieur à 0,08mm donc Selon la classification (LPC/USCS)

- il s'agit d'un Gb (grave bien graduée)

Tableau (3.3): Limites d'Atterberg et classification de sol sondage 1

Echant	80 μ	LIMITES D'ATTERBERG			Classification LPC
		L (%)	P (%)	P (%)	
	0%	6%	9%	7%	Gb

Sondage n2 :

Profondeur : 7,5m

Matériaux : sol à texture gravlo-sableuse faiblement limoneuse.

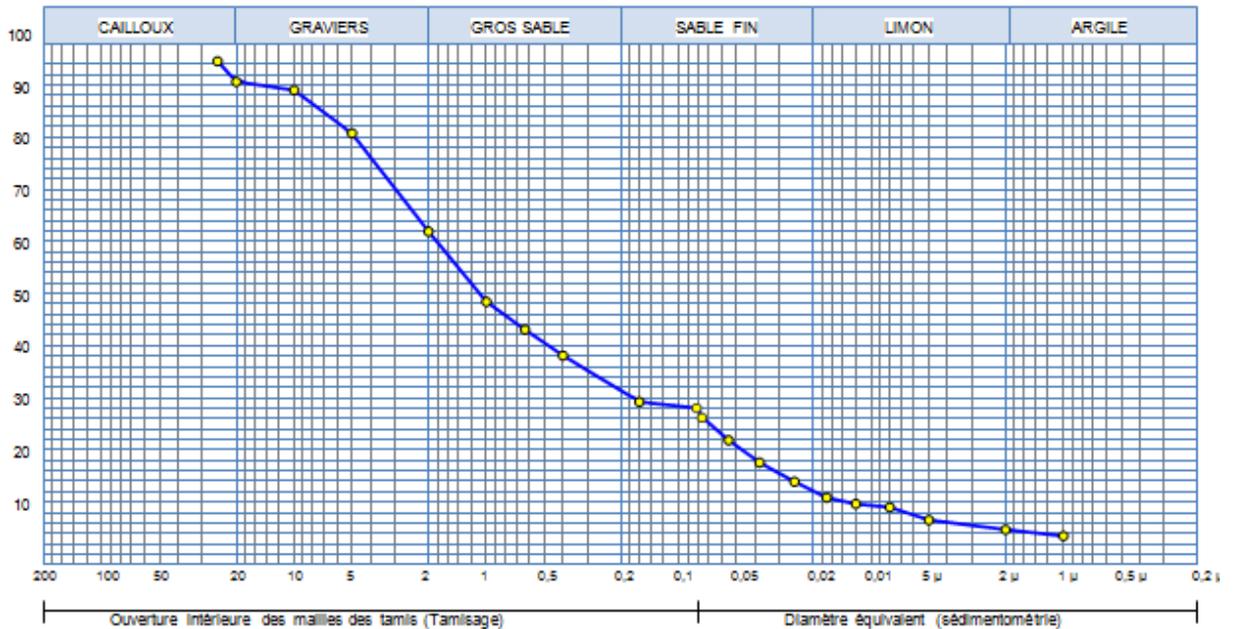


Figure (3.22) : la courbe granulométrique sondage2

- **Interprétation :**

A partir de la de courbe granulométrique Plus de 50% éléments supérieur à 0,08 mm et moins de 5% d'éléments inférieur à 0,08mm donc Selon la classification (LPC/USCS)

- il s'agit d'un Gb (Gw)

c) Limite d'ATTERBERG : (Norme NF p 94-051)

• **But de l'essai :**

Le but de l'essai consiste à déterminer les limites d'ATTERBERG composées de la limite de liquidité à coupelle et limite de plasticité au rouleau.

Tableau (3.4) : Limites d'Atterberg et classification de sol sondage 2

Echant	80 μ	LIMITES D'ATTERBERG			Classificatio n LPC/USCS)
		W.L (%)	W.P (%)	I.P (%)	
	30,01 %	32 %	17 %	15 %	Gb

• **Préparation de l'échantillon de l'essai :**

- Mettre échantillon de sol dans une étuve pendant **24 heures**
- Nettoyer le tamis de 400 μm où le tamis talque on fait le tamisage par voie humide
- Prélever un échantillon de la surface de la terre étudiée à l'étuve pendant 24 heures

Nous obtenons un sol presque solide que nous broyons et que nous passons dans un tamis de 400 microns

• **Mode opératoire de l'essai :**

- Mélanger un échantillon de l'essai avec de l'eau distillée
- Mettre la pâte de terre obtenue dans la boîte de Casagrande
- Prendre un peu de pâte dans la boue où elle est conforme à la fissure que nous avons faite et le mettre dans l'étuve pendant 24 h.



Figure (3.23): Appareil de Casagrande avec la préparation de l'échantillon

• Les résultats

Sondage1 :

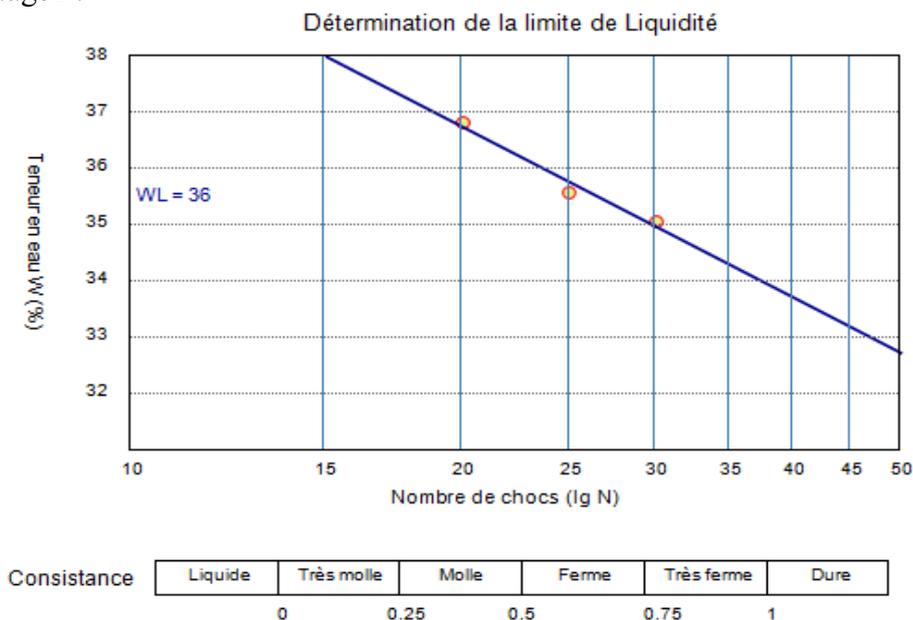


Figure (3.24): la limite de liquidité du sondage 1

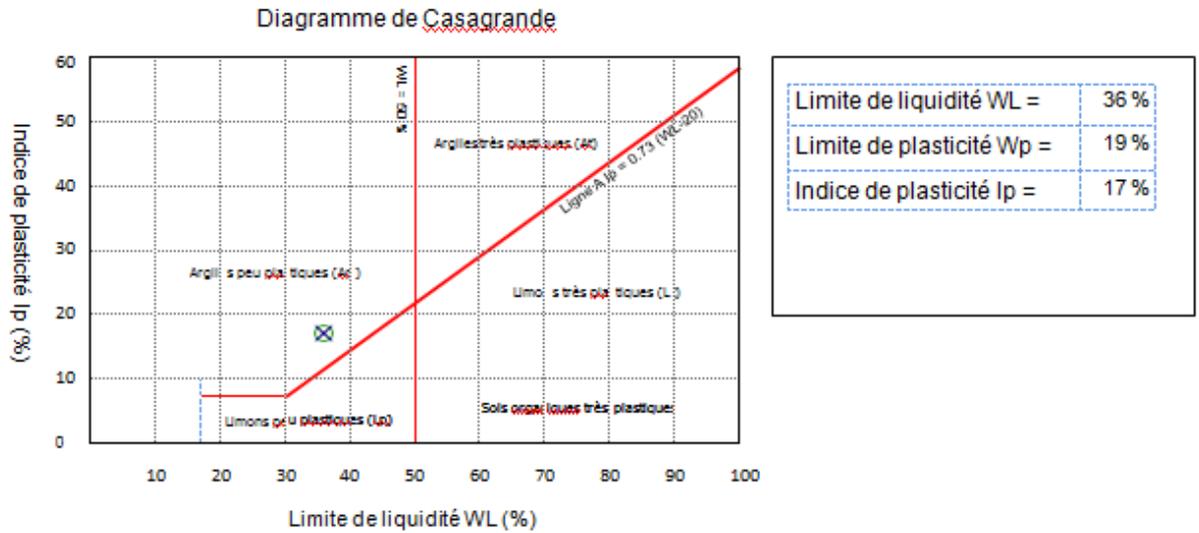


Figure (3.25): limite de plasticité

Sondage2 :

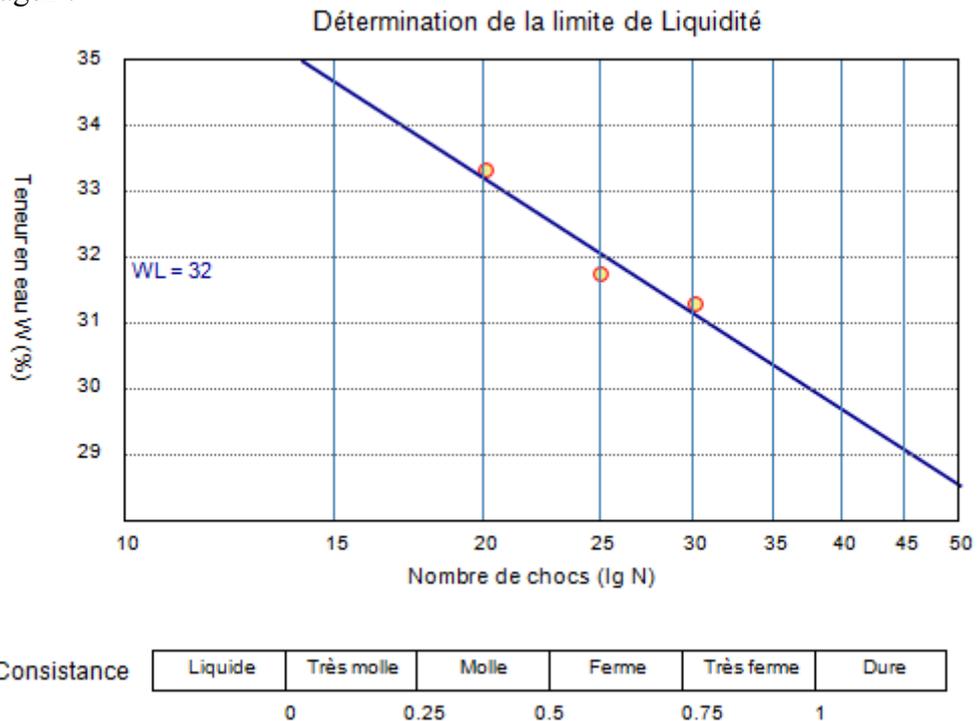


Figure (3.26): Limite de liquidité du sondage 2

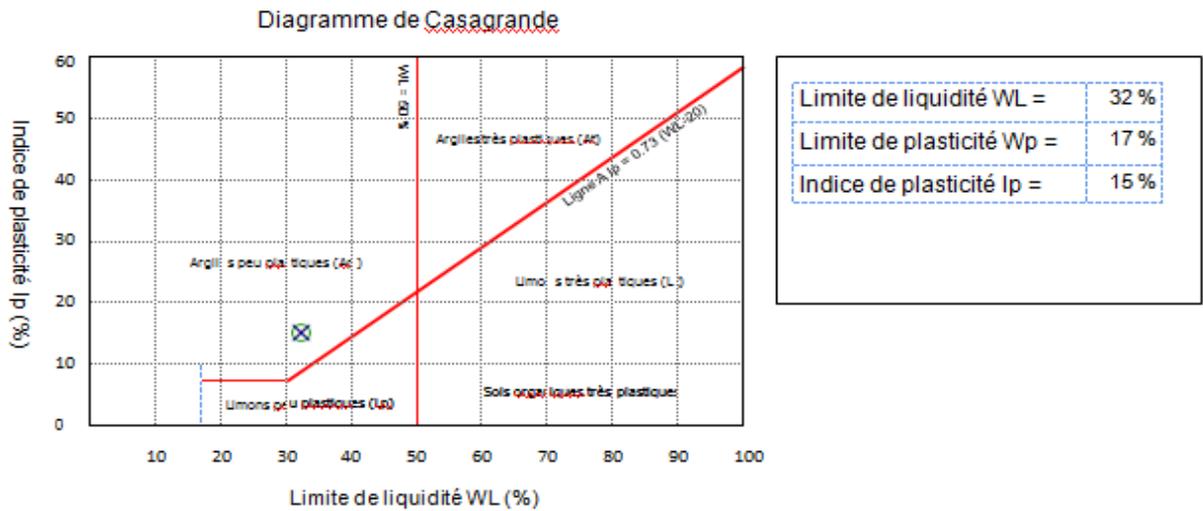


Figure (3.27): Limite de plasticité du sondage 2

- **Interprétation :**

Sondage1 :

WL=36 **Wp =19**

IP = WL – WP

IP =36-19

IP = 17%

Sondage2 :

WL=32 **Wp =17**

IP = WL – WP

IP =32-17

IP = 15%

d) L'essai de cisaillement rectiligne direct à la boîte (NF P 94-71-1) :

- **But d'essai :**

Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C.

Ces valeurs servent entre autre à déterminer la contrainte admissible par le sol dans le cas de fondations superficielles et la poussée du sol sur un mur de soutènement.

- **Principe :**

Dans l'essai de cisaillement à la boîte de Casagrande, on cherche à provoquer la rupture de l'échantillon suivant un plan imposé. L'échantillon est placé dans une boîte constituée de deux parties qui peuvent glisser horizontalement l'une sur l'autre. On

applique à l'échantillon un effort normal de compression N , verticalement, par l'intermédiaire d'un piston et un effort tranchant T , horizontalement, en déplaçant la demi-boîte inférieure. Un comparateur mesure la variation de hauteur de l'échantillon.

- **Préparation de l'échantillon :**

- Tamiser le sol à tamis 5mm
- On mesure la masse du sol (200g)
- On calcule la masse d'eau.
- On mélange le sol avec l'eau
- On compacte le sol par une moule de même dimensions pour homogénéité le sol

- **Mise en place de l'échantillon dans la boîte :**

- Les deux demi-boîtes étant verrouillées, on place successivement :
 - le fond de boîte,
 - une pierre poreuse,
 - une plaque striée, les stries étant perpendiculaires au sens de cisaillement (les plaques perforées permettent les essais drainés, les plaques pleines sont utilisées pour les essais non drainés)
 - l'échantillon de sol, Une plaque striée identique à la première,
 - une pierre poreuse,
 - le piston

- **Saturation et consolidation :**

Remplir le châssis contenant la boîte de cisaillement d'eau déminéralisée

Mesurer le déplacement vertical γ_h du piston en fonction du temps pendant 1 h au moins et jusqu'à sa valeur de stabilisation γ_{hc}

f. Mise en place de la boîte sur la machine :

- Placer l'étrier de charge sur le piston de la boîte,
- Placer le comparateur vertical et le mettre à zéro,
- Monter l'anneau dynamométrique sur la machine, le relier à la boîte et compenser les jeux en mettant l'anneau légèrement en traction et en ramenant lentement le comparateur de l'anneau au zéro,
- Appliquer sur l'éprouvette la charge désirée, en principe : Pour un sol pulvérulent : 100 - 200 - 300 kPa.

Désolidariser les deux demi-boîtes en enlevant les goupilles,

- Mettre en route à la vitesse désirée

- **Calcul et Résultats :**

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

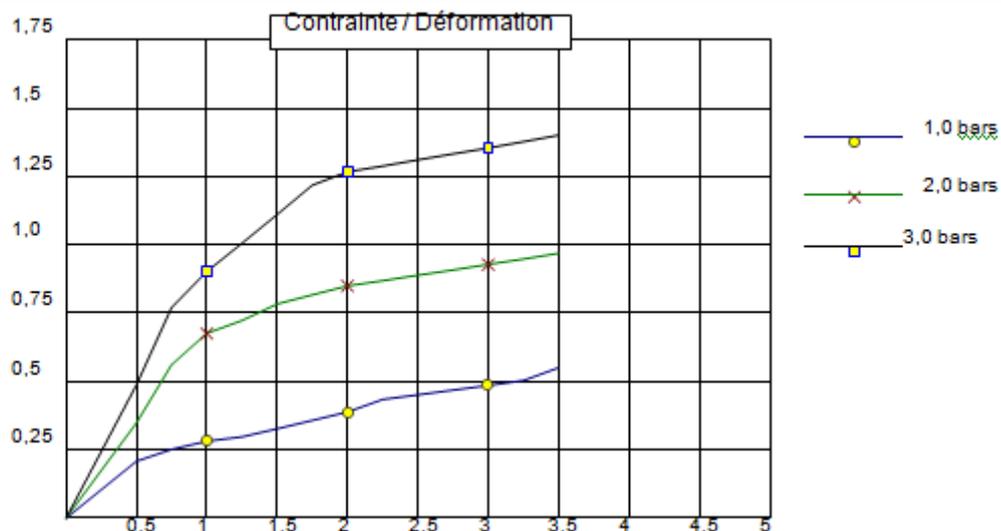


Figure (3.28) : représente la déformation de sol en fonction de la contrainte

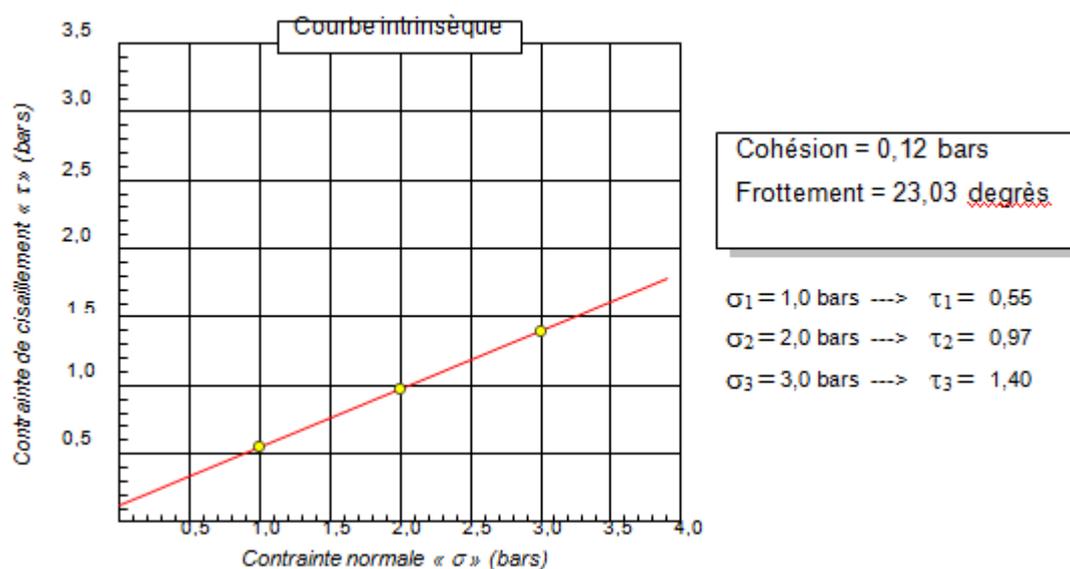


Figure (3.29) : Détermination la cohésion

Sandage 2 :

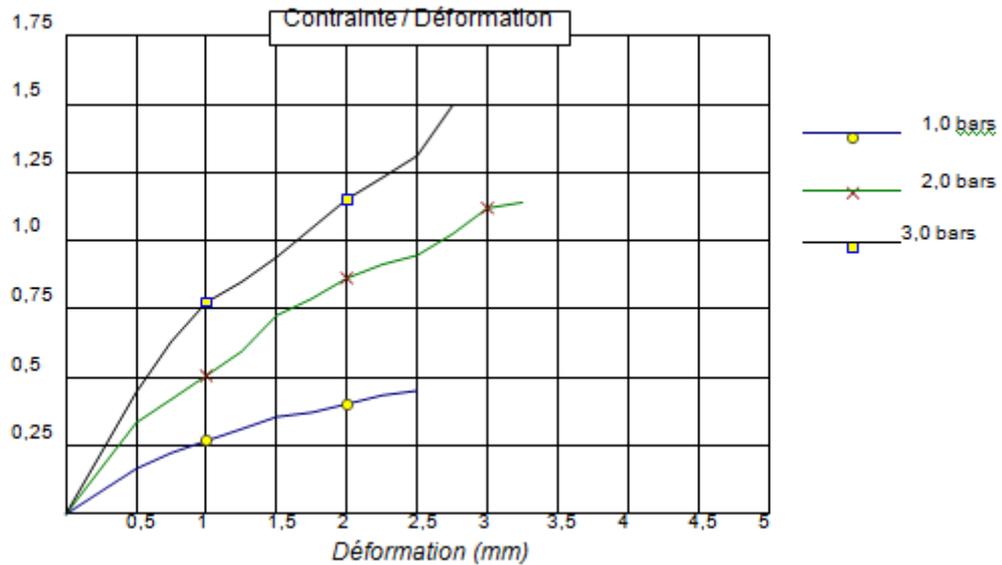


Figure (3.30) : Représente la déformation de sol en fonction de la contrainte (sondage2)

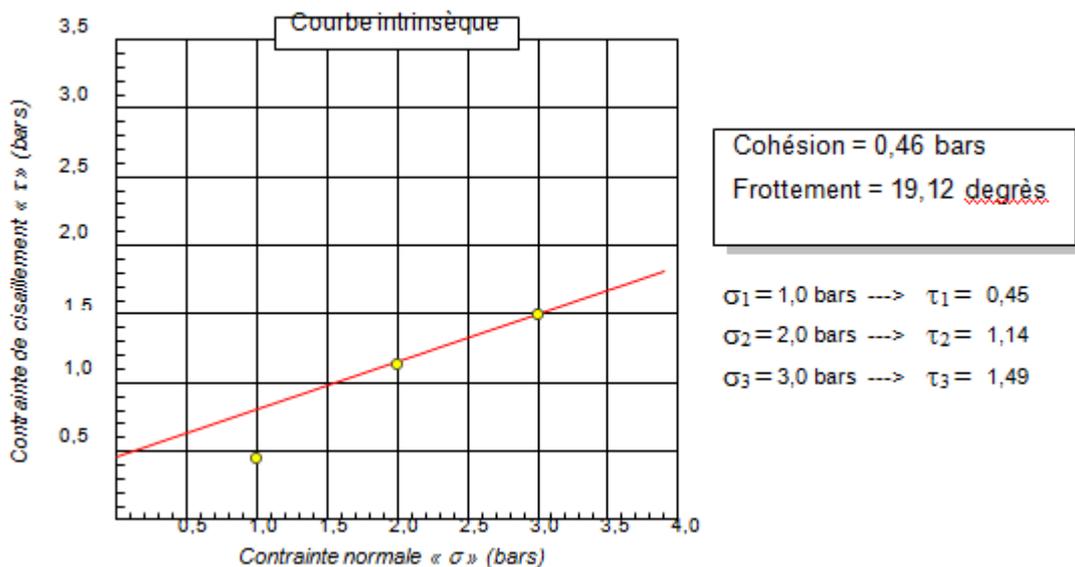


Figure (3.31) : Détermination la cohésion sondage 2

Le terrain instable étudié

- Au front du talus (description visuelle) : remblai composé d'un mélange de marne et de gravas et de blocs de calcaires

Au amont du talus partie haute (S1) : 0.00-5.00m : remblais composé d'un mélange de marne et de gravas : 5.00-12.00m : calcaire brunâtre à grisâtre très fragmenté et très altérés en sable grossier

- Au niveau bas du talus (sondage S2) : 0.00-4.00m : remblai ; 4.00-7.50m : calcaire brunâtre à grisâtre très fragmenté, peu compact et très altérés en sable grossier.

Aussi, le laboratoire a recommandé de faire un mur de soutènement qui stabilisera le talus de 4,5 m de hauteur. Aussi de prendre les dispositions suivantes ;

CHAPITRE 3 : Mission1 : reconnaissance géotechnique

- Passer par un système de fondation sur semelles filante
- Ancrer les fondations suffisamment dans la formation des calcaires (à partir de 1m de profondeur) tout en assurant la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis de la poussée des terres .
- Faire travailler le sol avec une contrainte admissible de 2,5 bars

Pour le calcul des poussées des terres en amont à savoir les remblais d'un mélange de marnes, leurs caractéristiques géotechnique sont les suivantes

- Cohésion : $0,12 \leq C \leq 0,46$
- Angle de frottement : $19^\circ \leq \phi \leq 23^\circ$
- Poids volumique humide : $\gamma_h = 1,80 \text{ t/m}^3$

3.5 Conclusion :

Pour conclure, d'après l'observation du terrain, il a été constaté que des fissurations dû aux constructions en amont et du vide en aval, c'est ce qui a entraîné une poussée au vide d'un talus qui est composé du calcaire brunâtre à grisâtre très fragmenté peu compact surmonté par des remblais composés de marne grave et calcaire. L'utilité de la reconnaissance du sol nous a permis d'identifier les caractéristiques de ce dernier surplace et au laboratoire ce qui nous a permis de trouver des solutions au cas pathologique. Cette solution c'est : un mur de soutènement sur des semelles filantes.

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

4.1 Introduction :

Les pluies sont l'une des causes de nombreux problèmes naturels auxquels peuvent faire face la construction en général et les remblais en particulier, sans pour autant négliger les sols fins comme argile. Par conséquent, ce chapitre sera d'abord consacré à l'étude de la zone de construction, avec différentes expériences par la suite, une deuxième partie sera consacrée aux applications numériques avec le code de calcul Geoslope.

4.2 Le projet :

La deuxième partie de notre travail au sein du LTPO traite l'étude de stabilité de talus de l'entrée principale APS des blocs des 2000 places pédagogiques de l'école préparatoire, pôle de Chetouane – Tlemcen.

Les résultats des investigations géotechniques réalisées au niveau du site, les essais au laboratoire ainsi que l'analyse de la stabilité vis-à-vis du glissement constaté sont réalisés et la solution jugée la plus appropriée pouvant être adoptée dans le sens de la stabilisation du talus et son espace environnant, en particulier celui amont a été adoptée.

4.3 SITUATION DU TERRAIN ET DONNEE FOURNIES SUR LE PROJET :

La présente étude intéresse les talus entourant les blocs des 2000 places pédagogiques qui sont issues des terrassements en grande masse pour l'aplatissage de l'assiette des blocs selon leurs niveaux altimétriques sur lesquels ils sont réalisés. La grande dénivelée de ces talus est estimée à 5.10 mètres (voir le levé topographique dans la figure qui suit).

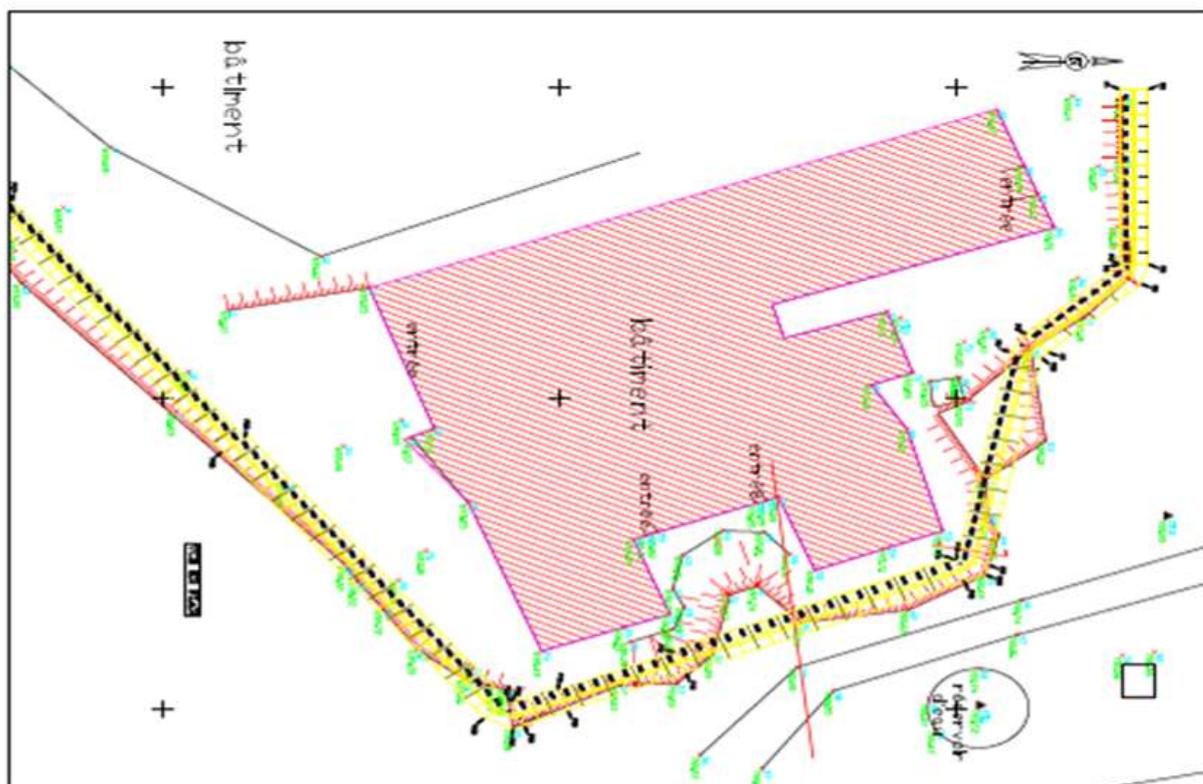


Figure (4.32): Levé topographique de la zone de l'étude

Le talus concerné présente dans son coin supérieur quelques petits crochés d'effondrement penchés vers les blocs. Ces effondrements sont minimes de largeur maximale de 3.0 mètres (voir les photos du site ci-dessous).



Figure (4.33): Photo du site montrant l'état de dégradation

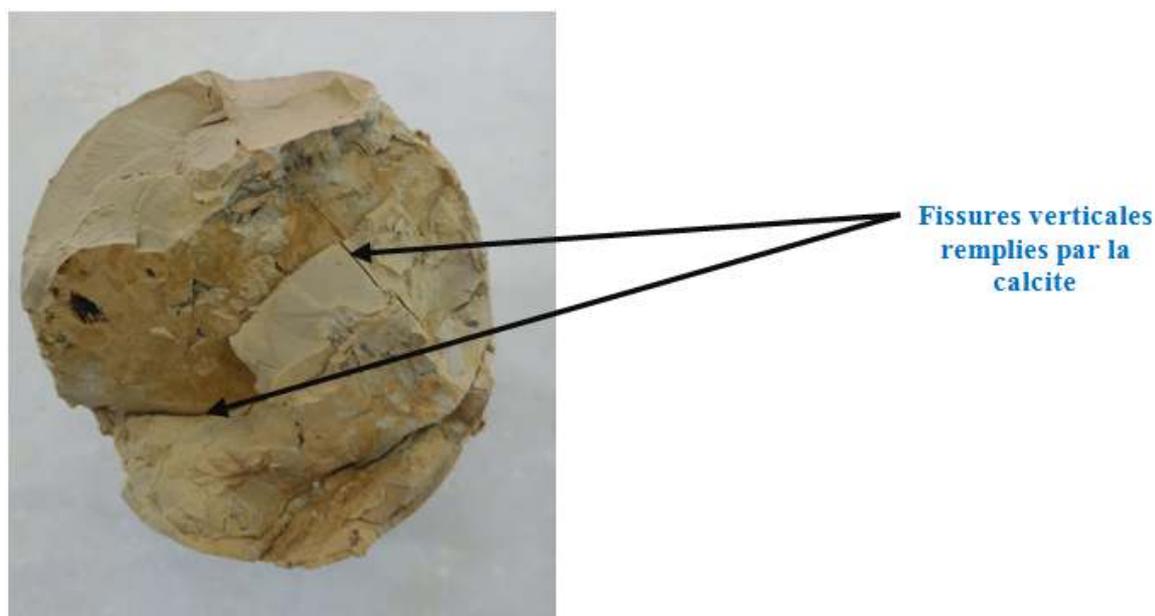
4.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SITE DU GLISSEMENT :

La région de Tlemcen fait partie de l'Atlas tellien, comprise entre les monts des Traras au Nord et les monts de Tlemcen au Sud. Elle est marquée par des terrains sédimentaires allant du Jurassique (calcaires et dolomies) au Quaternaire (alluvions).



Figure (4.34):Position géographique par Google earth

La zone d'étude située à la limite Nord-est du périmètre de la ville de Tlemcen est caractérisée par des formations attribuées stratigraphiquement au quaternaire et représentées par une puissante couche de marnes jaunâtre à verdâtres à intercalations détritiques (grès et sables) minces. L'ensemble s'achève par des remblais des terres excédentaires issues des aplatissages et des excavations des constructions mitoyennes. Le faciès marneux montre le plus souvent un débit en boule ou en feuilles et présente des fissures complexes d'orientation diverse Elles sont liées à des mouvements anciens (contraintes tectoniques ou glissements anciens). Ces fissures sont remplies le plus souvent par la calcite et sont soulignées également par des lisières foncées qui suggèrent la circulation des eaux. La figure ci-dessous représente ce que nous avons mentionné



Figure(4.35) : : carottes présentant un faciès marneux et présentant des fissures verticales remplies par la calcite

4.5 RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE DU TERRAIN

1- Le programme de reconnaissance géotechnique :

Le programme réalisé en place par le LTPO pour l'étude du glissement en question a comporté les investigations et essais de laboratoire suivants :

- La réalisation de trois sondages carottés implantés au niveau de la voie supérieure et inférieure en alignement parallèle au talus qui vient en bordure des blocs des 2000 places pédagogiques, tels qu'ils suivent : sondage noté Sc1 de 15,0 mètres de profondeur, sondage noté Sc2 de 15,0 mètres de profondeur et Sc3 de 20 mètres de profondeur.

Ces trois sondages ont été réalisés en forage rotatif avec carottier de diamètre 101mm y compris le prélèvement d'échantillons intacts et paraffinés pour les essais et analyses en laboratoire.

Aussi trois piézomètres ont été placés respectivement dans les trous de forage de ces sondages pour le repérage de l'eau éventuelle et son niveau dans le sous-sol.

- La réalisation de deux sondages pressiométriques notés Sp1 et Sp2 implantés respectivement en niveau supérieur et inférieur du talus et parallèlement aux deux sondages Sc2 et Sc3.

Ces deux sondages notés SP1 (20,0 mètres de profondeur) et SP2 (15,0 mètres de profondeur), ont été réalisés en forage rotatif avec carottier de diamètre 76mm pour la réalisation des essais pressiométriques prescrits pour la mesure des caractéristiques mécaniques des formations du terrain existant en sous-sol. On note dans ce sens qu'il a été réalisé 04 essais pressiométriques en SP1 et 14 essais pressiométriques en SP2.

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

- La réalisation à partir des échantillons intacts et paraffinés prélevés des sondages SC1, SC2 et SC3 des essais et analyses de Laboratoire suivants : huit essais de teneur en eau, huit essais de densité apparente, huit essais de limites d'Atterberg, huit analyses granulométriques et sédimentométriques, huit essais de cisaillement rectiligne UU et trois analyses chimiques de sol pour la détermination des teneurs en CaCO_3 et le pourcentage des sulfates et des chlorures.

2) RESULTATS DES INVESTIGATIONS ET ESSAIS REALISES

a) Sondages carottés

Les cinq sondages réalisés au sein de l'emprise du talus ont permis, à partir de l'examen des récupérations des sols obtenus, de mettre en évidence les formations des sols en place traversées de haut en bas comme suit ;

Tableau (4.5) : Sondage SC1 de 15,0 m de profondeur,

De 00.00m à 15.0m	Marne jaunâtre pâteuse, devenant verdâtre pâteuse à partir de 5.50m ; verdâtre mi-raide 7.00m ; et schisteuse à partir de 11.20m légèrement sableuse entre: 3.30-3.58m
-------------------	--



Figure (4.36):caisses des sondages SC1

Tableau (4.6) : Sondage SC2 de 11,0 m de profondeur :

De 0.00m à 1.0m	Remblai argileux.
De 1.0m à 11.00m	Marne jaunâtre pâteuse, concrétionnaire entre: 1.80-2.00m devenant bicolore à partir de 4.60m et verdâtre pâteuse à mi-raide à partir de 5.70m, sableuse entre: 2.2.0-4.50m



Figure (4.37):Caisses de sondage SC2

Tableau (4.7) Sondage SC3 de 20,0 ml de profondeur,

De 0.00m à 1.0m	Remblai argileux.
De 1.0m à 15.00m	Marne jaunâtre pâteuse, concrétionnaire entre: 1.80-2.00m devenant verdâtre pâteuse à mi-raide à partir de 4.00m



Figure (4.38): Caisses de sondage SC3

Tableau (4.8) Sondage SP1 de 20,0 ml de profondeur :

De 0.00m à 2.60m	Remblai argileux.
De 2.60m à 20.00m	Marne jaunâtre pâteuse, devenant verdâtre à partir de 7.60m ; et légèrement sableuse entre: 4.45-4.55m ; 5.20-5.30m



Figure (4.39):caisses de sondage SP1

Tableau (4.9) : Sondage SP2 de 20,0 ml de profondeur :

De 0.00m à 1.00m	Remblai argileux.
De 1.00m à 15.00m	Marne jaunâtre pâteuse, devenant verdâtre pâteuse à mi-raide à partir de 8.50m



Figure (4.40):casses de sondage SP2

- Niveau d'eau en sous-sol

Des piézomètres en tube PVC \varnothing 60mm ont été placés respectivement dans les trous des trois sondages SP1, SC1 et SC2 en vue de connaître la présence de l'eau en sous-sol.

Les mesures effectuées au niveau de ces piézomètres ont permis de recenser les lectures ci-après :

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

Tableau (4.10):niveau de la nappe d'eau

Dates des lectures	Niveau d'eau mesuré (m)		
	SP1	SC2	SC3
06/02/2020	4.30	2.40	1.80

Il existe une certaine fluctuation du niveau d'eau au droit des trois sondages considérés. Ce qui confirme une présence d'écoulement souterrain sur le toit de la marne grise imperméable et canalisé dans la frange du grès fin jaunâtre.

b) Résultats des essais géotechniques et analyses chimiques réalisés

L'ensemble des valeurs enregistrées aux termes des essais réalisés sur des échantillons prélevés sont portés dans le tableau des résultats Ci-après :

b1) formation de marne jaunâtre

Tableau (4.11): caractéristique marne jaunâtre

Types d'essais	Paramètres géotechniques	Plage de variation des valeurs enregistrées	Interprétation	
Essais physiques	γ_h (t/m ³)	1.72 – 1.81	Sol moyennement dense à très dense.	
	γ_d (t/m ³)	1.38 – 1.45		
	ω %	21 – 29	Matériau mouillé à très mouillé.	
	ω_{sat} %	64 – 85		
	I_p (%)	32 – 41	Sol très plastique	
	Limite de liquidité (W_L , %)	56 – 71		
	Granulo&sédimen	% des éléments < 2 mm	96.26 – 99.97	Le sol a une granulométrie limono-argileuse à sableuse par fois faiblement graveleuse.
		% des éléments < 80 μ m	93.82 – 99.53	
	Cisaillement	Cohésion (C, bar)	0.06 – 0.61	Sol cohérent avec une force inter-granulaire due à la présence des grains de sable.
Angle de frottement (ϕ , °)		11.31 – 15.06		

b2) Formation de marne verdâtre

Tableau (4.12):caractéristique marne verdâtre

Types d'essais	Paramètres géotechniques	Plage de variation des valeurs enregistrées	Interprétation	
Essais physiques	γ_h (t/m ³)	1.83 – 1.88	Sol moyennement dense à très dense.	
	γ_d (t/m ³)	1.45 -1.53		
	ω %	23 – 27	sol très mouillé.	
	ω_{sat} %	83 – 89		
	I_p (%)	32 – 52	Sol très plastique	
	Limite de liquidité (W_L , %)	66 – 72		
	Granulométrie	% des éléments < 2 mm	99.87 – 99.98	Le sol a une granulométrie limono-argileuse à sableuse par fois faiblement graveleuse.
		% des éléments < 80 μ m	98.97 - 99.71	
	Cisaillement	Cohésion (C, bar)	0.04 – 0.31	Sol cohérent avec une force inter-granulaire due à la présence des grains de sable.
Angle de frottement (ϕ , °)		9.40 – 12.08		
Essais chimiques	Taux de carbonate de calcium (CaCo ₃ , %)	34 – 77	Il s'agit d'une marne, concrétionnée par endroit.	

c) Résultats des essais pressiometriques

c1) Les essais pressiometriques ont été réalisés dans les trous de forage des deux sondages SP1 (avec pas de 2.0 m)et SP2 (avec pas de 1,0 m). Ces essais pressiometriques ont été prescrits pour fournir les caractéristiques géomécaniques des sols traversés et leur module de déformation.

c2)Résultats des essais pressiometriques

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des paramètres géotechniques obtenus aux termes des essais pressiometriques réalisés.

Tableau (4.13): Résultats pressiométrique

Sondage	Profondeur (m)	Formation du sol	Pression de fluage Pf (MPa)	Pression limite Pl (MPa)	Module E (MPa)	E/Pl
SP1	2.00	Marne jaunâtre	0.18	0.49	12.5	25.3
	5.00	Marne verdâtre	0.56	1.21	7.0	5.8
	7.00	Marne verdâtre	0.69	2.05	13.8	6.7
	9.00	Marne verdâtre	0.30	1.40	12.0	8.6
SP2	1.00	Marne jaunâtre	0.08	0.30	3.5	11.8
	2.00	Marne jaunâtre	0.07	0.06	1.7	29.1
	3.00	Marne jaunâtre	0.14	0.13	0.9	7.0
	4.00	Marne jaunâtre	0.15	0.30	5.9	19.5
	5.00	Marne jaunâtre	0.55	0.79	10.7	13.6
	6.00	Marne jaunâtre	0.17	0.89	14.8	16.7
	7.00	Marne verdâtre	0.71	1.19	14.1	11.8
	8.00	Marne verdâtre	0.94	1.72	19.8	11.5
	9.00	Marne verdâtre	1.10	2.18	26.4	12.2
	11.00	Marne verdâtre	1.06	1.53	59.9	39.2
	12.00	Marne verdâtre	1.39	2.21	31.0	14.0
	13.00	Marne verdâtre	1.13	2.40	45.4	18.9
14.00	Marne verdâtre	0.75	1.77	66.3	37.4	
15.00	Marne verdâtre	1.44	1.81	71.2	39.4	

A partir des résultats pressiométriques (module pressiométriques, pression limite) résumé dans le tableau ci-dessus, nous avons remarqué un accroissement clair des couples des valeurs à partir du niveau de la marne verdâtre, permettant de dire que la formation de marne verdâtre est plus consistante par rapport à la marne jaunâtre.

4.6 EXPLOITATION DES DONNEES ET ANALYSE DE LA STABILITE

1) Profils géométrique établis :

A partir des coupes-log des sondages obtenus, une coupe en plan verticale est établie à l'échelle et notée « profil P1 », tout en notant que ce profil P1 constitue le plan vertical du terrain passant par les deux sondages SP1 et SC2, dans le sens de visualiser la constitution en plan vertical du terrain allant du niveau superficiel à fin de sondage et de l'amont à l'aval du talus affecté, et ce en vue d'afficher l'ensemble des éléments caractérisant le sous-sol et permettre aisément l'analyse (voir la figure du profil ci-dessous).

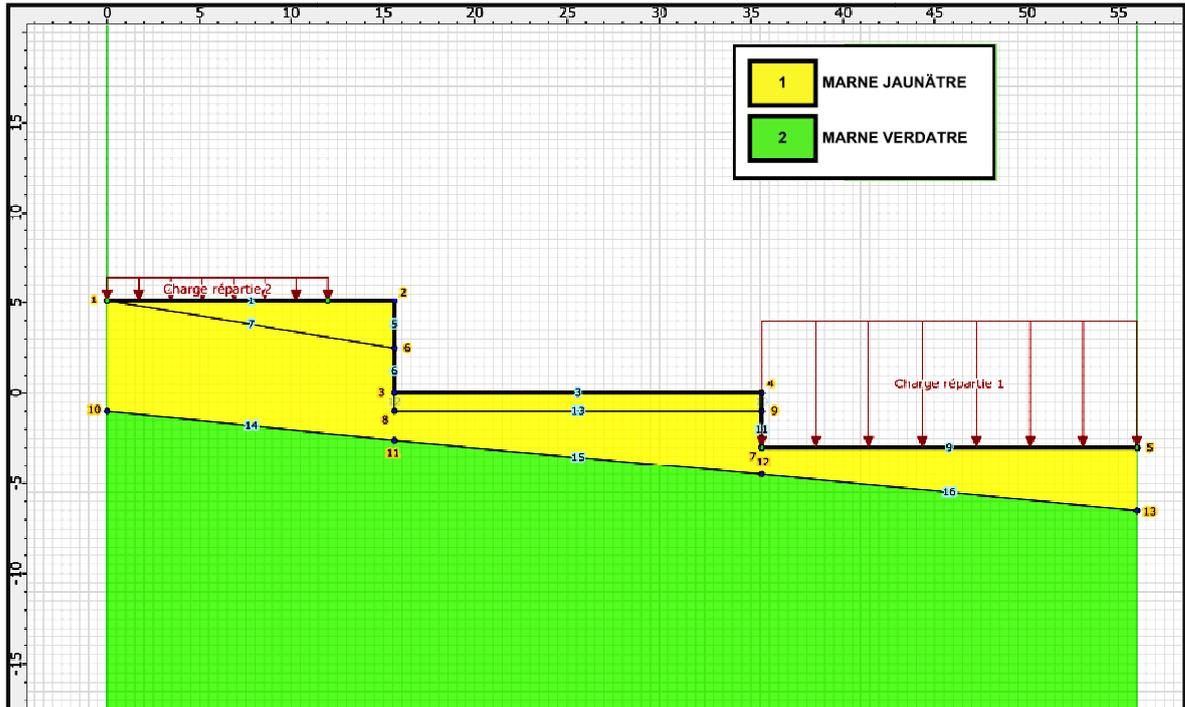


Figure (4.41): Profil géométrique P1 selon l'axe passant par SP1 et SC2

2) Analyse à rebours de la stabilité du versant :

A partir du profil géologique établi pour la modélisation du site tel qu'il a été généré par les paramètres géotechniques (la densité apparente γ_d , la cohésion non-consolidée non drainée C_u et l'angle de frottement ϕ_u) enregistrés pour les différentes formations prélevées des sondages dont les valeurs sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau (4.14): caractéristique des argiles

FORMATION	γ_d (KN/M ³)	C_u (KN/M ²)	Φ (°)
Marne jaunâtre	17.4	31	12.08
Marne verdâtre	18.8	61	11.30

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

Aussi des surcharges ont été exercées sur le profil afin de représenter l'état existant, à savoir :

Tableau (4.15):valeurs des surcharges

Surcharge	Origine	Valeur (KPa/m ²)
Q1	Blocs en cours de réalisation	160
Q2	Surcharge de la circulation de la voie d'entrée	30

Un calcul de stabilité vis-à-vis du glissement a été effectué à l'aide du logiciel GEOSLOPE version 2012.

2.a)Présentation de logiciel GEOSLOPE :

GEOSLOPE est un programme de calcul de stabilité des pentes qui permet de modéliser des problèmes de géotechnique et de géoenvironnement. Ce programme de conception assistée par ordinateur permet d'utiliser la méthode des tranches pour déterminer le facteur de sécurité des massifs en pente constitués d'une ou de plusieurs couches de sol, avec ou sans présence de nappe, avec ou sans sollicitations sismiques, avec ou sans succion.

Des notions sur le coefficient de sécurité :

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 décrit de la façon suivante :

$$FS = \frac{\tau_{Max}}{\tau}$$

FS :Le facteur de sécurité pourrait être calculé, pour un paramètre sélectionné, en prenant le pourcentage de la valeur à la rupture, par la valeur calculée sous les conditions de projet de ce paramètre, ce dernier peut être un rapport de force, de moments, de grandeurs par rapport à une grandeur limite comme le montre le tableau suivant

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

Tableau (4.16):classification de coefficient de sécurité selon l'importance de l'ouvrage(Koudrey;2005)

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

2.b) L'analyse par GEOSLOPE :

La méthode de Bishop est adoptée pour le calcul de la stabilité des talus, l'analyse par cette méthode présente une forme circulaire de surface de glissement en basant sur le critère de Mohr-coulomb

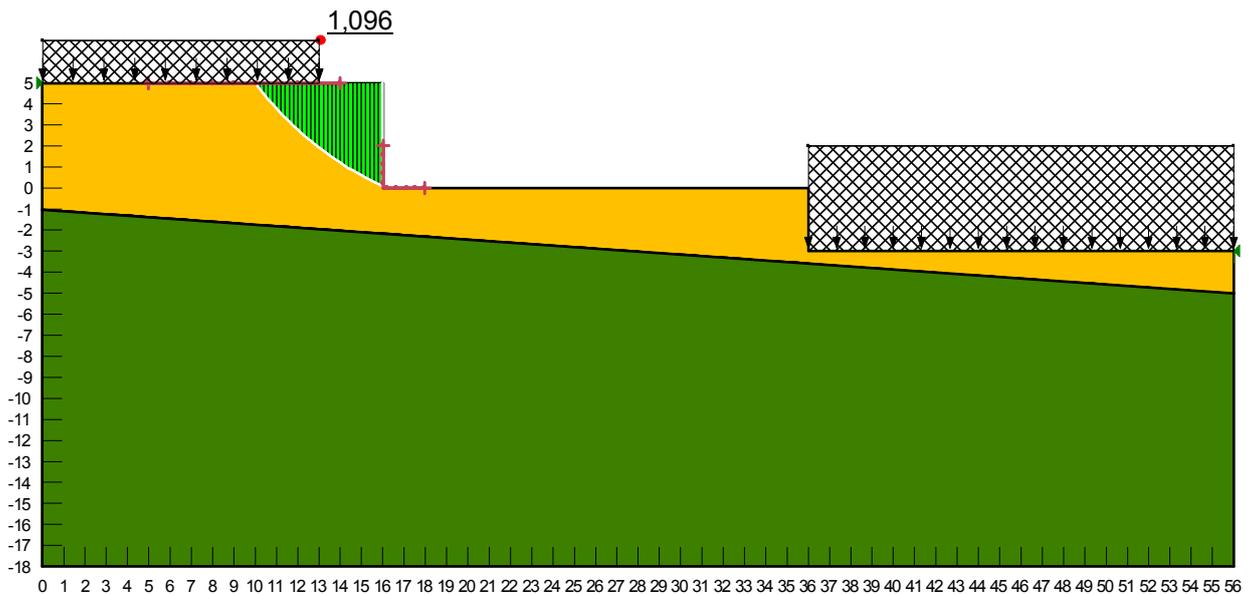


Figure (4.42) :le talus sans mur avec un $F_s=1,096$

D'abord, la modélisation de ce talus dans la phase après déblai par ce logiciel **GEOSLOPE** sans prendre en compte la présence de la nappe phréatique à résulte un coefficient de sécurité $F_s = 1.09$ (**Figure 4.42**), ce résultat de cette simulation présente un état d'équilibre critique, donc ce talus est considéré instable partiellement au côté amont vu que l'équilibre à long terme (en exploitation) est assuré lorsque le coefficient de sécurité minimal $F_{min} \geq 1.5$;

Avec la localisation du cercle de glissement au côté amont de talus en déblai, Alors la conception pour renforcement dans notre cas est de réalisée un mur de soutènement qui représente une buté stabilisatrice au pied de talus en mouvement.

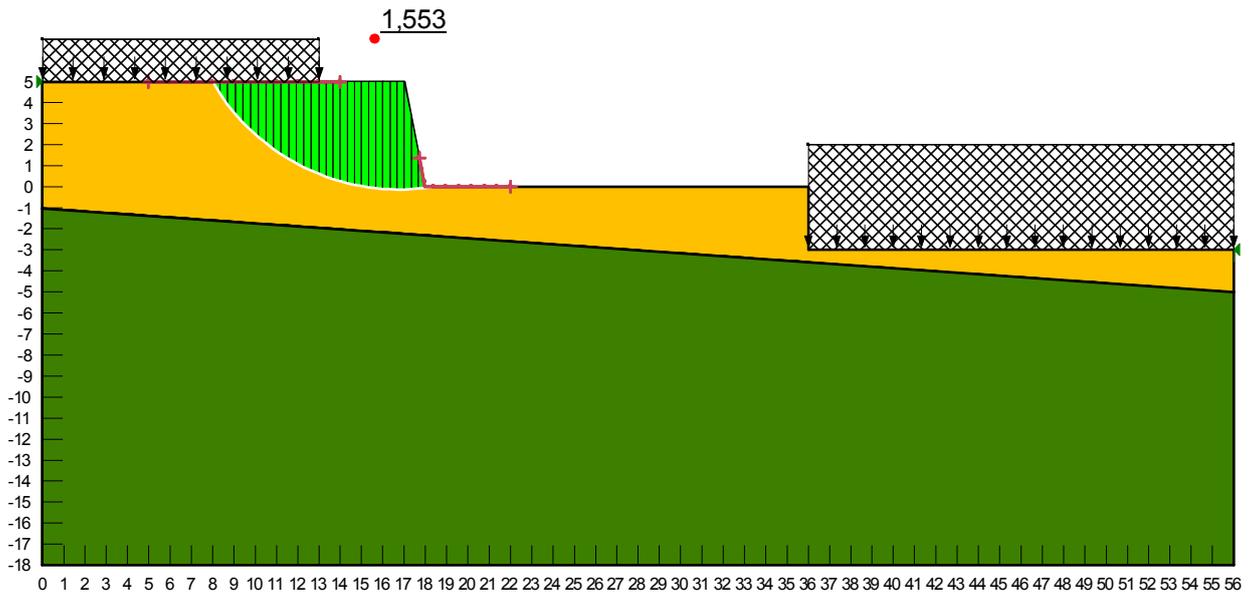


Figure (4.43): talus avec mur avec $F_s=1,553$

✓ **L'influence de la nappe sur le talus et mur :**

La simulation de ce talus en prenant en compte la présence de la nappe phréatique avec un renforcement par le mur de soutènement en béton mis en place dans la butée de talus initialement instable dans le but d'augmenter le moment stabilisant dans la fonction suivante $F_s = M_{stab}/M_{motrice}$ en résulte par la suite un coefficient de sécurité $F_s = 1.55$ (Figure 4.43), Où on juge que ce talus est considéré stable à long terme (en exploitation) est le coefficient de sécurité minimal $F_{min} \geq 1,5$.

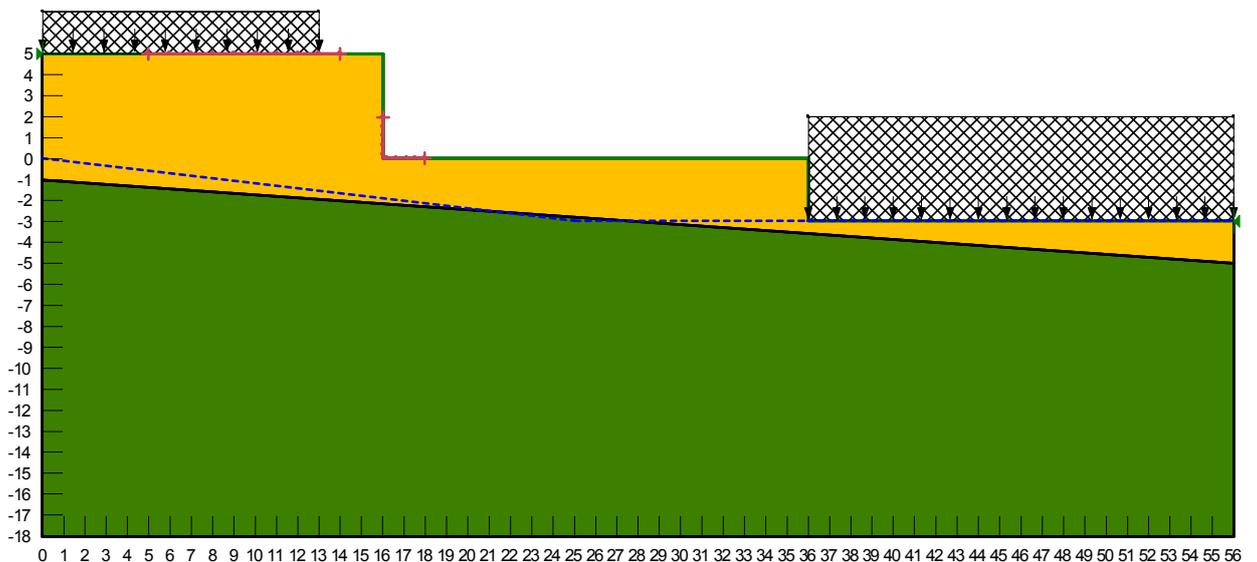


Figure (4.44): modélisation du talus avec nappe

La Figure 4.44 représente le modèle de talus en question et qui en déblais sous l'effet de la nappe phréatique.

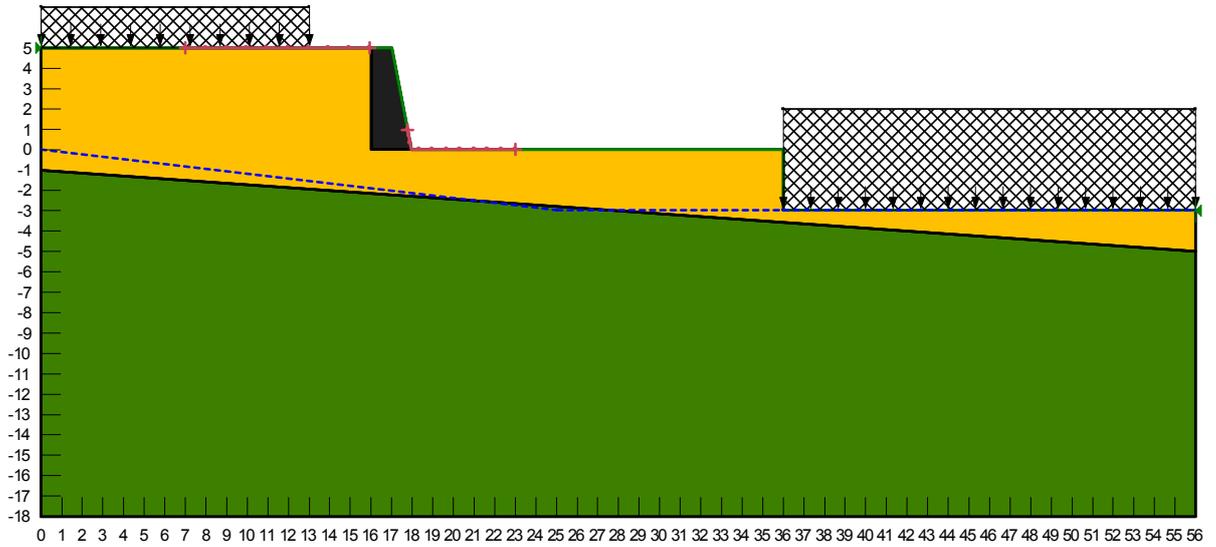


Figure 45 : modélisation du talus avec mur avec nappe

Pour fixée le niveau piézométrique illustré sur le modèle au-dessus, on basée sur des mesures enregistré sur site après constatation de niveau des puits, ainsi sur les sources d'eau visualisé au voisinage de la zone d'étude.

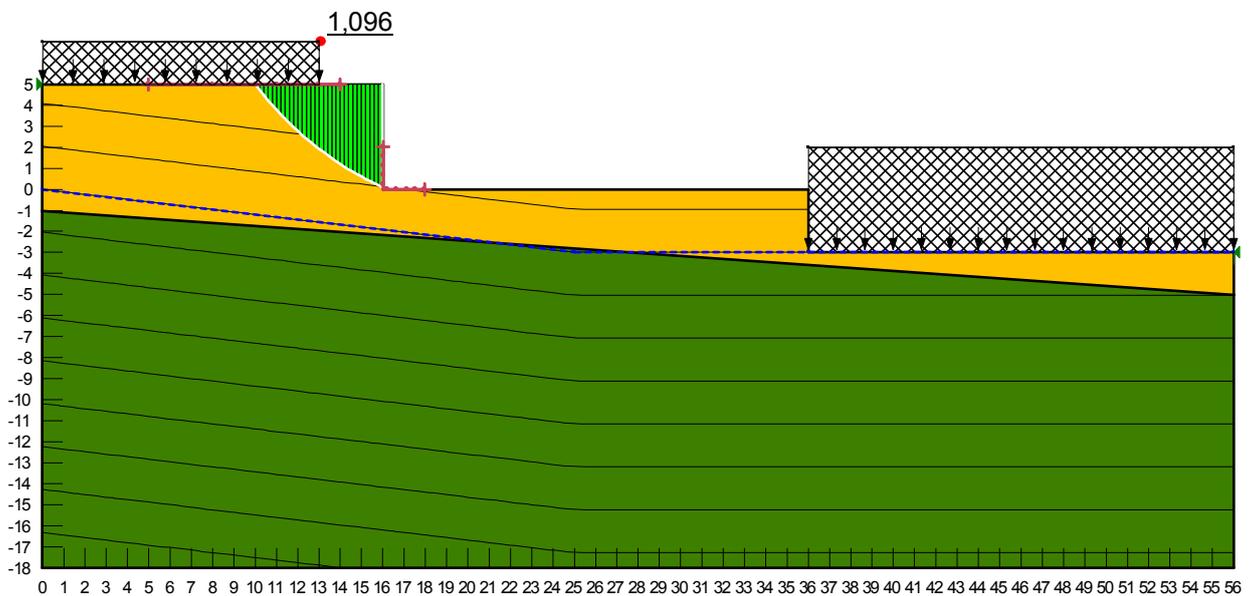


Figure (4.46) : talus avec nappe avec $F_s=1,096$

Le modèle ci avant de talus avec la présence de la nappe phréatique représente un état d'équilibre critique $F_s=1.09$ (Figure 4.45), donc c'est le même résultat que le talus sans mur de soutènement . Ce qui signifie que le talus est considéré instable partiellement au côté

CHAPITRE 4 : Mission 2 : étude de cas

amont vu que l'équilibre à long terme (en exploitation) est assuré lorsque le coefficient de sécurité minimal $F_{min} \geq 1.5$.

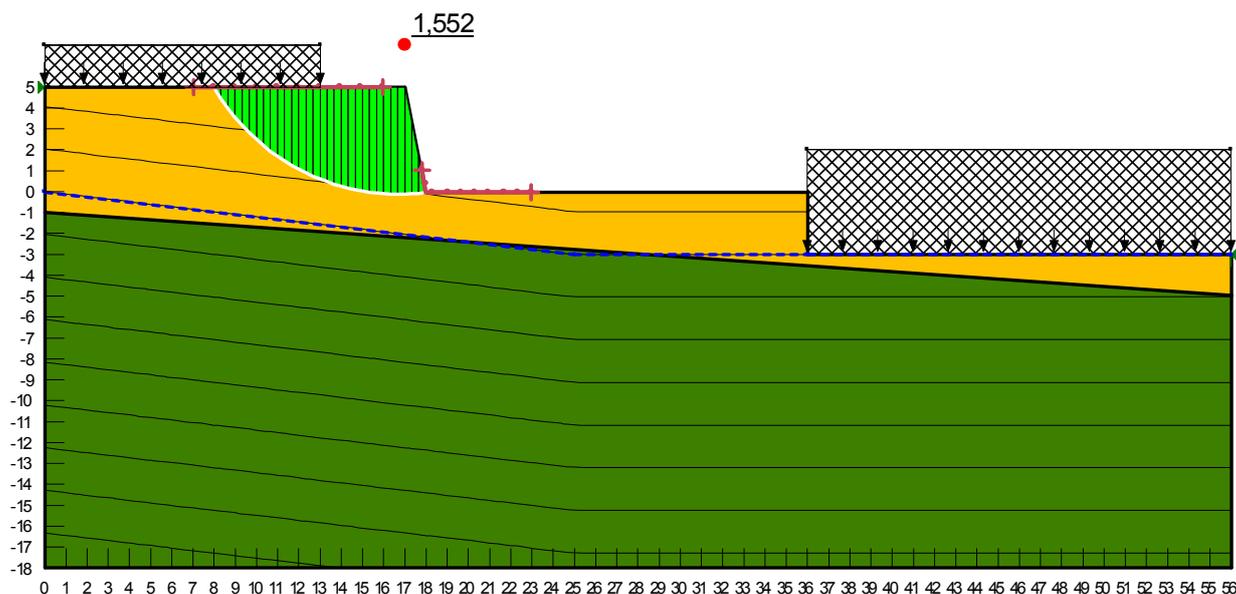


Figure (4.47) : talus renforcé par le mur avec l'existence de la nappe $F_s = 1,552$

Le résultat illustré dans la (Figure 4.46) relative au talus renforcé par mur avec l'existence de la nappe phréatique au-dessous de 5 mètres par rapport au terrain naturel de partie amont de talus en question. Finalement le $F_s > 1.5$ où en considère ce talus est stable après le renforcement par un élément stabilisateur comme exemple (mur de soutènement en B.A, mur en moellon, masque en poids, des murs en gabillon ..etc.

Remarque : la nappe d'eau n'a pas influencer sur le talus sauf s'il ya le cas d'un soulèvement de cette nappe dans une période hivernal ou peut être après un chargement du sol dans la partie aval (coté droite de talus) et qui cause une consolidation du sol par la suite se risque de changer la perméabilité de la couche supérieure dans l'endroit chargé et qui va sur-consolidé avec le temps .

Donc pour garder toute la zone en stabilité globale, il est nécessaire de prévoir des drains périphérique dans la partie aval (coté droite de talus) dans le but de conserver le niveau de la nappe phréatique au-dessous de niveau 0 mètre.

4.7 Solution de reprise :

En prenant en considération l'ensemble des données ci-avant énoncés, il apparait donc que la saturation superficielle par les eaux des dernières pluies (le mois de janvier) a engendré le ramollissement de la couche superficielle de marne jaunâtre et lui y perdre ces caractéristiques résistant.

Le raisonnement devant faire aboutir à solutionner ce cas et la préservation de la stabilité durable du talus consiste à donner au site et son environnement un état d'équilibre et d'assurer une sécurité supplémentaire contre le risque de ramollissement de la partie du sol sous-jacente au talus. En ce sens et contre tout risque, il reste recommandé de faire soutenir le talus instable par un mur rigide qui sera ancré en pied. Ce qui a conduit par conséquent au choix de la solution de mise en place du procédé mixte qui consiste à la réalisation des opérations en place suivantes (Voir la figure 4.16 qui représente un mur de soutènement en béton armée avec une hauteur de 5m et une base de 2m avec $\gamma_h = 25 \text{KN/m}^3$)

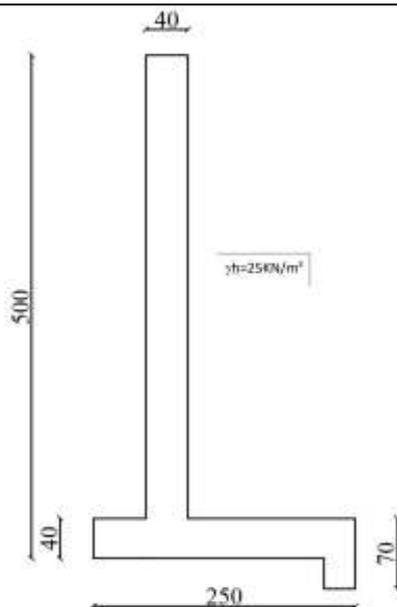


Figure (4.48):Réalisation d'un mur de soutènement

4.8 Conclusion :

Bien que l'argile soit considérée parmi les types de sol difficiles lors de la construction, LTPO a réussi à trouver une solution au problème des glissements de terrain dans le projet de chetouane, qui est la construction d'un mur de soutènement d'une hauteur de 5 m, une base de 2 m et $\gamma h = 25 \text{ kN}$.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire professionnel on a eu la chance d'exercer le travail d'un ingénieur au sein de laboratoire de travaux publics de l'Ouest LTPO.

Ce projet de fin d'études nous a permis de connaître le déroulement des travaux au sein du laboratoire entouré d'une équipe de spécialistes dans le vaste domaine de la géotechnique.

Dans notre parcours au LTPO, certes minime dans le temps vu l'interruption du travail dû à la crise sanitaire et la pandémie du COVID 19, on a pu participer à deux missions distinctes :

La première, une campagne de reconnaissance géotechnique de terrain dans un projet de construction à Maghnia. Elle nous a permis de voir quelques essais in-situ et caractériser la nature des différentes couches du terrain du projet en question.

La seconde mission réalisée au cours de notre stage est l'étude de modélisation d'un glissement de terrain à Chetouane. Ce projet concerne un glissement mineur sur le terrain du nouveau pôle universitaire. Cette étude a recouru aux résultats d'étude de sol afin de récolter les données tel que les niveaux piézométriques et les paramètres géotechniques C, ϕ, γ afin de les introduire dans un modèle numérique .

Le logiciel GEO-SLOPE est l'outil utilisé pour l'implémentation du cas étudié en 2D pour l'évaluation de l'équilibre du talus en question après une intervention par un acte de déblai fait sur le même site.

En dernier, il faut souligner l'importance de faire un travail pratique dans un laboratoire de géotechnique. Outre la quantité importante d'informations qu'on a recueilli, il ne faut pas négliger l'aspect humain de travailler en équipe et surtout apprendre à collaborer dans un projet car une étude ne réussit que s'il y a une parfaite coordination entre une équipe pluridisciplinaire.

On ne remerciera jamais assez toute l'équipe du LTPO et son directeur de nous avoir donné la chance de participer à des projets réels. En espérant que ça été une première tentative réussie des projets conduits dans des entreprises d'où la coopération effective université-entreprise.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Annane A. 2013 : Mur de soutènement en zone sismique. Mémoire de Magister, Université de Batna.

BENOUIS D. 2010 : Etude d'un glissement de terrain par différentes méthodes, Mémoire d'ingénieur, Université de Saida.

Hachi.S, 2016. Effet de l'incertitude dans les paramètres mécaniques et dynamiques sur la performance et le coefficient de comportement global des structures. Mémoire de Master. Université de Djelfa.

Laboratoire LCPC, 1998 : Stabilisation des glissements de terrain. Guide technique Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

(ORRM,2014) : Observatoire Régional des Risques Majeurs,30/11/2014

Zeroual. F,2013 : Etude du comportement d'un mur de soutènement soumis a des sollicitations dynamiques. Mémoire de Magister, Université Batna.