



**Ministère de l'enseignement supérieur
.et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

FILIERE : Génie Civil SPECIALITE : Géotechnique

Par :

GUESRI Sawsen Fatima Zohra & BOUSSAAD Khalida

THEME

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS

A L'AIDE DU LOGICIEL SOLTESTS

(Retour d'expérience de l'essai au modèle numérique)

Soutenu devant le jury composé de Messieurs :

MENASRI Abderrazek, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Président

LAHMADI Azzedine, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Examineur

KHEMISSA Mohamed, Prof., Université Med Boudiaf - M'sila, Co-Encadreur

SEDDIKI Ahmed, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Encadreur

Promotion : 2024/2025

Résumé

Cette étude emploie le logiciel Soltests pour analyser la capacité portante et les tassements des fondations superficielles, en utilisant des données d'essais de sol en laboratoire et in situ (pressiométriques). Deux études de cas ont été examinées : un site scolaire à Sidi Mhamed, caractérisé par un sol graveleux-sableux, et une salle polyvalente à Chekfa, présentant des formations argileuses et marneuses stratifiées. La conception des fondations pour les deux sites a considéré des semelles filantes et des semelles carrées. Les résultats indiquent que la méthode pressiométrique donne généralement des prédictions de capacité portante plus élevées et de tassement plus faibles par rapport aux paramètres dérivés en laboratoire.

Mots-clés.

Soltests, capacité portante, tassement, semelles filantes, semelles carrées, pressiométrique.

Abstract

This study uses Soltests software to analyze the bearing capacity and settlement of shallow foundations, using laboratory and in situ (pressuremeter) soil test data. Two case studies were examined: a school site in Sidi Mhamed, characterized by gravelly-sandy soil, and a multipurpose hall in Chekfa, featuring stratified clay and marl formations. Foundation designs for both sites considered strip footings and square footings. The results indicate that the pressuremeter method generally yields higher bearing capacity and lower settlement predictions compared to laboratory-derived parameters.

Keywords.

Soltests, Bearing capacity, Settlement, Strip footings, Square footings, Pressuremeter.

ملخص

تستخدم هذه الدراسة برنامج Soltests لتحليل القدرة التحميلية وهبوط الأساسات السطحية، وذلك بالاعتماد على بيانات فحوصات التربة المخبرية والموقعية (البريسيومترية). جرى فحص حالتى دراسة: موقع مدرسى فى سيدى امحمد يتميز بتربة حصوية رملية، وقاعة متعددة الخدمات فى الشقفة تتميز بتكوينات طينية ومارلية طبقية. أخذ تصميم الأساسات فى الموقعين بعين الاعتبار الأساسات الشريطية والأساسات المربعة. تشير النتائج إلى أن الطريقة البريسيومترية تعطي عموماً تنبؤات بقدرة تحمل أعلى وهبوط أقل مقارنة بالمعاملات المستمدة مخبرياً.

الكلمات المفتاحية: Soltests، القدرة التحميلية، هبوط، أساسات شريطية، أساسات مربعة، بريسيومترية.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Introduction à la Caractérisation des Sols dans le domaine de la Géotechnique	5
I.1. Introduction	5
I.2. Utilisations en Géotechnique.....	5
I.3. Théories de la mécanique des sols.....	6
I.4. Distinction entre sols, roches et origines des sols	7
I.5. Eléments constitutifs d'un sol.....	7
I.6. Les types des sols	8
I.7. Typologie des sols selon leur composition.....	8
I.5. Indices de caractérisation des sols	10
I.6. Normes d'Essais.....	11
I.7. Normes géotechniques en Algérie.....	11
Outils Informatique Utilisé : SolTests	14
II.1. Généralités.....	14
II.2. Les éléments constitutifs des programmes.....	14
II.3. Utilisation dans la géotechnique	18
II.4. Conclusion.....	22
Traitement Numérique des Données Expérimentales	25
III.1. Introduction.....	25
III.2. Etude de sol du site du CEM Attowa Mokhtar	25
III.3. Synthèse	Erreur ! Signet non défini.
Modélisation du calcul des fondations par CalFond	56
IV.1. Introduction.....	56

IV.2. Site du CEM Attowa Mokhtar à Sidi Mhamed	56
IV.3. Salle polyvalente à Chekfa, Jijel.....	60
IV.4. Synthèse	69
Conclusions Générales	71
Références Bibliographique	73

Liste des Figures

Figure I.1. Théories de la mécanique des sols	6
Figure I.2. Formation du sable et de l'argile par altération de la roche mère	7
Figure I.3. Constituants d'un sol	8
Figure I.4. Classification des sols selon leurs diamètres	8
Figure I.5. Sol argileux	9
Figure I.6. Sol limoneux	9
Figure I.7. Sol sableux	10
Figure I.8. Noms des normes fréquemment utilisées	11
Figure II.1. Menu données générales d'un dossier	14
Figure II.2. Les données générales du projet	15
Figure II.3. Organisation des informations (nature géologique des couches)	15
Figure II. 4. Rapport de forage	16
Figure II.5. Résultats des essais pénétromètres	17
Figure II.6. Pénétrogramme Statique	17
Figure II.7. Boite de dialogue des données générales du projet	18
Figure II.8. Boite de dialogue d'essai pénétromètre dynamique	18
Figure II.9. Boite de dialogue données Projet et caractéristiques du pénétromètre	19
Figure II.10. Imputation des résultats obtenus in situ de l'essai pénétrométriques	19
Figure II.11. Graphique du pénétrogramme dynamique	20
Figure II.12. Boite de dialogue d'essai Limite d'Atterberg	20
Figure II.13. Boite de dialogue d'essai analyse granulométrie	21
Figure III.1. Plan de situation du projet à SIDI MHAMED	26
Figure III.2. Position des sondages et de pénétromètre dynamique	27
Figure III.3. Données générales de log sondage	28
Figure III.4. Nature géologique des couches	29
Figure III.5. Log du sondage S1	30
Figure III.6. Données générales et caractéristiques du pénétromètre utilisé	32
Figure III.7. Les données d'essai pénétrométriques (PDL1)	32
Figure III.8. Calcul par SolTests des valeurs de la résistance R_p (PDL 1)	33
Figure III.9. Courbe de résistance de pointe en fonction de la profondeur pour PDL1	34
Figure III.10. Rapport détaillés des résultats de l'essai réalises PDL 1	35
Figure III.11. Calcul des Tamisât par SolTests du sondage S1	37
Figure III.12. Courbe de l'analyse granulométrique du sondage S1	38
Figure III.13. Résultats des essais valeur au bleu de méthylène	39
Figure III.14. Données de l'essai de valeur au bleu de méthylène du sondage S1	40
Figure III.15. Échantillonnage des essais Limite d'Atterberg du sondage S1	42
Figure III.16. Rapport d'un essai Limite d'Atterberg du sondage S1	43
Figure III.17. Limites d'Atterberg (W_p et W_l) du sondage S1	43
Figure III.18. Rapport de l'essai Limites d'Atterberg du sondage S1	44
Figure III.19. Interface d'échantillonnage	45

Figure III.20. Résultats de l'essai de cisaillement direct.....	45
Figure III.21. Paramétrage de l'essai de cisaillement direct	46
Figure III.22. Données des essais œdométriques.....	48
Figure III.23. Feuille de calcul des essais œdométriques	49
Figure III.24. Plan de situation du projet à Chekfa.....	52
Figure III.25. Extrait de la carte géologique de EL'MILIA.....	52
Figure IV. 2. Caractéristiques mécaniques des couches de sols.....	57
Figure IV. 3. Dimension de la fondation filante.....	58
Figure IV. 4. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols.....	58
Figure IV. 5. Dimension de la fondation carrée	59
Figure IV. 6. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols.....	59
Figure IV. 7. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	60
Figure IV. 8. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	60
Figure IV. 9. Caractéristique des couches de sols.....	61
Figure IV. 10. Caractéristiques mécaniques des couches.....	61
Figure IV. 11. Type et dimension de la fondation	62
Figure IV. 12. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols.....	62
Figure IV. 13. Type et dimension de la fondation	63
Figure IV. 14. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	63
Figure IV. 15. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols.....	64
Figure IV. 16. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	64
Figure IV. 17. Caractéristique des couches de sols.....	65
Figure IV. 18. Type et dimension de la fondation	65
Figure IV. 19. Valeurs les résultats des essais pressiométriques.....	66
Figure IV. 20. Valeurs des contraintes limites et admissible par la méthode pressiométrique	66
Figure IV. 21. Type et dimension de la fondation	67
Figure IV. 22. Valeurs des contraintes limites et admissible par l méthode pressiométrique.	67
Figure IV. 23. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	68
Figure IV. 24. Valeurs du tassement total et des tassements des couches	68

Liste des Tableaux

Tableau I. 1. Extrait du catalogue des normes algériennes au 31 décembre 2024-Version 1.....	12
Tableau III. 1. Les valeurs de nombre de coups (Nc) en fonctions de profondeur.....	31
Tableau III. 2. Résultats de calcul de la résistance de pointe (Rp) en fonction de profondeur.....	31
Tableau III. 3. valeurs de R _{pmin} , R _{pmax} et la côte du refus pour chaque essais réalisé	36
Tableau III. 4. Refus en fonction de l'ouverture de la maille du tamis pour le sondage S1	36
Tableau III. 5. Pourcentage des échantillons en fonction de la nature du sol.....	39
Tableau III. 6. Les données d'essai valeur au bleu de méthylène S1	40
Tableau III.7. Les résultats donnés d'essai valeur au bleu de méthylène S1	40
Tableau III.8. Résultats les différentes carottes d'essai VBS S1.....	41

Tableau III.9. Classification du sol selon les résultats d'essai VBS de Sondage S1	41
Tableau III.10. Les données des limites d'Atterberg.....	41
Tableau III.11. Résultats d'essai limite d'Atterberg S1.....	42
Tableau III.12. Résultats d'essai de cisaillement S1.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau III.13. Les données de l'essai œdométrique de sondage S1.....	48
Tableau III.14. Etat de compressibilité de trois (03) essais œdométriques selon les résultats.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau III.15. Valeurs de l'indice de compressibilité en fonction de Cc.....	51

Introduction Générale

La mécanique des sols, est intrinsèquement complexe. Le sol est un milieu hétérogène dont les propriétés varient considérablement avec l'emplacement et la profondeur. Comme souligné dans le premier chapitre, le comportement du sol est influencé par une multitude de facteurs, notamment la granulométrie, la minéralogie, la teneur en eau et l'historique des contraintes. Les théories sur lesquelles nous nous appuyons – de la mécanique des sols classique à l'élasticité, la consolidation, la plasticité et l'écoulement des eaux souterraines – fournissent un cadre, mais leur application nécessite un jugement prudent et une compréhension approfondie des conditions spécifiques au site.

La conception des fondations, est une partie très importante du travail des ingénieurs en géotechnique, illustre cette complexité. Le choix du type de fondation (superficielle, profonde, etc.) et ses dimensions dépendent directement de la capacité du sol à supporter les charges appliquées sans tassement excessif ni rupture de la capacité portante. Comme nous le soulignons, une prédiction précise du comportement du sol est primordiale pour assurer la sécurité et la fonctionnalité des structures.

Ce rapport se concentre sur les fondations superficielles, couramment utilisées pour les structures relativement légères où des couches de sol compétentes se trouvent à faible profondeur. Nous explorons l'utilisation du logiciel SolTests, un outil précieux pour l'analyse géotechnique, dans le calcul de la capacité portante et du tassement. Le logiciel nous permet d'entrer des données provenant à la fois d'essais de laboratoire (par exemple, limites d'Atterberg, analyse granulométrique, essais de cisaillement) et d'essais in situ (par exemple, essais pressiométriques), fournissant une évaluation complète des propriétés du sol.

Un aspect clé de cette étude, est la comparaison entre les paramètres de conception de fondation dérivés des essais de laboratoire et ceux obtenus à partir des essais in situ, en particulier les essais pressiométriques. Les essais de laboratoire, bien qu'essentiels pour caractériser la composition et les propriétés du sol, sont réalisés sur des échantillons petits et remaniés, introduisant

potentiellement des écarts par rapport aux conditions réelles du terrain. Les essais in situ, en revanche, sont effectués sur le sol dans son état naturel, fournissant une évaluation plus réaliste de son comportement sous charge. L'essai pressiométrique, en particulier, est très important dans la pratique géotechnique pour sa capacité à mesurer directement la déformabilité et la résistance du sol, offrant des données précieuses pour la conception des fondations.

Ce rapport démontrera, à travers des études de cas, l'application de SolTests et la comparaison des paramètres de conception. Cette analyse fournit des informations précieuses sur l'importance d'intégrer à la fois les données de laboratoire et in situ pour une conception de fondation fiable.

Première partie

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre Premier

INTRODUCTION A LA CARACTERISATION DES SOLS

DANS LE DOMAINE DE LA GEOTECHNIQUE

Introduction à la Caractérisation des Sols dans le domaine de la Géotechnique

I.1. Introduction

La mécanique des sols est confrontée à une variété de problèmes, chaque problème étant propre au lieu, à l'ouvrage et au contexte particulier. La résolution de ces problèmes nécessite fréquemment des suppositions simplificatrices, aboutissant à des conclusions qui sont essentiellement des estimations d'échelle. La modélisation d'un problème géotechnique standard nécessite l'établissement d'un profil géotechnique, comprenant des variables comme la configuration du site et les paramètres définissant le sol (densité, angle de frottement, cohésion, perméabilité), les conditions initiales et aux limites, ainsi que les facteurs déclenchant (forces, pressions, contraintes). Les techniques de calcul utilisées pour ces données génèrent des résultats (déplacements, déformations, écoulements) qui, malgré leur précision mathématique, doivent être interprétées comme des estimations et sont souvent réduites par un facteur de sécurité.

I.2. Utilisations en Géotechnique

Dans de nombreuses applications géotechniques, la caractérisation des sols revêt une importance primordiale :

I.2.1. Les Fondations

La sélection du genre de fondations (superficielles, semi-profondes ou profondes) est directement liée aux propriétés du sol, établies par des études géologiques et des calculs de mécanique. Il est essentiel de prendre en compte les déplacements possibles qui pourraient affecter les fondations, comme les tassements (élastiques et de consolidation), les gonflements et les ruptures plastiques.

I.2.2. Stabilité des pentes

L'évaluation de la stabilité des pentes est cruciale pour les travaux d'excavation et les digues, employant diverses techniques de résolution allant des méthodes analytiques (méthode de Rankine) aux approches graphiques (méthode de Fellenius perfectionnée par Bishop) et numériques.

I.2.3. Murs de soutènement

La conception des murs de soutènement repose sur l'analyse des sols pour garantir leur stabilité, généralement en utilisant des techniques telles que celle du coin de Coulomb.

I.3. Théories de la mécanique des sols

La mécanique des sols repose sur plusieurs théories fondamentales :

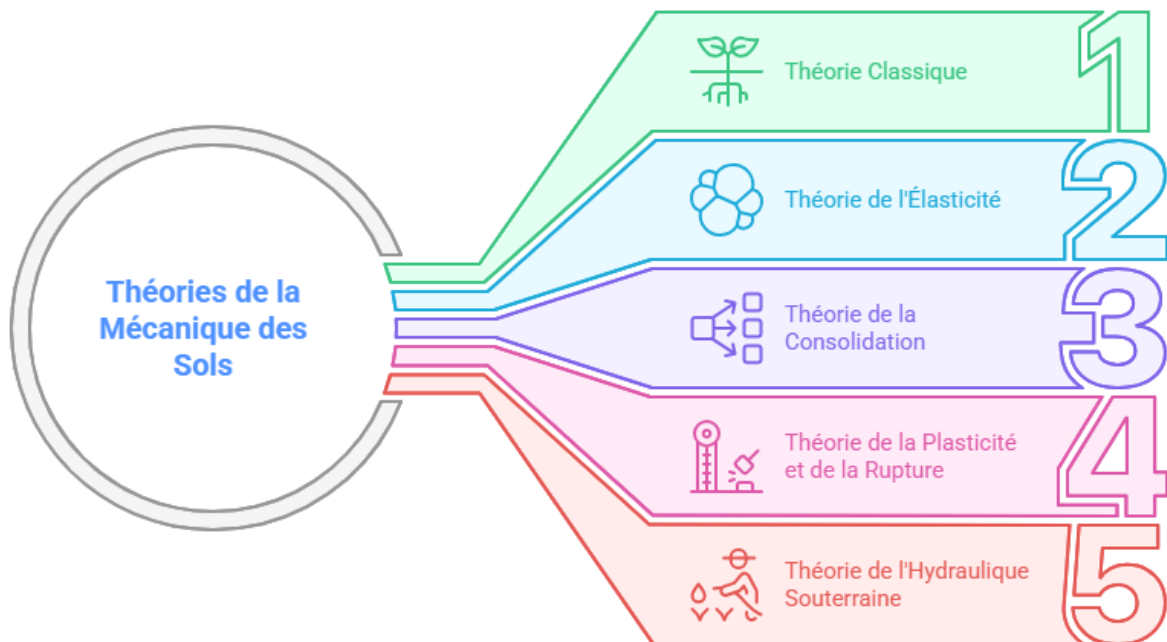


Figure I.1. Théories de la mécanique des sols

I.3.1. Théorie classique

S'appuie sur la loi de Coulomb et représente le comportement des sols en tant que milieu minéral monophasique exempt d'eau libre.

I.3.2. Théorie de l'élasticité

Basée sur la loi de Hooke, elle s'applique aux matériaux rocheux qui présentent peu de déformation.

I.3.3. Théorie de la consolidation

Suggérée par Terzaghi, elle explique comment se comporte les sols sablo-argileux biphasiques en prenant en considération l'évolution de l'indice des vides, le taux d'humidité, la densité, la résistance mécanique et la perméabilité au fil du temps.

I.3.4. Théorie de la plasticité et de la rupture

Modélisation de la rupture par cisaillement dans les sols sablo-argileux meubles : Cette théorie se fonde également sur la loi de Coulomb.

I.3.5. Théorie de l'hydraulique souterraine

Basée sur la loi de Darcy, elle décrit l'écoulement de l'eau à travers les substances granulaires perméables.

I.4. Distinction entre sols, roches et origines des sols

Dans le domaine de la géotechnique, on définit un sol comme une formation superficielle meuble qui résulte de la transformation de la roche mère sous-jacente. Deux sources à l'origine des sols :

- La désagrégation des roches (altération mécanique et physico-chimique)
- La décomposition d'organismes vivants (animaux ou végétaux)

On fait aussi la distinction entre les sols résiduels (qui sont issus de l'altération sur place des roches) et les sols transportés (qui proviennent du dépôt des produits d'altération par un agent de transport), ces derniers représentant les plus grands défis en matière de conception de structures.

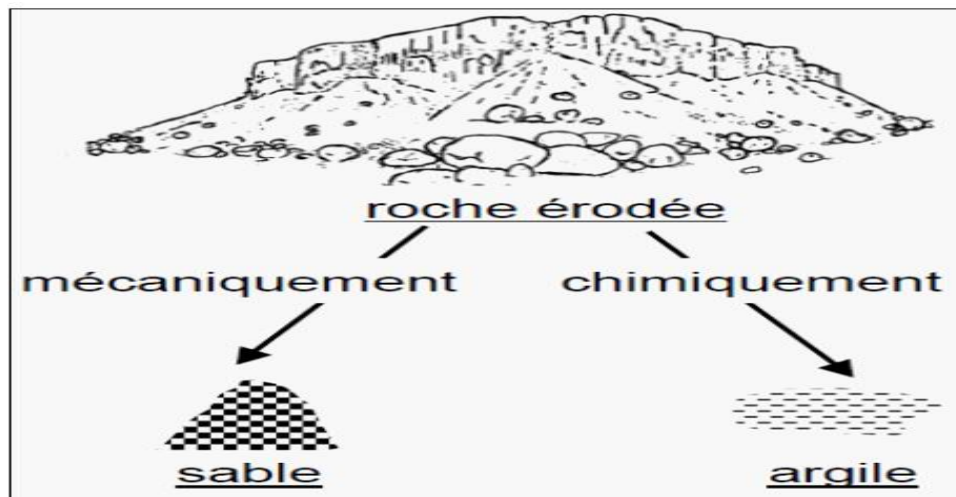


Figure I.2. Formation du sable et de l'argile par altération de la roche mère

I.5. Eléments constitutifs d'un sol

Un sol est un mélange d'éléments solides constituant le squelette solide, d'eau pouvant circuler ou non entre les particules et d'air ou de gaz. Il est donc, en général, constitué de trois phases :

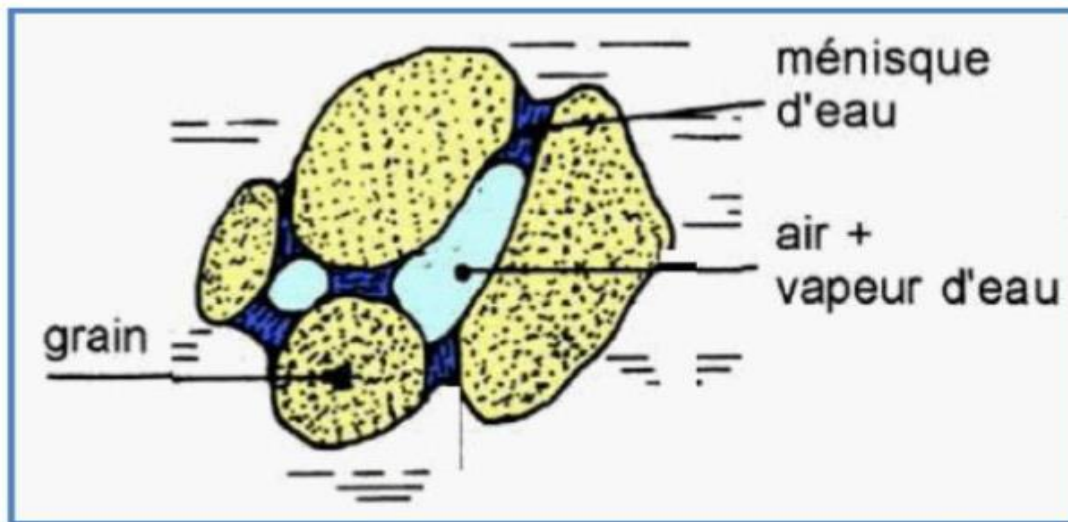


Figure I.3. Constituants d'un sol

I.6. Les types des sols

On identifie habituellement les différents types de sols selon la dimension de leurs particules. La division la plus simple consiste à regrouper les sols en deux grandes classes :

- **Les sols à gros grains** : Les cailloux et les blocs, ou enrochements, ont un diamètre équivalent supérieur à 80mm. Ils se caractérisent par une très grande perméabilité.

- **Les sols à grains fins.**

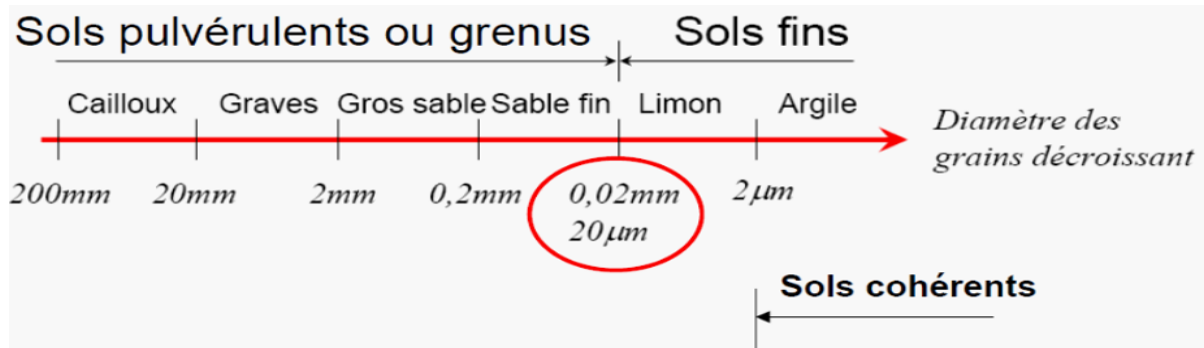


Figure I.4. Classification des sols selon leurs diamètres

I.7. Typologie des sols selon leur composition

1.7.1. Sols à dominance de particules fines

a- Sols argileux : compacité et faible perméabilité

Sol qui contient surtout de l'argile (الطين) compact ; laisse peu de place pour la circulation de l'air et de l'eau ;



Figure I.5. Sol argileux

b- Sols limoneux : perméabilité intermédiaire

Sol qui contient surtout du limon (الطمي) laisse circuler l'air et l'eau.



Figure I.6. Sol limoneux

1.7.2. Sols à dominance de particules grossières : Les sables

Sol qui contient surtout du sable ; s'effrite facilement, laisse facilement circuler l'air et l'eau.



Figure I.7. Sol sableux

1.7.3. Classification des sols en fonction de leur teneur en matière organique

- Les sols organiques : contiennent un pourcentage élevé de matières organiques.
- $MO < 3\%$: sol inorganique
- $3\% < MO < 10\%$: sol faiblement organique
- $10\% < MO < 30\%$: sol moyennement organique.

I.5. Indices de caractérisation des sols

La caractérisation d'un sol s'appuie sur l'évaluation de paramètres physiques et mécaniques :

Caractéristiques physiques : Évaluées sur des échantillons retravaillés, elles englobent la taille des particules, le poids et les volumes (densité, teneur en eau, indice des vides), les limites d'Atterberg et d'autres tests de caractérisation (équivalent de sable, valeur au bleu de méthylène, teneurs en carbone et matières organiques).

Paramètres mécaniques : Ils sont spécifiques à une théorie, une méthode de calcul et un essai, et varient dans les calculs de stabilité. On trouve parmi ces paramètres :

- Paramètres de plasticité/rupture (cohésion et angle de frottement, résistance à la compression uniaxiale)
- Paramètres de consolidation (indice de compressibilité, coefficient de consolidation, perméabilité, pression interstitielle)
- Paramètres pressiométriques (pression limite et module pressiométrique)

- Tests sur site (SPT, pénétromètre, scissomètre).

I.6. Normes d'Essais

Les tests de sol sont effectués en conformité avec des normes définies, les plus fréquemment utilisées étant les normes ASTM (American Society for Testing and Materials) et les normes NF (Normes Françaises).



Figure I.8. Noms des normes fréquemment utilisées

I.7. Normes géotechniques en Algérie

Catalogue des normes : Le présent catalogue qui comporte 11696 références, constitue le couronnement des efforts des soixante-douze (72) comités techniques nationaux mis en place à partir de l'année 1989 et qui ont eu le mérite et le privilège de doter les opérateurs économiques des premières normes algériennes.

Ces comités se caractérisent par un domaine d'activité spécialisé et une composante restreinte d'où une meilleure efficacité et une prise en charge simultanée de l'ensemble des problèmes de normalisation sans établir au préalable des priorités qui ne sont pas toujours évidentes.

En fin, dans le souci de faciliter l'usage de ce catalogue, les normes algériennes sont classées par comité technique. L'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) a été érigé en établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) par Décret Exécutif n° 98-69 du 21 Février 1998 modifié et complété par le Décret exécutif Décret exécutif n° 11-20 du 25 janvier 2011.

Ci-dessous un extrait du catalogue des normes algériennes au 31 décembre 2024-Version 1, Version 01 du 22 janvier 2025.

Tableau I. 1. Extrait du catalogue des normes algériennes au 31 décembre 2024-Version 1

Catégorie 1 : Essais de laboratoire				
N	Année	Intitulé	Réf.	Source
Essai d'identification et de calcification				
01	2017	Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage	NA 5209	NF P 94-050
02	1992	Détermination de la masse volumique des sols fins	NA 5210	NF P 94-053
04	2008	Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents	NA5230	NF P 94-059:2000
05	2008	Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage	NA 5232	NF P 94-056:1996
06	2009	Analyse granulométrie des sols - Méthode par sédimentation	NA 5251	NF P 94-057:1992
07	2005	Valeur de bleu de méthylène	NA 5288	P 94-068:1998
08	2007	Détermination des limites d'ATTERBERG	NA16213	P 94-052-1:1995
Essai mécanique				
01	2006	Essai de cisaillement à la boîte	NA16218	P 94-071-1: 1994
02	2023	Essai triaxial non consolidé non drainé	NA23260	ISO17892-8 :2018
03	2023	Essais en compression à l'appareil triaxial consolidés sur sols saturés	NA23260	ISO17892-9 :2018
04	1995	Essai de compression simple	NA 5235	NF P 98-232-
05	2015	Essai œdométrique	NA16222	XP P94-090
06	2020	Essai Proctor modifié.	NA 5262	NF P 94-093:2014
Catégorie 2 essai in situ				
01	2023	Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône	NA23267	ISO 22476-1 :2022
02	2023	Essai pressiométrique	NA23268	ISO 22476-6 :2018
03	2007	Essai de pénétration statique	NA 2797	NF P 94-113:1996
04	2020	Essai de pénétration dynamique	NA 5204	ISO 22476-2+A1:2011
05	1993	Essai scissométrique	NA 5228	NF P 94-112:1991
06	2017	Essai de pénétration au carottier	NA 5229	ISO 22476-3/ 2005

Chapitre Deuxième

OUTILS INFORMATIQUE UTILISE : SOLTESTS

Outils Informatique Utilisé : SolTests

II.1. Généralités

C'est un groupe de programmes pour aider à travailler en géotechnique et à gérer les informations (dossiers, matériel).

Il a été créé grâce à beaucoup d'expérience. Le but est de rendre plus simples les calculs et les dessins, et d'améliorer les rapports sur les essais pour les ingénieurs et les techniciens.

Le logiciel est facile à utiliser avec des bases de données, des menus et des boîtes de dialogue pour entrer des informations, faire des calculs, regarder des graphiques et écrire des rapports.

SolTests garde en mémoire tous les tests géotechniques faits sur place et en laboratoire et permet de les retrouver facilement en cherchant par numéro de dossier, nom du client, nom du projet, lieu, etc. Utilisé par de nombreux organismes et laboratoires nationaux et privés (LCTP, CTPP, LNHC, SETS Sétif, LTP EST, LTP Sud, CETIM, etc.).

II.2. Les éléments constitutifs des programmes

II.2.1. Menus

Le menu d'un logiciel SolTests est l'interface principale qui permet aux utilisateurs d'accéder à toutes les fonctionnalités et les outils nécessaires pour gérer, analyser et interpréter les données issues des essais de sols. Il est généralement structuré de manière logique pour guider l'utilisateur à travers les différentes étapes du processus, depuis l'importation des données brutes jusqu'à la génération de rapports détaillés.

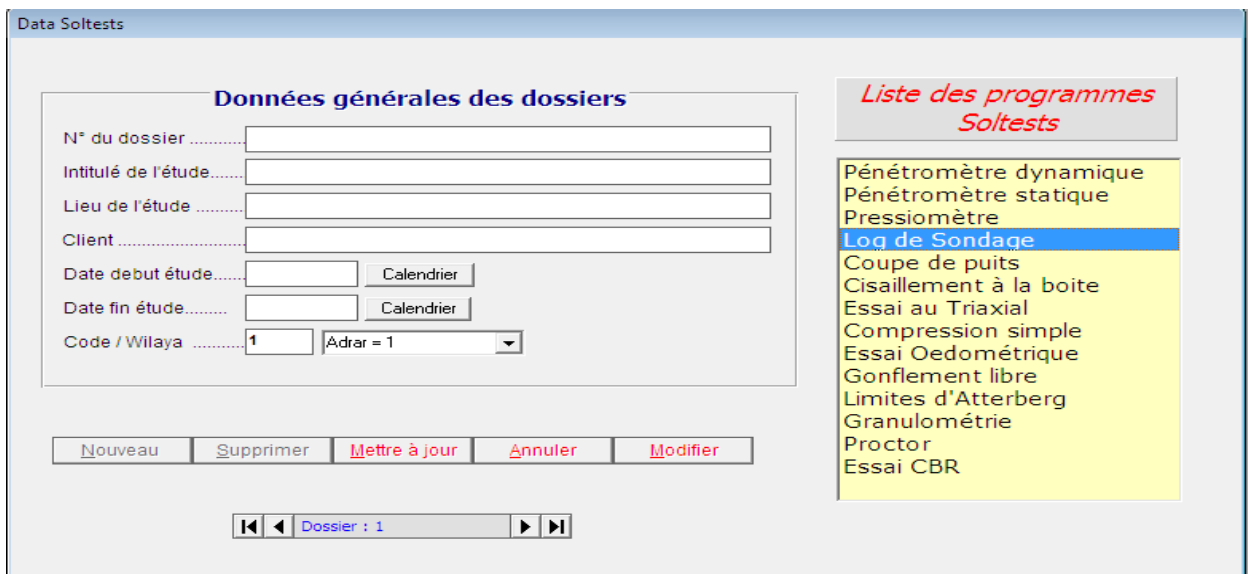


Figure II.1. Menu données générales d'un dossier

II.2.2. Les feuilles ou boîtes de dialogue

Les feuilles constituent les supports de tous les objets, ceux qui servent à la saisie des données alphanumériques, les contrôles (bouton choix, bouton case à cocher), les boutons de commande ainsi que l’affichage du graphique et des résultats.

- Gérer les projets et les données : Créer, ouvrir, enregistrer des projets, importer et exporter des données de différents formats.

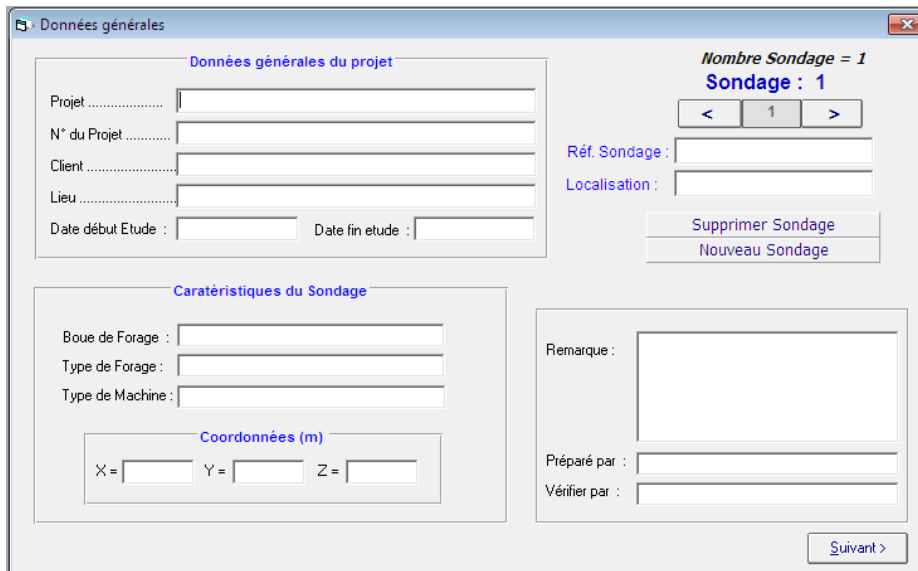


Figure II.2. Les données générales du projet

- **Organiser les informations** : Structurer les données par échantillons, sondages, ou types d'essais.

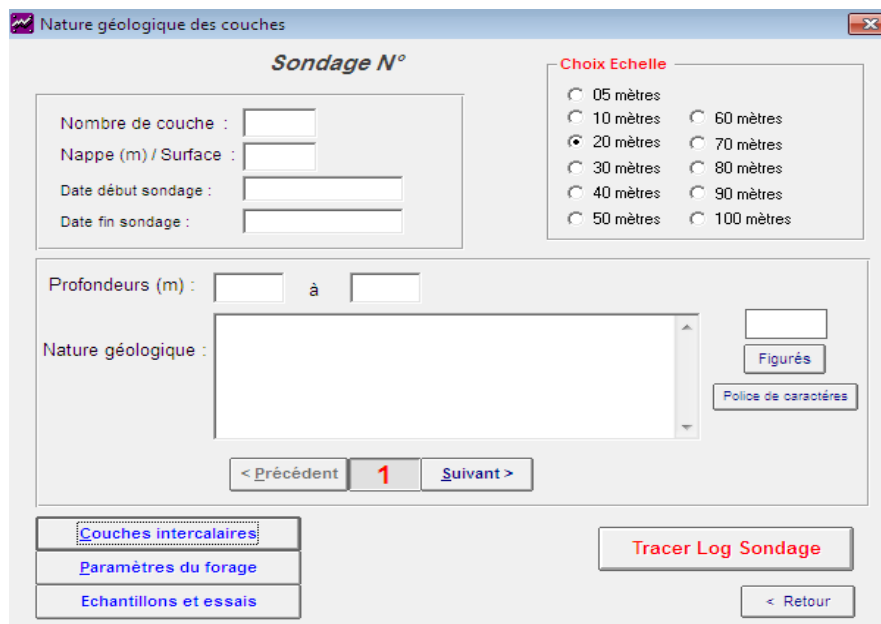


Figure II.3. Organisation des informations (nature géologique des couches)

- **Analyses spécifiques :** Lancer des calculs et des interprétations basées sur les normes et les méthodes géotechniques reconnues (granulométrie, limites d'Atterberg, Proctor, résistance au cisaillement, compressibilité, perméabilité, etc.).

RAPPORT DE FORAGE																
Projet : Endroit :											Client :					
Date début : Date fin : Profondeur forée (m) : Niveau d'eau (m) :											Coordonnées GPS: X : Y : Z :		Boue de forage : Type forage : Foreuse :		Etat des échantillons : Intact <input type="checkbox"/> Remanié <input type="checkbox"/> Perdu <input type="checkbox"/> Carotte <input type="checkbox"/>	
Echelle (m)	Elevation (m) Profondeur (m)	Récupération			Nb coups/15cm	N ou RCO	Tubage	Type et Numéro	Etat	Profondeur Echantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	ESSAIS DE LABORATOIRE		
		25	50	75											100	
1.0																
2.0																
3.0																
4.0																
5.0																
6.0																
7.0																
8.0																
9.0																
10.0																
11.0																
12.0																
13.0																
14.0																
15.0																
16.0																
17.0																
REMARQUES :											TYPE D'ECHANTILLON :		ABREVIATIONS :			
											CF : Carottier fendu TM : Tube à paroi mince PS : Tube à position fixe CR : Tube carottier TO : Tube ouvert		AG : Analyse granulométrique B : Bétonométrie L : Limites d'Atterberg(WL,PI) W : Teneur en eau PV : Poids volumique(60, Gh) AC : Analyse chimique CIS : Cisaillement rectiligne TR : Cisaillement Triaxial Rc : Résistance à la compression CED : Essai oedométrique GL : Gonflement libre R : Retus à l'enfoncement			
Préparé par :						Vérifié par :						13-04-2025		Page : 1 de 0		

Programme : Bolesta 2007 ©

Figure II. 4. Rapport de forage

(Interface de log sondage-rapport de forage)

II.2.3. Les objets ou contrôles

Les contrôles sont des objets graphiques que l'on trouve sur les feuilles ci-dessous, avec les différents contrôles utilisés dans ces logiciels.

Profond (mètres)	L.M.P (Kg)	L.M.L (Kg)	Total (Kg)	P.C (bars)	L.C (bars)
0,2					
0,4					
0,6					
0,8					
1					
1,2					
1,4					
1,6					
1,8					
2					
2,2					
2,4					
2,6					
2,8					
3					
3,2					

Figure II.5. Résultats des essais pénétromètres

Figure II.6. Pénétrégramme Statique

II.3. Utilisation dans la géotechnique

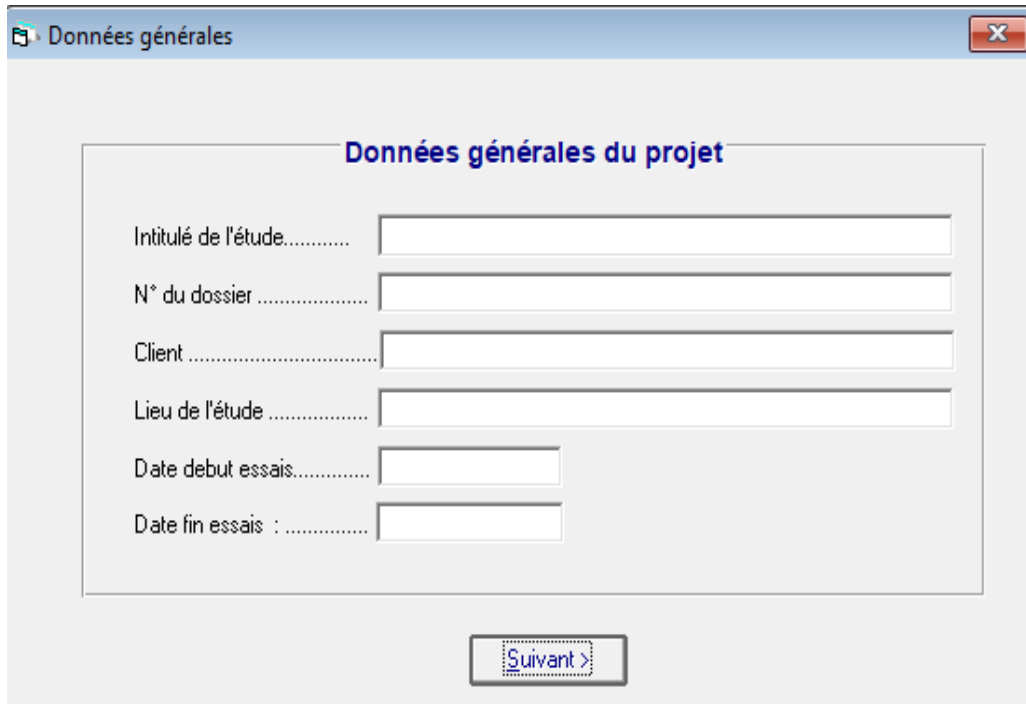


Figure II.7. Boîte de dialogue des données générales du projet

II.3.1. Exemple d'essai in Situ

Essai pénétromètre dynamique

Ce programme permet de traiter les essais de pénétration dynamique.

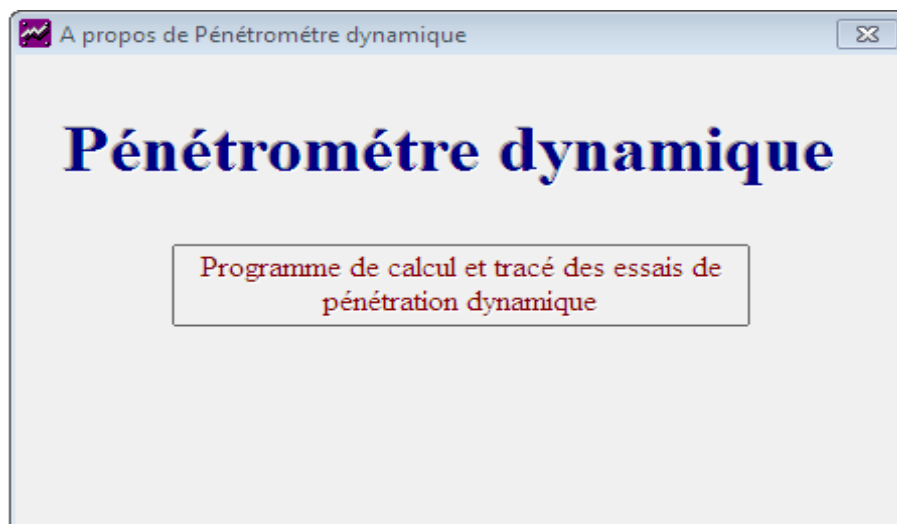


Figure II.8. Boîte de dialogue d'essai pénétromètre dynamique

Ce programme est composé de cinq fenêtres principales :

La zone de saisie des données concernant le projet et celle permettant la saisie des caractéristiques concernant le type d'appareillage utilisé (type Pénétrromètre Dynamique).

Données générales du projet

Intitulé de l'étude.....

N° du dossier

Client

Lieu.....

Date debut essais.....

Date fin essais :

Type Pénétromètre

Type A

Type B

Autre type

[Suivant >](#)

Figure II.9. Boite de dialogue données Projet et caractéristiques du pénétromètre

La boite de dialogue de saisie des résultats de l'essai in situ.

Données des essais pénétrométriques

Valeur :

Profondeur (mètres)	Nbre Coups <N>	Rd (bars)
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1		
1,2		
1,4		
1,6		
1,8		
2		
2,2		
2,4		
2,6		
2,8		
3		

Copier Effacer Coller

[Calculer](#)

[< Retour](#)

Nombre d'essais réalisés...

Pénétromètre N° : 1

[< Précédent](#) [Suivant >](#)

Profondeur refus (m) :

Référence essai :

Caractéristiques du pénétromètre

Hauteur de chute (cm)

Longueur d'une tige (m)

Masse d'une tige (kg)

Masse du mouton (kg)

Masse enclume + guide (Kg)

Diamètre extérieur du cône (cm) ...

Intervalle de mesure "h" (cm)

Masse de la pointe (kg)

Masse du porte pointe (kg)

[Tracer graphe](#)

Figure II.10. Imputation des résultats obtenus in situ de l'essai pénétrométriques

Et enfin l'affichage du graphique de la courbe résistance de pointe en fonction de la profondeur.

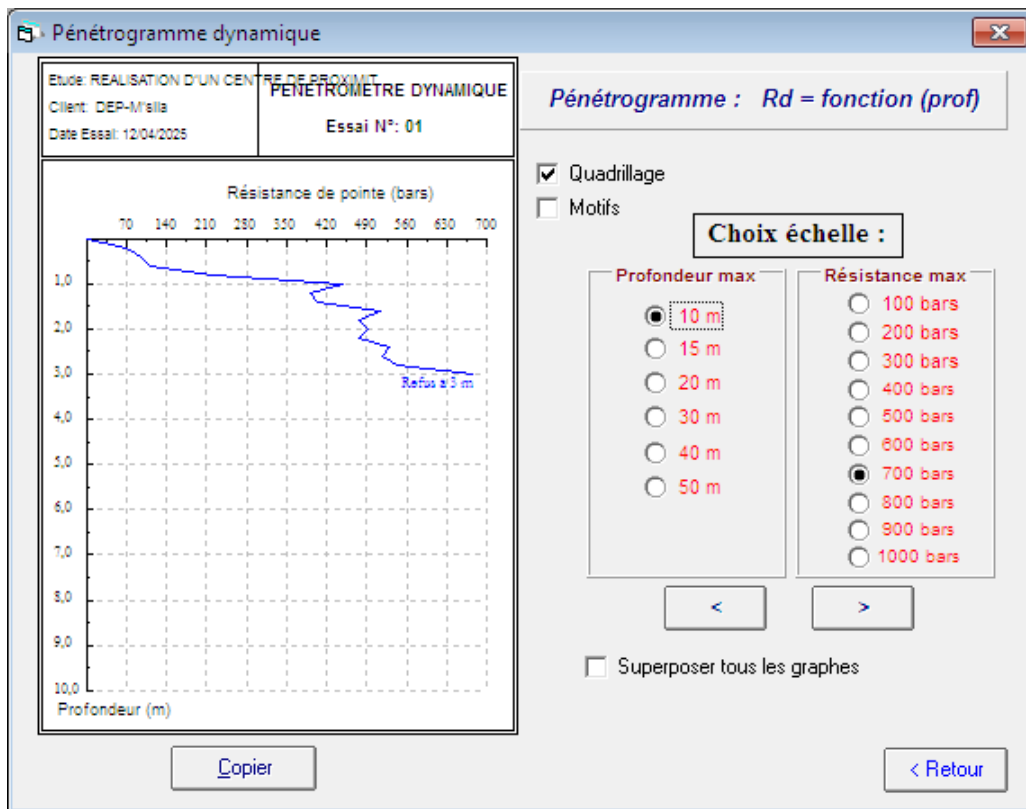


Figure II.11. Graphique du pénétrogramme dynamique

II.3.2. Exemple d'essai au laboratoire

Essai limite d'Atterberg

Après il permet de calculer automatique de limite de liquidité W_L , limite de plasticité W_P , indice de plasticité I_P , indice de consistance I_c et également de représentation graphique : la courbe de limite de liquidité W_L et tracée automatiquement l'Abaque de Casagrande. Cependant l'opérateur peut classer le sol.



Figure II.12. Boite de dialogue d'essai Limite d'Atterberg

La boite de dialogue rapport permet de saisir des données concernant l'essai.

RAPPORT D'ESSAI Limites d'Atterberg NF P 94 - 51																									
Client : Projet : Endroit :	N° Projet : Réf. Client : N° rapport :	Rév :																							
Echantillon n° : Sondage n° : Profondeur : Matériaux :	Provenance : Endroit de prélèvement : Prélevé par : Date prélèvement :	Reçu le : Date essais :																							
Limite de Liquidité (%) : WL = 0,00 Limite de Plasticité (%) : WP = Indice de Plasticité (%) : IP = 0,00		Teneur en eau naturelle (%) : Weau =																							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red; border: 1px solid red; padding: 2px;">Limite de liquidité</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red; border: 1px solid red; padding: 2px;">Limite de plasticité</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Ech N°</th> <th style="width: 50%;">W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; color: red; border: 1px solid red; padding: 2px;">ABAQUE DE CASAGRANDE</p> </div>				Ech N°	W (%)																				
Ech N°	W (%)																								
Remarque :																									
Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :																						

Figure II.13. Boîte de dialogue d'essai analyse granulométrie

II.4. Conclusion

Les principaux avantages de l'utilisation du logiciel Sol Tests sont :

- Un traitement simplifié des résultats d'essais.
- La génération automatique de graphiques pour l'analyse et la détermination graphique des propriétés du sol.
- Un gain significatif de temps et d'effort.
- Une amélioration de la précision des résultats obtenus.
- Une prise en main et une utilisation aisées.
- Sa compatibilité avec l'ensemble des essais géotechniques.

Deuxième Partie

TRAITEMENT NUMERIQUE

Chapitre troisième

TRAITEMENT NUMERIQUE DES DONNEES

EXPERIMENTALES

Traitement Numérique des Données Expérimentales

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va traiter, trois projets qui ont eu lieu dans des coins différents d'Algérie. L'idée, c'est de voir comment SolTests nous aide à vraiment connaître les sols et à imaginer comment ils vont réagir face à différentes constructions, en tenant compte de la diversité de ce qu'on trouve sous nos pieds en Algérie.

Les deux premiers projets sont situés dans la région de M'Sila. La Direction de l'Équipement Public (DEP) a fait appel au laboratoire « BinayaLab pour faire deux études du sol pour un futur chantier au CEM Attowa Mokhtar, une école qui va se construire à Sidi Mhamed dans la Daïra de Boussaâda au sud de M'Sila.

Le deuxième projet, nous emmène plus loin, dans la wilaya de Jijel. La direction de la jeunesse et des sports voulait construire une salle polyvalente, dans la commune de CHEKFA. Pour ça, ils ont fait confiance au laboratoire d'Études Géotechniques Arif.

Pendant notre stage chez « BinayaLab », on a eu la chance de voir tout ça de près. On a même pu discuter avec d'autres experts, notamment ceux du labo « Arif ». On a pu assister à certains de ces tests et récupérer les données brutes. Et c'est là que SolTests entre en jeu ! On a utilisé ce logiciel pour décortiquer ces données et en tirer des informations importantes pour savoir comment construire solidement sur ces différents types de sols algériens.

III.2. Etude de sol du site du CEM Attowa Mokhtar

III.2.1. Présentation du projet

La Direction des Équipements Publics (DEP) de Msila a décidé de réaliser un projet stratégique majeur pour la Daïra de Boussaâda : la construction d'une Unité De Stockage (UDS). Ce bâtiment de plain-pied, à ossature en béton armé et d'une superficie d'environ 65 m², contribuera à rompre l'isolement de la région.

III.2.2. Reconnaissance du site

a-Situation géographique

Le site du projet est situé à Sidi Mhamed, dans la daïra de Boussaâda au sud de la wilaya de Msila, la situation géographique du projet est repérée sur la figure III.1.

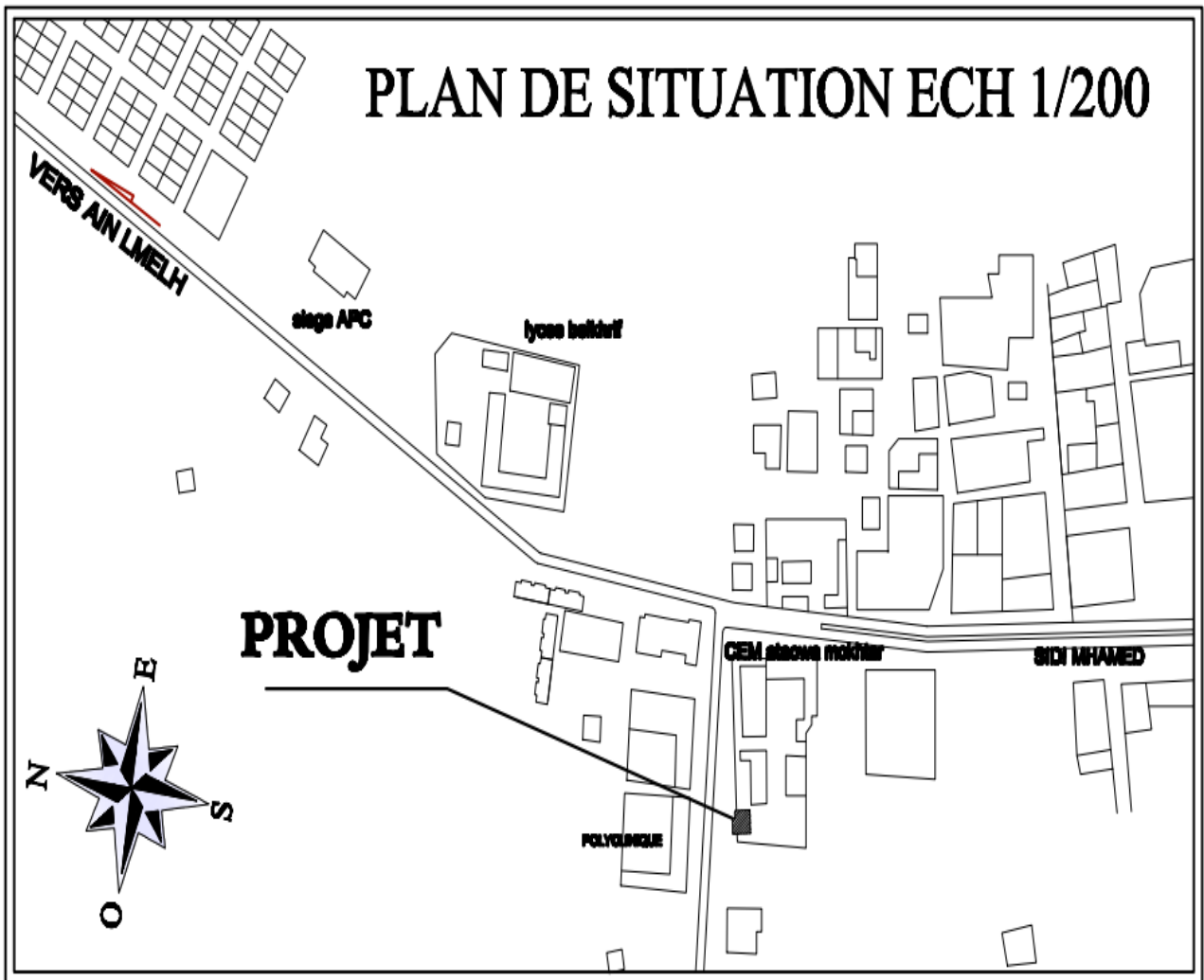


Figure III.1. Plan de situation du projet à SIDI MHAMED

b-Situation topographique

Le site présente une topographie régulière, ou l'assiette apparaît comme une forme plane. Le terrain est stable et ne laissant craindre aucun risque particulier lié à la topographie.

c-Hydrographie du site

Le terrain servant d'assise pour le projet ne pose pas des problèmes d'inondations pendant les périodes d'averse.

d-Observations visuelles et investigations du voisinage du site

Les observations visuelles des constructions existantes ainsi que des informations collectées auprès du voisinage de l'environnement du terrain servant d'assise pour le projet, n'ont révélés aucun désordre apparent tel que des fissures visibles localisées sur les murs extérieures ou intérieures des bâtisses environnantes.

Sondage N° 1 (S1) :

0.00-2.20 m : Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argile.

2.20-3.20 m : Gravier sableux avec un peu de cailloux avec des traces de limon d'argile

3.20-3.50 m : Gravier et Cailloux avec un peu de sable et des traces de limon et d'argile

3.50-10.00m : Substratum

Sondage N° 2 (S2) :

0.00-2.20 m : Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argile

2.20-3.20 m : Gravier sableux avec un peu de cailloux avec des traces de limon d'argile

3.20-3.50 m : Gravier et Cailloux avec un peu de sable et des traces de limon et d'argile

3.50-10.00m : Substratum

* Sur toute la profondeur explorée : on note l'absence de la nappe phréatique, le site dans l'ensemble homogène, le terrain possède une lithologie constituée de haut en bas par une couche de cailloux sableux suivie par une succession de couches dont le sable est le principale constituant, le tout reposant sur un substratum à environ 10m en profondeur.

D'après l'identification lithologique des sondages réalisés, le terrain devant recevoir les fondations du projet, est formé d'une formation graveleuse.

La figure III.4 représente les données du sondage. Ces informations sont introduites dans le logiciel SolTests (voir Figure III.3).

The screenshot shows a software window titled "Données générales" with a close button in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Données générales du projet:** A form with fields for "Projet" (filled with "Etude du site au CEM ATTOWA Mokhtar"), "N° du Projet" (filled with "01"), "Client" (filled with "la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila"), "Lieu" (filled with "Commune SIDI M'HAMED, Daira de Bousaada -W- M'sila"), "Date début Etude" (filled with "13/04/2025"), and "Date fin etude" (filled with "29/04/2025").
- Sondage : 1:** A section with navigation buttons "<", "1/1", ">", a numeric field "1", and an "OK" button. Below are fields for "Réf. Sondage" (filled with "S1") and "Localisation" (empty). There are also buttons for "Nouveau sondage" and "Supprimer".
- Caractéristiques du Sondage:** A section with three empty text input fields for "Boue de Forage", "Type de Forage", and "Type de Machine".
- Coordonnées (m):** A section with three empty text input fields for "X =", "Y =", and "Z =".
- Remarque:** A large empty text area for notes.
- Préparé par:** A field filled with "GUESRI Sawsen".
- Vérifier par:** A field filled with "BOUBAYA A/MADJID".
- Suivant >:** A button at the bottom right.

Figure III.3. Données générales de log sondage

La nature géologique des couches du sondages S1 est introduite comme sur figure III.4.

Nature géologique des couches

Sondage N° S1

Nombre de couche :

Nappe (m) / Surface :

Date début sondage :


Date fin sondage :

Choix Echelle

05 mètres 42 mètres
 08 mètres 51 mètres
 17 mètres 59 mètres
 25 mètres 68 mètres
 34 mètres 76 mètres

Profondeurs (m) : à


Nature géologique :



1

Figure III.4. Nature géologique des couches

Le rapport de forage de sondage S1 est représenté comme sur la Figure III.5.

										<h1>RAPPORT DE FORAGE</h1>			
Projet : Etude du site au CEM ATTOWA Mokhtar Client : la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila										Dossier N° : 01 Endroit :			
Date début : 13/04/2025 Date fin : 13/04/2025 Profondeur forée (m) : 10 Niveau d'eau (m) :			Coordonnées GPS: X : Y : Z :			Boue de forage : Type forage : Foreuse :		Etat des échantillons : Intact <input type="checkbox"/> Remanié <input type="checkbox"/> Paraffiné <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/>					
Echelle (m)	Élévation (m)	Profondeur (m)	Récupération	SPT (N1 + N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	Symboles	DESCRIPTION	E SSAIS DE LABORATOIRE
0.5												Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argile	
1.0												Gravier sableux avec un peu de cailloux avec des traces de limon d'argile	
1.5												Gravier et Cailloux avec un peu de sable et des traces de limon et d'argile	
2.0	-2.20	2.20										Substratum	
2.5													
3.0	-3.20	3.20											
3.5	-3.50	3.50											
4.0													
4.5													
5.0													
5.5													
6.0													
6.5													
7.0													
7.5													
8.0													
8.5	-8.50	8.50											
Fin du forage à une profondeur de 10 m.													
REMARQUES :						TYPE CAROTTIER :			ABREVIATIONS :				
						CF : Carottier fendu TM : Tube à paroi mince PS : Tube à position fixe CR : Tube carottier			AG : Analyse granulométrique S : Sédimentométrie L : Limites d'Atterberg(WL,IP) W : Teneur en eau PV : Poids volumique(Gs, Gh) AC : Analyse chimique CIS : Cisaillement rectiligne TR : Cisaillement Triaxial Rc : Résistance à la compression OED : Essai oedométrique GL : Gonflement libre R : Refus à l'enfoncement				
Préparé par : GUESRI Sawssen						Vérifié par : BOUBAYA AMADJID			07/05/2025		Page: 1 de 2		

© Soit'ets 2013

Figure III.5. Log du sondage S1

b- Essai au pénétromètre dynamique lourd de type B

Après la réalisation d'essai pénétromètre dynamique lourd de type B, les données des points PDL de l'essai effectuée sur le site sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 2. Les valeurs de nombre de coups (Nc) en fonctions de profondeur

Profondeur		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	
Nombre de coups (Nc)	Essai	PDL1	18	25	32	64	76	101	/	/	/	/	/	/	/	/
		PDL2	5	14	15	12	15	25	16	17	16	11	20	47	57	101
		PDL3	11	17	15	14	13	17	33	47	52	101	/	/	/	/
		PDL4	7	4	8	14	11	12	34	67	101	/	/	/	/	/

- Les résultats de calculs enregistrés de la résistance de pointe en fonction de profondeur sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III. 2. Résultats de calcul de la résistance de pointe (Rp) en fonction de profondeur

Profondeur		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	
la résistance de pointe (Rp)	Essai	PDL1	141,57	196,63	251,68	503,37	597,76	730,69	/	/	/	/	/	/	/	/
		PDL2	39,32	110,11	117,97	94,38	117,97	180,86	115,75	122,98	115,75	79,58	133,95	314,78	381,75	676,44
		PDL3	86,51	133,70	117,97	110,11	102,24	122,98	238,74	340,02	376,19	730,69	/	/	/	/
		PDL4	55,05	31,46	62,92	110,11	86,51	86,81	245,97	484,71	730,69	/	/	/	/	/

On utilise le logiciel SolTests pour déduire la valeur de la capacité portante et de tracer le profil de l'enfoncement en fonction de Rp. La figure III.6. représente les données générales du projet.

Données projet et caractéristiques du pénétromètre

Données générales du projet

Intitulé de l'étude..... **la Réalisation d' une UDS au CEM ATTOWA Mokhtar**

N° du dossier **01**

Client **la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila**

Lieu..... **Commune SIDI M'HAMED-Daira de Bousaada -W-M'sila**

Date debut essais..... **13-04-2025**

Date fin essais : **13-04-2025**

Type Pénétromètre

Type A

Type B

Autre type

Suivant >

Figure III.6. Données générales et caractéristiques du pénétromètre utilisé

- Les données d'essai pénétrométriques (PDL1) sont introduites dans SolTests (voir Figure III.7).

Données des essais pénétrométriques

Pénétromètre N° : 1

< Précédent 1 / 2 Suivant >

Nouveau essai

Référence essai : PD N° 01

Profondeur refus (m) : 1,2

Profondeur (mètres)	Nbre Coups <N>	Rd (bars)
0,2	18	
0,4	25	
0,6	32	
0,8	64	
1	76	
1,2	101	
1,4		
1,6		
1,8		
2		
2,2		
2,4		
2,6		
2,8		
3		
3,2		
3,4		

Copier Effacer Coller

Calculer

< Retour

Caractéristiques du pénétromètre
Pénétromètre Type B (PDB)

Localisation

Hauteur de chute (cm) **75**

Longueur d'une tige (m) **1**

Masse d'une tige (kg) **8,5**

Masse du mouton (kg) **64**

Masse enclume + guide (Kg) **25**

Diamètre extérieur du cône (cm) **5,05**

Intervalle de mesure "h" (cm) **20**

Masse de la pointe (kg)

Masse du porte pointe (kg)

Supprimer Modifier **Tracer graphe**

Figure III.7. Les données d'essai pénétrométriques (PDL1)

Les résultats des essais pénétrométriques (PDL 1) ont été présentés graphiquement à l'aide du logiciel SolTests (voir Figure III.8).

Données des essais pénétrométriques

Pénétrmètre N° : 1

< Précédent 1 / 2 Suivant >

Nouveau essai

Référence essai : PD N° 01

Profondeur refus (m) : 1,2

Profondeur (mètres)	Nbre Coups <N>	Rd (bars)
0,2	18	141,57
0,4	25	196,63
0,6	32	251,68
0,8	64	503,37
1	76	597,76
1,2	101	730,69
1,4		
1,6		
1,8		
2		
2,2		
2,4		
2,6		
2,8		
3		
3,2		
3,4		

Copier Effacer Coller

Calculer

< Retour

Caractéristiques du pénétromètre

Localisation

Hauteur de chute (cm) 75

Longueur d'une tige (m) 1

Masse d'une tige (kg) 8,5

Masse du mouton (kg) 64

Masse enclume + guide (Kg) 25

Diamètre extérieur du cône (cm) 5,05

Intervalle de mesure "h" (cm) 20

Masse de la pointe (kg)

Masse du porte pointe (kg)

Supprimer

Modifier

Tracer graphe

Figure III.8. Calcul par SolTests des valeurs de la résistance R_p (PDL 1)

La courbe de résistance de pointe en fonction de la profondeur pour l'essai au pénétromètre dynamique lourd (PDL 1) est représentée sur la figure III.9.

La figure III.10. représente un extrait du rapport détaillés des résultats des essais pénétromètre dynamique (PDL 1) réalisés.

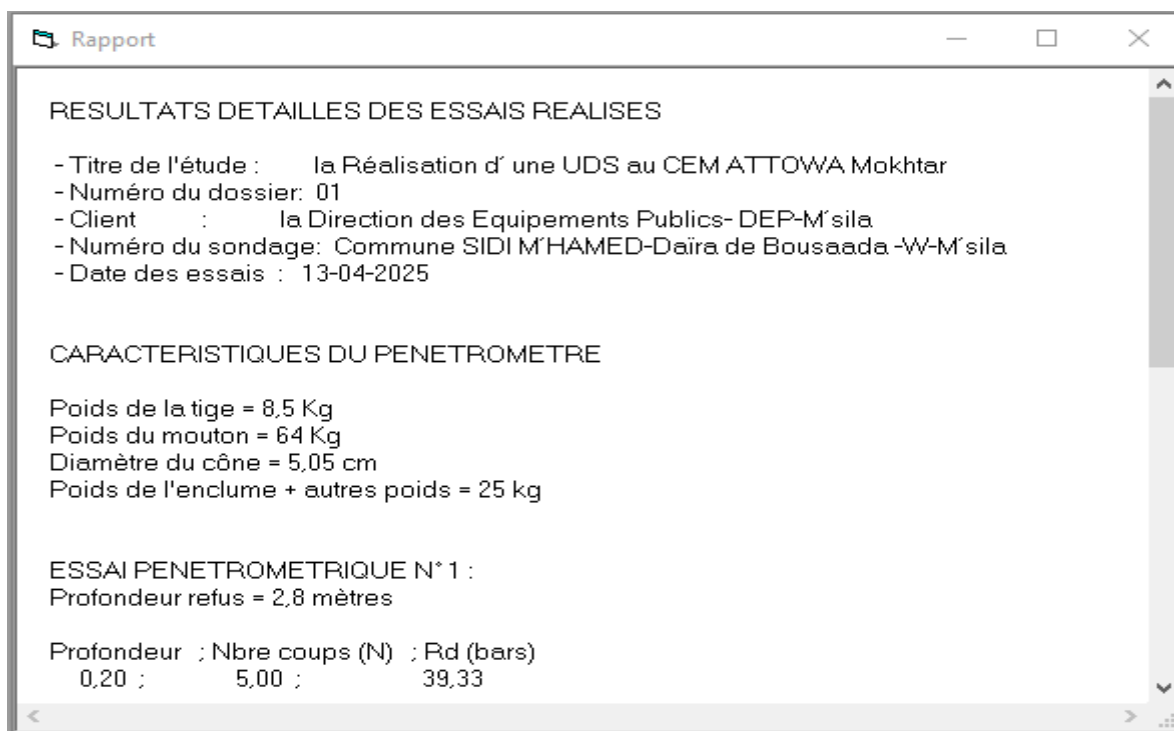


Figure III.10. Rapport détaillés des résultats de l'essai réalisées PDL 1

Le même travail a été réalisé pour les essais pénétromètre dynamique (PDL 2, PDL 3, PDL 4).

Interprétation des résultats

On exprime R_p en fonction de z , généralement on prend un pas $\Delta z=20\text{cm}$.

Une approche très sécuritaire mais assez pénalisante en terme de résistance, consiste à prendre pour valeur de la résistance pénétrométriques dynamique équivalente $R_{p\text{équiv}}$ la valeur minimale observée à partir du niveau supposé de l'ancrage de la base de la fondation (généralement $z>D>1\text{m}$) jusqu'au refus.

Ainsi Quatre (04) essais de pénétrations dynamiques dénotées PDL1 à PDL4 ont été réalisés et poussés jusqu'au refus. Il ressort de la comparaison de ces pédrographes, que le terrain est relativement homogène sur l'ensemble de l'assiette d'implantation.

Le diagramme de pénétration dynamique est indiquée dans la figure III.9 montre une répartition de la résistance dynamique plus au moins régulière et un refus observé inférieur à 1.20 m de profondeur. La résistance dynamique minimale $R_{p\text{min}}$ a été localisée à différentes côtes de profondeur.

Le tableau suivant récapitule les valeurs de R_{pmin} , R_{pmax} et la côte du refus pour chaque essai réalisé :

Tableau III. 3. valeurs de R_{pmin} , R_{pmax} et la côte du refus pour chaque essais réalisé

PDL N°	Côte de refus (m)	Rp min (bar)	Rp max (bar)
PDL1	1,20	141 ,57	730,69
PDL2	2,80	39,32	676,44
PDL3	2,00	86 ,51	730,69
PDL4	1,80	31 ,46	730,69

III.2.5. Les résultats des essais au laboratoire

L'échantillon prélevé subit des essais de laboratoire.

a. Essai de l'analyse granulométrique

Les valeurs des refus en fonction de l'ouverture de la maille du tamis sont représentées dans le tableau III.4.

Tableau III. 4. Refus en fonction de l'ouverture de la maille du tamis pour le sondage S1

Profondeur (0 ,00 à 2,2)	Refus (g)	Tamis (mm)
	340	40
385	31,5	
375	25	
525	20	
425	16	
120	14	
595	10	
340	8	
380	6,3	
300	5	
365	4	
245	3,15	
260	2,5	
180	2	
130	1,125	
355	0,63	
120	0,5	
105	0,4	
140	0,315	
420	0,25	
205	0,2	
360	0,125	
80	0,1	
50	0,08	

Concernant les résultats du sondage S1, ils ont été compilés et présentés comme suit : (voir Figure III.11)

Rapport **Analyse Granulométrique** Analyse sédimentométrique

Nombre d'essais..... 14

Essai N° : 1

< Précédent 1 Suivant >

Modifier les tamis

Ouverture des Tamis (mm)	Poids des Refus cumulés (grs)	Refus cumulés en (%)	Complément à 100 des Refus cumulés	Tamisats en (%)
40,0	340,00	3,16	96,84	96,84
31,5	725,00	6,73	93,27	93,27
25,0	1100,00	10,21	89,79	89,79
20,0	1625,00	15,08	84,92	84,92
16,0	2050,00	19,03	80,97	80,97
14,0	2170,00	20,14	79,86	79,86
10,0	2765,00	25,66	74,34	74,34
8,0	3105,00	28,82	71,18	71,18
6,3	3485,00	32,34	67,66	67,66
5,0	3785,00	35,13	64,87	64,87
4,0	4150,00	38,52	61,48	61,48
3,15	4395,00	40,79	59,21	59,21
2,5	4655,00	43,20	56,80	56,80
2,0	4835,00	44,87	55,13	55,13
1,6	5065,00	47,01	52,99	52,99
1,25	5195,00	48,21	51,79	51,79

Tamis de séparation "TS" (mm) : 40
Poids échantillon > à "TS" (grs) : 0
Poids échantillon < à "TS" (grs) : 10775

N° Sondage : Sondage N°01
Profondeur (m) : 0.00-2.20
Nature sol : Gravier sableux cailloute
Date essais : 15/04/2025

Calculer Tracer graphe

Nombre courbes / feuille
 Affichage d'une courbe
 Affichage de 2 courbes
 Affichage de 3 courbes

Limites d'Atterberg
W.L (%) 43,19
W.P (%) 38,1

Copier Effacer Coller >

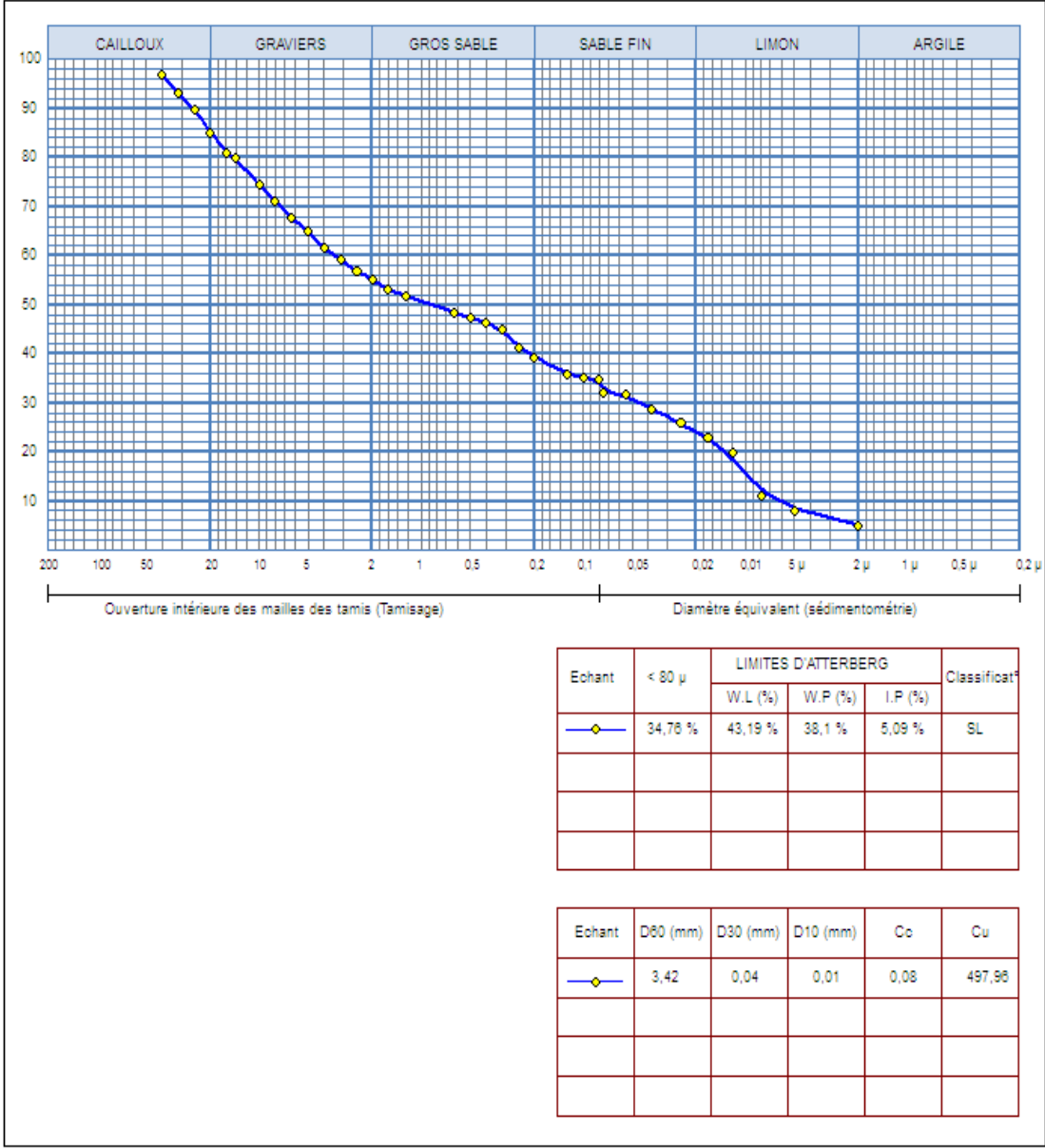
< Retour

Figure III.11. Calcul des Tamisât par SolTests du sondage S1

La courbe de l'analyse granulométrique obtenue à l'aide du logiciel SolTests est représentée sur la figure III.12.

Client : la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila N° Projet : 01
 Projet : Etude d'un Site au CEM ATTOWA Mokhtar
 Endroit : Commune SIDI M'HAMED, Daïra de Bousaada -W.M'sila

Sondage n° : —◆— Sondage : 0-2.20
 Profondeur : 0-2.20
 Matériaux :
 Provenance :
 Date essais :



© SofTe4s.2013

Remarque :

Préparé par : Approuvé par : Date : 15/04/2025

Figure III.12. Courbe de l'analyse granulométrique du sondage S1

Interprétation des résultats

La Classification selon GTR le « guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR, 1992].

Tableau III. 5. Pourcentage des échantillons en fonction de la nature du sol

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature deuxième niveau de classification		Sous classe fonction de la nature
D _{max} = 40 mm ≤ 50% et tamisât de 80 μmm = 34.76% ≤ 50%	B sol Sableux et graveleux avec des fines	Tamisât (%)	12 ≤ 80 μmm = 34.76 mm ≤ 35%	B5 Sableux et graves très silteux
			VBS = 1,20 ≤ 1.5 ou Ip = 5.09 ≤ 1.5	
Classement selon l'état hydrique				
Paramètres d'état		Sous classe fonction de l'état		
IPI = 5.09 mm ≤ 7		B5 th		

b. Essai Valeur au Bleu de méthylène (VBS, activité argileuse)

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer l'activité argileuse. Dans cette étude, l'essai est réalisé conformément à la norme NF P 94-068.

La photo suivante représente les résultats des essais de VBS.

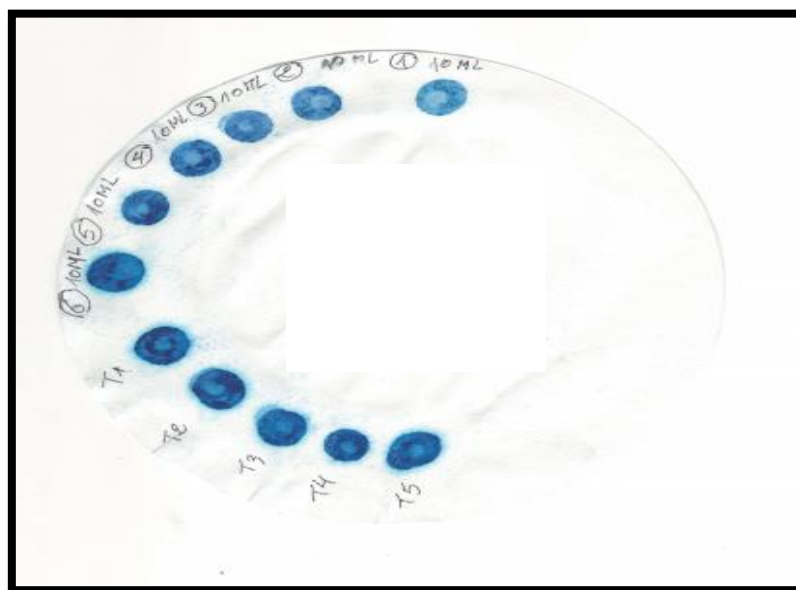


Figure III.13. Résultats des essais valeur au bleu de méthylène

Les données de cet essai sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau III. 6. Les données d'essai valeur au bleu de méthylène S1

Sondage N°1	Profondeur (m) : 0.00-2.20	
Masse (g)	Volume V1 (ml)	C(%)
50.248	60	1

Les résultats de cet essai sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.7. Les résultats donnés d'essai valeur au bleu de méthylène S1

Sondage N°1	Profondeur (m) : 0.00-2.20
B	VBS
0,06	1,20

Les résultats d'essai de Valeur au Bleu de méthylène sont introduits dans l'interface du logiciel SolTests (voir Figure III.14).

Figure III.14. Données de l'essai de valeur au bleu de méthylène du sondage S1

Les résultats des essais VBS effectués sur les différentes carottes provenant du sondage S1 sont résumés comme suit :

Tableau III.8. Résultats les différentes carottes d'essai VBS S1

SONDAGE N°	S1		
Profondeur (m)	0,00-2,20	2,20-3,20	3,20-3,50
VBS	1,20	0,55	1,67
type de sol	Limoneux	Limoneux	Limoneux
C2 (%)	0,43	1,48	1,63
ACB	2,800	0,372	1,022
Type d'Activité argileuse	Inactive	Inactive	Inactive

Interprétation des résultats

Selon le « guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR, 1992] on établit le tableau suivant.

Tableau III.9. Classification du sol selon les résultats d'essai VBS de Sondage S1

SONDAGE N°	S1
Profondeur (m)	0,00-2,20
VBS	1,20
type de sol	Limoneux
C2 (%)	0,43
ACB	2,800
Type d'Activité argileuse	Inactive

Donc c'est un sol limoneux, en vertu des résultats obtenus par l'analyse sédimentométrique, la fraction argileuse des échantillons testés au VBS est classée donc inactive.

c. Limites d'Atterberg

Les données de l'essai effectué au laboratoire sont représentées dans le tableau III.10.

Tableau III.10. Les données des limites d'Atterberg

	Limite de liquidité W_l	Limite de plasticité W_p	Teneur en eau naturel W_n
--	---------------------------	----------------------------	-----------------------------

Tare N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N _c)	22	16	19	20	/	/	/	/
Poids Total humide (sol+tare)(g)	27.1	26,5	40,9	32.2	31.4	/	83.9	57.2
Poids Total sec (sol+tare)(g)	23.9	23.5	37,3	27.9	30.6	/	67.6	49.7
Poids de la tare(g)	16.9	16,6	28,7	16.7	28.5	/	28.7	29.4

Les résultats des essais de plasticité effectués sur les différentes couches à l'aide de la coupelle de Casagrande sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.11. Résultats d'essai limite d'Atterberg S1

Sondage	Profondeur (m)	W _l (%)	W _p (%)	W _n (%)	I _p (%)	I _c (%)
S1	0,00-2,20	43,19	38,10	39,42	5,09	0,74

* La figure III.15 représente l'échantillonnage des essais Limite d'Atterberg de S1 concernant : Provenance, Endroit Prélèvement, prélevé par, Date Prélèvement, Reçu le, Date essais, N° Sondage, Profondeur (m), N° Echantillon, nature sol, teneur en eau (%).

Figure III.15. Échantillonnage des essais Limite d'Atterberg du sondage S1

La figure III.16 représente le rapport d'essai limites d'Atterberg de S1.

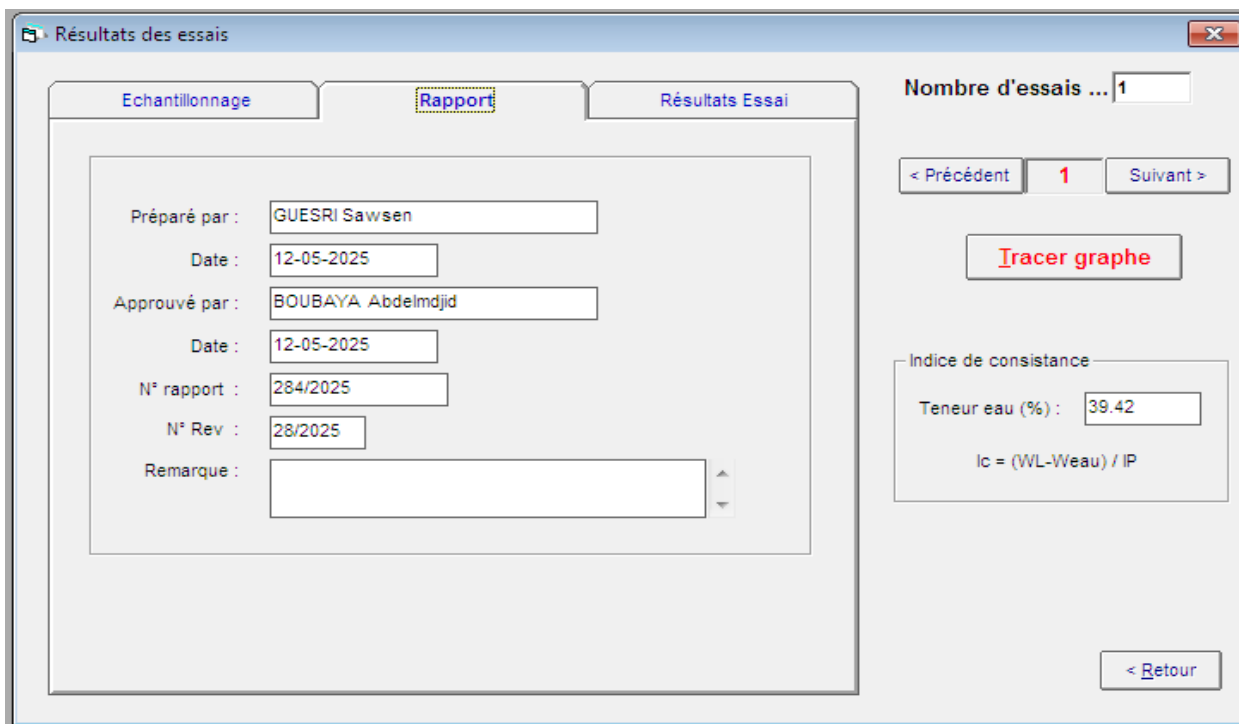


Figure III.16. Rapport d'un essai Limite d'Atterberg du sondage S1

Les données des essais Limite d'Atterberg de S1 sont introduites dans l'interface du logiciel SolTests (voir Figure III.17).

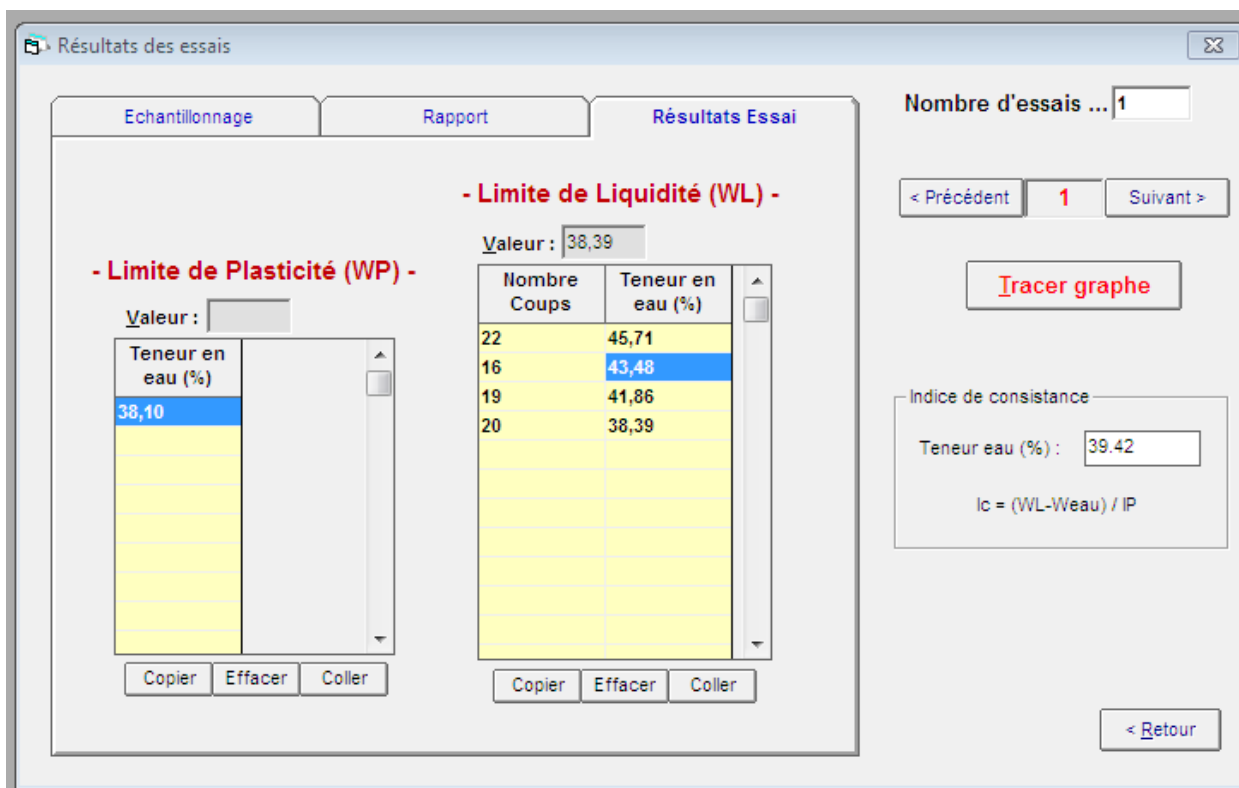


Figure III.17. Limites d'Atterberg (Wp et Wl) du sondage S1

Les résultats de l'essai limite de liquidité et de plasticité sont représentés sur la figure III.18.

Interprétation des résultats

On classe les sols en fonction de l'indice de plasticité I_p et la limite de liquidité W_L comme suit :

- le sol est limon peu plastique.

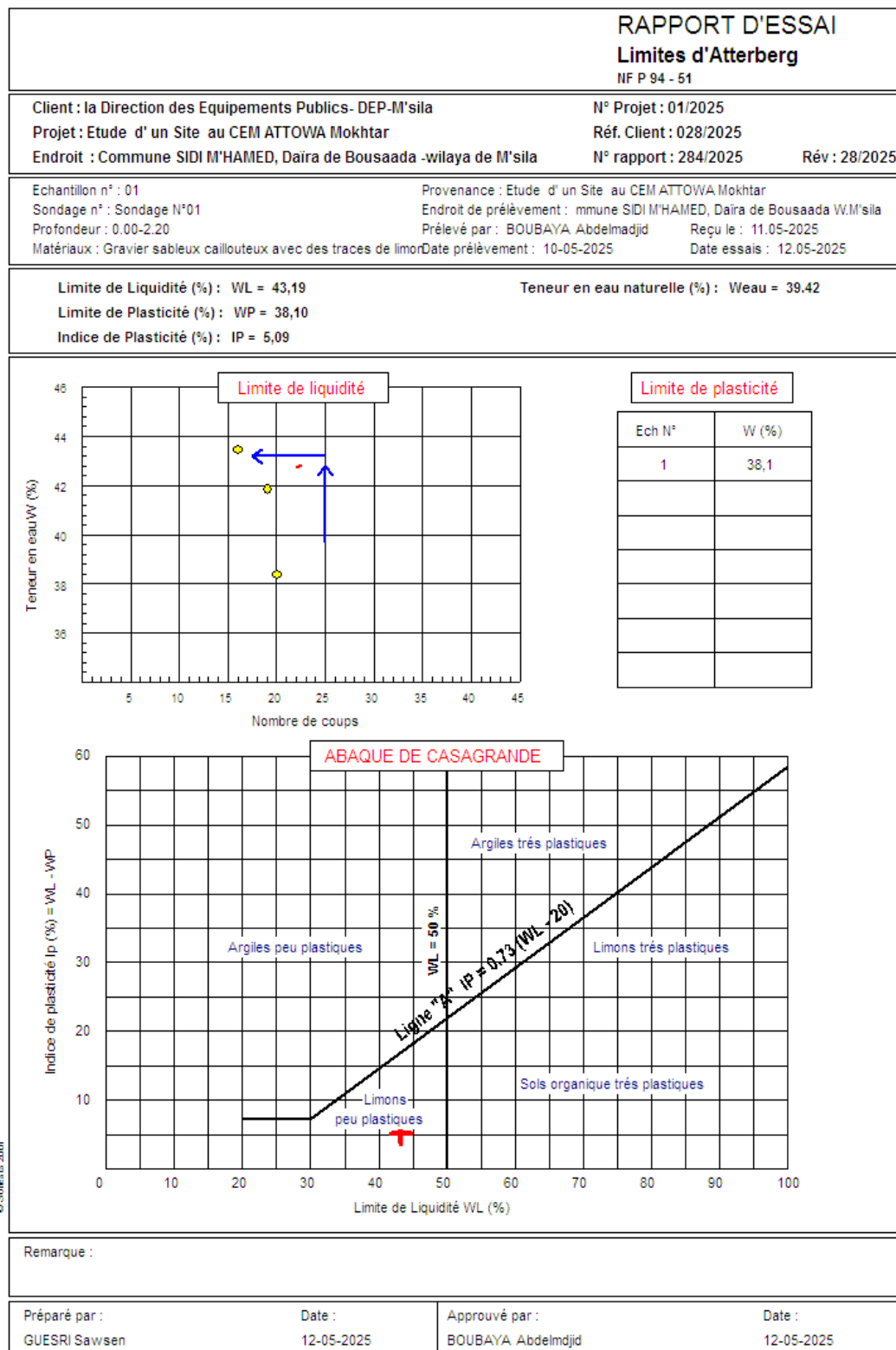


Figure III.18. Rapport de l'essai Limites d'Atterberg du sondage S1

d. Essai Cisaillement rectiligne à la boîte

L'essai de cisaillement rectiligne vise à déterminer la résistance au cisaillement du sol dans différentes conditions (drainées et non drainées) afin d'estimer sa capacité portante à long et court terme. 3 essais ont été réalisés sur des échantillons provenant de différentes profondeurs.

Les informations relatives à l'échantillonnage, les résultats obtenus et les paramètres de l'essai de cisaillement à la boîte (contraintes normales appliquées, vitesse de cisaillement, dimensions de la boîte, intervalle de déformation et type d'essai) sont saisies dans le logiciel SolTests.

Résultats des essais de Cisaillement

Echantillonnage | Résultats cisaillement | Paramétrage de l'essai

Nature sol : Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argile

Date essais : 22/04/2025

Préparé par : GUESRI Sawssen

Approuvé par : BOUBAYA A/MADJID

Date : 21/04/2025

Remarque :

Nombre d'essais : 3

ESSAI N° : 1

< 1 >

Graphes de cisaillement

Feuille de calcul

N° Sondage : SN°1

Profondeur : 0-2.20

N° Echant. : 01

Calculer

< Retour

Figure III.19. Interface d'échantillonnage

La figure III.20. représente les résultats cisaillement concernant : déformation (mm) et les lectures sur anneau.

Résultats des essais de Cisaillement

Résultats cisaillement | Echantillonnage | Paramétrage de l'essai

Déformation (mm)	Lecture Anneau (1)	Contrainte (Bars)	Lecture Anneau (2)	Contrainte (Bars)	Lecture Anneau (3)	Contrainte (Bars)
0,25	15	0,221	32	0,487	55	0,838
0,5	29	0,43	70	1,072	83	1,271
0,75	40	0,597	79	1,217	99	1,525
1	44	0,66	85	1,316	113	1,75
1,25	57	0,86	90	1,402	123	1,915
1,5	50	0,759	95	1,488	133	2,083
1,75	53	0,809	100	1,575	140	2,205
2	56	0,859	102	1,616	145	2,297
2,25	57	0,88	104	1,657	148	2,357
2,5	56	0,869	105	1,682	149	2,387
2,75	55	0,859	104	1,676	150	2,417
3	54	0,848	103	1,669	149	2,415
3,25	53	0,837	102	1,663	150	2,445
3,5	52	0,826	101	1,656	148	2,427

Copier Effacer Coller

Nombre d'essais : 3

ESSAI N° : 1

< 1 >

Graphes de cisaillement

Feuille de calcul

N° Sondage : SN°1

Profondeur : 0-2.20

N° Echant. : 01

Calculer

< Retour

Figure III.20. Résultats de l'essai de cisaillement direct

La Figure III.21 illustre les paramètres de l'essai de cisaillement à la boîte, incluant les contraintes normales appliquées, la vitesse de cisaillement, les dimensions de la boîte, l'intervalle de déformation et le type d'essai réalisé.

Figure III.21. Paramétrage de l'essai de cisaillement direct

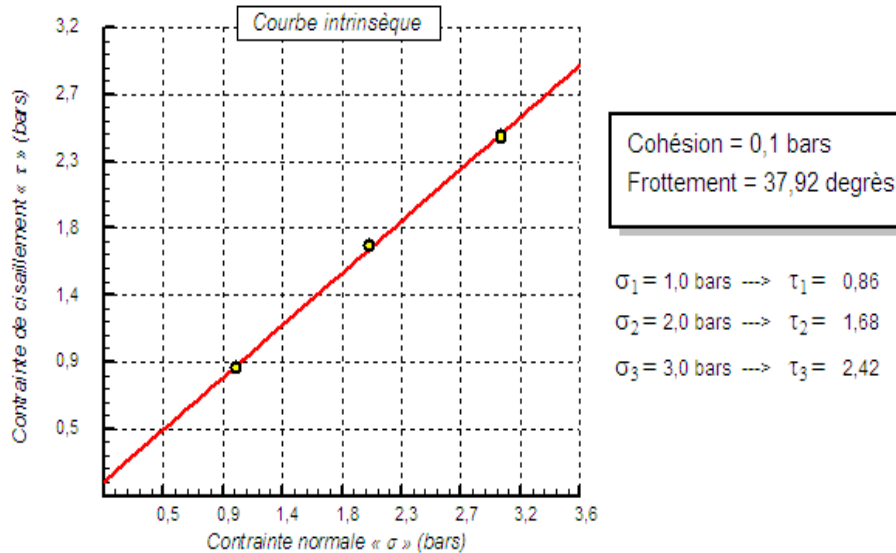
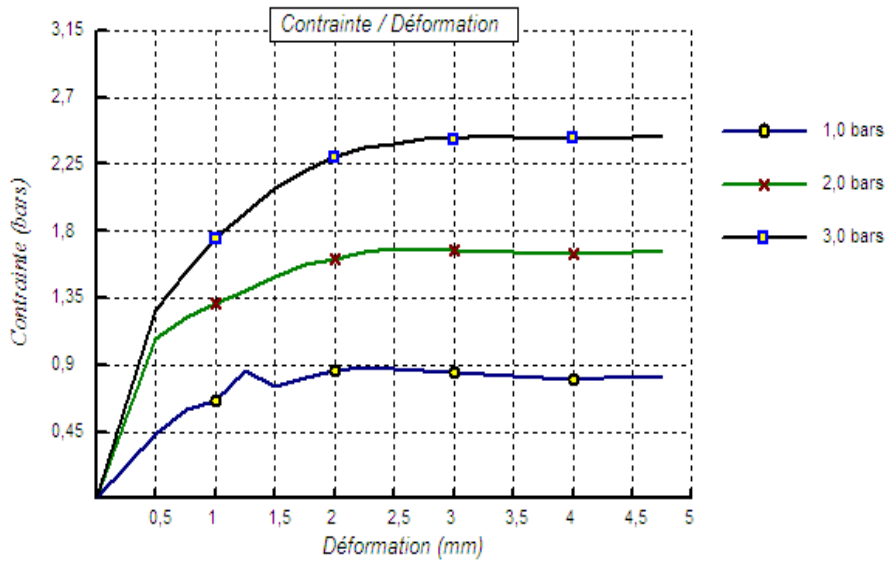
Ainsi, Quatre (03) essais de cisaillement UU ont été exécutés sur des échantillons pris des sondages à différentes profondeurs. Les résultats obtenus sont les suivants :

Client : la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila
 Projet : Etude du site au CEM ATTOWA Mokhtar
 Endroit : Commune SIDI M'HAMED ,Daïra de Bousaada .W- M'sila

N° Projet : 01

Sondage n° : SN°1
 Profondeur : 0-2.20
 Nature : Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argile
 Date essais : 22/04/2025

Type d'essai : UU
 Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn



© SofTests 2013

Remarque :

Préparé par :
 GUESRI Sawsen

Approuvé par :
 BOUBAYA AMADJID

Date :
 21/04/2025

Figure III.22. Rapport de l'essai de cisaillement du sondage S1

e. Essais œdométrique

L'essai œdométrique pour évaluer les tassements d'un sol sous le poids d'une charge (fondation, remblai, etc.), il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques du sol qui sont déterminées à l'aide de l'essai de compressibilité à l'œdomètre.

Les données de l'essai effectué au laboratoire sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.12. Les données de l'essai œdométrique de sondage S1

Profondeur (0,00 à 2,2)	sondage S1	
	Lecture comparateur	Pression (bar)
	430	0,1
	430	0,2
	430	0,4
	437	0,8
	378	1,6
	305	3,2
	237	6,4
	182	12,8
	110	25,6
	105	12,8
	123	6,4
	124	3,2
	137	1,6
	207	0,1

La figure III.23 représente les données des essais œdométriques concernant les résultats des mesures et les caractéristiques de l'éprouvette, sont introduits dans SolTests.

The screenshot shows the 'Résultats des essais Oedométriques' software interface. It features a table of measurement results, input fields for test parameters, and calculation options.

Pression (bars)	Lectures comparat 1	Indice des vides eo
0,1	430	0,879
0,2	430	0,879
0,4	430	0,879
0,8	437	0,882
1,6	378	0,856
3,2	305	0,825
6,4	237	0,795
12,8	182	0,772
25,6	110	0,741
12,8	105	0,738
6,4	123	0,746
3,2	124	0,747
1,6	137	0,752
0,1	207	0,782

Caractéristiques comparateur:
 Precision (1/x mm) : 0,01
 Valeur de départ : 430

Nombre de comparateur:
 01 comparateur
 02 comparateur

Caractéristiques de l'éprouvette:
 Diamètre "D" (mm) : 50
 Poids eau final (g) : 35,58
 Poids échantillon sec (g) : 120,5
 Densité des grains (g/cm3) : 2,65

Choix du type de courbe:
 Courbe en lignes
 Courbe de regression : 3 [3...8]

Nombre d'essais : 2
ESSAI N° : 1
 < Précédent 1 Suivant >

N° Sondage : SN°01
 Profondeur : 0,00-2,20
 Nature sol : Gravier sableux caillouteux avec d
 Date essais : 20/04/2025
 N° Echant. :

Tracer graphe
 Feuille de calcul
 Consolidation

Calculer

Copier Coller Effacer

< Retour

Figure III.23. Données des essais œdométriques

Ces résultats de calcul sont représentés dans la feuille de calcul (voir Figure III.24).

FEUILLE DE CALCUL

ESSAI OEDOMETRIQUE
XP P 94-090-1

<p>Dossier N° : 01/2025 Etude : Etude d'un Site au CEM ATTOWA Mokhtar Client : la Direction des Equipements Publics- DEP-M'sila N° Sond : SN°01 Prof : 0,00-2,20 Nature : Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon et d'argille Date début essai : 20/04/2025 Date fin essai : 21/04/2025</p>	<p>Hauteur éprouvette (cm) : 4,351 Section éprouvette (cm²) : 19,63 Poids sec (g) : 120,5 Densité des grains (kg/cm³) : 2,65 Hauteur des pleins <Hp> : 2,3159 Comparateur : 0,01</p>
--	---

Pression (Bars)	Lecture comparat 1	Lecture comparat 2	Tassement Moyen (cm)	Indice des vides (eo)
0,100	430		0,000	0,879
0,200	430		0,000	0,879
0,400	430		0,000	0,879
0,800	437		-0,007	0,882
1,600	378		0,052	0,856
3,200	305		0,125	0,825
6,400	237		0,193	0,795
12,800	182		0,248	0,772
25,600	110		0,320	0,741
12,800	105		0,325	0,738
6,400	123		0,307	0,746
3,200	124		0,306	0,747
1,600	137		0,293	0,752
0,100	207		0,223	0,782

RESULTATS DES ESSAIS DE CONSOLIDATION	
Palliers de contrainte (bars)	Cv en cm ² /s
0,1 et 0,2	
0,2 et 0,4	
0,4 et 0,8	
0,8 et 1,6	
1,6 et 3,2	
3,2 et 6,4	
6,4 et 12,8	
12,8 et 25,6	

$\Delta H = 0,223$
 $H_w = 1,812$
 $H_p = 2,3159$
 $H_o = 4,351$
 $H_o - H_p = 2,0351$

Figure III.24. Feuille de calcul des essais œdométriques

Les résultats de l'essai compressibilité à l'odomètre sont représentés sur la figure III. 25.

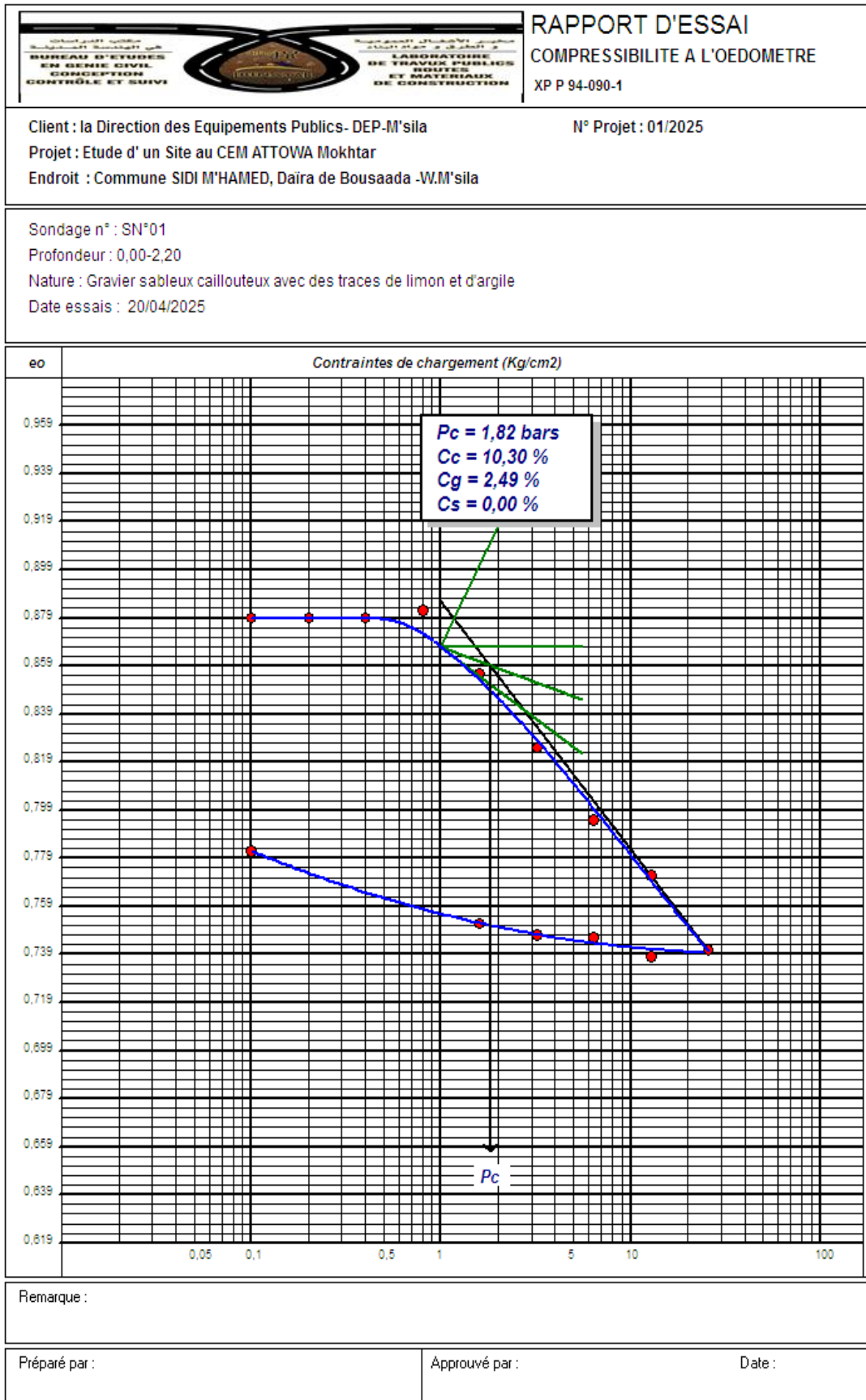


Figure III.25. Rapport d'essais compressibilité à l'œdomètre

Interprétation des résultats

Compressibilité

Dans cet essai découle trois paramètres : la pression de préconsolidation σ_p , le coefficient de compression C_c et le coefficient de gonflement C_s . Ces derniers permettent de calculer le tassement primaire (consolidation) d'un sol sous une fondation. On classe la compressibilité des sols en fonction du rapport de C_c ou du rapport $C_c/(1+e_0)$ comme le montre les tableaux suivants :

Tableau III.13. Valeurs de l'indice de compressibilité en fonction de C_c

$C_c \leq 0.002$	Sol incompressible
$0.02 \leq C_c \leq 0.05$	Sol très peu compressible
$0.05 \leq C_c \leq 0.1$	Sol peu compressible
$0.1 \leq C_c \leq 0.2$	Sol moyennement compressible
$0.2 \leq C_c \leq 0.3$	Sol assez fortement compressible
$0.3 \leq C_c \leq 0.5$	Sol très fortement compressible
$C_c > 0.5$	Sol extrêmement compressible

C'est ainsi qu'ont été effectués trois (03) essais œdométriques sur différents échantillons prélevés des sondages entre 0.00m et 3.50m de profondeur.

En vertu des résultats des essais de compressibilité mentionnés dans le tableau ci-dessus, nous constatons que toutes les couches sous-jacentes sont moyennement compressibles et ne sont pas gonflantes, donc insensible à l'eau. Ceci valide à la fois les résultats de l'activité argileuse A_{cb} obtenue en appliquant la formule liant la valeur du VBS et C_2 et les résultats de l'activité argileuse A_c issus de la formule de Skempton liant la valeur de l'IP et C_2 .

III.3. Etude de la salle polyvalente à Chekfa

III.3.1. Présentation

a-Situation géographique

Le site se situe à environ 3 km à l'Ouest de la localité de CHEKFA, wilaya de JIJEL, les coordonnées UTM du projet de notre étude sont 762 136.87 m à l'Est ; 4 074 176.82 m au Nord, figure III.26.

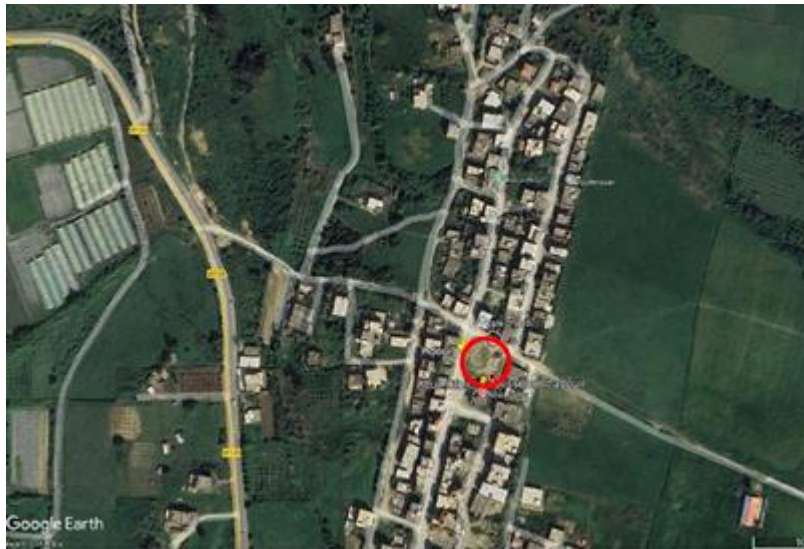


Figure III.26. Plan de situation du projet à Chekfa

b-Cadre géologique

D'après la carte géologique de el Milia au 1/500 000, la région est composée par des formations du Mio-Pliocène marne sahélienne. La géologie du site est représentée par des formations sédimentaires datées du Mio-Pliocène représentée par des argiles de recouvrement et des marnes bleues, figure III.25.

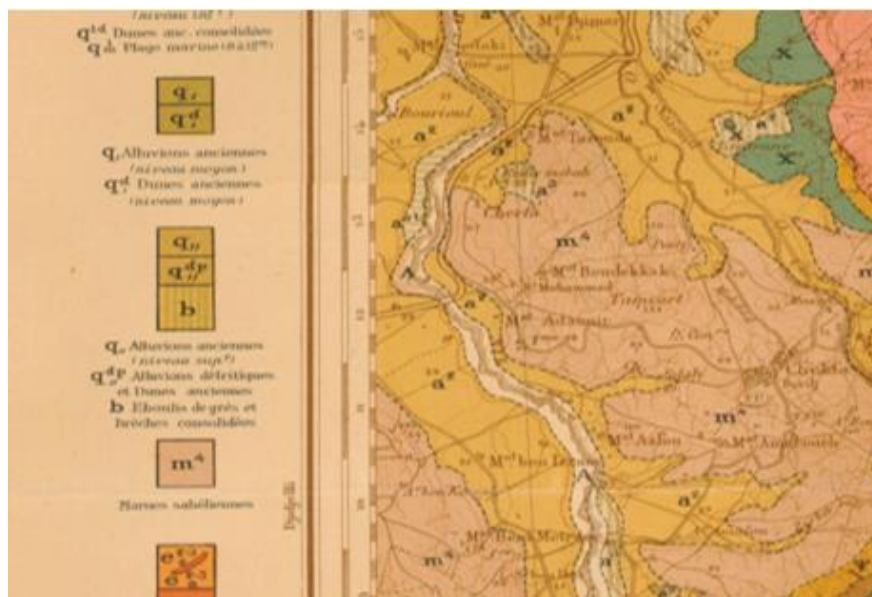


Figure III.27. Extrait de la carte géologique de EL MILIA

III.3.2. Reconnaissance géotechnique des sols

a-Programme de reconnaissance in-situ et moyens utilisés

Un programme de reconnaissance adapté à la nature du site a été arrêté et mis en exécution, Il consiste en l'exécution de :

- Un (01) sondage d'une profondeur de 30 m avec prise d'échantillons pour essais en laboratoire.

- Trois (03) essais de résistance à la pénétration dynamique pour apprécier d'une façon qualitative la résistance à la pénétration dynamique des terrains traversés : (Voir le plan d'implantation d'essais sur site joint en annexe).
- Un (01) sondage pressiométrique réalisés à une profondeur de 30 m pour calculer la capacité portante et classer le sol.

III.3.3. Résultats de la reconnaissance in situ

Les résultats des principaux essais in situ et au laboratoire, effectués par ARIF Lab, que nous avons traités à l'aide de SolTests sont énumérés en Annexes.

III.4. Synthèse

Pour le premier projet implanté à Sidi Mhamed, les résultats exposés concernent deux sondages S1 et S2 réalisé in-situ et les essais réalisés au Laboratoire, montrent que :

- les résultats de l'essai granulométrique montrent qu'il s'agit généralement de formations quaternaires formées par de sols sableux et graveleux avec des fines grenus (classe B5th) avec des inférieurs à 80 μm de l'ordre de 34,76 % \leq 50% (classification GTR) ;
- les résultats de l'essai d'Atterberg montrent que les sols du site contiennent des limons peu plastiques ;
- les résultats de VBS trouvé montrent qu'il s'agit d'un sol limoneux.

On constate que le sol prélevé à partir des deux des sondages carottés (S1 et S2) est classé comme étant limons peu plastique (Abaque de Casagrande).

Pour le second projet implanté à Chekfa, les résultats exposés en évidence un profil de sol stratifié et des propriétés mécaniques variées, synthétisées comme suit :

-Le profil lithologique du site montre une stratification progressive : de la **terre végétale meuble** en surface, le sol passe à des **argiles (humides, plastiques, puis avec concrétions carbonatées)**. Plus profondément, on rencontre une **marne schisteuse friable** avant d'atteindre une **marne grise dure et compacte** en profondeur.

-Les essais pressiométriques révèlent une augmentation générale de la rigidité (Module E) et de la résistance (Pressions Limite P_1 et de Fluage P_f) du sol avec la profondeur. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les argiles superficielles, tandis que les marnes dures profondes affichent les rigidités et résistances les plus élevées.

-Le rapport E/P_1 , indicateur du comportement contrainte-déformation, varie selon les couches et est notamment plus élevé dans les marnes dures (35.26 à 15 m et 35.53 à 24 m).

-Les essais au pénétromètre dynamique confirment cette tendance avec des résistances moyennes à fortes, la résistance minimale (R_p) oscillant entre 38.60 et 160 bars.

-Les résultats d'analyses granulométriques indiquent une prédominance de sols cohérents, avec plus de 65% de passants à 2 mm et une fraction fine (< 0.08 mm) variant entre 68% et 85%.

-Les résultats d'essais des limites d'Atterberg ont révélé que les deux échantillons de sol étudiés : l'argile brunâtre à jaunâtre humide et l'argile jaunâtre en présence de concrétions carbonatées sont tous deux très plastiques (respectivement classés comme limon très plastique et argile très plastique). Ces analyses soulignent que leur comportement mécanique est fortement sensible aux variations de teneur en eau, avec un potentiel de changement volumétrique significatif.

-l'essai de cisaillement exécuté sur des échantillons de nature Argile brunâtre à jaunâtre humide et Argile jaunâtre en présence des concrétions carbonatées, découlent des valeurs de cohésion ($C_u =$ Entre 0.26 et 0.29 bars) et de l'angle de frottement interne ($\phi_u =$ Entre 12.22° et 13.12°).

-l'essai œdométrique effectué sur Argile brunâtre à jaunâtre humide et Argile jaunâtre en présence des concrétions carbonatées, la valeur des trois paramètres déterminés la pression de préconsolidation (P_c) se situant entre 1.5 et 1.74 bars, l'indice de compression (C_c) mesuré à 27.42, et l'indice de gonflement (C_g) compris entre 3.23 et 3.44 % ,Les valeurs de ces paramètres indiquent qu'il s'agit d'un sol sur consolidé, moyennement compressibles et non gonflant.

Chapitre Quatrième

MODELISATION DU CALCUL DES FONDATIONS

PAR CALFOND

Modélisation du calcul des fondations par CalFond

IV.1. Introduction

Ce chapitre documente la procédure d'évaluation de la capacité portante et du comportement tassement des fondations superficielles via le module CalFond du logiciel SolTests. L'analyse s'appuie sur les données issues d'essais géotechniques in situ (pressiométriques) et ex situ (laboratoire). Parmi les études de cas considérées, deux sites ont été retenus pour cette présentation : le site du CEM Attowa Mokhtar à Sidi Mhamed et celui d'une salle polyvalente à Chekfa, Jijel.

IV.2. Site du CEM Attowa Mokhtar à Sidi Mhamed

IV.2.1. Evaluation de la contrainte admissible avec essais au laboratoire

Selon les résultats de l'étude géotechnique, et à la nature du terrain, pour ce type de projet, nous avons opté pour un système de fondation superficielle.

On saisit des données issues de la lithologie (figure IV.1.), les caractéristiques de cisaillement et œdométrique (figure IV.2.), dans SolTests.

Prof 1 (m)	Prof 2 (m)	Nature du Sol	Densité (t/m3)
0	2,20	Gravier sableux caillouteux avec des traces de limon ...	1,98
2,20	3,2	Gravier sableux avec un peu de cailloux avec des tra...	2,01
3,2	10	Gravier et Cailloux avec un peu de sable et des trac...	1,97
*			

Figure IV. 1. Caractéristique des couches de sols

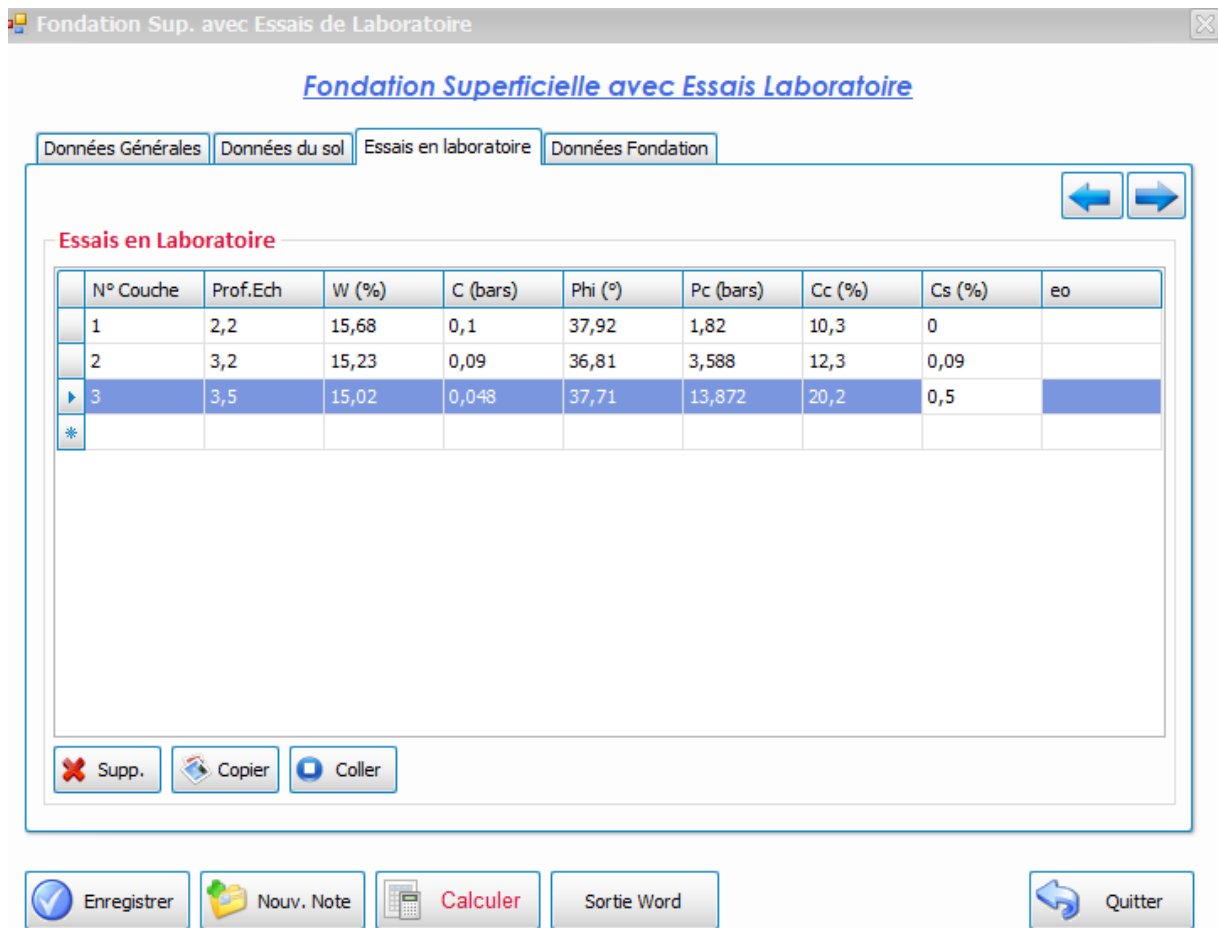


Figure IV. 2. Caractéristiques mécaniques des couches de sols

❖ **Cas d'une semelle Filante :**

Les dimensions, le type de semelle, l'ancrage et le niveau de la nappe de la semelle filante introduite dans SolTests sont schématisés sur la figure IV.3.

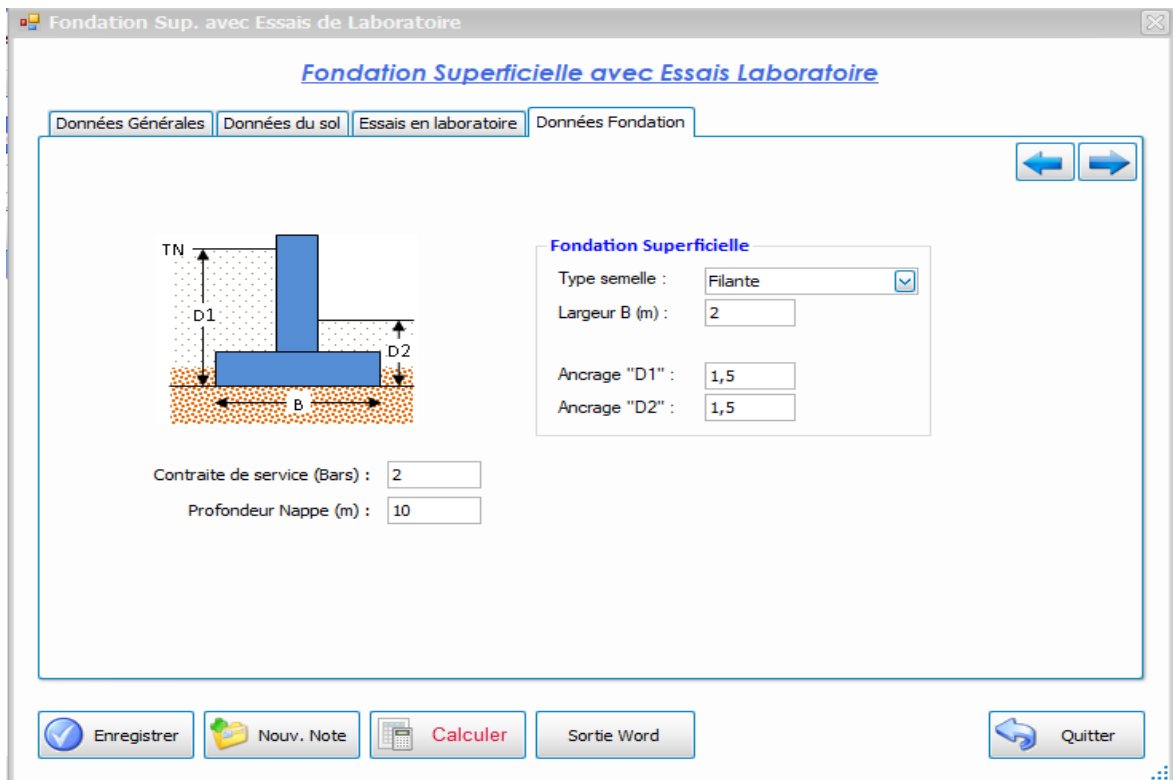


Figure IV. 3. Dimensions de la fondation filante

L'exécution du module CalFond du logiciel SolTests, nous permet de déterminer les valeurs des contraintes limites et admissible qui sont schématisé sur la figure IV.4.

Prof. couche (m)	B (m)	Ng	Nq	Nc	$\gamma * D$	Sy	Sc	Ql (bars)
0,00 - 2,20	2,00	68,34	48,42	60,87	2,97	1,00	1,00	34,00
2,20 - 3,20	2,13	56,59	41,88	54,62	4,36	1,00	1,00	35,28
3,20 - 10,00	2,66	65,93	47,09	59,62	7,77	1,00	1,00	56,82

- Contrainte Limite : $Q_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 34,00$ bars

- Contrainte admissible : $Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_l - \gamma \cdot D) = 11,85$ bars

Figure IV. 4. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols

❖ **Cas d'une semelle isolée (carrée) :**

Les données de la fondation (type de semelle, ancrage contrainte de service et profondeur de la nappe) saisis dans SolTests sont représentées dans la figure IV.5.

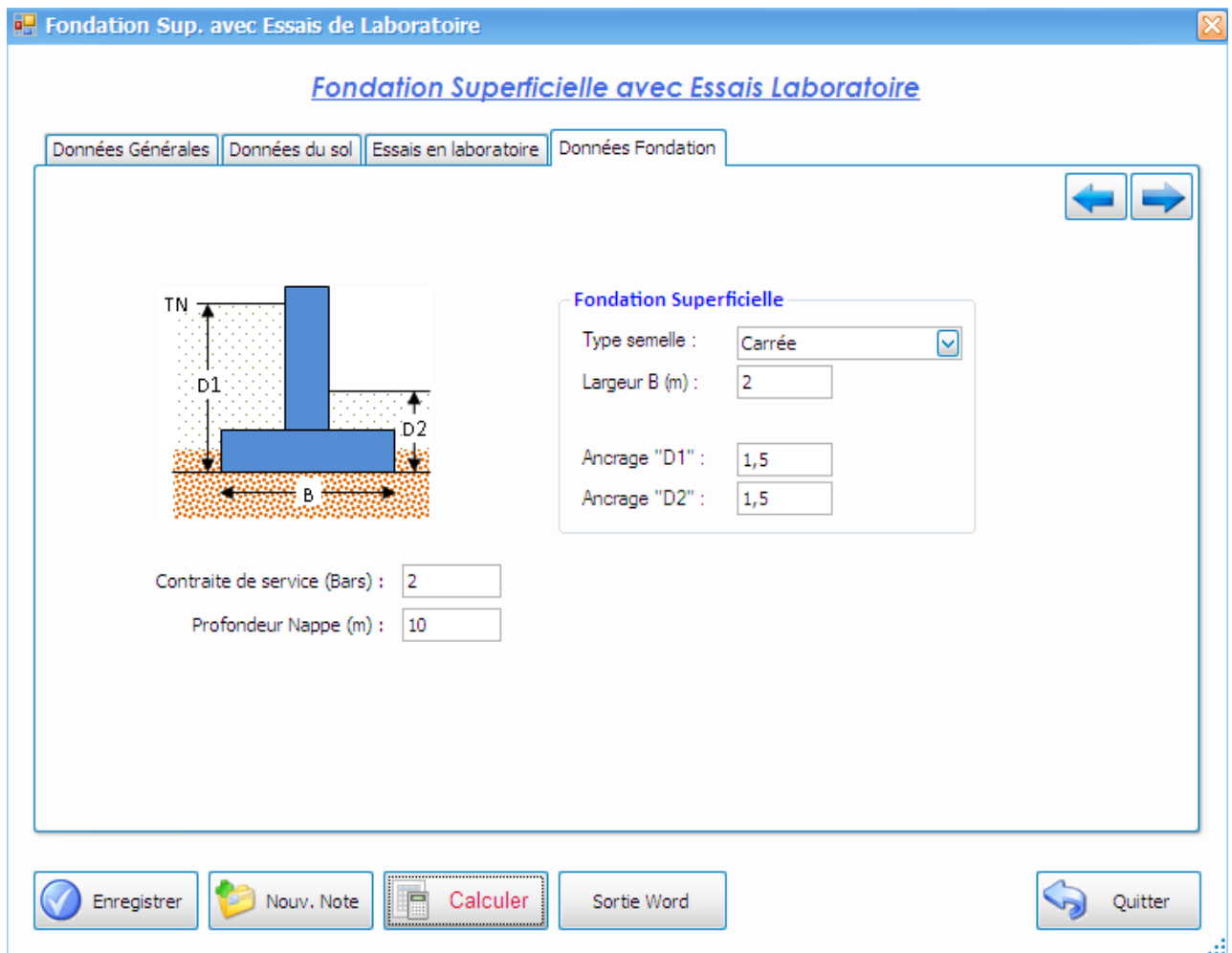


Figure IV. 5. Dimension de la fondation carrée

La Figure IV.6 illustre les résultats du calcul des contraintes limites et admissibles dans le contexte spécifique d'une semelle carrée. Le processus de détermination de ces contraintes suit une méthodologie similaire à celle employée pour d'autres types de fondations.

Prof. couche(m)	B (m)	Ng	Nq	Nc	$\gamma \cdot D$	Sy	Sc	Ql (bars)
0,00 - 2,20	2,00	68,34	48,42	60,87	2,97	1,20	0,80	32,51
2,20 - 3,20	2,24	56,59	41,88	54,62	4,36	1,20	0,80	34,32
3,20 - 10,00	3,34	65,93	47,09	59,62	7,77	1,20	0,80	57,46

$$\text{- Contrainte Limite : } Q_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 32,51 \text{ bars}$$

$$\text{- Contrainte admissible : } Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_l - \gamma \cdot D) = 11,35 \text{ bars}$$

Figure IV. 6. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols

IV.2.2. Calcul des tassements à partir des essais au laboratoire

❖ Cas d'une semelle filante

A partir des données du projet introduites dans le logiciel et pour une semelle filante de 2 m de largeur, le tassement total est de 1,12 cm pour une contrainte de sol de 2 bars, comme schématisés sur la figure IV.7.

Prof. couche (m)	Pc (bars)	Cc (%)	Cs (%)	eo	σ_0	$\Delta\sigma$	lz	ΔH_t
1,50 - 2,20	1,82	10,30	0,00	0,000	0,30	1,95	0,977	0,67
2,20 - 3,20	3,59	12,30	0,09	-0,001	0,54	1,51	0,756	0,05
3,20 - 4,20	13,87	20,20	0,50	-0,006	0,74	0,95	0,477	0,18
4,20 - 5,20	13,87	20,20	0,50	-0,006	0,93	0,75	0,374	0,13
5,20 - 6,20	13,87	20,20	0,50	-0,007	1,13	0,61	0,306	0,09

Figure IV. 7. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

❖ Cas d'une semelle isolée (carre) :

Ci-dessous un tableau récapitulatif des résultats de calcul des tassements par SolTests d'une semelle isolée de **2.0m x 2.0m** (figure IV.8) :

Prof. couche (m)	Pc (bars)	Cc (%)	Cs (%)	eo	σ_0	$\Delta\sigma$	lz	ΔH_t
1,50 - 2,20	1,82	10,30	0,00	0,000	0,30	1,92	0,960	0,62
2,20 - 3,20	3,59	12,30	0,09	-0,001	0,54	1,21	0,606	0,05
3,20 - 4,20	13,87	20,20	0,50	-0,006	0,74	0,51	0,257	0,12
4,20 - 5,20	13,87	20,20	0,50	-0,006	0,93	0,32	0,160	0,06
5,20 - 6,20	13,87	20,20	0,50	-0,007	1,13	0,22	0,108	0,04

- Tassement total (cm) : DHT = 0,88 cm

- Pour une Contrainte de : $Q_s = 2,00$ bars

Figure IV. 8. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

IV.3. Salle polyvalente à Chekfa, Jijel

IV.3.1. Evaluation de la contrainte admissible avec essai au laboratoire

Conformément aux résultats de l'étude géotechnique, et compte tenu de la nature du terrain pour ce projet, nous avons opté pour un système **de fondation superficielle**.

Pour l'analyse, nous avons intégré les données suivantes dans le logiciel SolTests :

La lithologie du sol, telle qu'illustrée dans la Figure IV.9, et les caractéristiques de cisaillement et œdométriques du sol, présentées dans la Figure IV.10.

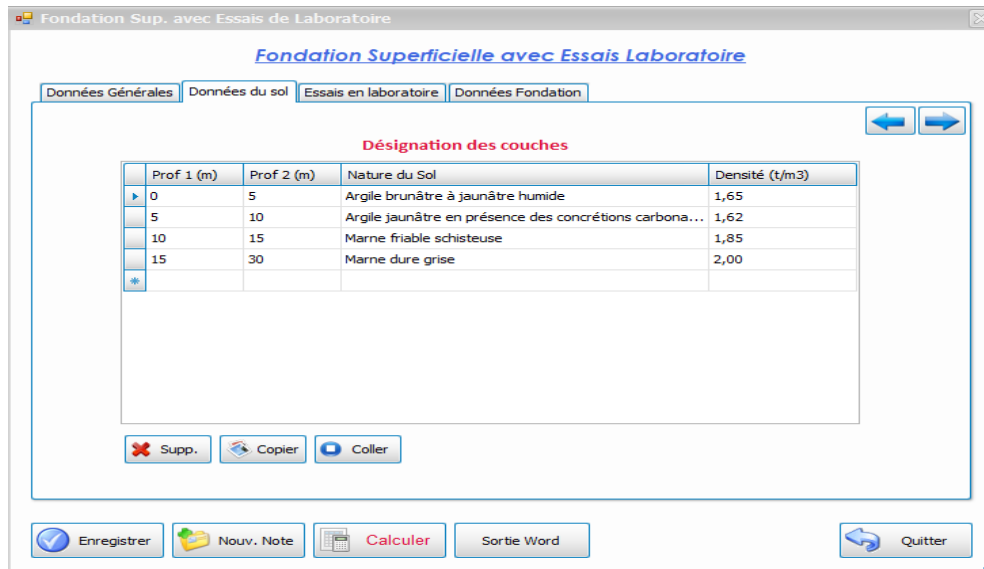


Figure IV. 9. Caractéristique des couches de sols

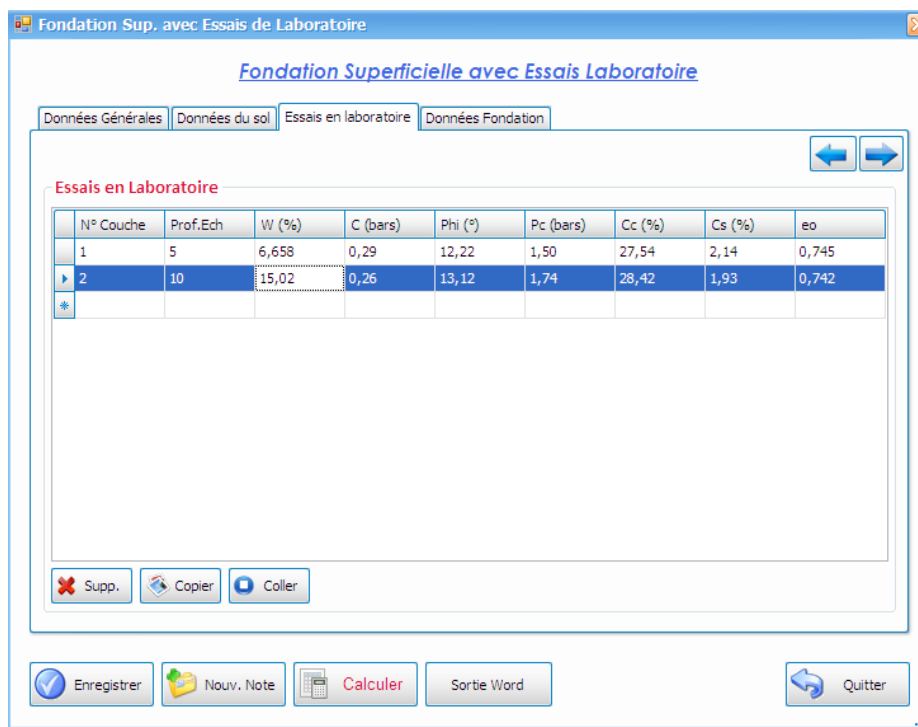


Figure IV. 10. Caractéristiques mécaniques des couches

❖ Cas d'une semelle Filante

Ces données (type de semelle, sa profondeur d'ancrage et le niveau de la nappe phréatique) sont ensuite intégrées au logiciel selon la même méthode que les informations précédentes.

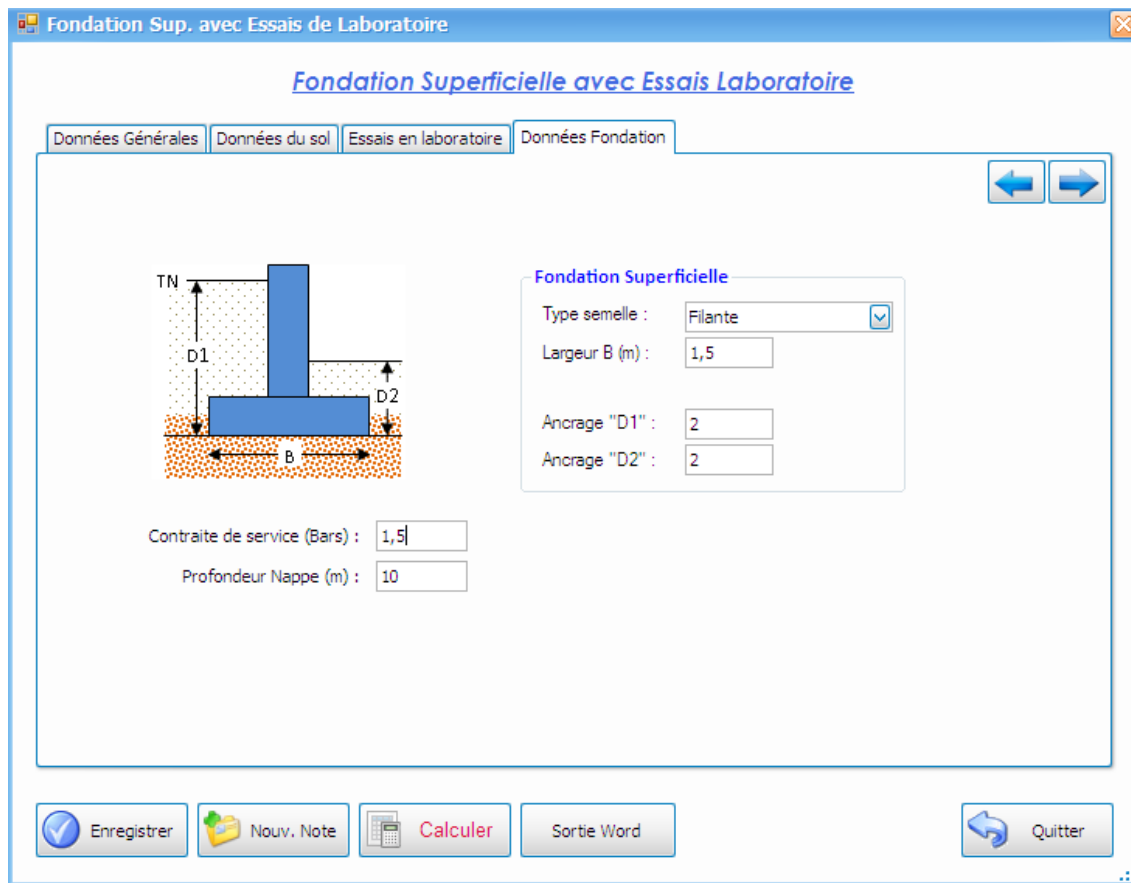


Figure IV. 11. Type et dimension de la fondation

La Figure IV.12, récapitule les valeurs calculées des contraintes limites et des contraintes admissibles.

Prof. couche (m)	B (m)	Ng	Nq	Nc	$\gamma \cdot D$	Sy	Sc	Ql (bars)
0,00 - 5,00	1,50	0,82	3,04	9,40	3,30	1,00	1,00	3,83
5,00 - 10,00	2,71	0,99	3,30	9,87	8,25	1,00	1,00	5,51

- Contrainte Limite : $Q_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 3,83 \text{ bars}$

- Contrainte admissible : $Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_t - \gamma \cdot D) = 1,83 \text{ bars}$

Figure IV. 12. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols

❖ Cas d'une semelle isolée (carre)

Les données de la fondation ont été entrées dans SolTests. Cette étape a été effectuée de la même manière que les saisies de données précédentes comme le montre la Figure IV.13.

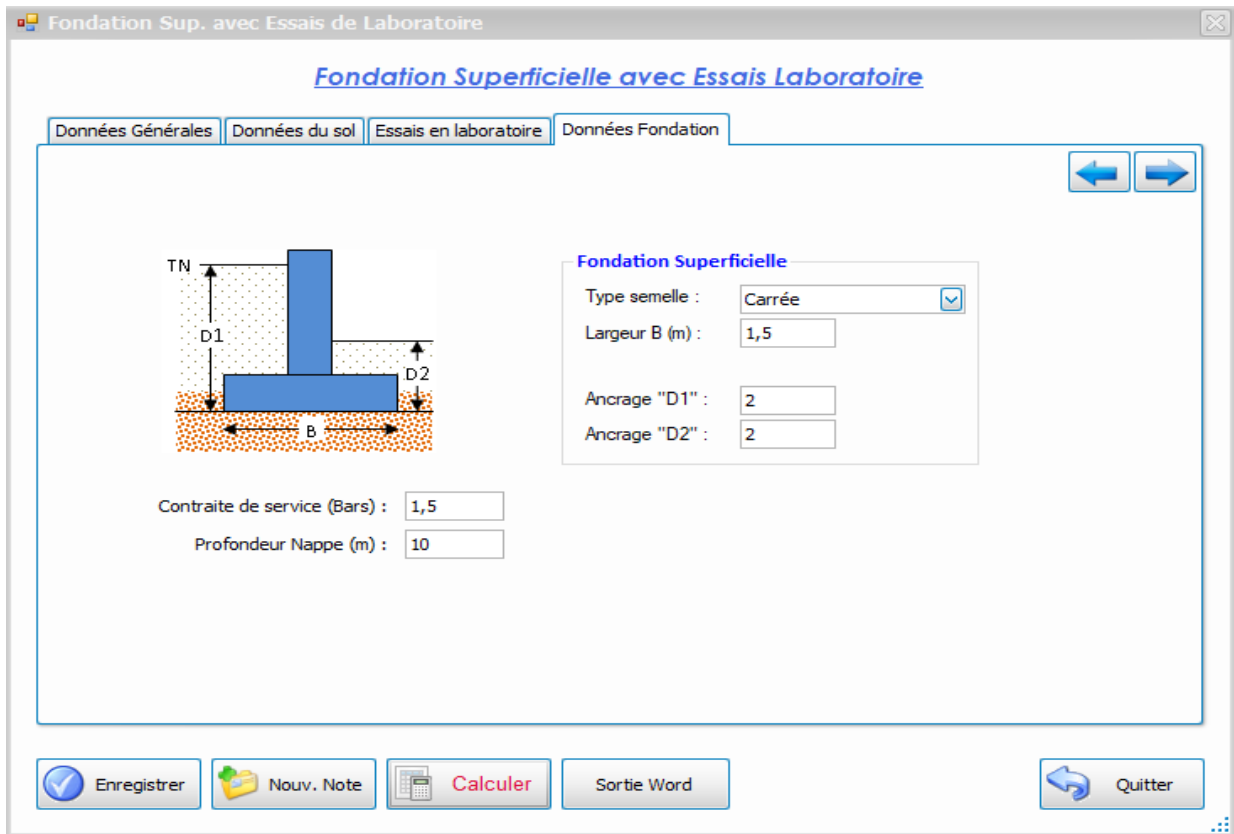


Figure IV. 13. Type et dimension de la fondation

Ci-dessous la figure IV.14 représenté le calcul des contraintes limites et admissibles

Prof. couche (m)	B (m)	Ng	Nq	Nc	$\gamma \cdot D$	Sy	Sc	Ql (bars)
0,00 - 5,00	1,50	0,82	3,04	9,40	3,30	1,20	0,80	4,35
5,00 - 10,00	4,56	0,82	3,04	9,40	8,25	1,20	0,80	6,01

- Contrainte Limite : $Q_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 4,35 \text{ bars}$

- Contrainte admissible : $Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_l - \gamma \cdot D) = 2,00 \text{ bars}$

Figure IV. 14. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

IV.3.2. Calcul des tassements à partir des essais au laboratoire

❖ Cas de semelle filante

De manière similaire, la Figure IV.15 présente les résultats de calcul des tassements pour une semelle filante d'une largeur de 1.5 m.

Prof. couche (m)	Pc (bars)	Cc (%)	Cs (%)	eo	σ_0	$\Delta\sigma$	lz	ΔH_t
2,00 - 2,75	1,50	27,54	2,14	0,726	0,39	1,47	0,977	1,65
2,75 - 3,50	1,50	27,54	2,14	0,723	0,52	0,96	0,642	0,43
3,50 - 4,25	1,50	27,54	2,14	0,721	0,64	0,72	0,477	0,30
4,25 - 5,00	1,50	27,54	2,14	0,720	0,76	0,51	0,337	0,21
5,00 - 5,75	1,74	28,42	1,93	0,718	0,89	0,42	0,280	2,08

- Tassement total (cm) : DHT = 4,67 cm

- Pour une Contrainte de : $Q_s = 1,50$ bars

Figure IV. 15. Valeurs des contraintes limites pour des différentes couches de sols

❖ Cas d'une semelle isolée (carrée)

Voici un tableau récapitulatif des résultats de tassement obtenus avec CalFond de la même manière que précédemment (**figure IV.16**).

Prof. couche (m)	Pc (bars)	Cc (%)	Cs (%)	eo	σ_0	$\Delta\sigma$	lz	ΔH_t
2,00 - 2,75	1,50	27,54	2,14	0,726	0,39	1,44	0,960	1,58
2,75 - 3,50	1,50	27,54	2,14	0,723	0,52	0,67	0,449	0,34
3,50 - 4,25	1,50	27,54	2,14	0,721	0,64	0,39	0,257	0,19
4,25 - 5,00	1,50	27,54	2,14	0,720	0,76	0,20	0,130	0,09
5,00 - 5,75	1,74	28,42	1,93	0,718	0,89	0,14	0,091	0,77

- Tassement total (cm) : DHT = 2,97 cm

- Pour une Contrainte de : $Q_s = 1,50$ bars

Figure IV. 16. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

IV.3.3. Evaluation de la contrainte admissible par la méthode pressiométrique

Le calcul de la capacité portante des fondations superficielles par la méthode pressiométrique, avec le module CalFond de logiciel SolTests, repose sur l'exploitation des résultats de l'essai pressiométrique qui mesure in situ la pression limite du sol.

La définition des strates de sol avec les caractéristiques des couches (poids volumique, et profondeur) sont montrées sur la Figure IV.17.

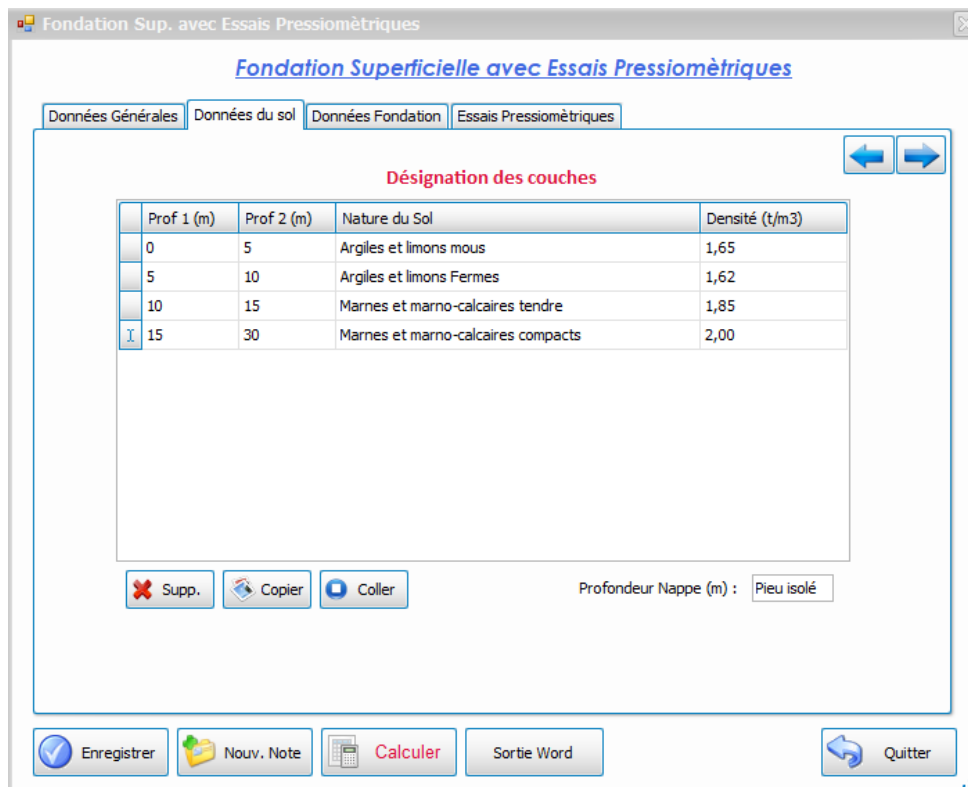


Figure IV. 17. Caractéristique des couches de sols

❖ Cas d'une semelle filante

La figure IV.18 représente les dimensions de la semelle (largeur, longueur), sa profondeur, son encastrement et le type de fondation (semelle isolée, filante, radier).

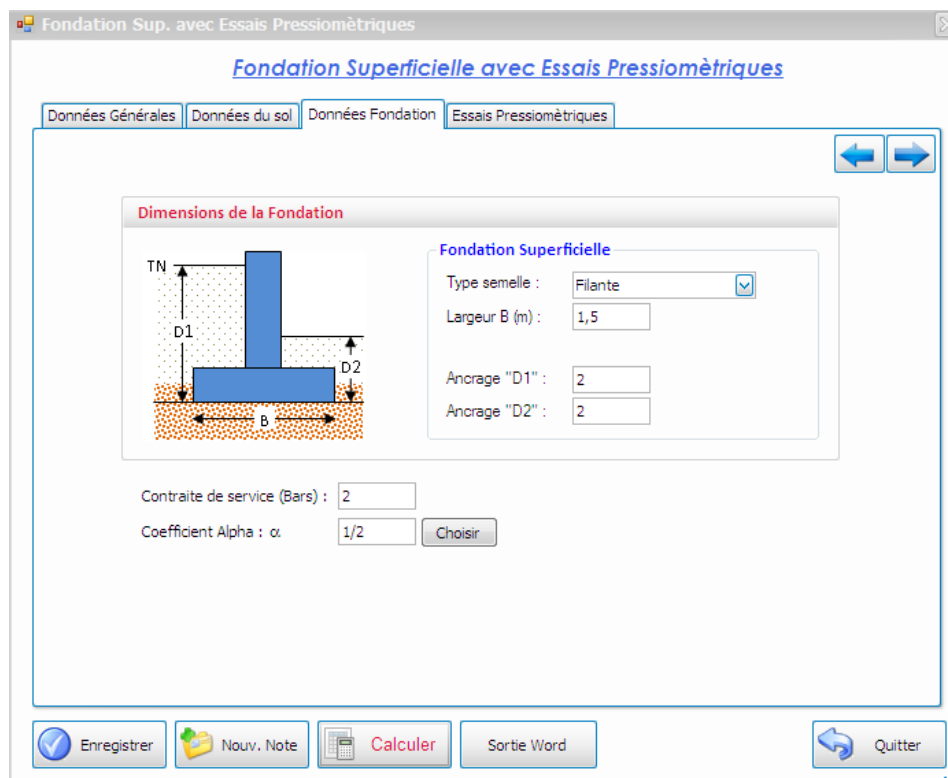


Figure IV. 18. Type et dimension de la fondation

La Figure IV.19 montre spécifiquement comment les résultats des essais pressiométriques ont été importés dans le logiciel. Cette étape consiste à intégrer les données essentielles comme les profondeurs des essais, les pressions limites (P_l) et les modules pressiométriques (E).

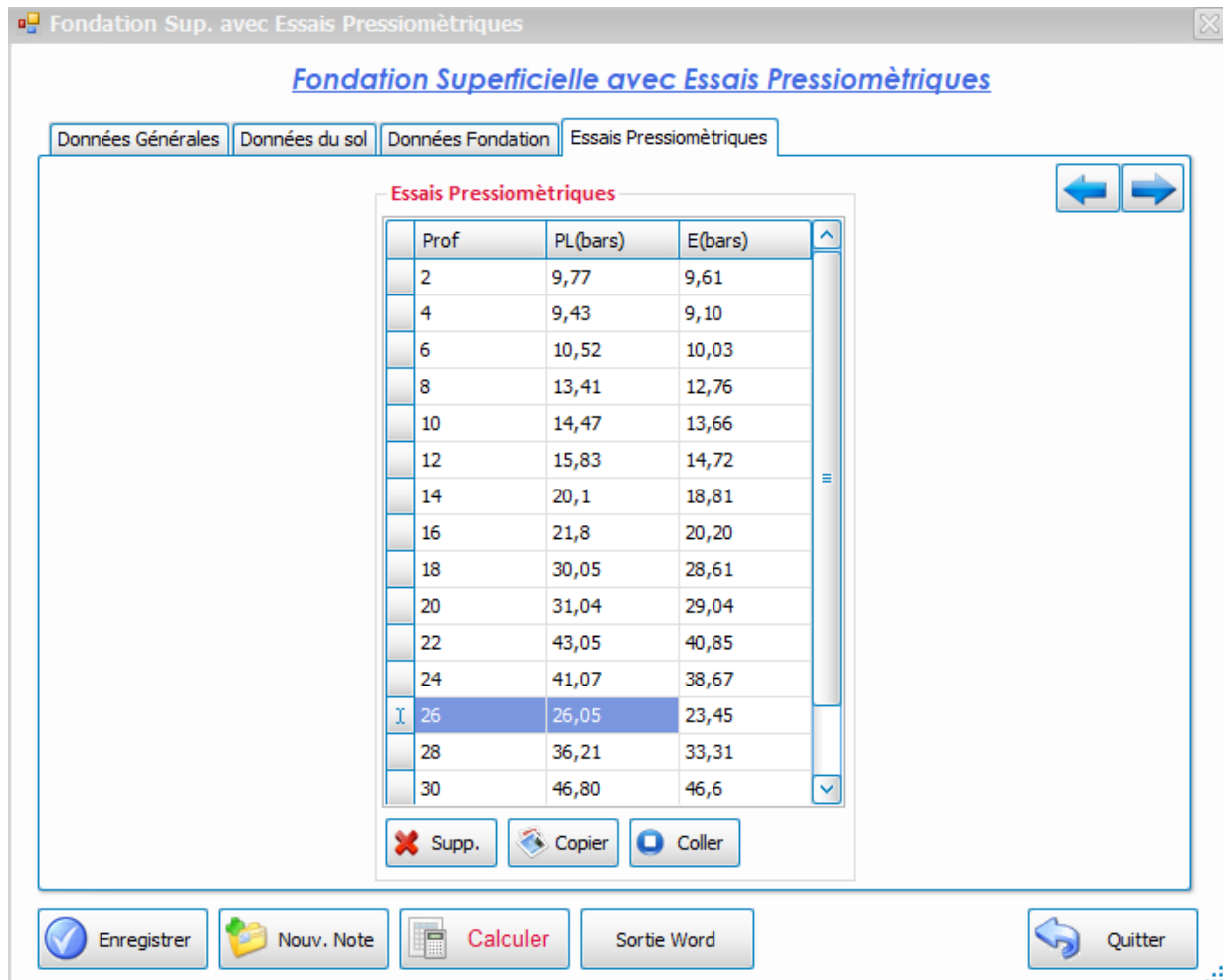


Figure IV. 19. Valeurs les résultats des essais pressiométriques

À partir de module CalFond du logiciel SolTests nous avons déterminé les valeurs des contraintes limites et admissible par la méthode pressiométrique, voir la figure VI.20.

- Pression Limite net équivalente : $Pl^* = \frac{1}{1.5B} \int_D^{D+1.5B} Pl^*(z). dz = 9,38 \text{ bars}$

- Coefficient de portance : $Kp = 1,07$

- Encastrement équivalent : $De = \frac{1}{Pl^*} \int_d^D Pl^*(z). dz = 2,00 \text{ m}$

- Contrainte au niveau de la fondation après travaux : $q_0 = 0,33 \text{ Bars}$

Les valeurs de Po et PL* sur la profondeur (D + 1.5 * B)

Prof (m)	PL (bars)	Po (bars)	PL*(bars)
2	9,77	0,165	9,605
4	9,43	0,33	9,10
6	10,52	0,486	10,034

- Contrainte Limite : $Q_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y \cdot S_y + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 10,33 \text{ bars}$

- Contrainte admissible : $Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_l - \gamma \cdot D) = 3,66 \text{ bars}$

Figure IV. 20. Valeurs des contraintes limites et admissible par la méthode pressiométrique

❖ Cas d'une semelle isolée (carre)

La Figure IV.21 montre que les caractéristiques de la fondation carrée, de largeur de 1,5 m, saisies dans SolTests.

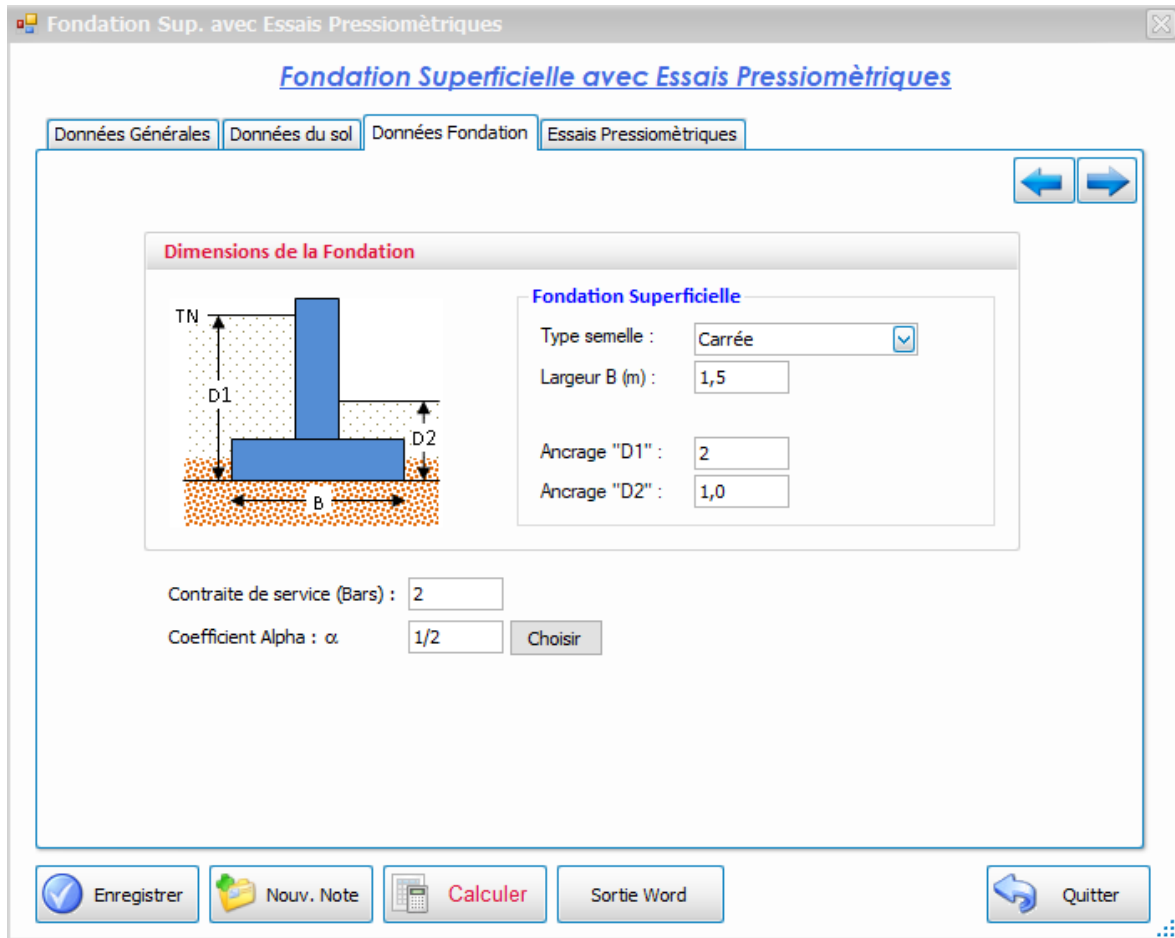


Figure IV. 21. Type et dimension de la fondation

Après le calcul des contraintes limites et des contraintes admissibles on présente les résultats sur la figure IV.22.

- Pression Limite net équivalente : $Pl^* = \frac{1}{1.5 \cdot B} \int_D^{D+1.5 \cdot B} Pl^*(z) \cdot dz = 9,38 \text{ bars}$

- Coefficient de portance : $K_p = 1,07$

- Encastrement équivalent : $De = \frac{1}{Pl^*} \int_d^D Pl^*(z) \cdot dz = 2,00 \text{ m}$

- Contrainte au niveau de la fondation après travaux : $q_0 = 0,33 \text{ Bars}$

Les valeurs de P_0 et PL^* sur la profondeur $(D + 1.5 \cdot B)$

Prof (m)	PL (bars)	Po (bars)	PL*(bars)
2	9,77	0,165	9,605
4	9,43	0,33	9,10
6	10,52	0,486	10,034

- Contrainte Limite : $Q_l = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + C \cdot N_c \cdot S_c + \gamma \cdot D \cdot N_q = 10,33 \text{ bars}$

- Contrainte admissible : $Q_{adm} = \gamma \cdot D + \frac{1}{3} \cdot (Q_l - \gamma \cdot D) = 3,66 \text{ bars}$

Figure IV. 22. Valeurs des contraintes limites et admissible par l méthode pressiométrique.

IV.3.4. Calcul des tassements par la méthode pressiométrique

❖ Cas d'une semelle filante

La Figure IV.23 présente les résultats de calcul des tassements avec le logiciel CalFond.

$$\begin{aligned} \text{- Tassement sphérique : } S_c &= \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot \lambda_c \cdot B = 2,60 \text{ cm} \\ \text{- Tassement déviatorique : } S_d &= \frac{2}{9 \cdot E_d} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B_0 \cdot \left(\lambda_d \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha = 6,92 \text{ cm} \\ \text{- Tassement total : } S_f &= S_c + S_d = 9,52 \text{ cm} \end{aligned}$$

Avec :

- Ed : Module pressiométrique correspondant au terme déviatorique
- Ec : Module pressiométrique correspondant au terme sphérique
- q' : contrainte effective moyenne appliquée au sol par la fondation
- σ'_{v0} : contrainte verticale effective calculée dans la configuration avant travaux au niveau de fondation,
- B_0 : largeur de référence égale à 0,60 m,
- B : largeur de la fondation,
- α : coefficient rhéologique dépendant de la nature du s_{01}
- λ_c : coefficients de forme, fonction du rapport L/B,
- λ_d

Figure IV. 23. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

❖ Cas d'une semelle isolée (carre)

Les résultats des tassements calculés par le logiciel CalFond en suivant la même approche méthodologique que les analyses précédentes, en cohérence avec les pratiques et normes géotechniques française sont récapitulées sur la Figure IV.16.

$$\begin{aligned} \text{- Tassement sphérique : } S_c &= \frac{\alpha}{9 \cdot E_c} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot \lambda_c \cdot B = 1,91 \text{ cm} \\ \text{- Tassement déviatorique : } S_d &= \frac{2}{9 \cdot E_d} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B_0 \cdot \left(\lambda_d \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha = 4,50 \text{ cm} \\ \text{- Tassement total : } S_f &= S_c + S_d = 6,41 \text{ cm} \end{aligned}$$

Avec :

- Ed : Module pressiométrique correspondant au terme déviatorique
- Ec : Module pressiométrique correspondant au terme sphérique
- q' : contrainte effective moyenne appliquée au sol par la fondation
- σ'_{v0} : contrainte verticale effective calculée dans la configuration avant travaux au niveau de fondation,
- B_0 : largeur de référence égale à 0,60 m,
- B : largeur de la fondation,
- α : coefficient rhéologique dépendant de la nature du s_{01}
- λ_c : coefficients de forme, fonction du rapport L/B,
- λ_d

Figure IV. 24. Valeurs du tassement total et des tassements des couches

IV.4. Analyse Comparative

Les résultats obtenus indiquent que la méthode pressiométrique conduit à des estimations de capacité portante **supérieures** à celles issues de l'approche basée sur les paramètres de résistance au cisaillement déterminés en laboratoire. Une tendance similaire est observée pour l'évaluation des tassements.

La méthode pressiométrique tend à fournir des valeurs de capacité portante plus élevées et potentiellement plus représentatives du comportement in situ par rapport à la méthode conventionnelle basée sur les paramètres (c , φ) obtenus en laboratoire.

IV.4. Synthèse

Site du CEM Attowa Mokhtar :

- **Caractérisation Géotechnique** : Le profil stratigraphique du site révèle un sol de type gravier sableux caillouteux avec des inclusions de limon/sable/pierres, présentant une variabilité de densité en fonction de la profondeur. Les investigations en laboratoire ont déterminé les paramètres de résistance au cisaillement, avec une cohésion c variant de 0,048 à 0,1 bars et un angle de frottement interne φ compris entre $37,71^\circ$ et $38,63^\circ$.
- **Dimensionnement de la Fondation (Méthode Laboratoire)** :
 - **Semelle Filante** : Pour une fondation de largeur ($B = 2$ m) et des profondeurs d'ancrage ($D1 = D2 = 1,5$ m), soumise à une contrainte de service de 2bars et avec une nappe phréatique située à m, le logiciel a calculé une contrainte limite Ql de 34,00 bars et une contrainte admissible $Qadm$ de 11,85 bars. Le tassement total résultant sous la contrainte de service est estimé à (1,12cm).
 - **Semelle Carrée** : En considérant une fondation de largeur ($B = 2$ m) et les mêmes paramètres d'ancrage, de chargement et de niveau phréatique, la contrainte limite (Ql calculée est de 32,51 bars), et la contrainte admissible ($Qadm$ s'élève à 11,35bars). Le tassement total correspondant à la contrainte de service est de (0,88cm).

Salle polyvalente à Chekfa, Jijel

- **Caractérisation Géotechnique** : Le sous-sol est constitué de couches d'argile brunâtre à jaunâtre (humide), d'argile jaunâtre avec des concrétions carbonatées, de marne friable schisteuse et de marne dure grise, présentant une densité variant de ($1,62$ à $2,00t/m^3$). Les essais en laboratoire ont permis de déterminer les propriétés mécaniques, incluant la cohésion, l'angle de frottement et la pression de préconsolidation.
- **Dimensionnement de la Fondation (Méthode Laboratoire)** :
 - **Semelle Filante** : Pour une fondation de largeur ($B = 1,5$ m) et des profondeurs d'ancrage ($D1 = D2 = 2$ m), sollicitée par une contrainte de service de (1,5bars) avec une nappe phréatique à (10m), la contrainte limite (Ql est de 3,83bars), et la

contrainte admissible (Q_{adm} est de 1,83bars). Le tassement total calculé sous la contrainte de service est de (4,67cm).

- **Semelle Carrée** : Pour une fondation de largeur ($B = 1,5m$) et les mêmes conditions d'ancrage, de chargement et de niveau phréatique, la contrainte limite (Q_l) s'établit à (4,35bars), et la contrainte admissible (Q_{adm} à 2,00bars). Le tassement total correspondant à la contrainte de service est de (2,97cm).

- **Dimensionnement de la Fondation (Méthode Pressiométrique) :**

- **Définition des Strates** : Les différentes couches de sol ont été modélisées en intégrant leurs caractéristiques géotechniques, notamment le poids volumique.
- **Semelle Filante** : Les paramètres géométriques (largeur, profondeur d'encastrement) de la semelle filante ont été définis. Les résultats des essais pressiométriques (profondeurs d'essai, pressions limites (P_l), modules pressiométriques (E)) ont été intégrés au logiciel. Le tassement total calculé par CalFond pour cette configuration est présenté.
- **Semelle Carrée** : Les dimensions (largeur de 1,5m) de la semelle carrée ont été introduites dans le modèle. Le tassement total estimé pour cette fondation est également présenté.

Conclusions Générales

Les études géotechniques sont indispensables pour tout projet de construction ou d'aménagement, car elles permettent de déterminer les caractéristiques des sols et d'évaluer leur comportement sous les charges des ouvrages.

La caractérisation des sols, qui englobe les essais in situ et en laboratoire, est une étape cruciale de ces études.

Dans le cadre de ce document, les résultats de la caractérisation des sols pour deux projets situés en Algérie ont été présentés et analysés à l'aide du logiciel SolTests.

Projet 1 : CEM Attowa Mokhtar à Sidi Mhamed

- Le site du projet présente une topographie régulière et ne présente pas de risques particuliers liés à l'hydrographie.
- Les sondages réalisés sur le site ont révélé une lithologie constituée de haut en bas par une couche de cailloux sableux suivie par une succession de couches dont le sable est le principal constituant, le tout reposant sur un substratum à environ 10m de profondeur.
- Les essais granulométriques ont montré qu'il s'agit généralement de formations quaternaires formées par de sols sableux et graveleux avec des fines grenus (classe B4th) avec des inférieurs à 80 μm de l'ordre de $0\% \leq 50\%$ (classification GTR).
- Les essais d'Atterberg montrent que les sols du site contiennent des limons peu plastiques.
- Les essais VBS confirment qu'il s'agit d'un sol limoneux.
- Les essais de compressibilité indiquent que les couches sous-jacentes sont moyennement compressibles et ne sont pas gonflantes.
- Les normes utilisées pour les essais sont les normes ASTM et NF.

Projet 2 : Salle polyvalente à Chekfa, Jijel

- Les investigations en laboratoire ont déterminé les paramètres de résistance au cisaillement, avec une cohésion c variant de 0,048 à 0,0954 bars et un angle de frottement interne φ compris entre $37,71^\circ$ et $38,63^\circ$.
- Pour une semelle filante, le logiciel a calculé une contrainte limite Q_l de 31,72bars et une contrainte admissible Q_{adm} de 11,09bars. Le tassement total résultant sous la contrainte de service est estimé à (0,01cm).
- Pour une semelle carrée, la contrainte limite (Q_l calculée est de 29,79bars), et la contrainte admissible (Q_{adm} s'élève à 10,45bars). Le tassement total correspondant à la contrainte de service est de (0,01cm).

L'utilisation du logiciel SolTests a permis de faciliter le traitement des résultats d'essais, de transformer les données en graphiques, de gagner du temps et d'obtenir des résultats précis.

En conclusion, la caractérisation des sols est une étape essentielle pour assurer la sécurité, la durabilité et la viabilité des projets de construction.

Références Bibliographique

1. **Achour, R.** (2014). *Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage*. Proquest.
2. **Arif Lab.** (2024), étude de sol pour la réalisation d'une salle polyvalente à *Chekfa wilaya de Jijel*.
3. **Binaya Lab.** (2024). *Etude géotechnique-rapport final : Etude Géotechnique pour la Réalisation d'une UDS au CEM ATTOWA Mokhtar, Commune SIDI M'HAMED, Daïra de Bousada -wilaya de M'sila.*
4. **Binaya Lab.** (2024). *Etude géotechnique-rapport final : Etude Géotechnique pour la éeme projet Ouled Madhi, wilaya de M'sila.*
5. Bakhti Software. (2024). *CiviLab* [Logiciel]. Consulté le 31 mai 2025, depuis <https://www.fr.bakhtisoftware.com/community/index.php>
6. **IANOR (l'Institut Algérien de Normalisation).** (2024). *Catalogue des normes algériennes au 31 décembre 2024 - Version 1.*
7. **KHETTAB, S.** (2015). *Etude des corrélations entre les caractéristiques Proctor et les caractéristiques mécaniques et physiques*. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.
8. **KHEMISSA, M., MAHAMEDI, Abdelkrim, et MEKKI, Lakhdar.** *Colloque Algéro-Canadien sur l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique.*
9. **KHEMISSA, M. et MEKKI, Lakhdar.** *Détermination des paramètres de gonflement des argiles expansives de M'sila. 2ième Journée d'études sur les sols gonflants, Université Aboubekr, Tlemcen (Algérie), 2005, p. 19-27.*

10. **Legeotech.** (2021). *SolTests [Logiciel]*. Consulté le 2025.
11. **Legeotech.** (2024). *SolTests [Logiciel]*. Consulté 2025.
12. **MEDDAH, A.** (2024). *Fondations*. Notes de cours pour Master géotechnique, Université de Msila.
13. **MAHAMEDI, A.** *Caractérisation et traitement des sols gonflants en vue de leur utilisation en construction routière*. 2014. Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf-M'sila.
14. **MEKKI, L.** (2018). *Comportement d'une argile expansive fortement surconsolidée*. Thèse de doctorat en géotechnique, Université de Msila.
15. **MOUSLIM, M., ARROUSSI, A., et al.** (2018). *Etude d'une prospection géotechnique des sondages*. Thèse de doctorat, Université Ahmed Draia-Adrar.
16. **SEDDIKI, A.** (2023). *Caractérisation physique des sols*. Notes de cours pour doctorants en géotechnique, Université de Msila.
17. **Sétra/LCPC, Guide Technique Routier : Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR), Fascicule 1 : Principes généraux - Fascicule 2 : Utilisation des matériaux, 1992 (ou 2000 pour la version révisée)**
18. **Wardle, G. R., Blight, G. E., & Fourie, A. B.** (2021). *Geotechnics for Developing Africa*. CRC Press.