

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie civil



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE CIVIL

Option : Géotechnique

Intitulé du mémoire

*Reconnaisances des mollasses astiennes d'Alger
Analyse des caractéristiques géotechniques*

Présenté par :

M^{elle} : AOUGHLIS Sihem

Promoteur : Mr . Kerkar Slim.

M^{elle} : Arslane Nadjat

Co-promotrice : Mme Belkacemi Souad.

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Nous rendons grâce à dieu, pour nous avoir accordé santé et courage jusqu'à l'aboutissement de nos études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à ceux qui, à divers titres, ont collaboré à la réalisation de ce travail. Nous les devons à de nombreuses personnes que nous avons le plaisir et l'honneur de citer ci-après.

Mr. SLIM KERKAR et M^{me}. Souad SEBAI qui ont acceptés de diriger ce travail.

Nous tenons à exprimer ici notre profond respect et nos reconnaissances à notre promoteur Mr. KERKAR Slim qui assisté et dirigé nos pas tout au long de ce travail. Ses conseils et ses encouragements nous ont soutenus d particulièrement précieux et indispensable pour mener à bien ce travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions

Nous voudrions aussi adresser nos sincères remerciements au personnel et aux géotechniciens du laboratoire de travaux public et bâtiments pour leur aide et patience.

Nous n'oublierons certainement pas les géotechniciens du laboratoire LCTP Monsieur AMARA. Mourad et Madame D. SEDDIK pour leurs aides indéniables.

DEDICACE

De dieu tout puissant, qui trace le chemin de ma vie, je dédie ce travail :

Mes chers parents qui n'ont pas cessé de me soutenir et me donner le meilleur d'eux même tout au long de ma formation.

Tous les mots ne sauraient exprimer à la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance.

Mes frères ; Sidali, Abdelhak, Salim et Abdelkrim, à mes sœurs Amel, Bouchra

Ma reconnaissance va à toute ma famille qui m'a soutenu durant cette période. Enfin, j'associe à cet hommage, tous mes collègues et tous mes amis (es).

Ma copine Nadjat qui a partagée avec moi les bons et les mauvais moments durant mes études, tous les étudiants de ma promotion.

En fin, à tous ceux qui m'aiment.

M^{elle} : AOUGHLIS Sihem

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents, pour leur dévouement et leurs gentillesse qui ont été pour moi un soutien constant tout au long de ses année d'études qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde affection et reconnaissance.

à ma chère sœur Meriem et mon cher frère Anouar

à mon cher grand-père et ma chère grand-mère, à mes chers oncles, tantes, cousins et cousines, à tous mes collègues et tous mes amis.

à ma chère copine Sihem qui a partagée avec moi les bons et les mauvais moments durant mes études, tous les étudiants de ma promotion.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

M^{elle} ARSLANE Nadjat

Résumé

La formation mollassique possède une grande extension dans la région d'Alger. Cette formation suscite énormément d'intérêts auprès des géotechniciens, vue les projets lancés au niveau de la capitale ces dernières années

La perte de cimentation de ce matériau, est un obstacle pour la réalisation des études géotechniques.

L'objectif de ce travail et de faire en un premier temps, un zoning Géologique en se basant sur les cartes géologiques, suivi d'un recensement des études géotechniques de laboratoire réalisées, à ce jour, sur la Molasse de la région, afin de pouvoir estimer les intervalles des paramètres géotechniques , selon les zones définies et ainsi que leurs états identifiés.

Ce qui présentera une modeste contribution à une base de données géotechnique pouvant servir des informations et d'aide dans les études des sols mollassique.

ملخص

يمتد تكوين المولاس بشكل كبير في منطقة الجزائر العاصمة، يثير هذا التكوين اهتماما كبيرا بين الجيوتقنيين نظرا للمشاريع التي تم إطلاقها في العاصمة في السنوات الأخيرة .

يعد فقدان تثبيت هذه المادة عقبة أمام إجراء الدراسات الجيوتقنية.

الهدف من هذا العمل هو القيام أولا بتقسيم جيولوجي بناء على الخرائط الجيولوجية، متبوعا بإحصاء الدراسات المعملية الجيوتقنية التي أجريت حتى الآن على المولاس في المنطقة، من أجل القدرة على تقدير الخصائص الجيوتقنية وفقا للمناطق المحددة وكذلك الحالات المحددة لها. سيقدم هذا مساهمة متواضعة لقاعدة بيانات جيوتقنية يمكن استخدامها للحصول على المعلومات والدعم في دراسات التربة.

Abstract

Our study deals with the physical, chemical and mechanical characterization of the Astien molasse on the basis of geotechnical data and geographical maps, easily understandable and exploitable, easily understandable and exploitable, the many information accumulated during reconnaissance with laboratories, concerning the outcrop of the Astien molasse in the region of Algiers.

More broadly, this work constitutes a contribution to the development of an analysis methodology for geotechnical reconnaissance campaigns, with the concern to identify, assess and take into account the variability and uncertainties. Geotechnical data to allow better control of the risk of geotechnical origin.

A molasse designates a set of sedimentary rocks, mainly detrital, and post-orogenic, accumulating in foreland basins, on the outskirts of mountain ranges. Molasses are often clay limestone cement sandstones, sometimes green in color due to glauconia. They also regularly incorporate thick conglomerate levels. They are generally friable, soft and permeable rocks forming moderate reliefs.

The molassic formation occupies almost the entire suburb of Algiers (Bir Mourad reis, El-Mouradia, Ben-Aknoun, Hydra, Ruisseau and the surrounding area). The rocky consistency gives it good lift; however the latter can be thwarted by the instability of the cliffs (collapses) bordering the Astian plateau, due to recent instabilities in recent years in the capital, several studies have been initiated and carried out, with characterization gaps

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles	
Introduction générale	01
1. Introduction générale	01
2. Méthodes d'étude et objectif	
Chapitre I : synthèse bibliographique	
1. Les essais géotechniques	03
1.1. Essais au laboratoire	03
1.1.1. Analyse Granulométrique	03
✓ But de l'essai	03
✓ Principe de l'essai	03
1.1.2. Limite d'Atterberg	04
✓ But de l'essai	04
✓ Principe de l'essai	04
1.1.3. Teneur en eau	05
✓ But de l'essai	05
1.1.4. Essais de résistance des sols au cisaillement	05
1.1.4.1. Essai cisaillement direct	05
✓ Présentation de l'essai	05
✓ Principe de l'essai	05
1.1.4.2. Essai triaxial	06
✓ But de l'essai	06
✓ Principe de l'essai	06
1.2. Essais in situ	07
3.2.1. Essai pressiométrique	07
✓ Principe de l'essai	08
1.2.2. Essai de chargement à la plaque	08

✓ But de l'essai	09
✓ Principe de l'essai	09
✓ Conclusion	10
2. Méthode statistique	10
2.1. Définition et domaines d'application de la statistique	10
✓ Exemples d'utilisation de la statistique dans divers domaines	10
2.2. Les statistiques et probabilités en mécanique des sols	11
2.3. Terminologie	11
2.4. Statistique descriptive	12
➤ Analyse à une variable	12
Lois de distributions	13
✓ La loi normale	13
✓ La loi normale centrée-réduite $N(0,1)$	13
✓ La loi de Student ou loi de t	14
✓ La loi du χ^2	14
✓ Loi de Fisher–Snedecor (F)	15
✓ Loi log normale	15
Les tests statistiques	16
1. Test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov	16
✓ Présentation	16
✓ Principe	17
2. Test d'adéquation du khi 2	17
3. Test de Shapiro-Wilk	18
➤ Analyse à deux variables	18
Conclusion	19
Chapitre 02 : description des faciès	
1. Cadre géologique	20
1.1 Situation géographique	20
1.2. Géomorphologie de la région d'Alger	21

1.1.2 Le massif d'Alger	21
1.2.2. Sahel d'Alger	21
1.2.3. La plaine de Mitidja	22
1.2.4. La plaine littorale orientale	22
1.2.5. Le cordon littoral dunaire	22
2. Géologie régionale	24
2.1 Litho stratigraphie	24
2.1.1. Le primaire	24
2.1.2 Le Secondaire	24
2.1.3 Le Tertiaire	25
a. Le Miocène	25
b. Le Pliocène	25
➤ Le Plaisancien	25
➤ L'Astien (P ²)	25
➤ Faciès marno-sableux (P ^{2A})	26
➤ Faciès molassique (P ^{2L})	26
➤ Faciès calcaire ou calcaire-gréseux (P ^{2C})	26
➤ Faciès gréseux et argilo-gréseux (P ^{2G})	27
2.1.4. Quaternaire	28
Le Villafranchien	28
Les terrasses calabriennes	28
Le Pléistocène supérieur (Tyrrhénien)	28
Les dépôts quaternaires récents (Actuels)	29
2. Reportage photographique	30
➤ Quartiers de Ruisseau	31
➤ Quartier de Hydra	32
➤ Quartiers de Ben Aknoun- Bir Khadem	33
➤ Quartiers de ElBiar –Douera	34
➤ Quartier de Saoula	35
➤ Quartier d'ElMadania	36
Conclusion	37
Chapitre 03 : Recensement des données de laboratoire et trie des résultats	
Introduction	38

1. Synthèse géotechnique	38
2. Caractéristique géotechnique de La molasse Astienne	38
2.1 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Hydra	39
Interprétation des résultats	39
▪ Caractéristique physique	39
▪ Caractéristique mécanique	40
▪ Caractéristique chimique	40
▪ Caractéristique pressiométrique	40
2.2 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Bir Mourad Rais, El Mouradia	41
Interprétation des résultats	41
▪ Caractéristique physique	41
▪ Caractéristique mécanique	42
▪ Caractéristique chimique	42
▪ Caractéristique pressiométrique	42
2.3 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Saoula	43
Interprétation des résultats	43
▪ Caractéristique physique	43
▪ Caractéristique mécanique	44
▪ Caractéristique chimique	44
▪ Caractéristique pressiométrique	44
2.4 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers d’Hussein Dey	45
Interprétation des résultats	45
▪ Caractéristique physique	45
▪ Caractéristique mécanique	45
▪ Caractéristique chimique	45
▪ Caractéristique pressiométrique	46
2.5 Caractéristique géotechnique de la molasse de quartier d’El Mouradia	46
Interprétation des résultats	46

▪ Caractéristique physique	46
▪ Caractéristique mécanique	46
▪ Caractéristique chimique	47
▪ Caractéristique pressiométrique	47
2.6 Caractéristique géotechnique de la molasse de quartier de Bir Khadem	47
Interprétation	47
▪ Caractéristique physique	48
▪ Caractéristique mécanique	48
▪ Caractéristique chimique	48
▪ Caractéristique pressiométrique	48
Interprétation	50
Conclusion	50
Chapitre 04 : Etude statistique des données géotechniques	
1. Introduction	52
2. Statistique descriptive des données	52
2.1 Distribution de fréquence, histogramme	52
3. Les tableaux statistiques des caractéristiques mécaniques (C, ω° , Rc)	53
3.1. Représentation graphique du tableau	54
a. Représentation graphique de la cohésion C(Kpa)	54
Interprétation	54
b. Représentation graphique de l'angle de frottement ω°	54
Interprétation	54
c. Représentation graphique la résistance à la compression Rc (bar)	55
Interprétation	55
4. Les tableaux statistique des Caractéristiques physique (γ_h , γ_d , w%,...,wp%)	55
4.1. Représentation graphique des tableaux	57
a. Présentation graphique de poids volumique $\gamma_h(t/m^2)$	57
b. Représentation graphique de poids volumique sec $\gamma_d(t/m^2)$	58
Interprétation	58
c. Représentation graphique teneurs en eaux (W%)	58
Interprétation	58
d. Représentation graphique T(80 μ m)%.	59
Interprétation	59
e. Représentation graphique de la limite de plasticité (Wp%) et la limite de liquidité(Wl%)	59

Interprétation	60
5. Les tableaux statistique des caractéristique Chimique (So ⁴⁻ , CaCo ₃ ; Cl ⁻).	60
5.1. Représentation graphique du tableau	61
a. Représentation graphique de la Teneur SO ₄ ²⁻ (%)	61
b. Représentation graphique de la teneur en carbonates de calciums	61
c. Représentation graphique de la teneur en chlore	62
Interprétation	62
6. les tableaux statistique des Caractéristique pressiométrique (E, Pl, E/Pl)	62
6.1. Représentation graphique du tableau	63
a. Représentation graphique des pressions limites	63
Interprétation	64
b. Représentation graphique module pressiométrique	64
Interprétation	64
c. Représentation graphique de rapport E/Pl	64
Interprétation	64
7. Calcule des paramètres statistiques (la moyenne, la médiane, écart type)	65
7.1. Caractéristiques mécaniques (C, ϕ , Rc)	65
7.2. Caractéristiques physiques ($y_h, y_d, W\%, T(80\mu m), W1\%$, $Wp\%$)	65
7.3. Caractéristiques chimiques (So ⁴⁻ , Caco ₃ ,Cl ⁻)	66
7.4. Caractéristiques présiométriques (E, Pl,E/Pl)	66
8. Corrélations entre paramètres des sols	67
8.1. Introduction	67
8.2. Corrélacion entre essais in-situ	68
8.3. Corrélacion entre essais de laboratoire	69
Conclusion	70
Conclusion générale	71
Référence	

Liste des figures

Chapitre I

Figure.I.1 : principe de l'essai de cisaillement direct	06
Figure.I.2 : schéma de l'appareil triaxial	07
Figure.I.3 : l'essai présumé métrique Ménard	08
Figure.I.4 : Essai de charge sur plaque avec un rouleau packer à pneus de 15-20 tonnes pour contrepoids	09
Figure.I.5 : Autre exemple d'essai de charge	09
Figure.I.7 : courbe de probabilité de la loi normale	13
Figure.I.8 : Table de la loi de student	14
Figure.I.9 : Table de la loi de khi-carré	14
Figure.I.10 : Table de la loi de Fisher-Snedecor (F)	15
Figure.I.11 : courbe de test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov	17

Chapitre II

Figure.II.1 : Position géographique de la région d'Alger	20
Figure. II.2 : Les grands ensembles géomorphologiques de la région d'Alger	23
Figure. II.3 : Carte géologique dressée par A. AYME en 1964	24
Figure. II.4 : Affleurement du Plaisancien d'Alger	25
Figure. II.5 : Mollasse Astienne formée par l'alternance de bancs grésocalcaires avec des niveaux sableux (Balcon de St-Raphaël)	26
Figure. II.6 : Coupe stratigraphique montrant le contact entre le Plaisancien et l'aquifère astien à Al Achour	27

Figure.II.7 : Contact Astien – Plaisancien à Ouled Fayet	27
Figure.II.8 : Recouvrement des marnes plaisanciennes par le Quaternaire à Dely Brahim	28
Figure.II.9 : Stratigraphie Pliocène de la région d'Alger (In Djediat 1996)	29
Figure.II.10 : Falaise mollassique à Bir Mourad Raïs	30
Figure.II.11 : Roche de mollasse à El Mouradia	31
Figure.II.12 : Falaise de Ruisseau	32
Figure.II.13 : photo prise d'un projet à Hydra	33
Figure.II.14 : Photo prise d'un projet à Bir Khadem	34
Figure.II.15 : Falaise mollassique à Ben Aknoun	34
Figure.II.16 : falaise mollassique à El Biar	35
Figure.II.17 : photo prise d'un projet à Douera	35
Figure.II.18 : photo prise d'un projet à saoula	36
Figure.II.19 : Mollasse à EL Madania	36
Chapitre III	
Figure.III.1 : Diagramme de plasticité de Casagrande de la Mollasse, Hydra	40
Figure.III.2 : Diagramme de plasticité de Casagrande de Mollasse, Bir Mourad Raïs	42
Figure.III.3 : Diagramme de plasticité de Casagrande, Mollasse de Saoula	44
Figure.III.4 : Diagramme de plasticité de Casagrande, Mollasse de Bir Khadem	48
Figure.III.5 . Echantillons récupérés après le terrassement d'une plateforme	50

Chapitre IV

Figure.IV.1 : Histogramme des effectifs associé aux intervalles de classe de la cohésion C (kpa)	54
Figure.IV.2 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de l'angle de frottement φ ($^{\circ}$)	54
Figure.IV.3 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Rc (bar)	55
Figure.IV.4 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de y_h (t/m ³)	57
Figure.IV.5 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de γ_d (t/m ³)	58
Figure.IV.6 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (W%)	58
Figure.IV.7 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (T80 μ m)	59
Figure.IV.8 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de W ₁ %	59
Figure.IV.9 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de W _p %	60
Figure.IV.10 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de S _{o4} -%	61
Figure.IV.11 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Caco ₃ %	61
Figure.IV.12 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Cl-%	62
Figure.IV.13 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (PL)	63
Figure.IV.14 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (E)	64
Figure.IV.15 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (E/PL)	64

Liste des tableaux

Chapitre 03

Tableau III.1 : Les paramètres géotechniques étudiés	38
Tableau III.2 : Nombre de rapport géotechnique selon les zones étudiés	38
Tableau III.3 : caractéristique géotechnique de la molasse de Hydra	39
Tableau III.4 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Bir Mourad Raïs	41
Tableau III.5 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Saoula	43
Tableau III.6 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers d'Hussein Dey	45
Tableau III.7 : caractéristique géotechnique de la molasse de quartier d'EL Mouradia	46
Tableau III.8 : caractéristique géotechnique de la molasse de quartier de Bir khadem	47
Tableau III.9 : Tableau comparatif des résultats géotechniques de la mollasse dans chaque zone	49

Chapitre 04

Tableau IV.1 : Détermination des nombres de classe chaque paramètre	52
Tableau IV.2 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes de la cohésion C (Kpa)	53
Tableau IV.3 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de l'angle de frottement ϕ°	53
Tableau IV.4 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de la résistance à la compression Rc (bar)	53
Tableau IV.5 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes du Poids volumique $\gamma_h(t/m^3)$	55
Tableau IV.6 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes du poids volumique sec $\gamma_d(t/m^3)$	56
Tableau IV.7 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes des teneurs en eaux (W%)	56

Tableau IV.8 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de < (80 um) %	56
Tableau IV.9 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de limite de liquidité (Wl%)	57
Tableau IV.10 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de limite de plasticité (Wp%)	57
Tableau IV.11 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de (So4-%)	60
Tableau IV.12 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes (CaCo3%)	60
Tableau IV.13 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes (Cl%)	61
Tableau IV.14 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes Pl	62
Tableau IV.15 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes E	63
Tableau IV.16 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes E/PL	63
Tableau IV.17 : paramètres statistiques des caractéristiques mécaniques (C, ω° , Rc)	65
Tableau IV.18 : paramètres statistiques des caractéristiques physiques ($\gamma_h, \gamma_d, W\%, T_{80}, Wl\%, Wp\%$)	65
Tableau IV.19 : paramètres statistiques des caractéristiques Chimiques (So4-, CaCo3, Cl-)	66
Tableau IV.20 : paramètres statistiques pressiométriques (E, Pl, E/PL)	66
Tableau IV.21 : Corrélations simplifiées proposées entre N, Pl (MPa) et E (MPa) pour les sables	67
Tableau IV.22 : Détermination de PL(MPa) et E(MPa) à partir de N _{spt} pour un sable	68
Tableau IV.23 : Caractéristiques à long terme (C', ϕ') en fonction de pl*	69
Tableau IV.24 : Détermination de C'(KPa) et ϕ' (°) à partir de pl* pour les sables	69
Tableau IV. 25 : Corrélation entre l'essai pressiomètre et l'angle de frottement interne ϕ' et nombre N(SPT)	70

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. Introduction générale

Notre étude traite de la caractérisation physique chimique et mécanique de la molasse astienne sur la base des données géotechniques et des cartes géographiques, aisément compréhensibles et exploitables, les nombreuses informations accumulées lors des reconnaissances auprès des laboratoires, concernant l'affleurement de la molasse astienne dans la région d'Alger.

D'une manière plus large, ce travail constitue une contribution à l'élaboration d'une méthodologie d'analyse des campagnes de reconnaissances géotechniques, en ayant le souci d'identifier, d'évaluer et de prendre en compte la variabilité et les incertitudes des données géotechniques pour permettre une meilleure maîtrise du risque d'origine géotechnique.

Une molasse désigne un ensemble de roches sédimentaires, essentiellement détritiques, et post-orogéniques, s'accumulant dans des bassins d'avant-pays, en périphérie des chaînes de montagnes. Les molasses sont souvent des grès à ciment de calcaire argileux, parfois de couleur verte à cause de la glauconie. Ils incorporent aussi régulièrement d'épais niveaux conglomératiques. Ce sont généralement des roches friables, tendres et perméables formant des reliefs modérés. [1]

La formation mollassique occupe presque toute la banlieue d'Alger (Bir Mourad reis, El-Mouradia, Ben-Aknoun, Hydra, Ruisseau et les environs). La consistance rocheuse lui confère une bonne portance ; cependant cette dernière peut être contrariée par l'instabilité des falaises (écroulements) bordant le plateau astien, due aux instabilités récentes ces dernières années dans la capitale, plusieurs études ont été entamées et réalisées, avec des lacunes de caractérisation.

2. Méthodes d'étude et objectif :

La région d'Alger est constituée essentiellement de terrains métamorphiques, paléozoïques à couverture mio-pliocène et quaternaire. Les premiers affleurent dans le massif de Bouzaréah et se poursuivent jusqu'à la presque l'île de Sidi Fredj, à l'Ouest d'Alger. Ils affleurent également à Bordj el Bahri (Cap Matifou) à l'Est de la baie d'Alger. Plus au sud de ces ensembles cristalloylliens se trouvent un alignement de collines pliocènes formant le Sahel d'Alger. Ce dernier domine vers le sud la plaine alluviale quaternaire de Mitidja.

Nous avons opté pour la méthodologie suivante :

- Une synthèse de données bibliographique (mémoires, thèses, cartes géologiques et topographiques, articles, publications,...)
- Une collection des données auprès des laboratoires que nous avons stockés sous forme de base de données Access.
- Une exploitation des données. - Définition du contexte géologique régional et local en faisant un zoning. - Identification géotechnique et propriétés mécaniques, physiques et chimiques des formations molassiques rencontrées. - Donner la conclusion générale et préconiser des recommandations.

Pour cela notre travail est subdivisé en différentes parties :

Chapitre 1 : Ce chapitre comprend également des essais géotechniques en laboratoire et in situ.

Chapitre 2 : dédie la synthèse bibliographie qui s'inscrit dans le cadre géologique de la région d'Alger ainsi présentera une description détaillés des faciès de cette formation.

Chapitre 3 : Consacré à collecter les données géotechniques pris des rapports de laboratoires consultés sur la molasse de la région d'Alger et interpréter ces résultats.

Chapitre 4 : présentera une étude statistique sur les résultats des données géotechnique qui permet d'estimer les intervalles des paramètres de cisaillement et autres paramètres, selon les zones définies et ainsi que leurs états identifiés.

CHAPITRE I :
SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

1. Les essais géotechniques

Il est indispensable avant tout démarrage de travaux d'avoir une idée des caractéristiques du sol pour collecter les informations nécessaires qui va aider l'ingénieur géotechnicien dans la sélection de type de sol et la détermination des problèmes possible.

L'étude géotechnique des sols basés sur deux types d'essais :

- Essais in situ
- Essais au laboratoire

1.1. Essais au laboratoire

1.1.1. Analyse Granulométrique : L'analyse granulométrique est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des grains constituant le matériau, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des grains à l'état sec en fonction de leur dimension et de les classer en gravier, sable...etc.

But de l'essai : L'analyse granulométrique permet de déterminer la granulométrie, la granularité et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 90mm, à l'exclusion des fillers.

Principe de l'essai : L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus et tamis sont rapportées à la masse initiale du matériau.

Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

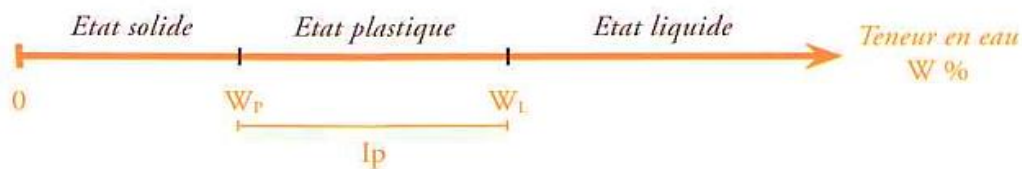
1.1.2. Limite d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

La limite de plasticité et la limite de liquidité sont deux limites d'Atterberg.

-la limite de plasticité représente la teneur en eau au-dessous de laquelle le sol est non plastique et au-dessus de laquelle le sol se comporte comme un matériau plastique.

- la limite de liquidité représente la teneur en eau au-dessous de laquelle le sol se comporte comme un matériau plastique, et au-dessus de laquelle le sol tend à se comporter comme un liquide visqueux.



- ✓ Indice de plasticité IP : différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique, $IP=Wl-Wp$.
- ✓ L'indice de consistance : $Ic=(wl - w_{nat})/(wl - wp)$. Il permet de caractériser la consistance d'un sol

But de l'essai : Le but de ces essais est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide.

Principe de l'essai : L'essai s'effectue en deux phases :

- recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés ;

- recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement se fissure.

1.1.3. Teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

But de l'essai

Le test de la teneur en eau permet la détermination de la quantité d'eau existante dans le sol naturel.

1.1.4. Essais de résistance des sols au cisaillement

Les principaux essais de laboratoire qui permettent de mesurer la résistance des sols au cisaillement sont : l'essai de compression simple, l'essai de cisaillement direct et l'essai triaxial. Ces essais sont les plus classiques dans le domaine de la MDS.

1.1.4.1. Essai cisaillement direct

Présentation de l'essai : Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante. L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C .

Principe de l'essai : Les caractéristiques de résistance au cisaillement d'un sol peuvent être déterminées à partir d'un essai de cisaillement direct.

Un échantillon de sol, contenu dans une boîte, elle-même composée de deux demi-boîtes (pour fixer le plan de cisaillement), est soumis à une contrainte verticale s avant d'être cisailé à vitesse constante. Par conséquent la contrainte de cisaillement s'accroît jusqu'à une valeur maximum que l'on mesure.

En réalisant plusieurs essais, sur un même matériau, avec différentes valeurs de contraintes verticales on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion et d'angle de frottement.

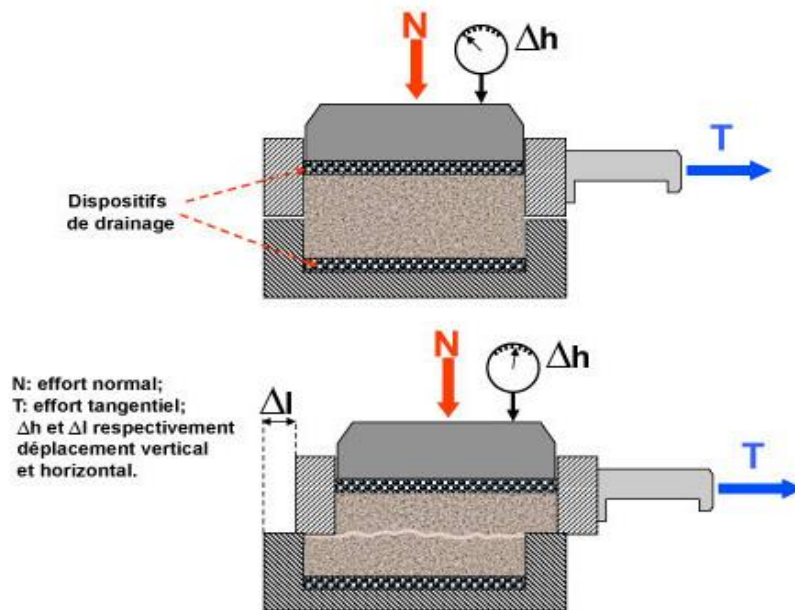


Fig.I.1 : principe de l'essai de cisaillement direct

1.1.4.2. Essai triaxial

L'essai de compression triaxiale permet de mieux accéder aux propriétés mécaniques des matériaux, car il affecte l'état de contraintes in situ. Ce type d'essai permet de contrôler et de mesurer la pression interstitielle, d'appliquer une gamme de pression de confinement (isotrope ou anisotrope) pour consolider initialement l'échantillon à un état prédéfini. Les différents types d'essai réalisables sont :

- essai UU (Unconsolidated-undrained) : essai non consolidé non drainé effectué sur matériau saturé ou non
- essai CU (Consolidated-undrained) : essai consolidé non drainé sur matériau saturé ou non
- essai CU+u (Consolidated-undrained) : essai consolidé non drainé sur matériau saturé avec mesure de la pression interstitielle
- essai CD (Consolidated-drained) : essai consolidé drainé sur matériau saturé

But de l'essai: La détermination de la courbe intrinsèque du sol étudiée afin de calculer la résistance au cisaillement t sous une contrainte normale s et de déduire les caractéristiques mécaniques ϕ (angle de frottement interne) et C (cohésion).

Principe de l'essai : L'essai de compression triaxiale est effectué à l'aide d'une cellule triaxiale en acier inoxydable. Le dispositif doit permettre la mesure de la quantité de fluide drainé afin de contrôler la variation volumétrique, et peut également être équipé d'un capteur de pression pour mesurer la pression interstitielle. L'éprouvette est recouverte d'une membrane imperméable avant d'être montée dans la cellule triaxiale. Une fois l'éprouvette montée, la cellule est remplie du liquide de confinement (de l'eau ou de l'huile hydraulique). Ce dispositif est ensuite placé entre les deux plateaux de la presse et branché

à l'air afin de consolider l'échantillon à la pression de confinement souhaitée. Lorsque la variation volumétrique de l'échantillon est stable, l'échantillon a été consolidé et on applique une charge déviatorique au piston de la cellule triaxiale pour cisailier l'éprouvette jusqu'à la rupture. La Figure représente des courbes d'essais de compression triaxiale d'un remblai cimenté en pâte à deux confinements différents.

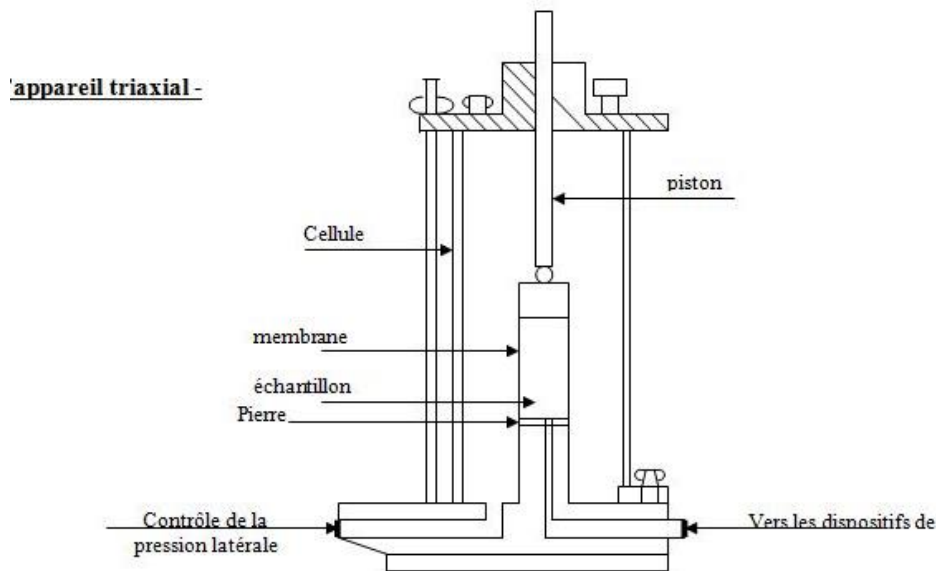


Fig.I.2 : schéma de l'appareil triaxial

1.2. Essais in situ

1.2.1. Essai pressiométrique

Le pressiomètre MÉNARD est un essai de chargement de sol en place, réalisé à l'aide d'une sonde cylindrique dilatable, laquelle est disposée au sein du terrain, dans un forage préalable. Cette sonde, constituée de trois cellules, est gonflée par de l'eau et de l'air comprimé, exerçant ainsi sur la paroi du forage des pressions rigoureusement uniformes. Les déplacements de cette paroi s'accompagnent donc d'une augmentation de volume de la sonde qui est alors lue, pour chacune des pressions, en fonction du temps.

Le pressiomètre représente un type d'essai géotechnique évolué puisqu'il permet d'obtenir une relation entre contrainte (pression appliquée) et déformation (variation du volume d'eau dans la sonde).

Le pressiomètre est constitué de trois éléments principaux :

- ✓ Un contrôleur pression-volume (C.P.V)
- ✓ Une sonde pressiométrique
- ✓ Tubulure de liaison

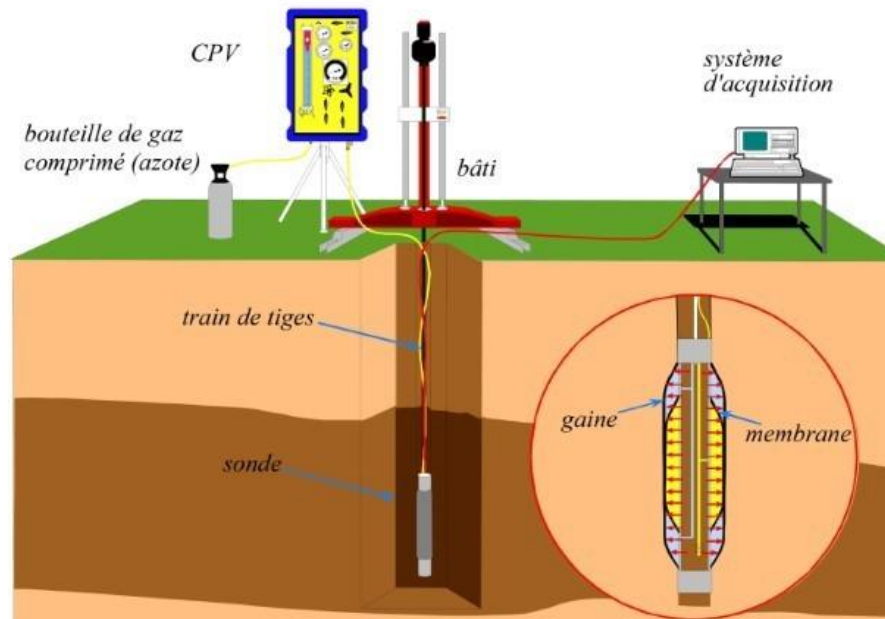


Fig.I.3 : l'essai préσιométrique Ménard

Principe de l'essai : L'essai pressiométrique de type Ménard (norme NF P 94-110) présente de nombreux avantages. En effet, cet essai est praticable dans tous les types de sols et de roches et c'est le seul essai fournissant à la fois un critère de rupture et un critère de déformabilité du sol.

Il s'agit d'un essai de chargement statique du terrain en place effectué grâce à une sonde cylindrique dilatable radialement introduite dans un forage.

L'essai permet d'obtenir une courbe de variation des déformations volumétriques du sol en fonction de la contrainte appliquée, et de définir une relation contrainte-déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane.

1.2.2. Essai de chargement à la plaque

l'essai de charge à la plaque ou essai de charge statique sur plaque ou encore essai à la plaque est un essai visant à déterminer la résistance à la compression et la capacité portante des sols et des matériaux.



Fig.I.4 : Essai de charge sur plaque avec un rouleau packer à pneus de 15-20 tonnes pour contreponds



Fig.I.5 : Autre exemple d'essai de charge

But de l'essai :

- déterminer la capacité de roulement et le règlement ;
- Vérifier la qualité des matériaux et du compactage d'une plate-forme reconstituée (voirie, substitution sous un bâtiment) ;
- Evaluer la déformabilité d'un sol.

Principe de l'essai : Les plates-formes concernées par cet essai, sont les plateformes d'infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires, etc.

Le principe de l'essai est simple. On mesure la déformation du sol non pas à l'endroit où elle se produit (zone de déformation réelle), mais en un point de mesure déporté. Pour cela on utilise une poutre droite articulée qui matérialise une ligne de report de la déformation, et qui pivote autour d'un axe fixe.

Lorsque le dispositif est à vide, c'est à dire que la zone de sol à tester n'est soumise à aucune charge, la ligne de report de déformation est confondue avec la ligne de référence.

C'est normal. Sans charge appliquée sur la plaque, la déformation du sol sous la plaque d'application de charge est nulle, comme le montre le schéma ce dessous.

Conclusion

L'étude géotechnique du site a nécessité une campagne de reconnaissance approfondie, du fait du passage du tracé dans un site urbain très dense d'une part et de répondre aux problèmes géologiques, hydrogéologiques et géotechniques d'autre part.

La réalisation de tous les essais au laboratoire et in situ est une opération dont dépend en grande partie la qualité de l'ouvrage projeté. Sa démarche générale consiste d'abord à caractériser le sol afin de pouvoir proposer des solutions pratiques à la réalisation de l'ouvrage.

Son but est de fournir aux différents intervenants d'un projet des renseignements sur la nature et les propriétés des sols et de formuler des recommandations d'ordre géotechnique qui leur permettra de concevoir et de réaliser l'ouvrage projeté. L'étude géotechnique d'un ouvrage s'exécute en plusieurs étapes enchainées.

2. Méthode statistique

2.1. Définition et domaines d'application de la statistique

La statistique est la science dont l'objet est de recueillir, de traiter et d'analyser des données issues de l'observation de phénomènes aléatoires, c'est-à-dire dans lesquels le hasard intervient. L'analyse des données est utilisée pour décrire les phénomènes étudiés, faire des prévisions et prendre des décisions à leur sujet. En cela, la statistique est un outil essentiel pour la compréhension et la gestion des phénomènes complexes. Les données étudiées peuvent être de toute nature, ce qui rend la statistique utile dans tous les champs disciplinaires et explique pourquoi elle est enseignée dans toutes les filières universitaires, de l'économie à la biologie en passant par la psychologie, et bien sûr les sciences de l'ingénieur.

Exemples d'utilisation de la statistique dans divers domaines

- Economie, assurance, finance : prévisions économétriques, analyse de la consommation des ménages, fixation des primes d'assurance et franchises, études quantitatives de marchés, gestion de portefeuille, évaluation d'actifs financiers, ...

- Biologie, médecine : essais thérapeutiques, épidémiologie, dynamique des populations, analyse du génome, ...
- Sciences de la terre : prévisions météorologiques, exploration pétrolière
- sciences de l'ingénieur : contrôle de qualité, maîtrise statistique des procédés

2.2. Les statistiques et probabilités en mécanique des sols

Depuis une quinzaine d'années on assiste à l'essor d'une nouvelle branche de la mécanique des sols qui s'est fixé pour objectif de traiter quantitativement la variabilité naturelle des sols et toutes les incertitudes affectant, le dimensionnement des ouvrages afin de déterminer la "précision" ou la "fiabilité" des études géotechniques et des projets.

Cette discipline nouvelle utilise différentes techniques statistiques et probabilistes généralement peu connues des spécialistes des sols mais dont l'usage suppose une connaissance détaillée des principes de la mécanique des sols et des méthodes de calcul des ouvrages. L'utilisation de méthodes statistiques atteint les deux objectifs suivants :

- ✓ Caractériser la variabilité naturelle des sols pour l'introduire dans les schémas de calcul Classiques des fondations des ouvrages. Comme il est impossible de déterminer en tout point les propriétés d'un sol sur le site d'un projet, l'ingénieur doit choisir des valeurs (Moyennes par exemple) représentatives de ces propriétés. Le choix de ces valeurs Conditionnant fortement la confiance que l'on peut accorder aux calculs, le premier but a été donc de contrôler la fiabilité des données et d'estimer la précision des résultats
- ✓ Augmenter l'efficacité de la reconnaissance géotechnique. Celle-ci étant budgétairement limitée, il paraît important de l'optimiser en jouant par exemple sur le type, le nombre et la position des sondages.

2.3. Terminologie

Population Une population est une collection d'objets, nombres, mesures ou observations. Une population peut avoir un nombre fini ou infini d'éléments. Une population est décrite par une distribution de ses valeurs et on se réfère, en général, à une population en termes de sa distribution.

Si une population est infinie, il est impossible d'observer toutes ses valeurs et, si elle est finie, l'observation de ses N valeurs est le plus souvent impraticable car peu économique.

Echantillon statistique Comme une population ne peut que rarement être analysée dans son ensemble, on étudie seulement un échantillon statistique représentatif dont la taille est n. Le terme « échantillon » est commun en statistique mais comme il peut être confondu avec l'échantillon de laboratoire, on utilisera, dans ce rapport le terme, « échantillon statistique ».

Distribution La distribution d'un échantillon statistique est la représentation de la fréquence d'occurrence de chacune de ses valeurs. On divise ces valeurs en classes et on donne à chaque classe de valeurs une fréquence, à savoir le nombre de valeurs comprises dans une classe.

2.4. Statistique descriptive

➤ Analyse à une variable

Vocabulaire L'objectif de la statistique descriptive est de décrire de façon synthétique et parlante des données observées pour mieux les analyser.

Les éléments de la population sont appelés les individus ou unités statistiques.

Des observations concernant un thème particulier ont été effectuées sur ces individus. La série de ces observations forme ce que l'on appelle une variable statistique.

Une variable statistique est dite :

- ✓ Quantitative
- ✓ Qualitative

Valeurs centrales

Le mode : correspond à la valeur de la variable pour laquelle l'effectif (ou la fréquence) est le plus grand.

La médiane : pour N observations dont les valeurs z_1, z_2, \dots, z_n sont présentées en ordre croissant, la médiane est le point où l'échantillon se divise en deux parties égales.

La moyenne : elle sert à représenter avec une seule valeur un ensemble de nombre. pour N observations, $z_i, i=1, 2, \dots, N$ on calcule la moyenne arithmétique notée \bar{z}

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (1)$$

La moyenne est la mesure de la tendance centrale. elle est basée sur toutes les valeurs.

Indicateurs de dispersion

L'étendue : L'étendue de la variable quantitative discrète est la différence entre la plus grande et la plus petite des valeurs observées.

La variance : La variance de la variable quantitative X, notée par $\text{Var}(X)$, est, par définition, la moyenne arithmétique des carrés des écarts à la moyenne arithmétique :

$$v(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 \quad (2)$$

L'écart-type : L'écart-type de la variable X, noté par σ_X , est, par définition, la racine carrée de la variance de cette variable

$$\sigma_X = \sqrt{v(x)} \quad (3)$$

Coefficient de variation : le coefficient de variation également nommé écart type relatif, est défini comme le rapport entre l'écart-type σ et la moyenne μ exprimé en pourcentage

$$Cv = (\mu / \sigma) * 100 \quad (4)$$

Lois de distributions

La loi normale La loi normale repose sur l'estimation de deux paramètres de la population statistique : la moyenne μ et l'écart type σ La courbe (appelée "fonction de densité de probabilité") a la formule suivante

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

La probabilité qu'une variable x prenne une valeur plus petite ou plus grande qu'une certaine valeur x_i s'obtient en calculant l'aire sous la courbe :

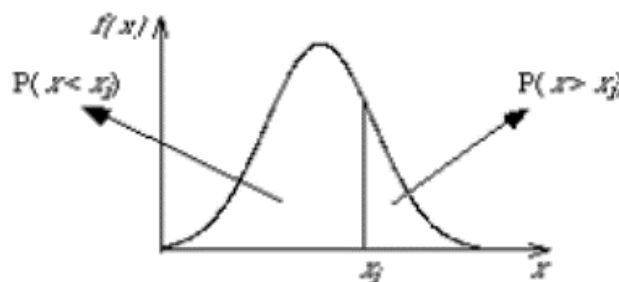


Fig.I.7 : courbe de probabilité de la loi normale

La loi normale centrée-réduite N(0,1)

Il s'agit d'une loi normale pour laquelle toutes les valeurs x_i sont centrées réduites :

$$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (6)$$

La loi de Student ou loi de t La distribution de la variable t est utilisée pour comparer les moyennes de deux échantillons, tester une corrélation linéaire, la pente d'une régression, etc. L'objectif ici sera d'apprendre à utiliser la table de t. Description de la table Les valeurs dans la table sont des valeurs de t et non des surfaces sous la courbe. On note ces valeurs $t(\alpha;v)$. La table ne donne que les valeurs positives car la distribution de t est symétrique.

- Les valeurs de la table sont des limites définies sur l'abscisse de la courbe.
- Les probabilités α ou $\alpha/2$ (= les deux lignes d'en-tête du tableau) sont des surfaces sous la courbe.

La distribution change en fonction du nombre de degrés de liberté v . Lorsque v tend vers l'infini, la courbe de t converge vers une courbe normale centrée réduite. Le seuil α correspond à $P(t > t(\alpha;v))$, c'est-à-dire la probabilité que t égale ou dépasse une certaine valeur critique, définie en fonction du seuil de probabilité et du nombre de degrés de liberté. Attention, le seuil peut être unilatéral ou bilatéral ! Si le seuil est bilatéral, la notation est la suivante : $P(|t| > t(\alpha/2;v))$

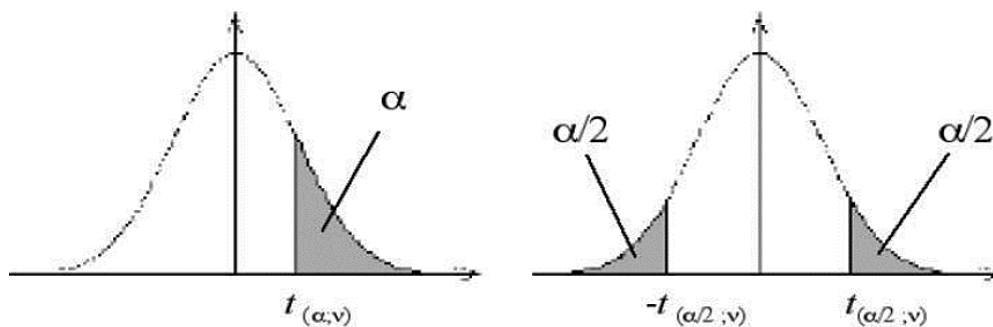


Fig.I.8 : Table de la loi de student

La loi du χ^2 La loi de khi-carré est obtenue en faisant la somme des carrés de plusieurs lois normales

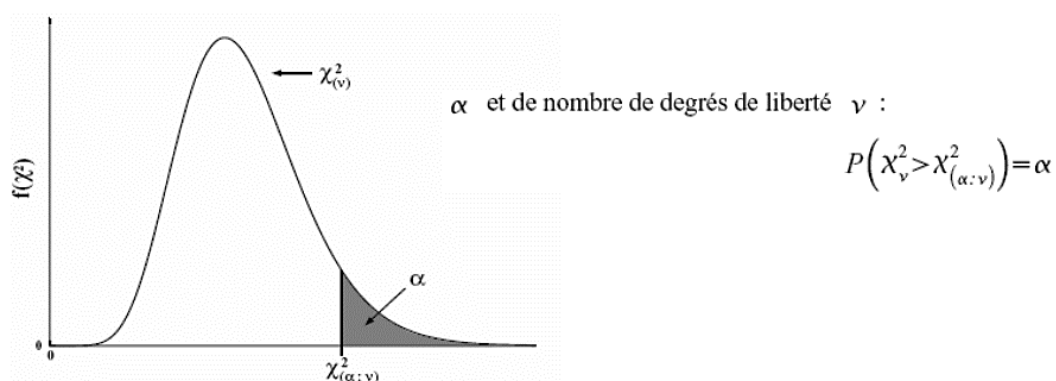


Fig.I.9 : Table de la loi de khi-carré

La probabilité donnée dans la table est donc unilatérale à droite.

Loi de Fisher–Snedecor (F) La loi de F est un rapport de deux lois de χ^2 à v_1 et v_2 degrés de liberté divisées par leur nombre respectif de degrés de liberté

$$F(v_1, v_2) = \frac{\chi_{v_1}^2/v_1}{\chi_{v_2}^2/v_2} \quad (7)$$

La forme de la courbe de densité de probabilité de F change en fonction de v_1 et v_2

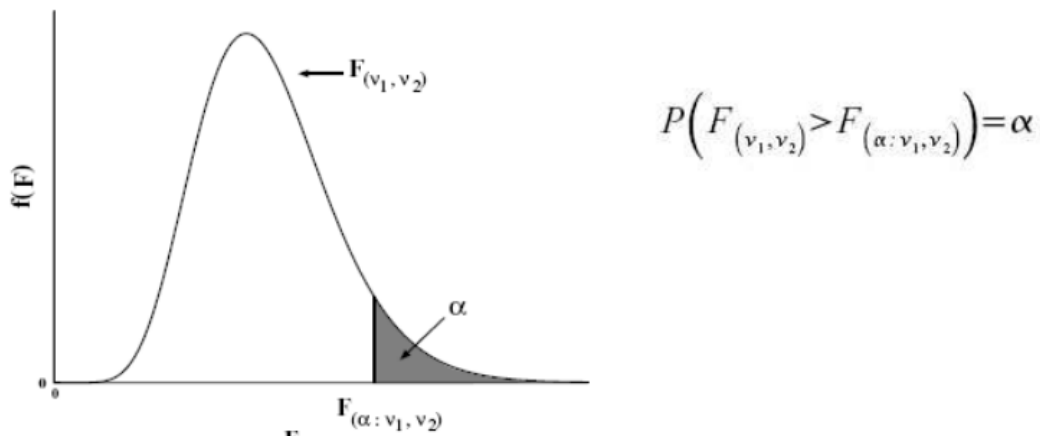


Fig.I.10 : Table de la loi de Fisher–Snedecor (F)

La probabilité donnée dans la table est donc unilatérale à droite.

Loi log normale Une variable aléatoire X suit une loi log-normale quand son logarithme suit une loi normale. C'est-à-dire que : $Y = \ln X$ suit une loi Normale. La fdp s'écrit :

$$f(x) = \frac{1}{x} \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} e^{-0.5 \left(\frac{\ln(x) - \alpha}{\beta} \right)^2} \quad (8)$$

Il y a aussi

- ✓ Loi uniforme,
- ✓ Loi de Bernoulli,
- ✓ Loi binomiale,
- ✓ Loi de poisson,
- ✓ Loi Béta,
- ✓ Loi géométrique,

Les tests statistiques Les tests statistiques sont faits pour assurer une comparaison entre les observations à partir d'une étude statistique et aux valeurs, auxquelles on peut s'attendre d'une hypothèse quelconque. Il existe plusieurs tests entre eux, les tests d'adéquation et comparaison de distributions, qu'on utilisera dans notre étude.

1. Test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov

Présentation Le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) est l'un des tests d'adéquation non paramétriques les plus courants (avec le χ^2 mais ce dernier perd davantage d'information). Il porte le nom du mathématicien russe Andréï Nikoláïevich Kolmogorov qui établit l'axiomatique des probabilités en 1933.

Ce test permet d'estimer si le caractère d'un échantillon est distribué de façon comparable à celui d'un autre ou s'il peut être approximé par une loi de probabilité connue. Notamment, il donne une bonne indication d'ajustement à une loi normale (il est toutefois modifié dans ce cas précis et devient test de Lilliefors). De plus il s'adapte aux échelles ordinales, ce qui légitime son utilisation dans les études de marché. Son principal défaut est de ne pas être très efficace dans les queues de distribution.

Principe Le principe est simple. On mesure l'écart maximum qui existe soit entre une fonction de répartition empirique (donc des fréquences cumulées) et une fonction de répartition théorique, soit entre deux fonctions de répartition empiriques.

Dans le premier cas, soit une fonction de répartition empirique F_n et la fonction de répartition d'une loi de probabilité théorique F .

$$d = \max |F_n(x) - F(x)| \quad (9)$$

Précisons que le test de K-S est indépendant de cette loi théorique : on peut comparer la répartition empirique aussi bien à une loi normale qu'à une loi de Poisson ou autre.

Dans le second cas, nous sommes en présence de deux échantillons A et B. Adaptons la notation :

$$d = \max |F_A(x) - F_B(x)| \quad (10)$$

Soit D la variable aléatoire qui prend la valeur de d .

Sous l'hypothèse H_0 , d tend vers 0. La distribution de D fait l'objet des tables de Kolmogorov, qui prennent en compte l'effectif de l'échantillon et le seuil de risque accepté : il suffit alors de comparer d à la valeur idoine de D dans la table.

Un graphe permet de visualiser ce qui est testé :

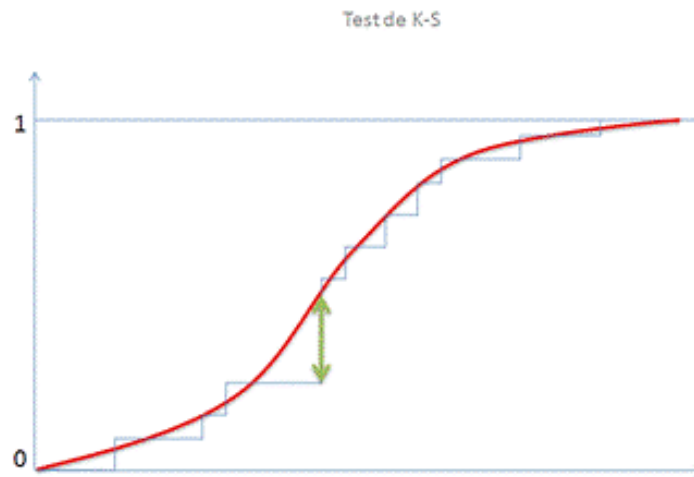


Fig.I.11 : courbe de test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov

La flèche verte mesure l'écart maximum entre les observations (en bleu) et la fonction de répartition rouge considérée comme référence. C'est cette distance D qui est testée.

2. Test d'adéquation du khi 2

La loi de distribution se rapproche de la distribution du χ^2 à $(k-r-1)$ degrés de Liberté, quand la loi théorique est valide. On utilise une statistique de test du Khi2 donnée par :

$$T = \sum_{k=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \quad (11)$$

K : le nombre de classe dans les quelle on a regroupé les n valeurs,

n_i : Nombre d'observation qui tombent dans la $i^{\text{ème}}$ casse,

e_i : Nombre théorique des éléments de la classe i ;

r : Nombre de paramètres qu'il a fallu estimer pour définir la loi tester,

On suppose que la loi de distribution théorique, est la même loi de distribution Réelle de la population.

Le teste par rapport à χ^2_{α} qui est une valeur particulière de T , ou α représente le niveau de signification qui se déroule de la façon suivante :

- ✓ Diviser l'étendue de l'échantillon en K classe, La classe est limitée par les valeurs de variable, et on compte le nombre des observations qui tombent en chaque classe.
- ✓ Calculer les effectifs e_i des classes pour la loi testée ;

$$e_i = n. [g(x) - g(x_i - 1)] \quad (12)$$

$g(x)$, est une fonction de répartition

- ✓ Calculer T_1 ,
- ✓ Chercher dans une table des valeurs de χ^2_α correspondant au nombre de degré de liberté $(k-r)$, puis fixer une valeur du niveau de signification α qui est liée à χ^2_α et dire si la loi testée est valide ($T_1 \leq \chi^2_\alpha$).

3. Test de Shapiro-Wilk

Est basé sur l'étude du rapport du carré d'une certaine combinaison linéaire des étendues incomplètes à la somme des carrés des écarts à la moyenne des n observations. La statistique utilisée est :

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

a_i ; Constantes données par :

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{E^T V^{-1}}{(E^T V^{-1} E)^{\frac{1}{2}}}$$

Les coefficients a_i étant donnés en fonction de n par une table, on dispose d'autre part d'une autre table donnant, en fonction de n , quelques fractiles usuels de la distribution de W . On trouvera en annexe un extrait de ces tables.

➤ Analyse à deux variables

Covariance Etant donné deux variables aléatoires z_1 et z_2 , leurs écarts conjoints par rapport à leurs espérances respectives peuvent être exprimés par $C_{1,2}$

$$C_{1,2} = \frac{1}{N} \sum_i^N \{(z_1 - \bar{z}_1)(z_2 - \bar{z}_2)\} \quad (14)$$

Où \bar{z}_1 et \bar{z}_2 sont les moyennes des deux variables.

La covariance est une mesure du degré d'association linéaire entre deux variables aléatoires.

Corrélation Traduit par le coefficient de corrélation (r) qui représente une mesure du rapprochement des valeurs observées, par rapport à une ligne droite.

En d'autres termes, le coefficient de corrélation (r) fournit une mesure de relation linéaire entre deux variables.

Le coefficient de corrélation est obtenu à partir de la covariance :

$$r = \frac{C_{1,2}}{S_1 S_2} \quad (15)$$

S_1, S_2 sont les écarts types des deux variables z_1 et z_2

Régression linéaire C'est une relation linéaire entre deux variables X et Y, elle nous permet de prédire l'une si l'autre variable est connue. Cette relation s'écrit :

$$Y = aX + b$$

Avec $a = r \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}$ Et $b = r\mu_Y - a\mu_X$

Conclusion

Actuellement, le choix des valeurs des caractéristiques géotechniques est relativement subjectif. Il n'en Cette communication présente quelques méthodes statistiques simples qui conduisent à une évaluation rationnelle de ces caractéristiques et qui prennent en compte les incertitudes et la dispersion des mesures grâce aux notions d'intervalles de confiance pour les caractéristiques indépendantes, et d'ellipses de confiance pour les caractéristiques liées. Est plus ainsi si l'on soumet les résultats des mesures à une analyse statistique.

L'étude de l'homogénéité d'un site par la méthode d'analyse de la variance ou par des méthodes moins sophistiquées utilisant un test d'hypothèse paramétrique double, basé sur la comparaison de deux moyennes empiriques.

Depuis longtemps, dans la grande majorité des cas, les données d'une reconnaissance géotechnique sont traitées par l'ingénieur de façon plus ou moins subjective. Grâce à l'outil statistique, il devient possible, sans faire appel à une mathématique sophistiquée qui pourrait être dissuasive, de conférer à ces choix techniques une certaine objectivité, qui assure la sécurité sans pour autant empiéter sur le jugement et sur l'expérience de l'homme. Nous ne pouvons donc qu'exhorter les ingénieurs géotechniciens à utiliser systématiquement ces méthodes, qui conduisent à une meilleure appréciation des propriétés d'un sol mais qui permettent également de juger de la qualité d'une expérimentation.

CHAPITRE II :
DESCRIPTION DES FACIÈS

1. Cadre géologique

1.1 Situation géographique

La région étudiée (Fig 1.1) dans le cadre de cette thèse est située dans la partie centro-orientale de la Mitidja, et est centrée sur l'Algérois. L'Algérois est une région soumise à des aléas naturels très destructeurs tels que les inondations et coulées de boue (Bab el Oued, le 11 novembre 2001), les glissements de terrain (Telemly et El Achour) et les séismes, dont le dernier en date est celui de Boumerdès en 2003.

La wilaya d'Alger est limitée par la mer Méditerranée au Nord, la Wilaya de Blida au Sud, la Wilaya de Tipaza à l'Ouest et la Wilaya de Boumerdes à l'Est. Elle est comprise entre la coordonnée géographique $36^{\circ} 43' 00''$ et $36^{\circ} 47' 00''$ de l'altitude nord, de $3^{\circ} 00' 00''$ et $3^{\circ} 05' 00''$ de longitude est [2]. Le relief se caractérise par trois zones longitudinales : Le Sahel, le littoral et la Mitidja.

Dans ce mémoire le périmètre d'étude concerne les zones d'affleurements du faciès molassique au niveau de la ville d'Alger ; le plateau molassique est limité au nord par le massif de Bouzéreah, la plaine littorale orientale, par le Sahel marneux à l'ouest, par la Mitidja au Sud et à l'Est.

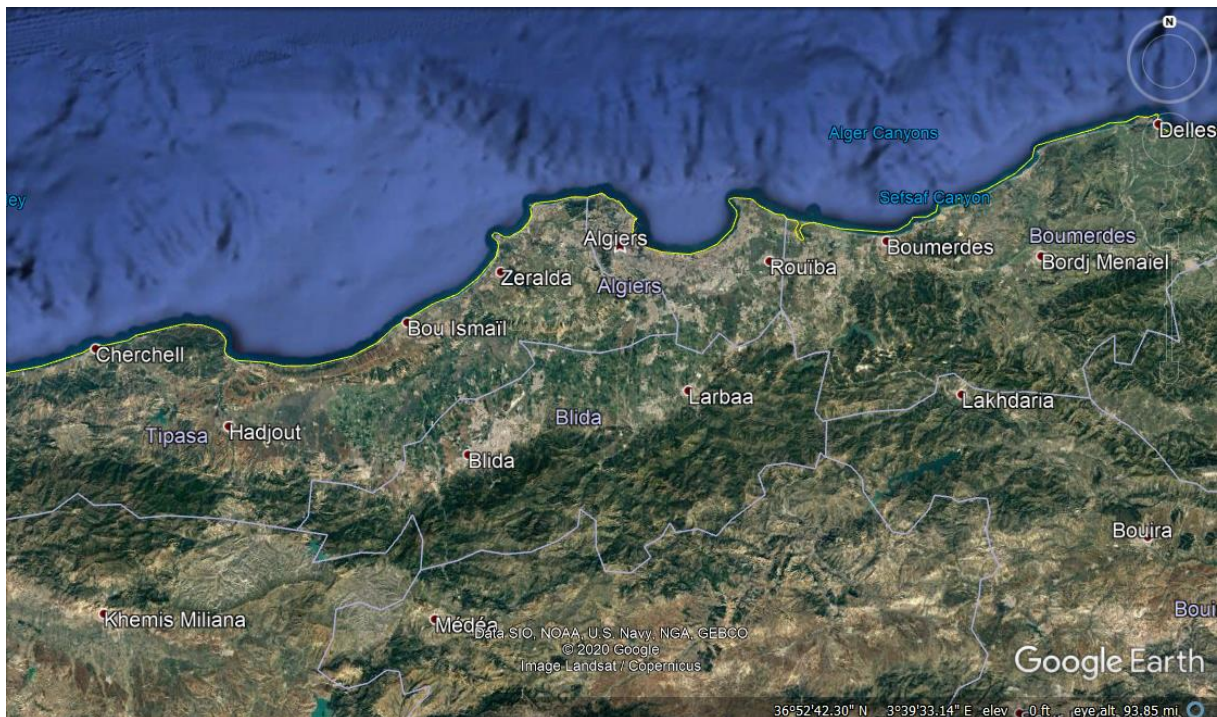


Fig.II.1 : Position géographique de la région d'Alger

1.2. Géomorphologie de la région d'Alger

Les caractéristiques géomorphologiques de la région d'Alger sont le résultat d'une histoire géologique longue et complexe du Paléozoïque à nos jours. Sa topographie actuelle résulte de l'événement hercynien, de l'orogénèse alpine et des différentes contraintes atmosphériques. Globalement, la région d'Alger peut être subdivisée en cinq grands ensembles morphologiques, qui sont :

- Le massif de BOUZAREAH ou le massif d'Alger,
- Sahel d'Alger,
- La plaine de Mitidja,
- La plaine littorale orientale,
- Le cordon littoral dunaire.

1.1.2 Le massif d'Alger

Appelé massif de BOUZAREAH ou le massif d'Alger, orienté Est-Ouest ; est bordé par la mer méditerranéenne au Nord et à l'Est et par le bassin de Mitidja au Sud, il forme un chaînon allongé sur 20Km de longueur et 6 Km de largeur, dont le plus haut sommet culmine à 407m d'altitude (BOUZAREAH). Il est caractérisé par une topographie accidentée avec de profonds thalwegs à pentes raides. Les piémonts Nord et Est du massif forment la côte déchiquetée entre Ain Benian et le port d'Alger.

1.2.2. Sahel d'Alger

C'est un bombement anticlinal dont l'altitude moyenne est 260m. Il est constitué par tous les petits reliefs qui s'étendent entre le massif d'Alger au Nord et les rives d'oued El Harrach et de l'oued Mazafran au Sud. Subdivisé en trois parties principales :

- **Le sahel marneux** : Constitué essentiellement de marnes Plais anciennes, caractérisé par des pentes douces ravinées typique des terrains peu perméables.
- **Le plateau mollassique** : On le retrouve à El-Biar, Ben-Aknoun, Hydra, El-Mouradia, Bir-mourad-Rais et le quartier de premier Mai. Limité par de grandes falaises calcarénitiques et grésos-sableuses comme celles du Hamma et d'El-Biar.
- **Les piémonts sud de sahel** : Constitués de dépôts argilo-caillouteux du comblement de la Mitidja, et offrent des pentes assez raides témoignant de leur faible probabilité. Cette dernière a des versants caillouteux jusqu'aux embouchures des oueds.

1.2.3. La plaine de Mitidja

La plaine de la Mitidja, allongée d'Est en Ouest, a la même direction que le Sahel d'Alger. Elle est inclinée vers le Nord, et a environ 120 km de longueur maximale et 20 km de largeur, depuis la cluse du Mazafran jusqu'au piedmont tellien. Elle est limitée par le Sahel au Nord et le massif atlasique de Blida au Sud. Cette cuvette pleine est formée d'un synclinal post-astien orienté WSW-ENE rempli de formations récentes d'âge quaternaire, constituées de sables, argiles, graviers et limons.

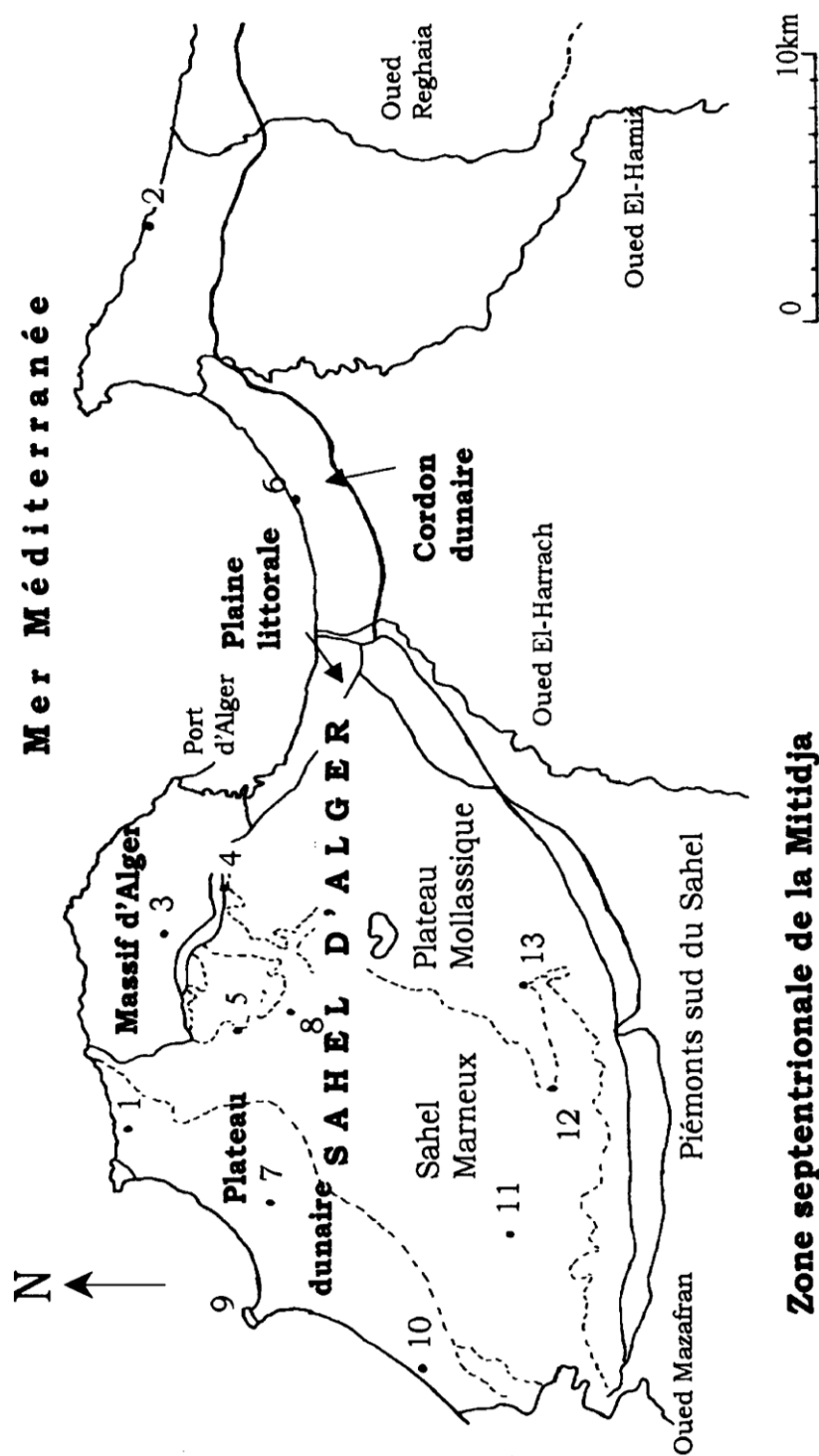
1.2.4. La plaine littorale orientale

Elle est limitée au Nord-Est par la mer, au Sud-Est par l'oued El Harrach, au Nord-Ouest par le quartier de premier Mai et au Sud-Ouest par la corniche mollassique du Hamma. Elle est formée d'alluvions récentes constituées essentiellement de sable et graviers son altitude varie entre 2m et 15m.

1.2.5. Le cordon littoral dunaire

On le retrouve à l'Est, entre la rive droite de l'oued El Harrach et Bordj El Kiffan où il constitue une barrière sablo-gréseuse entre la mer et les zones basses de la Mitidja. A l'Ouest, il se développe entre Ain Benian et Zéralda, avec une topographie étagée et où il constitue les piémonts du sahel marneux.

Les ensembles géomorphologiques décrits sont représentés sur la carte suivante :



Zone septentrionale de la Mitidja

1 - Ain Benian	6 - Bordj El Kiffan	11 - Mahelma
2 - Bordj El Bahri	7 - Staoueli	12 - Douéra
3 - Bouzareah	8 - Dely Brahim	13 - Crescia
4 - El Biar	9 - Sidi Ferruch	
5 - Chéraga	10 - Zéralda	

Fig. II.2 : Les grands ensembles géomorphologiques de la région d'Alger [3]

2. Géologie régionale

La région d'Alger est constituée par socle métamorphique primaire entouré par des terrains sédimentaires tertiaires et quaternaire. Le secondaire et la base du tertiaire ne sont pas connus.

2.1 Litho stratigraphie :

D'après la carte géologique dressée par A. AYME (en Fig3), la région d'Alger est formée de terrains primaires surmontés par une couverture Mio-Plio-Quaternaire.

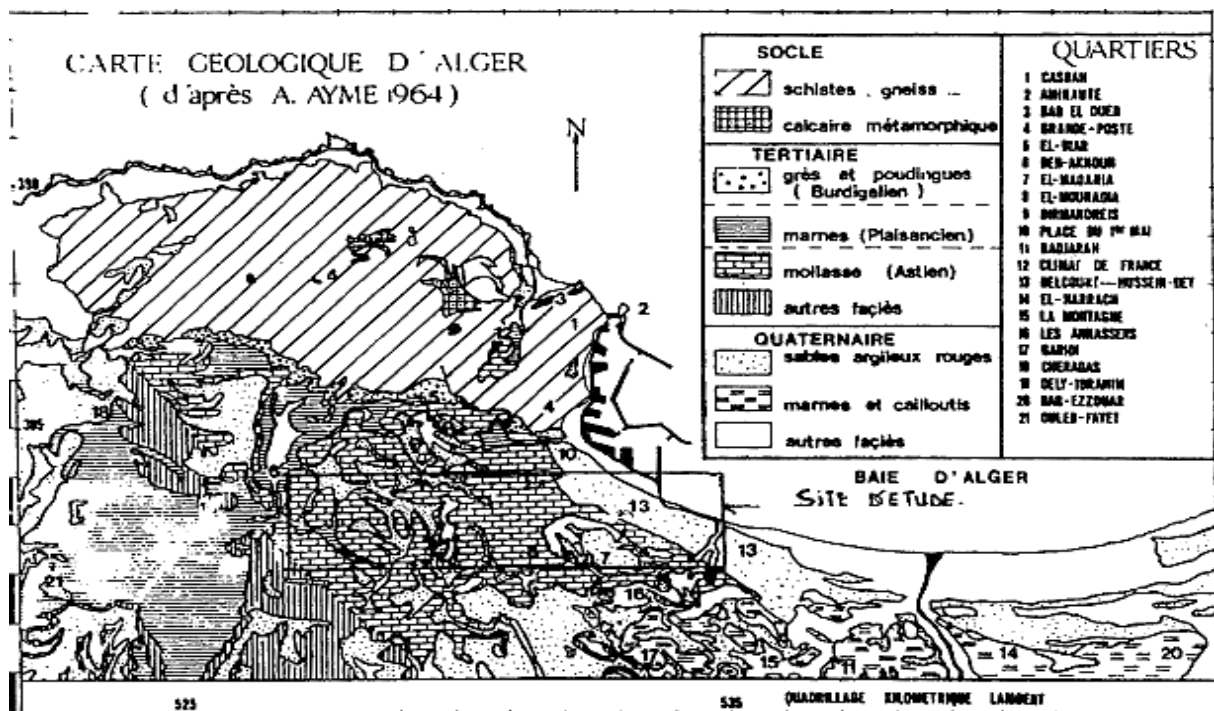


Fig. II.3 : Carte géologique dressée par A. AYME en 1964

2.1.1. Le primaire

Le primaire ou les terrains métamorphiques d'âge controversé (Paléozoïque ou plus ancien) constituent le massif de Bouzéreah. Ils sont représentés par des gneiss, schistes, micaschistes et calcaires cristallins. L'obtention des gneiss et des schistes, ainsi que la schistosité et la fissuration de ces derniers causent sur des pentes fortes des problèmes d'instabilité (exemple : Fort l'Empereur à El-Biar).

2.1.2 Le Secondaire

Les terrains secondaires n'affleurent pas dans la région d'Alger, mais ils sont connus ou affleurent plus au Sud sur la bordure de la Mitidja (Atlas Blidéen et Chenoua), où ils sont représentés par des roches sédimentaires (Calcaire, Marno-Calcaire, etc..) d'âge essentiellement mésozoïque.

2.1.3 Le Tertiaire

Ces terrains recouvrent en discordance les faciès métamorphiques. Une lacune stratigraphique de l'Eocène et de l'Oligocène a été mise en évidence dans la région d'Alger. Les terrains tertiaires sont représentés par des formations post nappe Mio-Pliocènes.

- a- **Le Miocène** : Il est formé par des dépôts littoraux débutant par des conglomérats et se terminant par des Grès. Le Miocène affleure essentiellement sur la bordure Sud-Est de la Mitidja.
- b- **Le Pliocène** : Il repose en discordance sur l'Helvétien supérieur, il est bien développé dans le Sud de la Mitidja, on reconnaît deux subdivisions dans le Pliocène :

Le Plaisancien (P¹) Les formations Plaisanciennes sont formées principalement de marnes bleues au sommet desquelles s'intercalent localement des bancs de Grès faiblement Glauconieux. Ces marnes Plaisanciennes sont de couleur bleue à cassure conchoïdale lorsqu'elles sont saines et de couleur jaune ocre, gris verdâtre, friables à cassure conchoïdale lorsqu'elles sont altérées. La macrofaune est rare, tandis que la microfaune est riche en foraminifères. Le Plaisancien peut atteindre une puissance de 200m dans le Sahel et au Nord de la Mitidja, celle-ci diminue rapidement vers le Sud à proximité de l'Atlas Blidéen.

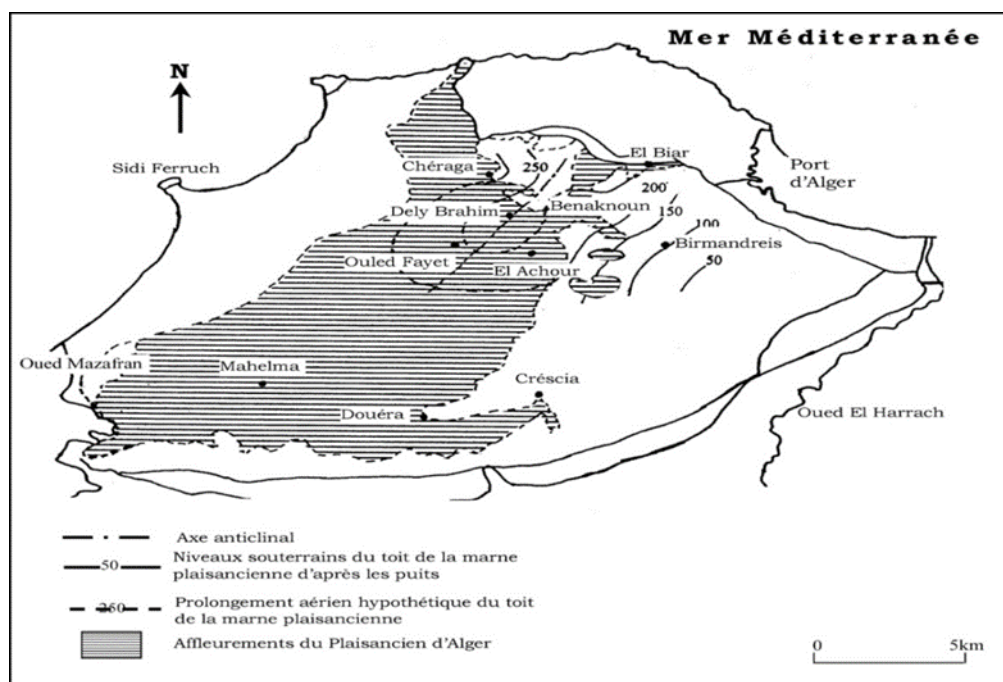


Fig. II.4 : Affleurement du Plaisancien d'Alger

L'Astien (P²) L'apparition de la glauconie constitue, pour la région Algéroise, un critère stratigraphique pour la subdivision du Pliocène. Contrairement au Plaisancien assez homogène, l'Astien est caractérisé par plusieurs faciès d'affinité littorale :

Chapitre II : Description de faciès

- ✓ **Faciès marno-sableux (P^{2A})** En surface, ces terrains sont de couleur jaune brunâtre et gris cendre en profondeur. Le sable fin l'emporte sur la marne avec une alternance de bancs de Grès décimétriques. On note une abondance de fossiles (Lamellibranches). A El-Achour, son épaisseur est d'environ 30m.
- ✓ **Faciès molassique (P^{2L})** Elle se distingue par des hautes falaises de couleur ocre, pouvant atteindre 50m. Le passage des marnes Plaisanciennes à la molasse astienne (Oued Kerma) est marqué par un niveau marno-sableux (P^{2A}) brunâtre renfermant des débris de fossiles témoignant d'un milieu de sédimentation de haute énergie (Brachiopodes "Térébratule") et se poursuit par une alternance de bancs calcaires fins et de lits sablo-marneux.

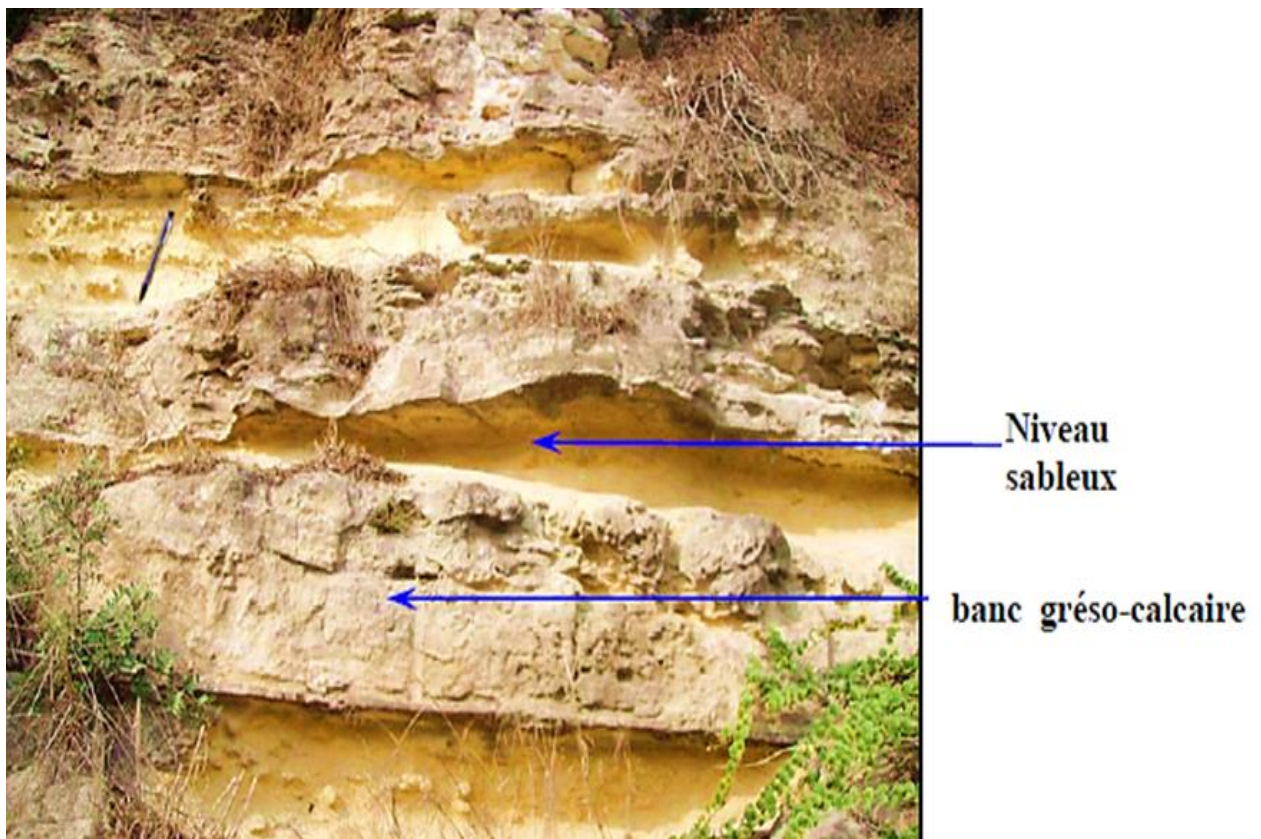


Fig. II.5 : Mollasse Astienne formée par l'alternance de bancs grésocalcaires avec des niveaux sableux (Balcon de St-Raphaël)

- ✓ **Faciès calcaire ou calcairo-gréseux (P^{2C})** Il est représenté par des bancs calcaires plus ou moins gréseux, avec des lits sableux, argileux, surmontant le faciès marno-sableux (P^{2A}) à El-Achour. Ce faciès renferme quelques fossiles tels que les Lamellibranches.

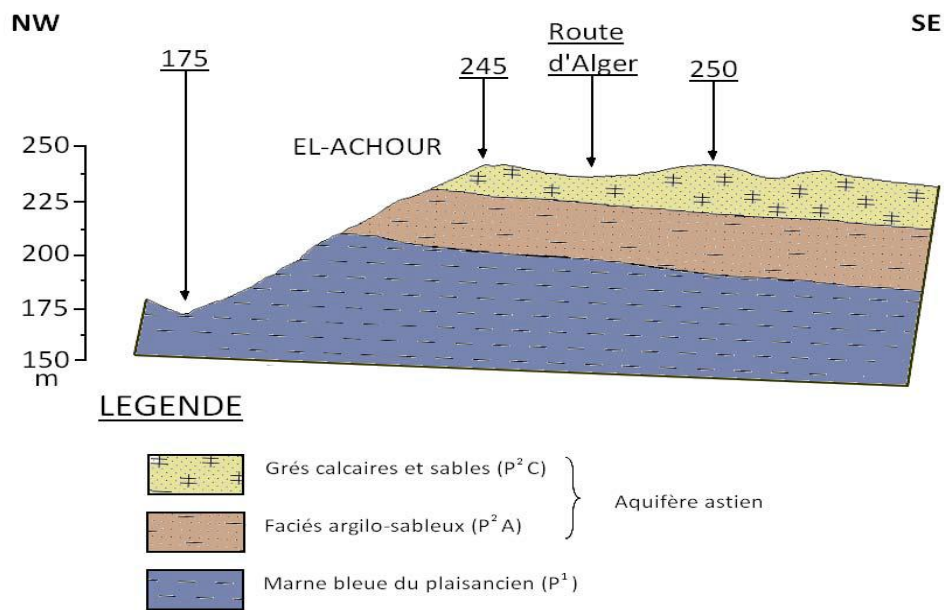


Fig. II.6 : Coupe stratigraphique montrant le contact entre le Plaisancien et l'aquifère astien à Al Achour

✓ **Faciès gréseux et argilo-gréseux (P²G)** Il est présent à Chéraga et au Sud-Est de Ouled-Fayet. Surmontant les marnes Plaisanciennes, il se présente sous forme de grès durs ou en plaquettes (Fig. I.7) avec des argiles fossilifères (Pecten et Pétoncles). L'Astien se termine par un dépôt détritifique qui marque une phase transgressive.

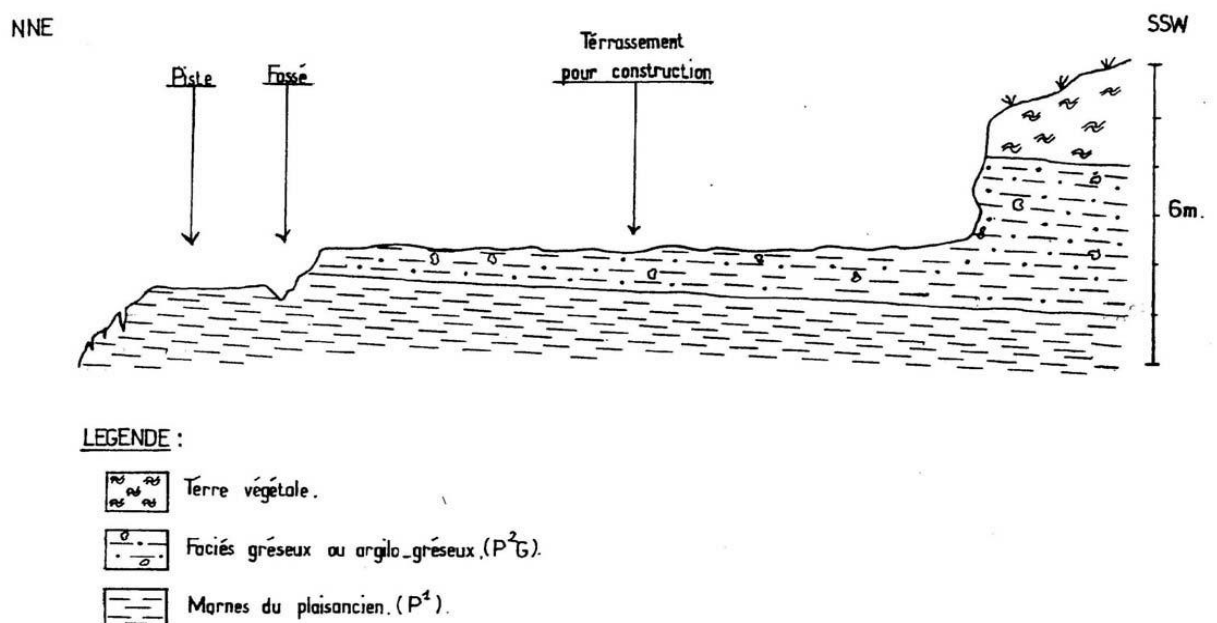


Fig.II.7 : Contact Astien – Plaisancien à Ouled Fayet

2.1.4. Quaternaire

Elles sont représentées essentiellement par des terrasses marines, des sables rouges et des alluvions récentes. Après la sédimentation de l'Astien, l'érosion de l'Atlas Tellien et du massif d'Alger a entraîné les dépôts du Quaternaire dans les zones basses et dans le littoral marin. Cette formation affleure aussi dans le piémont Sud du Sahel, et elle englobe de nombreux faciès.

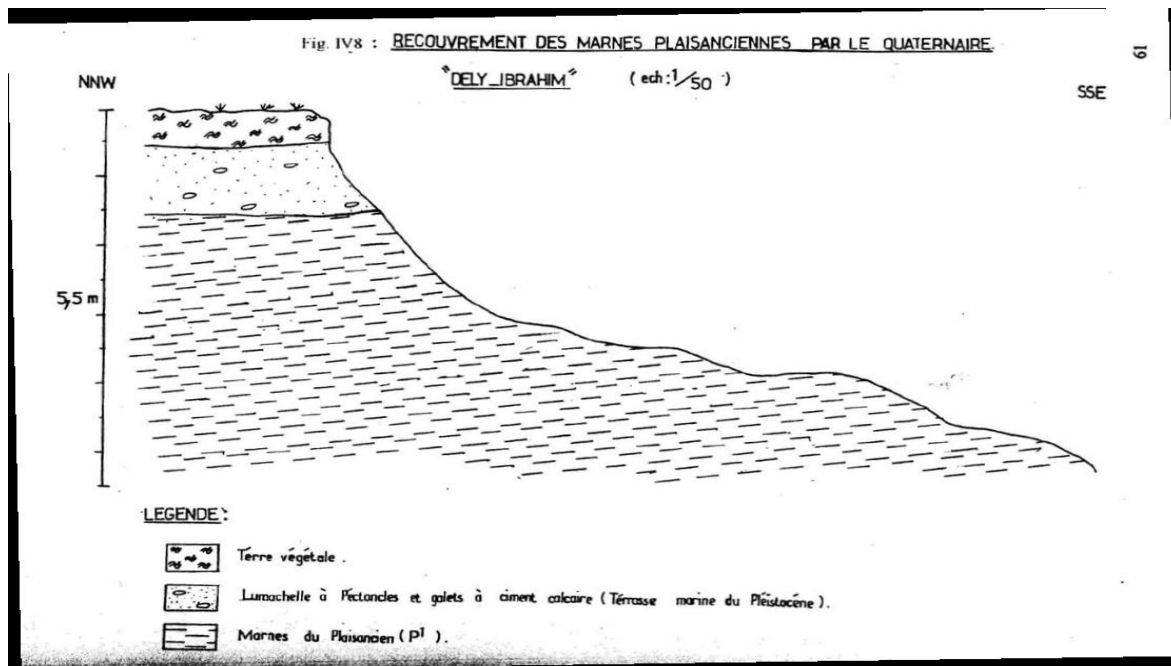


Fig.II.8 : Recouvrement des marnes plaisanciennes par le Quaternaire à Dely Brahim

Le Villafranchien

Il est formé de sable argileux rouge (Aymé, 1964) provenant de la décalcification des poudingues marins, des dépôts d'argiles vaseux, des tourbes argileuses développées dans la bordure septentrionale de la Mitidja que l'on trouve aussi de part et d'autre de l'oued Beni Messous. Ces formations sont particulières tant du point de vue sédimentologie que paléogéographique, les vases et les tourbes témoignant d'un climat froid et humide (septentrional).

Les terrasses calabriennes

Ce sont des dépôts de plage formés de sables, de conglomérats et de microconglomérats à ciment calcaire. Ces terrasses ont été retrouvées au niveau du massif de Bouzaréah à une altitude de 320 m.

Le Pléistocène supérieur (Tyrrhénien)

Il est réparti sur le littoral algérois, et dans le Sahel sous forme de terrasses marines étagées, dans lesquelles on trouve, en général, de bas en haut, des dépôts dunaires lapidifiés (dépôt lacustre au plateau de Ain Benien), semi lapidifiés, puis consolidés lors de la phase de régression.

Les dépôts quaternaires récents (Actuels)

- **Sols rouges** Ce sont des sables argileux provenant de l'altération de faciès grésa-carbonatés (Mollasse).
- **Marnes et cailloutis de maison carrée** C'est une série lagune-fluviale qui comble en partie le Synclinorium Mitidjien. Elle serait d'âge sicilien.
- **Terrasses Calabriennes** Ce sont des dépôts de plage formés de sables, de conglomérats et de microconglomérats à ciment calcaire. Ces terrasses ont été retrouvées au niveau du massif de Bouzaréah à une altitude de 320m.
- **Dépôts vaseux, argileux et tourbeux** Ces dépôts sont très développés dans la bordure septentrionale de la Mitidja.

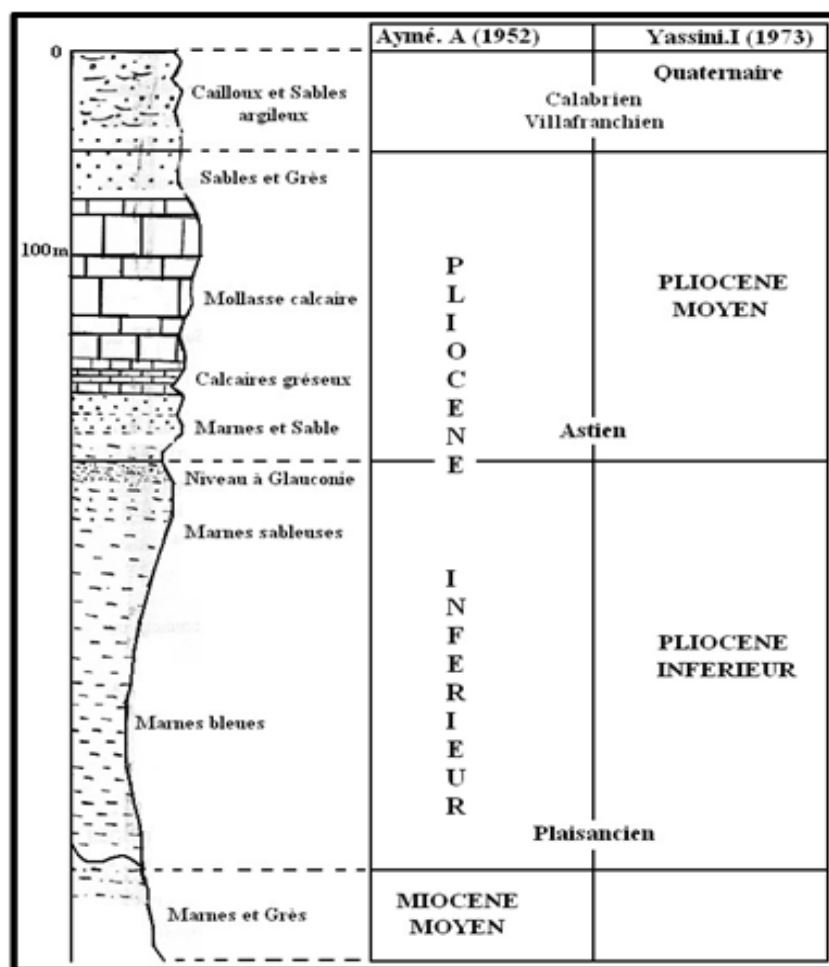


Fig.II.9 : Stratigraphie Pliocène de la région d'Alger (In Djediat 1996)

3. Reportage photographique

La formation mollassique possède une grande extension dans la région d'Alger, plusieurs quartiers sont édifiés : Bir Mourad Raïs, El-Mouradia, Ben-Aknoun, Hydra, Ruisseau, El Biar.

La stabilité des falaises est étudiée essentiellement sur la base de l'observation géologique : structure, lithologie, géomorphologie. Pour cela et à partir des cartes géologiques d'Alger [20] [21] [22] nous avons visitées les zones d'affleurement de la mollasse astienne dans la région d'Alger.

Première sortie sur terrain ; à Bir Mourad Raïs et El Mouradia , voilà des photos prises sur des falaises et des blocs mollassiques rencontrés :



Fig.II.10 : Falaise mollassique à Bir Mourad Raïs



Fig.II.11 : Roche de mollasse à El Mouradia

Dans cette région la mollasse est caractérisée par :

- Alternance serrée de bancs durs discontinus de grès calcaires et de lits sableux
- Les bancs grès-calcaires et les lits sableux sont fins à grossiers et fossilifères
- En général, le sable est dominant, cependant on peut trouver par endroit des successions de bancs de grès-calcaires séparés par des joints sableux.
- Des passées marneuses très fossilifères s'intercalent quelquefois dans les niveaux sableux sur une grande extension

➤ **Quartier de Ruisseau**

Il est caractérisé par :

- Une alternance irrégulière de bancs de grès-calcaire centimétriques à métriques (2m) et de niveaux sableux décimétriques.
- La taille des grains varie du fin au grossier.
- Une succession de bancs très consolidés séparés par des joints sableux.
- Une variation lithologique nette sur les 10 derniers mètres de la mollasse, représentée de bas en haut par :
 - Un dépôt argileux consolidé qui témoigne d'un dépôt de marée,

- Une alternance de niveaux sablo-limoneux, parfois consolidés, avec des niveaux argileux et galets de l'Atlas.



Fig.II.12 : Falaise de Ruisseau

Remarque

A l'intérieur de cette variation, la présence de surfaces de ravinement, l'existence de récurrences mollassiques ainsi que l'abondance de galets, témoignent d'oscillations du niveau de la mer dans la partie sommitale de la mollasse, annonçant ainsi le remblaiement à la fin de l'Astien.

➤ Quartier de Hydra

Il est caractérisé par

- Alternance serrée de bancs durs discontinus de grès calcaires et de lits sableux.
- les bancs grèsocalcaires et les lits sableux sont fins à grossiers et fossilifères (lithotamniurn, Pecten, Ostréa, Gastéropodes, Lamellibranches, Polypiers, Bryozoaires).



Fig.II.13 : photo prise d'un projet à Hydra

Remarque

On rencontre à Hydra des bancs durs épais (1m) présentant des cavités karstiques à remplissage limoneux rougeâtre.

✓ Quartiers de Ben Aknoun- Bir Khadem

Cette région est caractérisée par :

- Une alternance lâche de bancs calcaires fins et de lits sablo-marneux.
- La taille des grains devient généralement grossière vers le sommet.

Dans cette région, la mollasse se distingue par les particularités suivantes :

- prédominance de lits tendres décimétriques à métriques pouvant être sable-marneux ou sableux fins, qui tiennent admirablement à la verticale en raison de l'abondance de débris de Lithotarnium (algues rouges) qui ont un pouvoir de cimentation des éléments disparates.
- abondance de galets de socle (quartz, micaschistes)
- richesse en Lithotarnium pouvant former à eux seuls des bancs récifaux
- existence de cavités karstiques
- rareté des structures sédimentaires de type slumps.



Fig.II.14 : Photo prise d'un projet à Bir Khadem



Fig.II.15 : Falaise mollassique à Ben Aknoun

Remarque

La hauteur de falaise mollassique dans cette région n'excède pas les 30m de hauteur.

✓ **Quartiers de ElBiar -Douera**

- alternance serrée de bancs durs et tendre de grès calcaires et de lits sableux.
- La taille des grains varie du fin au grossier.
- des passages marneux décimétriques s'intercalent des fois avec les niveaux sableux.
- niveaux sableux de couleur blanchâtre dominat cette mollasse.



Fig.II.16 : falaie mollassique à El Biar



Fig.II.17 : photo prise d'un projet à Douera

✓ **Quartier de Saoula**

- Une alternance assez régulière de bancs calcaires fins et de lits sablo-marneux.
- les bancs grèsocalcaires et les lits sableux sont fossilifères



Fig.II.18 : photo prise d'un projet à saoula

✓ **Quartier d'EL Madania**

- Une alternance irrégulière de bancs de grès-calcaire centimétriques à métriques et de niveaux sableux décimétriques.
- des passages marneux s'intercalent des fois avec les niveaux sableux.



Fig.II.19 : Mollasse à EL Madania.

Conclusion

L'aspect et la texture de la molasse changent avec le temps, la molasse d'Alger composé globalement de calcaire gréseux de couleur beige avec des alternances de niveau durs et de niveau sableux grésifié et de calcaire construit à microfossile, de couleur beige avec des alternances de niveau durs et de niveau sableux grésifié. On remarque aussi qu'il y a une gradation de couleur dans les falaises molassiques du jaune au beige, au rouge, parfois on trouve une touche de gris.

La formation mollassique se présente le plus souvent en alternance des bancs grés calcaire ou calcaire, durs ou tendre (Friable) avec des lit sableux et des passages marneux, Mais surtout la lithologie se diffère d'une zone à l'autre.

La richesse de la mollasse en structures sédimentaires révèle le caractère énergétique du milieu de dépôt.

CHAPITRE III :
RECENSEMENT DES
DONNÉES DE
LABORATOIRE ET TRIE
DES RÉSULTATS

Introduction

1. Synthèse géotechnique

La caractérisation physique, mécanique et chimique de l'état initial du sol est faite dans le but de déterminer l'état de la terre avant l'établissement d'une nouvelle activité industrielle. Les informations recueillies permettent à l'entrepreneur du projet de déterminer l'état du terrain avant de modifier les impacts potentiels de son projet.

Tableau III.1 : Les paramètres géotechniques étudiés

Les essais	Physique	Mécanique	Chimique	Pressiométrique
Les paramètres Géotechniques	_ $T(80)\mu\text{m}$ _ (γ_d, γ_h, W) _ (WL, WP)	_ (C, ϕ) _ (Rc)	_ So4 _ Caco3 _ Cl	_ E1 _ P1 _ E/P1

C'est dans le but d'étudier la stabilité des talus et falaises mollassiques soumis aux excavations et autre travaux engendrés par les projets dont le nombre augmente d'années en année. Pour ce travail de recherche, nous avons obtenu la possibilité de consulter les archives des laboratoires suivantes :

- ❖ LCTP (Laboratoire Nationale des Travaux Publics), Hussein Dey, Alger
- ❖ ESCTP (Etablissement de suivi et Contrôles des Travaux Public),
- ❖ LMTPB (laboratoire de la Mitidja des Travaux Publics et Bâtiments), Baba Hassen, Alger ;
- ❖ Soil Tech Engineering, Reghaia, Alger;

2. Caractéristique géotechnique de La mollasse Astienne

Tableau III.2 : Nombre de rapport géotechnique selon les zones étudiés

Zones / Quartiers	Hydra	Birkhadem	Saoula	Douéra	Hussein Dey	El Mouradia Bir mourad rais
Nombre de rapports géotechnique	07	06	02	01	01	11

La ou les synthèses des caractéristiques de la formation en question sont présentés dans ce qui suit, travail qui été entamé par le travail de messieurs LAMRI Seddik et AICHAOUI Oussama, lors de leurs mémoires de fin d'étude année 2019 [4].

2.1 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Hydra

Tableau III.3 : caractéristique géotechnique de la molasse de Hydra

	Paramètre mesuré	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristique physique	Granulométrie	T(80µm)	38	71	54.5
	Densité sèche	$\gamma_d(t/m^3)$	1.63	1.76	1.69
	Densité humide	$\gamma_h(t/m^3)$	1,93	2.08	2.01
	Teneur en eau	$\omega\%$	17	19	18
	Limites d'atterberg	$\omega_l\%$	32.12	49.8	41
		$\omega_p\%$	19.1	21.5	20.1
Caractéristique mécanique	Cohésion	$C_u(Kpa)$	15	24	19
	Angle de frottement	ϕ_u	11.68	14.98	13.33
	Résistance a la compression simple	$R_c(bar)$	-	-	-
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	-	-	-
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	-	-	88,0603
	Teneur en chlore	Cl-	-	-	0,3835
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E (bar)	394	1690	1042
	Pression limite	Pl (bar)	11,88	30,05	20.97
	Rapport E/PL	E/PL	22	72	47

➤ **Interprétation des résultats**

▪ **Caractéristique physique**

Ces teneurs en eau restent inférieures aux limites d'Atterberg. La densité sèche (γ_d) varie de 1.63 à 1.76 t/m³ et la densité humide (γ_h) varie de 1,93 à 2.08 t/m³, ce qui confère à un état moyennement dense à dense.

Les courbes granulométriques nous permettent de constater que le D_{max} des grains est inférieur à 20 mm et que le pourcentage des particules inférieures à 80 µm varie de 38 à 71 %, ceci indique que le sol analysé est fin. Les points représentatifs sur l'abaque de Casagrande varient du domaine des argiles peu plastique aux limons très plastique.

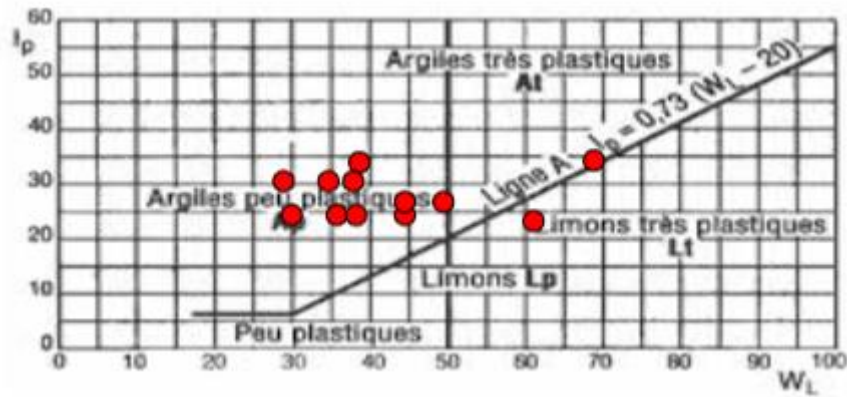


Fig.III.1 : Diagramme de plasticité de Casagrande de la Mollasse, Hydra

▪ **Caractéristique mécanique**

L'angle de frottement ϕ_u varie de $11,68^\circ$ à $14,98^\circ$.

Le coefficient de gonflement C_g varie entre 0,74 et 0,90 % ce qui permet d'attribuer un sol n'est pas gonflent.

L'analyse et l'interprétation des essais in situ montrent que les couches de sols rencontrés présentent des caractéristiques mécaniques relativement bonnes en profondeur.

▪ **Caractéristique chimique**

- Selon la norme NA 778 de 2010 relatif à la norme NFT 18-011 Juin 2009 le sol est faiblement agressif.
- Selon la norme NF ISO 14688-2, les sols analysés sont faiblement organique
- Selon la norme XP P 94-011 (Aout 1999), les sols analysés sont fortement calcaire.

▪ **Caractéristique pressiométrique**

Les valeurs de pression limite (Pl) enregistrées systématiquement chaque 2 m ; varient entre 22 et 56bars. Le rapport (E/Pl) dénote ainsi dans l'ensemble un sol normalement consolidé a surconsolidé faisant partie de la CatégorieIII.

2.2 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Bir Mourad Raïs, El Mouradia

Tableau III.4 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Bir Mourad Raïs

	Paramètre mesuré	désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristique physique	Granulométrie	T(80 μ m)	38.00	41.50	39.8
	Densité sèche	$\gamma_d(t/m^3)$	-	-	01.64
	Densité humide	$\gamma_h(t/m^3)$	-	-	02.00
	Teneur en eau	$\omega\%$	-	-	21.97
	Limites d'atterberg	$\omega_l\%$	-	-	34.27
		$\omega_p\%$	-	-	18.59
Caractéristique Mécanique	Cohésion	C(Kpa)	-	-	-
	Angle de frottement	ϕ°	-	-	30
	Résistance à la compression simple	Rc(bar)	95	522	370
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	-	-	-
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	-	-	21.55
	Teneur en chlore	Cl-	-	-	0.41
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E(bar)	196	23280	11738
	Pression limite	Pl(bar)	7.1	67.8	37.5
	Rapport E/PL	E/PL	12.2	285	148.6

➤ **Interprétation des résultats**

▪ **Caractéristique physique**

Notons que la nature des différentes couches de sols (principalement de nature sableuse) traversées n'a pas permis de récupérer suffisamment d'échantillons intacts paraffinés.

La densité sèche (γ_d) est de 01.64 t/m^3 et la densité humide (γ_h) est de 02.00 t/m^3 , ce qui confère à un état sol dense non saturé. Les courbes granulométriques nous permettent de constater que le sol analysé étalé va des graviers aux limons.

Les limites d'atterberg (limite de liquidité W_l) sont Les points représentatifs sur l'abaque de Casagrande varient du domaine des limons argileux peu plastique aux argiles peu plastique.

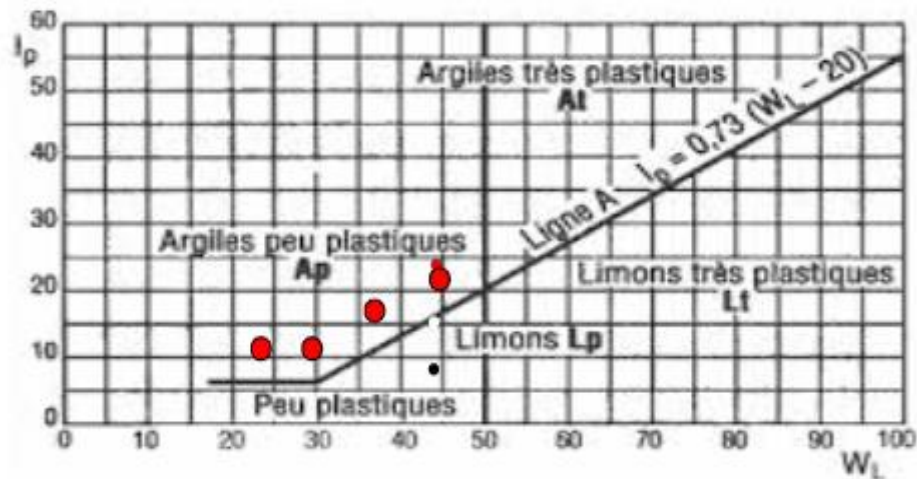


Fig.III.2 : Diagramme de plasticité de Casagrande de Mollasse, Bir Mourad Raïs

▪ Caractéristique mécanique

Les résultats de mesure de la résistance à la compression sur roche ont révélé que le massif rocheux présente des résistances variables en fonction de la profondeur, avec des résistances relativement faible en profondeur.

Les résultats de l'essai de compressibilité à l'œdomètre montrent que le Sol sur consolidé, peu gonflant, moyennement compressible.

Globalement, le massif rocheux présente de bonnes résistances.

▪ Caractéristique chimique

Avec une teneur de carbonate de calcium CaCO_3 de 21.55%, Les résultats de l'essai chimique effectué sur le sondage carotté SC 01 (profondeur 05.70 – 06.00 m) atteste au sens de la norme NF P 18-011 que le sol est non agressif, vis-à-vis des bétons en infrastructures, ce qui n'impose pas de mesures particulières sauf que le béton doit être fabriqué suivant les règles de l'art et les exigences en vigueur.

▪ Caractéristique pressiométrique

Les résultats des sondages pressiométriques notés PR-01 et PR-02 ont permis d'identifier la succession et les caractéristiques mécaniques des différentes couches traversées.

Les résultats des essais pressiométriques montrent des caractéristiques mécaniques de sol relativement faible en surface jusqu'à la profondeur 04.50 m qui correspondent à la couche du limon argileux légèrement marneux, de couleur rouge ocre, et de bonnes caractéristiques mécaniques en profondeur (à partir de la profondeur de 04.50 m) qui correspondent à la couche de molasse d'Alger.

2.3 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Saoula

Tableau III.5 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers de Saoula

	Paramètre mesuré	désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristique physique	Paramètre mesuré	<T (80µm)	71.28	81.21	76.5
	Granulométrie	$\gamma_d(t/m^3)$	1.62	1.66	1.64
	Densité sèche	$\gamma_h(t/m^3)$	2.01	2.02	2.0
	Densité humide	$\omega\%$	20.75	24.31	22.53
	Teneur en eau	$\omega_l\%$	31.22	35.37	33.29
	Limites d'atterberg	$\omega_p\%$	17.13	18.43	17.8
Caractéristique mécanique	Cohésion	C (Kpa)	30	111	71
	Angle de frottement	ϕ°	4.28	23.25	13.77
	Résistance à la compression simple	Rc(bar)	-	-	-
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	-	-	-
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	17.24	25.86	21.55
	Teneur en chlore	Cl-	0.41	0.29	0.35
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E(bar)	-	-	-
	Pression limite	Pl(bar)	-	-	-
	Rapport E/PL	E/PL	-	-	-

➤ **Interprétation des résultats**

▪ **Caractéristique physique**

On remarque une granulométrie étalé va desLimon argileux auxArgile limoneuse. Les limites d'atterberg sont Les points représentatifs sur l'abaque de Casagrande varient du domaine des limons peu plastique aux argiles peu plastiques.

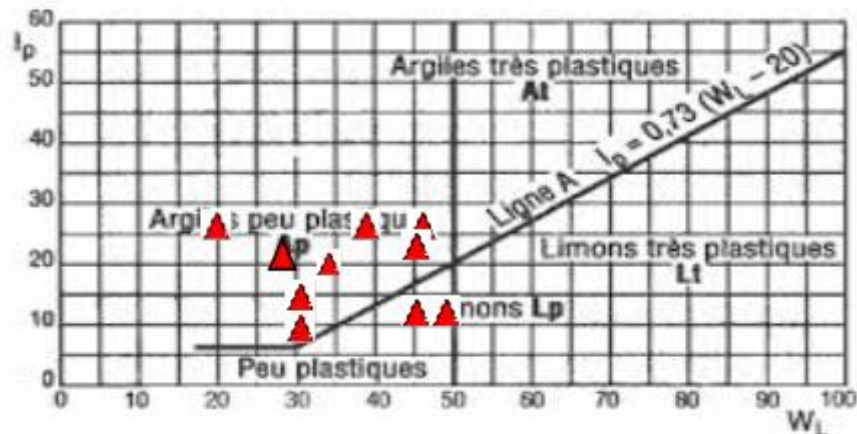


Fig.III.3 : Diagramme de plasticité de Casagrande, Mollasse de Saoula

▪ **Caractéristique mécanique**

L'angle de frottement compris entre 4.28° et 23.25° et les valeurs de cohésion qui atteint 111Kpa.

▪ **Caractéristique chimique**

Sur deux échantillons testés nous avons les résultats de l'analyse chimique suivants :

- Les sulfates ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se présentent en traces,
- le taux des chlorures (NaCl) est de 0,29 et 0,41 %.
- le taux des carbonates (CaCO_3) il est de 17.24% et 25.86%.
- le taux d'anhydride carbonique(CO_2) est de 7.59% et 11.38%.

Ces résultats nous permettent de conclure que le sol n'est pas agressif vis-à-vis du béton conformément à la Norme Française P 18-11.

▪ **Caractéristique pressiométrique**

L'essai pressiométrique n'est pas réalisé.

2.4 Caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers d’Hussein Dey

Tableau III.6 : caractéristique géotechnique de la molasse des quartiers d’Hussein Dey

	Paramètre mesuré	désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristiques physiques	Granulométrie	<T(80µm)	53.67	73.30	63.4
	Pois volumique sèche	$\gamma_d(t/m^3)$	1.67	1.75	1.70
	Poid volumique humide	$\gamma_h(t/m^3)$	2.07	2.07	2.07
	Teneur en eau	$\omega\%$	17.97	23.73	20.9
	Limites d'atterberg	$\omega_l\%$	37.97	65.06	51.50
		$\omega_p\%$	23.46	28.31	25.90
Caractéristique mécanique	Cohésion	C(Kpa)	41.19	45.11	43.15
	Angle de frottement	ϕ°	11.17	33.46	22.31
	Résistance a la compression simple	Rc(bar)	–	–	–
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	–	–	–
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	–	–	4.31
	Teneur en chlore	Cl-	–	–	0.53
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E(bar)	–	–	–
	Pression limite	Pl(bar)	–	–	–
	Rapport E/PL	E/PL	–	–	–

➤ **Interprétation des résultats**

▪ **Caractéristique physique**

Des densités sèches en état moyenne compris entre 1.67 et 1.75 t/m^3 dépend du degré de cimentation et la porosité. On remarque aussi une granulométrie étalé va des graviers aux limons.

Les limites d’atterberg sont Les points représentatifs sur l’abaque de Casagrande varient du domaine des argiles très plastique aux limons peu plastiques.

▪ **Caractéristique mécanique**

L'angle de frottement atteint 33.46° et valeur de cohésion qui atteint 45.11 Kpa.

▪ **Caractéristique chimique**

Les résultats de l’analyse du sol montrent que le sol étudié est non agressif avec une teneur de carbonate de calcium entre (Caco3=>4.31).

- **Caractéristique pressiométrique**
Pas de données pressiométrique.

2.5. Caractéristique géotechnique de la molasse de quartier d'EL Mouradia

Tableau III.7 : caractéristique géotechnique de la molasse de quartier d'ELMouradia

	Paramètre mesuré	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristique physique	Granulométrie	<T(80µm)	–	–	–
	Pois volumique sèche	$\gamma_d(t/m^3)$	1.56	2.26	1.91
	Poid volumique humide	$\gamma_h(t/m^3)$	1.86	2.01	1.94
	Teneur en eau	$\omega\%$	20.67	22.07	21.37
	Limites d'atterberg	$\omega_l\%$	–	–	–
$\omega_p\%$		–	–	–	
Caractéristique mécanique	Cohésion	C(Kpa)	46	54	50
	Angle de frottement	ϕ°	26.29	27.43	26.86
	Résistance a la compression simple	Rc(bar)	2.5	89.8	46.15
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	0.01	0.02	0.015
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	69.33	75.63	72.48
	Teneur en chlore	Cl-	–	–	–
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E(bar)	18.1	2000	1009.05
	Pression limite	Pl(bar)	2.54	54.4	28.47
	Rapport E/PL	E/PL	6.63	41.6	24.12

➤ **Interprétation des résultats**

- **Caractéristique physique**

La densité sèche (γ_d) est de 01.91 t/m^3 et la densité humide (γ_h) est de 1.94 t/m^3 , ce qui confère à un état sol non saturé.

La teneur en eau compris entre 20.67% et 22.07%.

- **Caractéristique mécanique**

L'angle de frottement atteint les 27.43° et valeur de cohésion qui atteint 54 Kpa, pour la résistance à la compression simple on marque une dispersion dans ces valeurs obtenues pour les essais mécaniques montrent que cette formation possède une bonne résistance.

▪ **Caractéristique chimique**

Ces résultats traduisent une agressivité faible pour le béton hydraulique durci de l'infrastructure, avec un taux de sulfates compris entre $0.01\% < SO_4 < 0.02\%$ et teneur en carbonate de calcium entre $69.33 < CaCO_3 < 75.63$.

▪ **Caractéristique pressiométrique**

Le module pressiométrique E compris entre 18.1 et 2000bar, Les pressions limites compris entre 2.54 bar jusqu'à 54.4 bar et E/PI compris entre 6.63 et 41.6.

Les résultats d'essai pressiométrique (E,PI,E/PI) obtenus correspond à des sols consolidés moyennement compact à compact et roches altérées fragmentées.

2.6. Caractéristique géotechnique de la molasse de quartier de Bir Khadem

Tableau III.8 : caractéristique géotechnique de la molasse de quartier de Bir khadem

	Paramètre mesuré	Désignation	Valeur min	Valeur max	Valeur moy
Caractéristique physique	Granulométrie	<T(80µm)	26.96	50.67	38.82
	Pois volumique sèche	$\gamma_d(t/m^3)$	1.71	1.82	1.77
	Poid volumique humide	$\gamma_h(t/m^3)$	1.93	2.05	2.00
	Teneur en eau	$\omega\%$	12.66	16.40	14.53
	Limites d'atterberg	$\omega_l\%$	27.32	37.05	32.19
$\omega_p\%$		14.71	18.17	16.44	
Caractéristique mécanique	Cohésion	C(Kpa)	10.79	78.45	44.13
	Angle de frottement	ϕ°	20.76	39.15	26.86
	Résistance a la compression simple	Rc(bar)	-	-	-
Caractéristique chimique	Teneur en Sulfate	So4-	-	-	-
	Teneur en carbonate de calcium	Caco3	63.79	73.28	68.54
	Teneur en chlore	Cl-	0.41	0.58	0.50
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	Module pressiométrique	E(bar)	-	-	-
	Pression limite	PI(bar)	-	-	-
	Rapport E/PL	E/PL	-	-	-

➤ Interprétation des résultats

• Caractéristique physique

On remarque une granulométrie étalé va des sols grenus aux sols fins. La densité sèche (γ_d) est de 1.77 t/m^3 et la densité humide (γ_h) est de 2.00 t/m^3 , ce qui confère à un état sol dense non saturé.

La teneur en eau compris entre 12.66% et 16.40%.

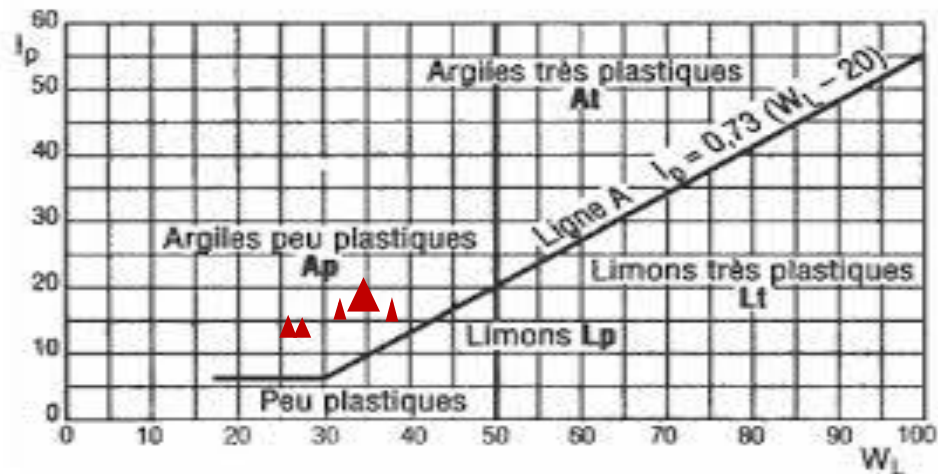


Fig.III.4 : Diagramme de plasticité de Casagrande, Mollasse de Bir Khadem

• Caractéristique mécanique

L'angle de frottement atteint les 39.15° et valeur de cohésion qui atteint 78.45 Kpa .

• Caractéristique chimique

Les résultats de l'analyse du sol montrent que le sol étudié est non agressif avec une teneur de carbonate de calcium entre ($63.79 < Caco_3 < 73.28$) et la teneur en chlore entre ($0.41 < cl < 0.58$).

• Caractéristique préssiométrique

Pas d'essai préssiométrique.

Tableau III.9 : Tableau comparatif des résultats géotechniques de la mollasse dans chaque zone

Zones / Quartiers	Hydra	Bir mourad rais	Saoula	Hussein Dey	Bir khadem	EL Mouradia
Physique	-un état moyennement dense à dense - La courbe granulométrie montre que le sol analysé est l'argile. -Argile peu plastique au limon très plastique.	- Sol moyennement dense. - granulométrie étalé va des graviers aux limons. - Limons argileux peu plastique aux argiles peu plastiques.	-densités sèches en état moyenne. - granulométrie étalé va desLimon argileux auxArgile limoneuse. - limons peu plastique aux argiles peu plastiques.	- Sol moyennement dense. - granulométrie étalé va des graviers aux limons. - argiles très plastique aux limons peu plastiques.	-Sol dense et non saturé. - courbe granulométrimontre que le sol analysé étalé de sol grenu au sol fin. - sol peu plastique.	Sol moyennement dense
Mécanique	formation possède une bonne résistance	formation possède une bonne résistance	formation possède une bonne résistance	formation possède une bonne résistance	formation possède une bonne résistance	formation possède une bonne résistance
Chimique	Faiblement agressif	la classe d'agressivités A0	la classe d'agressivités A0	la classe d'agressivités A0	la classe d'agressivités A0	Agressivité faible.
Pressiométrique	normalement consolidé à surconsolidé faisant partie de la Catégorie III.	Sol sur consolidé, moyennement compressible.	–	–	–	sols consolidés moyennement compact à compact

Interprétation

L'analyse de ses caractéristiques nous permis de déduire que :

- La granulométrie est variable et confirme bien l'hétérogénéité observée sur le terrain
- Les sols analysés présentent une granulométrie étalée qui permet un meilleur réarrangement des grains et donc une meilleure compacité.
- La formation mollassique possède une bonne résistance donc la qualité de fondation est meilleure.
- l'analyse chimique du sol montre que l'ensemble des échantillons testés se situent dans la classe d'agressivités A0), cette classe caractérise un environnement non agressif vis-à-vis des bétons en infrastructures.



Fig.III.5. Echantillons récupérés après le terrassement d'une plateforme

Conclusion

L'analyse physique, mécanique et chimique réalisés sur les formations géologique montre que :

- La molasse astienne présente une assise de très bonne portance vu ses bonnes caractéristiques mécaniques.
- L'hétérogénéité (faciès sableux, gréseux, calcaires) observée au sein de la mollasse est à l'origine de la dispersion des caractéristiques physico-mécaniques obtenues.
- ces terrains possèdent une assez grande étendue, leur épaisseur est variable (de quelques centimètres à 25m à Ben Aknoun). La mollasse forme une entité très homogène aussi bien latéralement que verticalement du point de vue géologique et géotechnique.
- Les plus faibles valeurs des essais pressiométriques peuvent correspondre à l'existence de microfissures dans la roche.
- Vu les bonnes caractéristiques mécaniques qu'elle offre, la mollasse offre des possibilités d'aménagement sous-terrains : parking, locaux commerciaux, aires de stockage, sous réserve d'études géotechniques précises.
- La variabilité des résultats en laboratoire montre et prouve qu'il est difficile pour les laboratoires locaux trouvent une difficulté à réaliser les essais convenablement.

D'une manière générale, l'assise mollassique est un très bon terrain de fondation. Le seul problème pouvant affecter le comportement géotechnique de la mollasse réside dans l'instabilité de ses falaises abruptes, où l'action anthropique ainsi que les ébranlements sismiques sont des facteurs aggravants.

***CHAPITRE IV : ETUDE
STATISTIQUE DES DONNÉES
GÉOTECHNIQUES***

1. Introduction :

Les paramètres géotechniques mesurés in situ et en laboratoire présentent une dispersion dans l'espace qui est à l'origine d'incertitudes sur les grandeurs représentatives de ces paramètres et sur la représentativité des résultats finaux des calculs géotechniques. Si la mesure, expression d'une vérité unique en un point, est bien déterministe, la valeur représentative de ce paramètre sur le volume intéressé par une fondation est inconnue et un recours aux méthodes statistiques de l'estimation semble indispensable.

2. Statistique descriptive des données :

2.1 Distribution de fréquence, histogramme

Pour bâtir un histogramme, on divise l'échantillon de données en r classes d'égale amplitude, et on calcule le nombre d'observation (ou la fréquence relative) pour chaque classe. La fréquence relative est calculée par :

$$F_{ri} = n_i / N \quad (16)$$

Le nombre de classe doit être ni trop grand afin d'éviter une d'information importante. La formule de Sturge donne une valeur approximative du nombre de classe.

$$R = 1 + 3.22 \log N \quad (17)$$

Avec :

R = nombre de classe

N = nombre d'individus

Tableau IV.1 : Détermination des nombres de classe chaque paramètre

	Paramètre mesuré	N	R
Caractéristique physique	<T (80µm)	47	6.3
	$\gamma_d(t/m^3)$	56	6.6
	$\gamma_h(t/m^3)$	48	6.4
	$\omega\%$	47	6.3
	$\omega_l\%$	32	5.8
	$\omega_p\%$	25	5.5
Caractéristique mécanique	C (kpa)	28	5.6
	ω°	30	5.7
	Rc(bar)	18	5.04
Caractéristique chimique	So4-(%)	1	1
	CaCO3(%)	18	5.04
	Cl-(%)	15	4.78
Essai in-situ (caractéristique pressiométrique)	E (Mpa)	286	8.91
	Pl (Mpa)	286	8.91
	E/PL	286	8.91

3. les tableaux statistiques des caractéristiques mécaniques (C, ϕ° , R_c)

Tableau IV.2 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes de la cohésion C (Kpa)

C (Kpa)	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[10.79-34.16 [	14	0.42	0.42
[34.16-57.51 [	9	0.27	0.69
[57.51-80.9 [	2	0.06	0.75
[80.9-104.27 [	3	0.09	0.84
[104.27-127.64 [	1	0.03	0.87
[127.64-151]	4	0.12	1
Somme	33	1	

Tableau IV.3 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de l'angle de frottement ϕ°

ϕ°	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[4.24-10.86 [	2	0.09	0.09
[10.86-17.44 [	6	0.23	0.32
[17.44-24.02 [	6	0.33	0.65
[24.02- 30.6 [	13	0.21	0.86
[30.6-37.18 [	2	0.09	0.95
[37.18-43.76]	1	0.02	1
somme	30	1	

Tableau IV.4 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de la résistance à la compression R_c (bar)

RC(bar)	Nombre d'effectifs	fréquence	Fréquence cumulée
[14.3-115.84 [	9	0.20	0.20
[115.84-217.38 [	2	0.25	0.45
[217.38-318.92 [	4	0.22	0.67
[318.92- 420.46 [	1	0.12	0.79
[420.46-522]	2	0.05	1
somme	18	1	

3.1. Représentation graphique du tableau

a. Représentation graphique de la cohésion C(Kpa)

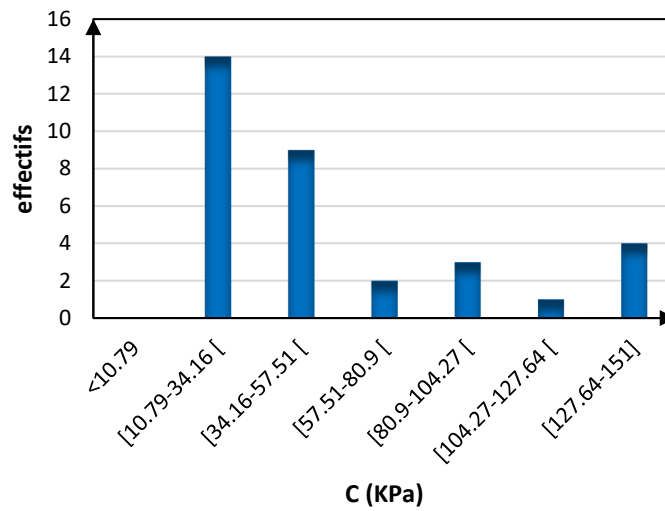


Fig.IV.1 : Histogramme des effectifs associé aux intervalles de classe de la cohésion C (kpa)

- **Interprétation :** On remarque que les valeurs de la cohésion les plus fréquents sont les valeurs compris entre 11kpa et 28kpa avec un nombre de classe de 10%.

b. Représentation graphique de l'angle de frottement ϕ°

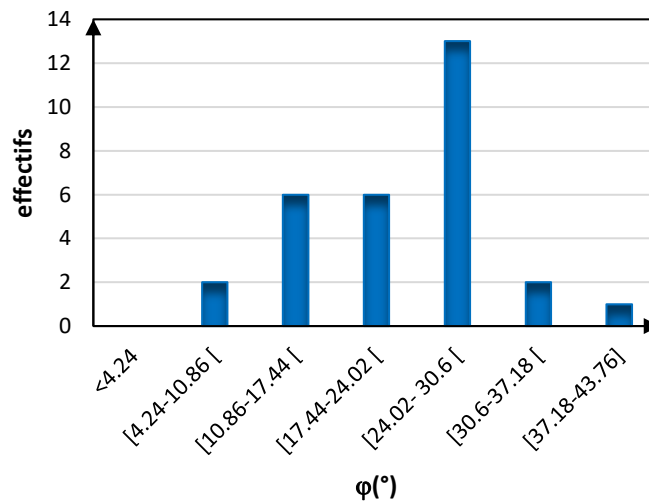


Fig.IV.2 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de l'angle de frottement ϕ°

- **Interprétation :** On remarque que les valeurs de l'angle de frottement les plus fréquents sont les valeurs compris entre 24.02° et 30.6° avec un nombre de classe de 13%.

c. Représentation graphique la résistance à la compression Rc (bar)

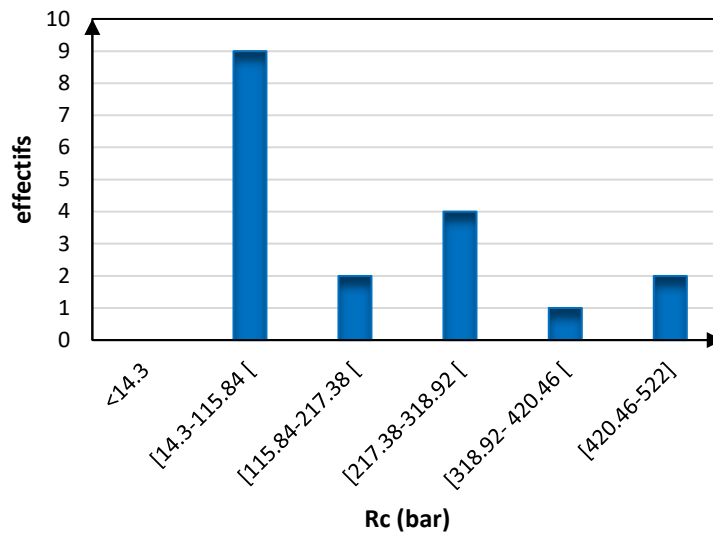


Fig.IV.3 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Rc (bar)

- **Interprétation** On remarque que les valeurs de la résistance à la compression les plus fréquents sont les valeurs compris entre 14.3bar et 115.84bar avec un nombre de classe de 9%.

4. Les tableaux statistiques des Caractéristiques physiques (γ_h , γ_d , $\omega\%$,....., $\omega_p\%$)

Tableau IV.5 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes du Poids volumique $\gamma_h(t/m^3)$

$\gamma_h(t/m^3)$	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[1.38 - 1.52 [	4	0.001	0.001
[1.52- 1.66 [	0	0.02	0.021
[1.66 - 1.8 [	2	0.12	0.14
[1.8 -1.94 [	4	0.28	0.42
[1.94 – 2.08 [	11	0.33	0.75
[2.08 – 2.22]	27	0.19	1
somme	48	1	

Tableau IV.6 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes du poids volumique sec $\gamma_d(t/m^3)$

$\gamma_d(t/m^3)$	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[1.37- 1.55 [	4	0.06	0.06
[1.55-1.73 [	16	0.22	0.28
[1.73 -1.91 [	21	0.35	0.63
[1.91-2.09 [	10	0.26	0.89
[2.09-2.27 [	4	0.09	0.98
[2.27- 2.45 [	0	0.01	0.99
[2.45-2.63]	1	0.001	1
somme	56	1	

Tableau IV.7 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes des teneurs en eaux (W%)

$\omega\%$	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[7.06 - 9.94 [	2	0.05	0.05
[9.94 -12.82 [	11	0.16	0.21
[12.82-15.7 [	13	0.27	0.48
[15.7-18.58 [	11	0.27	0.75
[18.58-21.46 [	5	0.16	0.91
[21.46-24.34]	5	0.06	1
somme	47	1	

Tableau IV.8 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de $<T (80\mu m)\%$

Granulo $< 80\mu m$ (%)	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[12.21-23.72 [	7	0.08	0.08
[23.72 -35.23 [	8	0.18	0.26
[35.23-46.74 [	11	0.27	0.53
[46.74-58.25 [	11	0.25	0.78
[58.25-69.76 [	4	0.14	0.92
[69.76-81.27]	6	0.05	1
somme	47	1	

Tableau IV.9 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de limite de liquidité (Wl%)

$\omega_l\%$	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[18.29-26.09 [	5	0.14	0.14
[26.09-33.88 [	12	0.24	0.38
[33.88-41.675[	9	0.26	0.64
[41.675-49.47 [	2	0.18	0.82
[49.47-57.265[	0	0.09	0.91
[57.265-65.06]	4	0.02	1
somme	32	1	

Tableau IV.10 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de limite de plasticité (Wp%)

$\omega_p\%$	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[10.01-13.06 [	2	0.11	0.11
[13.06-16.11 [	10	0.22	0.33
[16.11-19.16 [	7	0.28	0.61
[19.16-22.21 [	2	0.16	0.77
[22.21-25.26 [	2	0.16	0.93
[25.26-28.31]	2	0.03	1
somme	25	1	

4.1. Représentation graphique des tableaux

a Présentation graphique de poids volumique $\gamma_h(t/m^3)$

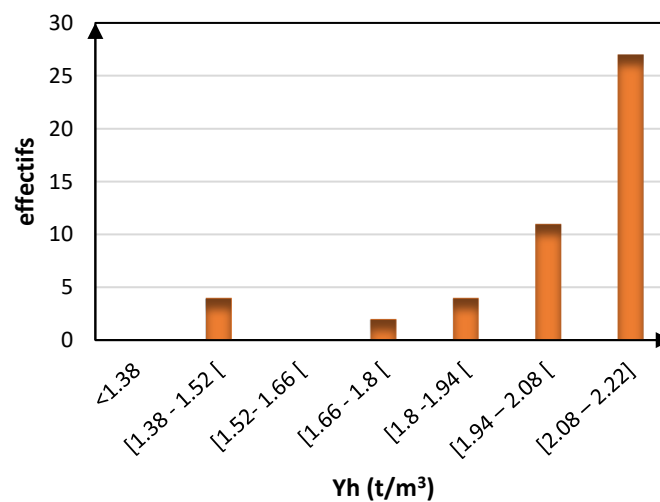


Fig.IV.4 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de $\gamma_h(t/m^3)$

b Représentation graphique de poids volumique sec $\gamma_d(t/m^3)$

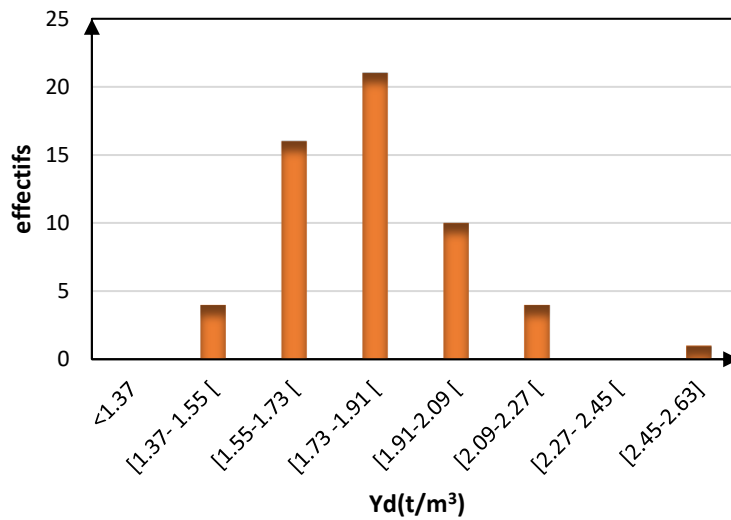


Fig.IV.5 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de $\gamma_d(t/m^3)$

- **Interprétation** : Les poids volumiques humides les plus fréquents sont compris entre [2.08– 2.28] avec un nombre de classe de 27, ainsi l'intervalle [1.73 -1.91] montre les valeurs les plus fréquents de poids volumique sec.

c Représentation graphique teneurs en eaux (W%)

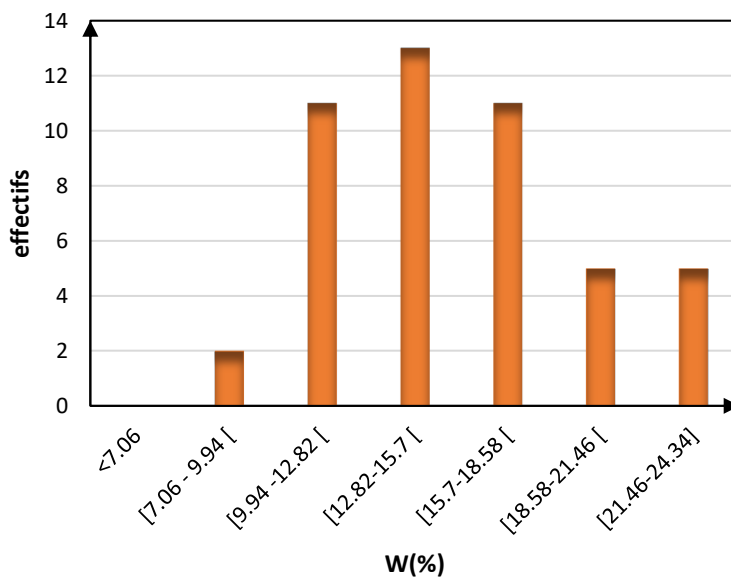


Fig.IV.6 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (W%)

- **Interprétation** : La classe fréquente pour la teneur en eau est [12.82-15.7] avec un nombre de classe de 13.

d Représentation graphique T(80µm)%

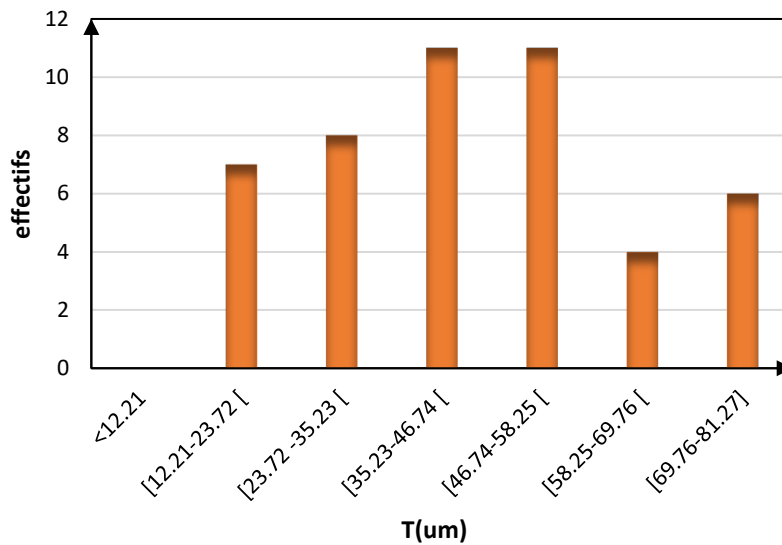


Fig.IV.7 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de T(80µm)

- **Interprétation :** Les Pourcentage des éléments fins de dimensions inférieures à 80µm les plus fréquents dans les mollasses étudiés sont compris dans les intervalles [35.23-46.74] et [46.74-58.25] avec un nombre de classe de 11.

e Représentation graphique de la limite de plasticité (Wl%) et la limite de liquidité (Wp%)

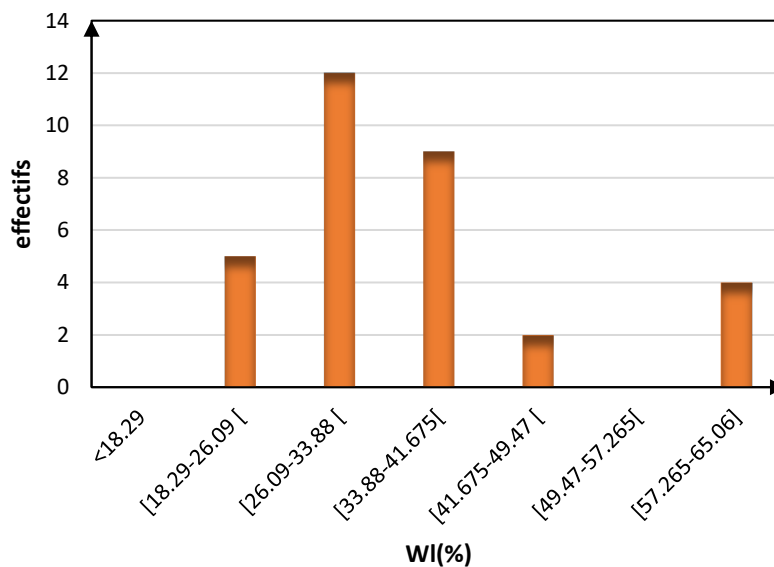


Fig.IV.8 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Wl%

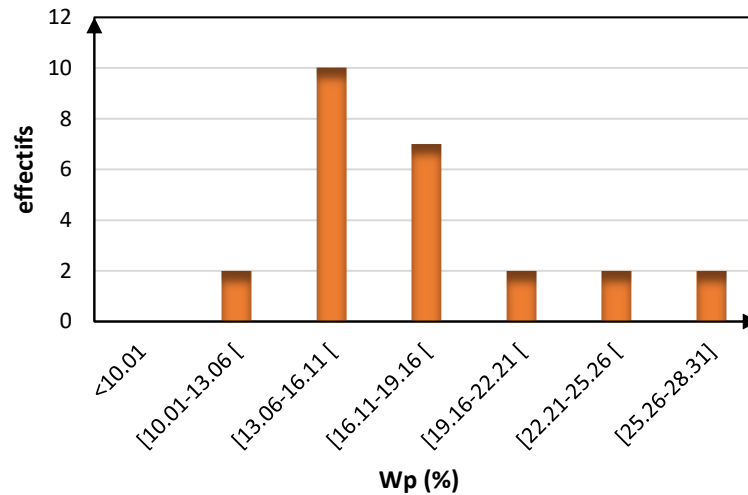


Fig.IV.9 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Wp %

➤ **Interprétation**

- Les limites de liquidités fréquentes varient entre l'intervalle [26.09-33.88] avec un nombre de classe de 12.
- les statistiques montrent que les limites de plasticités fréquentes varient dans l'intervalle [13.06-16.11] avec un nombre de classe de 10.

5. Les tableaux statistique des caractéristiques Chimiques (So4-, CaCo3 ; Cl-)

Tableau IV.11 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes de (So4-%)

Teneur SO4- (%)	Nombre d'effectifs	Fréquence	fréquence cumulée
[0.01-0.02]	1	1	1
somme	1	1	

Tableau IV.12 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associée aux intervalles de classes (CaCo3%)

Teneur Carbonate (%)	Ombre d'effectifs	Fréquence	fréquence cumulée
[4.31-21.06 [	3	0.08	0.08
[21.06-37.81 [	4	0.16	0.24
[37.81-54.56 [	0	0.22	0.46
[54.56-71.31 [	4	0.22	0.68
[71.31-88.06]	7	0.15	1
somme	18	1	

Tableau IV.13 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes (Cl%)

Teneur Cl-(%)	Nombre d'effectifs	Fréquence	fréquence cumulée
[0.01-0.124[	2	0.05	0.05
[0.124-0.238[	0	0.16	0.21
[0.238-0.352[	6	0.29	0.5
[0.352-0.466[	4	0.29	0.79
[0.466-0.58]	3	0.15	1
Somme	15	1	

5.1. Représentation graphique du tableau

a. Représentation graphique de la Teneur SO4- (%)

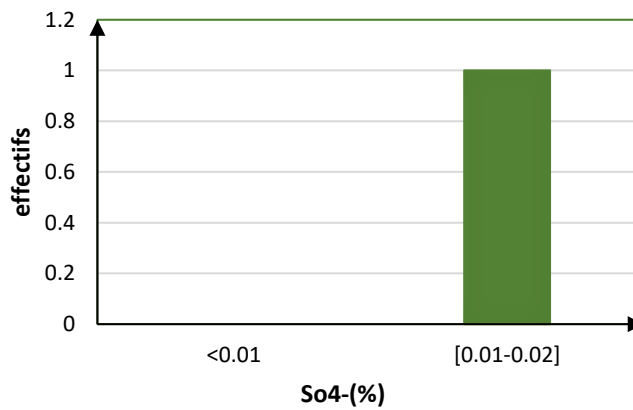


Fig.IV.10 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de So4-%

b. Représentation graphique de la teneur en carbonates de calciums

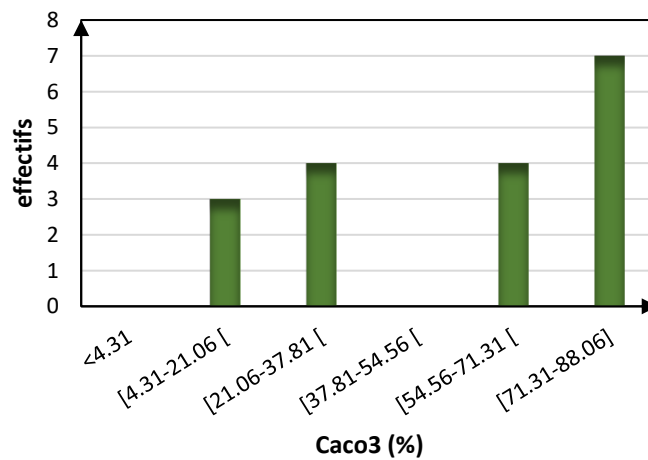


Fig.IV.11 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Caco3%

c. Représentation graphique de la teneur en chlore

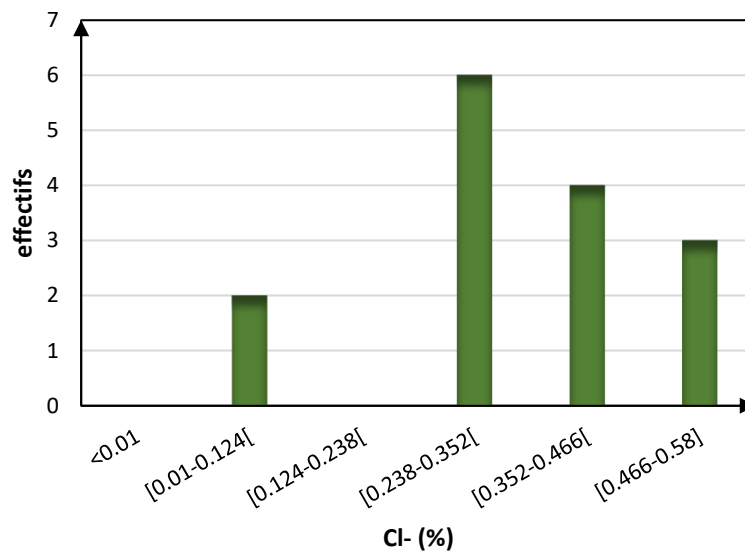


Fig.IV.12 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de Cl-%

➤ **Interprétation**

- Les teneurs en sulfate sont compris entre [0.01-0.02] dans les projets consultés.
- Les teneurs en carbonate de calcium les plus fréquents sont compris entre [71.31-88.06] avec un nombre de classe de 7.
- les teneurs en chlore sont compris entre [0.238-0.352] avec un nombre de classe de 6.

6. les tableaux statistique des Caractéristiques pressiométriques (E, PI, E/PL)

Tableau IV.14 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes PI

PL (Mpa)	Nombre d'effectifs	Fréquence	Fréquence cumulée
[0.062-1.31 [	42	0.0579	0.579
[1.31-2.56 [	107	0.672	0.7299
[2.56-3.81 [	78	0.15	0.8799
[3.81-5.06 [	48	0.0582	0.9381
[5.06-6.31 [	8	0.0341	0.9722
[6.31-7.56 [	2	0.0157	0.9879
[7.56-8.81 [	0	0	0.9879
[8.81-10.06 [	0	0	0.9879
[10.06-11.28]	1	0.01	1
somme	286	1	

Tableau IV.15 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes E

E (Mpa)	Nombre d'effectifs	fréquence	fréquence cumulée
[0.5-127.41 [	245	0.5909	0.5909
[127.41-254.32 [	29	0.2877	0.8786
[254.32-381.23 [	5	0.0955	0.9741
[381.32-508.23 [	3	0.0107	0.9848
[508.23-635.14 [	0	0	0.9848
[635.14-762.05 [	1	0.0051	0.9853
[762.05-888.96 [	0	0	0.9853
[888.96-1015.87 [	2	0.0101	0.9954
[1015.87-1142.7]	1	0.005	1
somme	286	1	

Tableau IV.16 : des effectifs, fréquence et fréquence cumulée associé aux intervalles de classes E/PL

E/PL (Mpa)	Nombre d'effectifs	Fréquence	Fréquence cumulée
[4.81-25.56 [	131	0.4502	0.4502
[25.56-46.31 [	114	0.3105	0.7607
[46.31-67.06 [	22	0.202	0.9627
[67.06-87.81 [	10	0.0134	0.9761
[87.81-108.56 [	4	0.013	0.9891
[108.56-129.31 [	1	0.005	0.9941
[129.31-150.06 [	1	0.006	1.0001
[150.06-170.81 [	0	0	1.0001
[170.81-191.6]	3	0.01	1.01
somme	286	1	

6.1. Représentation graphique du tableau

a. Représentation graphique des pressions limites

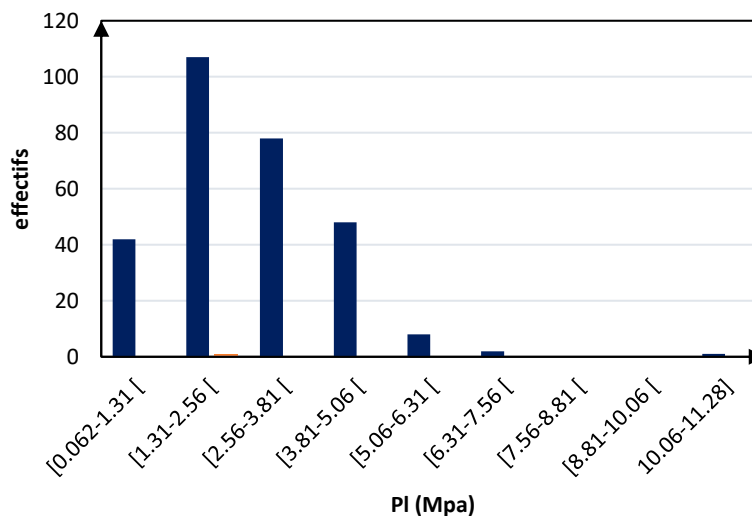


Fig.IV.13 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (PL)

➤ **Interprétation**

- l'intervalle des pressions limites fréquentes est compris entre [1.31-2.56] avec un nombre d'effectif de 107.

b. Représentation graphique de module pressiométrique

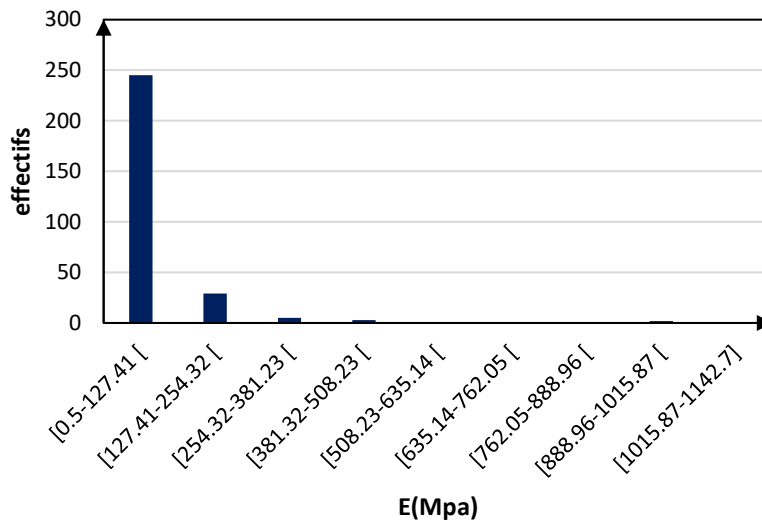


Fig.IV.14 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (E)

- **Interprétation** : Les valeurs de module pressiométrique fréquentes sont compris dans l'intervalle [0.5-127.41] avec un nombre d'effectif de 245.

c. Représentation graphique de rapport E/Pl

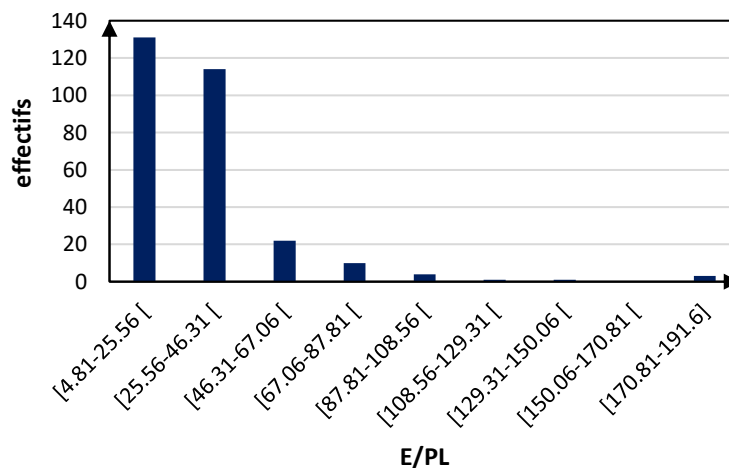


Fig.IV.15 : Histogramme des effectifs associés aux intervalles de classe de (E/Pl)

➤ **Interprétation**

- les states de E/Pl donne un intervalle de [4.81-25.56] des valeurs les plus fréquents avec un nombre d'effectif de 131.

7. Calcul des paramètres statistiques (la moyenne, la médiane, écart type....)

7.1 Caractéristiques mécaniques (C, ϕ° , Rc)

Tableau IV.17 : paramètres statistiques des caractéristiques mécaniques (C, ϕ° , Rc)

Paramètre	C(Kpa)	ϕ°	Rc(bar)
Moyenne	53.92	20.61	180.17
Médiane	41.18	20.135	107
Mode	24	26.58	71.42
n.max	151	39.5	522
n.min	10.79	4.28	14.3
Ecart type	41.85	8.18	160.88
Cv(%)	77.61	39.69	89.29

7.2. Caractéristiques physiques (γ_h , γ_d , W%, T (80 μ m), WI%, Wp %)

Tableau IV.18 : paramètres statistiques des caractéristiques physiques (γ_h , γ_d , W%, T80, WI%, Wp%)

Paramètre	γ_h (t/m ³)	γ_d (t/m ³)	W (%)	T (80 μ m)	WI (%)	Wp(%)
Moyenne	1.97	1.81	15.75	44.4	35.73	17.6
Médiane	2.01	1.79	15.32	41.49	32.07	17
Mode	1.93	1.75	21.97	38	31.54	15.29
n.max	2.21	2.6	24.31	81.21	65.06	28.31
n.min	1.38	1.37	7.06	12.21	18.29	10.01
Ecart type	0.16	0.22	3.84	16.23	11.48	4.29
Cv (%)	8.12	11.98	24.41	36.57	32.14	24.39

7.3. Caractéristique Chimique (So4-, CaCo3; Cl-)

Tableau IV.19 : paramètres statistiques des caractéristiques Chimiques (So4-, CaCo3,Cl-)

Paramètre	So4(%)	CaCo3(%)	Cl(%)
Moyenne	0.015	54.01	0.35
Médiane	0.015	65.15	0.34
Mode	0.02	21.55	0.41
n.max	0.02	89.376	0.58
n.min	0.01	4.31	0.01
Ecart type	0.005	28.51	0.14
Cv(%)	100	52.79	39.84

7.4. Caractéristique pressiométrique (E, Pl, E/PL)

Tableau IV.20 : paramètres statistiques pressiométriques (E, Pl, E/PL)

Paramètre	E(Mpa)	Pl(Mpa)	E/PL
Moyenne	86.34	2.7	31.77
Médiane	62.65	2.53	27.43
Mode	58.2	2.47	12.5
n.max	1142.7	11.28	191.6
n.min	0.5	0.062	4.81
Ecart type	129.16	1.38	25.41
Cv(%)	1.5	0.51	0.8

8. Corrélations entre paramètres de sols

8.1. Introduction

Dans la géotechnique, les ingénieurs sont confrontés à la nature du sol qui est rarement homogène. Cette hétérogénéité rend la détermination des paramètres physiques, mécaniques, de déformation et de perméabilité en chaque point difficile et coûteuse. C'est dans ce contexte que le recours aux corrélations est utile afin de compléter une information manquante ou même de vérifier des résultats expérimentaux effectués au laboratoire ou sur site.

Alors on présentera quelques relations corrélées appliquées sur différents paramètres et types de sols (intact, compactés, ...)

D'une manière simple, pour les cinq principaux types de sols meubles où pressiomètres et SPT sont utilisés, les relations à considérer entre les deux types d'essais sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.21 : Corrélations simplifiées proposées entre N, Pl (MPa) et E (MPa) pour les sables

Nature du sol	Corrélation Pl→N	Corrélation E→N
Limons	$N = 32 * Pl$	$N = 2.6 * E$
Sables	$N = 21 * Pl$	$N = 2.9 * E$
Argiles vertes	$N = 26 * Pl$	$N = 2.3 * E$
Argiles plastiques	$N = 18 * Pl$	$N = 1.6 * E$
Marnes	$N = 28 * Pl$	$N = 1.9 * E$
Craie	$N = 6 * Pl$	$N = 0.7 * E$

8.2. Corrélations entre essai in situTableau IV.22 : Détermination de PL(MPa) et E(MPa) à partir de N_{spt} pour un sable

N (spt)	pl (Mpa)	E (Mpa)
29	1.38	10
39	1.86	13.45
51	2.43	17.59
35	1.67	12.06
62	2.95	21.38
70	3.33	24.14
27	1.29	9.31
23	1.09	7.93
28	1.33	9.66
46	2.19	15.86
22	1.05	7.59
29	1.38	10
36	1.71	12.41
20	0.95	6.89
29	1.38	10
38	1.81	13.1
18	0.86	6.2
23	1.09	7.93
40	1.9	13.79
15	0.71	5.17
20	0.95	6.89
37	1.76	12.76
18	0.86	6.2
30	1.43	10.34
37	1.76	12.76
18	0.86	6.2
24	1.14	8.28
42	2	14.48
18	0.86	6.2
28	1.33	9.65
45	2.14	15.52
14	0.66	4.82
19	0.9	6.55
36	1.71	12.41

8.3. Corrélations entre essais de laboratoire

Tableau IV.23 : Caractéristiques à long terme (C' , ϕ') en fonction de pl^*

Type de sol	Caractéristique mécanique		
	Pl^* (MPa)	ϕ' (°)	C' (KPa)
Limons	$Pl^* \leq 0.52$	$\phi' = 5.8pl^* + 29.0$	$C' = 43.9 - 1.1\phi'$
	$0.3 \leq pl^* \leq 1$	$\phi' = 0.67pl^* + 31.7$	
Argiles	$Pl^* \geq 1$	$\phi' = 5.8pl^* + 22.0$	$C' = 33.8 - 0.6\phi'$
	$Pl^* \leq 0.3$	$\phi' = 1.5 pl^* + 28.5$	
Sables	$0.3 \leq pl^* \leq 1$	$\phi' = 5.8 pl^* + 29.4$	$C' = 36.7 - 0.8\phi'$
	$Pl^* \geq 1$	$\phi' = 01.7 pl^* + 33.7$	

Tableau IV.24 : Détermination de C' (KPa) et ϕ' (°) à partir de pl^* pour les sables

La pression limite nette pl^* (MPa)	C' (KPa)	ϕ' (°)
1.012	8.364	35.42
1.812	7.28	36.78
2.444	6.42	37.85
3.321	5.22	39.34
2.652	6.13	38.21
2.471	6.38	37.9
2.568	6.25	38.06
3.373	5.15	39.43
3.408	5.10	39.49
3.431	5.07	39.53
3.45	5.05	39.56
3.452	5.04	39.56
3.46	5.03	39.58
3.48	5.01	39.61
3.51	4.96	39.67
3.515	4.95	39.67
3.536	4.93	39.71
3.552	4.93	39.74
3.546	4.92	39.73
3.575	4.88	39.77

Conclusion :

Dans une analyse statistique plus le nombre des données est grand plus les résultats dans les intervalles sont plus précis.

Il est très rare que sur un même site tous ces paramètres soient mesurés en un nombre de points suffisant pour que l'on puisse bien étudier le projet en question. Habituellement, la reconnaissance est limitée à certains paramètres. C'est dans ce cadre que l'utilisation de corrélations entre les propriétés physiques et mécaniques des sols peut contribuer efficacement au travail de synthèse du géotechnicien.

Les corrélations peuvent aussi estimer des paramètres dans un avant-projet, orienter les interprétations des résultats de mesure, contrôler des rapports géotechniques.

Tableau IV. 25 : Corrélation entre l'essai pressiomètre et l'angle de frottement interne ϕ' et nombre N(SPT)

Indice de densité des sables	E (MPa)	PI (MPa)	N(SPT)	ϕ' (°)
Très lâche	<10	≤ 0.5	≤ 10	29-32
Lâche	10 à 20	0.5 à 1	10 à 15	32-35
Moyennement dense	20 à 30	1 à 2	15 à 30	35-37
Dense	30 à 60	2 à 4	30 à 50	37-40
Très dense	60 à 90	> 4	> 50	40-42

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'étude de la géologie et de la stabilité de la molasse d'Alger est basée sur une analyse lithologique et structurale ainsi que sur des propriétés géotechniques ; ceux-ci constituent un guide géologique et géotechnique pour l'utilisation rationnelle de la molasse.

L'analyse et l'interprétation des paramètres géotechnique issus des essais in-situ et au laboratoire réalisés sur les formations géologique montrent que la molasse astienne présente une assise de très bonne portance vu ses bonnes caractéristiques géotechniques.

La molasse astienne qui est souvent sollicitée par les fondations des constructions, supporte des charges élevées, vu sa consistance rocheuse.

Les paramètres géotechniques montrent une bonne aptitude de la molasse (sable fin et grossier) comme matériaux routiers (couches de base).

Les quelques itinéraires étudiés ne permettent pas de généraliser les conclusions obtenues à toute la molasse de la région d'Alger, il faudrait :

- consacrer plus de temps à l'observation géologique détaillée de tous les indices qui commandent les instabilités : analyse structurale fine, hydrogéologie précise et évolution sédimentologie et minéralogique.
- mieux connaître les caractéristiques mécaniques de la roche (essais in-situ : pressiomètre, scissomètre, ...)
- surveiller les quelques instabilités potentielles observées sur terrain :
 - Ben-Aknoun : 1 km avant l'entrée du Village Africain.
 - à l'intérieur du Parc Zoologique de Ben-Aknoun.
 - falaise de Birmandreis (Rond-Point).

Référence

1. wikipédia (Google)
2. Lamri .S et Aichaoui .O Caractérisation de la formation molasse d'Alger étude statique des résultats d'investigation.2019
3. Abbar Gouraia, Mlle Azouaoui Fariza. Cartographie et analyses géologique de la molasse astienne d'Alger. Juin.2013.
4. Benissaid.N, Hamini.O, Etude géologique et géotechnique de la molasse astienne et des terrasses pléistocènes de l'Algérois matériaux de construction. Février 2009.
5. Derriche.Z, G.Cheikh Lounis. Geotechnical characteristics of the Plaisancian marls of Algiers Caractéristiques géotechniques des marnes Plaisanciennes d'Alger. Article in Bulletin of Engineering Geology and the Environment · December 2004.
6. HAMACHE S, BRAHIMI N, La molasse astienne d'Alger Géologie et stabilité des versants . 1993.
- 7.Filali .M et Nechnech .A Analyse et modélisation des glissement de terrain dans la région d'Alger : cas d'Al Achour.
8. Gonin .H et Vandangeon .P. Etude sur les corrélations entre le standard pénétration test et le pressiomètre. Janvier. 1992.
9. Aymé, J.-M. Aymé et H. Moussu Notice explicative de la carte de CHERAGAS (1961).
- 10.CHEIKH LOUNIS.G. Analyse et Cartographie des risques naturels dans l'Algérois. Avril 2011.
11. Babaammi .A et Cherchali .A . Etude géologique de la molasse astienne du bas Béni Messous. Juillet.2016.
12. Cours de Statistique Descriptive 2010.
13. Baki, A. ; Magnan, J.P., Pouget, P. " Analyse probabiliste de la stabilité de deux remblais sur versant instable ", Laboratoire centrale des ponts et chaussées, Paris, 1993.
14. Megnounif .I. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil (analyse des données en géotechnique pour le dimensionnement des ouvrages cas de l'aéroport d'alger), (Université Aboubakr Belkaid 2013).

15. Calot G- Cours de statistiques descriptives. Paris, Dunod. (1964).
16. Immediato, H, " Cours statistiques ", note de cours : Lyon: Université Claude Bernard de Lyon, 2010.
17. Belkacemi.S Cours de Statistique (2ème année master géotechnique)
18. M.CASSAN Utilisation de la statistique descriptive en géotechnique, REVUE FRANÇAISE DE GÉOTECHNIQUE
19. NBN EN ISO 10693 - Qualité du sol - Détermination de la teneur en carbonate Méthode volumétrique, 2014.
20. Atlan.Y catalogue des essais géotechniques exécutés au laboratoire géotechnique d'Orléans.
21. Essai de laboratoire et en place de mécanique des sols, LCPC.
22. Bouafia .A. Conception et calculs des ouvrages géotechniques, Eurl pages Bleues.2010.
23. Aymé A (1964) Carte géologique au 1/50000, Alger N° 21. Publications Service Carte Géologique Algérie, Alger, Algérie.
24. Aymé, J.-M. Aymé et H. Moussu, CHERAGAS (1961).
25. Carte géologique d'Alger et ses environs [JICA, 2006].