

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessi -Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des
Sciences de la Nature et de la Vie



جامعة الشيخ العربي التبسي – تبسة –
كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة و الحياة

Département de Géologie et d'Aménagement du Territoire

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat sciences en Géologie
Option : Géologie de l'Ingénieur

Thème :

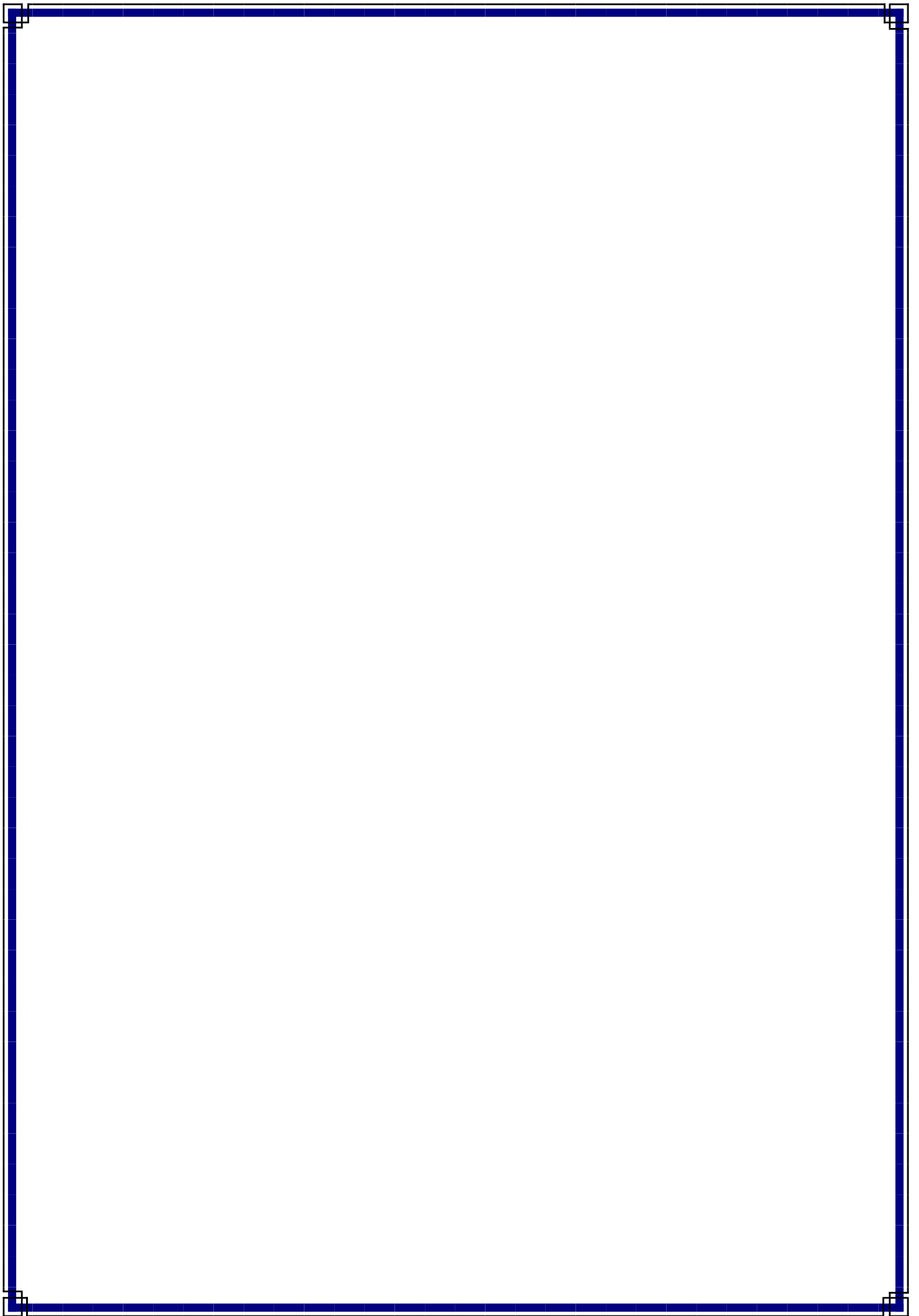
Cadre géologique, minéralogique et analyses des différents
paramètres des formations argileuses variées en zone
occidentale du bassin de Mila, Algérie Nord orientale

Présenté et soutenue publiquement le : 24 / 01 / 2019

Par : KHELLAF Khoudir

Devant le jury :

Président :	GOUAIDIA Layachi	Pr.	Univ. Tébessa
Rapporteur :	HAMIMED Messaoud	Pr.	Univ. Tébessa
Examineurs :	FEHDI Chemseddine	Pr.	Univ. Tébessa
	KHIARI Abd Elkader	Pr.	Univ. Oum El Bouaghi
	ZEDAM Rabah	MCA.	Univ. Oum El Bouaghi
	DEFAFLIA Nabil	MCA.	Univ. Tébessa



Remerciements

Cette thèse a été réalisée dans des conditions assez favorables et à l'aide de beaucoup de personnes, dont leur patience, compétence et compréhension ont contribué scientifiquement et moralement à son aboutissement.

En premier lieu, je remercie « DIEU » le tout puissant, maître des cieux et de la Terre qui nous a donné la volonté et la force pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements chaleureux et mes sincères gratitudes sont adressés à mon cher promoteur HAMIMED Messaoud, Professeur à l'Université Larbi Tebessi, Tébessa, pour sa disponibilité malgré ses préoccupations est toujours à l'écoute, pour tous les temps qu'il m'a réservé, pour le suivi et l'enrichissement du travail, pour ses orientations, ses conseils et ses critiques constructives.

Mes vifs remerciements s'adressent également à ma très chère femme pour sa patience, ces encouragements et ses soutiens moraux durant les années de la réalisation de cette thèse. Que dieux la bénisse et la récompense. Amen !

Un tout grand merci est également réservé à mes collègues de travail à la faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la Terre de l'Université de Ghardaïa.

Je remercie Mr. GOUAIDIA Layachi, professeur à l'université Larbi Tebessi pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse, Mr. FEHDI Chemseddine, professeur à l'université Larbi Tebessi, Mr. KHIARI Abd El Kader, professeur à l'université d'Oum El Bouaghi, Mr. ZEDAME Rabah, Maître de conférences à l'université d'Oum El Bouaghi et Mr. DEFAFLIA Nabil, Maître de conférences à l'université Larbi Tebessi, qu'ils m'ont fait l'honneur d'examiner ma thèse.

Je remercie également l'équipe du laboratoire de sédimentologie à l'université de Tébessa et l'équipe du laboratoire de Géologie à l'université de Ghardaïa, pour l'aide apporté en matériel pour la réalisation des analyses.

J'ai le plein plaisir d'exprimer aussi ma gratitude à Monsieur BEN ABBES, le responsable du laboratoire de chimie de l'Université de Jijel, qui a bien voulu m'aider à effectuer mes analyses de diffractométrie.

Le soutien de mes collègues, ne manquait jamais, je tiens alors à leurs adresser tous mes remerciements et mes gratitudes en particulier Mr. SADINE Salah Eddine, Mr. BENBRAHIM Fouzi et Mr. ALIOUA Youcef, à l'Université de Ghardaïa.

Enfin, mes remerciements sont aussi adressés à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragés pour mettre cette thèse à une bonne fin.

Toute ma gratitude est adressée à ma chère famille.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma très chère maman ;

Ma chère femme ;

Mes enfants ;

ملخص

في هذه الأطروحة قمنا بدراسة جزء من منطقة ميله (شمال شرق الجزائر) ، و تخص هذه الدراسة كل من مناطق مارشو و الخربة و موقع الجامعة التي تشكل التوسع الجنوبي والغربي لهذه المدينة. تتميز هذه المناطق بسطح مائل و بتربة أو طبقات طينية ذات عمر الميوليسن. إن وجود المياه الجوفية مع طبيعة التربة الطينية و شكل السطح المائل لهذه المناطق هي أهم العوامل التي تساعد على عدم إستقرار التربة، و خاصة ظاهرة الهبوط التي تشكل الخطر الأكبر و تحدث أضرار جسيمة في البنايات. إن الهدف من هذه الدراسة هو المشاركة أو المساهمة في إيجاد حلول لهذه الظاهرة. و من أجل تحقيق هذه الغاية قمنا بإجراء تحاليل معدنية بإخضاع هذه التربة لأشعة إيكس و كذا تحليل مختلف معاملات الجيوتقنية (تحاليل كيميائية و تحاليل جيوتقنية لهذه التربة). أظهرت نتائج التحاليل المعدنية لتربة هذه المناطق وجود معادن غير الطينية نذكر بالأخص الكالسيث و الكوارتز و الكاولينيث و كذا المعادن الطينية كالفيرميكليث و الكلوريث بالإضافة الى المعادن البينية التي رغم عدم تبلورها الجيد إلا ان دورها كبير في عدم استقرار هذه التربة. أما تحاليلها الجيوتقنية فقد اسفرت عن تربة ذات طبيعة طينية مارلية وأحيانا رملية مع انعدام تأثيرها في معظم الأحيان على الخرسانة. كما أنها متوسطة التشبع إلى متشعبة بالماء، قليلة الرطوبة إلى رطبة، و متماسكة نوعا ما، و تنتمي إلى ثلاث عائلات كبيرة للمعادن الطينية (مونتوريونيث، كاولينيث و الإليث). وقد مكن الجمع بين المعطيات الجيولوجية و المورفولوجية و الجيوتقنية من تسليط الضوء على المناطق الملائمة و غير الملائمة للبناء. ونوصي في هذه الحالة بتطبيق التقنيات اللازمة و أخذ الاحتياطات للوقاية من هذه المخاطر.

الكلمات المفتاحية : التحاليل المعدنية، التحاليل الجيوتقنية، الطين، ميله، الجزائر.

Résumé

Cette thèse consiste à étudier une partie de la région de Mila (Nord-Est Algérien), cas du site de Marechau, site d'el Kherba et site de l'université qui forment l'extension Sud et Ouest de la ville de Mila. Cette partie se caractérise par des terrains en pente forte et de nature marneuse et argileuse d'âge Mio-Plio-Quaternaire. La présence de la nappe, la morphologie et la nature du sol constituent les principaux facteurs déclenchant les mouvements de terrain, dont les tassements présentent des risques majeurs et engendrent des dégâts aux constructions. Cette étude a pour objectif de contribuer à la résolution de ce problème. De ce fait, nous avons possédé une analyse minéralogique par diffraction aux rayons X et une étude géotechnique par analyse de différents paramètres (une analyse pétrographique selon le modèle de Czerminski, une analyse chimique et analyse des différents paramètres géotechniques de ce sol). Les résultats d'analyse minéralogique a révélé une variété de minéraux, dominée par la calcite, le quartz et des minéraux interstratifiés qui sont malgré de faible intensité ils jouent un rôle très important au génération des tassements et les analyses géotechniques ont donné chimiquement des sols argilo-marneux et parfois sableux avec une agressivité nulle, et géotechniquement ces sols sont des argiles moyennes à raides très saturées, légèrement humides à humides, plus ou moins compact et appartient aux trois grandes familles des minéraux argileux (la montmorillonite, la kaolinite et l'illite). La combinaison des données géologiques, morphologiques et géotechniques ont permis de faire ressortir les zones favorables et défavorable à la construction en raison du facteur de pente. La mise en place des techniques de protection contre ces risques est fortement recommandée.

Mots clés : analyse minéralogique, analyse géotechnique, argile, Mila, Algérie.

Abstract

This thesis consists to study a part of Mila region (North-East of Algeria) case of Marchou, el kherba and university sites, those form the extension south and west of Mila city. They are characterized by steeply sloping soils such as marl and clayey nature of Moi-Plio-Quaternary age. The presence of groundwater, morphology and soil's nature are the main factors that trigger ground movements ; settlements pose the major risks and cause damages to buildings. The aim of our study is to solve this problem. Therefore, we have had an X-ray diffraction mineralogy and a geotechnical analysis (a Czerminski model on petrographic analysis, chemical analysis and by different geotechnical parameters analysis). The mineralogical analysis revealed variety of minerals, dominated by calcite, quartz and interstratified minerals where geotechnical analysis tests have given firstly the chemical analysis results show clay or marl and sometimes sandy soils with no aggressiveness and secondly, the analysis of geotechnical parameters show that these Soils are medium to steep, very slightly saturated, slightly moist to moist clays, more or less compact and belong to three main families of clay minerals (montmorillonite, kaolinite and illite). The combination of geological, morphological and geotechnical data has made it possible to highlight areas favorable and unfavorable to built due to the slope factor. The establishment of protection techniques against these risks are strongly recommended.

Key words: mineralogical analysis, Geotechnical analysis, clay, Mila, Algeria.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Situation géographique et subdivision administrative de la Wilaya de Mila.....	6
02	Réseau hydrographique du bassin de Mila (Remmache, 2006).....	7
03	Carte des reliefs de la région d'étude (Belabbes, 2012).....	8
04	Sismicité de la région de Constantine de 1900-2002 (Bouadja, 2010).....	13
05	Carte et coupe structurale schématique de la chaîne des Maghrébides (Durand Delga et Fontboté, 1980).....	12
06	Carte schématique illustrant la répartition des différents domaines paléogéographiques du Nord-Est algérien (Lahondère, 1987).....	15
07	Principaux affleurements des Séries Néritiques Constantinoises et position du bassin Néogène de Mila-Constantine dans l'ensemble (Vila, 1980, modifiée) ...	17
08	Extrait de la carte structurale 1/500.000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens et position du bassin de Mila dans l'ensemble...	18
09	Carte géologique du bassin de Mila- Constantine (Vila, 1980).....	21
10	Colonne lithologique s du Mio-Pliocène du plateau de Redjas (Vila; 1980).....	25
11	Colonne lithostratigraphique des dépôts néogènes du bassin de Mila (Coiffait, 1992).....	25
12	Coupe géologique du Miocène de Mila (Marmi et Guiraud, 2006).....	25
13	Coupe synthétique du Néogène de Sidi Mérouane (Durand-Delga, 1969).....	26
14	Coupe descriptive de la région de Redjas (Vila, 1980).....	26
15	Modèle schématique des dépôts laguno- continental du bassin de Mila.....	28
16	Interprétation de l'image spatiale du bassin de Mila (Benabbas, 2006).....	31
17	Coupe géologique illustrant les différent contacts structuraux de la partie Nord du bassin de Mila-Constantine (Coiffait, 1992).....	34
18	Colonnes lithostratigraphiques caractérisant l'évolution paléogéographique du bassin de Mila (Coiffait, 1992).....	35
19	Situation géographique du secteur étudié.....	37
20	Carte de réseau hydrographique de la commune de Mila (Chettah, 2009).....	38
21	Colonne lithostratigraphique des dépôts néogènes du bassin de Mila (Coiffait, 1992).....	40
22	Carte lithologique de la commune de Mila (Chettah, 2009).....	40
23	Argiles à <i>Ostrea Crassissima</i> de l'Université.....	40
24	Calcaires lacustres de Marechau.....	40
25	Localisation du site de Marechau et positionnement des points d'échantillonnage sur le site (Bing Cartes, 2017).....	41
26	Coupes lithologiques du POS AU9 (Marechau) (Khellaf, 2019).....	42
27	Coupe lithologique du profil (POS AU15) de Marechau (Khellaf, 2019).....	42
28	Localisation du site d'El Kherba et positionnement des points d'échantillonnage sur le site (Google Earth, 2017).....	43
29	Coupes lithologiques du POS AU8 d'el Kherba (Khellaf, 2019).....	44
30	Coupes lithologiques du POS AU1 d'el Kherba (Khellaf, 2019).....	44
31	Localisation du site de l'Université et positionnement des points d'échantillonnage sur le site (Bing Cartes, 2017).....	45
32	Coupe lithologique des 4000 places pédagogiques (Khellaf & Hamimed, 2018).....	46
33	Coupe lithologique du site des 1000 lits (Khellaf, 2019).....	46
34	Capacité d'adsorption d'eau par les particules argileuses (Velde, 1995).....	57
35	Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles (Mitchel, 1986).....	57
36	Couches tétraédriques (Cuisinier, 2002).....	59

37	Couches octaédriques (Cuisinier, 2002).....	59
38	Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile (Holtz et Gibbs, 1991).....	59
39	Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicates 2:1.....	60
40	Évolution des minéraux primaires et formation des argiles (Landry et Mercier, 1992).....	62
41	Modèle structural de la kaolinite (Celso and <i>al.</i> , 1998).....	63
42	Modèle structurale l'illite (Celso et <i>al.</i> , 1998).....	64
43	Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite (Hafsi, 1993).....	64
44	Représentation du chlorite (White, 1999).....	65
45	Représentation d'une vermiculite (White, 1999).....	65
46	Fissuration des maisons individuelles (1) (site de Marechau) et déplacement des blocs des 185 logements (2) site d'El Kherba).....	69
47	Coupes lithologiques et positionnement des points d'échantillonnage.....	71
48	Diffractionogrammes des échantillons du profil 1 (POS AU9- Marechau).....	84
49	Diffractionogrammes des échantillons du profil 2 (POS AU9- Marechau).....	85
50	Diffractionogrammes des échantillons du profil 3 (POS AU15- Marechau).....	86
51	Diffractionogrammes des échantillons du profil 4 (POS AU15- Marechau).....	87
52	Diffractionogrammes des échantillons du profil 1 (POS AU8-El Kherba-).....	90
53	Diffractionogrammes des échantillons du profil 2 (POS AU8-El Kherba-).....	91
54	Diffractionogrammes des échantillons du profil 3 (POS AU1-El Kherba-).....	92
55	Diffractionogrammes des échantillons du profil 4 (POS AU1-El Kherba-).....	93
56	Diffractionogrammes des échantillons du profil 1 (site des 4000 places pédagogiques -Université-).....	96
57	Diffractionogrammes des échantillons du profil 2 (site des 1000 lits -Université-).....	97
58	Diffractionogrammes des échantillons du profil 3 (site des 1000 lits -Université-).....	98
59	Présentation ternaire des résultats d'analyse pétrographique et classification des roches sédimentaires selon le diagramme de Czerminski (site de Marechau).....	103
60	Présentation ternaire des résultats d'analyse chimico-pondérale et classification des roches sédimentaires selon le modèle de Czerminski (site d'El Kherba).....	107
61	Présentation ternaire des résultats d'analyse chimico-pondérale et classification des roches sédimentaires selon le modèle de Czerminski (site de l'Université).....	110
62	Désordre des constructions installées dans la région de Mila.....	113
63	Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU15.....	114
64	Coupes géologiques du site de Marechau à l'aide des sondages carottés (Khellaf, 2019).....	116
65	Pénétragrammes de l'essai DPT du POS AU15.....	116
66	Variation de la côte de refus.....	117
67	Variation de la résistance de pointe minimale (Rpmin).....	117
68	Variation de la résistance de pointe maximale (Rpmax).....	117
69	Variation de w et Sr dans le sol du site de Marechau.....	119
70	Courbe granulométriques des sols du POS AU15.....	121
71	Position des sols de Marechau (POS9) dans le diagramme de Casagrande.....	123
72	Position des sols de Marechau (POS9) dans le diagramme de Casagrande.....	123
73	Position des échantillons argileux de Marechau sur l'abaque de plasticité de Casagrande.....	127

74	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante (Khellaf, 2019).....	127
75	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée (Khellaf, 2019).....	127
76	Profils géotechniques synthétiques du site de Marechau (Khellaf, 2019).....	133
77	Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU8.....	134
78	Coupe géologique du site d'el Kherba à l'aide des sondages carottés (Khellaf, 2019).....	136
79	Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU8.....	136
80	Variation de la côte de refus du POS AU1.....	137
81	Variation de la côte de refus du POS AU8.....	137
82	Variation de la résistance de pointe au POS AU1.....	137
83	Variation de la résistance de pointe au POS AU8.....	137
84	Variation de w et S_r dans le sol du site d'El Kherba.....	139
85	Courbe granulométriques des sols du POS AU8.....	141
86	Position des sols d'El Kherba dans le diagramme de plasticité de Casagrande.....	142
87	Position des sols d'El Kherba dans l'abaque de plasticité de Casagrande.....	143
88	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée (Khellaf, 2019).....	146
89	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante (Khellaf, 2019).....	147
90	Profils géotechniques synthétiques du site d'El Kherba (Khellaf, 2019).....	152
91	Coupes lithologiques des sondages carottés du site de l'Université (Khellaf, 2019).....	153
92	Coupes géologiques du site de l'Université à l'aide des sondages carottés.....	155
93	Pénétrogrammes de l'essai DPT des sites de l'Université.....	156
94	Variation de la côte de refus au sein des deux sites de l'Université.....	156
95	Variation de la résistance de pointe minimale (R_{pmin}) au sein des deux sites de l'Université.....	157
96	Variation de la résistance de pointe maximale (R_{pmax}) au sein des deux sites de l'Université.....	157
97	Variation de w et S_r dans le sol du site de l'Université.....	158
98	Courbe granulométrique de sol du site des 1000 lits.....	160
99	Position des sols de l'Université dans le diagramme de Casagrande.....	161
100	Position des échantillons argileux de l'Université sur l'abaque de plasticité de Casagrande.....	161
101	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante (Khellaf, 2019).....	164
102	Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée (Khellaf, 2019).....	165
103	Profils géotechniques synthétiques du site de l'Université (Khellaf, 2019).....	171

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Surface spécifique des particules argileuses (Eslinger & Peaver, 1988).....	56
02	CEC des minéraux argileux (Eslinger & Peaver, 1988).....	56
03	Résultats d'analyse chimique des échantillons examinés (LTPE, 2010).....	101
04	Résultats d'analyse chimique du sol de Marechau (LBM-Sol, 2014).....	102
05	Résultats d'analyses chimiques des échantillons examinés (LNHC, 2000 et Aiche Géo-Sol, 2013).....	105
06	Résultats d'analyse chimique des échantillons examinés (LGG, 2010 et 2011).....	109
07	Description comparative des sondages carottés du POS AU9 (LBM-Sol, 2014).....	115
08	Description comparative des sondages carottés (POS AU15) (Aiche Géo-Sol, 2013).....	115
09	Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU15 (LBM-Sol, 2014).....	120
10	Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU9 (Aiche Géo-Sol, 2013).....	120
11	Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol de Marechau (LBM-Sol, 2014).....	120
12	Caractéristiques mécaniques de quelques échantillons du POS AU15 (LBM-Sol, 2014).....	124
13	Caractéristiques mécaniques de quelques échantillons du POS AU9 (Aiche Géo-Sol, 2013).....	124
14	Résultats de calculs des tassements pour une semelle filante.....	126
15	Résultats de calculs des tassements pour une semelle carrée.....	126
16	Description comparative des sondages carottés du POS AU1 (LNHC, 2000).....	135
17	Description comparative des sondages carottés du POS AU8 (Aiche Géo-Sol, 2013).....	135
18	Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU8 (Aiche Géo-Sol, 2013).....	140
19	Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU1 (LNHC, 2000).....	140
20	Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol d'El Kherba (LNHC, 2001).....	141
21	Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) (LNHC, 2001 et Aiche Géo-Sol, 2013).....	144
22	Résultats de calcul des tassements des sols du POS AU1.....	145
23	Résultats de calcul des tassements des sols du POS AU8.....	146
24	Description comparative des sondages carottés du site des 4000 P.P (LGG, 2010).....	154
25	Description comparative des sondages carottés du site des 1000 lits (LGG, 2011).....	154
26	Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés (LGG, 2010 et 2011).....	159
27	Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol de l'Université (LGG, 2010 et 2011).....	160

28	Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) échantillons examinés du site des 1000 lits (LGG, 2011).....	162
29	Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) échantillons examinés du site des 4000 P.P. (LGG, 2010).....	163
30	Résultats de calcul des tassements des sols du site des 1000 lits.....	164
31	Résultats de calcul des tassements des sols du site des 4000 places pédagogiques.....	165

Table des matières

Titre	Page
Introduction	2
Chapitre I : Cadre géologique	
I- Aperçu géographique et généralités sur la région étudiée	
I-1- Situation géographique de la Wilaya de Mila.....	6
I-2- Hydrographie de la région d'étude.....	6
I-3- Climat et Végétation de la région.....	7
I-4- Orographie de la région.....	8
I-5- Sismicité de la région.....	9
II- Contexte géologique	
II-1- contexte géologique régional	
II-1-1- Introduction.....	13
II-1-2- Domaine interne.....	13
II-1-2-1 Socle kabyle	13
II-1-2-2- Dorsale kabyle ou la chaîne calcaire	13
II-1-3- Domaine médian ou le domaine des flyschs	14
II-1-4- Domaine externe	14
II-1-4-1- Domaine tellien	14
II-1-4-2- Avant pays.....	14
II-2- Géologie du bassin néogène de Mila-Constantine	
II-2-1- Introduction.....	17
II-2-2- Caractéristiques des ensembles lithostratigraphiques du bassin Néogène de Mila-Constantine	18
II-2-2-1- Trias	1
II-2-2-2- Jurassique	19
II-2-2-3- Crétacé	20
II-2-2-3-1- Crétacé moyen et inférieur	21
II-2-2-3-2- Crétacé supérieur	22
II-2-2-4- Paléogène	23
II-2-2-4-1- Paléocène et l'Éocène.....	23
II-2-2-4-1- Oligocène.....	
II-2-2-5- Néogène.....	
II-2-2-6- Quaternaire	27
II-2-3- Aspect morfo structural du bassin néogène de Mila-Constantine	27
II-2-4- Tectonique du Constantinois	29
II-2-4-1- Tectonique de la plate-forme néritique constantinoise	29
II-2-4-2- Structures particulières	32
II-2-4-3- Phases de déformation de la plate-forme néritique constantinoise.....	32
II-2-4-4- Histoire paléogéographique des dépôts Mio-Pliocène.....	34
II-3- Géographie et géologie du secteur étudié	
II-3-1- Situation géographique du secteur d'étude	37
II-3-2- Caractéristiques du secteur étudié	37
II-3-2-1- Morphologie	37
II-3-2-2- Relief	37
II-3-2-3- Orographie	38
II-3-2-4- Hydrographie	38
II-3-3- Géologie du secteur étudié	39
II-3-4- Description des sites étudiés.....	41

II-3-4-1- Site de Marechau	41
II-3-4-1-1- Localisation du site	41
II-3-4-1-2- Description du site	41
II-3-4-2- Site d'El Kherba.....	43
II-3-4-2-1- Localisation du site.....	43
II-3-4-2-2- Description du site	43
II-3-4-3- Site de l'Université.....	45
II-3-4-3-1- Localisation du site	45
II-3-4-3-2- Description du site	45
II-4- Autres travaux antérieurs sur la région.....	48
II-5- Conclusion.....	54
III- Synthèse minéralogique	
III-1- Propriétés des argiles	42
III-2- Cristalochimie, Structure et Classification des minéraux argileux	44
III-2-1- Cristalochimie des argiles	44
III-2-2- Propriétés macroscopiques des argiles	46
III-3- Minéraux argileux.....	47
III-3-1- Composition et structure	47
III-3-2- Critères de classification des minéraux argileux	47
III-3-3- Origine des minéraux argileux	47
III-3-4- Principales catégories des minéraux argileux.....	48

Chapitre II : Matériel et méthodes

Méthodologie de travail

1- Échantillonnage	69
2-1- Analyse minéralogique	70
2-1-1- Matériel utilisé	70
2-1-2- Mode opératoire	70
2-2- Analyse des paramètres géotechniques.....	70
2-2-1- Analyse chimique	70
2-2-2- Analyses pétrographiques sommaires (chimico-pondérale).....	70
2-2-2-1- Matériel utilisé	71
2-2-2-2- Mode opératoire	71
2-2-3- Analyse des paramètres géotechniques des sites étudiés.....	72
2-2-3-1- Sondages carottés	72
2-2-3-2- Essais de pénétromètre dynamique	73
2-2-3-3- Essais de laboratoire.....	73
2-2-3-4- Essais mécaniques	74
2-2-3-5- Tassements des fondations par Méthode de C et ϕ	77
2-2-3-5-1- Méthode de calcul de tassement	77
2-2-3-5-2- Choix des types des fondations	77
2-2-3-5-3- Calcul des tassements	78

Chapitre III : Résultats et Discussions

I- Analyses minéralogiques des sols des sites étudiés

I-1- Introduction	82
I-2- Site de Marechau.....	82
I-2-1- Synthèse.....	83
I-3- Site d'el Kherba.....	88
I-3-1- Synthèse.....	89
I-4- Site de L'Université.....	94

I-4-1- Synthèse.....	95
I-5- Conclusion.....	99
II- Analyses des paramètres géotechniques des sols des sites étudiés	
II-1- Analyses chimiques des sols des sites étudiés.....	101
II-1-1- Introduction.....	101
II-1-2- Site de Marechau.....	101
II-1-2-1- Analyses chimiques.....	101
II-1-2-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales.....	102
II-1-2-3- Synthèse.....	104
II-1-3- Site d'el Kherba.....	105
II-1-3-1- Analyses chimiques.....	105
II-1-3-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales.....	106
II-1-3-3- Synthèse.....	108
II-1-4- Site de l'Université.....	109
II-1-4-1- Analyses chimiques.....	109
II-1-4-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales.....	110
II-1-4-3- Synthèse.....	112
II-2- Analyses des paramètres géotechniques des sols des sites étudiés	
II-2-1- Introduction.....	113
II-2-2- Site de Marechau.....	114
II-2-2-1- Essais in situ.....	114
II-2-2-1-1- Sondages carottés.....	114
II-2-2-1-2- Essais de pénétration dynamique.....	116
II-2-2-2- Essais de laboratoire.....	119
II-2-2-2-1- Essais physiques.....	119
II-2-2-2-2- Essais mécaniques : Triaxial et Œdomètre.....	1234
II-2-2-2-3- Calculs des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire.....	126
II-2-2-3- Synthèse.....	130
II-2-3- Site d'el Kherba.....	134
II-2-3-1- Essais in situ.....	134
II-2-3-1-1- Sondages carottés.....	134
II-2-3-1-2- Essais de pénétration dynamique.....	136
II-2-3-2- Essais de laboratoire.....	139
II-2-3-2-1- Essais physiques.....	139
II-2-3-2-2- Essais mécaniques : Triaxial et Œdomètre.....	144
II-2-3-2-3- Calcul des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire.....	145
II-2-3-3- Synthèse.....	149
II-2-4- Site de l'Université.....	153
II-2-4-1- Essais in situ.....	153
II-2-4-1-1- Sondages carottés.....	153
II-2-4-1-2- Essais de pénétration dynamique.....	156
II-2-4-2- Essais de laboratoire.....	158
II-2-4-2-1- Essais physiques.....	158
II-2-4-2-2- Essais mécaniques : Triaxial et Œnométrie.....	162
II-2-4-2-3- Calcul des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire.....	163
II-2-4-3- Synthèse.....	168
II-2-5- Conclusion.....	172
Conclusion générale.....	176
Recommandations.....	179
Références bibliographiques.....	182

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le sol à travers le monde est exposé aux différents risques naturels comme l'érosion (Benguerai et Benabdeli, 2017), l'altération (Violette, 2010), liquéfaction (Javelaud, 2015), la salinité (Benbrahim et *al.*, 2016) les glissements (Oswald, 2003), les tassements (Forni, 2010), les gonflements (Gaombalet, 2004)...etc. dont le faciès commun entre eux est l'argile.

Les sols argileux ont été l'objet de nombreux travaux de recherche. Ils sont reconnus comme des sols sensibles aux variations hydriques subies au cours des cycles saisonniers, pouvant engendrer des désordres importants sur les constructions (Chretien, 2010). Ce phénomène dépend de la nature lithologique, de l'aspect minéralogique, de la composition chimique et des caractéristiques mécaniques qui ont déroulent des constituants de ces sols.

En effet, les sols à comportement gonflant sont ceux qui possèdent des minéraux argileux sensibles à l'eau, responsables de leur capacité à gonfler et augmentent de volume par contre la perte en eau des sols, déficit hydrique, se traduit par une augmentation de la succion, suivie d'une diminution de volume et enfin par la création de fissures de retrait à la surface (Mouroux & *al.*, 1988 et Chretien, 2010).

L'Algérie était l'objet de nombreux travaux de recherche dans ce sens; nous citons l'effort de Azzouz en 2015 sur la région de Tlemcen, Benaïssa en 2003 sur la région de Constantine, Bellatrache en 2012 sur la région de Ain Aminas et Afes en 1996 ; Afes et Didier en 2000, Athmania en 2010 et Khellaf et Hamimed en 2018 sur la région de Mila.

La région de Mila, dont fait partie notre secteur d'étude, appartient géologiquement au bassin Constantinois (bassin pot nappe de Mila-Constantine). Elle est caractérisée par des argiles surmontant des marnes d'âge Mio-Plio-Quaternaire (Coiffait, 1992). Ces argiles présentent un retrait (tassement) important au séchage (Afes et Didier, 2000). Ce phénomène provoque ou engendre des dommages (fissurations, inclinaisons...etc.) aux constructions individuelles et étatiques construites dans cette région (Chettah, 2009 ; Khellaf, 2009, Forni, 2010, Khellaf & *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c), ce qui gêne le développement et l'extension de la wilaya. Ce problème impose l'intervention des chercheurs de différents domaines comme la géologie, le génie civil, l'architecture, la géotechnique...etc. Pour cela nous avons contribué, par le présent travail, à étudier ces argiles et proposé des solutions au problème des tassements dans la commune de Mila et spécifiquement dans le Sud et l'Ouest du chef-lieu de la wilaya (site de Marechau, site d'el Kherba et site de l'Université).

Cette contribution s'articule sous les chapitres suivants :

Dans le premier chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique sur le bassin de Mila-Constantine où nous visons leur géographie et leur géologie : le contexte régional, local et même les travaux antérieurs effectués sur cette aire géographique.

Le deuxième chapitre est plus spécifiquement consacré à la présentation du matériel et des méthodes utilisées pour les analyses des sols de trois sites qui forment les deux côtés (Sud et Ouest) d'extension de la ville de Mila. Ses argiles sont soumises à :

1. Des analyses minéralogiques approfondies par diffraction aux rayons X ; afin de tirer l'essentiel des minéraux composant les sédiments de la région en question et par conséquence leur contribution à la génération des tassements des sols dans cette région.
2. Des analyses de différents paramètres géotechniques de sol des trois sites qui sont effectués comme suit:
 - Analyses chimiques à pour quantifier la composition chimique (sulfates, chlorures et parfois la matière organique) de ces sols qui nous permettent de déterminer et évaluer leur agressivité au béton et par conséquence de protéger notre constructions.
 - Analyses pétrographiques (chimico-pondérale) à pour déterminer d'une part, le pourcentage de la fraction argileuse, la fraction sableuse et des carbonates composant les sols argileux des trois sites cités ci-dessus par méthode de Czerminski et d'autre part, de déterminer leurs rôles, surtout pour la fraction argileuse, à la génération des tassements.
 - Analyses géotechniques des sols de trois sites par des essais in situ (sondages carottés et pénétration dynamiques) ou des essais de laboratoire (physiques et mécaniques) afin de connaître avec certitude la nature lithologique des couches traversées, d'avoir une idée sur le comportement de ces sols vis-à-vis la rupture et le degré d'homogénéité, d'évaluer quantitativement leur portance, de déterminer ses paramètres physiques et mécaniques en vue d'estimer son état naturel et le rôle ou la contribution de l'ensemble de ces facteurs à la génération des tassements dans la région de Mila.

Le troisième chapitre est réservé pour le traitement des résultats obtenus de ces analyses minéralogiques et géotechniques des sols de trois sites étudiés de la région de Mila et leurs interprétations.

En fin, nous finirons cette thèse par une conclusion générale qui synthétise ou résume les résultats obtenus et les recommandations que nous avons jugé utiles pour la suite du travail.

CHAPTER I :

CADRE

GEOLOGIQUE

I- APERÇU

GEOGRAPHIQUE ET

GENERALITES SUR LA

REGION ETUDIEE

I- APPERCU GEOGRAPHIQUE ET GENERALITES SUR LA RÉGION ETUDIEE

I-1- Situation géographique de la Wilaya de Mila

La Wilaya de Mila (l'antique *Milev*), dont fait partie notre secteur d'étude, est située à une cinquantaine de kilomètres à l'Ouest de Constantine et 33 km de la mer méditerranéenne ; sur une superficie de 9.373 km² et d'altitude moyenne de 500 m. Sur cette aire géographique se répartissent 13 daïras et 32 communes. Administrative elle est délimitée par la Wilaya de Jijel et Skikda (105 km) au Nord; la Wilaya de Constantine (50 km) à l'Est ; la Wilaya d'Oum el Bouaghi et Batna, au Sud et la Wilaya de Sétif (140 km), à l'Ouest (Fig.1).

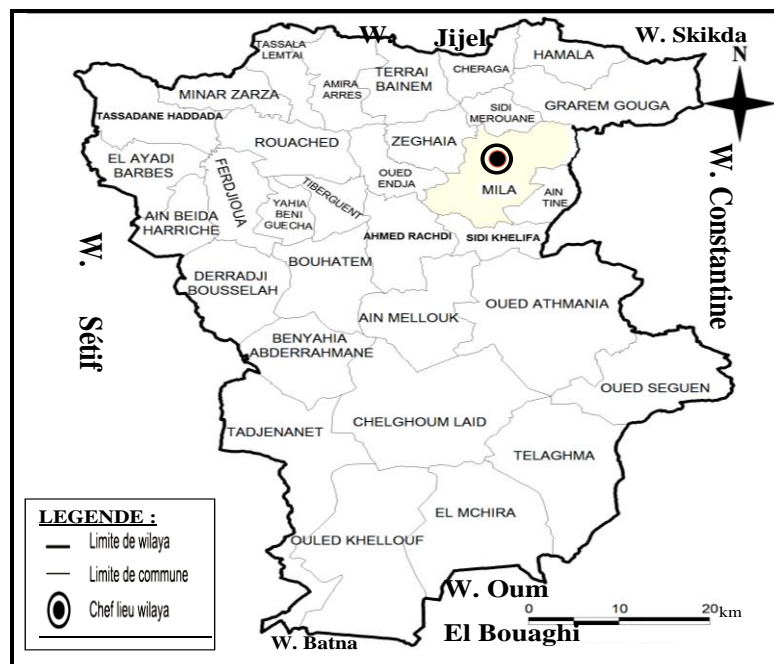


Fig.1 : Situation géographique et subdivision administrative de la Wilaya de Mila.

I-2- Hydrographie de la région d'étude

L'hydrologie du bassin de Mila-Constantine qui est caractérisé, dans l'ensemble, par une altitude moyenne d'environ 500 m et un réseau hydrographique extrêmement dense et hiérarchisé alimentant l'Oued Rhumel qui descend de 256 à 135 m pour former avec Oued Endja, l'Oued El Kébir au centre Ouest de la commune d'el Grarem. Les affluents de ce dernier sont les Oueds Mehari, l'Oued Tadjenanet et l'oued Athmania. Il draine les hautes plaines de l'Est à l'Ouest. La forme de la région en bassin avec un couloir Est-Ouest fait que nous avons une orientation générale du réseau hydrographique Sud-Nord ou Nord-Sud selon les cas (Mebarki, 1982) (Fig.2).

La prédominance de dépôts détritiques (conglomérats, graviers et sable), rend assez favorable l'emmagasinement des eaux et le développement de nappes phréatiques. Cependant, la contamination par les sels des roches évaporitiques rend souvent ces eaux inutilisables.

I-3- Climat et Végétation de la région

La position géographique de la Wilaya de Mila est soumise aux influences du climat méditerranéen, avec des nuances qui varient du Nord au Sud. Dans la partie Nord, il régnait un climat de type sub-humide frais caractéristique des reliefs montagneux (Côte, 1974; Rullan-Perchirin, 1985), tant dis que dans la partie Sud de la Wilaya on note une dominance des influences sub-arides plus ou moins doux. Notre zone d'étude se positionne dans la partie Nord, elle bénéficie de certaine fraîcheur et d'une lame de précipitation plus ou moins importante. Elle reçoit une moyenne de 700 mm/an dans la zone montagneuse, 350mm/an au Sud et 400 à 600mm/an dans la partie centrale. Elle est marquée aussi par des écarts de température assez importants ; en Été, sec et chaud plus ou moins long, les températures avoisinant les 40°C, mais en Hiver, doux et humide, elles sont généralement basses et peuvent parfois descendre en dessous de 0°C.

Le couvert végétal est peu important, il se résume principalement aux cultures céréalières et des herbes sauvages.

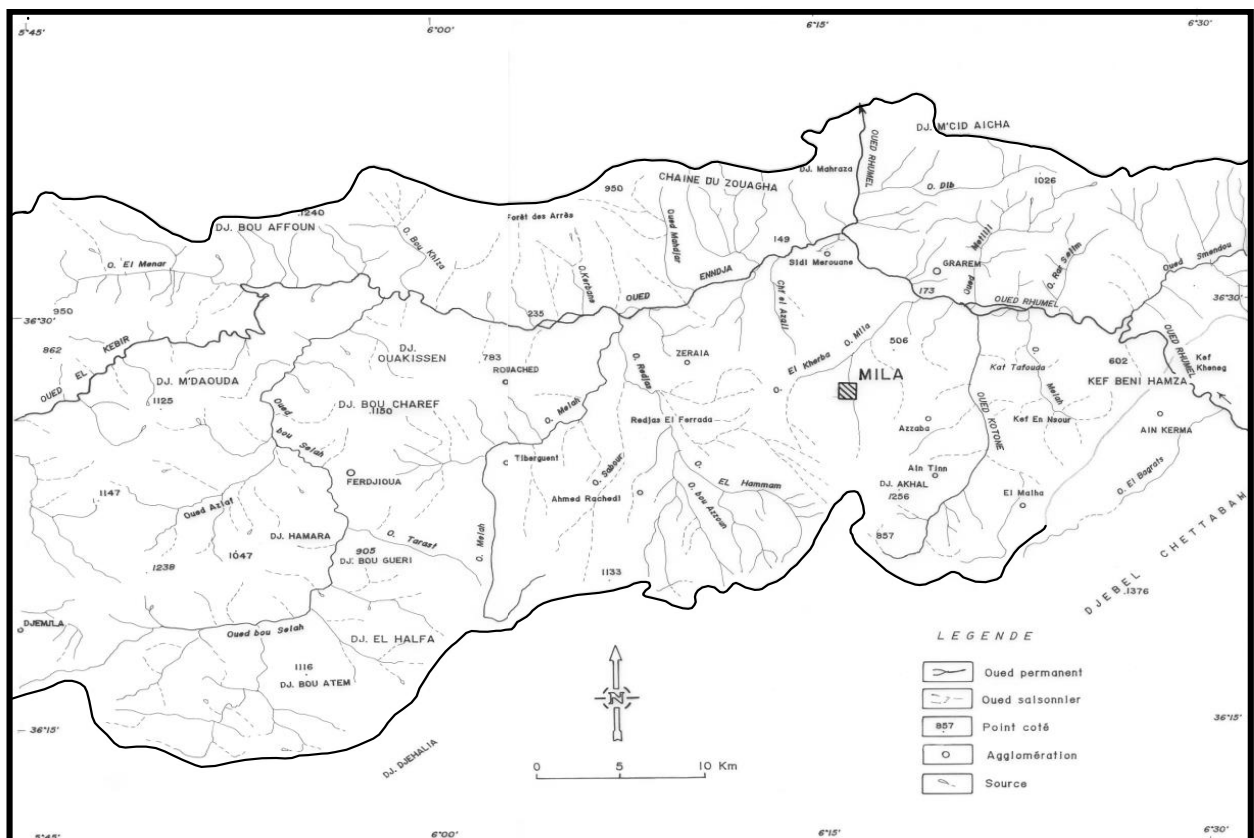


Fig.2 : Réseau hydrographique du bassin de Mila (Remmache, 2006).

I-4- Orographie de la région

La région étudiée se particularise par un aspect orographique important. En effet, elle est marquée et entourée par un relief très accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables (Fig.3) :

- Au Nord, avec notamment des massifs culminants à des hauteurs très élevées, par les contres fort de l'Atlas tellien annoncé par le Sidi Driss (1364 m), le M'cid Aicha (1462 m) et la chaîne de Zouara (1292 m); au Sud, on trouve des massifs montagneux d'une altitude dépassant les 1100 m à Djebel Osman, Djebel Grouz à 1167 m et Djebel Chettabah à 1316 m, à l'Est, par les reliefs carbonatés du Djebel Kheng et de Djebel Akhal culminant à plus de 1256 m et à l'Ouest par les reliefs carbonatés de Djebel Oukissène, Djebel Boucharef et Djebel el Halfa.
- Le reste de la région ou la partie centrale de la Wilaya comporte de hautes plaines ou des zones basses qui représentent environ 55 % de la superficie du bassin. Ces dernières bordent les zones montagneuses et occupent des surfaces assez importantes environ 15 %, avec une altitude variant de 500 à 750m. (exemple type est la dépression d'Oued El Kaïm).
- De profonds ravins et talwegs, montrent des pentes variant entre 35 à 60 %.

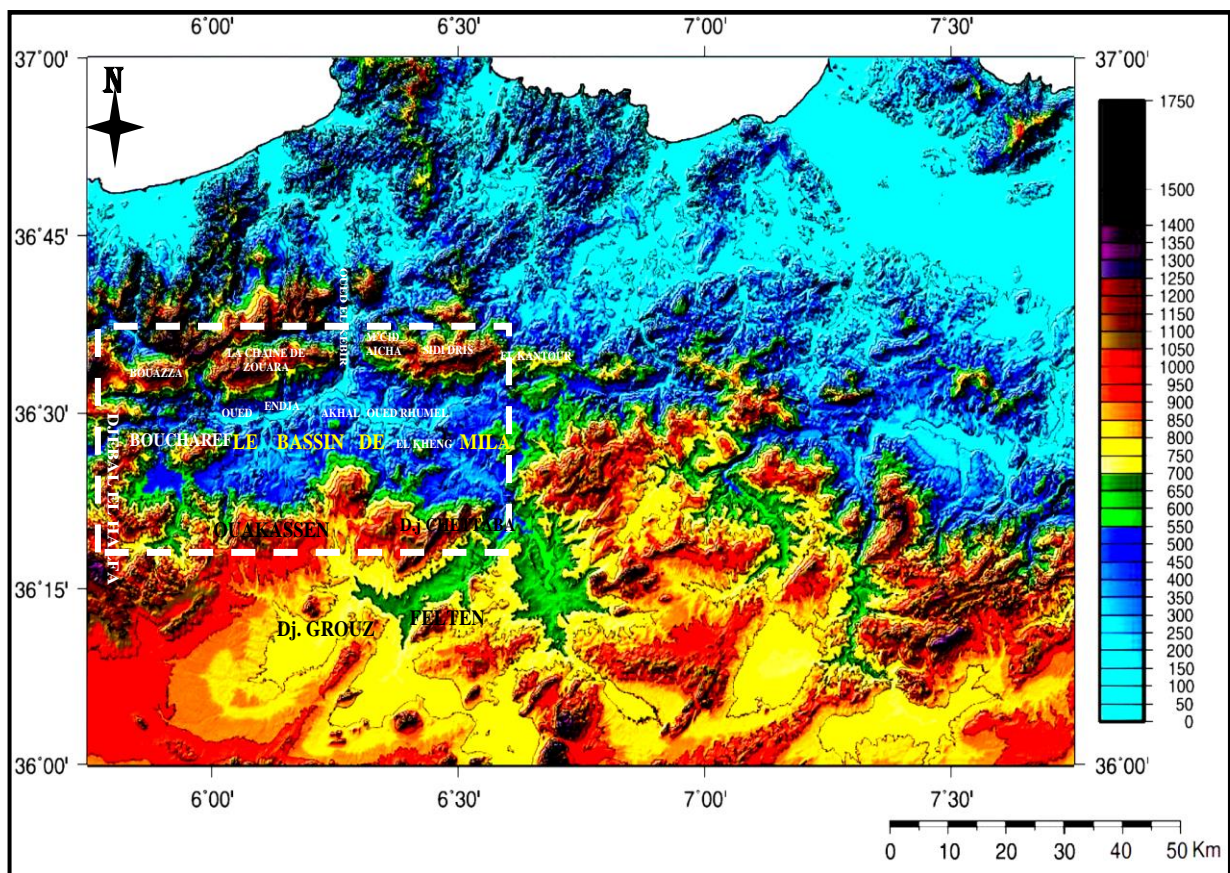


Fig.3 : Carte des reliefs de la région d'étude (Belabbes, 2012).

I-5- Sismicité de la région

D'après les enregistrements sismiques disponibles au niveau des stations sismiques, la région de Mila, bien que se situe à la limite entre deux provinces géologiques, semble présenter une sismicité moins importante que les régions avoisinantes telle que la zone de Constantine ou des Babors (Michel, 2000).

La ville de Mila est située dans une région sismique classée d'après R.P.A¹ comme pouvant subir des secousses d'intensité moyenne à faible. Cette zone est bordée au Nord-Ouest et au Sud-Est par deux zones sismiques plus actives et d'intensité possible supérieure à 4 (Fig.4) (Michel, 2000). Parmi les épicentres localisées dans un rayon de 3 km autour de la ville de Mila, les séismes les plus importants sont déroulés comme suit (Michel, 2000 et Bouedja, 2010):

- 1) Pour la période 1951-1960, cette période est caractérisée par une sismicité faible et diffuse (période de révolution incluse) mais de magnitudes importantes (16 événements de magnitude $M_s > 4$). Les deux plus importants événements ont été localisés au Sud-Ouest de la ville de Guelma et au Nord-Ouest de la ville de Mila. Cinq événements ont été localisés dans la région de Constantine « El Merige » (Bouedja, 2010).
- 2) À partir de 1977 des événements importants ont été enregistrés presque tous de $M_s > 3$. Les deux événements les plus importants se sont produits au Nord-Est du village d'Ain-Fakroun et au Nord du village de Chelghoum el Aid (Bouedja, 2010).
- 3) Le séisme de 23/8/1978 : dans la zone de chevauchement de Sidi Mérouane à une distance de 16 km du barrage de Beni Haroun avec une magnitude non déterminée.
- 4) Le séisme de 20/12/1983 : dans le massif de Sidi Dris à environ 27 km au barrage de Beni Haroun avec une magnitude de 4,6 Mm.
- 5) Le séisme répertorié comme le plus important est localisé sur un rayon de 50 km autour de la ville de Mila est celui du 27/1/1985, de magnitude du 5.9 Mm et dont leur épicentre est située au Nord-Est de Constantine (Iben Badis).
- 6) La période 2000-2002 est caractérisée par une forte activité, la majorité des événements ont des magnitudes $3 < M_s < 4.5$. Cette période est bien distribuée dans la moitié Nord de la région de Constantine en petits essaims. Ces épicentres sont observés principalement dans la région comprise entre El-Kantour et le Nord de Djebel Sidi-Driss, au Nord-Est de Djebel Ouasch, au Nord-Ouest du village de Sidi Mérouane, dans la région d'Oueled Habeba et au Nord de la ville de Constantine (Bouedja, 2010).

¹ Règles Parasismiques Algériennes.

7) La période de 2003-2009 : La région Nord de Mila est caractérisée par une sismicité diffuse et des magnitudes importantes, se manifestant essentiellement dans les régions suivantes :

- La région entre Sidi Mérouane et Redjas : les épicentres sont concentrés essentiellement le long de la vallée d'Oued Enndja et sur les versants méridionaux de la Chaîne de Zouara. La plupart des événements ont des magnitudes $M_l > 3$.
- La région de Mila : un alignement d'épicentres de direction NW-SE passant à la ville de Mila.
- M'Cid Aicha: au Nord du village de Grarem la sismicité est présente essentiellement sur la partie Ouest de Djebel Sidi-Driss et sur les versants de Djebel M'Cid-Aicha, parfois avec des magnitudes $M_l > 4$ (Bouadja, 2010).

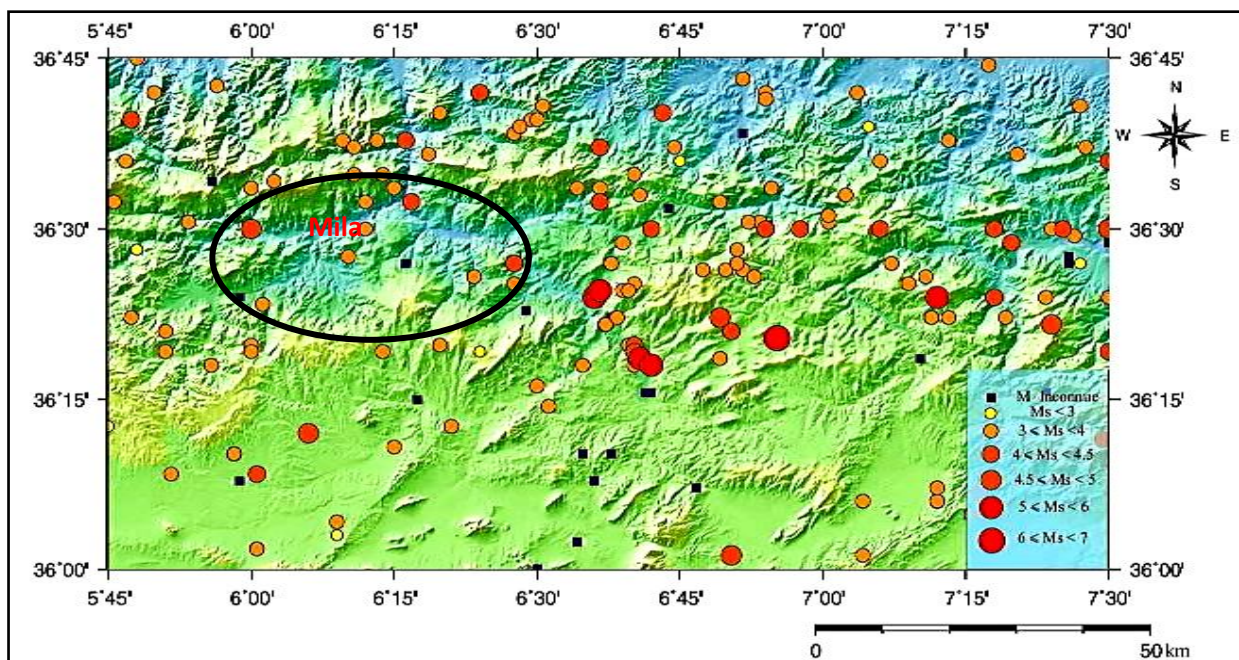


Fig.4 : Sismicité de la région de Constantine de 1900-2002 (Bouadja, 2010).

II- CONTEXTE

GEOLOGIQUE

II-1

CONTEXTE GEOLOGIQUE

REGIONAL

II-1- CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

II-1-1- Introduction

Le bassin Néogène de Mila-Constantine, appartient au domaine externe de la chaîne alpine d'Algérie Nord orientale. Cette branche de la chaîne alpine est rattachée à la branche Sud des Maghrébides entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est. La partie Nord orientale de cette branche est généralement subdivisée en trois grands domaines : un domaine interne, regroupant le socle kabyle et sa couverture sédimentaire; un domaine médian : domaine des flyschs et un domaine externe, correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays (Durand Delga, 1969, Bouillin, 1977 et Wildi, 1983) (Fig.5).

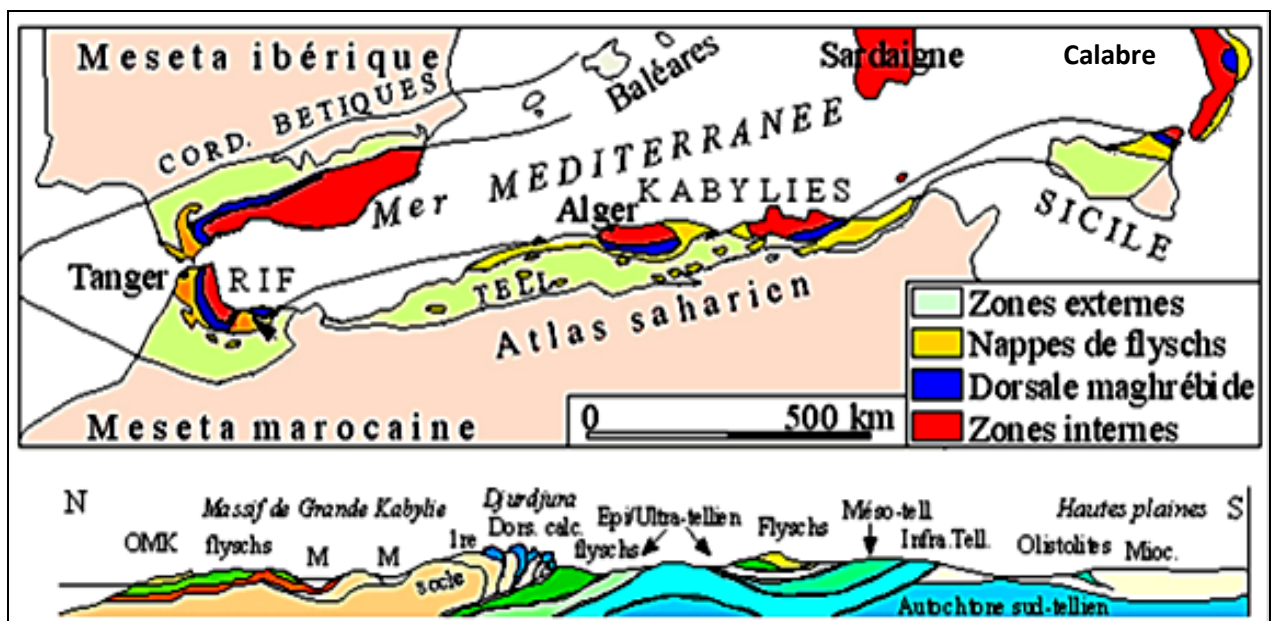


Fig.5 : Carte et coupe structurale schématique de la chaîne des Maghrébides (Durand Delga et Fontboté, 1980).

II-1-2- Domaine interne

Il correspond au socle cristallophyllien et sa couverture sédimentaire carbonatée (la dorsale kabyle).

II-1-2-1 Socle kabyle

Il s'agit d'un ensemble de formations cristallophylliennes d'âge Paléozoïque (Durand Delga, 1969; Raoult, 1974 et Bouillin, 1977).

II-1-2-2- Dorsale kabyle ou la chaîne calcaire

C'est la couverture sédimentaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au Nord et les zones telliennes au Sud. Elle montre des termes allant du Permo-Trias, discordant sur le socle kabyle, à l'Oligocène (Raoult, 1969 - 1974).

II-1-3- Domaine médian ou le domaine des flyschs

Ce sont des formations sédimentaires allochtones d'âge Crétacé à Éocène (Raoult, 1975). Elles sont classiquement subdivisées en :

Flysch Maurétanien sont caractérisées par des formations allant du Néocomien au Lutétien (Gelard, 1969 et Bouillin, 1977).

Flysch Massylien sont essentiellement pélito-quartzitiques. (Raoult, 1969). Ces flyschs comportent une série qui va du Crétacé inférieur « Néocomien » à l'Éocène (Bouillin, 1977).

Flysch Numidien occupe une position structurale allochtone, la plus haute de l'édifice alpin. Il est représenté par une série argilo-gréseuse d'âge Oligocène à Burdigalien Basal (Raoult, 1972 et Lahondère, 1979).

II-1-4- Domaine externe

II-1-4-1- Domaine tellien

Il correspond aux formations situées sur la paleomarge africaine (Bouillin, 1986). Ce sont des séries épaisses à faciès marno-calcaire d'âge Crétacé-Éocène, issues du sillon tellien (Vila, 1980). Certains auteurs notamment Lahondère en 1987 subdivisaient les formations du domaine tellien en trois grandes unités (Fig.6) :

Unités ultra-telliennes sont largement développées dans le Constantinois. Ces unités déposées sur sa marge septentrionale, sont caractérisées par des faciès micritiques clairs d'âge Crétacé à Eocène (Durand Delga, 1969).

Unités telliennes sensu-stricto regroupent les unités épi, méso et infra telliennes (Keiken, 1962). Ces unités correspondent aux formations carbonatées du Jurassique, souvent dolomitisées et surmontées de calcaire plus ou moins massif du Valanginien au Cénomani (Coiffait, 1992).

Unités Péni-telliennes elles sont représentées au Nord et à l'Ouest de Constantine (Djebel Chettabah, Djebel Akhal, Djebel Grouz et Djebel el Kheneg). Dans la zone septentrionale et occidentale, cette unité se distingue par ses formations Jurassico-Crétacées caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de plateforme (calcaire et marno-calcaire du néritique) et des faciès de bassins (marnes du domaine tellien).

II-1-4-2- Avant pays

Il correspond aux formations calcaires et marneuses de la plateforme constantinoise et du domaine atlasique. Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (Vila, 1980).

Avant pays allochtone comporte plusieurs unités :

- **Unités Sud sétifiennes** sont caractérisées par des séries sédimentaires mésozoïques de plateforme subsidente, qui admettent des intercalations pélagiques. Elles s'intercalent entre l'unité néritique constantinoise et les écailles atlasiques des Sellaoua (Wildi, 1983 et Vila, 1980).
- **Unités néritiques constantinoises** sont caractérisées par des séries carbonatées épaisses à microfaunes benthiques et a rudistes du Mésozoïque (Vila, 1980), déposées sur une plate-forme faiblement subsidente. Ces unités chevauchent les écailles de Sellaoua et les unités Sud sétifiennes.
- **Unités des Sellaoua** affleurent aux pieds des Séries Néritiques Constantinoises chevauchantes. Elles se caractérisent par des faciès bordiers du sillon atlasique. Le saut brusque de faciès entre ces séries et l'Atlas autochtone serait cependant suffisant pour envisager des raccourcissements considérables attribuables à des chevauchements de grande ampleur (Vila, 1980).

Avant pays autochtone est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de : l'Atlas tunisien, l'Atlas saharien, Monts du Hodna, Monts de Batna et Monts des Aurès.

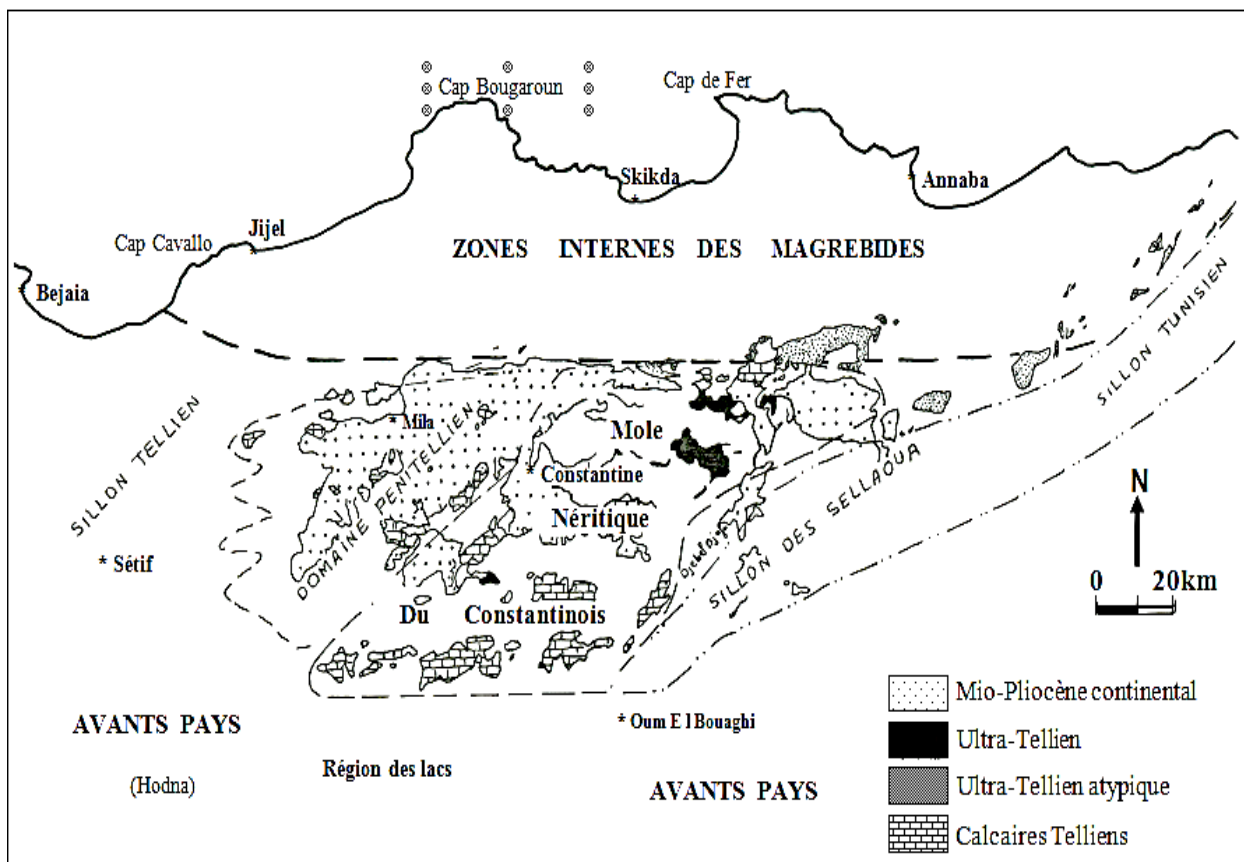


Fig.6 : Carte schématique de la répartition des différents domaines paléogéographiques du Nord-Est algérien (Lahondère, 1987).

II-2-

**GEOLOGIE DU BASSIN
NEOGENE DE
MILA-CONSTANTINE**

II-2- GEOLOGIE DU BASSIN NEOGENE DE MILA-CONSTANTINE

II-2-1- Introduction

Le bassin de Mila, fait partie du bassin poste nappe du Constantinois (Coiffait, 1992), situé à une cinquantaine de kilomètres à l’Ouest de Constantine. Il est couramment dénommé bassin Néogène de Mila (renferme le sous bassin de Mila, le sous bassin de Redjas et le sous bassin de Ferdjioua). Il couvre une superficie de 3500 km² (de quarantaines de kilomètres de largeur et de 120km de longueur) (Athmania, 2010), et il est limité, au Nord, par l’arête montagneuse de Kalaa Touma, Djebel M’Cid Aicha, Djebel Sidi Driss, chaînon de Zouara, Djebel Arres et Djebel Sidi Bou Azza, à l’Est, par les massifs du Djebel Chettabah et el Kheneg, au Sud, par le Djebel Ossmane, Djebel Akhal et Djebel Grouz et à l’Ouest, Djbals el Helfa, Djebel Boucharef et Djebel Oukissène. Tous ces massifs représentent leur substratum (Fig.7), qui provient de domaines paléogéographiques différents (rapprochés ou superposés lors d’une phase tectonique antérieure aux dépôts Néogène (Coiffait, 1992).

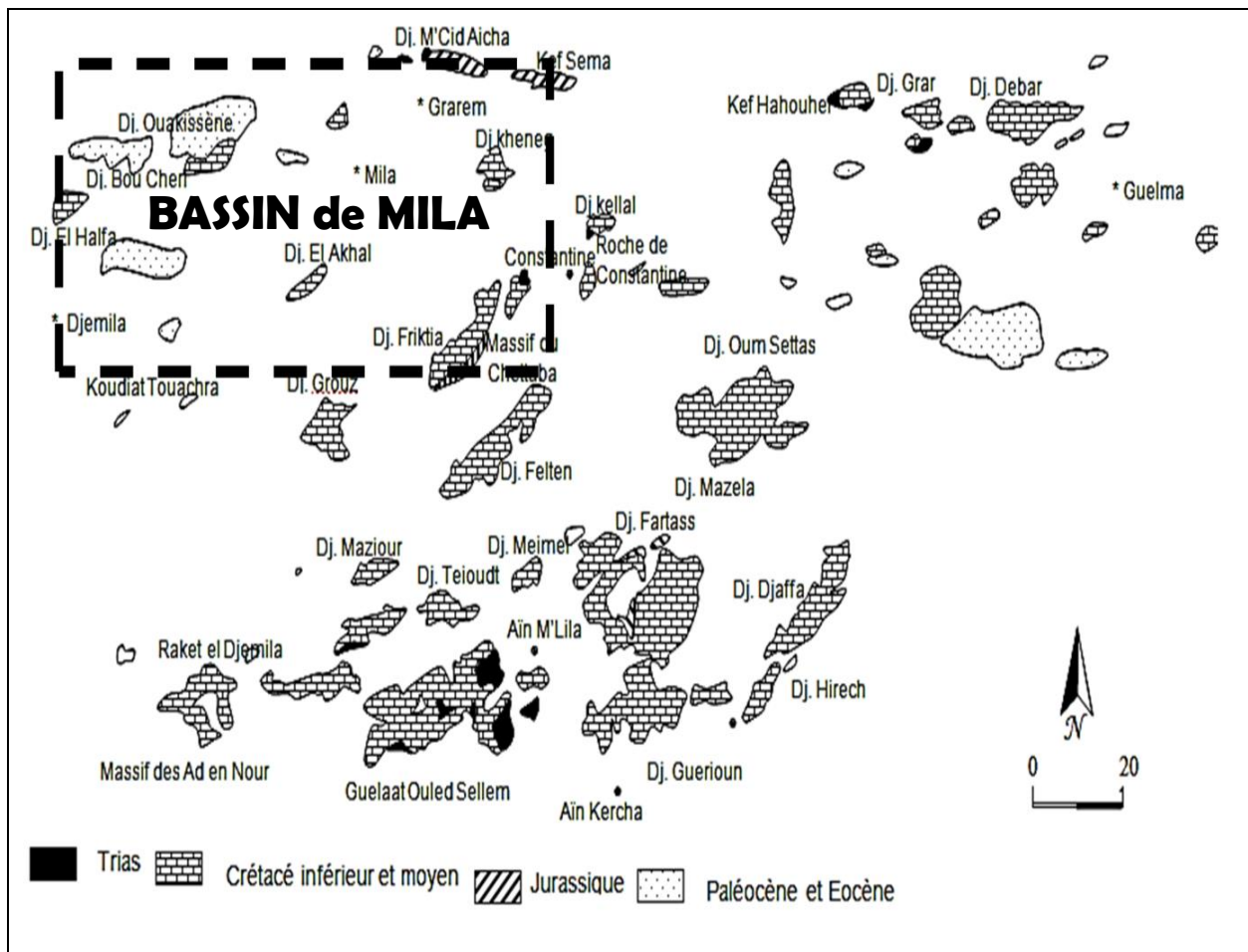
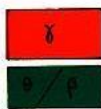


Fig.7 : Principaux affleurements des Séries Néritiques Constantinoises et position du bassin Néogène de Mila-Constantine dans l’ensemble (Vila, 1980, modifiée).

II-2-2- Caractéristiques des ensembles lithostratigraphiques du bassin Néogène de Mila-Constantine

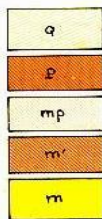


ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES



Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.
 θ: Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hammam Meskoutine(θ).

ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR



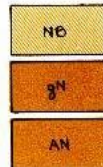
q Quaternaire indifférencié (Villafran-
 chien à actuel).
 p Pliocène marin des zones côtières.
 mp Mio-Pliocène continental.
 m' Burdigalien supérieur-Langhien de la
 marge littorale.
 m Miocène marin transgressif indifféren-
 cié des nappes telliennes et de leur
 avant-pays allochtone, parautochtone
 ou autochtone.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE



OFN Oligo-Miocène kabyle,olistostromes à
 flyschs résédimentés (y compris le Nu-
 midien) et flyschs en position nord-
 kabyle(F').
 OF Olistostromes superposés à l'Oligo-
 Miocène kabyle; OF- Olistolites telliens
 de la région d'El Milia.
 C CHAÎNE CALCAIRE: Paléozoïque à Lutétien
 supérieur des zones interne,médiane et
 externe.
 SBA Socle kabyle: SBA- Paléozoïque des Béni-
 Afeur
 SK- Socle métamorphique de
 Petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades
 micaschistes,porphyroïdes,gneiss et mar-
 bres.
 SB- Socle basique du Cap
 Bougaroun(péridotites et "kinzigites"
 rétro-morphosées).

NAPPE NUMIDIENNE



N0 Formation de Babouche(Aquitano-Burdi-
 galien).
 gN Grès numidiens et séries mixtes.
 AN Principaux affleurements d'argiles
 de base à Tubotomaculum.

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

FLYSCHS MAURÉTANIENS



Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi
 Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de
 Bou Tafeb, de la Robertsau (Souk es Sebt)
 et de La Marsa.
 Séries médianes de Guerrouch, d'El Karn,
 de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn
 Berda (Penthièvre)
 Séries externes (ex-"Medjanien") et sé-
 ries atypiques de Tamalou, du Kef Mez-
 zouch et de Ziane.
 Cas de la série des Achaïches (série mé-
 diane).
 1- Crétacé
 2- Jurassique
 3- Permo-Trias et Carbonifère.
 Unité Sendouah-Tabellout à substratum
 basique.

FLYSCHS MASSYLIENS



Séries typiques à phanites ou à brè-
 ches vertes et rouges.
 Cas de la série du Djebel Filfila
 1- Crétacé
 2- Jurassique.
 Unités de type Adissa et Sénonien mar-
 neux à microbrèches ou à blocs.
 A- Eocène
 F- Sénonien marneux à microbrèches ou
 à blocs.

Fig.8 : Extrait de la carte structurale 1/500.000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens et position du bassin de Mila-Constantine dans l'ensemble (Vila, 1980).

Les différents ensembles lithostratigraphiques représentés dans le bassin de Mila – Constantine, sont résumés d'après les auteurs suivants : Durand Delga (1955), Vila (1980), Coiffait (1992) et Chadi (2004).

II-2-2-1- Trias

Les formations du Trias représentent les terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans le bassin. Ils sont essentiellement représentés par des dépôts évaporitiques et argileux. Ils n'affleurent jamais en position stratigraphique normale, mais se présentent en pointements diapiriques et en lames injectées le long des accidents tectoniques. On les voit souvent pointer à travers la couverture Mio-Plio-Quaternaire. Les formations (Fig.8 et 14) soient généralement peu étendues dans le substratum proprement dit du bassin de Constantine. Elles affleurent dans la région de Sidi Mérouane (el Hammam et Kodiat el Hamra), SE de Beinen (Kaf Azrou), au NW de Djebel Moul el M'Cid (Fej Akdal), au SW de Djebel kekra (M^{at} Kribsa) au pied de Djebel M'Cid Aicha à l'Ouest, entre M'Cid Aicha et Kaf Sema, Au Nord d'Ain el Kerma, deux pointements triasiques existent au Kef Beni Hamza et à l'Ouest du Bir el Mentene. Au Sud d'Ain Tin (ex : Belfort), la masse du Djebel Akhal est limitée au Nord par une lame de Trias, et au pied des massifs du Kheneg et du Djebel Chettabah.

II-2-2-2- Jurassique

Les formations du Jurassique sont représentées au niveau des massifs bordant le bassin de Mila, notamment aux Djebel Kheneg, Djebel Akhal, Djebel Chettabah, Djebel Kerkara et au Djebel M'Cid Aicha (Durand Delga, 1955 et Raoult, 1974).

Elles forment une épaisse série carbonatée dépassant les 600 m. Elles sont caractérisées par des dolomies et des calcaires à silex. Ces formations sont localement associées à des calcaires massifs oolithiques et parfois à des marnes (Fig.7).

- a- Lias** : Il est représenté par des roches carbonatées massives surmontées par des calcaires à silex. Ces formations liasiques affleurent dans la région de Sidi Mérouane au NW, à el Kodiat el Hamra, (Joleaud, 1912), au SE de Beinen (Kaf Azrou) et Kodiat Es-Settra (Mat Sofa), au Nord de Draa Ache el Agab, à l'Est de Djebel M'Cid Aicha, (Durand-Delga, 1955).
- b- Dogger** : Il est essentiellement caractérisé par des formations carbonatées souvent dolomitiques.
- c- Malm** : Il est représenté par des calcaires fins à Calpionelles. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important au Djebel Kheneg. Quand il n'est pas dolomitique est formé, dans sa partie supérieure de calcaires fins à Calpionelles, vers le

Sud-Ouest (Djebel Frictia) (Fig.12), la dolomitisation se développe. Un phénomène identique s'observe vers le Nord, au Djebel Kheneg. Mais dans ce dernier affleurement, les phénomènes de dolomitisation secondaire sont importants.

Le Jurassique du substratum du bassin de Constantine et notamment du bassin voisin de Mila débute au Djebel Akhal (Fig. 8), où il affleure des roches carbonatées massives (Coiffait, 1992), surmontées de calcaires à silex, non datés, mais correspondant vraisemblablement au Lias. Dès le Jurassique cette région du substratum du bassin de Constantine s'avère être une zone de transition entre deux secteurs différents du domaine tellien (Coiffait, 1992) : le domaine des Babors, à l'Ouest et au Nord-Ouest, et le Môle Néritique de Constantine, à l'Ouest et au Sud-Ouest. Le Môle Néritique lui-même apparaît dès le Dogger comme une plate-forme, bordée au Sud-Est par une zone pélagique.

II-2-2-3- Crétacé

Les termes crétacés correspondent dans le domaine tellien, souvent dans le Constantinois à des calcaires néritiques déposés sur une ancienne plateforme, appelée tout d'abord « Autochtone Néritique » (Durand Delga, 1955).

Le Môle Néritique Constantinois est aujourd'hui morcelé du fait de la tectonique en différents massifs isolés les uns des autres, affleurant à la faveur de failles qui leur permettent de percer en horst leur couverture.

Les marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur, connues au Djebel el Akhal (Fig.7, 8 et 9) et qui s'observent également plus à l'Ouest dans la région d'Ahmed Rachedi, au Nord de Fredjioua, au Djebel Oukissène, au Boucharef et au Djebel el Halfa. Il s'agit là du Péni-tellien.

Quant au Crétacé supérieur, il affleure sur de grandes surfaces essentiellement au Sud du bassin de Constantine. Il constitue, avec le Tertiaire tellien également à dominante marneuse ; (seul l'Yprésien est carbonaté).

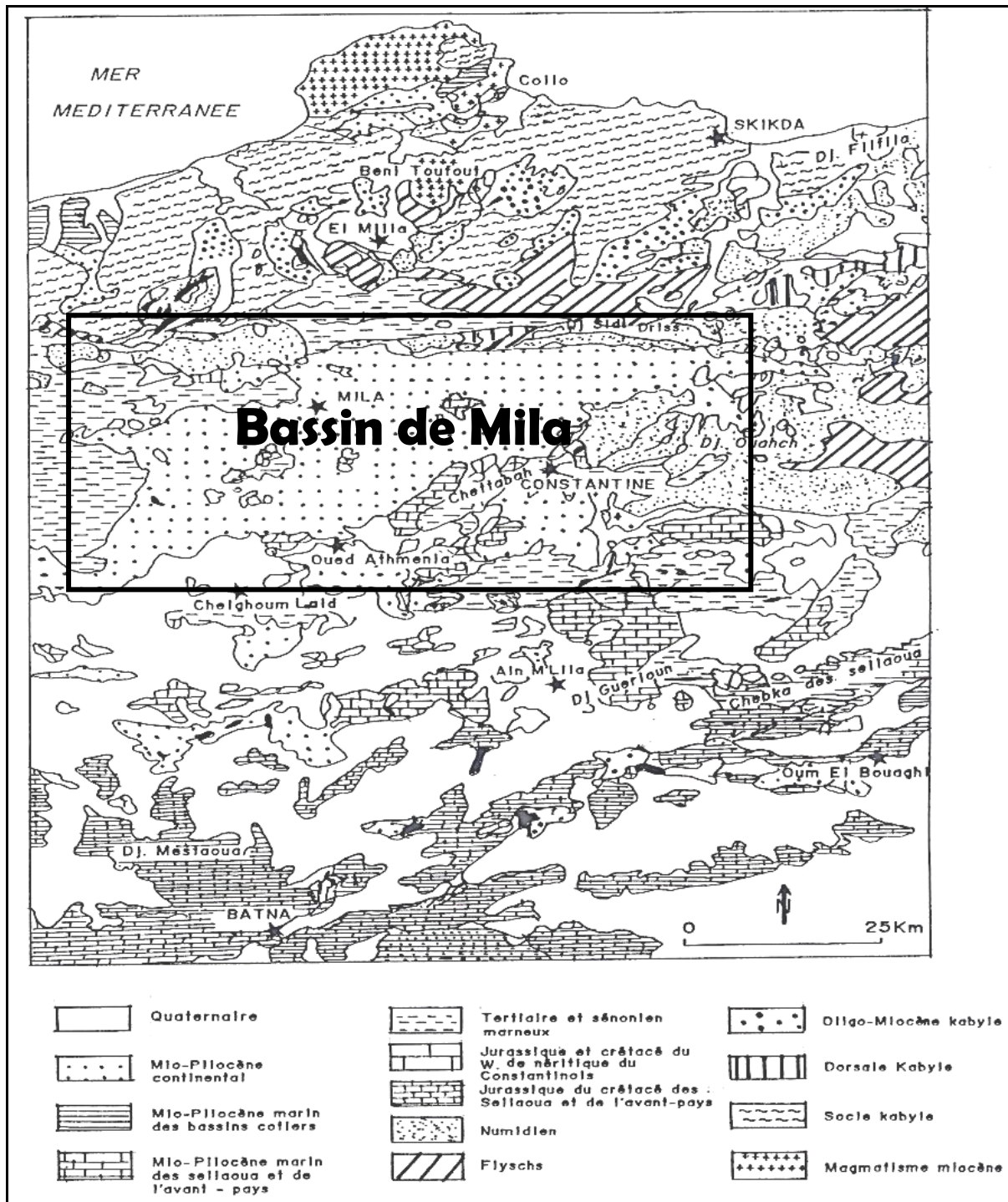


Fig.9 : Carte géologique du bassin de Mila- Constantine (Vila, 1980).

II-2-2-3-1- Crétacé moyen et inférieur

Les formations du Crétacé inférieur sont caractérisées par des marnes et des marno-calcaires. Ces formations renferment des ammonites (comparables à celui de l'Ultra-tellien). Elles présentent une série continue et sont bien connues au Djebel Akhal (Joleud, 1912), ainsi qu'à l'Ouest dans le massif d'Ahmed Rachedi, du Djebel Oukissène (Rouached), du Djebel Boucherf et du Djebels el Halfa (Ferdjioua) et dans la région de Sidi Mérouane (au Nord de Ache el Agab) au Sud-Ouest de Mouia, au Sud de Djebel M'cid Aicha (région de Hamala).

Elles débutent par une alternance de marnes, de calcaires gris noir cristallins, parfois bréchiques, et de grès quartziteux gris. La série se poursuit par un puissant ensemble de marnes et de pélites calcareuses. Les séries du Crétacé inférieur sont représentées par :

- **Berriasien** : il débute par un conglomérat calcaire à Bélemnites.
- **Berriasien supérieur**: correspond à quelques mètres de marnes et de calcaires marneux à calcite très finement détritique.
- **Valenginien**: il correspond à une alternance de calcaires marneux et de marnes calcaires. Vila (1980), signale vers la base un niveau conglomératique à Duralia. Les marnes ont livré une riche faune d'Ammonites.
- **Hauterivien**: il est représenté par une vingtaine de mètres de calcaires fins, claires à cassure foncée, alternant avec quelques marnes qui ont livré: Phylloceras, Spitidiscus, Olcodiscus et Lamellaptychus (Joleaud, 1912).
- **Barrémien, l'Aptien et l'Albien** : ils correspondent à des marnes et marno-calcaires développés sur près de 250m. Un lambeau au flanc Sud du Djebel Akhal, présente des marnes à ammonites pyriteuses, a fourni quelques-unes des espèces caractéristiques et contenant aussi quelques passés gréseuses.

L'Albien est généralement mince à intercalations marneuses fréquentes. Seul le Djebel Grouz montre selon Vila (1980), un Albien à bancs calcaires bien développés et à silex, par-dessus des marnes et des marno-calcaires.

Vila (1980) décrit un Crétacé « moyen » marno-calcaire et réduit fort comparable à celui de Djebel Karkara (Fig.11), dans les massifs affleurant au Sud-Est d'Ahmed Rachedi, aux Djebele Boucharef et Oukissène (au Nord de Ferdjioua) et au Djebel Halfa (à l'Ouest de Fredjioua). Cette période est aussi marquée par une certaine instabilité dans la sédimentation. Cette instabilité est soulignée par la présence de surfaces durcies correspondant à des arrêts de sédimentation plus ou moins importants à la base de l'Albien, à la base du Cénomanién (au sein de celui-ci).

II-2-2-3-2- Crétacé supérieur

Dans la partie centrale du domaine tellien, le Crétacé supérieur correspond, par-dessus les roches carbonatées du Cénomanién, à des calcaires en bancs beaucoup moins épais, le plus souvent micritiques et l'âge des calcaires varie d'un massif à l'autre : du Turonien (Djebel el Amrissine), Maastrichtien (Rocher de Constantine). Ces calcaires correspondent à un enfoncement progressif de la plate-forme du bassin Constantinois.

Les séries du Crétacé supérieur sont représentées par :

- **Cénomanién** : Les formations du Cénomanién sont représentées par des horizons marno-calcaires de couleur grise et des marnes gris bleutées, parfois gypsifères et des barres de calcaires massifs. Il est marqué dans sa partie inférieure par une surface durcie. Ces formations sont connues dans les massifs du Djebel Kheneg, Djebel Grouz, Djebel Zouaoui, Djebel Chettabah, au chaînon de Zouara (au Nord-Ouest de la Mat el Merissa) au Nord de Djebel Berbouche, à l'Ouest de M'Cid Aicha (près de Hamala) (Fig. 18).
- **Turonien** est également carbonaté et néritique, comporte essentiellement des marnes et des calcaires à silex, avec des calcaires micritiques en petits bancs, surmontés de marnes grises et de niveaux conglomératiques. Ces formations affleurent au Djebel El Akhal, au Djebel Kheneg, Djebel Zouaoui et dans le pourtour du massif du Chettabah.
- **Sénonien** : Seules les formations du Sénonien inférieur sont représentées dans la partie occidentale du bassin Constantinois (Coiffait, 1992). Elles sont essentiellement formées d'alternances de marnes et de calcaires. Une surface durcie est assez fréquente au toit de ces calcaires sénoniens. Une couverture marneuse existe d'autant plus récente que l'on se déplace du Sud-Ouest vers le Nord-Est, elle débute au Sénonien au Sud-Ouest de (Koudiet Touachra), au Campanien dans le massif des Ouled Salem, mais que le Maastrichtien au Nord-Est (Rocher de Constantine) (Fig.9).

Seules les formations du Sénonien inférieur sont représentées dans le Djebel Kheneg et Djebel Grouz. Elles sont essentiellement formées d'alternances de marnes et de calcaires (Vila, 1980).

- **Maastrichtien** : Il est composé de calcaires plus ou moins réduits selon les affleurements, comprend aussi des calcaires marneux en petits bancs, des marnes grises à la base, puis rapidement plus foncées (Fig.16).

II-2-2-4- Paléogène

II-2-2-4-1- Paléocène et l'Éocène

Au Paléocène et l'Éocène, le domaine tellien présente une remarquable unité de faciès, une série type de Paléocène et l'Éocène est celle de Redjas (au Nord) (Fig.10), les séries du Tertiaire tellien forment l'essentiel du substratum du bassin de Constantine :

A la base, en continuité apparente de sédimentation avec les marnes du Maastrichtien sous-jacent ; 100 m environ de marnes noires parfois indurés et à débit finement feuilleté. Ces marnes contiennent très fréquemment des niveaux de boules jaunes carbonatées, assez souvent

mal individualisées et formant des sortes de bancs à débit en miches. D'après Coiffait (1992), de nombreux lavages effectués dans ces niveaux de faciès pourtant homogène ont permis de dater :

- **Paléocène inférieur**, à *Globigerina triloculinoides*, *Globorotalia pseudobulloides* et *Anomalina acuta* associés à quelques *Gumbelines* de petite taille, des débris de *Lagénidés* et des *Ostracodes* lisses ;
- **Le Paléocène supérieur**, avec *Globorotalia velascoensis*, *Globigerina triloculinoides* et de nombreux *Buliminidés*.

Par-dessus, 150 à 200 m de calcaires à odeur fétides et bitumineux, très claires à cassure fraîche. Ils contiennent de fréquents niveaux rogneux de silex noirs. La base est assez souvent riche en concrétions.

II-2-2-4-2- Oligocène

Dans le Nord Constantinois, tout entier rattaché à l'Oligocène, est constitué par une épaisse série, surtout argileuse et gréseuse, reposant en discordance sur les terrains les plus variés (Paléozoïque au Nord, Mésozoïque et Eocène au Sud). Cette série occupe une large surface dans le bassin de Mila-Constantine, elle occupe la région entre Mouia et Sidi Mérouane, le Nord de Redjas, le chaînon de Zouara, l'Ouest de Hamala et Fedj Akdal (Durand Delga, 1955 et Vila, 1980) (Fig.9 et 10). Elle comporte selon Durand Delga, (1955) des grés quartzeux au sommet, des marnes, argiles et calcaires au milieu et des Conglomérats à la base

II-2-2-5- Néogène

- **Mio-Pliocène**

Les formations du Mio-Pliocène recouvrent la majeure partie du bassin de Mila. Elles sont représentées essentiellement par des dépôts détritiques (conglomérats, graviers, sables, argiles) des dépôts évaporitiques (gypses, anhydrites et sel gemme) et des calcaires lacustres (Fig.11et 12).

- **Aquitaniens et le Burdigalien inférieur et moyen** : Appelé aussi le Miocène marin, qui commence généralement par des niveaux conglomératiques et gréseux et se poursuit par des marnes gypseuses jaunâtres. Localement celles-ci présentent tous les caractères d'un dépôt synorogénique.

Le Numidien participe au substratum du bassin du Constantinois ainsi que le bassin de Mila. Au N-E de Sidi Mérouane, il constitue la chaîne de Zouara. Le faciès des

barres de grès hétérométriques alternant avec des argiles peu visibles, y est tout à fait banal.

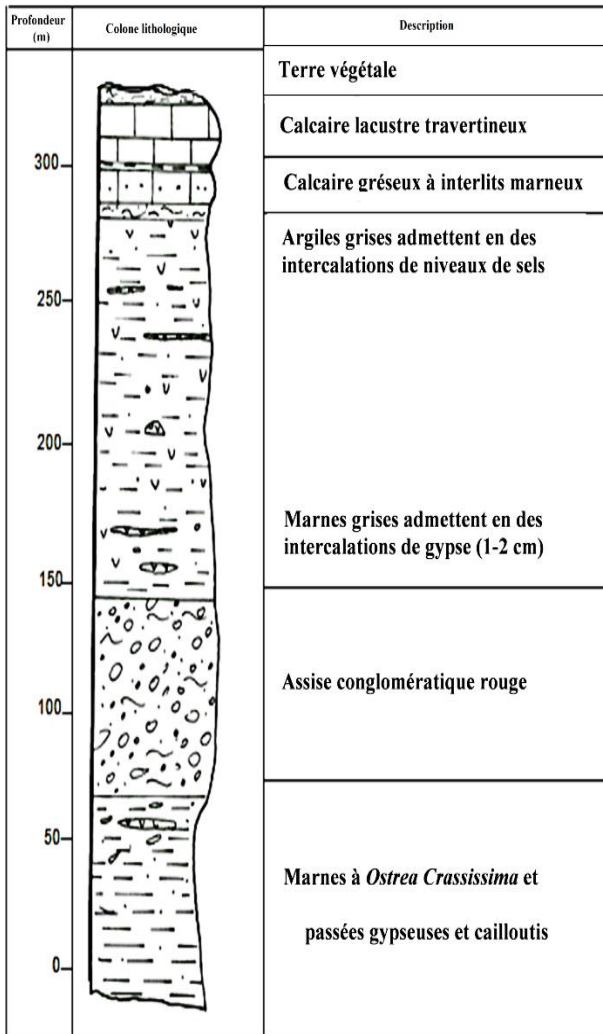


Fig.10 : Colonne lithologique s du Mio-Pliocène du plateau de Redjas (Vila; 1980).

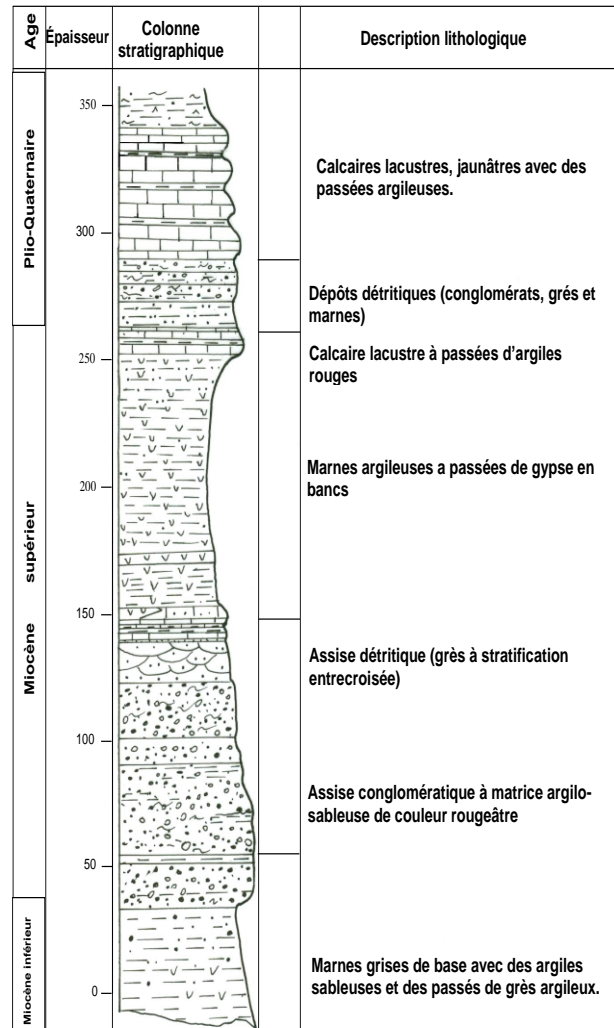
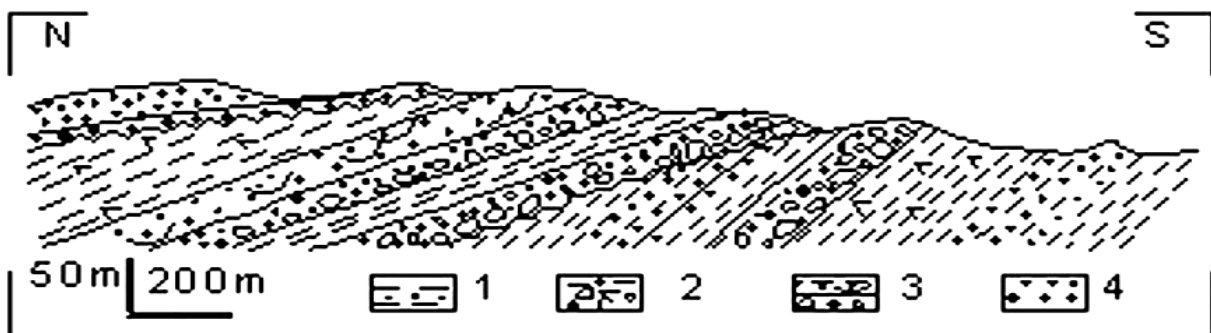


Fig.11 : Colonne lithostratigraphique des dépôts néogènes du bassin de Mila



1- Miocène inf, 2- Burdigalien sur-Langhien, 3- Messénien, 4- Plio-Quaternaire.

Fig.12 : Coupe géologique du Miocène de Mila (Marmi et Guiraud, 2006).

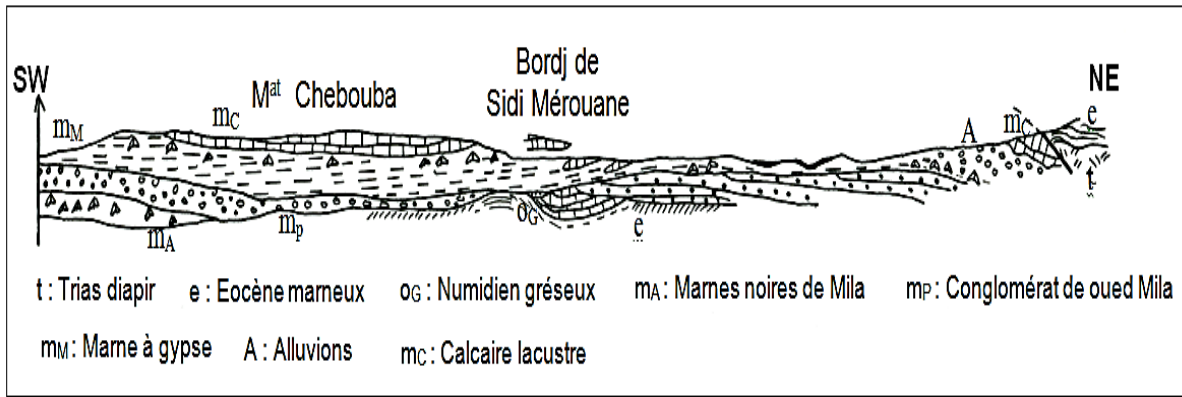


Fig.13 : Coupe synthétique du Néogène de Sidi Mérouane (Durand-Delga, 1969).

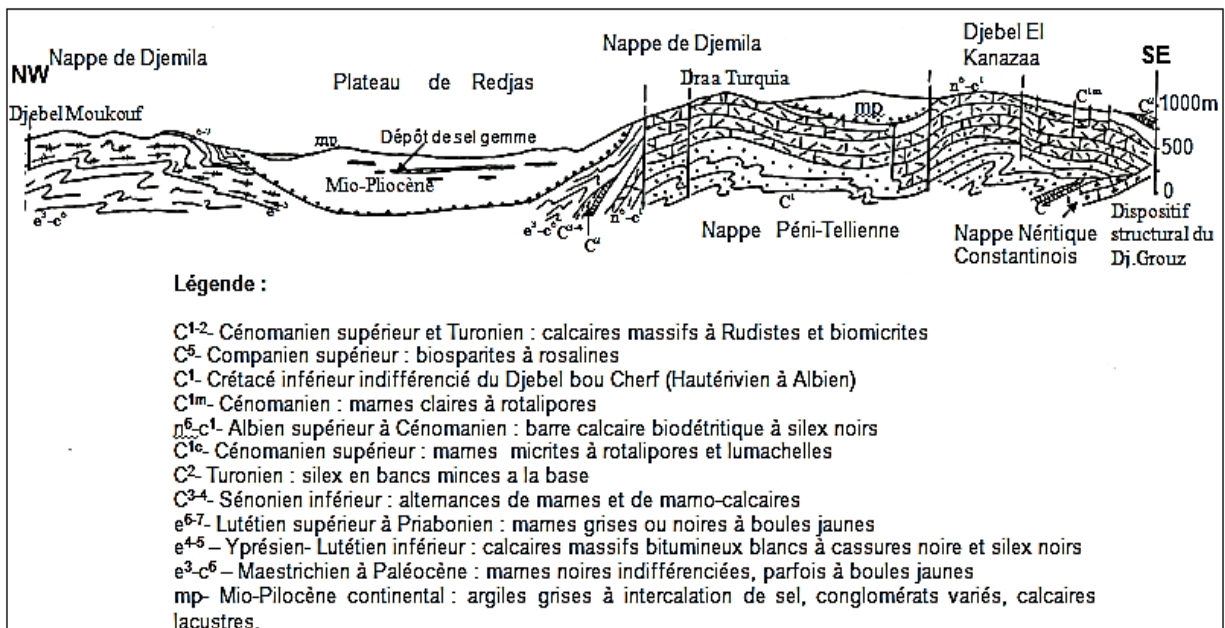


Fig.14 : Coupe descriptive de la région de Redjas (Vila, 1980).

Selon Coiffait (1992), la sédimentation au cours du Mio-Pliocène est marquée par des périodes de dépôts et des périodes de non dépôts. D'après cet auteur, trois cycles sédimentaires peuvent être distingués.

- **Cycle Langhien-Serravalien inférieur** : Il s'agit de mames sableuses à intercalations de quelques bancs de grès argileux. Ce sont les argiles de Mila, utilisés généralement en industrie céramique. La base de ce cycle est marine. Elle a pu être datée avec précision grâce à des foraminifères planctoniques du Burdigalien terminal, et atteint le Serravalien. Des passés évaporitiques sont connus dans l'Ouest du bassin (région de l'Ouled Kebab à l'Ouest de Mila). Ce cycle est largement représenté dans la région de Mila.
- **Cycle Serravalien supérieur (Mellalien supérieur)** : Il débute par des assises conglomératiques, surmontées par des argiles sableuses rougeâtres, puis dans le Nord du bassin, viennent des calcaires lacustres et le sommet se termine par des argiles noires. La

découverte de micromammifères a permis de les dater du Mellalien supérieur les parties médianes et terminales de ce cycle.

- **Cycle Turolien inférieur (Tortonien inférieur)** : Ce cycle débute par une assise conglomératique suivi par une formation argilo-marneuse. On remarque que dans la partie septentrionale du bassin, la présence des niveaux détritiques et surmontés par une épaisse série de calcaire lacustre. Par contre dans sa partie Sud, le bassin est constitué au sommet par des calcaires à évaporites d'âge Pliocène inférieur. Quant à la partie septentrionale du bassin, ce sont surtout des marnes à lignites d'âge Pliocène supérieur.

II-2-2-6- Quaternaire

Les formations quaternaires sont largement représentées dans le bassin de Mila au niveau des vallées : Oued Rhumel, Oued Endja...etc. Il s'agit de graviers et des blocs roulés recouverts d'une croûte calcaire feuilletés, dans une matrice limoneuse (Fig.13).

II-2-3- Aspect morpho structural du bassin néogène de Mila-Constantine

Le paysage morphologique actuel du bassin de Mila-Constantine est représenté par une série de reliefs carbonatés émergeant des formations néogènes. Cette configuration morpho structurale est le résultat d'un l'héritage tectonique anté-mise en place des dépôts néogènes. Avant la mise en place des dépôts néogènes, le substratum de ce bassin de Mila-Constantine, formé par les séries carbonatées du Mole Néritique Constantinois sur lesquelles reposent les nappes de charriages a été morcelées par une série des accidents tectoniques cassants d'ampleur régionale. Ces accidents tectoniques, dominés par des directions Nord- Sud, Est- Ouest, Nord Est- Sud-Ouest et Nord-Ouest- Sud Est ont donné des structures en horsts et demi-horsts. (Fig.15).

Après le remplissage des dépressions par les dépôts néogènes, la réactivation du jeu de ces accidents et dont l'activité se poursuit jusqu'à présent a abouti à la configuration morpho structurale actuelle de ce bassin néogène de Mila-Constantine. Ces accidents ont par ailleurs, grandement favorisé la remontée des formations triasiques. Cette remontée qui a engendré le redressement à la verticale et parfois le renversement des massifs carbonatés a également contribué au modelage du paysage morphologique du bassin.

Les zones de faiblesse des grands accidents tectoniques définissent les traces des Oueds, des Chaabats et des Talwegs. C'est l'exemple de l'Oued Rhumel- Kébir qui traverse le bassin,

passé par la partie centrale de bassin suivant la direction E-W puis change sa direction suivant la direction N-S (Sidi Mérouane-El Milia).

Ces grands accidents tectoniques qui affectent aussi bien des formations de substratum et des dépôts néogènes sont accompagnés par un réseau dense des fractures et des diaclases qui ont joué un rôle favorable pour le dépôt des roches évaporitiques secondaires (Fig.15).

La néotectonique et la tectonique récente du bassin néogène de Mila-Constantine se sont manifestées essentiellement par des décrochements et des chevauchements et des plissements liés à une phase de compression Plio-Quaternaire (Coiffait, 1992). À propos des plissements observés à proximité de la bordure septentrionale au Nord du bassin.

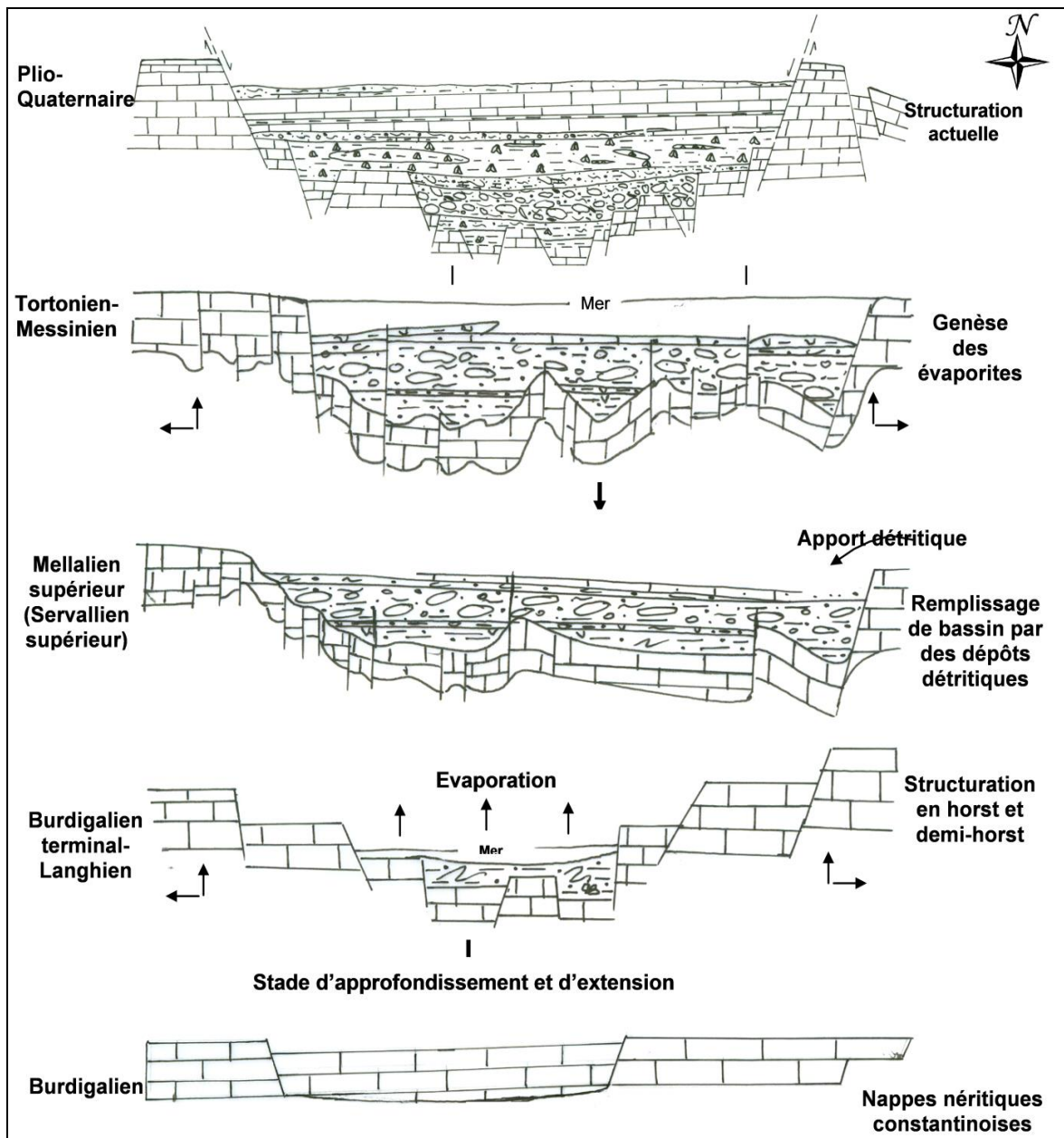


Fig.15 : Modèle schématique des dépôts laguno- continental du bassin de Mila (Coiffait, 1992).

II-2-4- Tectonique du Constantinois

II-2-4-1- Tectonique de la plate-forme néritique constantinoise

La formation et la structure du bassin de Mila sont différentes selon qu'il s'agit du substratum calcaire ou de la couverture marneuse. Le premier correspondant à la plate-forme Constantinoise, forme des massifs isolés, apparaissent généralement en demi-horst sous leur couverture marneuse. Celle-ci est souvent décollée et former de véritables nappes de charriage, les nappes telliennes, accumulées plus au Sud (Coiffait, 1992).

Le bassin de Constantine occupe une situation très particulière au sein de la chaîne des Maghrébides. Il se développe au pied de la limite méridionale des zones internes : flyschs internes, socle et dorsale kabyle. Cette limite correspond à un important accident orienté N100° E à N110° E plus que d'une faille proprement dite, il s'agit d'une famille d'accidents reconnus depuis longtemps : « zone faillée du Sud » (Coiffait, 1992). Cette zone de failles se suit sur plus de 80 km, du Djebel M'Cid Aicha à l'Ouest, jusque, vers l'Est au-delà du Djebel Debar au Nord de Guelma, appelée accident M'Cid Aicha – Debar.

Les structures induites par l'accident N100°E à N 110° E dans les nappes de charriages (Coiffait, 1992), et d'une manière générale dans les terrains antérieurs au Néogène, ont été bien décrites par Raoult en 1974. Mais les structures développées dans les terrains post nappes n'avaient jamais été étudiées.

Au pied du Djebel Sidi Driss, deux chevauchements peuvent être observés dans les terrains néogènes. L'anticlinal de la M^{at} Guettara, où les calcaires vallésiens (Serravalien supérieur) de la koudiat el Kendoul reposent directement sur le flysch à affinité mauritanienne, chevauche vers le Sud les argiles et les conglomérats du synclinal au cœur duquel coule de l'Oued Rhumel.

Dans la région de Sidi Mérouane, on distingue un chevauchement qui amène le numidien du chaînon de Zouara reposé sur le Miocène du bassin de Constantine (Remmache, 2006).

L'importance exacte de l'accident affecte profondément le substratum du bassin de Constantine, Raoult (1974) estimait que son rejet était de plus de 300m. Remarquons enfin que, si souvent un accident vertical sépare les terrains néogènes des terrains anté-nappes situés plus au Nord, on peut, par endroit, observer les terrains post-nappes reposés directement sur leur substratum.

La marge méridionale du bassin de Constantine est assez différente de la bordure septentrionale, le plus souvent, les terrains de la partie Sud du bassin reposent directement sur le substratum Anté-Néogène.

Au Nord du massif du Chettabah, les séries néogènes peuvent être séparées par une faille, des calcaires crétacés. Cette faille correspond à un décrochement en régime compressif encore actuel. Le bassin de Constantine apparaît ainsi comme bassin installé sur un décrochement. Entre Constantine et Ain Tin, la base des dépôts post nappes correspond, également à de l'Astaracien, mais les dépôts sont de faciès différents (argiles gypseuses et conglomérats). Enfin, au-delà de Ain Tin, le Néogène débute par les dépôts marins des argiles de Mila. Une importante faille limite ces argiles et l'Astaracien situé plus à l'Est.

Selon une coupe faite par Benabbas en 2006, passe par Djebel Akhal – Djebel Aougueb – Djebel Felten. Toute la zone entre Djebel Aougueb et Djebel Felten est perturbée. Du fait de la présence du Trias dans ces lieux indique que cette zone est fortement tectonisée.

Oued Seguin se présente comme une grande limite structurale, séparant les formations mésozoïques de Djebel Akhal de celles Mio-pliocènes qui constituent la structure de Ain Mtouan (Benabbas, 2006).

La carte morphostructurale de la région de Constantine (Benabbas, 2006), laisse apparaître un système de fractures complexes (Fig.16).

- **La famille E-W** : Elle se distingue par une extension le plus souvent supérieure à 1 km. La plupart des accidents E-W présentent une cinématique décrochant dextre. Le massif du Djebel Akhal est limité par un grand accident E-W, ce dernier ressort très bien au niveau de la carrière « SONACOM », (Benabbas, 2006).
- **La famille NE-SW** : Les accidents appartenant à cette famille sont bien représentés dans la partie centrale de la région de Mila-Constantine (Benabbas, 2006). On remarque trois structures importantes :
 - Un faisceau de failles parallèles qui s'étend du Djebel Aougueb-Zouaoui et va au moins jusqu'à Djebel Bergli. Ce faisceau est directement lié à la mise en place de l'ensemble du massif de Chettabaha, ainsi qu'à l'apparition du Trias.
 - Un autre faisceau plus à l'Ouest et part du versant méridional du Djebel Akhal jusqu'à Djebel Kheneg en passant par Kef En Nesour. Il semble décaler un accident E-W et son mouvement est apparemment senestre.
 - Une zone de failles vient limiter Djebel Akhal dans sa terminaison orientale et empreinte un segment de l'Oued Koton. Le long de cette zone, on note la présence d'un affleurement triasique ainsi qu'une source thermale.
- **La famille NW-SE** : Les accidents appartenant à cette famille sont visibles au niveau des escarpements des massifs calcaires des Djebel Akhal, Djebel Aougoub, Djebel Zouaoui, Djebel Bergli et Djebel Salah, où la cinématique est toujours dextre.

Le massif de Chettabah est traversé par un linéament très particulier qu'on peut le suivre d'El Malha à l'Est de Djebel Akhal jusqu'à Djebel Oum Kechrid, au Sud de Ain Kercha (Benabbas, 2006).

- **La famille N-S :** Les accidents N-S sont souvent organisés en faisceaux ou couloirs (Benabbas, 2006). La majorité de ces accidents présente des mouvements coulissants senestres.

Un de ces faisceaux représente la limite occidentale de Djebel Akhal.

Dans le cadre régional, cette famille est affectent tous les domaines paléogéographiques.

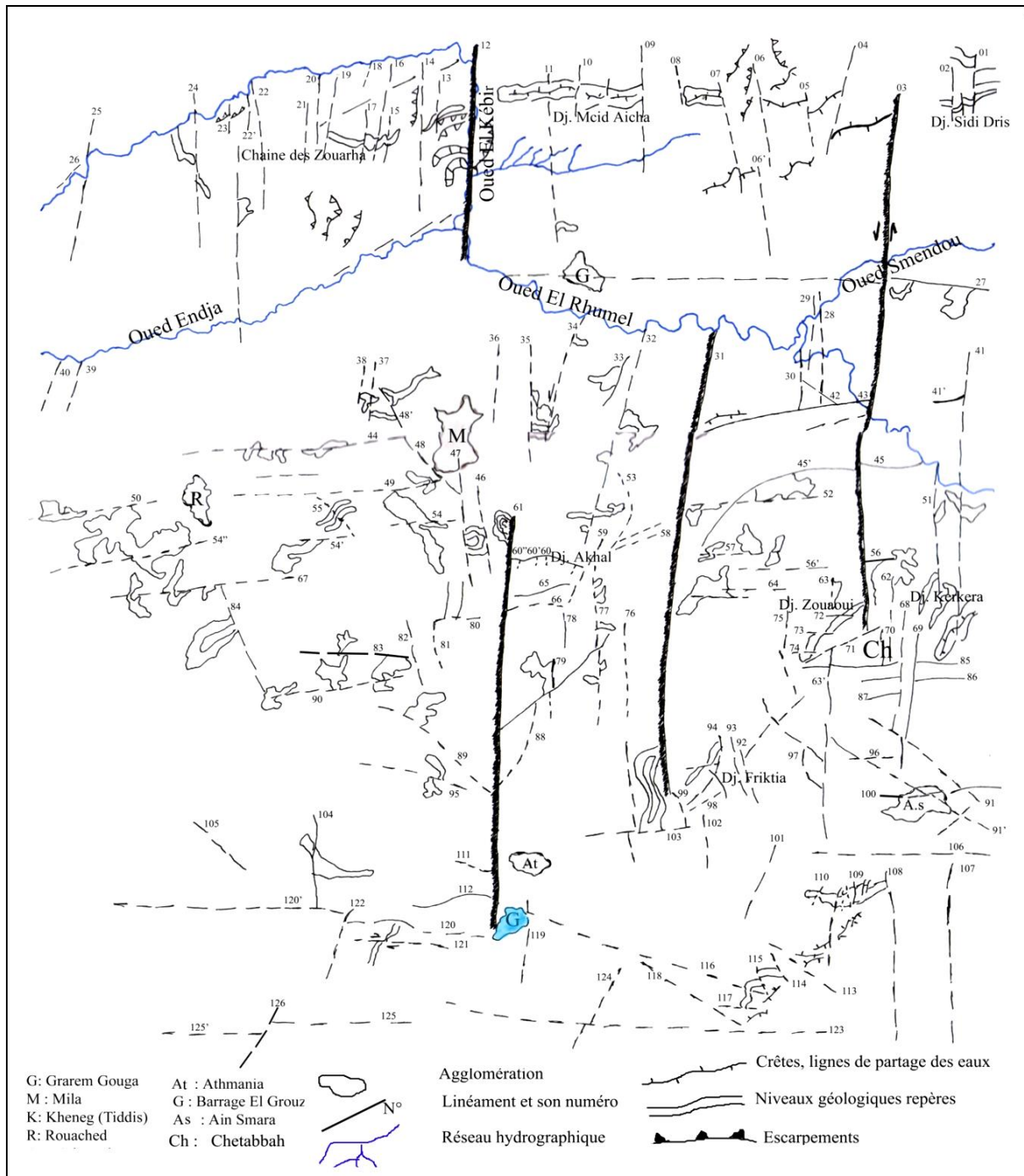


Fig.16 : Interprétation de l'image spatiale du bassin de Mila (Benabbas, 2006).

II-2-4-2- Structures particulières

1. **Structure de Djebel Akhal** : Entre la dépression de Ain Tin et le réservoir d'Oued El Kaïm, une importante crête topographique s'étant d'Est en Ouest correspond selon les études antérieures à une écaille de charriage (Allochtone) formées de calcaires, de dolomies et de marnes datant du Jurassique et du Crétacé. Cette structure est bien visible dans le paysage est constitué le point culminant de notre région. L'importance du massif réside dans son aspect morfo-tectonique, en effet, il évolue à la faveur des accidents profonds principalement E-W. En outre l'ensemble du massif est parcouru par un réseau complexe de fractures associées à de nombreux décrochement et qui sont le résultat d'une évolution tectonique polyphasée accentuée et amplifiée lors de la mise en place des nappes de charriages (Benabbas, 2006).
2. **Structure semi-circulaire de Sidi Khelifa** : Si les structures circulaires et semi circulaires sont assez répandues dans les terrains cristallophylliens, elles sont par contre très rares en pays sédimentaires (le cas de notre terrain).

La structure semi-circulaire de Sidi Khelifa est une morfo-structure fort intéressante. La forme circulaire est mise en relief par le réseau hydrographique d'une part et d'autre part par une érosion importante, incision et surcreusement des ravins et ravines, empreinte quelque fois des segments d'accidents (Benabbas, 2006).

La photo interprétation permet le déchiffrement d'une série d'accidents qui serait liée à cette structure (N-S, E-W et NE-SW). La genèse de cette structure serait liée selon Benabbas, 2006, à :

1. La présence de plusieurs accidents décrochant affectant cette zone.
2. La présence d'une intrusion magmatique pas très profonde.

II-2-4-3- Phases de déformation de la plate-forme néritique constantinoise

Pour pouvoir reconstituer la succession des évènements tectoniques, il est important de déterminer d'abord l'âge de la mise en place des nappes de charriages. Il sera ensuite possible d'aborder la succession des phases postérieures à cette mise en place des nappes, puis de déterminer la succession des évènements antérieurs (Coiffait, 1992).

Dans la région de Constantine, l'empilement, des unités telliennes, est dû à une phase tectonique unique. On peut affirmer que la mise en place des nappes s'est produite après le début du Burdigalien.

Coiffait (1992), a souligné, dans le lit du Chabat Bou Irkour, 4 km au Nord-Est de Mila, le flysch à microbrèches massylien est recouvert par des formations post nappes dans lesquelles le Burdigalien terminal a pu être daté. Dans le secteur de la Mechtat Bou Ksaiba Ed-Decha, se

sont recouverts par ces mêmes séries post nappes. La phase de mise en place des nappes, au Burdigalien moyen à supérieur, si elle a structurée profondément cette région, n'est cependant pas responsable, tant s'en fait de son orogénèse. Diverses phases tectoniques, sont responsables de la déformation et la structuration du bassin de Constantine :

Phase du Vallésien (Tortonien inférieur) aucun dépôt n'a pu être daté directement du Vallésien. Mais sous les argiles de Zighout Youcef, existent plusieurs niveaux détritiques (conglomérats de Ras Sioud, argiles de el Ouit Kranga, conglomérats du Kef Mguerguet) correspondent sans doute au Vallésien. Mais ces niveaux tout comme les conglomérats de l'Oued Mila (Fig.19), dont ils constituent un équivalent latéral, sont discordants sur les terrains sous-jacents datés du Vallésien (Tortonien inférieur) au Nord de Constantine, et du Burdigalien supérieur -Langhien dans le secteur de Mila même (Fig.15).

Les effets de cette phase sont divers. La discordance des séries de base du cycle Vallésien-Tortonien prouve qu'il y a eu plissement ou basculement des terrains. La discordance des conglomérats de l'Oued Mila (rattachés au Vallésien inférieur) aussi bien sur les argiles burdigaliennes que sur les terrains astaraciens prouve que c'est à cette phase du Vallésien inférieur qu'il faut attribuer le jeu de faille N 30° E limitant les argiles de Mila et Astaracien au Nord -Est de Ain Tin.

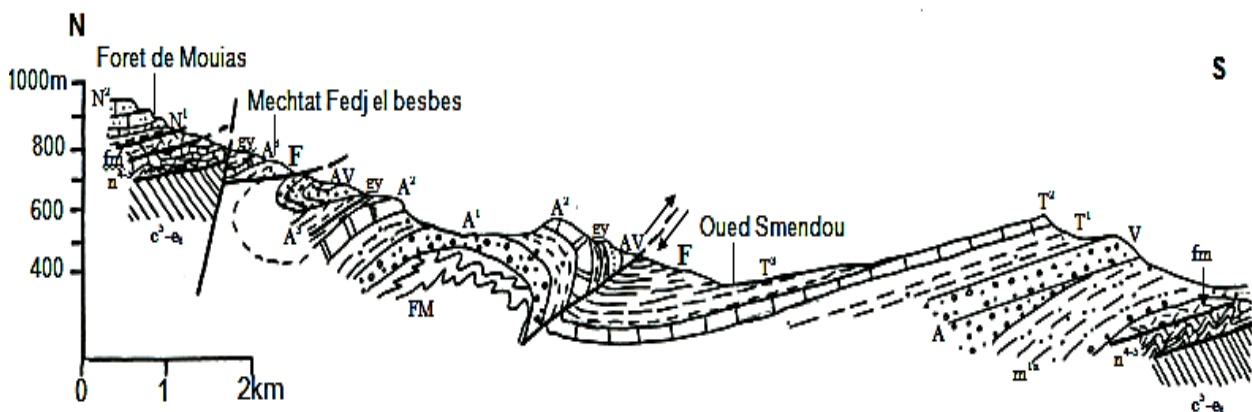
Évènements tectoniques fini-Miocène, toujours à l'Est immédiat de Zighout Youcef, la phase tectonique Plio-Quaternaire, est importante qu'elle soit, n'est pas la seule à avoir affecté cette région. Il existe une lacune de plusieurs millions d'années entre les argiles de Zighout Youcef (7.2 à 9 Ma) et les terrains pliocènes de l'Oued Smendou (2.9 Ma). Cette lacune est d'ordre tectonique, compte tenu des conditions d'affleurement, on ne peut pas observer le contact entre les terrains pliocènes et miocènes.

Phase du Pliocène supérieur elle est bien représentée dans la région de Zighout Youcef, dans les argiles sub verticales du Pliocène supérieur (2.9 Ma) dans la mesure où il n'est pas possible de mettre en évidence plusieurs phases tectoniques postérieures aux gisements à micromammifères de la région de Zighout Youcef. Coiffait en 1992 est amené à considérer, que c'est cette phase Pliocène supérieure qui a structurée toute la bordure septentrionale du bassin de Constantine. Lors de son étude de Sidi Mérouane, Durand-Delga en 1955 signale, au Sud de la Mchtat Bou Krelif, des galets mal cimentés qu'il attribue, sans preuve paléontologique au Pliocène. Coiffait (1992), suggère que ces conglomérats soient coincés sous le Trias, il estime qu'il s'agit d'un cordon d'alluvions plaquées à la limite du Miocène continental et perchées à une quarantaine de mètres au-dessus de l'Oued Endja.

II-2-4-4- Histoire paléogéographique des dépôts Mio-Pliocène

D'après les données de la littérature, les dépôts qui comblent le bassin de Mila débutent localement par des formations marines d'âge Burdigalien terminal- Langhien. Ces formations passent vers le haut à des formations continentales d'âge Miocène et Plio-Quaternaire. Au Burdigalien, la mer recouvre la plateforme constantinoise, mais la submersion n'est pas totale car de nombreuses régions restent émergées, dont les massifs anciens septentrionaux. Cette émergence a été accompagnée d'une érosion très importante. Ce cycle du Burdigalien terminal-Langhien est géographiquement réduit, contrairement au cycle Astaracien qui est bien développé (Fig.18). Ce dernier caractérisé par l'assise détritique de Ras Selim et les pélites à gypses de la Mechtat Lakfal marque bien la limite Serravalien-Tortonien (Coiffait, 1992).

L'assise des marnes à *Ostrea Crassissima* caractérise l'Helvétien (Coiffait, 1992). À mesure qu'on monte dans le Miocène supérieur, les dépôts deviennent lagunaires, puis toute influence marine cesse. Le Constantinois est transformé en un immense bassin fermé, occupé par des lacs temporaires qui sont remblayés par les matériaux grossièrement détritiques provenant de reliefs voisins.



Séries du substratum :

- N²- grès numidiens
- N¹- argiles sous-numidiennes
- fm- flysch massylien
- FM- terrains à affinité maurétanienne
- n⁴⁻⁵- Barrémo-Aptien Ultratellien : marno-calcaires et marnes
- c⁵-e₁- Crétacé supérieur et Eocène telliens

Séries néogènes de bassin de Mila-Constantine :

- T³- Turonien inférieur : marnes et calcaires lacustres- formation de Sidi Mérouane
- T²- Turonien inférieur : calcaires lacustres- formation de Sidi Mérouane
- T¹- Turonien inférieur : argiles sableuses- formation de Sidi Krenenou
- V - Vallésien probable : formation des conglomérats de Mila
- AV- Astracien supérieur – Vallésien : formation détritique de Ras Sélim
- gy- Passée de gypse rubané (gypse de la Mechtat Lakfal)
- A³- Astaracien à Turonien : pélites foncées
- A²- Astracien : calcaires lacustres- formation de la Kouidiat Bou el Kendoul
- A¹- Astracien : conglomérats rouges- formation de la M^{at} el Amrissine
- A - Astracien probable : formation des conglomérats du Kef en Nsour
- m^{1a} – Burdigalien terminal- Langhien : argiles de Mila

Fig.17 : Coupe géologique illustrant les différents contacts structuraux de la partie Nord du bassin de Mila-Constantine (Coiffait, 1992).

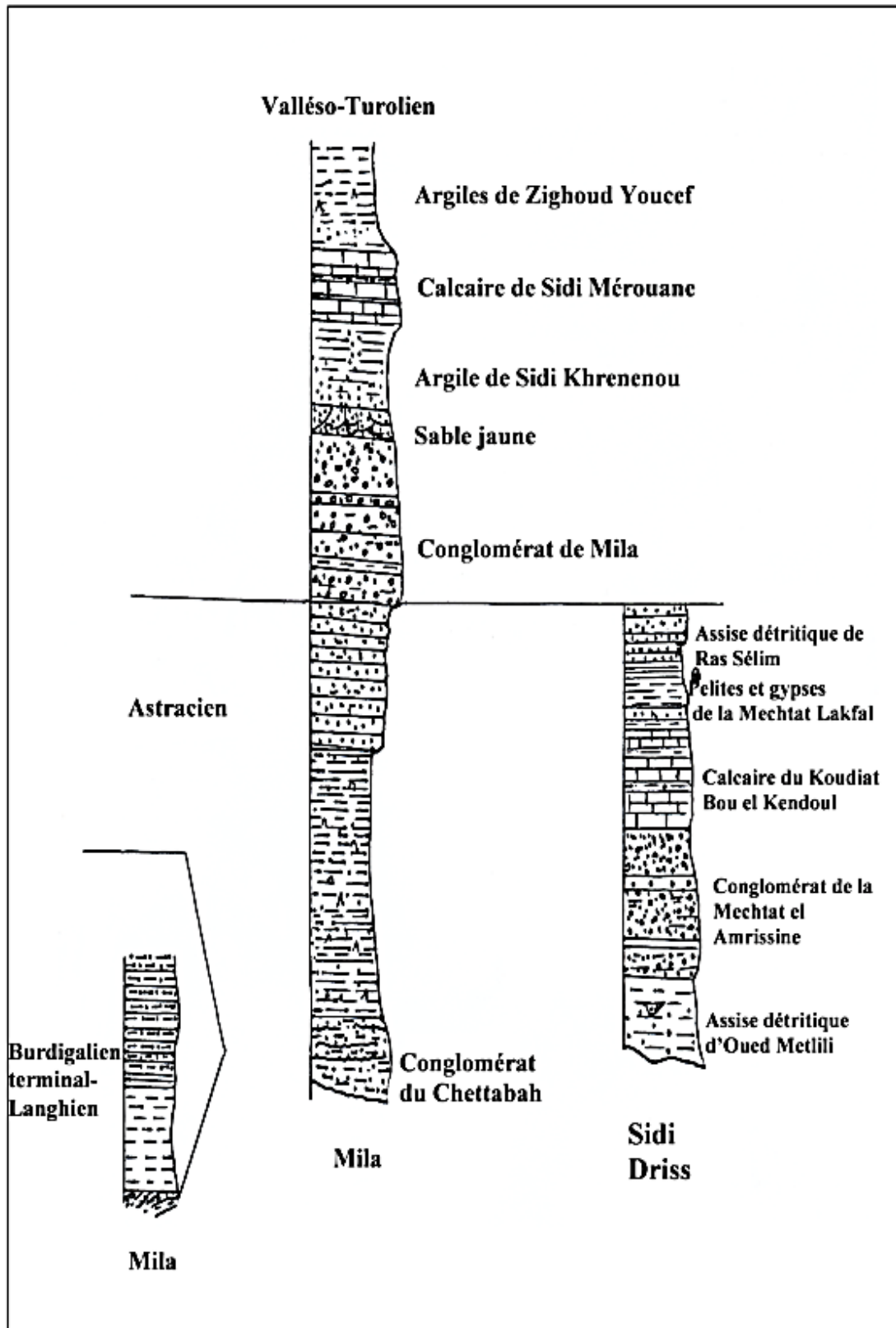


Fig.18 : Colonnes lithostratigraphiques caractérisant l'évolution paléogéographique du bassin de Mila (Coiffait, 1992).

II-3-

**GEOGRAPHIE ET
GEOLOGIE DU
SECTEUR ETUDIE**

II-3- GEOGRAPHIE ET GEOLOGIE DU SECTEUR ETUDIE

II-3-1- Situation géographique du secteur d'étude

Administrativement, le secteur étudié fait partie de la commune de Mila. Cette localité occupe la partie Ouest de la ville de Mila et s'étend sur une superficie d'environ 70 km². Il est limité au Nord par Oued Mila, le village de Boufouh et la RN79, à l'Ouest par Boudjerar la route reliant Zeghaia et Oued el Athmania, au Sud ; par le rocher de Marechau et à l'Est ; par le centre ville de Mila et la RN79 reliant Mila Constantine. (Fig. 19).

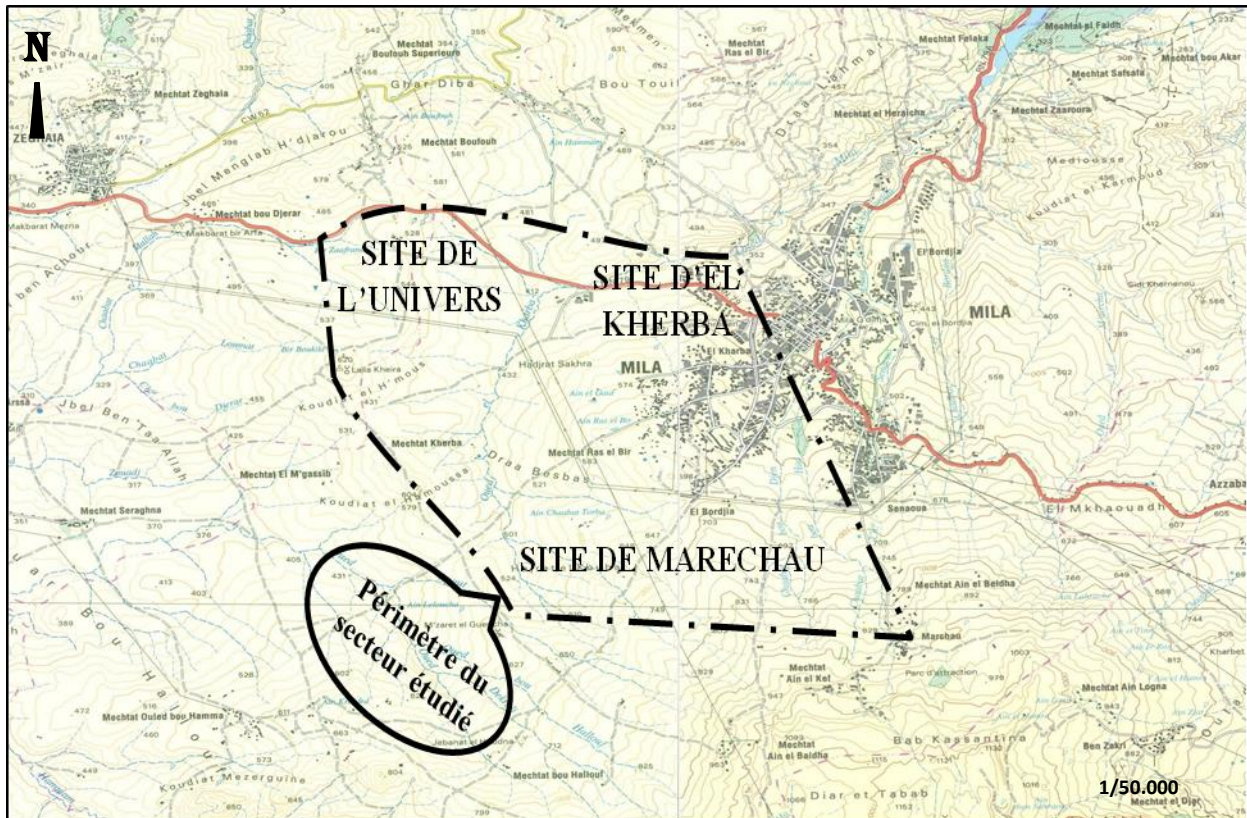


Fig.19 : Situation géographique du secteur étudié.

II-3-2- Caractéristiques du secteur étudié

II-3-2-1- Morphologie

La commune de Mila, dont fait partie le secteur étudié, se localise dans une vaste dépression accidentée (Mila-Redjas-Ferdjioua). Elle est de prédominance collinaire mamelonnée couvre pratiquement 85% du territoire, de formations meubles (argiles et marnes) et de pente moyenne à forte de 7% affectés par la solifluxion. (In PDAU de Mila, 2007).

II-3-2-2- Relief

La commune de Mila se singularise par l'occupation d'un site qui est une synthèse des principaux reliefs (plaines, colline, piémonts et espace montagneux).

II-3-2-3- Orographie

La région de Mila est marquée par un relief très accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables, avec notamment des massifs culminants à des hauteurs très élevées et de profonds ravins et talwegs. Elle se situe sur un versant qui s'étend d'Oued Rhumel au Nord d'une altitude atteignant les 200m et la ligne de crête du Marechau au Sud de 1256m d'altitude, sans oublier les autres affleurements locaux dans la région comme celui de Djebel Akhal avec une altitude de 1256m, Sidi Boukhzar (483m)...etc (Chettah, 2009).

II-3-2-4- Hydrographie

Les éléments fondamentaux de l'hydrologie locale sont les Oueds, El Mekhaoued, Boukansir et Mila, qui drainent tout le territoire de la commune (Fig.20). Ils ne contiennent pratiquement pas d'eau pendant l'Été et ne présentent donc aucune utilité pour l'économie locale, par contre du fait de leur fort débit lors de la période de pluie et de leur érosion active ils représentent un danger pour la stabilité des sols et les constructions éventuelles, implantées dans leur voisinage (Chettah, 2009).

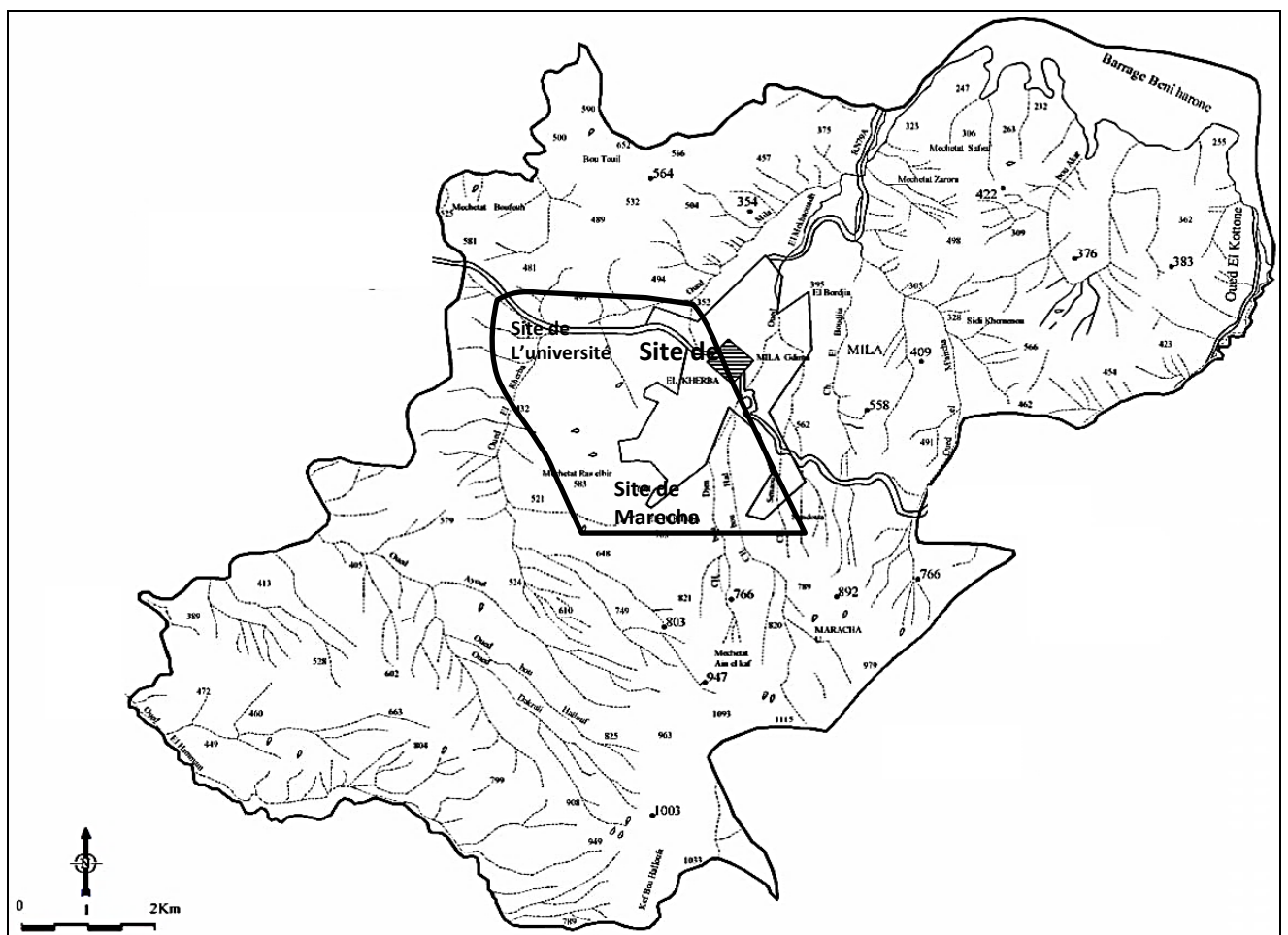


Fig.20 : Carte de réseau hydrographique de la commune de Mila (Chettah, 2009).

II-3-3- Géologie du secteur étudié

L'ensemble des formations constituant la région d'étude sont des séries ou des formations néogènes poste-nappes. Leur base datées du Burdigalien terminal et leurs sommet peuvent atteindre le Quaternaire (Coiffait, 1992). Elles sont représentées par (Fig.21 et 22) :

- **Les marnes** : Forment le substratum et sont de couleur grises à brunes, remaniant des débris de calcaire lacustre et contiennent localement de petits lits de gypse. Sa partie sommitale est à tendance nettement marine et sont attribuées au Miocène marin (Helvétien) comme témoignent les marnes argileuses à *Ostrea crassissima* (Coiffait, 1992) (Fig.23).

- **Les conglomérats** : Occupe la parité Nord du secteur étudié. Ils ont des caractères hétérométriques et polygéniques, à ciment argileux rouge vif, affleurent sur une épaisseur de plus de 150m et d'âge Vallésien et le Turonien (Coiffait, 1992). Ce sont les conglomérats de l'Oued Mila qui sont constitués essentiellement des galets de tailles varient de 1 à 30 cm. Ils sont de Numidien, d'Yprésien tellien (calcaire et silex), d'ultra-tellien et, à moindre titre, de roches carbonatées du môle néritique du Constantinois et de flysch massylien (microbrèches) (Chettah, 2009).

- **Les grès** : Se rencontrent au niveau du site de l'université. Ces grès à nombreuses stratifications entrecroisées et d'épaisseur varient de quelques centimètres à quelques mètres, compacts et parfois indurés.

- **Les argiles et argiles à gypse** : Dans le secteur étudié les dépôts argileux occupent les parties profondes de celui-ci. Ces argiles admettent des intercalations de gypse d'épaisseur variable (allant du millimètre jusqu'à quelques centimètres). Le gypse est fibreux et en paquettes il est relativement abondant dans ces dépressions. Départ sa nature tendre, il possède une forte érodabilité en plus de sa faible densité et de son seuil de plasticité très bas. Ceci confère aux formations qu'il affecte (les argiles miocènes surtout) une grande propriété de dissolution (Amireche, 2001).

- **Les calcaires lacustres** (Fig.24) : Sont blanchâtres ou colorés, en bancs bien disposés, séparés de minces lits argileux rougeâtres (plus rarement brun orangé), ils sont souvent travertineux, fissurés et affectés de diaclases et de fentes ; ce qui les rend perméables. Le plus souvent ces calcaires correspondent à une micrite homogène, fréquemment grumeleuse, de type mudstone, affectée de fentes centimétriques de dessiccation et à nombreux « bird-eyes » (Coiffait, 1992).

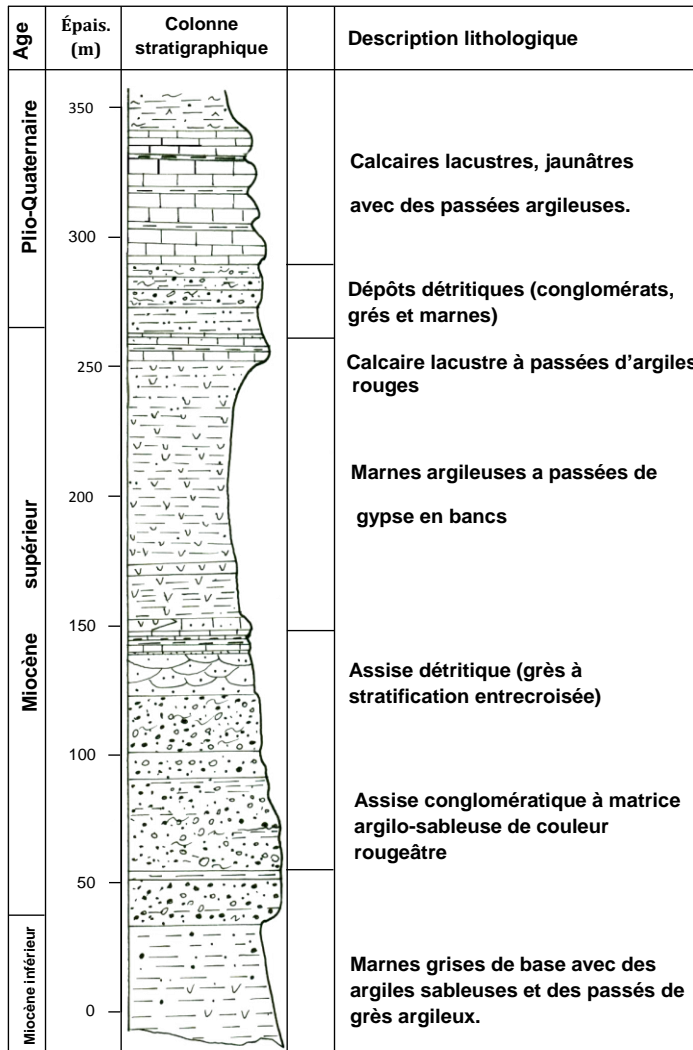


Fig. 21: Colonne lithostratigraphique des dépôts néogènes du bassin de Mila (Coiffait, 1992).



Fig.24 : Calcaires lacustres de Marechou.



Fig.23 : Argiles à *Ostrea Crassissima* de l'Université.

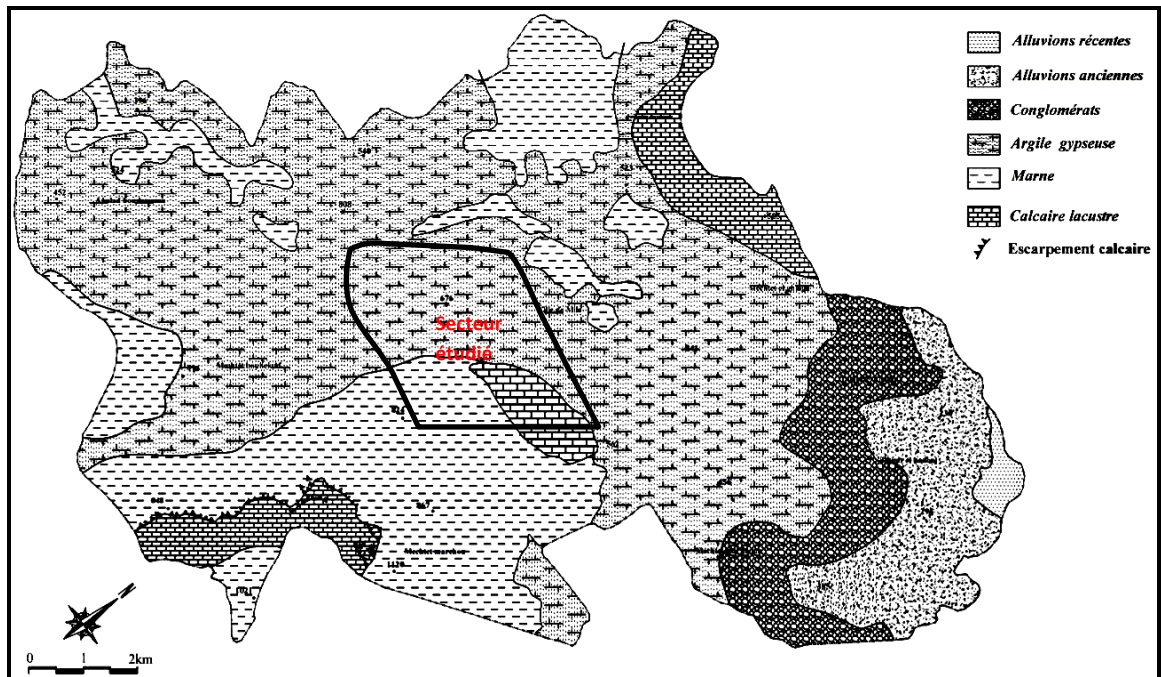


Fig. 22 : Carte lithologique de la commune de Mila (Chettah, 2009).

II-3-4- Description des sites étudiés

II-3-4-1- Site de Marechau

II-3-4-1-1- Localisation du site

Le site de Marechau forme l'extension Sud de la ville de Mila, se localise à 5km du chef-lieu de la wilaya et il s'étend sur une superficie d'environ 150ha. Cette partie de la région d'étude comprend deux plans d'occupation de sol (POS); l'un occupe la partie Nord du site (POS AU9) et l'autre occupe la partie Sud du site en question (POS AU15). Il est limité par la ville de Sennawa et DNC au Nord, la route vers la commune d'Oued el Athmania à l'Ouest, l'arête montagneuse de Djebel Marechau au Sud et la route vers le village de Marechau à l'Est (Fig.25).

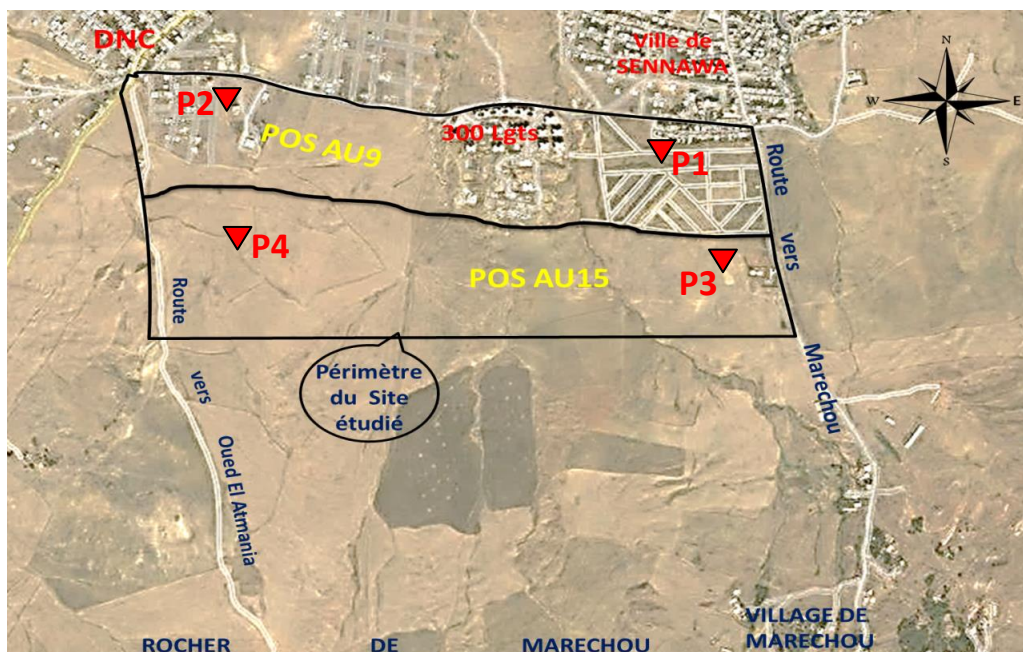


Fig.25 : Localisation du site de Marechau et positionnement des points d'échantillonnage (P) sur le site (Bing Cartes, 2017).

II-3-4-1-2- Description du site

Le site de Marechau est caractérisé morphologiquement par une pente faible à moyenne (3 à 7.5%) de direction Est-Ouest et forte (11 à 13%) de direction Nord-Sud. La lithologie caractérisant le sol de ce terrain est d'âge Mio-plio-quaternaire composée en général, d'une terre arable d'épaisseur variable surmonte des argiles noires et des argiles marron ou grises. Ces argiles renfermant des intercalations d'argiles sableuses ou de sable argileux, des débris ou blocs de calcaires lacustres de différentes tailles et des traces de gypse fibreux (Fig.26 et 27).

Cet aspect lithologique favorise avec la pente de terrain une altération et érosion intense qui vont former ou creuser des chaabats au sein de ces formations et aussi le transport des

particules érodées, surtout aux périodes de crues, vers l'Oued Mila et par la suite vers le barrage de Beni-Haroun (Kechoune *et al.*, 2009) et forme une source de contamination et de pollution des eaux de ce barrage (Habiba *et al.*, 2010).

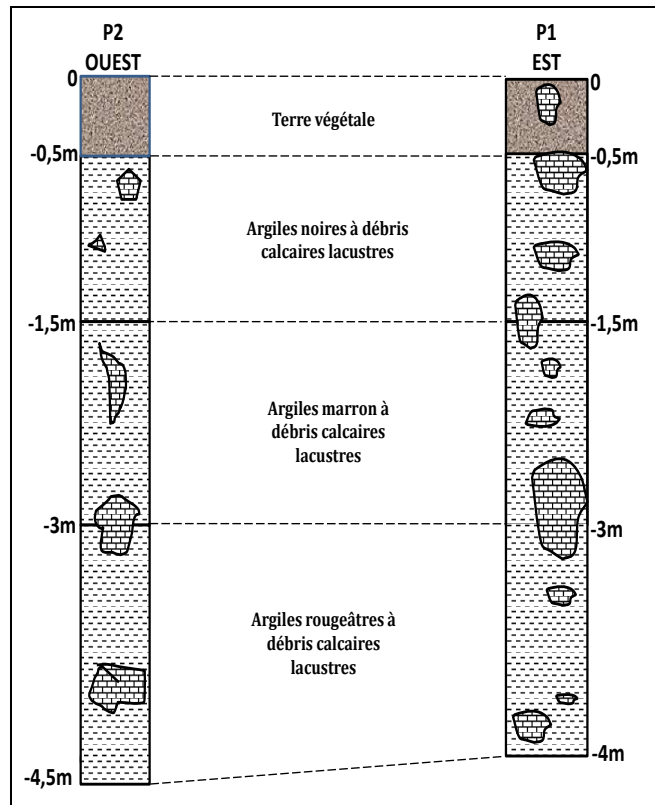


Fig.26 : Coupes lithologiques du POS AU9 de Marechau (Khellaf, 2019).

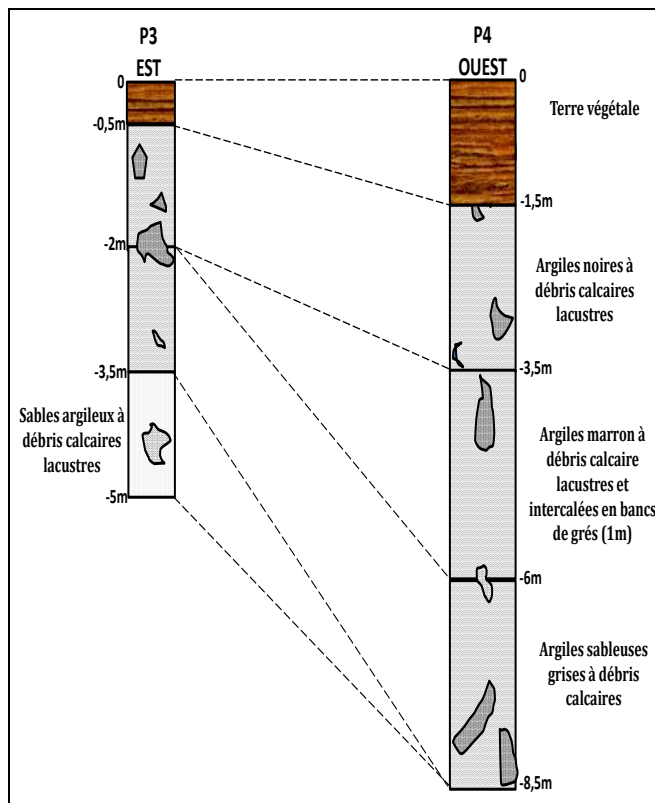


Fig.27 : Coupe lithologique du profil (POS AU15) de Marechau (Khellaf, 2019).

II-3-4-2- Site d'El Kherba

II-3-4-2-1- Localisation du site

Cette partie du terrain forme la plus grande extension de la ville de Mila. Elle se localise de 2km à l'Est du chef-lieu de la wilaya et au sud du site de Marechau. Elle comprend deux plans d'occupation de sol (POS) s'étendent sur une superficie de 139ha; l'un occupe la partie Nord du site (POS AU8) et l'autre occupe la majorité de la partie Sud du site en question (POS AU1). Elle est limitée à l'Est par le centre-ville de Mila (Gare Routière), au Nord par l'Oued Mila, à l'Ouest par les 240 logements et au Sud par la ville d'E-Tenia (Fig.28).

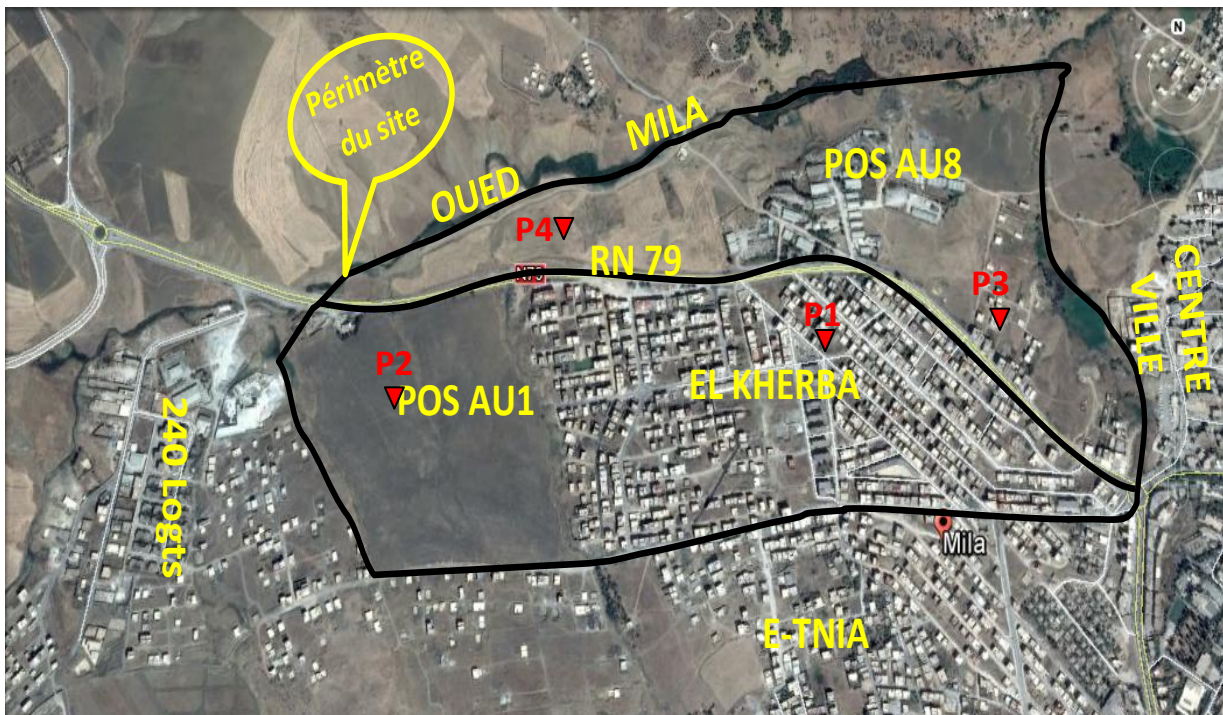


Fig.28 : Localisation du site d'El Kherba et positionnement des points d'échantillonnage (P) sur le site (Google Earth, 2017).

II-3-4-2-2- Description du site

Cette partie de la région étudiée se caractérise par un terrain d'âge Mio-plio-quaternaire et d'une pente moyenne (1 à 5%) de direction Est-Ouest et forte (8 à 14%) de direction Nord-Sud. Les sols caractérisant ce terrain en général sont des terres arables à la surface, des argiles de couleur noire ou grise renferment de gypse, des débris ou des blocs de calcaires lacustres de différentes tailles et des passages sableux ou argileux sableux. Cette entité argileuse surmonte des marnes grises à verdâtres à débris de calcaires lacustres (Fig.29 et 30).

Ces formations (argiles et marnes) forment avec les eaux de pluie (ruissellements) et la pente du terrain des agents principales de l'altération et de l'érosion surtout aux périodes de crues et par conséquent le creusement des chaabats au sein de ces argiles et le transport des

particules vers le barrage de Beni-Haroun et leur contamination et envasement (Habila & *al.*, 2010, Kechouane & *al.*, 2009).

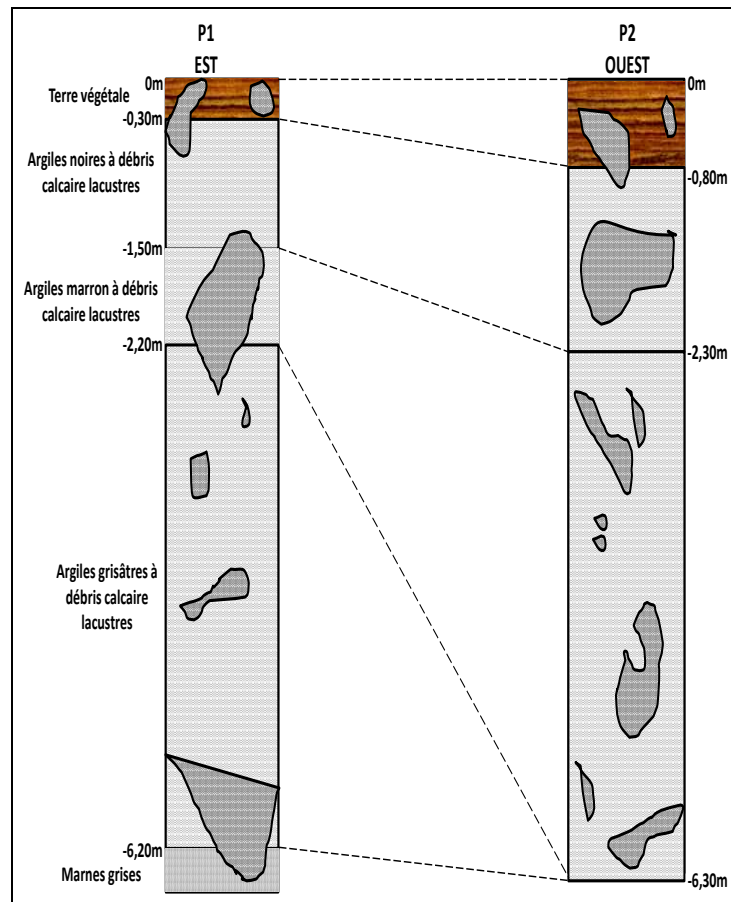


Fig.29 : Coupes lithologiques du POS AU8 d'el kherba (Khellaf, 2019).

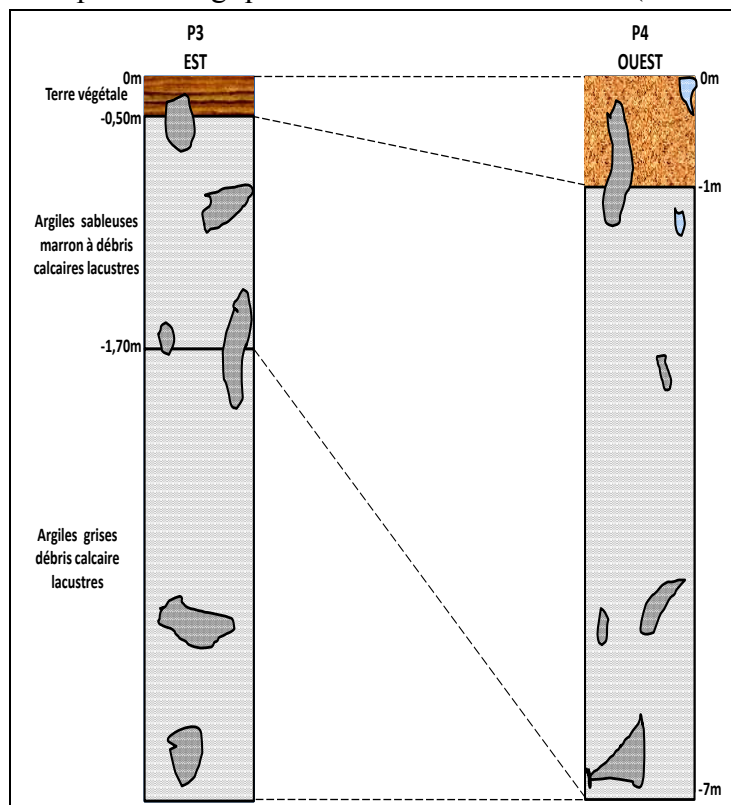


Fig.30 : Coupes lithologiques du POS AU1 d'el Kherba (Khellaf, 2019).

II-3-4-3- Site de l'Université

II-3-4-3-1- Localisation du site

Le site de l'Université se localise à environ 5km du Nord-Ouest de la ville de Mila (Boufouh supérieur). Cette partie de la région d'étude s'étend sur une superficie de 350ha et se subdivise en deux parties; l'une au Nord où s'installe le centre universitaire (4000 places pédagogiques) et l'autre au Sud où s'édifie la résidence universitaire (1000 lits). Elle est limitée au Nord par la RN79 reliant la ville de Mila par Ferdjioua, le village de Boudjerar à l'Ouest, les 240 logements participatifs et la RN79 à l'Est et le rocher de Marechau au Sud (Fig.31).



Fig.31 : Localisation du site de l'Université et positionnement des points d'échantillonnage (P) sur le site (Bing Cartes, 2017).

II-3-4-3-2- Description du site

Le terrain où s'installe le pôle universitaire est caractérisé par une pente faible (3 à 3.5%) de direction Est-Ouest et forte (10 à 11%) de direction Nord-Sud. Ce terrain est constitué pour le site des 1000 lits (Résidence) :

- Des terres arables.
- Des argiles sableuses rouges à passages de sables parfois consolidé (Fig.32).

Pour le site des 4000 places pédagogiques (centre universitaire)

- Une alternance des argiles et/ou des argiles marneuses grises à noirâtres, d'épaisseurs centimétriques à métriques, renfermant des traces de gypse, des débris de fossiles et parfois sont intercalées de bancs de sable jaune (d'ordre centimétrique).

- Des grés en bancs (d'épaisseurs 10 à 35cm) de couleur jaune à rougeâtre, relativement consistants que ceux intercalés dans les argiles.
- Cette alternance de base est surmontée d'une entité d'argile (ép. 20m) à la fois peu marneuse et peu sableuse de couleur noire (Fig.33).

Cette lithologie (argile sableuse, sable) favorise, surtout aux périodes de crues, avec la pente du terrain une altération et érosion intense qui vont former ou creuser des chaabats et aussi le transport des particules érodées vers l'Oued Mila. Selon Habila et *al.*, (2010) et Kechouane et *al.*, (2009), ces constituants sont parmi les sources de contamination et de pollution des eaux du barrage de Beni-Haroun et leur envasement.

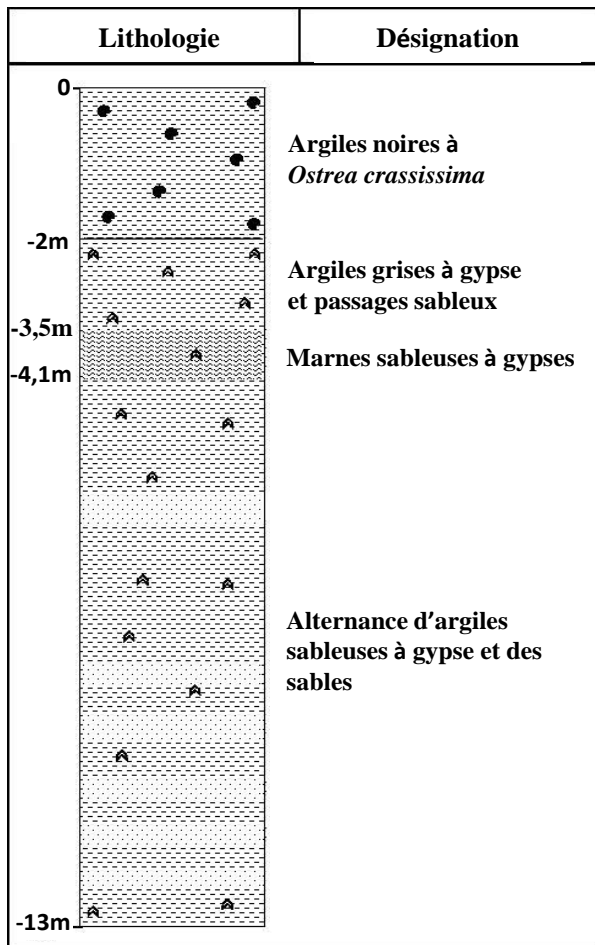


Fig.32 : Coupe lithologique des 4000 places pédagogiques (Khellaf & Hamimed, 2018).

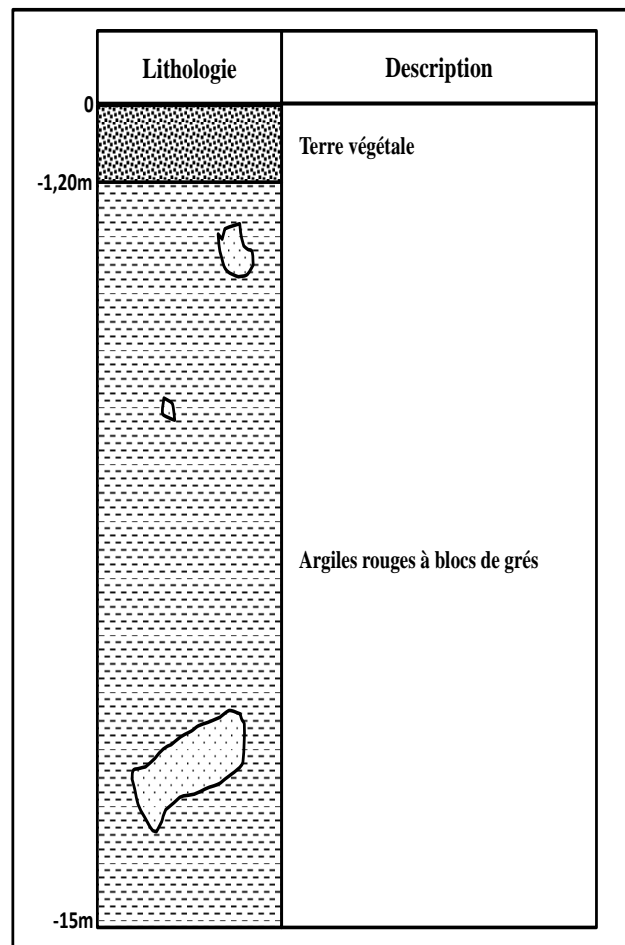


Fig.33 : Coupe lithologique du site des 1000 lits (Khellaf, 2019).

II-4-

**AUTRES TRAVAUX
ANTERIEURS SUR LA
REGION**

II-4- AUTRES TRAVAUX ANTERIEURS SUR LA REGION

Le bassin Néogène de Mila-Constantine (renferme le sous bassin de Mila, le sous bassin de Redjas et le sous bassin de Ferdjioua), dont fait partie notre secteur d'étude, est mentionné, en majorité, dans l'ensemble des travaux de recherches géologiques ou de prospections minières effectuées sur le bassin Constantinois ou le Mole Néritique Constantinois (MNC). Ce bassin présente au point de vue historique un intérêt certain, c'est une région clé dans l'histoire de la géologie du Nord-Est algérien.

Les terrains de ce sous bassement de Mila appartient au domaine tellien qui se caractérise par une dominance argilo-marneuse. Cette particularité géologique attirée l'attention des chercheurs.

Les travaux géologiques dans la région de Mila-Constantine ont débuté avec les travaux du Capitaine PUILLON-BOBLAYE en 1838 qui a publié le résultat de ses premières reconnaissances géologiques sur la région de Constantine et mentionné la présence de gypses à Djebel Chettabah, les conglomérats de la Koudiat et les calcaires lacustres d'Ain el Bey.

Dès 1839, SAGET, officier d'état-major de l'armée française a signalé pour la première fois les calcaires lacustres et les argiles de Mila, ainsi que le sel de Ouled Kebab.

HARDOUIN (1868) établie la première carte géologique du province, au 1/250.000^e. Cette carte a permis la subdivision des formations géologiques de Constantine.

TISSOT (1881) établie la deuxième carte géologique, au 1/800.000^e, qui englobe le province de Constantine. Son grand mérite est d'avoir attribué les grès et argiles du numidien au nummulitique supérieur.

POMEL dans l'édition de 1889 apporté des modifications sur la carte géologique de l'Algérie au 1/800.000^e. La révision de la carte géologique de l'Algérie au 1/800.000^e (1900) est due essentiellement à FICHEUR.

Les premiers travaux géologiques sur le bassin Néogène de Mila sont effectués par JOLEAUD, dans une communication faite à l'Académie des sciences, en 1907. Il fut le premier à envisager l'existence de nappes de charriages dans la région de Constantine et dans les soubassements du bassin Néogène de Mila-Constantine. Outre, sa thèse en 1912, accompagnée d'une carte de 1/200.000^e, il réalise les levés de plusieurs cartes de 1/50.000^e.

Il est important de signaler la monographie ou l'apport de FLANDRIN (1948), qui dans ses études stratigraphiques du nummulitique Algérien, il réalise une bonne synthèse qui traite l'ensemble du Tertiaire au Nord Constantinois.

En 1948, des travaux de recherches dans le Constantinois ont été effectués en collaboration entre le service de la carte géologique de l'Algérie d'une part et l'institut géologique de l'université d'UTRECHT de l'autre part, où les cartes géologiques (1/50000^e) résultant des exploitations de la « mission hollandaise » servent actuellement de document de base pour l'étude de la région de Mila. Mais, la première description géologique est due à FOURNEL en 1849 qui reconnaissait les *Ostrea Crassissimas* et rapportait cette formation au Miocène. Cette dernière a fait des exploitations géologiques et minières avec VAN DE FIERT (1955), auteur d'une étude faite sur la région de Oued el Athmania, dont les tracés géologiques ont servi pour l'édition de la carte géologique au 1/50.000^e qui est un document de base pour toutes les études sur la région de Mila et du bassin de Constantine.

En 1955, DURAND-DELGA M. a réalisé une synthèse géologique ou une grande monographie (référence indispensable pour toutes les études géologiques). Dans ce travail, il a établi une étude très détaillée des formations géologiques de la chaîne alpine de l'Algérie Nord oriental et établi des cartes et des coupes qui s'utilisent jusqu'à maintenant. Cette synthèse géologique englobe la partie septentrionale du bassin Néogène de Mila- Constantine.

En 1974 – 1975, des travaux de prospections minières ont été menés par la direction de recherches de la SONAREM afin de satisfaire la demande de la S.N.M.C. pour l'étude du gisement d'argile pour briques et tuiles d'El Kherba (Mila).

En 1975 – 1976, les travaux de recherche et prospection sur les dolomies en vue de la production de réfractaires ont été effectués dans l'Est algérien. Parmi les chantiers perspectifs mis en évidence, le gîte de Djebel Touat a fait l'objet d'une prospection détaillée et s'est avéré très intéressant du point de vue géologique et économique.

En 1980, VILA a enrichi la géologie de l'Algérie Nord oriental par une synthèse géologique homogène. À partir des données géologiques accumulées sur la chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, il a analysé les conséquences, à l'échelle régional, à celle de l'Algérie alpine et du système alpin bético-maghrébin de la méditerranée occidentale. Cette hypothèse a conclu une allochtonie du Mole Néritique Constantinois et le désignant sous le terme « Nappe Néritique Constantinoise » ainsi que la couverture marno-calcaire (Crétacé-Éocène). Cette synthèse géologique englobant le bassin Néogène Mila-

Constantine a fourni des cartes et des coupes géologiques qui s'utilisent dans toutes les études géologiques antérieures.

Les connaissances géologiques évoluèrent très rapidement et les travaux récents ont étudiés quelques régions qui font partie du bassin Néogène de Mila, et permis de faciliter la compréhension de la géologie de ce bassin.

En 1983, la société française « SAMIN » a effectué plusieurs campagnes de prospection de carrières de dolomie, calcaire- feldspath et gypse pour leurs utilisations dans l'industrie verrière.

EREM-ENASEL (1987) ont fait le rapport inventaire de perspective en sels sur le territoire national. Les travaux de L.T.P. EST dans la même année, ont été réalisés dans la région d'Ahmed Rachdi sur le gisement de gypse et de sel gemme.

En 1990, la SOMACO de Mila, a publié une étude de faisabilité sur la production de plâtre médical et industriel.

L'office de recherches géologiques et minières ORGM (1999), a entrepris un travail de recherche et d'estimation des substances utiles non métalliques dans la région.

AFES M. (1996) : Son travail est consacré à l'étude de trois types de sols gonflants : les argiles de Mila, la bentonite calcique et de la marne prélevée lors du creusement du tunnel de Chamoise en France. Un appareillage a été mis au point pour suivre les cinétiques de gonflement et de pression de gonflement à volume presque constant, couples à la mesure de l'infiltration. Pour l'argile de Mila, plusieurs essais ont été effectués: sans chaux ajoutée et avec des pourcentages variables de chaux ajoutée.

AFES M. et DIDIER G., 2000 : publièrent une étude géotechnique sur traitements des sols argileux gonflants, par la chaux, qui posent de nombreux problèmes en construction routière. Cette étude montre que le traitement modifie les caractéristiques physico-chimiques du sol et donne des résultats tout à fait satisfaisants en réduisant considérablement les phénomènes de gonflement. Les effets du dosage en chaux, du mode de conservation et du temps de contact sur le gonflement et la pression de gonflement sont étudiés.

En 2006, REMMACHE I., publia une étude géologique sur le bassin de Mila pour mieux cerner les processus de dépôts des substances utiles non métalliques (évaporites), leur répartition spatiale (el Grarem Ouest –Guettara-, Ahmed Rachedi, Tassala, el Mahdjar...ect) et leurs

caractéristiques géologiques et minières, car il aura un grand nombre des indices et des gisements de ces substances utiles (gypse, sel gemme...etc.) et les peu d'études les traités. Cette étude portée essentiellement sur les zones gypsifères les plus importantes de ce bassin et qui a consisté à la caractérisation géologique, minière et économique de différents dépôts de gypse au niveau des sites d'exploitation et des indices reconnus à l'affleurement.

En 2006, KHELLAF K. et BITAT F., réalisaient sur la région de Mila –el Kherba-, une étude géologique et hydrogéologique détaillée (cartes, coupes...etc.) et une synthèse géotechnique (établissement des profils géotechniques et réalisation des essais...etc.) afin de connaître les problèmes qui a engendré des fissurations des maisons individuelles et les blocs des 185 logements et par conséquent les solutions possibles pour maitre les autres blocs en sécurité.

MARMI R. et GUIRAUD R. en 2006 ont résumé la géodynamique ou les évènements polyphasés d'une histoire tectonique de compression dans les différents domaines de la partie de ceinture alpine Nord-Est de l'Algérie, au cours de la fin du crétacé, Éocène supérieur, la transition Aquitanien-Burdigalien, au Tortonien et pendant le Pléistocène inférieur. Cette ceinture, est donc le résultat d'une série de déformation de compression de courte durée, comprend de Nord au Sud, les unités du Mole Néritique Constantinois « unités de poussées », le domaine pré-Atlas correspondant à la bande pliée et vers le sud : le massif des Aurès qui est fortement tectonisé.

En 2006, BEN ABBES C., publia un grand travail qui se considère comme un pas dans la géologie structurale « la néotectonique » de l'Algérie Nord orientale ; où il a suggéré implicitement l'étude de l'évolution morphostructurale et ses évolution Mio-Plio-Quaternaire de cette région qui intégrant plusieurs domaines paléogéographiques par une approche qui s'appuie sur l'apport de la photogéologie et l'analyse morphostructurale. Cette étude inclue le bassin Néogène de Mila-Constantine et éclaircir nettement la tectonique récente (quantification des mouvements horizontaux et verticaux et leurs liens avec le réseau de la fracturation) et la relation néotectonique, déformation, instabilité des versants et séismicité aux niveaux de ce bassin.

En 2007, SOUIKI S. a publié une étude minéralogique et géotechnique détaillée sur les dépôts argileux de différents sites (Boumalek, Ain el karma, Ahmed Rachdi...etc.), qui sont l'une des caractéristiques du bassin de Mila-Constantine et qui sont la source principale minérale industrielle de la région (Brique, Tuile, céramique...etc.). Dans cette étude elle présente la répartition spatiale des gisements d'argiles dans le bassin et puis les caractéristiques chimiques, minéralogiques et économiques de ces argiles.

En 2008, ZEBOUCHI H. publia une étude géologique et géotechnique sur la région d'el Grarem (NE de Mila) et plus particulièrement sur une zone instable à l'Est du barrage de Beni-Haroun (Sibari). Afin de mieux comprendre le phénomène affectant cette région et bien diagnostiquer ces mouvements de terrains et les facteurs qui sont à leur origine, elle a joué sur la combinaison des données géologiques et géotechniques selon deux approches l'*une est géologique* (les caractéristiques lithologiques, structurales, géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques) et l'autre est *géotechnique* (une caractérisation géotechnique des zones instables du versant a été réalisée à partir du traitement.

En 2008, HAZMOUNE H. réalisait une étude géotechnique très détaillée sous forme d'une approche pour la diagnostique et la pathologie des ouvrages étatiques (les 185 logements) dans la région d'el Kherba à l'Ouest de la ville de Mila. Dans ce travail, elle essaya de déterminer les causes de désordres affectant les 185 logements et semble trouver leur origine pour préconiser des remèdes. Pour cette objectif elle s'est basée sur les données fournies par les différents services étatiques et l'inventaire des désordres affectants les ouvrages.

En 2008, BOUHENOUNA A. a fait une étude géologique sur la région d'Ouled el Kaim (15km SW de Mila) sur le barrage réservoir qui s'installe dans cette région. Ce travail est pour étudier et vérifier l'état du barrage à savoir la nature géologique et la tectonique du site de l'ouvrage, les conditions hydroclimatologiques de la région ainsi que la stabilité de la digue et son tassement.

En 2008, MARMI R. et *al.* Ont publié une étude des mouvements de terrains de trois sites dans la région de Mila (Ouled el kaim, Sibari et Beni-Haroun). Cette étude est pour estimer l'ampleur de ces mouvements de terrains, de comprendre leurs genèses ainsi que leur impact sur les différentes infrastructures environnantes. L'étude entreprise s'est basée sur l'investigation des terrains qui ont permis de caractériser ces trois sites affectés par les glissements.

En 2009, LABIOD F., publia un travail sur la géomorphologie, la géologie et la géotechnique du bassin de Mila où le risque d'instabilité des terrains est lié aux mouvements en masse qui se répercutent négativement sur plusieurs secteurs de la Wilaya. Pour atteindre ce but, il a essayé de trouver un rapport entre l'instabilité des terrains et les facteurs de prédisposition propres aux sites à savoir : la situation géographique, les données topographiques, la géologie, l'hydrogéologie, la climatologie...etc., et puis il a consacré une étude géo-morpho-dynamique des sites choisis et des conséquences environnementaux directes.

En 2009, CETTAH W. présente une étude géotechnique sur la région de Mila, où il essaya de comprendre les mécanismes et les processus qui génèrent les mouvements de terrains et plus particulièrement, les glissements de terrains. Dans cette étude, il a fait un bilan d'analyses de l'instabilité des versants et une étude de la géomorphologie et des processus dynamiques liés aux dépôts argileux et développé ainsi l'analyse statistique de l'ensemble des données géotechniques acquises sur les sols en mouvement et la cartographie de l'aléa pour le secteur de la commune de Mila.

En 2009, KECHOUANE Z. et *al.*, ont contribué à l'étude des sols de Mila par l'analyse du glissement de terrain du site des 185 logements (1.5km Ouest de chef-lieu de la wilaya de Mila). La contribution de ce groupe consiste en une pathologie des bâtiments ayant subi des désordres et une analyse critiques des causes probables de déclenchement de ce glissement, pour donner des solutions aux problèmes posés avant la réception de ces logements.

En 2009, KHELLAF K. a fait une étude pétro-minéralogique et géotechnique du complexe argilo-marneux de la région de Mila (côté Ouest de la ville –Boufouh-) afin de révéler des solutions adéquates pour la résolution des problèmes techniques rencontrés lors de l'implantation de l'infrastructure dans cette zone à dominance argileuse.

En 2010, ATHMANIA D. dans sa thèse de recherche sur le bassin Néogène Mila-Constantine a identifié et cartographié les zones sensibles au phénomène de retrait-gonflement et puis il a fait des analyses minéralogiques (DRX) et des analyses microscopiques (MEB) afin de mieux cerner et lutter contre ce phénomène dévastatrice et protéger le réseau routier et les constructions individuelles ou étatiques.

BOUEDJA F. en 2010, prend la région de Mila-Constantine par une étude structurale pluridisciplinaire et multiscalaire « tectonique récente et risque sismique » où il s'appuie sur les particularités et les anomalies morphologiques que géologiques pour identifier les déformations récentes dans la région étudiée. Dans cette étude, il a identifié la topographie des déformations, la caractérisation et la quantification des mouvements horizontaux et verticaux et leurs liens avec le réseau de fracturation, l'analyse de la sismicité historique de la région et la relation néotectonique, déformation et sismicité.

En 2011, ATHMANIA D. et *al.* Ont délimité la répartition des formations argilo-marneuses susceptibles de provoquer le phénomène de retrait-gonflement des sols et, en conséquences, peuvent donner lieu à des tassements différentiels qui se manifestent en désordres affectant le réseau routier et les constructions.

BELABBES S. présentait en 2012 une étude (sismologique) d'efficacité des failles actives dans la région de Constantine. Cette étude s'appuie sur un inventaire exhaustif et une caractérisation des failles actives susceptible de produire des séismes dans cette région ainsi qu'une analyse de la microsismicité (la sismicité historique) afin de proposer une cartographie utile pour être servie ou d'être intégrée à l'aménagement de l'espace.

II-5- Conclusion

La région d'étude fait partie de la dépression de Mila-Redjas-Ferdjioua qui appartient, géologiquement, au bassin Néogène de Mila-Constantine et au bassin poste nappe du Constantinois. Ce terrain, occupe la partie Ouest de la ville de Mila. Il correspond aux formations Mio-Pliocène à matériel essentiellement argileux marneux d'un caractère gypseux notable.

Cette région est caractérisée, dans l'ensemble, par une altitude moyenne d'environ 500 m, une pente moyenne à forte (5 à 15%), d'un climat sub-humide frais de précipitations moyennes annuelles de 600mm/an, de températures de 0 à 40°C et un couvert végétal peu important cultures céréalières et des herbes sauvages. Elle présenter aussi une sismicité d'intensité moyenne à faible que les régions avoisinantes telles que la zone de Constantine.

III- SYNTHÈSE
MINÉRALOGIQUE

III- SYNTHÈSE MINÉRALOGIQUE

Les argiles sont les produits de décomposition des roches siliceuses, par désagrégation physique et mécanique, puis par altération chimique. Les particules d'argile sont des aluminosilicates plus ou moins hydratés dont la structure est constituée d'un empilement de feuillets.

III-1- Propriétés des argiles

Les minéraux argileux se caractérisent par :

Leur forme et leur surface spécifique (Tableau 1) : elle est en flocons, caractérisés par une même dimension dans les deux directions et une épaisseur équivalente à $1/20^{\text{ème}}$ de la longueur, en lattes, avec une dimension plus longue et une épaisseur toujours équivalente à $1/20^{\text{ème}}$ de la longueur et en aiguilles présentant deux dimensions identiques et la troisième beaucoup plus grande (assez rare).

Tableau 1 : Surface spécifique des particules argileuses (Eslinger & Peaver, 1988).

Surface area (m ² /g)							
Argiles	Interne	Externe	Totale	Argiles	Interne	Externe	Totale
Smectite	750	50	800	Kaolinite	0	15	15
Vermiculite	750	< 1	750	Illite	5	25	30
Chlorite	0	15	15				

Leurs multiples possibilités d'échanges ioniques : Elle mesure la concentration en cations non fixés dans la couche diffuse et dépend de la charge totale (ex : charge de surface). La CEC est fonction du pH et elle est généralement donnée pour un pH neutre égal à 7 (Tableau 2) :

Tableau 2: CEC des minéraux argileux (Eslinger & Peaver, 1988).

Minéral	CEC	Minéral	CEC
Smectite	80 à 150	Kaolinite	1 à 10
Vermiculite	120 à 200	Chlorite	< 10
Illite	10 40		

Leur capacité d'adsorption d'eau et du gonflement : Le degré d'hydratation varie d'une famille argileuse à une autre. Certains minéraux argileux ont la capacité d'incorporer dans leur structure des molécules d'eau (Fig.34). Cette eau modifie les dimensions de la couche en provoquant son gonflement. Ces argiles sont appelées argiles gonflantes. Les smectites, vermiculites et minéraux interstratifiés offrent des capacités d'expansion beaucoup plus importantes que celles des autres espèces argileuses. L'incorporation d'eau est réversible à la pression atmosphérique et dépend de la température et de la pression de vapeur. Plus l'air est humide, plus l'argile pourra incorporer de l'eau.

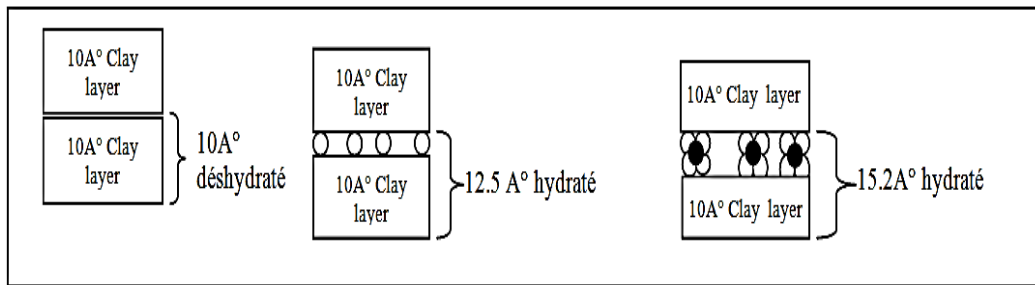


Fig.34 : Capacité d'adsorption d'eau par les particules argileuses (Velde, 1995).

Texture des argiles : La texture des minéraux argileux dépend du mode de sédimentation et de l'état de consolidation. Une roche argileuse qui présente une organisation serrée et orientée des particules d'argiles n'a pas le même gonflement qu'un sol argileux dont la sédimentation a été rapide et récente et pour lequel la distance entre les plaquettes est maximale. Cette organisation des minéraux argileux est la principale cause du gonflement anisotrope (Wakim, 2005).

Les matériaux argileux ne sont pas uniquement composés des argiles. Au sein de la fraction argileuse, plusieurs types de minéraux peuvent coexister. La texture des matériaux argileux se superpose donc aux organisations des autres minéraux non argileux. Cette hétérogénéité rend la structure et la texture extrêmement complexes, surtout lorsque les minéraux argileux sont cimentés par d'autres minéraux carbonatés.

L'évolution de la microtexture en fonction de l'hydratation peut être observée à l'aide du microscope électronique à balayage (M.E.B) ou de la tomographie à rayons X (Wakim, 2005).

La figure ci-après présente des images de ces argiles prises au MEB (Fig.35). Les observations au microscope électronique à balayage permettant d'analyser l'évolution de la texture au cours du gonflement montrent que, pour la kaolinite, le gonflement est uniquement de type inter-agrégats, au niveau des pores interstitiels alors que pour les smectites, le gonflement est de type intra-agrégats, c'est-à-dire entre les feuillets (Bultel, 2001).

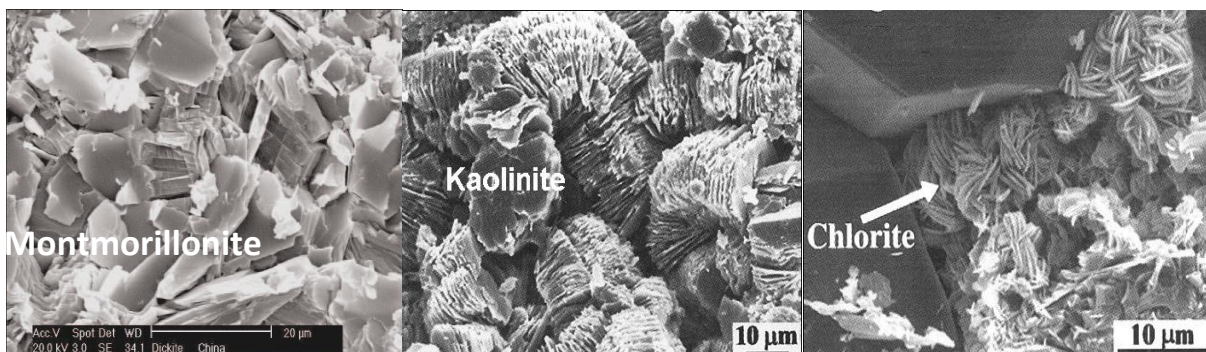


Fig.35 : Photographies au Microscope Electronique à Balayage des argiles (Mitchel, 1986).

Ces observations microscopiques confirment une nouvelle organisation des feuillets argileux qui se manifeste par un écartement parallèle observable dans le cas des roches argileuses ou par un effet combiné d'un écartement et d'une rotation comme c'est le cas pour les sols argileux non indurés (Wakim, 2005).

Globalement, le pourcentage en minéraux gonflants, les carbonates, les minéraux non gonflants d'une part, et la nature de la consolidation d'autre part, présentent une influence notable sur le gonflement, le retrait et le changement des propriétés mécaniques.

Densité de charge spécifique (σ): est égale au rapport entre la capacité d'échange cationique (CEC) et la surface spécifique (S) de la particule argileuse (Wakim, 2005) :

$$\sigma \text{ (meqmm}^2\text{)} = \frac{CEC}{S}$$

Deux types de charge existent dans les milieux argileux : une charge permanente ou structurelle liée aux substitutions ioniques (Al^{3+} pour Si^{4+} dans la couche tétraédrique ; Mg^{2+} ou Fe^{2+} pour Al^{3+} dans la couche octaédrique), une charge de surface variable selon le pH du milieu liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux. La densité de charge spécifique renseigne sur le pouvoir de la particule à repousser les autres, cette répulsion étant la capacité de gonflement des minéraux argileux. L'augmentation de la densité de charge spécifique réduit le gonflement ou la pression de gonflement des matériaux argileux. Cette augmentation entraîne l'attraction des ions, ce qui va provoquer une condensation de la double couche, donc une diminution de son épaisseur. (Wakim, 2005). Aussi selon (Lepluart, 2002) ; plus cette concentration est élevée, plus la couche est mince ou comprimée donc induit une diminution de gonflement.

III-2- Cristallogénie, Structure et Classification des minéraux argileux

III-2-1- Cristallogénie des argiles

Les minéraux argileux sont des substances cristallines qui tirent essentiellement leur origine de l'altération chimique de certains minéraux composant la roche. Sur le plan chimique, ce sont des silicates d'aluminium hydratés dont l'assemblage est constitué par des ions oxygène et des hydroxyles. En réalité il n'existe que deux types de feuillets ou des unités structurales de cristaux de base et les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de ces deux couches :

Unité structurale tétraédrique : Est formée d'un tétraèdre au sommet duquel quatre ions d'oxygène (O^{2-}) enserrent un ion de silicium (Si^{4+}), équidistant de chacun d'eux. Ce tétraèdre est matérialisé par la présence d'une cavité comprise entre trois sphères en contact, d'une couche

hexagonale d'oxygène et une sphère de la couche contiguë d'oxygène (Caillère et al., 1982) (Fig.36).

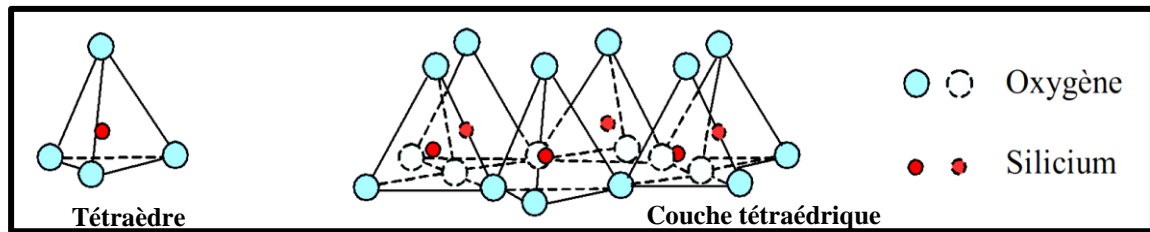


Fig.36 : Couches tétraédriques (Cuisinier, 2002).

Unité structurale octaédrique : Est formée d'un octaèdre au centre duquel un ion d'aluminium (Al^{3+}) ou de magnésium (Mg^{2+}) est équidistant aux six hydroxydes (OH) aux sommets. Ces octaèdres se combinent pour former des couches planes dites couches octaédriques et la liaison avec la couche tétraédrique se fait au niveau des oxygènes (Caillère et al., 1982) (Fig.37).

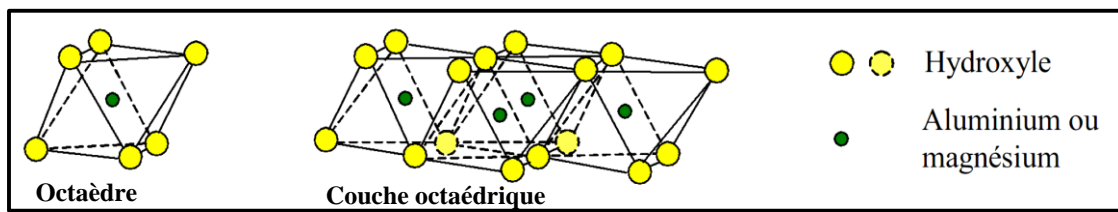


Fig.37 : Couches octaédriques (Cuisinier, 2002).

La représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile est donnée par l'organigramme suivant (Fig.38) :

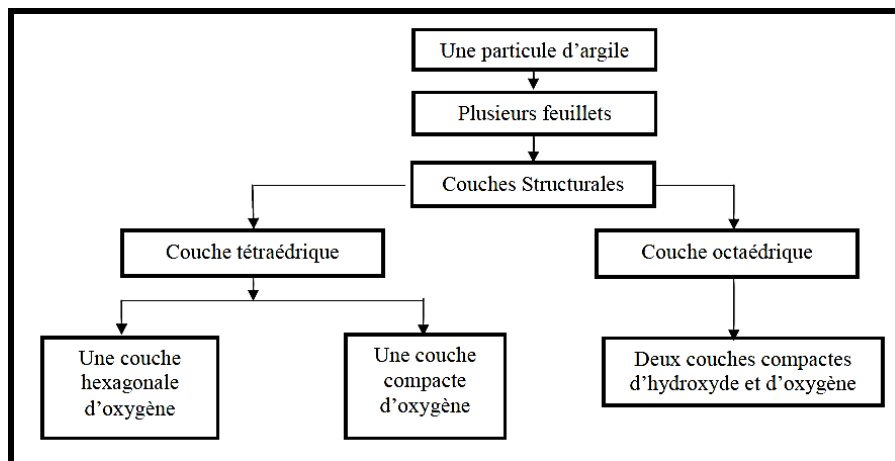


Fig.38 Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile (Holtz et Gibbs, 1991).

L'organisation structurale des phyllosilicates se base sur une charpente d'ions (O^{2-} et OH^-). Ces anions occupent les sommets d'assemblages octaédriques (O^{2-} et OH^-) et tétraédriques (O^{2-}). Dans les cavités de ces unités structurales élémentaires viennent se loger des cations de

taille variable (Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}) en position tétraédrique ou octaédrique. Ces éléments s'organisent planairement pour constituer des couches octaédriques et tétraédriques dont le nombre détermine l'épaisseur du feuillet. L'espace entre deux feuillets parallèles s'appelle espace interfoliaire (Caillère *et al.*, 1982).

Lorsque deux cavités (Fig.39) sur trois de la couche octaédrique sont occupées par Al^{3+} (ou un autre ion métallique trivalents) la structure est dénommée *dioctaédrique*. Quand la totalité des cavités octaédriques est occupée par des ions métalliques bivalents, la structure s'appelle *trioctaédrique*.

Par ailleurs, il peut exister des substitutions isomorphiques dans les couches tétraédriques ($\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$, Fe^{3+}) et/ou octaédrique ($\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$, Fe^{2+} ou $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Li}^+$). Ces substitutions entraînent un déficit de charge qui est compensé, à l'extérieur du feuillet, par des cations compensateurs.

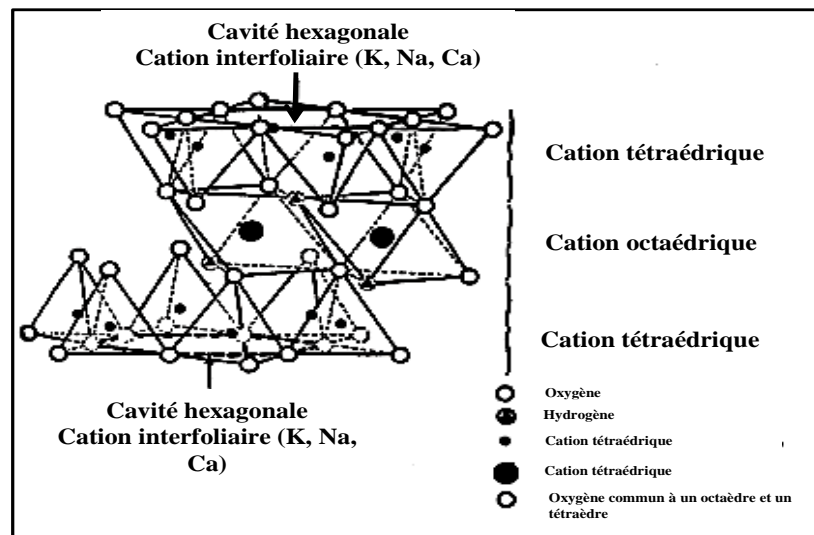


Fig.39 : Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicates 2:1.

III-2-2- Propriétés macroscopiques des argiles

Du point de vue du comportement et des propriétés mécaniques, les roches argileuses se situent entre les sols et les roches. Certaines roches argileuses sont tendres et très déformables ; on parle alors d'argiles plastiques. D'autres sont peu déformables, et présentent un comportement plus fragile que ductile au-delà de la limite d'élasticité : ces argiles sont dites raides.

De manière générale, les argiles dites plastiques présentent une teneur en argile et en eau importante, tandis que les argiles raides sont marquées par la présence de carbonates et de quartz qui leur confèrent ce type de comportement. Mais cette tendance n'est pas toujours confirmée : le caractère déformable ou non des roches argileuses est lié à la minéralogie mais aussi à l'état de compaction du matériau. À grande profondeur (quelques centaines de mètres), les argiles sont

souvent très compactes. Leur porosité et leur teneur en eau sont alors faibles, tandis qu'elles sont peu déformables et que leur résistance mécanique est élevée (Rousset, 1988).

Ainsi, la minéralogie, la teneur en eau et la profondeur du dépôt sont des indicateurs forts pour le classement des roches argileuses parmi les argiles plastiques ou raides. Il est toutefois difficile de fixer précisément ces critères. Rousset en 1988 et Ghoreychi en 1997, ont néanmoins tenté une analyse des corrélations entre le comportement mécanique et les caractéristiques de la roche. Il ressort de leurs analyses que :

- La transition entre le matériau tendre et le matériau induré peut être caractérisée par le module d'Young, la résistance mécanique et le caractère ductile ou fragile.
- Le module d'Young est bien corrélé avec la teneur en eau et donc la porosité.

III-3- Minéraux argileux

III-3-1- Composition et structure

Les minéraux des sols sont très nombreux et leurs propriétés sont très variées. On distingue deux catégories selon leur origine, les minéraux primaires et les minéraux secondaires.

L'abondance de ces minéraux dans les sols dépend à la fois de la nature des roches parentale et de processus de pédogenèse. Par exemple les sols formés sur des roches granitiques souvent riches en minéraux argileux provenant de l'altération des micas ; ceux formés sur des roches calcaires sont riches en carbonates. La multiplicité des situations géo-pédo-climatiques cependant, fait que l'on trouve une grande variété de minéraux dans de nombreux sols.

III-3-2- Critères de classification des minéraux argileux

La structure des minéraux argileux se prête assez facilement à une description directe. Rappelons tout d'abord que les ions oxygènes, les hydroxyles et le fluor ont relativement grande taille par rapport à la plupart des cations. De ce fait, ce sont les éléments qui vont conférer à la structure son aspect caractéristique. En particulier, on trouve dans les structures une disposition en couches qui reflète la texture particulière de ces minéraux phylliteux.

III-3-3- Origine des minéraux argileux

Les minéraux argileux résultent soit de l'altération physique, c'est à dire de la désagrégation d'une roche préexistante (minéraux primaires); soit de l'altération chimique (minéraux secondaires). Dans ce cas-là, ils sont formés par transformation d'un minéral (minéraux transformés) ou par précipitation à partir d'une solution (minéraux néoformés). Les modes de formation des argiles sont repris schématiquement dans la Figure suivante (Fig.40).

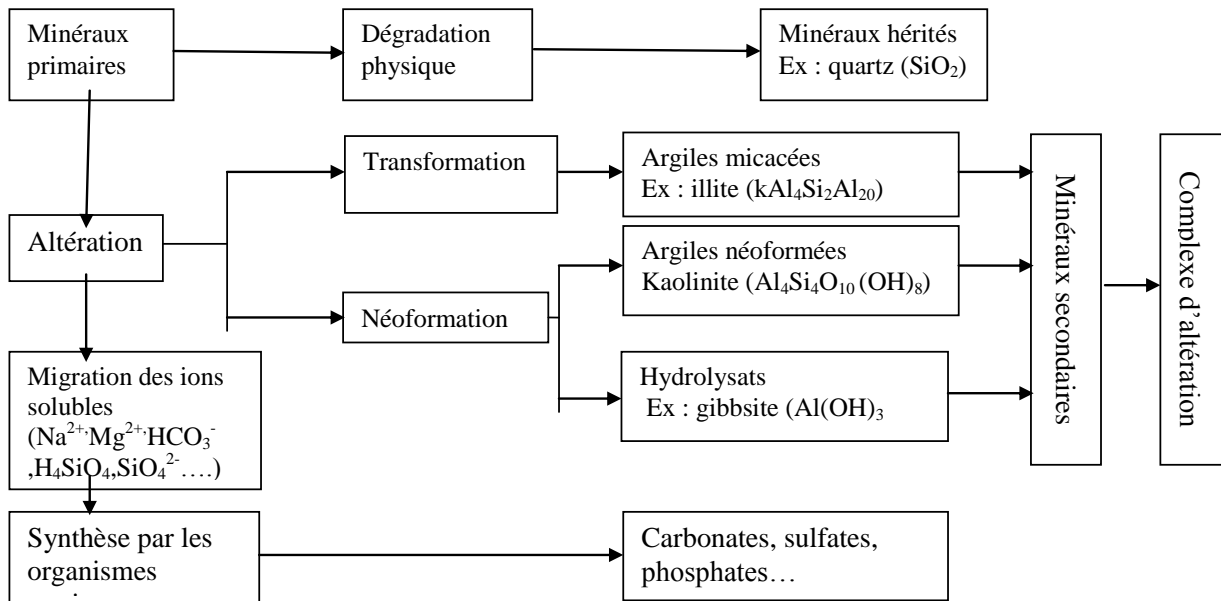


Fig.40 : Évolution des minéraux primaires et formation des argiles (Landry et Mercier, 1992).

En résumé, il existe 3 modes de formation des minéraux argileux, issus de mécanismes différents. Chacun de ces modes donne des indications différentes :

- Sur les conditions d'altération au niveau de la région source (argile = outil paléoclimatique);
- Sur les conditions de transport (argile = outil paléocéanographique);
- Sur les conditions géochimiques environnementales.

III-3-4- Principales catégories des minéraux argileux :

Il est possible de distinguer les types de minéraux argileux par :

- Le nombre de couches d'octaèdres et de tétraèdres dans le feuillet élémentaire (une ou deux).
- L'équidistance entre deux feuillets dans les conditions naturelles.
- La variabilité de l'équidistance entre deux feuillets sous l'action de traitements variés.

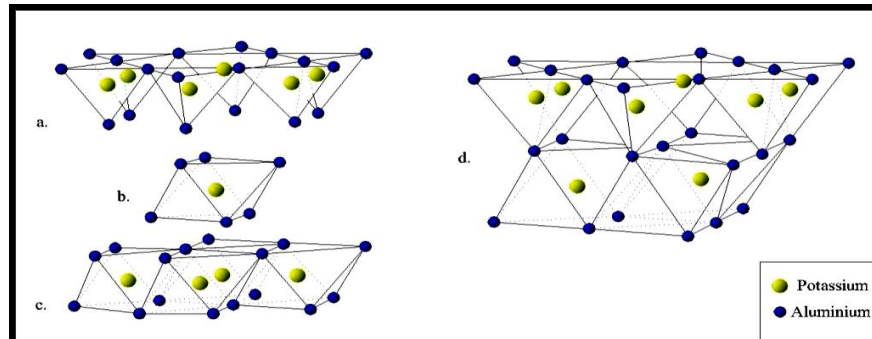
La famille de la kaolinite (T-O ou 1:1)

- **La kaolinite** a une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres, l'épaisseur du feuillet élémentaire est de (7.16Å). Ces feuillets élémentaires adhérents assez fortement entre eux par leurs faces basales, des liaisons hydrogènes existant entre les oxhydroyles de la base d'un feuillet et les oxygènes du haut du feuillet en dessous. Il constitue ainsi une particule primaire (Mering et Oberlin, 1971), qui comprend de 70 à 100 feuillets accolés.



L'halloysite résulte de l'adjonction des couches d'eau entre les feuillets, l'équidistance entre les feuillets hydratés est donc variable dans ce cas (Fig.41).

La formule générale d'un feuillet de Kaolinite est donnée par la formule suivante (cité par Hafsi, 1993: $(Al_4Si_4O_{10}(OH)_8)$).

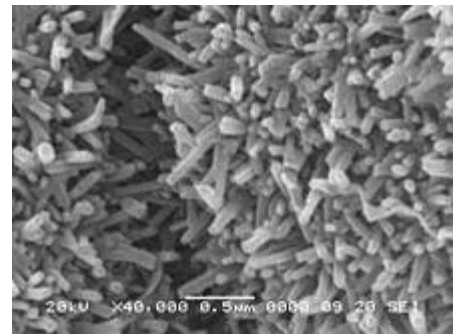


Légende : a- feuillet tétraédrique, b- octaèdre les atomes coordonnés peuvent être Al, Fe, ou Mg, c- feuillet octaédrique, d- modèle schématique de la couche de Kaolinite.

Fig.41 : Modèle structural de la kaolinite (Celso and *al.*, 1998).

- **Dickite et nacrite :** Ces deux minéraux ont une composition chimique identique à celle de la kaolinite. Ils n'en diffèrent que par la structure de leur réseau. Alors que la kaolinite est reconnue comme triclinique, la dickite est monoclinique et la nacrite est monoclinique presque orthorhombique. Ces minéraux sont rares et généralement liés aux gîtes hydrothermaux.

- **Halloysite :** Est formée de feuillets de kaolinite séparés par des couches d'eau. La distance de grand espacement réticulaire devient (10\AA), mais par chauffage, l'eau peut être chassée et on retrouvera celle de la kaolinite. Cette halloysite déshydratée s'appelle la métahalloysite. Au microscope, l'halloysite présente souvent l'aspect de tubes qui sont dus à l'enroulement des feuillets. L'halloysite est liée aux gisements hydrothermaux et parfois sédimentaires.



- **Serpentines et les homéotypes de la kaolinite :** Le minéral des serpentines est un hydrosilicate de magnésie, dont la structure est voisine de celle de la kaolinite. Sa formule chimique se déduit de celle de la kaolinite, par remplacement de 2Al par 3Mg dans la couche octaédrique. C'est l'homéotype trioctaédrique magnésien de la kaolinite.

Famille de l'illite :

- **Illite (T-O-T ou 2:1) (argiles micacées, ou hydro-micas) :** A une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques, les feuillets d'équidistance (10\AA) sont assez

fortement liés les uns aux autres par des ions potassium (K^+), l'équidistance est donc constante. Les propriétés sont intermédiaires entre celles de la kaolinite et celles de la montmorillonite (Fig.42).

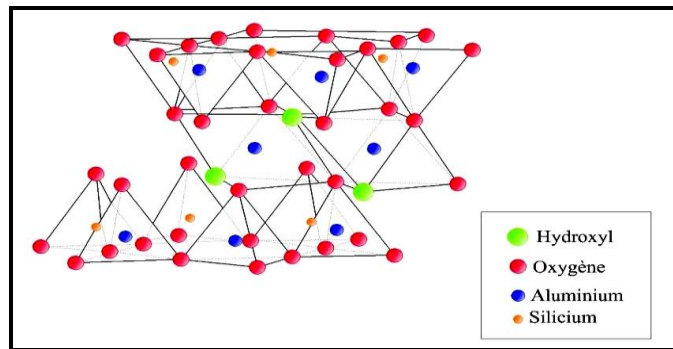


Fig.42 : Modèle structural l'illite (Celso et *al.*, 1998).

- **La glauconite** : La structure minérale a été établie par Gruner (1935) qui montra qu'elle était voisine de celle des micas beaucoup d'auteurs ont montré sa parenté avec la séricite. Le mot glauconie, utilisé en français, représente donc tantôt un minéral argileux défini, qui est l'homéotype ferrique de l'illite, tantôt des produits de nature minéralogique mêlés ou variée, qui ont en commun d'être verts.

Famille de la montmorillonite (T-O-T ou 2:1)

À une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques, les feuillets, épais de (10Å) (Fig.43), sont très faiblement liés les uns aux autres ; aussi des couches d'eau peuvent se fixer entre les feuillets, l'épaisseur de ces couches pouvant atteindre (9Å). Ce matériau est donc gonflant. La montmorillonite peut exister sous la forme de cristaux isolés épais de (10Å). Pour la vermiculite, l'absorption d'eau est limitée à deux couches de molécules d'eau. La formule générale de la montmorillonite est: $n((Al_{1,67}Mg_{0,33}) Si_4O_{10} (OH)_2)$ (Hafsi, 1993, Lamara, Gueddouda et Goual, 2005).

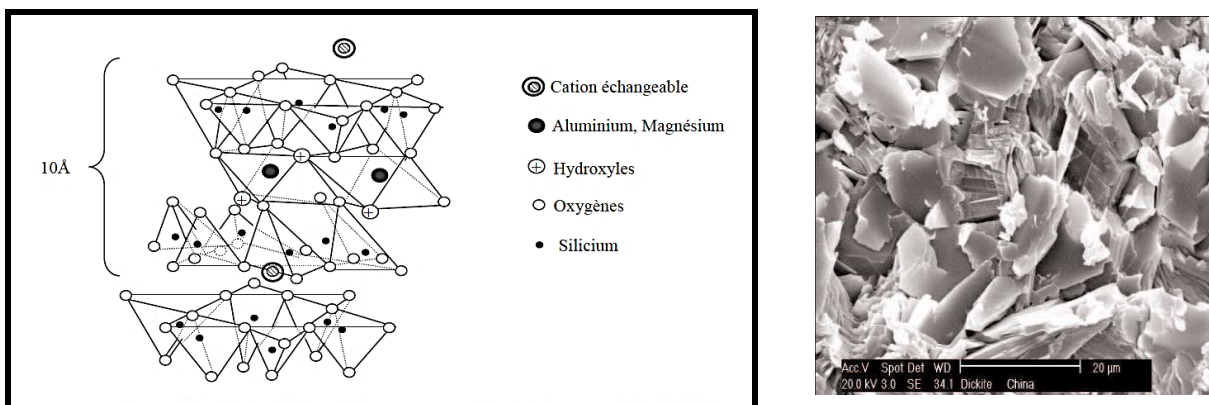


Fig.43 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite (Hafsi, 1993).

Famille des chlorites (T-O-T-O ou 2:1:1)

A une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques (Fig.44) et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdre ; les feuilles épaisses de (14.15Å) sont assez fortement liées entre elles pour les chlorites vraies. Les pseudos chlorites peuvent présenter des phénomènes de gonflement notables.

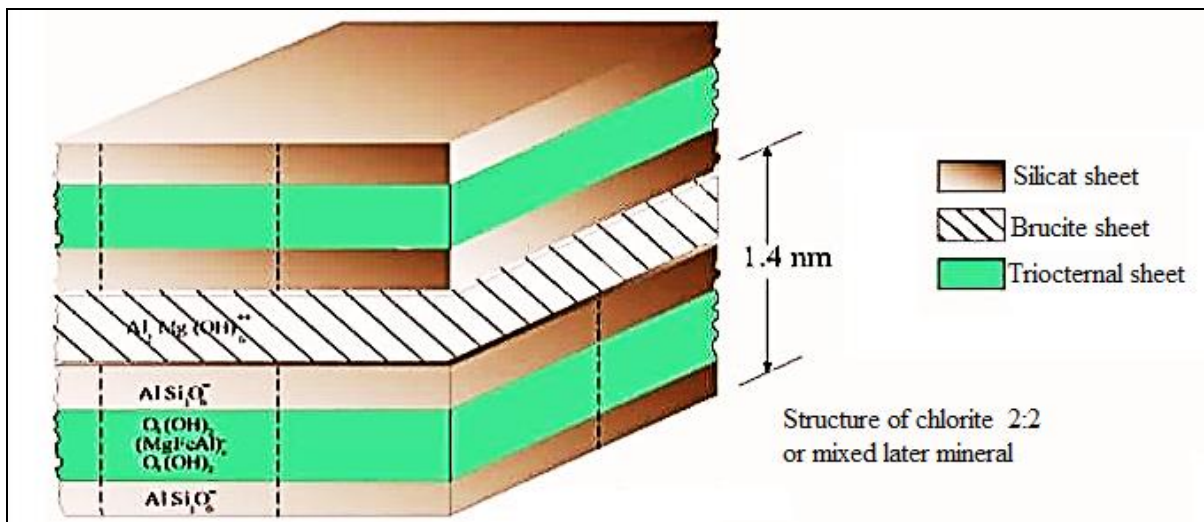
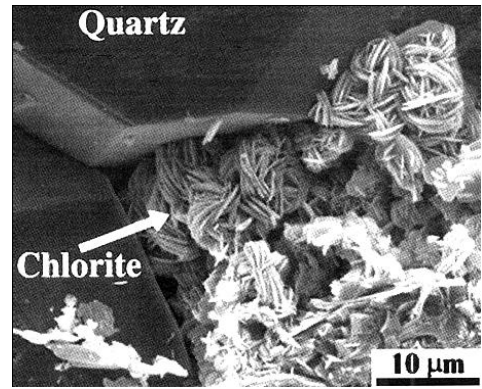


Fig.44 : Représentation du chlorite (White, 1999).

La famille des vermiculites

- **La vermiculite** : Est un minéral à aspect de mica, qui prend l'allure de vermiculite quand on le chauffe (Fig.45). Les vermiculites présentent un espacement basal de 14 Å, mais cet espacement n'est pas fixe.

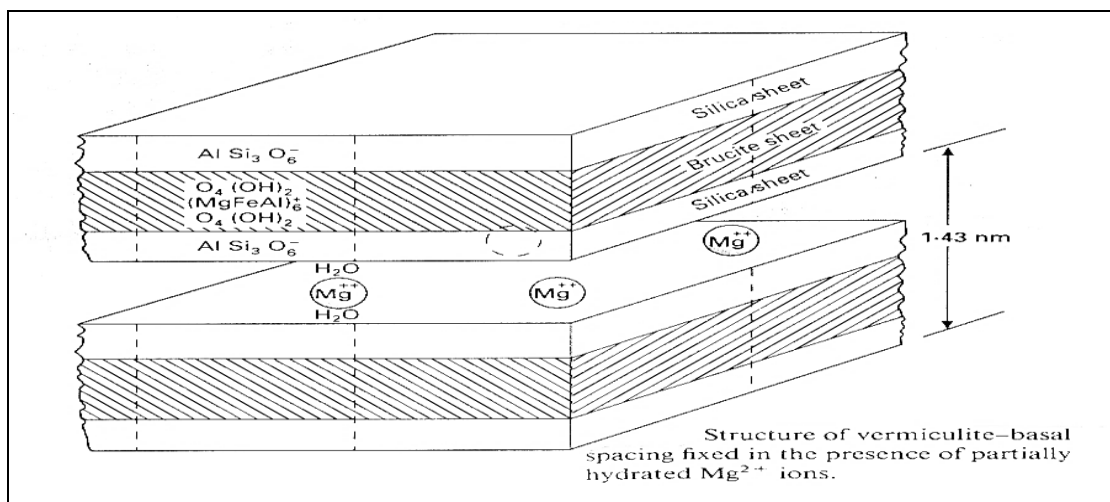


Fig.45 : Représentation d'une vermiculite (White, 1999).

Famille des attapulgites, sépiolites :

- *Attapulgites* : Il s'agit de silicates alumino-magnésiens. Une caractéristique est leur aspect fibreux. Les principaux écarts réticulaires de l'attapulgite sont les suivants : 10.5 ; 6.44 ; 5.42 ; 4.48 ; 3.24 ; 2.15.
- *Sépiolites* : Il s'agit d'un silicate magnésien où l'aluminium prend une part le plus souvent discrète. Les principaux écarts réticulaires de la sépiolite sont les suivants : 7,6 ; 5,05 ; 4,30 ; 3,75 ; 3,33 et 12,10

Famille des smectites :

Les smectites sont des minéraux argileux de type 2:1 (T-O-T). L'empilement des feuillets est désordonné ; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent et a une extension latérale extrêmement grande par rapport à son épaisseur qui est d'environ (9,9 Å). Ce désordre des feuillets et la constitution des faces inférieures et supérieures de ce type d'argile ne permettent pas le développement d'une liaison hydrogène entre les feuillets, ce qui facilite leur écartement et l'adsorption des molécules variées (cations, eau, molécules organiques) au niveau de l'espace interfoliaire qui s'écarte. Par conséquent, les smectites sont très sensibles à l'eau et un important gonflement de la particule peut se produire par adsorption de molécules d'eau entre les feuillets. Ce gonflement peut atteindre des valeurs dépassant l'épaisseur du feuillet lui-même. Les smectites, ou montmorillonites, sont généralement calciques, plus rarement sodiques suivant la nature du cation prédominant (calcium, sodium). Il est connu que le sodium confère des propriétés de gonflement supérieures à celles permises par la présence de calcium comme cation échangeable dans une argile (Saiyouri, 1996). Les feuillets des smectites peuvent s'intercaler régulièrement ou irrégulièrement avec d'autres feuillets argileux, souvent illitiques. L'ensemble forme des interstratifiés. Les particules de smectite comportent un empilement de feuillets variant entre (1 à 10 unités) ou plus pour une montmorillonite sodique et entre 10 à 40 unités ou plus pour une montmorillonite calcique. Les substitutions d'atomes sont importantes, la capacité d'échange de ces argiles est comprise entre (80 et 150 méq/100g).

CHAPITRE II :

MATERIEL ET

METHODES

METHODOLOGIE
DE TRAVAIL

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Pour contribuer à la recherche des solutions aux problèmes des tassements posés et surtout dans la commune de Mila où les sols engendrent des dégâts énormes, nous réalisons une étude détaillée de ces sols pour déterminer les facteurs essentiels causant des fissurations existant réellement au niveau de certaines constructions individuelles et étatiques fondées et endommagées dans les différents sites de la région étudiée (Fig.46). Les autorités de la wilaya ont l'intention de faire une extension de la ville de Mila sur cette partie du bassin où s'est déjà installées le pôle et la résidence universitaire, les bâtiments...etc. Cette étude se fait d'étapes suivantes :

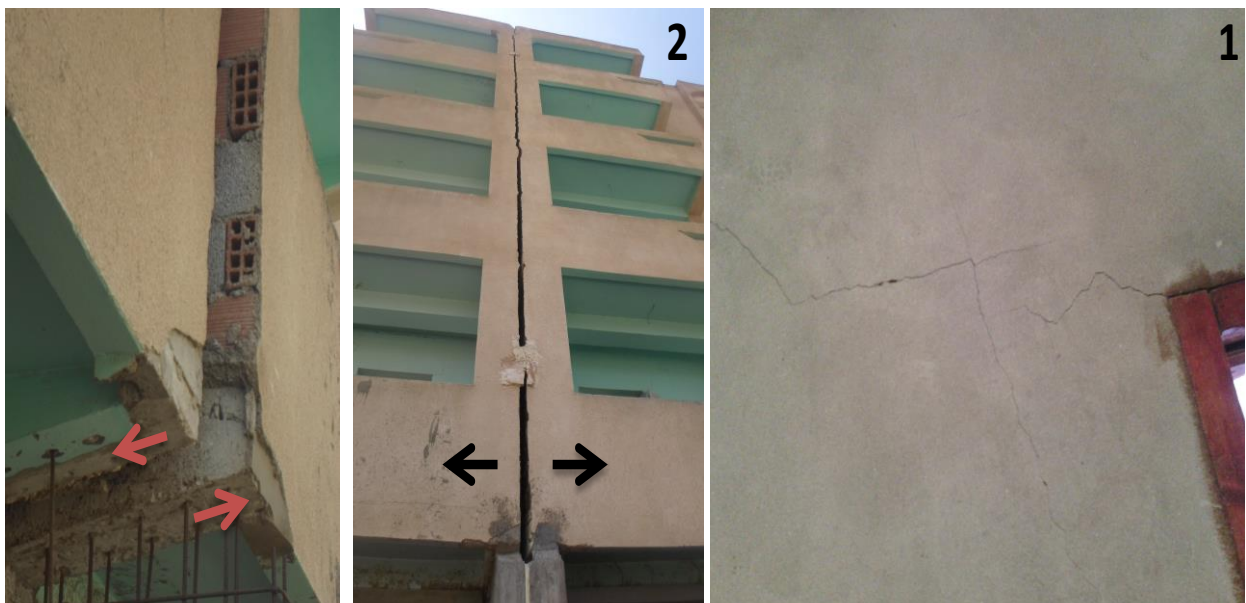


Fig.46 : Fissuration des maisons individuelles (1) (site de Marechau) et déplacement des blocs des 185 logements (2) site d'El Kherba).

1- Échantillonnage

Les échantillons analysés sont prélevés, pendant les sorties de terrain, de profondeurs différentes allant de 20 m. Cet échantillonnage systématique et effectué avec soin, en fonction des formations affleurant pour les différents niveaux du sol des trois sites de la zone d'étude. Il est d'ordre minéralogique et géotechnique et il se fait à la main pendant l'excavation pour l'implantation des fondations et par des carotteuses pour les grandes profondeurs.

L'examen des échantillons et l'exploitation des résultats obtenus de ces essais se fait comme suit :

2-1- Analyse minéralogique

2-1-1- Matériel utilisé

Becher, Balance digitale, Série des tamis, Tamiseuse, Étuve, Mélange de sol, X'Pert HighScore Plus (version 2003).

2-1-2- Mode opératoire

Afin de tirer l'essentiel des minéraux composant les sédiments de la région en question on utilise l'analyse diffractométrique aux rayons X. Pour cela, pour chaque site étudié on a préparé des échantillons pulvérisés des argiles pour caractériser sa composition minéralogique : dix-huit échantillons (18) échantillons pour le site de Marechau, vingt-quatre (24) échantillons pour le site de l'Université (Boufouh supérieur) et dix-huit (18) échantillons pour le site d'El Kherba.

Dans l'ensemble on a préparé soixante (60) échantillons qui permettent de nous orienter dans la composition minéralogique des roches sédimentaires de la région étudiée.

La préparation de la poudre ou des mélanges des échantillons examinés se fait au laboratoire de géologie à l'Université de Ghardaïa et au laboratoire de sédimentologie à l'Université de Tébessa.

Les résultats obtenus sont interpolés et représentés sous forme de diffractogrammes à l'aide du logiciel de X'Pert HighScore Plus (version 2003).

2-2- Analyse des paramètres géotechniques

2-2-1- Analyse chimique

Cette partie d'analyse, du sol des sites étudiés, se fait seulement au niveau des laboratoires (LBM-SOL, 2014, Aiche Geo-Sol, 2013, LGG, 2010 et LNHC, 2001). Les résultats obtenus de ces essais nous permet de déterminer et évaluer l'agressivité du sol de la région étudiée et par conséquence de protéger notre constructions.

2-2-2- Analyses pétrographies sommaires (chimico-pondérale)

Ces analyses se faites, au niveau du laboratoire de Géologie (Université de Ghardaïa) et le laboratoire de sédimentologie (Université de Tébessa), sur soixante-quinze (75) échantillons d'argiles récupérés de trois (3) sites et de onze (11) profils de terrain (Annexe) (dix-huit (18) échantillons de quatre (4) profils pour le site de Marechau, trente-trois (33) échantillons de trois (3) profils pour le site de l'université et vingt-quatre (24) échantillons de quatre (4) profils pour le site d'El Kherba de profondeur allant plus de 9m (Fig.47 et Annexe).

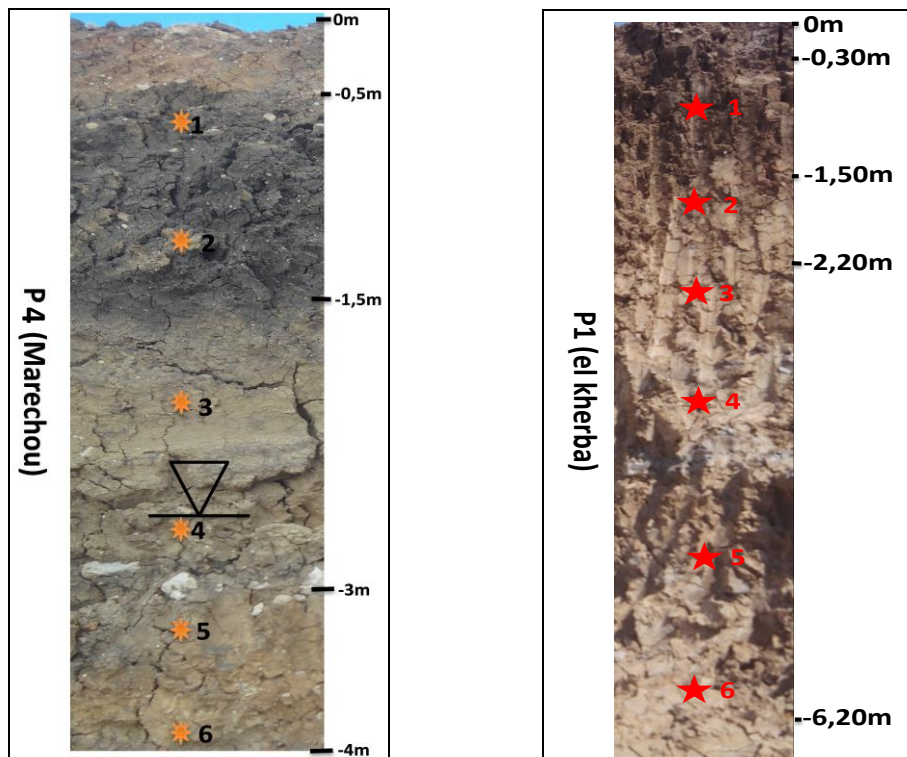


Fig.47 : Coupes lithologiques et positionnement des points d'échantillonnage.

2-2-2-1- Matériel utilisé

Bécher, Balance digitale, Série des tamis, Tamiseuse, HCl (10%), Eau distillée, Étuve, Mélange de sol, Plaque chauffante, Statistica (version 2010),

2-2-2-2- Mode opératoire

Après la préparation des outils essentiels et pour chaque échantillon :

- 1- On prend un poids déterminé du mélange de sol.
- 2- On le tamise, dans la série des tamis, à l'état humide afin de séparer le quartz de l'argile et d'obtenir la fraction fine (< 0.063 mm).
- 3- On met les tamisats dans l'Étuve pour les sécher.
- 4- On prend un poids de la fraction ≤ 0.063 mm sèche et on le met dans un bêcher déjà pesé. On aura donc : *Le poids de bêcher + le poids de la fraction < 0.063 mm utilisée.*
- 5- Ensuite on fait ajouter l'HCl dilué «10 %» et puis on agite et on chauffe en même temps à une température inférieure à 80°C . Au fur et à mesure de la manipulation, les carbonates se volatiles, jusqu'à l'effet négatif de l'HCl, c'est-à-dire, absence totale d'effervescence.
- 6- En dernier lieu, on ajoute une quantité suffisante d'eau distillée et on laisse les particules des échantillons de se décanter pendant un jour pour assurer une bonne décantation ; on verse l'eau distillée et on répète l'opération une 2^{ème} et 3^{ème} fois.

7- On porte en suite l'échantillon pour le sécher dans une Étuve sous une température d'environ 100 °C jusqu'à la disparition de la dernière goutte d'eau et après séchage complet, on pèse le bécher avec le résidu sec restant. On obtient donc :

Le poids du bécher + le poids de résidu sec

8- On calculant le pourcentage des argiles, des carbonates et de quartz dans l'échantillon complet et les résultats obtenus sont regroupés dans des tableaux (Annexe).

Poids d'argile = (résidu sec + poids du bécher) – (poids de bécher)

Poids des carbonates = (poids de bécher + poids de la fraction ≤ 0.063 mm utilisée) – (poids de bécher + résidu sec) (Vatan, 1967).

9- En fin ces résultats sont interpolés et représentés sur des diagrammes ternaires selon le modèle de Czerminski, à l'aide du logiciel de Statistica (version 2010) et l'interprétation de ces diagrammes se fait selon les conceptions montrées dans la bibliographie

2-2-3- Analyse des paramètres géotechniques des sites étudiés

La source principale d'information sur la constitution géologique et les paramètres géotechniques du terrain étudié sont les essais in situ et au laboratoire.

2-2-3-1- Sondages carottés

La consultation de la carte géologique de la région, ainsi les sorties de terrain, ont permis de définir une approche du complexe géologique étudié, mais il reste insuffisant pour développer et connaître avec certitude la nature lithologique des matériaux constituant les différentes formations rencontrées dans le sous-sol. Il est donc nécessaire d'approfondir notre investigation par des sondages carottés réalisés d'une manière à couvrir la totalité de surface des sites étudiés, les laboratoires d'études géotechniques ont réalisé, selon les demandes et les exigences des projets, pour le site de Marechau, 27 essais (12 sur le POS AU09 et 15 sur le POS AU15), descendus sur plus de 10m de profondeur, pour le site d'El Kherba, 35 essais, à l'aide d'une sondeuse rotative de type B30 et ABYSS50, (21 sur le POS AU1 et 14 sur le POS AU8), descendus sur de 10 à 20m de profondeur et pour le site de l'Université, 21 essais (13 sur le site des 1000 lits et 8 sur le site des 4000 places pédagogiques), descendus sur plus de 15m .

La consultation des rapports géotechniques fournis par les laboratoires cités ci-dessus et l'analyse des coupes lithologiques des sondages carottés (Annexe), fournis par ces laboratoires, permettant à la fois de mettre en évidence les couches susceptibles de recevoir les fondations, par la récolte des échantillons à des fins des analyses au laboratoire et d'autre fois de connaître la nature lithologique des sols traversés ainsi que d'établir des coupes géologiques longitudinales et transversales à travers les sites.

2-2-3-2- Essais de pénétrromètre dynamique

D'une manière à couvrir la totalité de surface des sites étudiés, les laboratoires d'études géotechniques, cités ci-dessus, ont réalisé aussi pour le site de Marechau, 43 essais, à l'aide d'un pénétrromètre dynamique lourd de type BORRO B2, (18 pour le POS AU09 et 25 pour le POS AU15), sur 10m de profondeur, pour le site d'El Kherba, 106 essais, à l'aide d'un pénétrromètre dynamique lourd de type BORRO B2, (25 sur le POS AU8 et 81 pour le POS AU1), de 10 à 20 m de profondeur et pour le site de l'université, 21 essais, à l'aide d'un pénétrromètre dynamique lourd de type Geotoole, (13 sur le site de 1000 lits et 8 sur le site de 4000 places pédagogiques), sur 10m de profondeur.

La consultation des rapports géotechniques fournis par les laboratoires cités ci-dessus et l'analyse des pénétrogrammes obtenus (Annexe), de ces essais qui consistent à tester le terrain et poussés jusqu'au refus, permettant de donner une idée sur le comportement des sols vis-à-vis de la rupture et le degré d'homogénéité de la formation d'assise des fondations et de déterminer ou d'évaluer qualitativement la portance des sols porteurs.

2-2-3-3- Essais de laboratoire

Les essais de laboratoire ont pour but de déterminer les paramètres physiques et mécaniques du sol en vue d'estimer son état naturel. Ces essais se font sur des échantillons prélevés à partir des carottes paraffinées de sondages. Pour qu'un essai donne des résultats précis et fiables, il faut que l'échantillon soit représentatif (Costel et Sanglerat, 1981).

Les échantillons prélevés ont subi des analyses physiques et mécaniques au niveau des laboratoires, cités ci-dessus, en vue de l'identification des formations lithologiques des sites en question. Parmi ces essais on cite :

Degré de saturation (S_r) : S'exprime par la relation suivante : $S_r = (V_w / V_a) \times 100$

Où V_w est le volume d'eau dans l'échantillon. (Si le sol est complètement sec : $S_r = 0 \%$ et si les pores sont complètement remplis d'eau et le sol en est saturé : $S_r = 100 \%$).

Teneur en eau (w) (NF P94-050): S'exprime par la relation suivante : $w = W_w/W_s$

Densité humide (γ_h ou dh (KN/m³) (NF P 94-053) : Elle s'exprime par la relation suivante :
 $\gamma_h = w/v$ Ou $dh = \gamma_h / \gamma_w$

Densité sèche (γ_s ou ds (KN/m³) (NF P 94-053) : Elle s'exprime par la relation suivante :

$$ds = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \text{ ou } ds = \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$$

Analyse Granulométrique par Tamisage (NF P94-056): Pour les grains d'un diamètre supérieur à 80µm. Les résultats sont exprimés sous forme d'une "courbe granulométrique". Cette courbe est notamment utilisée pour la classification des sols grenus, qui nécessite le calcul de deux coefficients de forme :

- **Le Coefficient d'uniformité (coefficient de Hazen) :** $C_u = D_{60} / D_{10}$
Si : $C_u > 3$ la granulométrie est dite étalée (continue)
Si : $C_u < 2$ la granulométrie est dite étroite (uniforme).
- **Le Coefficient de courbure (Cc) :** $C_c = (D_{30})^2 / D_{60} * D_{10}$ avec D_{10} , D_{30} et D_{60} étant respectivement les diamètres correspondant à 10, 30 et 60% d'éléments passants (Hubert et Philipponnat, 2003). Pour un sol bien gradué : $C_u > 5$ et $1 < C_c < 3$.

Limites d'Atterberg (NF P 94-051) : On les mesure sur la fraction du sol passant au tamis de 0.5mm (Habib, 1997).

- Limite de liquidité (W_L) (NF P 94-051):** Elle est traduite par la relation suivante : $W_L = w \cdot (N/25)^{0.121}$ et s'exprime en %.
- limite de plasticité (W_p) (NF P 94-051):** L'essai s'effectue en deux phases : dans la première phase on cherche la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque celle-ci et son contenu sont soumis à des chocs répétés. Dans la deuxième phase on cherche la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée est confectionné manuellement, se fissure.
- Indice de plasticité (I_p) (NF P 94-051):** S'exprime par la relation suivante :
 $I_p = W_L - W_p$
- Indice de consistance (I_c) (NF P 94-051) :** Il s'exprime par la relation suivante (Philipponnat et Hubert, 2003) :
 $I_c = \frac{w_l - w}{w_l - w_p}$ ou $(W_L - w) / I_p$

2-2-3-4- Essais mécaniques

Essai de cisaillement (NF P 94-071-1)

1-1 : Cisaillement à la boîte de Casagrande

À l'aide de cet essai on trace la courbe intrinsèque du matériau et on mesurant au minimum deux couples de (τ , σ) de valeurs de contraintes de la rupture, pour pouvoir la

tracer en suite en détermine l'angle de frottement interne (ϕ) et la cohésion du matériau étudié (C) (Tisot, 1983).

La courbe intrinsèque du matériau : Pour chaque essai de cisaillement on obtient un couple de (τ_{\max} , σ_{\max}) qui correspond l'état de la rupture de l'échantillon. Il existe deux courbes qui correspondent deux types d'essais l'une est la courbe à court terme qui correspond l'essai non drainé (rapide) et l'autre est la courbe à long terme qui correspond l'essai drainé (Tisot, 1983).

1-2- Essai triaxial (NF P 94-074)

Il a pour but de déterminer les paramètres l'angle de frottement interne (ϕ) et la cohésion interne (C) qui sont souvent la base de tout calcul de stabilité. Trois types d'essai sont effectués à l'appareil triaxial : l'essai consolidé drainé (CD), l'essai consolidé non drainé (CU) et l'essai non consolidé non drainé (UU).

A : Essais non consolidate non draine (UU) ou essai rapide : Il est réalisé quand on veut déterminer la stabilité d'un massif de terres (soumis à des sollicitations) rapidement le temps à l'eau pour s'échapper. En général; c'est le cas le plus défavorable dans les études de portance des sols fin.

La courbe intrinsèque du matériau : $\tau = C_u + \sigma \text{tg } \phi_u$, quand le sol est saturé, l'échantillon est consolidé dans la cellule triaxiale sous la contrainte (σ_c) (Costel et Sanglerat, 1981) la courbe intrinsèque apparente est donc une droite parallèle à l'axe des « σ », elle détermine une cohésion apparente « C_u », tandis que ($\phi_u = 0$) a donné : $\tau = C_u$

B : Essai consolidé drainé (CD) : Il est généralement utilisé dans les sables car ils ont un drainage rapide et rarement utilisé pour les argiles. L'essai donne des caractéristiques inter-granulaires du sol (C'), et (ϕ') permettant d'effectuer des études de stabilité à grains solides. La résistance au cisaillement du sol dépendra essentiellement des contraintes effectives (contraintes supportées uniquement par les grains solides). Cette résistance aura s'exprimée par l'expression de Colomb (Tisot, 1983): $\tau = C' + \sigma' \text{tg} \phi$. Où : « C' » et « ϕ' » sont des paramètres de cisaillement drainé se résultent sous l'effet des contraintes effective. Pour les sols pulvérulents, la droite intrinsèque passe par l'origine (Tisot, 1983) : $C' = 0 \Rightarrow \tau = \sigma' \text{tg} \phi$

C: Essai consolidé non drainé (CU) : Il est réalisé quand on veut déterminer la stabilité d'un massif de terres préalablement compacté et consolidé; puis soumis à des sollicitations dues à un remplissage et une vidange rapide que ne laisse pas le temps à l'eau pour quitter l'échantillon. Il correspond aussi au cas des sols chargés rapidement.

1-Essai de compressibilité à l'œdomètre (NF P94-090-1)

Il permet d'évaluer l'amplitude des tassements ainsi que leur évolution et :

1. De suivre la consolidation au cours du temps et déterminer la relation entre les charges et les déformations (Philipponnat, 1979).
2. De prévoir l'importance et la durée du tassement de sols sous une charge (Tisot, 1983) :

3. De calculer l'indice des vides initial (e_0) à partir de la courbe œdométrique ($e, \log \sigma$) :

$$e_0 = (H - H_0)/H_0$$

4. De calculer l'indice des vides final (e) pour chaque palier de chargement

$$e = (H - H_0 - \Delta H)/H_0$$

5. De déterminer la teneur en eau du sol

$$w = \gamma_s * (\text{poids d'eau final/section de l'éprouvette})$$

6. De tracer la courbe de compressibilité ($e, \log \sigma$) et on obtient deux courbes différentes (courbe de chargement et courbe de déchargement).

7. de calculer l'indice de compressibilité (C_c) à partir de la courbe de chargement, qui est la pente ou la tangente de la courbe vierge. Il permet de préciser la sensibilité du

$$\text{sol au tassement (Costel et Sanglerat, 1981). } C_c = -\frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1}$$

8. De calculer le coefficient de gonflement (C_g) qui est la tangente ou la pente de la courbe de déchargement : $C_g = \Delta e / \Delta \log \sigma$

9. De déterminer la pression de consolidation (σ_p') et la contrainte de préconsolidation (σ_c'), qui est la contrainte maximale sous laquelle s'est déjà le sol consolidé au cours de son histoire.

10. De déterminer le coefficient de consolidation (C_v). Selon la théorie de Terzaghi :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad (H = H/2). \quad C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad (H = H)$$

11. De classer les sols et calculer ses tassements en fonction de σ_p' et σ_{vo} : si les sols sont sur consolidés ($\sigma_p' > \sigma_{vo}$), normalement consolidés ($\sigma_p' = \sigma_{vo}$) et sous consolidés ($\sigma_p' < \sigma_{vo}$).

2-2-3-5- Tassements des fondations par Méthode de C et ϕ

Lorsqu'un sol est soumis à des charges (fondation, remblai, digues, murs de soutènement, ...etc.), il se produit des déformations dans le milieu. Comme ces charges sont le plus souvent verticales, ces déformations sont particulièrement marquées dans la direction même des forces appliquées qui s'ajoutent à la pesanteur : les déformations verticales du sol prennent alors le nom de tassement (Costel et Sanglerat, 1981).

Le tassement d'un sol (ΔH ou S) est en général la résultante de trois composantes, (Bouafia, 2003) :

- ✓ Le tassement instantané (ΔH_i) qui se manifeste au début du chargement, suite à une déformation du sol à volume constant. Il est prépondérant dans les sols pulvérulents et les sols non saturés.
- ✓ Le tassement primaire (ΔH_c) est causé par une consolidation primaire du sol. Il est prépondérant dans les sols fins saturés tels que les limons, les argiles saturées, les argiles sableuses, les argiles limoneuses ...etc.
- ✓ Le tassement secondaire (ΔH_s) est causé par une consolidation secondaire ou fluage dans laquelle la déformation du sol évolue lentement sous des contraintes effectives constantes dans le temps.

2-2-3-5-1- Méthode de calcul de tassement

On peut calculer le tassement soit :

- Á partir des essais in situ (Bouafia, 2003) par la méthode pressiométrique, méthode pénétrométrique de SCHERTMANN, (1978) et la méthode de calcul à partir du SPT (méthode de Burland et Burbridge, 1984).
- Á partir des essais de laboratoire, où le calcul est fait par l'évaluation du tassement de consolidation instantané par les formules d'élasticité, l'évaluation du tassement de consolidation primaire qui se base en général sur les résultats de l'essai de compressibilité œdométrique et l'évaluation du tassement de consolidation secondaire.

2-2-3-5-2- Choix des types des fondations

Le choix du type de fondation dépend de l'hétérogénéité du sol, les mouvements de nappe phréatique, la diversité des modes d'exécution, l'influence des bâtiments déjà existants sur le sol sous-jacent et du facteur économique. De ce fait, le choix d'une fondation doit impérativement répondre aux exigences suivantes :

- La charge appliquée à la base de la fondation ($\Delta \sigma_z$) qui dépend de la capacité portante du sol.

- Les tassements doivent être restés admissibles pour le type de la structure choisie.

Si on désigne par D la profondeur d'encastrement de la fondation dans le sol, par B sa largeur et par L sa longueur, on distingue 3 types de fondations : Fondation superficielle : $D/B \leq 4$ à 5, Fondation profonde : $D/B \geq 10$ et Fondation semi-profonde : $4 \leq D/B \leq 10$.

2-2-3-5-3- Calcul des tassements

1. Calcul de la contrainte naturelle (q_0)

Elle correspond généralement au point des terres surmonte le point considéré. La formule générale est : $q_0 = \gamma_h \cdot H_i$

2. Calcul de la contrainte limite (q_L) et la contrainte admissible (q_{ad}) sou une charge verticale et centrée (méthode de superposition de Terzaghi)

Pour calculer les tassements d'un sol sous l'action des charges extérieures, on doit évaluer préalablement la valeur des pressions effectives en chaque point du milieu sur un élément de surface horizontale avant et après chargement. La charge maximale supportée par la semelle et qui engendre la rupture (Philipponnat, 1979) $Q_L = A \cdot q_L$ Avec : q_L : la contrainte de rupture de la semelle et A : Aire de la semelle.

La formule générale (selon Terzaghi) pour le calcul de la contrainte limite et la contrainte admissible est:

$$q_L = 0.5\gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + C N_c \text{ et}$$

$$q_{ad} = q_0 + \frac{1}{F_s} * [0.5\gamma B N_\gamma + q_0(N_q - 1) + C N_c]$$

Avec : γ_1 : poids volumique du sol sous la base de la fondation ; γ_2 : poids volumique du sol latéralement à la fondation ; q : surcharge verticale latérale à la fondation ; C : cohésion du sol sous la base de la fondation ; B : largeur de la fondation ; D : profondeur d'encastrement de la fondation (profondeur à laquelle se trouve la base de la fondation). $N_\gamma(\emptyset)$, $N_c(\emptyset)$ et $N_q(\emptyset)$ sont des facteurs de portance qui ne dépendent que de l'angle de frottement interne \emptyset du sol sous la base de la fondation.

Pour une semelle filante : Dans le cas d'une semelle filante, il n'y pas d'influence de la forme de la semelle et on montre l'influence de la nappe par la vérification de la condition suivante : $0 < D < 1,5B$. Si $D < 1,5B$, la condition n'est pas vérifiée et il y a une influence de la nappe et la formule de calcul de q_L deviendra :

$$q_L = \left(\gamma' + \frac{D}{1,5B} (\gamma_2 - \gamma') \right) * \left(\frac{B}{2} N_\gamma \right) + N_q (\gamma_1 D_1 + \gamma_2 D_2)$$

et la contrainte admissible deviendra :

$$q_{ad} = (\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2) + (q_L - (\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2)) / F_s$$

Pour une semelle carrée : Où il y a influence de la forme de semelle et on montre l'influence de la nappe par la vérification de la condition suivante : $D < 1,5B$. Si $D < 1,5B$, la condition n'est pas vérifiée et il y a une influence de la nappe et la formule de calcul de q_L deviendra

$$q_i = 0,5BN_{\gamma_2}(\gamma' + \frac{D}{1,5B}(\gamma_2 - \gamma')) * (1 - 0,2 * B/D) + (\gamma_1 * H_1 + \gamma_2 * H_2) * N_{q_2} + (1 + 0,2 B/D)N_{c1}$$

et la contrainte admissible deviendra :

$$q_{ad} = (\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2) + (q_i - (\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2)) / F_s$$

Vérification de l'admissibilité de la semelle

$q_{ext} = Q_{ext}/B * h$ avec Q_{ext} : la charge extérieure apportée par l'ouvrage et h : épaisseur de terrain.

- Si $q_{ext} < q_{ad}$: la semelle peut supporter la charge extérieur, elle est donc admissible.
- Si $q_{ext} < q_{ad}$: la semelle peut supporter la charge extérieur, elle est donc admissible.

3. Calcul de tassement à partir des résultats d'essai œdométrique

Le tassement primaire ou de consolidation est calculé de la manière suivante :

Pour chaque couche homogène :
$$\Delta H_i = H_i \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_z}{\sigma_c}$$
 (Frank, 2004)

Avec : H_i : épaisseur de la couche du sol compressible, Cc : indice de compressibilité, e_0 : indice des vides initial, σ'_c : Contrainte de pré consolidation, $\Delta \sigma_z$: L'accroissement de la contrainte apportée par la fondation au milieu de la couche, σ_{vo} : Contrainte verticale initiale des terres au milieu de la couche,

1. Si $\sigma_{vo} < \sigma'_c$: sol sur consolidé en distingue deux cas (Frank,

2004): $a : \sigma_{vo} + \Delta \sigma_z > \sigma'_c \Rightarrow \Delta H_i = H_i \frac{Cg}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma_{vo}} + H_i \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_z}{\sigma'_c}$

$b : \sigma_{vo} + \Delta \sigma_z < \sigma'_c \Rightarrow \Delta H_i = H_i \frac{Cg}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_z}{\sigma_{vo}}$

2. Si $\sigma_0 = \sigma'_c$: sol normalement consolidé (Frank, 2004). $\Delta H_i = H_i \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{\Delta \sigma_z}{\sigma_{vo}}$

$\sigma_{vo} + \Delta \sigma_z > \sigma'_c$: (Le tassement est dû aux suppléments des contraintes).

3. Si $\sigma_{vo} > \sigma'_c$: sol sous consolidé.

$\sigma_{vo} + \Delta \sigma_z > \sigma'_c \Rightarrow \Delta H_i = H_i \frac{Cg}{1 + e_0} \log \frac{\Delta \sigma_z}{\sigma_{vo}}$

En fin $\Delta H = \sum \Delta H_i$ avec ΔH : le tassement total.

CHAPITRE III :
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

I- ANALYSES

MINERALOGIQUES DES

SOLS DES SITES ETUDIES

I- ANALYSES MINÉRALOGIQUES DES SOLS DES SITES ÉTUDIÉS

I-1- Introduction

Les échantillons sélectionnés à des fins d'analyses minéralogiques par méthode de diffraction aux rayons X pour les sols des trois sites étudiés, sont définis pétrographiquement par des argiles proprement dites, des argiles marneuses et des argiles marno-sableuses. Les diffractogrammes obtenus ont donné pour :

I-2- SITE DE MARECHAU

Les minéraux rencontrés dans les échantillons du sol de ce site sont surtout représentés par la calcite, le quartz, les minéraux argileux, le gypse et d'autres minéraux secondaires comme le cas des minéraux ferri-fères et la dolomite (Fig.48, 49,50 et 51).

La calcite est caractérisée l'ensemble des échantillons analysés par son pic principal de 3.03Å et d'autre plus faible comme 2.29Å ; 2.49Å ; 208Å ; 1.92Å...etc., mais elle est d'une intensité relativement variable suivant le type et la profondeur de sédiments analysés. La Manganocalcite et la dolomite sont signalées par ses pics principaux respectivement de 2.90Å et 2.88Å mais d'intensité plus ou moins faible pour l'ensemble des échantillons. D'autres carbonates comme la sidérite sont manifesté sous forme de trace.

Le quartz est manifesté aussi dans l'ensemble des échantillons par son pic caractéristique de 3.34Å. Dans la plupart des échantillons (Nord au Sud) ce pic principal parait le plus intensif et l'emporte même sur le pic principal de la calcite (3.03 Å). Aussi, il est cristallisé dans les pics de 4.24Å ; 2.45Å ; 2.28Å ; 2.12Å ; et 1.81Å et ainsi d'autres effets caractéristiques d'intensités plus faibles. Ce minéral est accompagné par d'autres formes ; l' α -cristobalite (4.04Å) et l' α -tridymite (4.3Å).

Les minéraux phylliteux sont surtout caractérisés par la montmorillonite (15Å) et les chlorites (7.16Å), qui caractérisent l'ensemble des échantillons analysés. Les montmorillonites sont surtout calcitiques et les chlorites sont parfois ferri-fères (chamosite de 3.52Å).

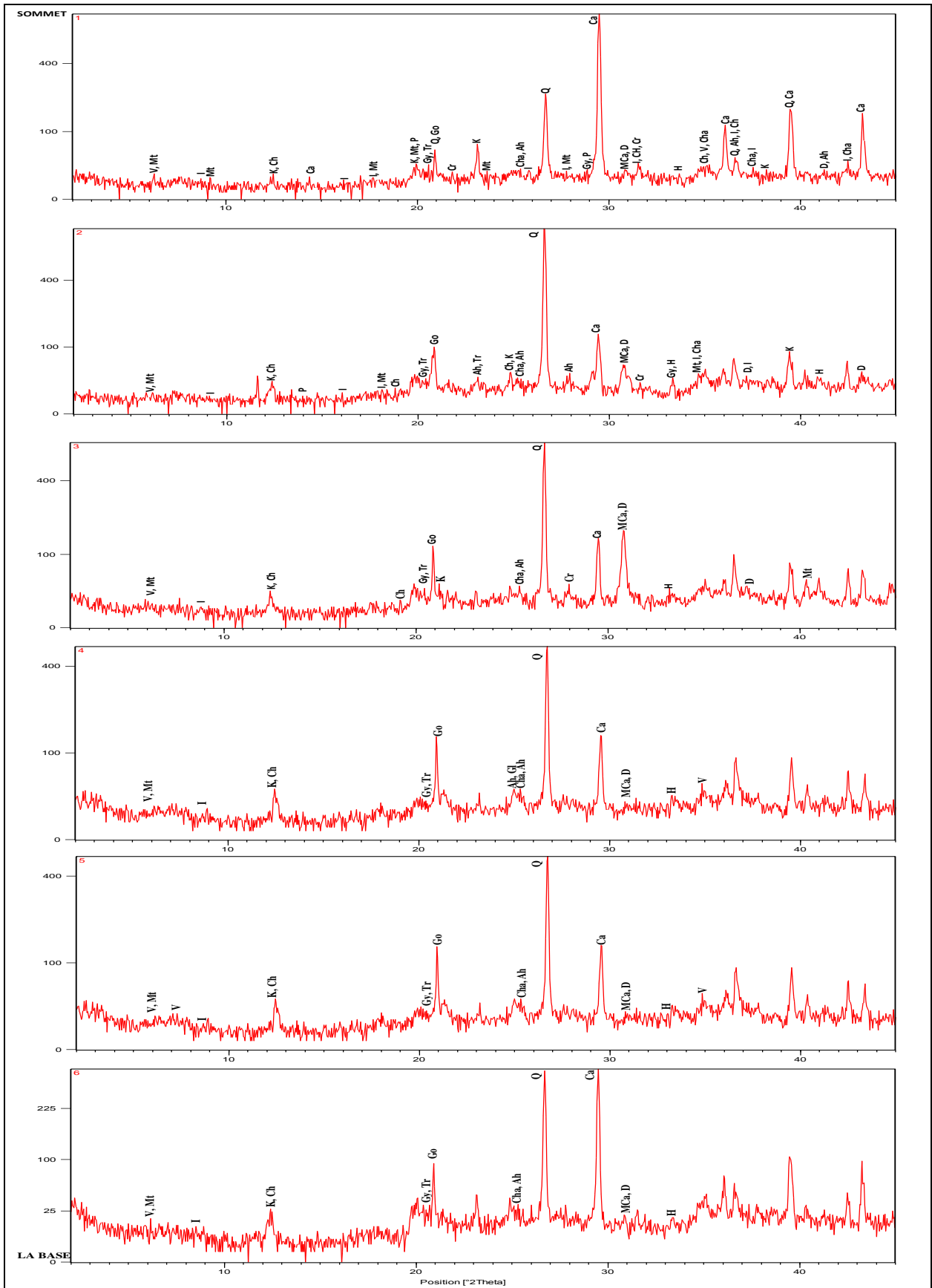
La kaolinite (parfois en forme hydratée) est aussi présente par ses pics caractéristiques de 7.14Å ; 4.43Å ; 3.56Å et 2.58Å, ainsi que d'autres pics moins intensifs. On note aussi la présence des interstratifiés représentés surtout par l'illite-montmorillonite et la chlorite-montmorillonite.

On signale la présence en trace ou de faible intensité de la vermiculite par son pic caractéristique de 14.15Å, de la palygorskite (10.44), le gypse (4.3Å) et l'anhydrite (3.498Å) dans les échantillons de marnes, par leurs pics caractéristiques respectifs de 4.3Å et 3.49Å, l'illite en pics de faible intensité de 9.9Å, 4.98Å, 4.47Å et 2.56Å et les Oxydes et Hydroxydes de Fer ; l'hématite (2.69Å) et la goethite (4.3Å).

Donc, d'après les résultats précédents, les échantillons des sols analysés ont montré l'existence des carbonates et de quartz dans tous les échantillons analysés distingués par ses pics les plus intenses. Les carbonates sont d'une intensité forte et variable pour la calcite, plus ou moins faible pour la dolomite et la manganocalcite et sous forme de traces pour la sidérite. L'origine probable de la manganocalcite est sédimentaire et témoignant des milieux plus confinés et riches en manganèse. Le quartz est d'une intensité forte et parfois accompagné par ses formes amorphes néoformées par dégradation des smectites (Khellaf, 2009) et présente un pourcentage qui peut aller jusqu'à 49 % selon Chettah, 2009. La montmorillonite est manifestée de faible intensité comme pour le chlorite, la vermiculite, la saponite, la smectite et l'illite. La montmorillonite, dans la région de Mila est de type 2/1 (Amireche, 2001), est très sensible au phénomène de retrait-gonflement, ce qui peut se manifester par les tassements des fondations (Athmania, 2010) et appelle à une grande prudence lors de l'exécution des projets (Chettah, 2009), la chlorite se présente en trace dans les échantillons examinés et elle est le résultat de l'altération de la biotite en particulier et les argiles présentant un pourcentage de chlorite plus de 15% peuvent donc être gonflantes (Chettah, 2009), la saponite et la vermiculites se manifestent en traces et sont susceptibles de fixer l'eau et sont capables de la perdre donnant des variations de volume (Lebourg, 2000) et sont d'origine néoformée de milieu probablement confiné. La kaolinite est en trace et elle est d'origine probable détritique ou parfois de néoformation pour les sédiments anciens (Khellaf, 2009) et dans la région de Mila, est un minéral typique des terrains émergés et altérés et sa présence dans ces milieux, prouve la tendance à l'immersion temporelle de celle-ci (Amireche, 2001). Le gypse et l'anhydrite se manifestent en traces dans tous les échantillons est dû à leur présence plus intensive dans les minces intercalations qui sont d'origine probable du lessivage et des dépôts au sein des marnes.

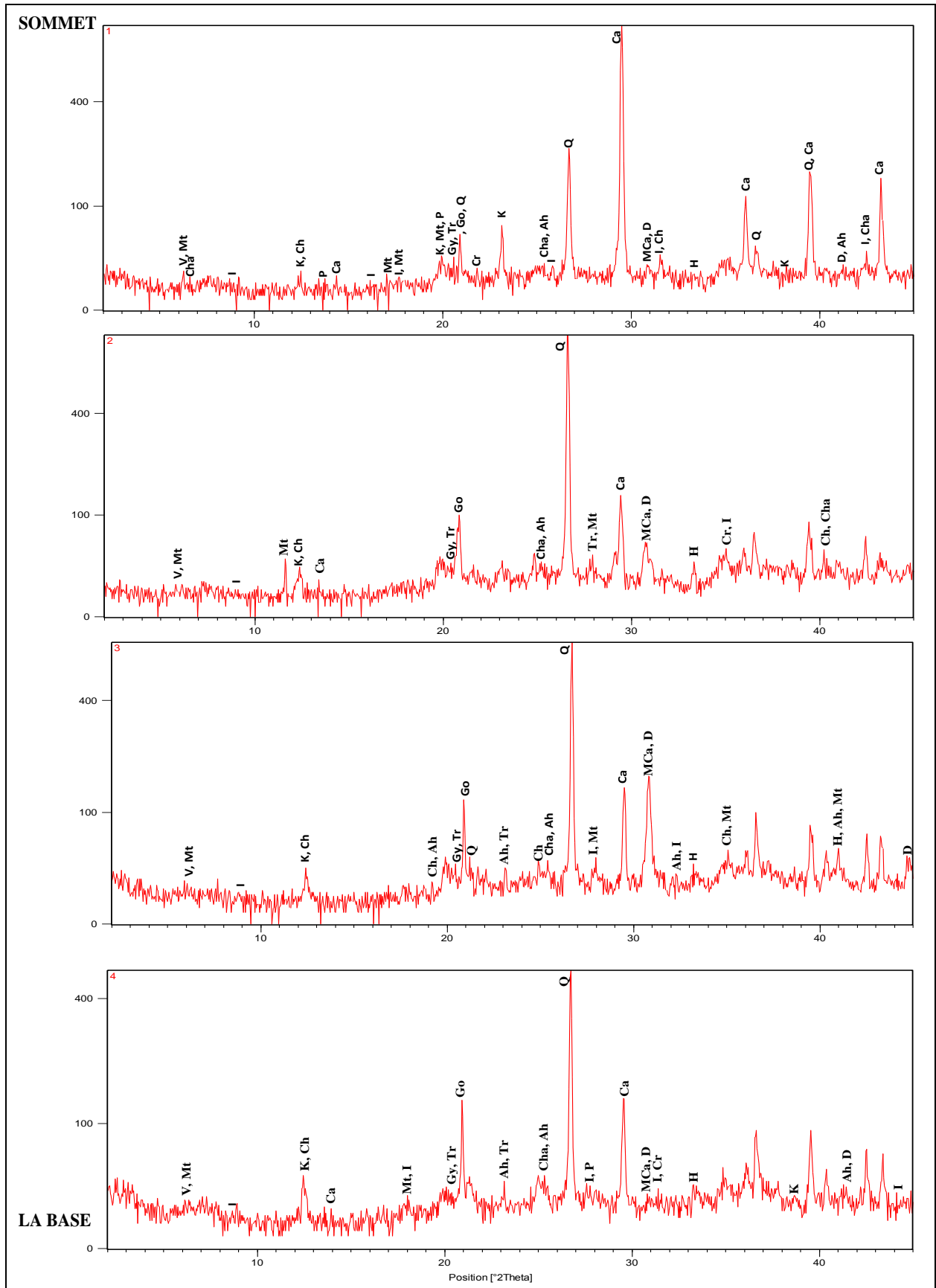
I-2-1- Synthèse

Le sol du site de Marechau est caractérisé par l'abondance du quartz et la calcite, mais les minéraux qui ont une variation de volume en présence de l'eau (vermiculite, saponite, chlorite, montmorillonite, les minéraux interstratifiés...etc.) se manifestent aussi. Ces minéraux malgré leurs faibles intensités sont contribués à la génération du phénomène des tassements.



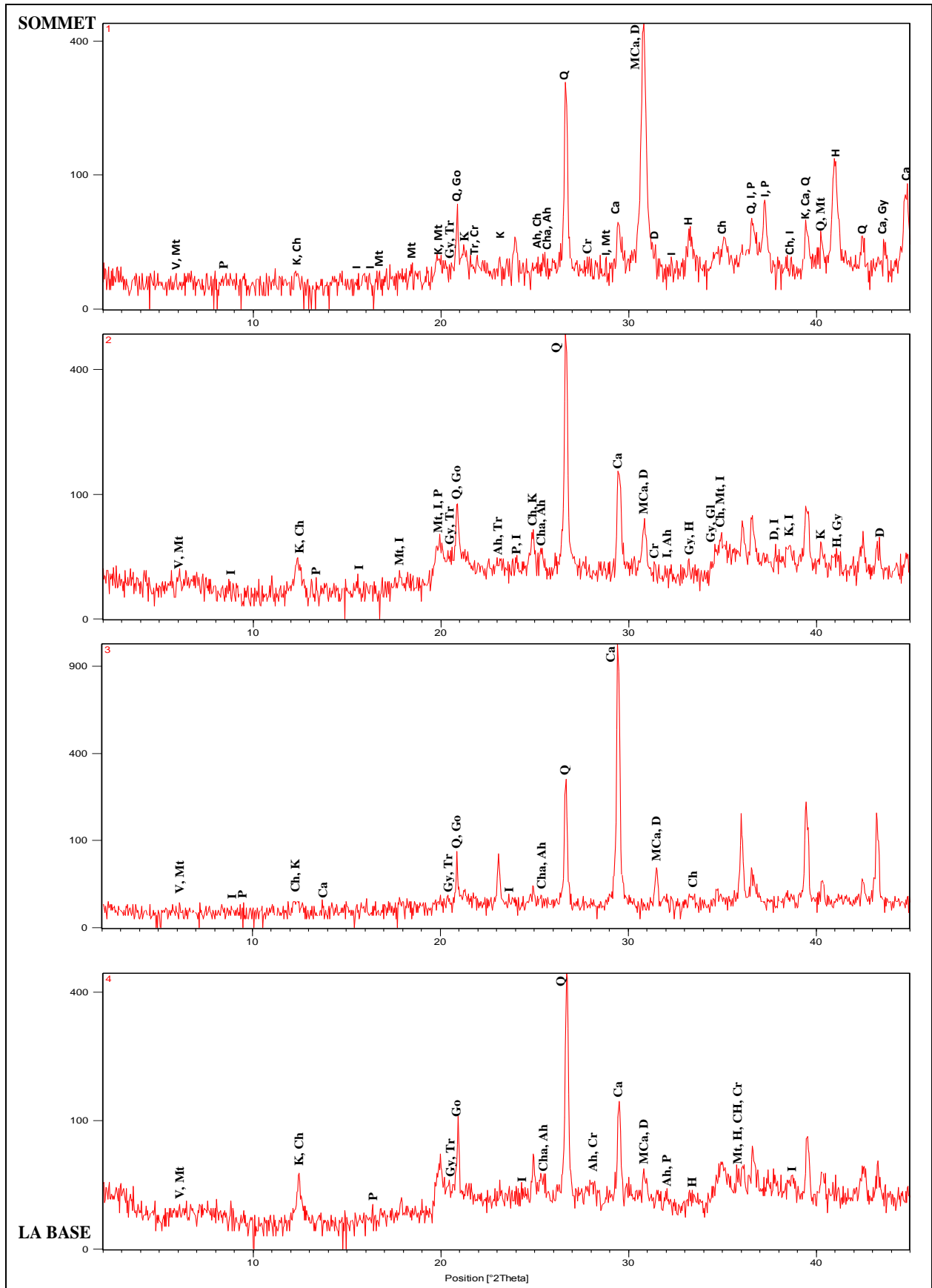
Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.48 : Diffractogrammes des échantillons du profil 1 (POS AU9- Marechau).



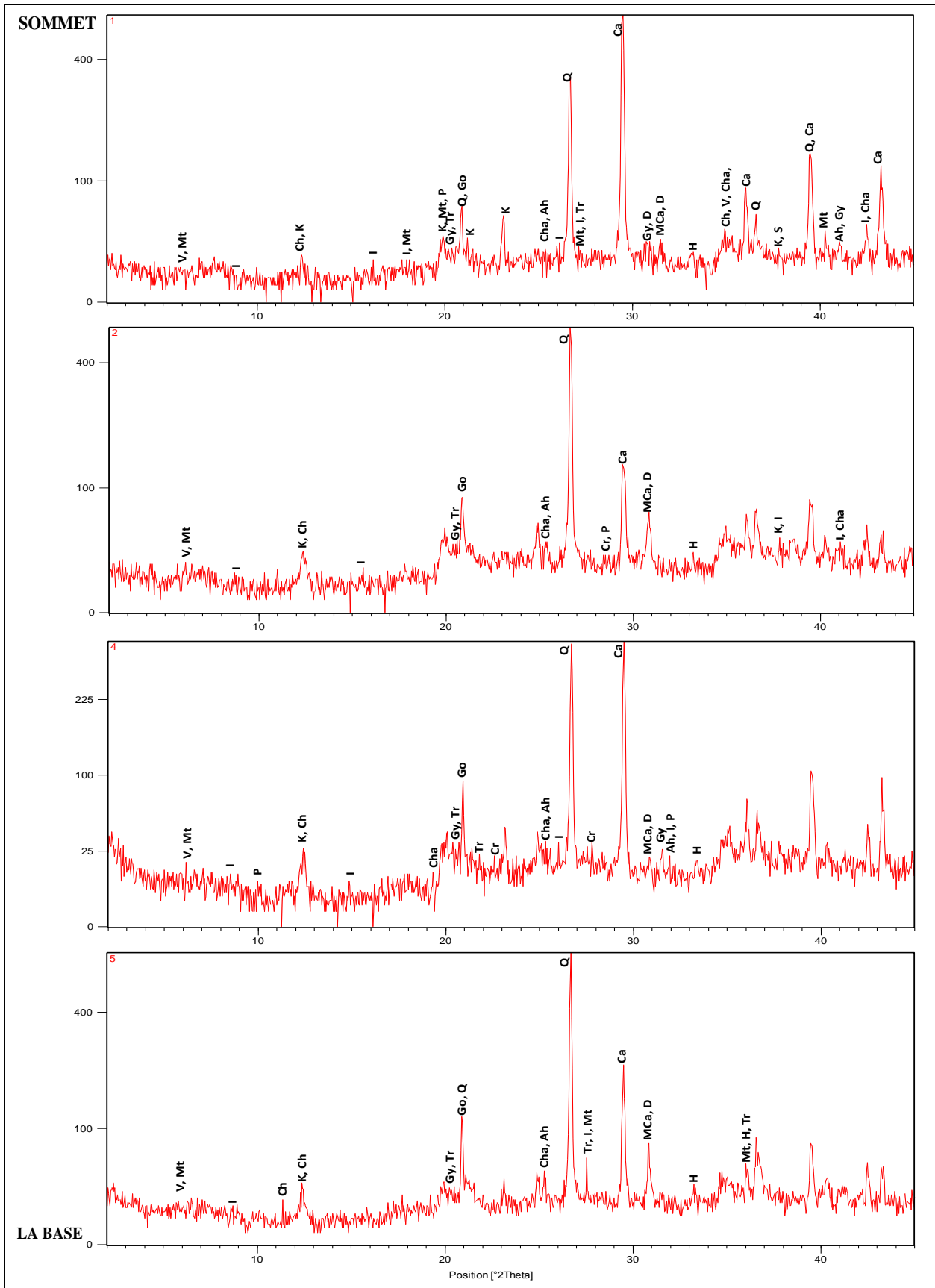
Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.49 : Diffractogrammes des échantillons du profil 2 (POS AU9- Marechau).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.50 : Diffractogrammes des échantillons du profil 3 (POS AU15- Marechau).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr: cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.51 : Diffractogrammes des échantillons du profil 4 (POS AU15- Marechau).

I-3- SITE D'EL KHERBA

La variation sédimentaire avec ses résultats d'analyse minéralogique ont montré la présence des minéraux carbonatés (surtout la calcite et la dolomite) ; des minéraux siliceux (quartz), des minéraux phylliteux et aussi d'autres minéraux non argileux comme les oxydes et les hydroxydes de Fer, la pyrite et le gypse (Fig. 52, 53, 54 et 55).

La calcite est signalée dans l'ensemble des échantillons et elle est bien manifestée toujours par son pic caractéristique de 3.03Å, d'intensité variable et d'autres pics d'intensité plus ou moins faible de 2.48Å ; 2.9Å ; 1.9Å ; 1.87Å et 1.6Å. *La dolomite* et *la monganocalcite* sont manifestées en leurs effets caractéristiques respectivement de 2.88Å et 2.90Å, d'une intensité aussi variable, moyenne et parfois faible à en trace et ainsi d'autres diffractions plus faibles.

Le quartz est comme toujours signalé dans tous les échantillons avec ses traits caractéristiques de 3.34Å ; 2.28Å ; 1.81Å et 1.54Å. La forme siliceuse, de *crystalite* et *tridymite*, obtenue en particulier par dégradation des smectites est même manifestée dans les échantillons à taux d'argiles élevés.

La kaolinite est faiblement cristallisée et son pic caractéristique de 7.17 Å paraît manifester dans tous les échantillons. Elle est accompagnée de ses formes hydratées de l'halloysite en pics de 7.2 et 7.4Å.

Les minéraux argileux sont très abondants dans les sédiments analysés mais ils ont en général une intensité faible. *La montmorillonite* est essentiellement manifestée au niveau des sédiments plus argileux et elle est caractérisée par ses pics essentiels allant de 15Å à 9.4Å et d'autres plus faibles qui caractérisent ici les argiles et les argiles marneuses. *La chlorite* et *la chamosite* sont signalées par ses pics essentiels de 14.15Å et 3.52Å ou 7.05Å. Les minéraux interstratifiés comme illite-montmorillonite et chlorite-montmorillonite qui accompagnent généralement la montmorillonite et la kaolinite dans la plupart des sédiments à taux élevés en argiles. *La vermiculite* est manifestée dans tous les échantillons examinés de son pic de 4.58 Å d'intensité parfois en trace.

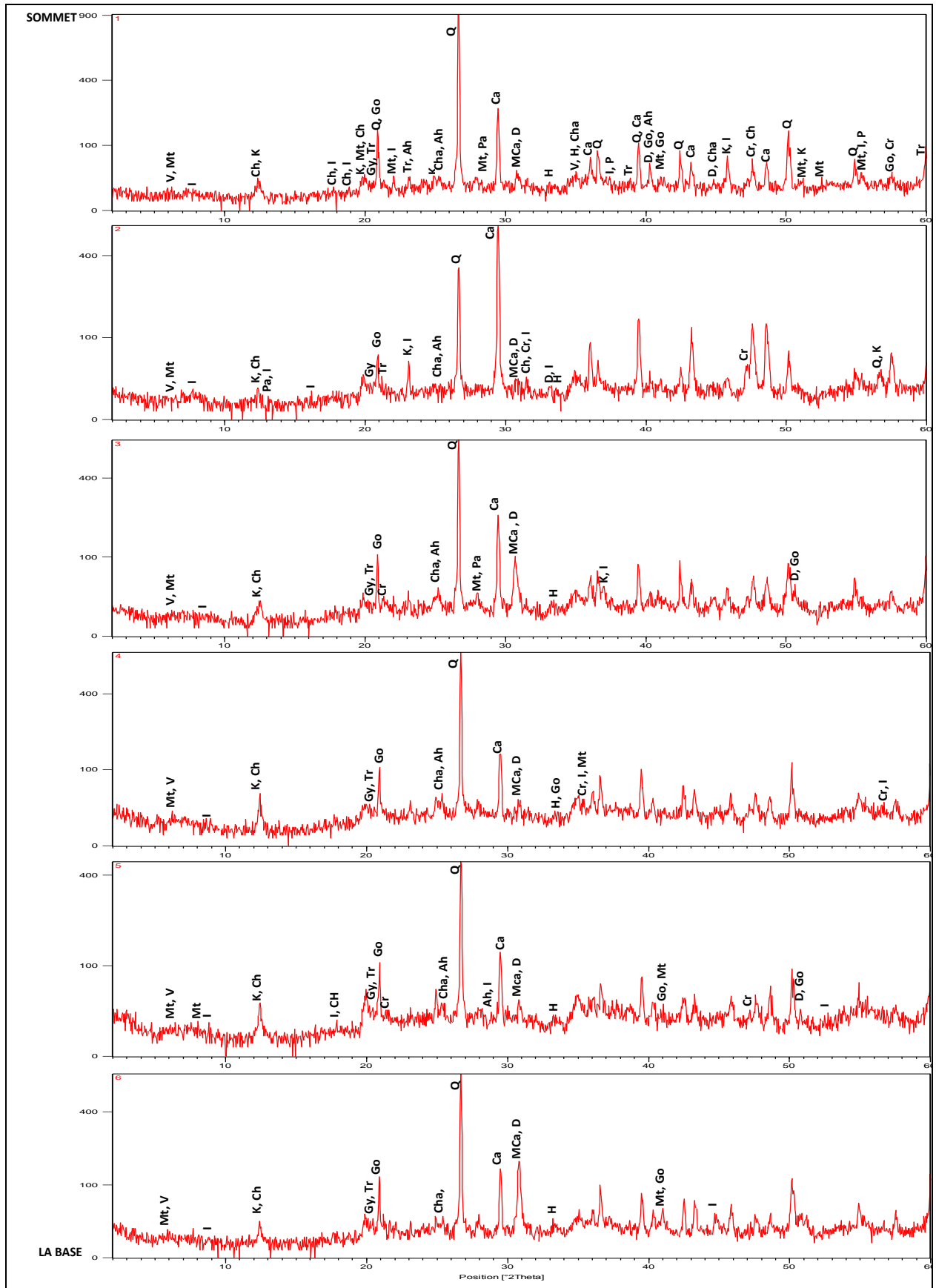
L'illite (8.8Å) est aussi manifestée dans tous les échantillons analysés, mais d'une intensité faible ou parfois en traces. On signale aussi la présence des oxydes et des hydroxydes de Fer (la goethite (4.3 Å) et l'hématite (4.21 Å) dans certains échantillons, ainsi qu'en petits pics ou sous forme de traces. *Le gypse* et *l'anhydrite* ne sont pas manifestés qu'en trace dans l'ensemble des échantillons analysés.

Cette composition minéralogique paraît largement semblable à celle des sols du site de Marechau. Où on marque de mêmes caractéristiques des minéraux rencontrés.

Donc, d'après ce qui précède ; on marque que les quatre profils du site d'el Kherba ont donné en général pour les différentes profondeurs un sol constitué de carbonates de calcium qui sont bien cristallisés; comme la calcite qui existe dans tous les échantillons analysés et d'une intensité relativement variable, la dolomite et la manganocalcite qui sont manifestés en faible intensité et parfois en traces, ceux qui témoignent que le sol est de nature argileuse plus ou moins riche en manganèse. Le quartz aussi se manifeste dans tous les échantillons analysés de taux élevé, selon Chettah, 2009 ce pourcentage peut aller jusqu'à 49 %. Ce quartz est accompagné par ses formes amorphes (cristobalite et tridymite) qui sont obtenus en particulier par dégradation des smectites est même manifestés dans les échantillons à taux élevé d'argiles. La Kaolinite est manifestée dans tous les échantillons d'un taux de 56 à 77 % selon Hazmoune, 2008. Elle est d'origine probable détritique ou par fois de néoformation pour les sédiments anciens (Khellaf, 2009). Dans la région de Mila ce minéral, selon Amireche, 2001, est typique des terrains émergés et altérés et sa présence prouve la tendance à l'immersion temporelle de cette région. L'illite est d'origine détritique et signalée en petits pics ou en traces (Khellaf, 2009) et elle représente dans ces sols selon Hazmoune, 2008, un taux de 10 à 30%. Les minéraux argileux malgré son abondance dans les sédiments analysés, ils ne sont pas bien cristallisés tel que la montmorillonite et la smectite qui présentent un taux de 12.5 % dans le sol analysé (Hazmoune, 2008) et ce type d'argile appelle à une grande prudence lors de l'exécution des projets (Chettah, 2009) car elles sont très sensibles au phénomène de retrait-gonflement et génère par conséquence les tassements des fondations (Athmania, 2010). La Chlorite est le résultat de l'altération de la biotite en particulier et les argiles présentant un pourcentage de 5 à 15% de ce minéral peuvent donc être gonflantes (Chettah, 2009 et Hazmoune, 2008). La saponite et la vermiculite sont susceptibles de fixer l'eau aussi sont capables de la perdre et donnant par la suite des variations de volume des sols (Lebourg, 2000). Ces deux minéraux représentent un taux de 5 % dans les sols analysés (Hazmoune, 2008)

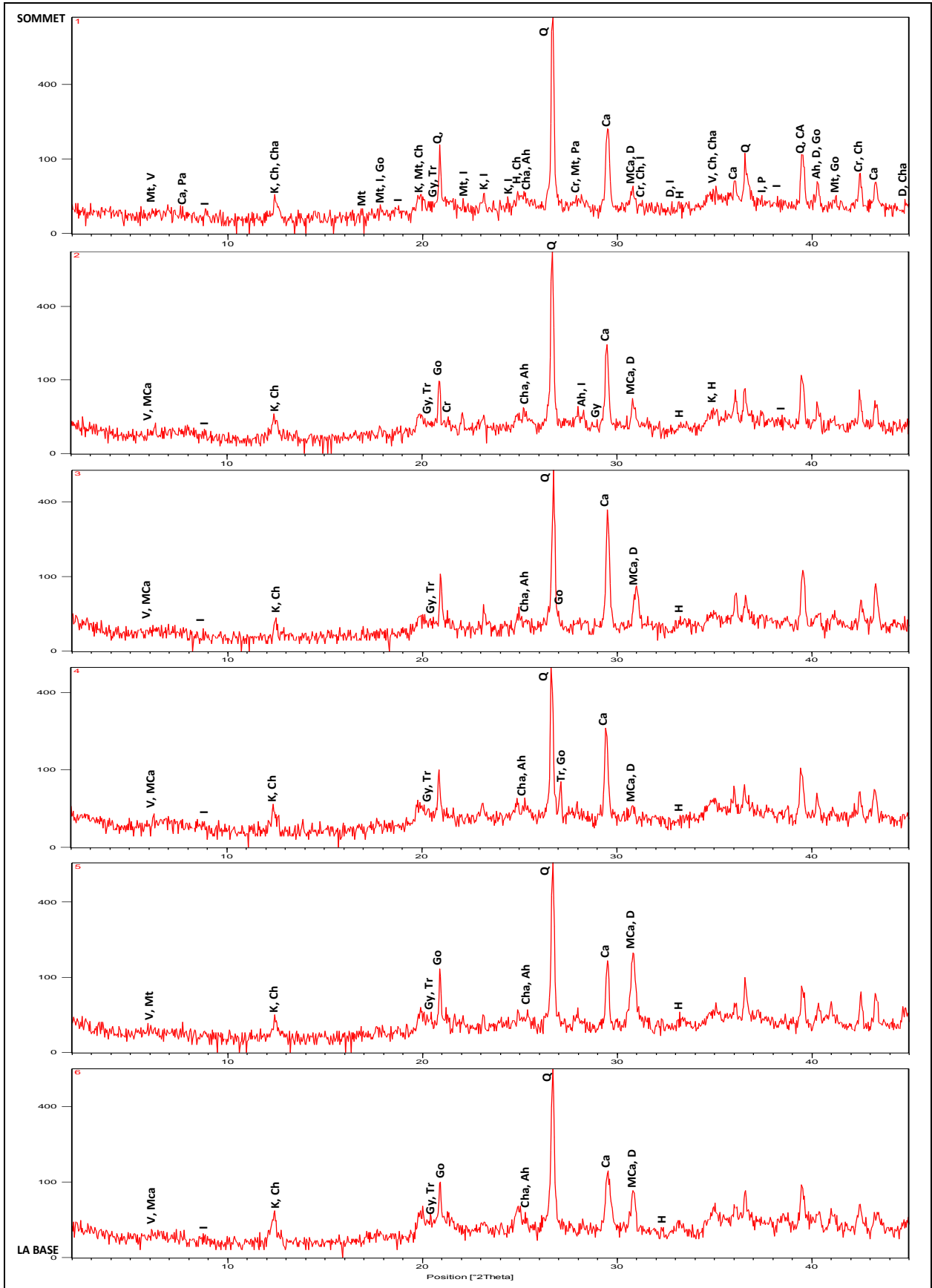
I-3- Synthèse

Cette analyse a montré clairement que le sol du site d'el Kherba est de nature argileuse avec la forte présence de la vermiculite, la saponite, la chlorite, la montmorillonite, les minéraux interstratifiés...etc. Ces minéraux malgré leur faible intensité ils jouent un rôle très important pour générer et accélérer le phénomène de retrait (les tassements) par son caractère de variation de volume en présence de l'eau. Donc, il y a une nécessité de traiter ces sols avant de les servir comme assises des fondations.



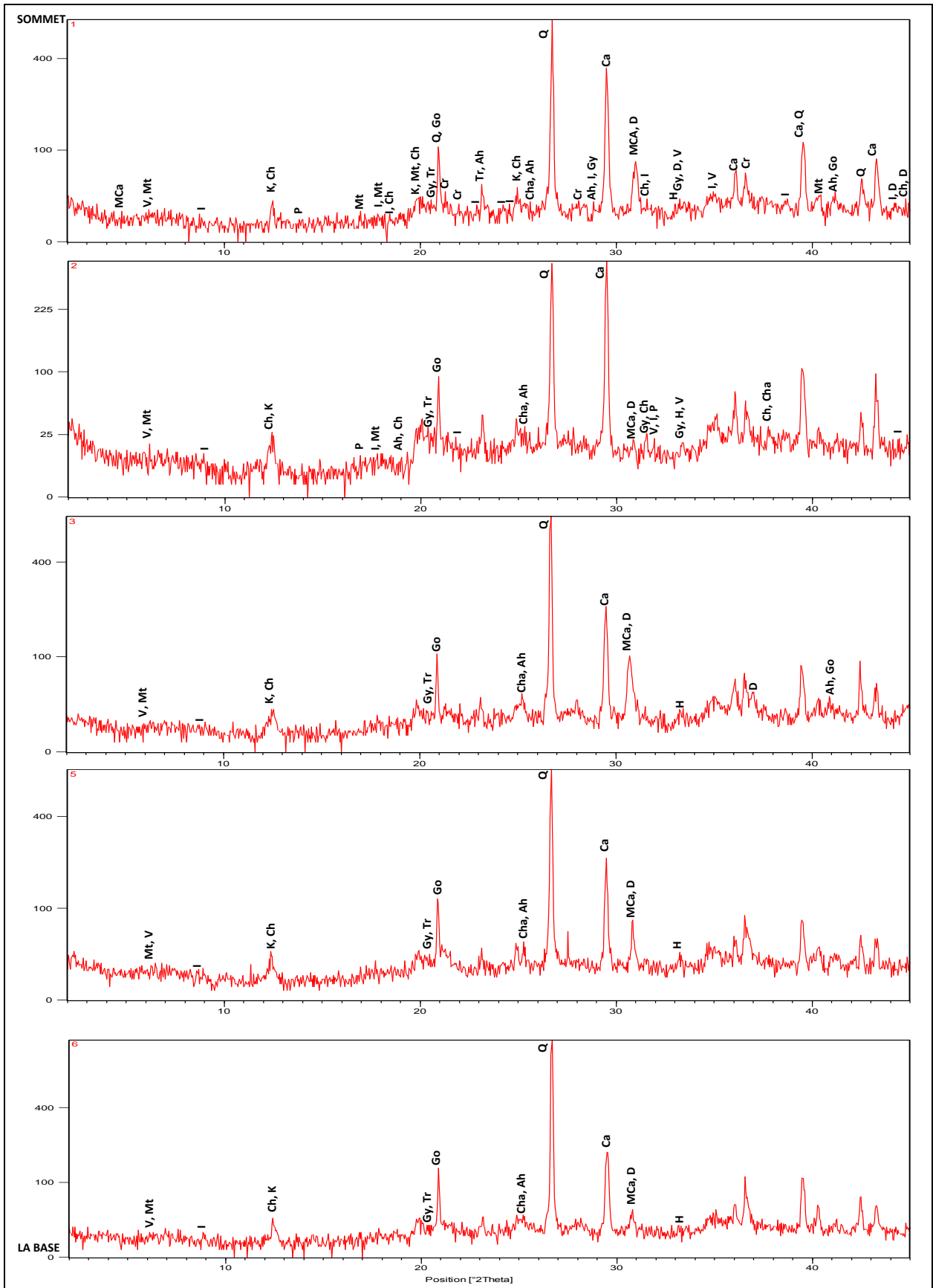
Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.52 : Diffractogrammes des échantillons du profil 1 (POS AU8-El Kherba-).



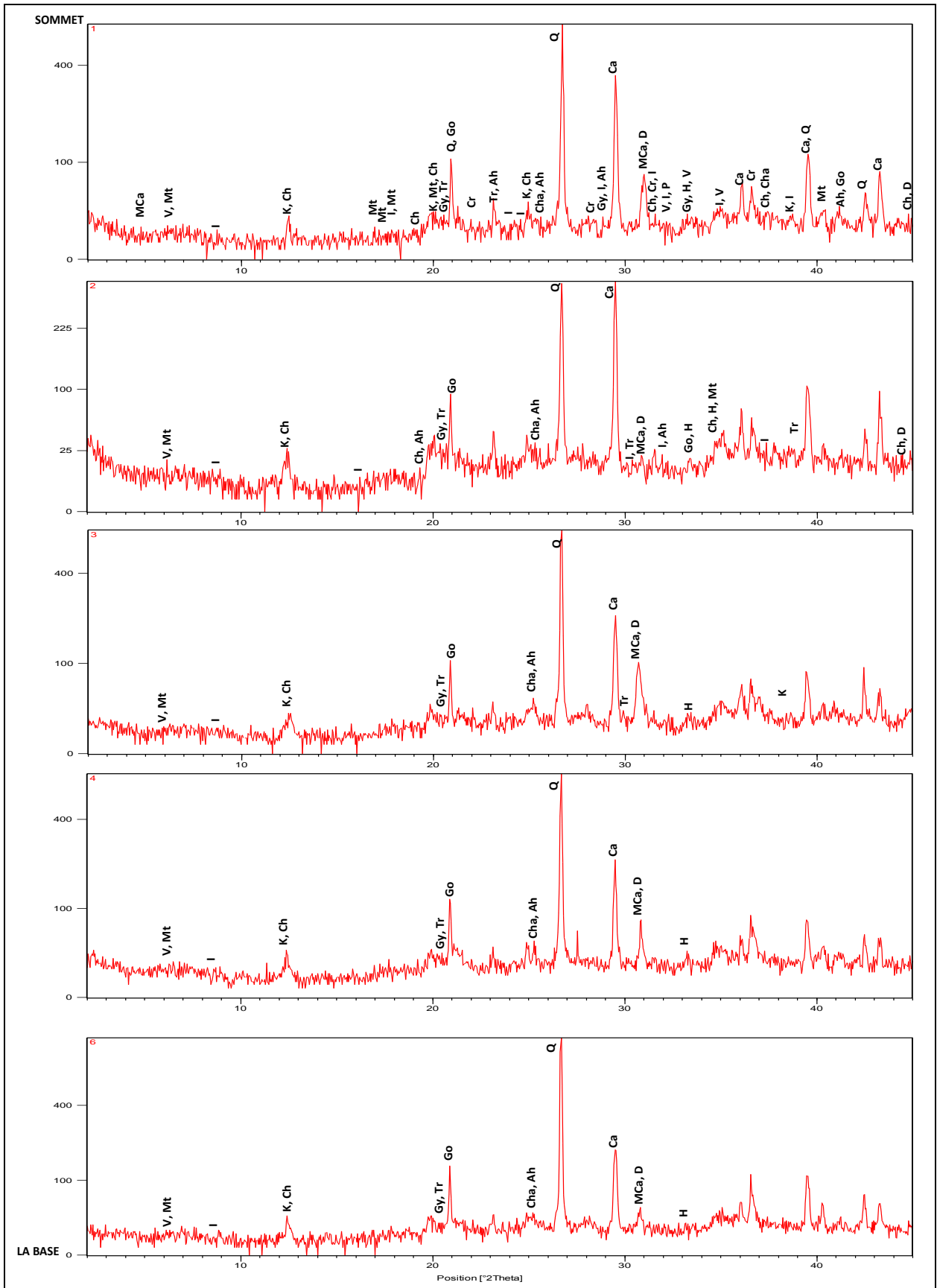
Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.53 : Diffractogrammes des échantillons du profil 2 (POS AU8-EI Kherba-).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr: cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.54 : Diffractogrammes des échantillons du profil 3 (POS AU1-EI Kherba-).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.55 : Diffractogrammes des échantillons du profil 4 (POS AU1-El Kherba-).

I-4- SITE DE L'UNIVERSITE

L'analyse minéralogique (DRX) des sols du site de l'Université a révélé la présence essentiellement des minéraux phylliteux, la calcite, le quartz et des minéraux secondaires à savoir la dolomite, le gypse, les oxydes et les oxydes de Fer et parfois la pyrite, la palygorskite et des formes moins cristallisées de quartz (α -cristobalite et α -tridymite) (Fig.56, 57 et 58).

Le quartz est toujours bien cristallisé mais à taux relativement variables d'un échantillon à l'autre avec ses pics référentiels de 3.34Å, 4.25Å et d'autres pics de moindre intensité. Ce minéral est accompagné toujours par d'autres formations siliceuses moins cristallisées résultant de la dégradation de la smectite (α -cristobalite (4.04Å) et α -tridymite (4.30Å).

La calcite est toujours aussi manifestée dans tous les échantillons avec son pic principal de 3.03Å ainsi que d'autres de moindre importance. Elle est bien cristallisée, même dans les échantillons à taux élevé en argiles et on note que dans certains d'autres échantillons les pics secondaires sont plus intensifiés. La dolomite et la manganocalcite accompagnent parfois la calcite (2.88Å et 2.90Å) et sont cristallisées d'une intensité variable, moyenne à faible et parfois en trace.

Le minéral de gypse n'est signalé ici qu'en traces ou parfois sous forme de petits pics. On signale aussi la présence en traces de pyrite et des oxydes et des hydroxydes de Fer comme l'hématite et goethite et aussi la présence des interstratifiés dans l'ensemble des échantillons : illite-montmorillonite, chlorite-montmorillonite et chlorite-vermiculite.

Les minéraux phylliteux sont ainsi manifestés mais d'une intensité relativement variable d'un échantillon à l'autre. La montmorillonite avec ses pics caractéristiques compris entre 21.7Å et 9.7Å, ainsi d'autres plus faibles sont manifestés dans la plupart des échantillons. La kaolinite « 7.17Å » est moins cristallisée que la montmorillonite et parfois elle est accompagnée par la halloysite et l'hydrohalloysite (7.2 à 7.4Å). Les chlorites accompagnent la montmorillonite et la kaolinite dans la plupart des diffractogrammes (14.16 à 2.8Å). La palygorskite (minéral fibreux) est manifestée en certains échantillons (3.23Å), c'est un minéral de néoformation. La vermiculite est aussi signalée à côté des montmorillonites (4.58Å) et l'illite est plus ou moins cristallisée en petits pics de 8.8Å et 19.8Å.

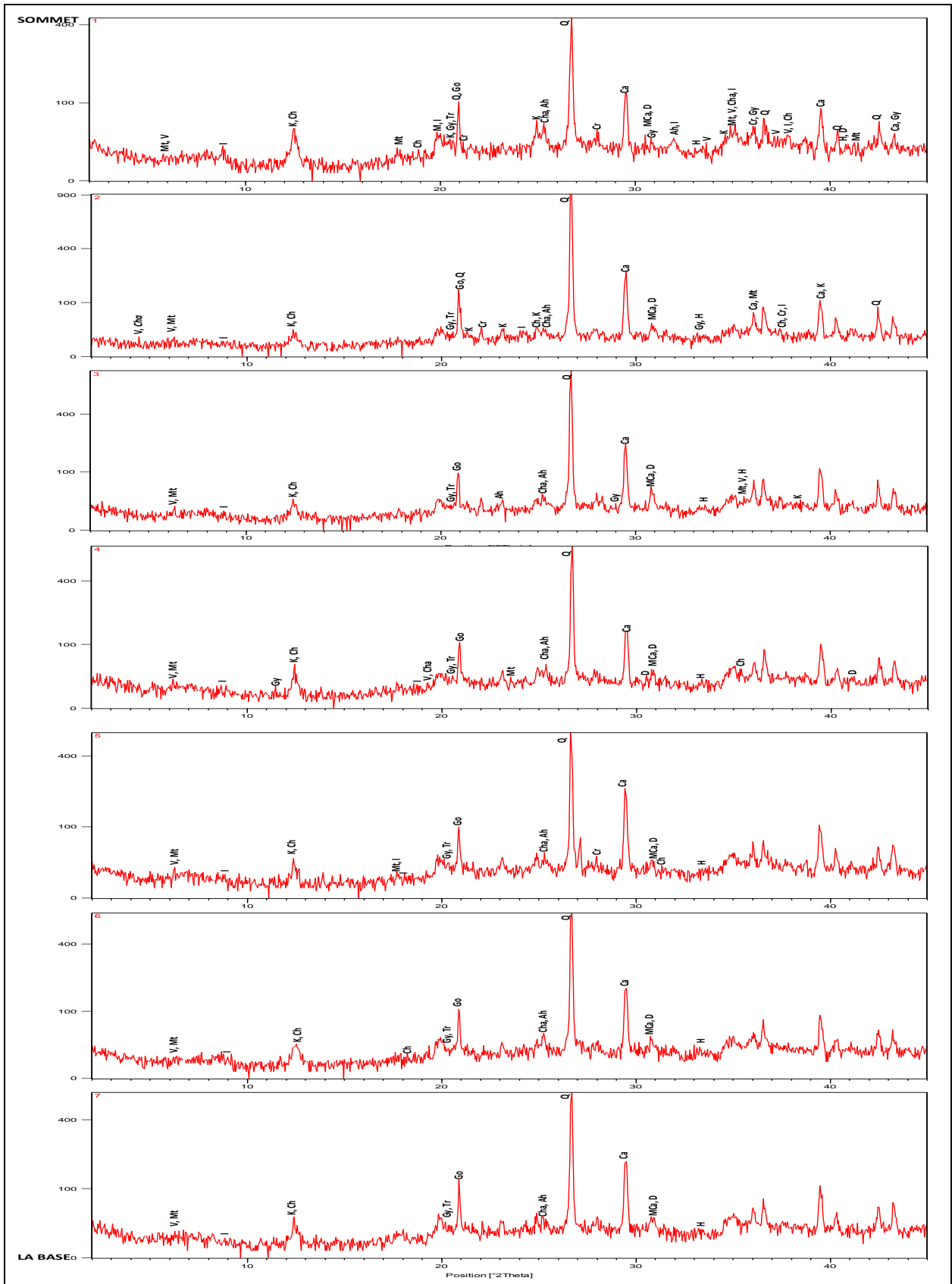
Donc, l'analyse minéralogique des sols du site de l'Université par la diffraction au rayons X a montré la bonne cristallisation des minéraux non argileux dans tous les échantillons surtout les carbonates et la silice. Pour la calcite, elle existe d'une intensité variable et suivant le type et la profondeur de sédiments analysés et la dolomite, la manganocalcite et parfois la sidérite sont

manifestées sous forme de traces ou parfois plus notables comme le cas de la dolomite (Khellaf, 2009). Cette faible présence affirme que les sols de ce site sont à dominance argileuse et sont plus ou moins riches en manganèse qui indique un milieu confiné. Pour le quartz, il est aussi manifesté en forte intensité dans tous les échantillons analysés, de diamètre de 50 μ m mais par endroits peut atteindre 250 μ m (Athmania, 2010) et présente un pourcentage peut aller jusqu'à 49% (Chettah, 2009). Ce minéral est parfois accompagné par ses formes amorphes néoformées d' α -cristobalite et α -tridymite résultant de la l'altération et la dégradation de smectites (Khellaf, 2009). Cette contribution indique que le sol étudié est une argile sableuse. Pour la kaolinite, minéral stable, de diamètre de 2 à 5 μ m et de taux de 32 à 56% (Athmania, 2010), est cristallisée mais en faible intensité et d'origine probable détritique ou par fois de néoformation pour les sédiments anciens (Khellaf, 2009) et selon Amireche, 2001, dans la région de Mila, ce minéral est typique des terrains émergés et altérés et sa présence dans ces milieux, prouve la tendance à l'immersion temporelle de cette région. Pour l'illite, est manifestée aussi en faibles diffractions ou sous forme de traces, elle est d'origine détritique. Pour le gypse, l'anhydrite, l'hématite et la goethite (des oxydes et des hydroxydes de Fer) ne sont signalés ici qu'en traces ou parfois sous forme de petits pics.

Pour les minéraux argileux, on marque qu'ils sont cristallisés mais en faible intensité et sont représentés par la montmorillonite, minéral gonflant en présence d'eau et de type 2/1 (Amireche, 2001). Ce type d'argile appelle à une grande prudence lors de l'exécution des projets (Chettah, 2009). La smectite, représente 5% de la composition de la fraction argileuse, est très sensible à l'eau, peut générer des tassements des fondations (Athmania, 2010). La chlorite est le résultat de l'altération de la biotite en particulier et les argiles présentant un pourcentage de plus de 15% peuvent donc, être gonflantes (Chettah, 2009). La saponite et la vermiculite représentent 20 à 31% de la fraction argileuse (Athmania, 2010) sont susceptibles de fixer et perdre l'eau et générant par la suite des variations de volume des sols (Lebourg, 2000). Les interstratifiés (illite-montmorillonite, chlorite-montmorillonite et chlorite-vermiculite) ne sont signalés ici qu'en traces ou parfois sous forme de petits pics.

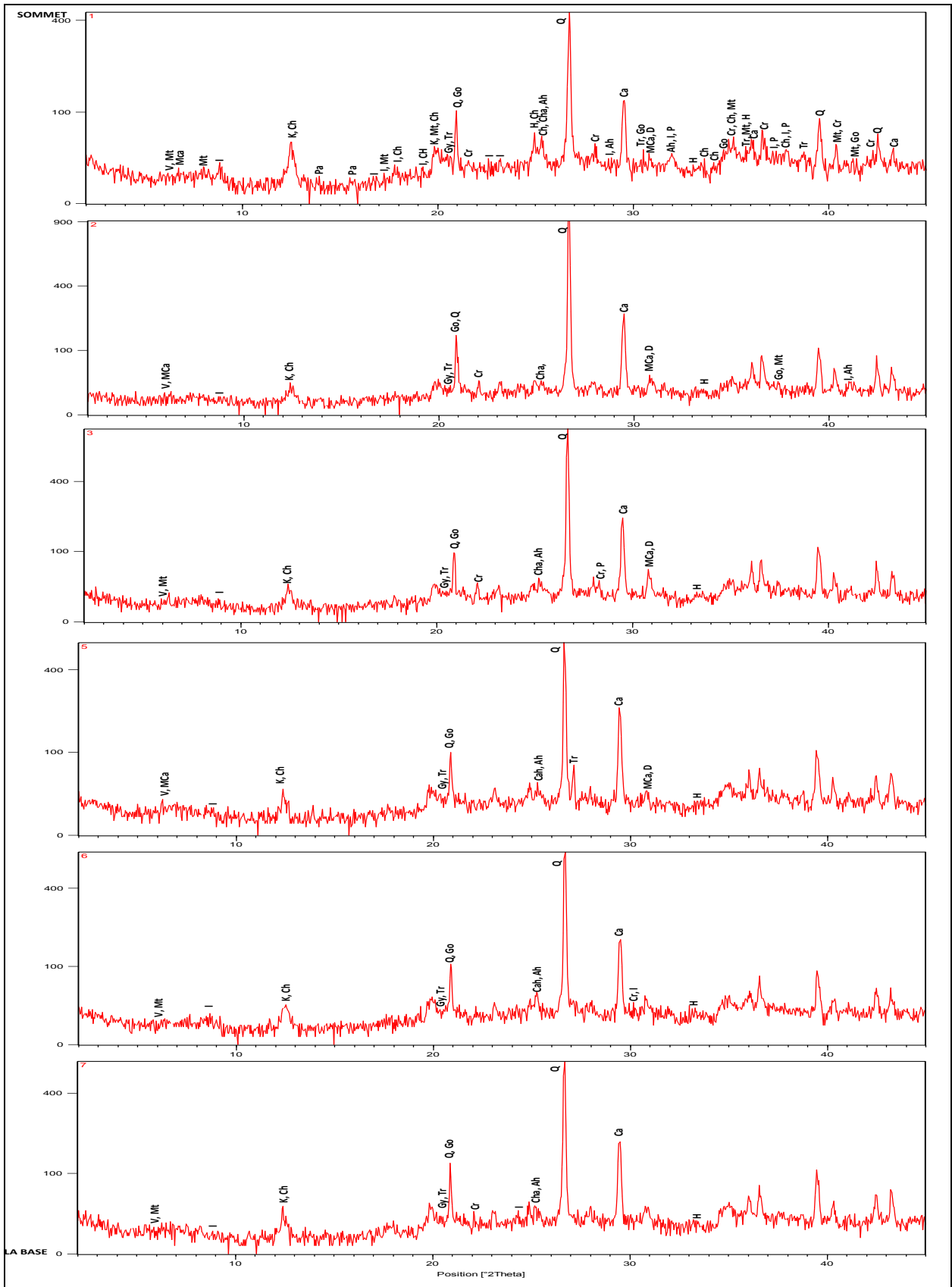
I-4-1- Synthèse

Le sol de l'assise de l'Université a révélé l'abondance des minéraux essentiels représentés par la silice, les carbonates, les minéraux argileux et les interstratifiés. Les minéraux argileux ont une variation de volume en présence de l'eau et malgré sa présence en faible intensité; ils jouent un rôle très important pour générer et accélérer le phénomène de tassements en réponse aux conditions climatiques, les fluctuations de la nappe...etc. Donc, le traitement de ces sols avant de les servir comme assises des fondations est nécessaire.



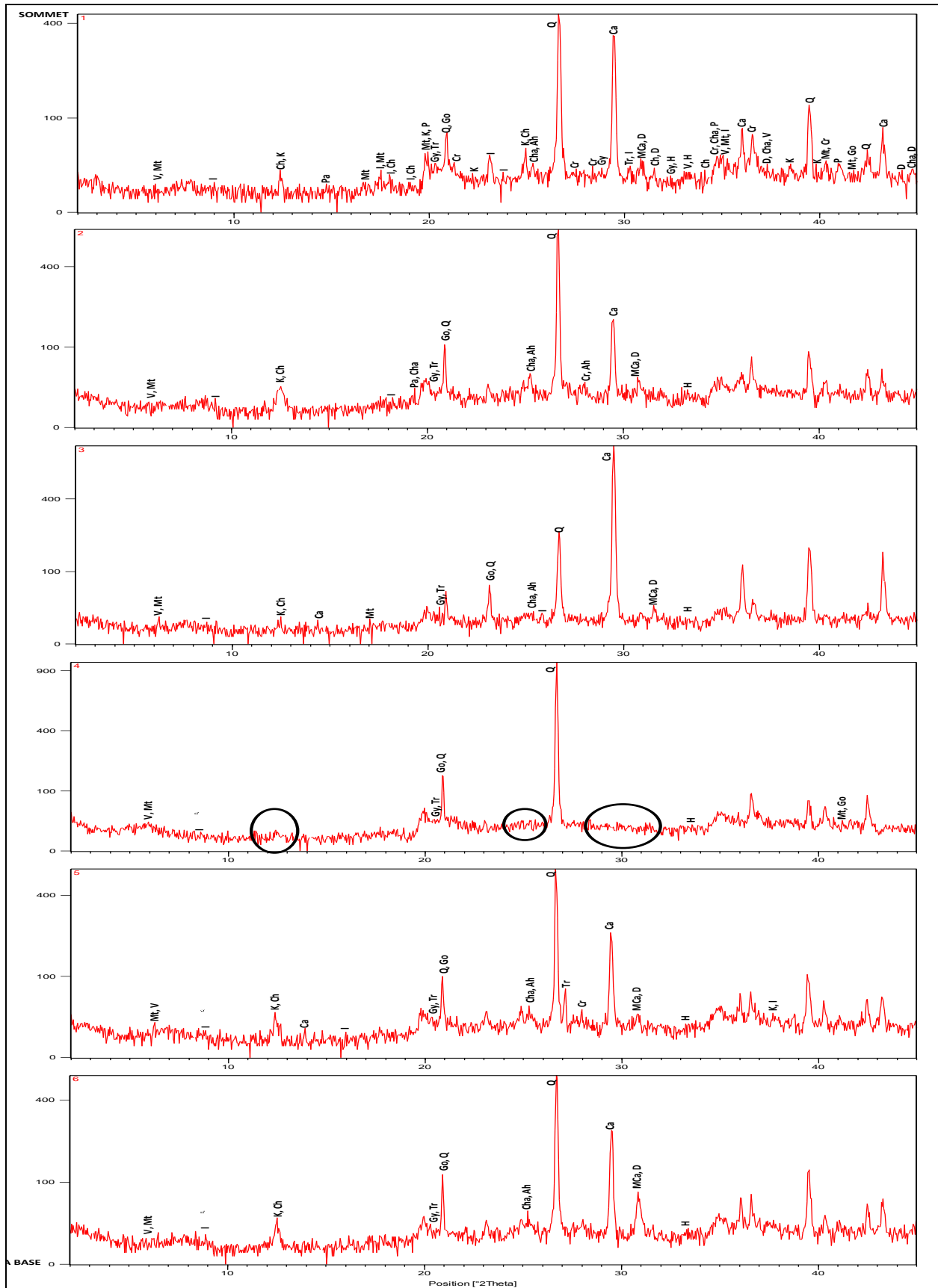
Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : manganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.56 : Diffractogrammes des échantillons du profil 1 (site des 4000 places pédagogiques - Université-).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr: cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), Mca : monganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.57 : Diffractogrammes des échantillons du profil 2 (site des 1000 lits -Université-).



Légende : Ah : anhydrite (3.49Å), Cha : Chamosite (7.05 et 3.52Å), Ca : calcite (3.03Å), Ch : chlorite (7.16Å), Cr : cristobalite (4.04Å), D : dolomite (2.88Å), Go : goethite (4.21Å), Gy : gypse (4.30Å), H : hématite (2.69Å), I : illite (9.99Å), K : kaolinite (7.17Å), MCa : manganocalcite (2.90Å), Mt : montmorillonite (15Å), Pa : palygorskite (10.44Å), P : pyrite (Å), Q : quartz (3.33Å), Tr : tridymite (4.30Å), V : vermiculite (14.15Å).

Fig.58 : Diffractogrammes des échantillons du profil 3 (site des 1000 lits -Université-).

I-5- Conclusion

La diffraction aux rayons X des sols de trois sites concernés par cette étude, site de Marechau, site d'el Kherba et site de l'Université, qui ont fait partie du soubassement de Mila (Commune de Mila), a révélé que ces sols ont présentés dans l'ensemble des mêmes caractéristiques minéralogiques. Les minéraux essentiels caractérisant les diffractogrammes ci-dessus sont représentés par la silice, les carbonates, les sulfates et les oxydes et les oxydes de Fer. Les minéraux phylliteux comme la vermiculite, la saponite, la chlorite, la montmorillonite, les minéraux interstratifiés...etc. qui ont une variation de volume très importante et ont une tendance de se gonfler et se rétracter en présence de l'eau sont manifestés aussi mais en faibles intensité (mal cristallisés). Ces minéraux malgré sa faible intensité; ils jouent un rôle très important pour générer et accélérer le phénomène des tassements, dans la région de Mila, en réponse aux conditions climatiques, les fluctuations de la nappe...etc.

Donc, le traitement de ces sols avant de les servir comme assises des fondations est nécessaire.

**II- ANALYSES DES
PARAMÈTRES
GÉOTECHNIQUES DES
SOLS DES SITES ÉTUDIÉS**

II-1- ANALYSES CHIMIQUES DES SOLS DES SITES ÉTUDIÉS

II-1-1- Introduction

Les argiles de Mila, notre objectif de recherche, ont en général un caractère de retrait-gonflement en réponse aux conditions climatiques et aux fluctuations de la nappe phréatique. Ce caractère néfaste était le sujet de nombreux chercheurs algériens et étrangers car il a engendré des dégâts énormes aux constructions édifiées sur le complexe à caractère en particulier argileux de la région (Afes, 1996, Afes & Didier, 2001, Khellaf et Bitat, 2006, Souiki, 2007, Hazmoune, 2008, Kechouane, 2008, Zebouchi, 2008, Bouhenouna, 2008, Chettah, 2009, Khellaf, 2009, , Athmania, 2010, Athmania et *al.*, 20011, Khellaf & *al.*, 2015, Azzouz & *al.*, 2015, Khellaf & Hamimed, 2018)etc.

La présente étude consiste à analyser les sols des trois sites d'extension de la ville de Mila (site de Marechau, Site d'el Kherba et site de l'Université). Ces analyses a pour identifier la composition chimique, les variétés lithologiques et leur influence sur le comportement de ces formations.

II-1-2- SITE DE MARECHAU

II-1-2-1- Analyses chimiques

Les résultats de ces analyses sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 3 et 4):

Tableau 3 : Résultats d'analyse chimique des échantillons examinés (LTPE, 2010).

SC	Profondeur (m)	Sulfates (g/kg)	Classe d'agressivité
1	2.70-3.00	Traces	Nulle
2	2.70-3.00	8.85	Forte
	4.70-5.00	Traces	Nulle
5	2.90-2.90	Traces	Nulle
6	3.00-3.40	Traces	Nulle
8	2.40-2.80	22.48	Forte
9	2.00-2.40	Traces	Nulle
10	2.30-2.60	Traces	Nulle
	4.70-5.00	Traces	Nulle
12	2.00-2.40	16.28	Forte

Tableau 4 : Résultats d’analyse chimique du sol de Marechau (LBM-Sol, 2014).

	Profondeur (m)	Chlorures (g/kg)	Sulfates (g/kg)	Classe d’agressivité
SC3	2.20-2.60	0.0932	0.3366	Faible
SC4	3.00-3.40	0.2254	1.1891	Modérée
SC10	2.60-3.00	0.0122	0.0297	Nulle

Les échantillons examinés sont prélevés de profondeurs variées des 2 à 5 m (profondeur d’ancrage des fondations généralement). Pour les sulfates, les teneurs sont faibles ou en trace pour la majorité des résultats à l’exception de trois échantillons (SC2, SC8 et SC12) qui présentent des teneurs relativement élevées (NF P18-011 et CM²) (8.85g/kg, 22.48g/kg et 16.28g/kg). Ces résultats sont confirmés par ceux d’analyse chimique du sol de même site établis par (LBM-Sol, 2014) où il a enregistré des teneurs de sulfates comprises entre 0.029 et 1.19% et des teneurs en chlorures comprises entre 0.0122 et 0.225%.

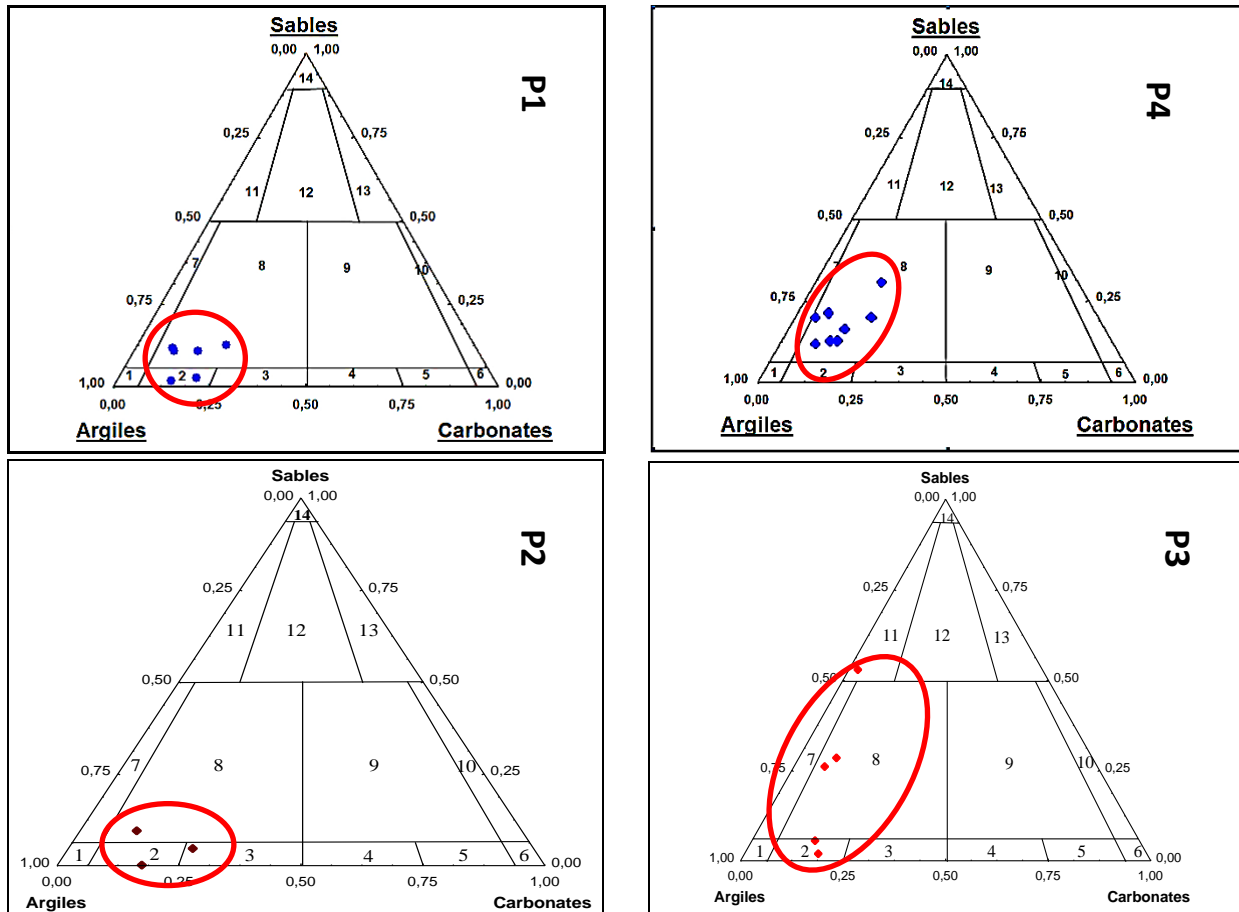
De ce fait, le sol de ce site présente une agressivité nulle pour la majorité de surface. Cependant, une agressivité forte (NF P18-011 et CM 83/04) pour certains endroits où s’effectuaient les sondages carottés où endroits échantillonnées (SC2, SC8 et SC12) (Khellaf et Hamimed, 2018b).

Donc, les formations argileuses du Marechau contiennent des sulfates (Aiche Géo-Sol, 2013 et LBM-Sol, 2014), ces sulfates peuvent avoir plusieurs origines, par exemple la dissolution de formation gypseuse interstratifiée au sein de ces argiles (Rollings & *al.*, 1999, El Yakoubi, 2006). Pour cela, le bétonnage des fondations dans ces endroits nécessite avec ciment résistant aux sulfates (Hazmoune, 2008, Khellaf, 2009, Aiche Géo-Sol, 2013, LBM-Sol, 2014, Khellaf & *al.*, 2015, Khellaf & Hamimed, 2018b).

II-1-2-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales

Les résultats d’analyses pétrographiques obtenus pour les différents profils du site de Marechau sont regroupés dans des tableaux en annexe et représentés sur les graphiques ternaires ci-dessous (Fig.59):

² Circulaire Ministriel 83/04 du 04/12/1983



Légende : P1 et P2 : Profil (POS AU9), P4 et P3 : Profil (POS AU15), 1.Argile, 2.Argile Marneuse, 3. Marne Argileuse, 4. Marne, 5. Calcaire Marneux, 6.Calcaire, 7. Argile Sableuse, 8. Argile Marno-Sableuse, 9. Calcaire Marno-Sableux, 10. Calcaire Sableux, 11. Grés Argileux, 12. Grés Marneux, 13. Grés Calcareux. 14. Grés.

Fig.59 : Présentation ternaire des résultats d'analyse pétrographique et classification des roches sédimentaires selon le diagramme de Czerminski (site de Marechau).

Les observations de terrains confirment la présence locale de minces intercalations de gypses fibreux et de minces bancs de sable argileux interstratifiés dans le complexe marno-argileux.

L'analyse pétrographique des échantillons prélevés a donné des variétés d'argiles marneuses, d'argiles marno-sableuses, des marnes sableuses et même des sables argileux (Fig.60). Les taux de composants dans les argiles marneuses sont de 65.92 à 83.17% pour les argiles, de 11.89 à 30.33% pour les carbonates et de 0.12 à 9.48% pour les sables ; pour ceux d'argiles marno-sableuses et d'argiles sableuses, les taux sont de 44.85 à 78.61% pour les argiles, de 2.34 à 23,16% pour les carbonates et de 10.52 à 40,73% pour les sables (Annexe). Les teneurs moyennes de CaCO_3 sont enregistrées aussi dans les résultats d'analyse chimique du sol de même site faites par (LTPE, 2010 et LBM-Sol, 2014) où ils ont enregistré des valeurs (Annexe) comprises entre 12.50 et 26.55% (pour LBM-Sol, 2014) et des teneurs comprises entre 5.89% et 32.56% pour LTPE, 2010 (Annexe).

Donc, ces analyses montrent des teneurs assez faibles en silice (à l'exception de minces intercalations silteuses) nettement inférieures à 80% qui est la frontière entre les sols gonflants et les sols non gonflants (Hachichi & Fleureau, 1999 et Hachichi & *al.*, 2003), des teneurs très élevées en argiles à moyennes supérieures à 75% (atteint environ 83%) et des teneurs modérées en carbonates de calcium à moyennes inférieures à 30% qui est un bon indice de résistance mécanique du sol (Cordary, 1994).

De ce fait, on peut classer les sols de ce site dans leur majorité comme étant des argiles ou des argiles marneuses qui sont parfois peu sableuses (Léreau, 2005, Khellaf, 2009 et Khellaf & Hamimed, 2018b).

II-1-2-3- Synthèse

L'analyse chimique et l'analyse pétrographique des échantillons prélevés des profondeurs variées de 2 à 5 m ont donné, d'une part, des teneurs faibles ou en trace en sulfates pour la majorité des résultats à l'exception de quelques endroits qui présentent des teneurs élevées qui sont liées en principe à la présence de gypse lenticulaire dans les formations argileuses et d'autre part, des taux assez élevés en argiles (44.85 à 83.17%) témoignant une forte sédimentation détritique et un environnement calme, modérés à faibles (2.34 à 30.33%) en carbonates et les sables en plupart sont assez faibles. Des teneurs élevées d'argiles (supérieures à 75%) indiquent un sol de nature argileuse, des teneurs inférieures à 80% de sables (frontière entre sols gonflants et sols non gonflants) reflètent la tendance de variation de volume de ces argiles et des teneurs faibles à moyennes en carbonates de calcium (0 à 30%) reflètent un bon indice de résistance mécanique de ces sols.

Donc, le sol du site de Marechau est d'une très forte nature argileuse à agressivité nulle pour la majorité de surface et à agressivité forte pour quelques endroits.

II-1-3- SITE D'EL KHERBA

Afin de déduire les propriétés chimiques du sol de cette partie (El Kherba) de la région d'étude, nous procédons une analyse chimique et analyse chimico-pondérale. Les résultats de ces deux analyses sont présentés ci-dessous :

II-1-3-1- Analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Résultats d'analyses chimiques des échantillons examinés (LNHC, 2000 et Aiche Géo-Sol, 2013).

	POS AU1 (Sud)				POS AU8 (Nord)		
	Profondeur (m)	SO ₄ ⁻ (%)	Cl ⁻ (%)	MO (%)	Profondeur (m)	Gypse (%)	Sulfates (%)
SC1	01.50-2.00	7.56	T	0.10	2.00-2.50	T	T
	07.20-8.00	1.17	T	0.26			
	17.0-18.50	0.42	0.10	0.26			
SC2	06.00-6.30	T	T	0.37	4.50-5.00	T	T
SC3	02.00-2.30	T	0.10	0.37			
	10.50-10.90	T	0.10	0.26			
SC4	04.50-5.00	T	0.10	0.42	2.00-2.50	T	T
SC5	00.30-3.50	T	T	0.16			
	07.70-8.40	0.60	T	0.63	4.50-5.00	T	T
	15.00-15.50	T	T	0.10			
SC8	02.50-5.00	11.33	T	0.16	2.50-3.00	T	T
SC6	03.00-4.00	0.37	0.10	0.63			
	04.50-4.90	0.44	T	0.42			
SC7	02.70-3.00	T	T	0.42	3.00-3.50	T	T
	07.10-7.40	0.57	T	0.52			
SC8	5.00-10.00	0.23	T	0.16			
SC9	01.00-5.00	14.17	0.14	0.21			
	5.00-10.00	1.58	0.14	0.31	5.50-6.00	T	T
SC10	01.00-5.00	T	0.21	0.16	2.00-2.50	T	T
SC16	04.00-4.50	T	T	0.10			
SC11	02.70-3.00	T	T	0.73			
	05.30-6.00	0.99	T	0.47			
SC17	03.00-4.00	13.42	T	0.05			
SC18	6.00-10.00	3.92	T	T			
SC19	02.00-6.00	0.35	0.11	0.57			
SC20	02.00-5.00	3.96	0.18	0.05			

T : Traces
SC : Sondage Carotté

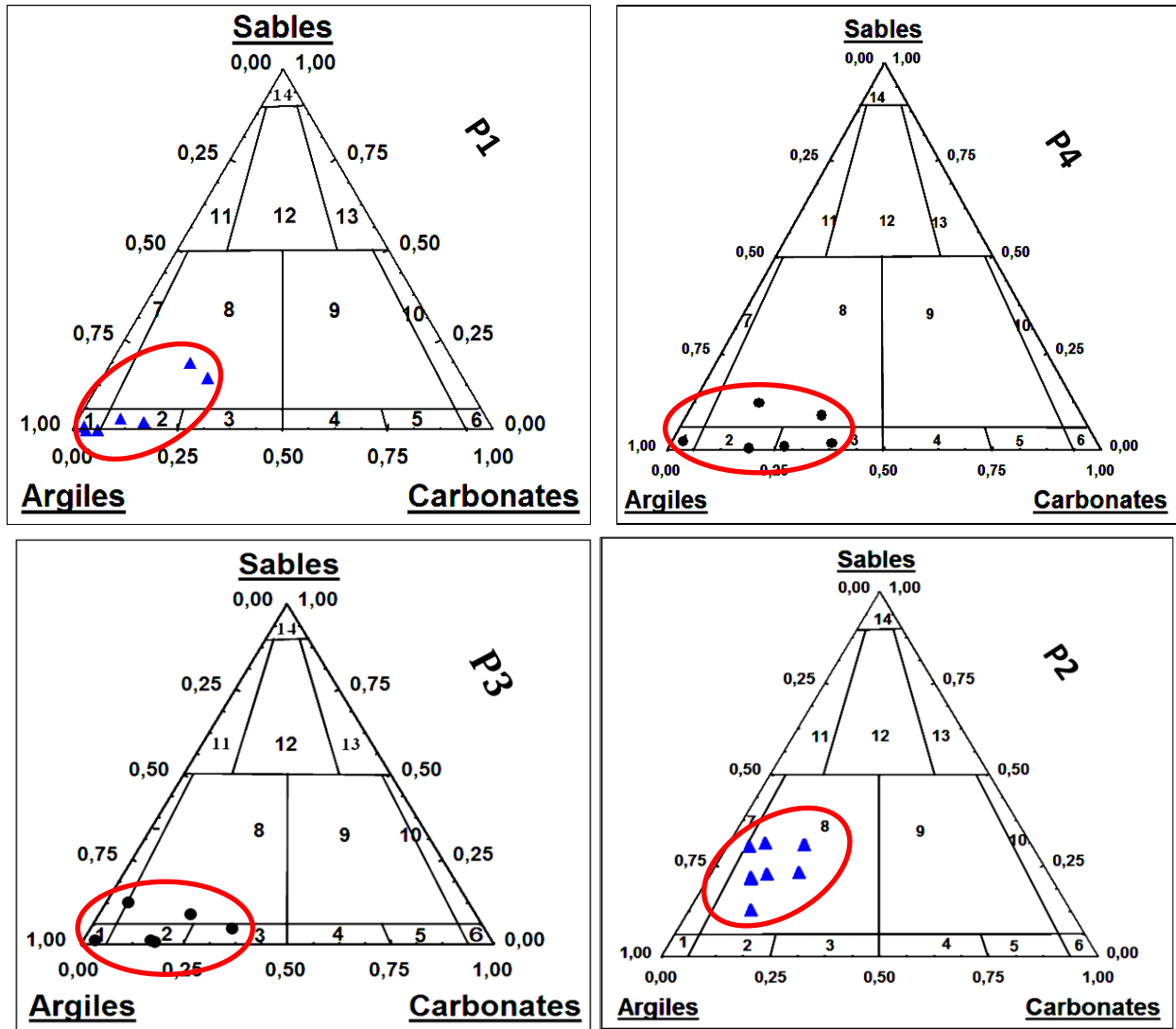
Les échantillons examinés aux analyses chimiques sont prélevés de profondeurs variées de 1 à 18.5 m (Annexe). Les résultats obtenus ont donné, pour la partie Sud du site étudié (POS AU1), des teneurs en sulfates majoritairement faibles à moyennes à l'exception des quatre échantillons (SC1, SC8, SC9 et SC17) qui présentent une teneur en sulfates plus élevée (7.56%, 11.33%, 14.17% et 13.42%), les chlorures sont en traces (0.1 à 0.21%) et les teneurs faibles, parfois en trace en matière organique jalonnent de 0.05 à 0.73%. Pour la partie Nord du site étudié (POS AU8), les résultats obtenus, de l'analyse chimique des sols ont donné des teneurs en traces que ce soit en sulfates ou en chlorures (Tableau 5). Les résultats de cette partie sont comparables à ceux qui se trouvent dans l'analyse chimique des sols du site de Marechau où ils ont aussi enregistré des teneurs faibles de sulfates et chlorures.

Selon ces résultats obtenus, les sols du site d'El Kherba révèlent donc des teneurs faibles en sulfates, ceci supposé en effet leur faible agressivité pour la majorité de la surface à l'exception de certains endroits comme dans le site précédent, (SC1, SC8, SC9 et SC17) qui présentent une forte agressivité (Hazmoune, 2008, NF P18-011 et MC). Les teneurs en matière organique sont faibles ou peu considérées (0.05 à 0.73%), donc ces argiles sont faiblement organiques (Magnan, 2010 et FEAR) avec une agressivité faible à nulle (NF P94-047).

En guise de conclusion, les formations argileuses d'El Kherba révèlent la présence des sulfates (LNHC, 2000 et Aiche Géo-Sol, 2013) en intercalation lenticulaire d'origine probable par la dissolution et le lessivage des formations gypseuses, aussi prouvé par les travaux antérieurs (Rollings & *al.*, 1999, El Yakoubi, 2006). Ces intercalations gypsifères font le siège de plusieurs surfaces de glissement (Zebouchi, 2008), donc le bétonnage des fondations dans ces endroits nécessite un ciment résistant aux sulfates (Hazmoune, 2008, Khellaf, 2009, Aiche Géo-Sol, 2013, LBM-Sol, 2014, Khellaf & *al.*, 2015, Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

II-1-3-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales

Les résultats obtenus de ces analyses, sont regroupés en tableau dans l'annexe et représentés sur les graphiques ternaires ci-dessous (Fig.60) :



Légende: P1 et P2 : Profils (POS AU1), P3 et P4: Profils (POS AU8), 1. Argile, 2. Argile Marneuse, 3. Marne Argileuse, 4. Marne, 5. Calcaire Marneux, 6. Calcaire, 7. Argile Sableuse, 8. Argile Marno-Sableuse, 9. Calcaire Marno-Sableux, 10. Calcaire Sableux, 11. Grés Argileux, 12. Grés Marneux, 13. Grés Calcareux. 14. Grés.

Fig.60 : Présentation ternaire des résultats d'analyse chimico-pondérale et classification des roches sédimentaires selon le modèle de Czerminski (site d'El Kherba).

L'analyse pétrographique des sols de cette région a donné, à peu près, les mêmes variétés sédimentaires que dans le site de Marechau; à l'exception de l'absence totale des niveaux sableux jusqu'à la profondeur de 20m. Ces variétés sont, en général, des argiles et des argiles marneuses, et des argiles marno-sableuses (Fig.60). Pour la variété argileuse les pourcentages des composants sont très élevés en argiles (86.99 à 96.64%), faibles à modérés pour les carbonates (2.39 à 9.58%) et faibles pour les sables (1.49 à 3.43%), pour les argiles marneuses, le composant argileux est de 60.04 à 96.94%, les carbonates de 15.94 à 37.21% et le sable de 0.51 à 8.79%; et pour les d'argiles marno-sableuses, les composants sont de 51.75 à 73.08% pour les argiles, de 14.18 à 25.22% pour les carbonates et de 12.019 à 30,52% pour les sables (Annexe). Ces teneurs sont enregistrées aussi dans les résultats d'analyse chimico-pondérale du

sol du site de Marechau et aussi sont comparables à celles qui sont faites par LBM-Sol en 2014 et LTPE en 2010 où ils ont enregistré des valeurs des carbonates comprises entre 5.89 et 32.56%.

D'après ces teneurs, on peut classer les sols du site d'El Kherba comme étant des argiles proprement dits, des argiles marneuses ou marno-sableuses (Léreau, 2005, Khellaf & Bitat, 2006, Hazmoune, 2008, Khellaf, 2009, Khellaf & *al.*, 2015, Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

Ces analyses montrent des teneurs faibles en silice (atteint 31%) nettement inférieurs à 80% qui est la frontière entre sols gonflants et sols non gonflants (Hachichi et Fleureau, 1999 et Hachichi & *al.*, 2003), des teneurs très élevées en argiles (atteint environ 97%) et des teneurs faibles à moyennes en carbonates de calcium (à environ 37%) un bon indice de résistance mécanique du sol (Cordary, 1994, Khellaf, 2009 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

II-1-3-3- Synthèse

Les échantillons sélectionnés pour l'analyse chimique et l'analyse pétrographique des sols du site d'el Kherba sont prélevés de profondeur variée de 1 à 18.5m. Les résultats obtenus sont pour :

1. L'analyse chimique de ces sols a donné des teneurs en majorité faibles ou en traces pour les sulfates, les chlorures et la matière organique. Ces faibles teneurs reflètent que les sols du site d'El Kherba sont des argiles faiblement agressives aux bétons. Par ailleurs, certains endroits montrent des teneurs très élevées en sulfates lenticulaires d'origine probable le lessivage et dépôts à partir des formations gypsifères.
2. L'analyse pétrographique de ces sols a donné des argiles et des argiles marneuses ou marno-sableuses. Les pourcentages des composants sont de 51.75 à 96.94% pour les argiles, de 2.39 à 37.21% pour les carbonates et de 0.51 à 30.52% pour les sables. Les matériaux analysés, en fait, sont de nature argileuse dominante. Les teneurs en silice sont nettement inférieures à 80%, les sols à caractère gonflants et des teneurs faibles à moyennes pour les carbonates de calcium font un bon indice de résistance mécanique du sol. Donc, d'après ces teneurs, on peut classer les sols du site d'El Kherba dans leur majorité comme étant des argiles et des argiles marneuses et parfois sableuses.

II-1-4- SITE DE L'UNIVERSITÉ

Pour connaître les propriétés chimiques des sols de cette partie de la région d'étude (l'Université) nous avons également procédé une analyse chimique et pétrographique de ces sols et les résultats obtenus sont montrés ci-dessous:

II-1-4-1- Analyses chimiques

Les résultats obtenus de ces analyses sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Résultats d'analyse chimique des échantillons examinés (LGG, 2010 et 2011).

Site de 1000 lits			Site du 4000 P.P.		
SC	Prof. (m)	Sulfates (g/kg)	SC	Prof. (m)	Sulfates (g/kg)
1	3.10-4.1	23.79	1	6.5-7.3	7.62
2	4.10-5.1	26.68	2	3.8-4.8	9.57
3	7.10-8.1	18.86	3	6.0-7.0	8.74
4	4.10-5.1	18.42	4	3.5-4.5	10.15
5	4.10-5.1	18.11	5	3.5-4.5	4.72
9	8.00-9.0	20.57	6	4.6-5.6	5
10	5.10-6.1	15.10	7	4.5-5.5	5.42
11	4.10-5.1	24.06	8	3.5-4.0	6.99
12	4.10-5.1	9.35			
13	4.10-5.1	23.73			

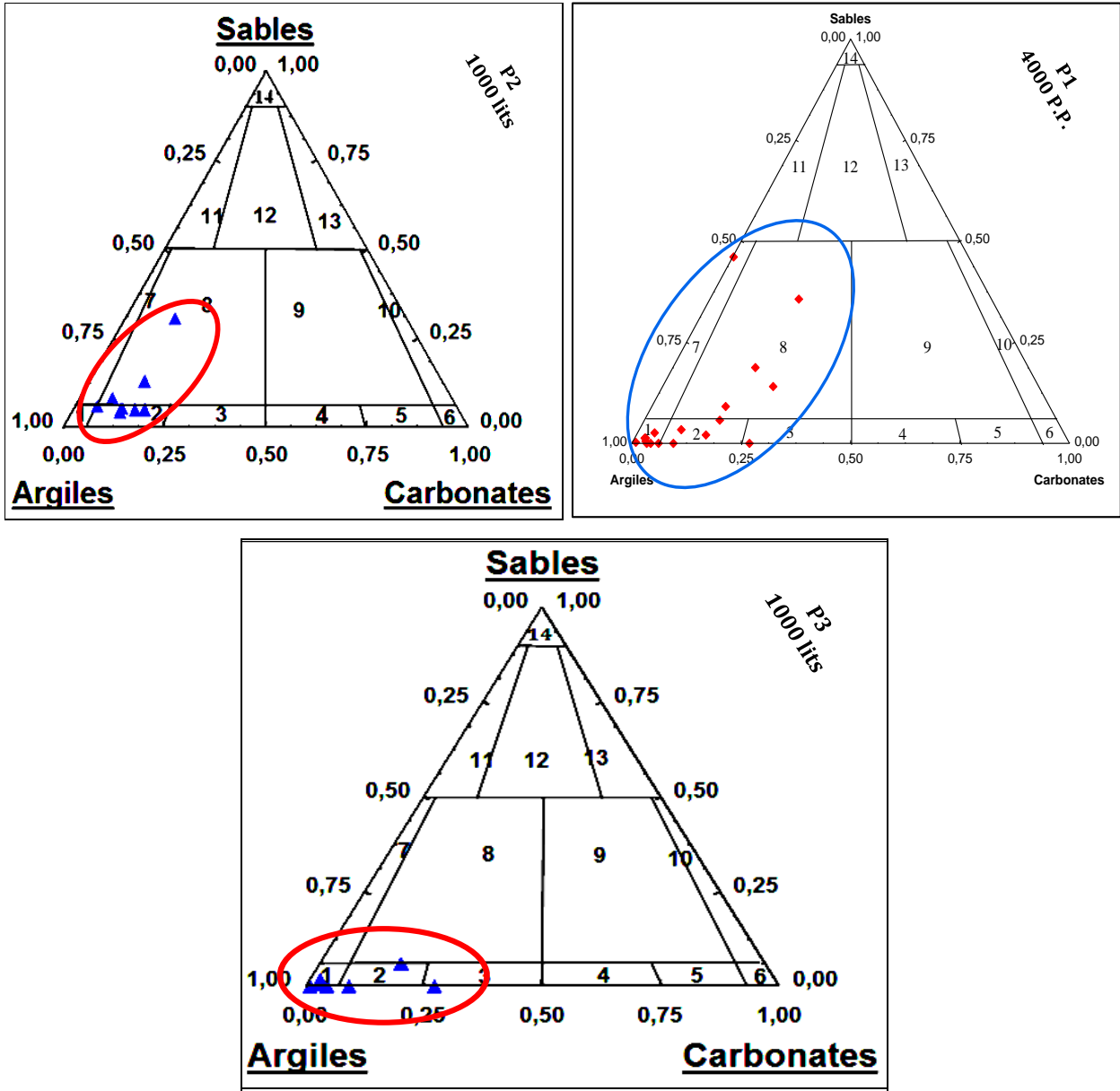
Les échantillons choisis pour l'analyse chimique sont prélevés de profondeur variée de 3 à 9m (profondeur d'ancrage des fondations) et ces résultats donnent des teneurs élevées des sulfates (NF P18-011 et CM). Ils présentent, pour la partie inférieure du site étudié (site des 1000 lits), des taux de sulfates compris de 9.35 à 23.79g/kg. Ces teneurs sont très élevées que celles de la partie supérieure (site des 4000 places pédagogiques) où ils présentent aussi des teneurs comprises de 4.72 à 10.15g/kg. Selon la norme NF P18-011 et le Circulaire Ministériel 83/04 on peut classer le sol de l'assise de l'Université, en majorité, comme un sol très agressif au béton avec les sols du site des 1000 lits qui sont plus agressifs. Ces résultats sont totalement différents des résultats du sol de Marechau ou d'El Kherba qui présentent, en général, des sols faiblement agressifs au béton avec de faibles teneurs en sulfates (0.029 et 1.19%).

A la base de ces résultats, on peut conclure que les formations argileuses de l'Université sont sulfatés (LNHC, 2000Aiche et Géo-Sol, 2013). Ces sulfates peuvent avoir plusieurs origines, par exemple la dissolution de formation gypseuse (Rollings & al., 1999, El Yakoubi, 2006) et constituent le siège de plusieurs surfaces de glissement (Zebouchi, 2008). Donc le bétonnage des fondations dans ces endroits nécessite un ciment résistant aux sulfates

(Hazmoune, 2008, Khellaf, 2009, Aiche Géo-Sol, 2013, LBM-Sol, 2014, Khellaf & al., 2015, Khellaf & Hamimed, 2018a).

II-1-4-2- Analyses pétrographiques sommaires ou chimico-pondérales :

Les résultats obtenus, d'analyses des échantillons des profils, sont regroupés dans un tableau en annexe et représentés sur les graphiques ternaires comme ci-dessous (Fig.61):



Légende : P1 : Profil (4000 P.P.), P2 et P3 : Profil (1000 lits), 1.Argile, 2.Argile Marneuse, 3. Marne Argileuse, 4. Marne, 5. Calcaire Marneux, 6.Calcaire, 7. Argile Sableuse, 8. Argile Marno-Sableuse, 9. Calcaire Marno-Sableux, 10. Calcaire Sableux, 11. Grés Argileux, 12. Grés Marneux, 13. Grés Calcareux. 14. Grés.

Fig.61 : Présentation ternaire des résultats d'analyse chimico-pondérale et classification des roches sédimentaires selon le modèle de Czerminski (site de l'Université).

L'analyse pétrographique des échantillons prélevés de ces profils ont donné à peu près les mêmes variétés sédimentaires que dans le profil de Marechau et d'El Kherba. Ces sédiments renferment localement de minces intercalations de gypses fibreux.

Les variétés des sédiments rencontrées sont présentées par des argiles, des argiles marneuses et des argiles marno-sableuses.

A la partie inférieure des profils, les argiles et les argiles marneuses constituent la majorité de sédiments et sont peu intercalées par de minces niveaux d'argiles marno-sableuses à taux de sables silteux plus ou moins important. En vers la partie supérieure des profils, les niveaux argileux riches en sables se multiplient et deviennent en alternance presque régulière avec les passages argileux, cependant ces derniers sont beaucoup plus importants en épaisseurs.

Les taux de composants (argiles, carbonates et sables) dans les sédiments du site des 4000 places pédagogiques se répartissent comme suit : les argiles proprement dite, se composent de 73 à 98% d'argiles, de 0.8 à 27% de carbonates et 0.1 à 3.4% de sables ; pour ceux d'argiles marno-sableuses ils se composent de 32 à 74% d'argiles, de 6.7 à 20.5% de carbonates et de 9.2 à 49% de sables (Annexe).

Pour le site des 1000 lits, les composants pour les argiles sont de 96 à 99% d'argiles, 0.86 à 2.95% de carbonates et de 0.28 à 1.42% de sables. Pour ceux d'argiles marneuse ou argiles marno-sableuses, les teneurs sont de 57.32 à 88,63% d'argiles, 4.4 à 17,72% de carbonates et de 4.38 à 30,61% de sables.

D'après ces résultats, on remarque que ceux du site des 4000 places pédagogiques qui est caractérisé par l'alternance d'argiles et de sables, ils diffèrent de ceux trouvés aux sols des sites de Marechau et d'El Kherba.

En guise de conclusion, on peut classer les sols du site de l'Université comme étant des argiles et des argiles marneuses ou marno-sableuses (Léreau, 2005, Khellaf, 2009).

Donc, les teneurs élevées en argiles (supérieures à 75 %) reflètent la dominance des argiles dans le site, les teneurs faibles en silice (inférieurs à 80 %) classent les sols (argile) comme gonflants (Hachichi & Fleureau, 1999 et Hachichi & *al.*, 2003) et des teneurs faibles à moyennes en carbonates de calcium (atteint 27 %) indiquent un bon indice de résistance mécanique du sol (Cordary, 1994).

II-1-4-3- Synthèse

Les échantillons choisis pour l'analyse chimique et l'analyse pétrographique sont prélevés de profondeur d'ancrage des fondations. Les résultats obtenus ont donné pour :

1. L'analyse chimique des sols examinés a montré des teneurs élevées en sulfates (4.72 à 23.79g/kg). Selon la norme NF P18-011 et le Circulaire Ministériel 83/04 on peut classer le sol de l'assise de l'Université comme sol très agressif au béton. Les teneurs élevées de sulfates sont liées en principe à la présence de gypses dans les formations argileuses caractérisant le site.
2. L'analyse pétrographique de ces sols a donné en majorité des argiles, des argiles marneuses et des argiles marno-sableuses. Ces variétés ont donné dans l'ensemble des taux de composants (argiles, carbonates et sables) relativement variables. Les sédiments du site des 4000 places pédagogiques sont de 32 à 98% pour les argiles, de 0.8 à 27% pour les carbonates et de 0.1 à 49% pour les sables. Pour le site des 1000 lits, les argiles sont de 57.32 à 99%, les carbonates sont de 0.86 à 17,72% et les sables sont de 0.28 à 30,61%. Les teneurs élevées en argiles (supérieures à 75%) classées le sol examiné comme argile, les teneurs de silice sont inférieurs à 80%, les sols sont considérés gonflants et les teneurs en carbonates de calcium sont faibles à moyennes donc est un bon indice de résistance mécanique de ces sols.

Enfin, le sol du site de l'Université est plus ou moins riche en sulfates, donc est un sol agressif au béton, et l'installation d'ouvrages sur ce site nécessite de précieuses techniques.

II-2- ANALYSES DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES DES SOLS DES SITES ÉTUDIÉS

II-2-1- Introduction

D'après les études précédentes (analyses minéralogiques, analyses chimiques et analyse pétrographiques), le sol est considéré d'une prédominance argileuse (argile >75%) présentant une certaine agressivité sur le béton (Afes, 1996, Afes & Didier, 2000, Khellaf, 2006, Hazmoune, 2008, Aiche GEO-SOL 2013 et LBM-Sol, 2014). Minéralogiquement, l'ensemble des échantillons examinés renferment aux différents niveaux, de la smectite, la vermiculite, la chlorite, les minéraux interstratifiés...etc. Ces minéraux présentent une variation importante de volume en présence d'eau. Ce phénomène engendre des dégâts énormes aux constructions installées dans la région Mila (Fig.62) (Afes, 1996, Afes & Didier, 2000, Zebouchi, 2008, Khellaf, 2009, Chettah, 2009, Kechouane & *al.*, 2009, Athmania, 2010, Khellaf & *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c). De ce fait, nous procédons à analyser les paramètres géotechniques des sols de trois sites dans cette région (site de Marechau, site d'el Kherba et site de l'Université) afin de contribuer à résoudre ces causes de ces phénomènes et en particulier les tassements.



Fig.62 : Désordre des constructions installées dans la région de Mila.

II-2-2- SITE DE MARECHAU

L'analyse des paramètres géotechniques est d'une importance particulière pour contribuer, avec les précédentes analyses, à différencier les sols de la région considérés. Ces analyses procèdent à de différentes techniques de terrain et de laboratoire aux différents niveaux des sols :

II-2-2-1- Essais in situ

Le site de Marechau est investigué par deux laboratoires ; l'un est le laboratoire d'études géotechniques de sol et fondations (Aiche Géo-Sol) pour le POS AU15 et l'autre est le Laboratoire de Béton et de Mécanique du Sol (LBM-Sol) pour le POS AU09, qui ont réalisé selon les demandes et les exigences des projets des essais de sondages carottés, des essais de pénétration dynamique test et des essais de laboratoire.

II-2-2-1-1- Sondages carottés

Ces essais fournies des coupes lithologiques paraissent identiques effectués à 10 mètres de profondeur (Fig.63, Tableau 7 et 8 et Annexe). Les figures et les tableaux ci-dessous résument clairement la nature lithologique des couches traversés dans ce site :

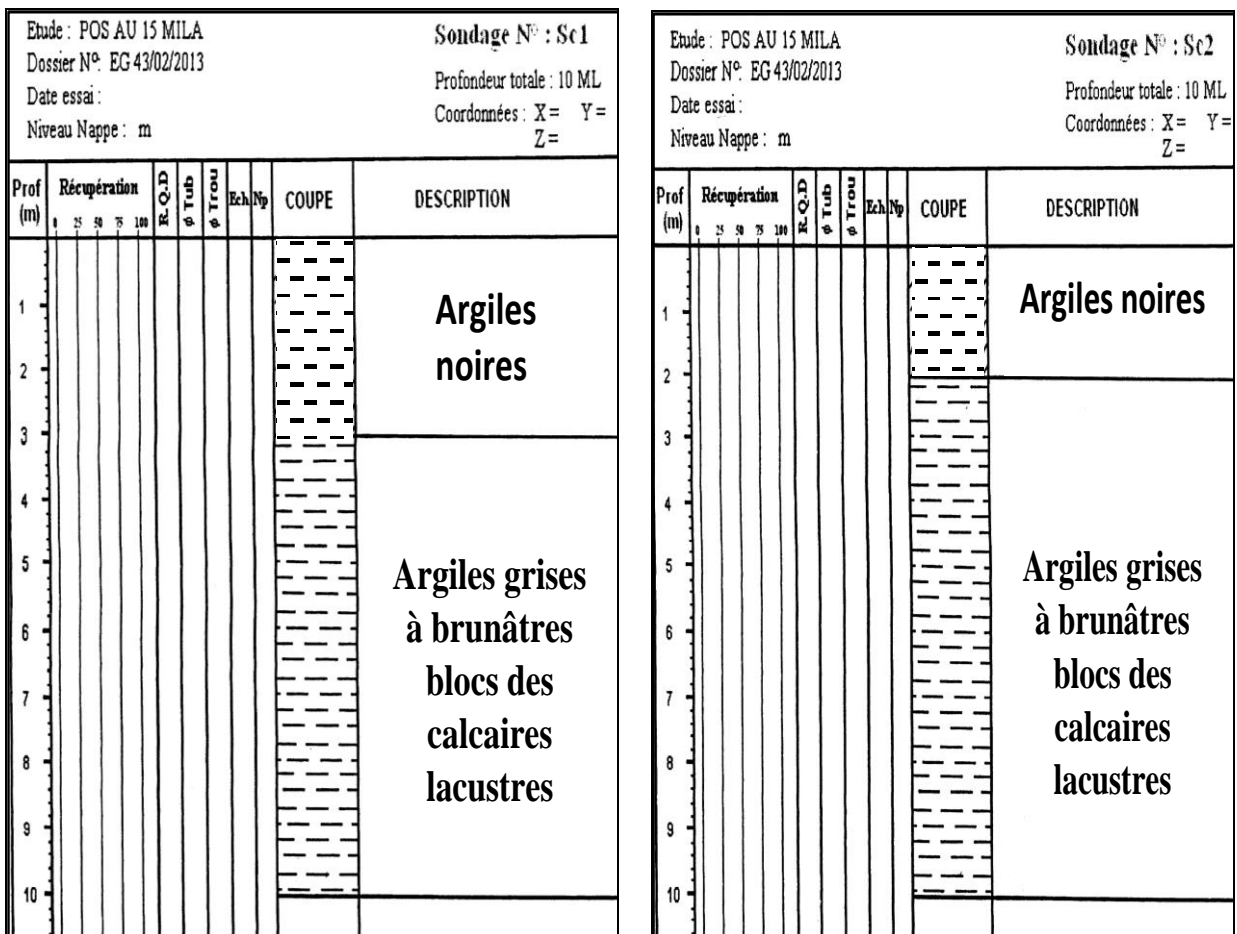


Fig.63 : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU15.

Ces essais ont permis d'établir des coupes géologiques (Fig.64) et de connaître également la nature lithologique des sols caractérisant le site en question, composée en général d'une argile grise à verdâtre renfermant de gypse fibreux et débris ou blocs des calcaires lacustres de différentes tailles et épaisseur variant de 0.40 à plus de 10m. Ces argiles sont surmontées par des argiles noires à gypse et à débris de calcaires lacustres. Pour les SC3 et SC4, une formation marneuse de couleur grise et parfois brune, d'un aspect compact et renferme des blocs de calcaires lacustres parfois de gypse fibreux sur une épaisseur varie de 0.5 à 10m. Cette formation est surmontée par des terres arables (0 à 0.90m) (Tableau 7 et 8) (Aiche Géo-Sol, 2013 et LBM-Sol, 2014).

Ces caractéristiques lithologiques paraissent largement identiques à celles que nous avons trouvées au niveau du terrain d'el Kherba, une formation composée de la base au sommet, d'une marne grise à verdâtre altérée, argiles grises et des terres arables.

Les deux tableaux ci-dessous résument les résultats de quatre sondages carottés choisis de chaque site (POS).

Tableau 7 : Description comparative des sondages carottés du POS AU9 (LBM-Sol, 2014).

SC1	SC9	SC4	SC6
0.0 à 0.90 Terre végétale	0.0 à 0.70 m Terre végétale	0.0 à 0.50 m Terre végétale	0.0 à 0.60 m Terre végétale
0.90 à 10.0 m Argiles grises à verdâtres renfermant de gypse fibreux et débris de calcaires lacustres	0.70 à 10.0 m Argiles grises à verdâtres renfermant de gypse fibreux et de débris ou blocs de calcaires lacustres	0.50 à 4.60 m Marnes brunes à blocs de calcaires lacustres	0.60 à 10.0 m Argiles grises à verdâtres renfermant de gypse fibreux et débris ou blocs de calcaires lacustres
		4.60 à 10.0 m Marnes grises à verdâtres renfermant des blocs de calcaires lacustres	

Tableau 8 : Description comparative des sondages carottés (POS AU15) (Aiche Géo-Sol, 2013).

SC1	SC3	SC7	SC4
0 à 3.0 m Argiles noires à débris de calcaires lacustres	0.0 à 2 m Argiles noires	0.0 à 2 m Argiles noires	0.0 à 2.50 m Argiles noires
3.00 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris de calcaires lacustres	2.00 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris de calcaires lacustres	2.00 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris de calcaires lacustres	2.50 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris de calcaires lacustres

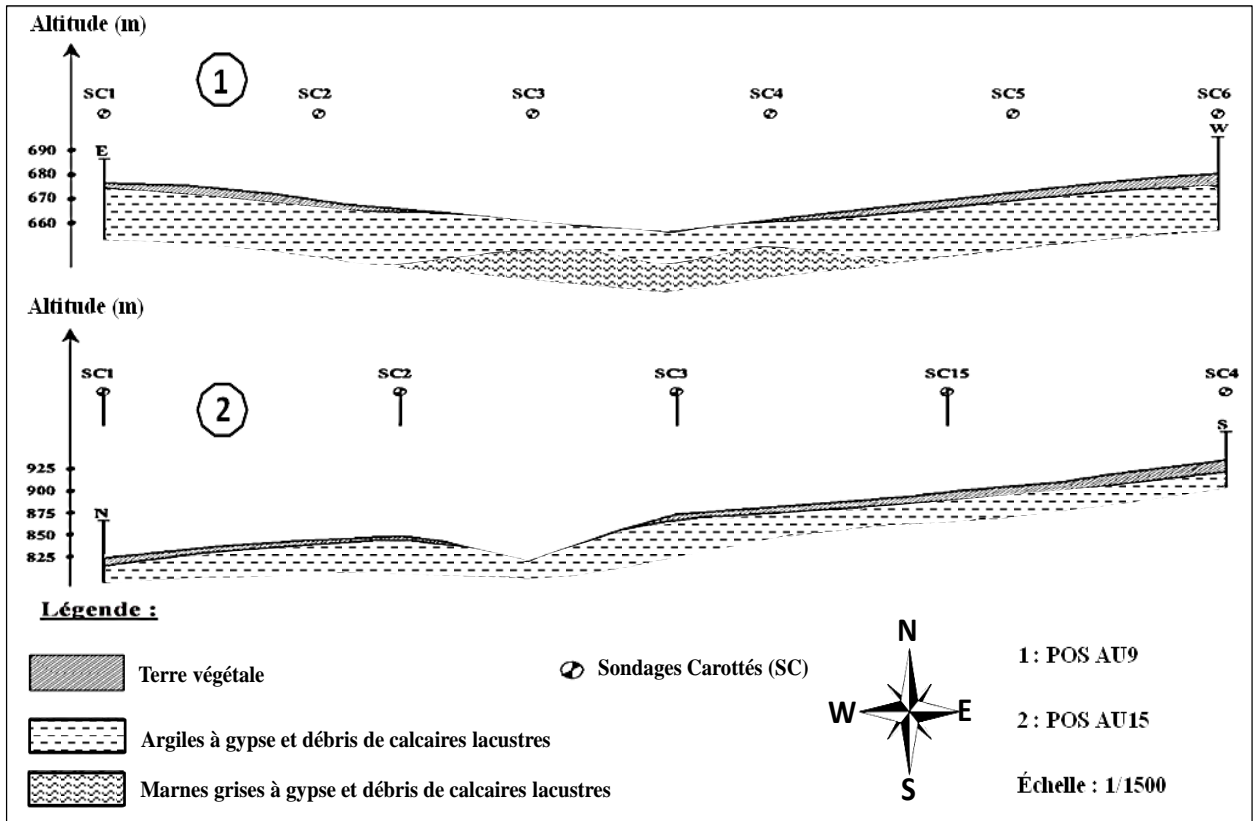


Fig.64 : Coupes géologiques du site de Marechau à l'aide des sondages carottés (Khellaf, 2019).

II-2-2-1-2- Essais de pénétration dynamique

Les résultats obtenus de ces essais sont à la fois représentés sous forme de pénétrogrammes (Fig.65), regroupés dans un tableau (Annexe) et représentés par les graphiques ci-après (Fig. 66, 67 et 68).

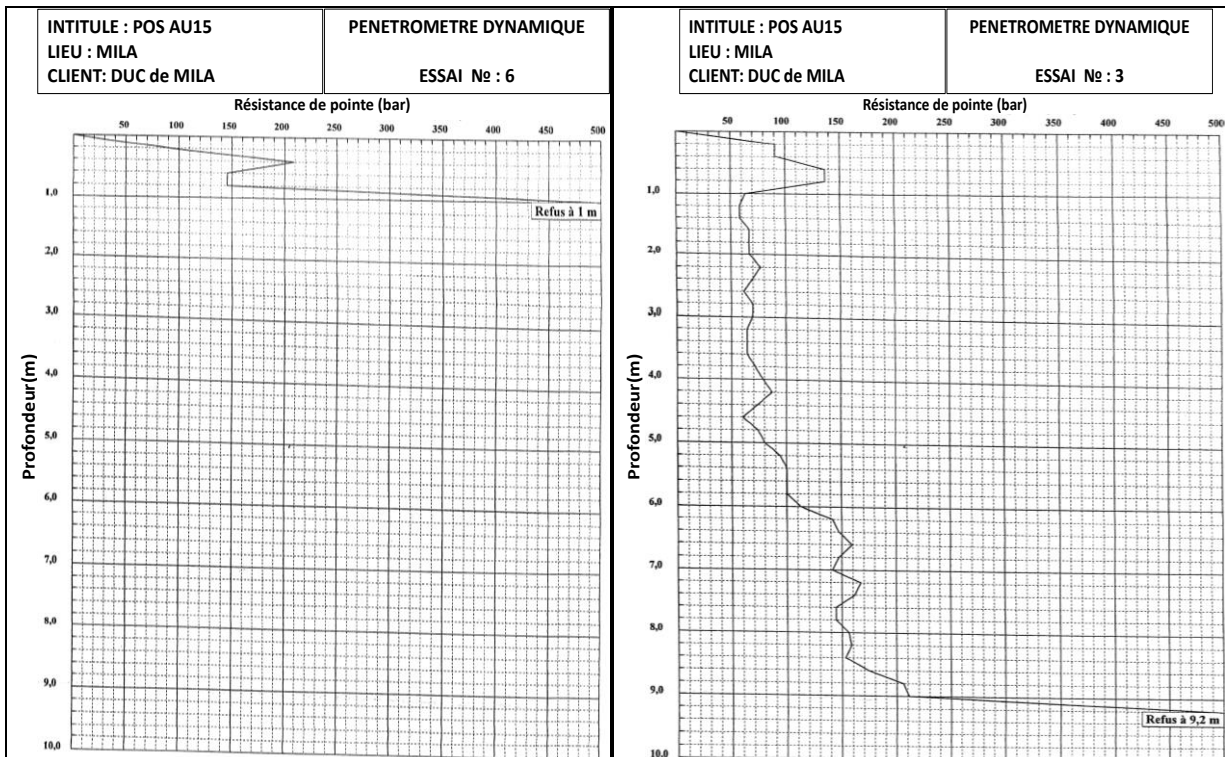


Fig.65 : Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU15.

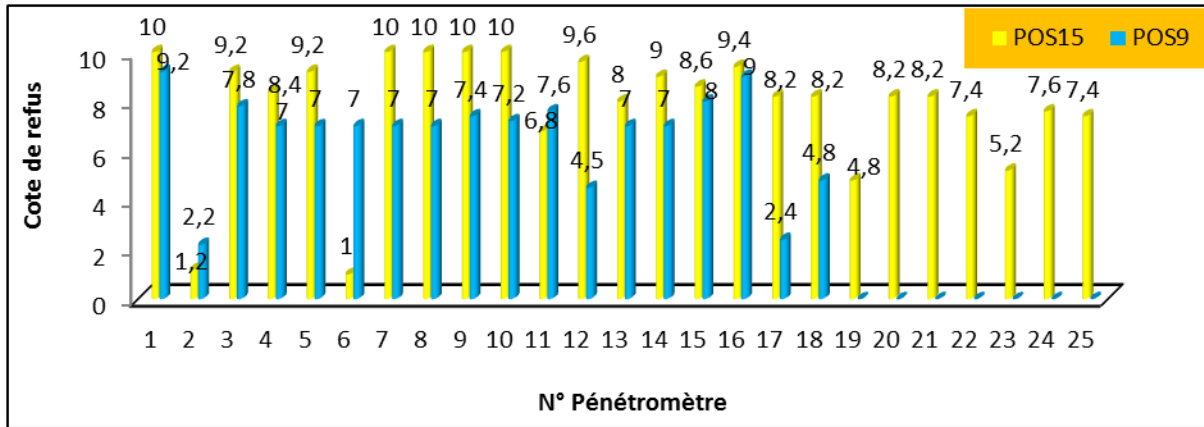


Fig.66 : Variation de la cöte de refus.

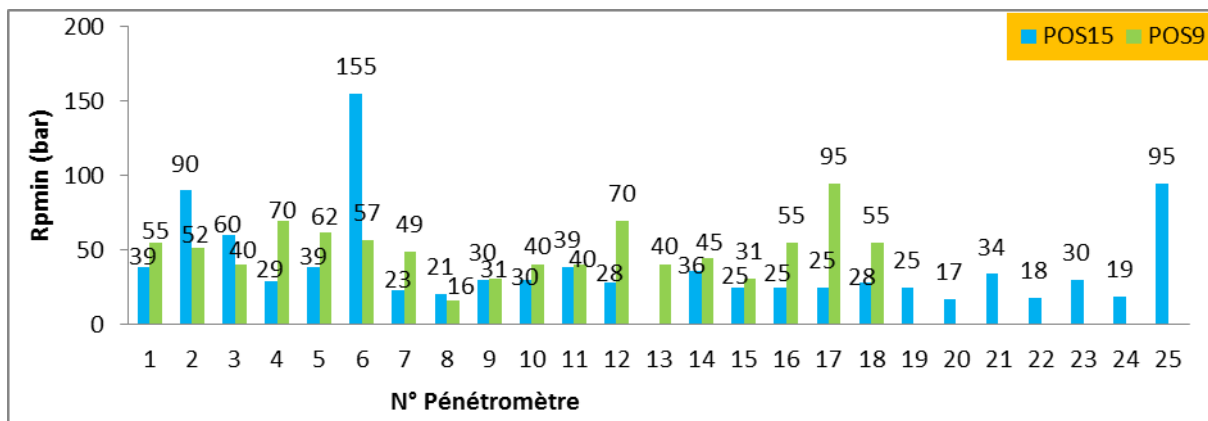


Fig.67 : Variation de la résistance de pointe minimale (R_{pmin}).

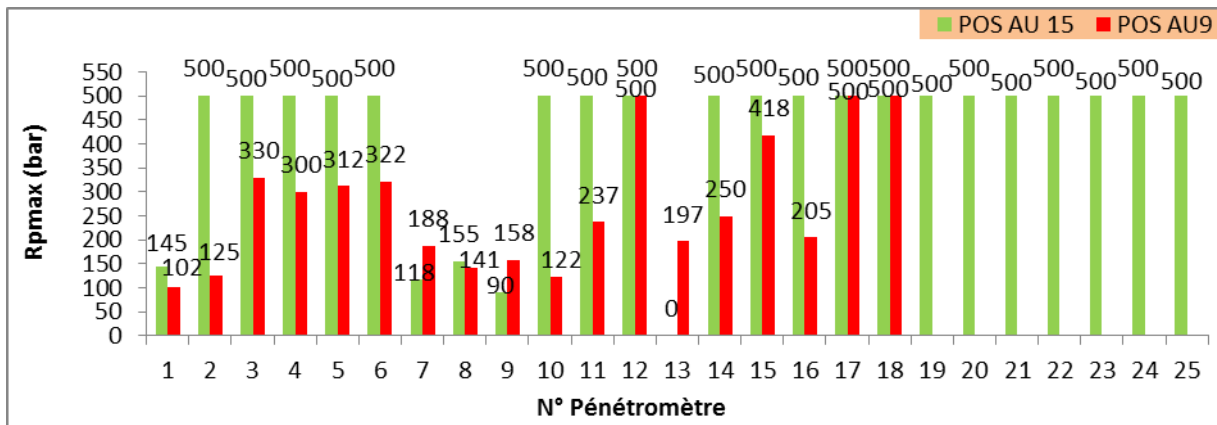


Fig.68 : Variation de la résistance de pointe maximale (R_{pmax}).

L'analyse des résultats (Annexe) et de ces graphiques nous laisse à noter les constatations suivantes :

- Les cötes de refus sont enregistrées à des profondeurs variables de 4.5 à 9.2m (Annexe), sauf pour les essais P17 et P2 où on enregistre une cöte de refus de 2.2 et 2.4m dans la partie Nord du site (POS AU9). Dans la partie Sud du site (POS AU15), la profondeur de la cöte de refus jalonne de 5.2 à 10m pour la plupart des essais effectués, sauf pour les pénétrömètres P2, P6 et P19 où on marque de faibles profondeurs pour celle-ci (1, 1.2 et 4.2m) (Fig.66).

Ces résultats sont confirmés par les études géotechniques de la région d'el Kherba faite par le laboratoire LNHC et Aiche Géo-Sol où ils ont marqué des cotes de refus de 1.6 à 10m.

- Les courbes pénétrométriques de l'ensemble des essais effectués sur le terrain du site de Marechau paraissent largement semblables (Annexe) et indiquent une résistance de pointe minimale majoritairement moyenne. Dans la partie Sud allant de 31 à 95bars à l'exception de l'essai pénétrométrique (P8), dont il a été affiché une faible résistance à la pénétration, (16bars). Dans la partie Nord, on note de fortes valeurs de cette résistance (allant de 30 à 155bars) à l'exception de P7, P8, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P22 et P24 qui indiquent de faibles valeurs. (Fig.67, 68 et Annexe). Ces résultats sont confirmés par les études géotechniques de la région d'el Kherba faites par le laboratoire LNHC et Aiche Géo-Sol où ils ont enregistré une résistance de pointe minimale moyenne de 20 à 50bars.
- La résistance de pointe maximale enregistrée est élevée (varie de 200 à 500bars) pour l'ensemble des essais (Annexe), à l'exception de P1, P2, P7, P8, P9 et P10 où elle descend à 102bars. Dans la partie Sud, la valeur de cette résistance diminuée drastiquement pour P1, P9, P7 et P8 de 90 à 158bars (Fig.69). Ces mêmes résultats sont trouvés aussi ou caractérisé les sols de la région d'el Kherba où ils ont enregistré des valeurs de de 220 à 650bars.

Donc les sondages pénétrométriques établis sur des profondeurs de 10m permettent de définir la présence de trois catégories de terrains dans le site étudié. Les premiers terrains présentent des valeurs de résistances de pointes plus élevées où nous enregistrons une $R_{p_{min}} > 155\text{bars}$, $R_{p_{max}}$ atteint 500bars et une côte de refus de 9.5m de profondeur. La deuxième catégorie présente des valeurs de la résistance de pointe plus ou moins moyennes ($158 < R_{p_{max}} < 205\text{bars}$), ($55 < R_{p_{min}} < 70\text{bars}$) et une côte de refus allant de plus de 7m. La troisième catégorie présente des valeurs de résistances de pointes faibles ($16 < R_{p_{min}} < 31\text{bars}$ et $90 < R_{p_{max}} < 142\text{bars}$) et par conséquent une côte de refus comprises entre 1 à 2.4m.

Ces résultats sont dûes, d'une part, à la présence des blocs de calcaires lacustres de dimensions ou de tailles différentes enveloppés dans la matrice argileuse et repartis d'une façon anarchique dans le sous-sol du site étudié (LBM-Sol, 2014) ce qui freiné ou stoppe, parfois, l'avancement des outils de forage (Zouaoui, 2008) et fausser par conséquence les résultats. D'autre part, la présence d'eau augmente le degré de saturation du sol et le rend par la suite lâche (LBM-Sol, 2014).

II-2-2-2- Essais de laboratoire

Les figures et tableaux ci-après regroupent les résultats obtenus des essais de laboratoire et la présentation et la classification et leur interprétation se fait en fonction des conceptions expliquées dans la partie théorique.

II-2-2-2-1- Essais physiques

a- Teneur en eau (w) (NF P 94-050) et le degré de saturation (Sr)

Les résultats obtenus de ces analyses sont regroupés dans les tableaux en annexe et représentés en courbes de variation ci-après (Fig.69) :

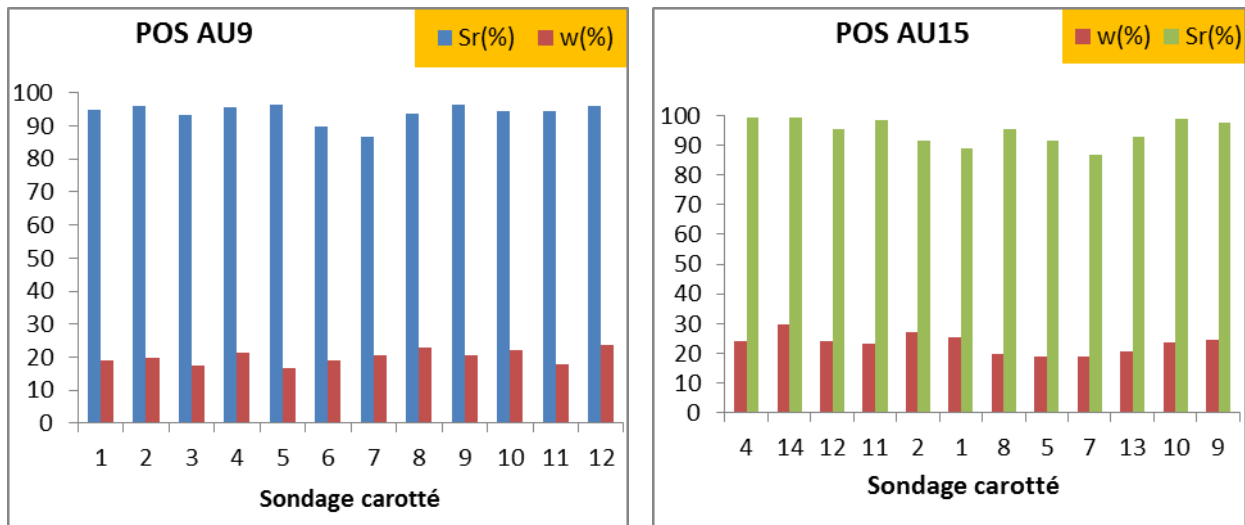


Fig.69 : Variation de w et Sr dans le sol du site de Marechau.

Ces deux graphiques montrent les résultats fournis par les deux laboratoires en Annexe (Aiche géo-sol et LBM-Sol). Ils présentent un degré de saturation des sols (Sr) à valeurs très importantes (85.99 à 99.97%) et une teneur en eau (w) à valeurs moyennes à faibles (13.63 à 29.85%). Des mêmes résultats sont enregistrés par l'étude, géotechnique du site de 300 logements (Marechau), établie par le laboratoire des travaux publics de l'Est (LTPE, 2010)

Selon la NF P94-050, Philipponnat, 1979, Cordary, 1994 et Philipponnat & Hubert, 2003 on peut classer les matériaux analysés comme des argiles moyennes à raides très saturées en eau et d'un état hydrique légèrement humide à humide.

b- Densité humide (γ_h) et densité sèche (γ_d) (NF P94-053)

Les résultats obtenus de ces deux analyses sont regroupés dans les deux tableaux ci-dessous :

Tableau 9 : Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU15 (LBM-Sol, 2014).

SC	Prof. (m)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$	SC	Prof. (m)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$
1	2.70-3.00	1.73	2.06	7	3.50-3.80	1.63	1.97
	5.00-5.50	1.77	2.01		5.00-5.20	1.77	2.10
4	2.20-2.70	1.67	2.02	9	2.00-2.40	1.69	2.04
	4.50-5.00	1.73	2.06		5.00-5.40	1.73	2.07
6	3.00-3.40	1.70	2.02	12	2.00-2.40	1.60	1.98
	5.70-6.00	1.67	1.99		5.00-5.40	1.73	2.05

Tableau 10 : Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU9 (Aiche Geo-Sol, 2013).

SC	Profondeur (m)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$	SC	Profondeur (m)	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_h(t/m^3)$
1	2.20-2.50	1.51	1.89	9	2.40-2.60	1.59	1.98
	6.40-6.70	1.67	2.04		6.75-6.95	1.78	2.11
4	4.60-5.00	1.62	2.00	11	2.50-2.70	1.63	2.01
	7.00-7.30	1.60	2.00		5.40-5.60	1.60	2.00
7	2.50-2.70	1.68	2.02	14	2.60-3.00	1.48	1.92
	6.40-6.60	1.75	2.09		5.00-5.40	1.61	2.00

L'analyse des sols argileux du site de Marechau à différentes profondeurs a donné des valeurs de 1.88 à 2.18 t/m³ pour la densité humide et de 1.48 à 1.92 t/m³ pour la densité sèche (Tableau 9, 10 et Annexe).

Des résultats semblables sont donnés par l'étude géotechnique des 300 logements (Site de Marechau) réalisés par le laboratoire des travaux publics (LTPE) où les valeurs sont de 1.87 à 2.11t/m³ pour γ_h et de 1.43 à 1.77t/m³ pour γ_d . Aussi par les études géotechniques de la région d'el Kherba (2000 et 2013) ont fournies des mêmes valeurs.

Les matériaux analysés sont donc de nature argileuse (NF P 94-053, Philipponnat, 1979 et Costel & Sanglerat, 1981) et présentent un comportement plus compact et parfois plus ou moins lâche (Philipponnat et Hubert, 2003).

c- Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de cet essai (Tableau 11) permettent de tracer les courbes granulométriques (Fig.70 et Annexe).

Tableau 11 : Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol de Marechau (LBM-Sol, 2014).

Paramètres	SC3		SC4	SC10
Profondeur	1.20-1.80	1.80-3.00	3.0-3.40	1.0-1.40
% Gravier	3	17	0	1
% sable grossier	8	11	0	3
% sable fin	12	10	13	14
% argile et limon	73	54	87	82

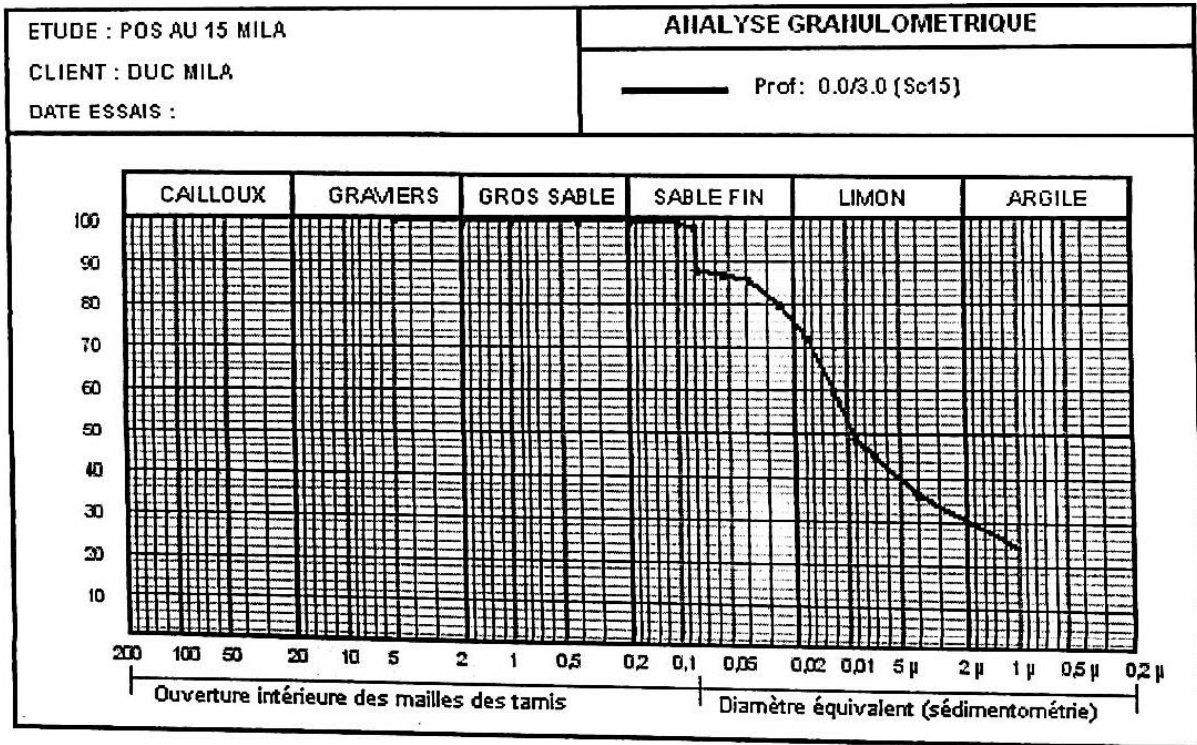


Fig.70 : Courbe granulométriques des sols du POS AU15.

Les résultats, ci-dessus, de l'analyse granulométrique montrent que les échantillons du sol analysé ont un pourcentage d'éléments fins (80μ) plus élevé (57 à 87%) et un taux faible à très faible d'éléments grossiers de sables et graviers (0 à 17%). La représentation de ces résultats sur l'abaque semi-logarithmique (Annexe) a donné des courbes granulométriques de coefficient C_u varié de 1 à 3.

D'après ces résultats on constate que les sols constituant le terrain de Marechau, sont d'une part, des sols fins à grains à peu près tous de même taille, donnant des courbes à granulométrie uniforme et étalée ; et d'autre part, selon les classifications données, ces sols sont des argiles et des argiles limoneuses (Philipponnat, 1979 et Costet & Sanglerat, 1981).

Selon Zebouchi, 2008, les sables fins, les silts et les argiles sont généralement le siège de nombreux mouvements de terrains et leur instabilité augmente encore plus en présence d'eau.

d- Limites d'Atterberg (WL et Ip)

Les résultats obtenus de ces analyses sont représentés dans le tableau (Annexe) et les deux figures ci-dessous (Fig.71, 72 et 73) :

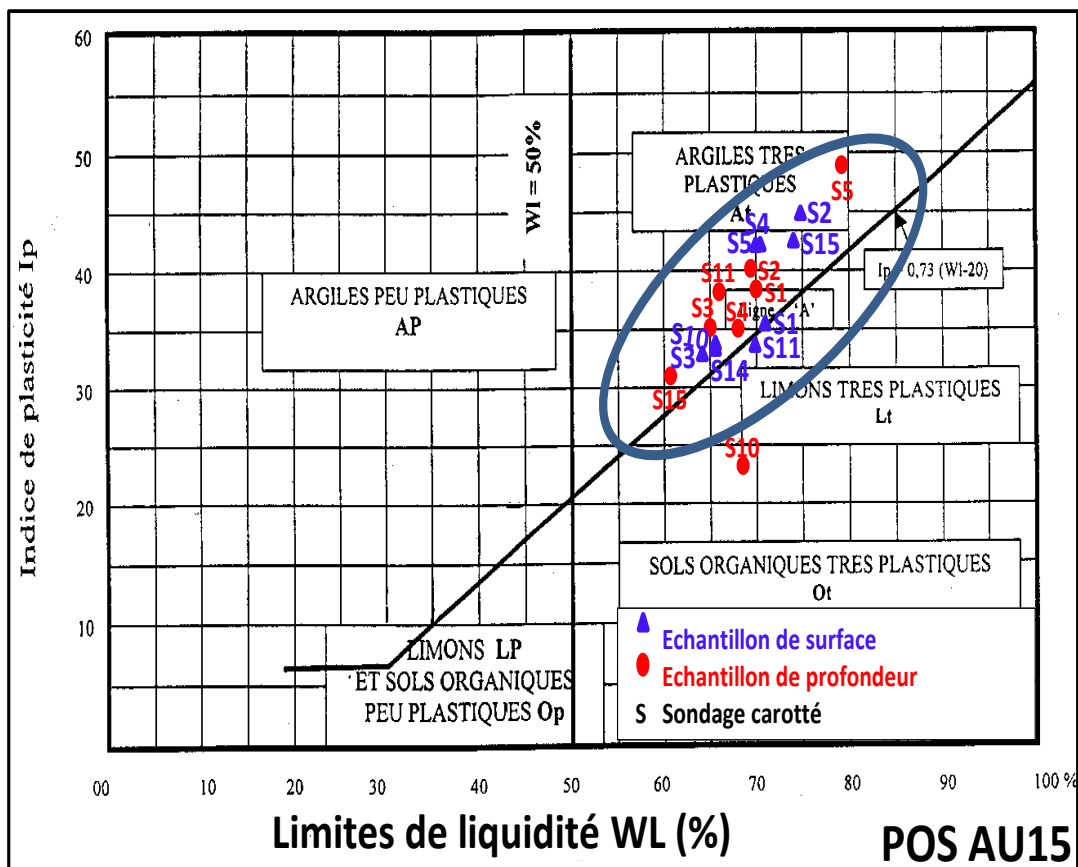


Fig.71 : Position des sols de Marechau (POS15) dans le diagramme de Casagrande.

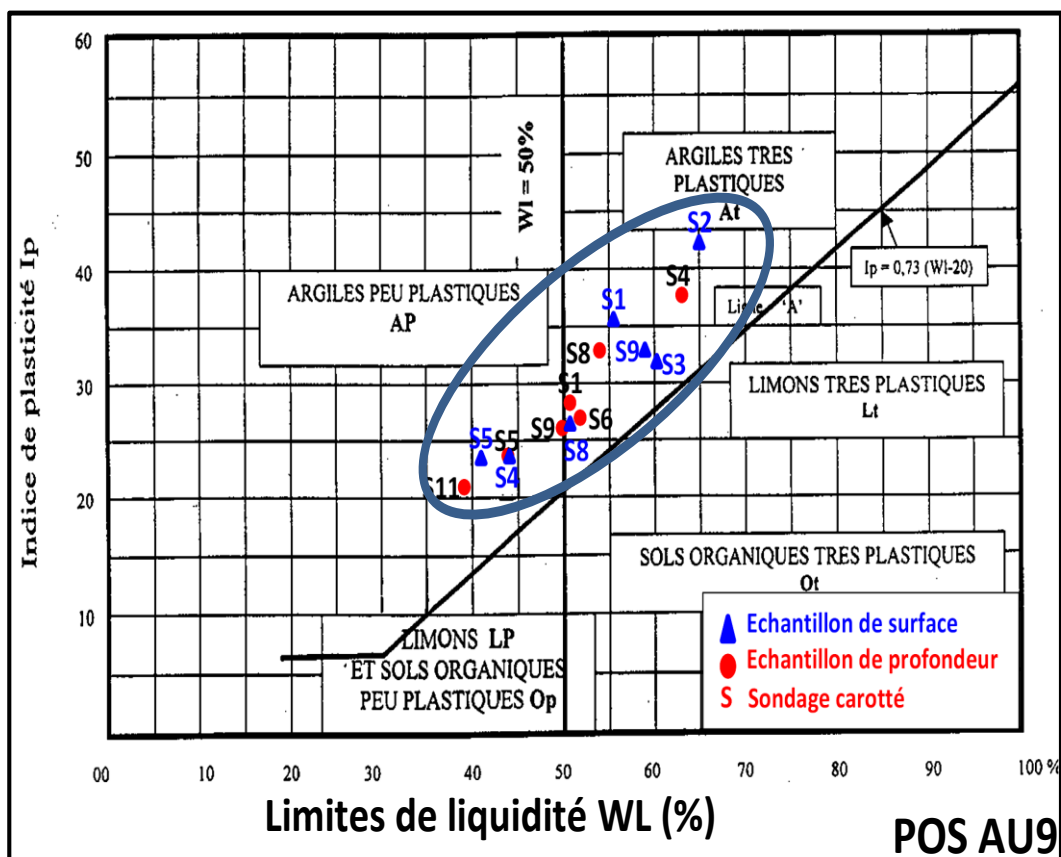


Fig.72 : Position des sols de Marechau (POS9) dans le diagramme de Casagrande.

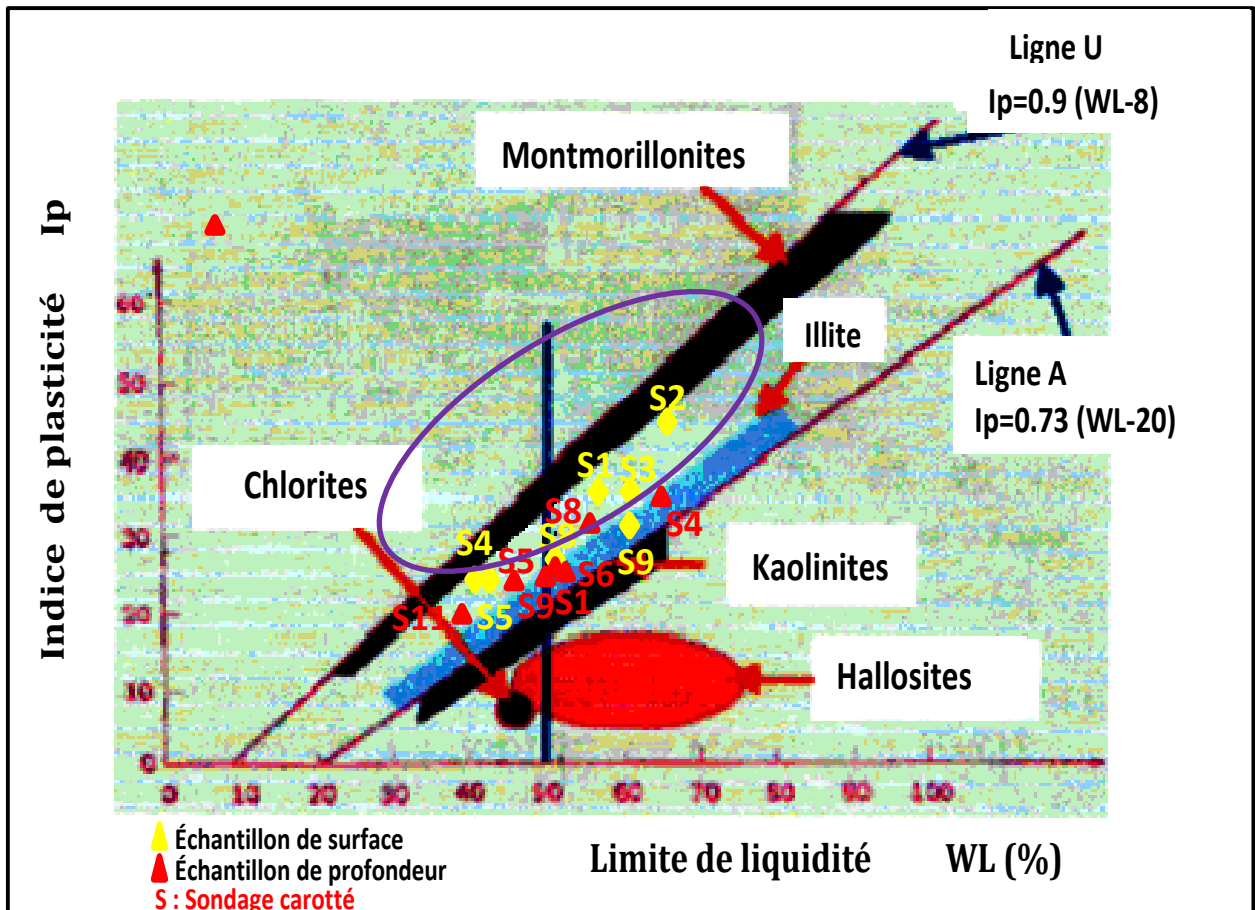


Fig.73 : Position des échantillons argileux de Marechau sur l'abaque de plasticité de Casagrande.

La représentation des résultats obtenus, de l'essai des limites d'Atterberg, des argiles examinées sur le diagramme et l'abaque de Casagrande ci-dessus, à partir de « W_L » et « I_p » qui présentent des valeurs de 39.54 à 79.46% pour W_L et de 20.98 à 49.44% pour I_p (Aiche Geo-Sol, 2013 et LBM-Sol, 2014), a montré que ces argiles sont, d'une part, positionnées au-dessus de la ligne A, sur le diagramme de Casagrande (Fig.71 et 72), à l'exception d'un point situé au-dessous de la ligne, et sont comprises entre la ligne A et la ligne U, sur l'abaque de Casagrande (Fig.73) et d'autre part, ces argiles, dans l'ensemble, sont très plastiques (AT) avec un pourcentage d'environ 100 % pour le POS AU15 et un pourcentage de 75 % pour le POS AU9 et des argiles peu plastique (AP) d'un pourcentage de 25 % pour le POS AU9 (Fig.71 et 72), aussi elles appartiennent aux trois grandes familles des minéraux argileux (Montmorillonite, Kaolinite et Illite) (Fig.73). Ces mêmes résultats sont aussi marqués dans l'analyse des sols du site de l'Université et d'El Kherba.

Pour cela, le sol de cette région présente, d'une part, des grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité ce qui démontre l'état de surconsolidation poussé et la dessiccation du sol (Derriche et *al.*, 1999). Ce constat est en accord avec les valeurs élevées enregistrées pour l'indice de consistance (Annexe), supérieures à 1.5 pour la plupart, et pour la

densité sèche supérieures à 1.5, et d'autre part, les valeurs des limites d'Atterberg (Annexe) sont assez grandes que les normes et les argiles étudiées sont gonflantes (Komornik & *al.*, 1969 et Dakshanamurthy & *al.*, 1973).

Donc, selon Zouaoui, 2008, si la teneur en eau naturelle du milieu se rapproche de la limite de liquidité (WL) du sol, ceux-ci passe de l'état plastique à l'état liquide, en fonction de sa composition chimique, et l'eau d'imbibition peut, par action électrolytique, modifier la structure de certains argiles par floculation ou défloculation du milieu colloïdale. Ce phénomène correspond à un ramollissement, ainsi, le passage d'une montmorillonite sodique à une montmorillonite calcique s'accompagne d'un accroissement de consistance du milieu, l'échange inverse.

II-2-2-2- Essais mécaniques : Triaxial (NF P94-071-1) et Oedomètre (NF P94-090-1)

Les résultats obtenus de ces deux essais sont récapitulés ainsi dans les deux tableaux suivants (Tableau 12 et 13) :

Tableau 12 : Caractéristiques mécaniques de quelques échantillons du POS AU15 (LBM-Sol, 2014).

Paramètres		Essai Triaxial				Essai de compressibilité		
		CD		UU		à l'oedomètre		
SC	Prof (m)	C (bar)	ϕ (°)	C (bar)	ϕ (°)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)
1	2.70-3.00	0.76	04			1.32	0.19	0.05
4	2.20-2.70	0.33	04			1.03	0.20	0.06
	4.50-5.00	0.11	02	0.10	40.54	1.07	0.20	0.05
6	3.00-3.40	0.40	04			0.52	0.17	0.03
10	2.30-2.60	0.08	10	0.61	28.87	2.00	0.15	0.02
	4.70-5.00	0.34	10	0.21	13.86	1.29	0.14	0.06

Tableau 13 : Caractéristiques mécaniques de quelques échantillons du POS AU9 (Aiche Géo-Sol, 2013).

Paramètres		Essai Triaxial		Essai de compressibilité		
		UU		à l'oedomètre		
SC	Prof. (m)	C (bar)	ϕ (°)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)
1	2.00-3.00	0.20	16.42	1.47	0.21	0.09
	3.00-4.00	0.34	10.57	-	-	-
2	2.00-3.00	0.40	09.40	1.2	0.23	0.074
	6.00-7.00	0.38	11.31	-	-	-
4	4.00-4.50	0.30	09.59	1.34	0.24	0.07
7	3.00-4.00	0.33	12.28	-	-	-
9	5.00-6.00	0.32	10.82	1.74	0.32	0.092
11	7.00-8.00	0.35	11.5	-	-	-
12	4.00-5.00	0.39	11.24	2.74	0.18	0.066
15	2.00-3.00	0.18	15.61	1.75	0.19	0.049
	4.00-3.00	0.43	10.81	-	-	-

Les échantillons argileux soumis à l'essai triaxial et à l'essai de compressibilité à l'oedomètre montrent que :

- 1- L'ensemble des échantillons soumis à l'essai triaxial du type non consolidé non drainé (UU) présente un angle de frottement interne (φ) faible et de l'ordre de 2° à 10° et des valeurs de cohésion (C) faible de 0.1 à 0.61bar ; inférieures à 1bar (NF P94-074-1) ; par contre ceux du type consolidé drainé (CD) présentent un angle de frottement interne (φ) élevé de l'ordre de 13.86° à 40.54° et des valeurs de cohésion (C) de 0.08 à 0.76 bar ; inférieures aussi à 1bar (NF P94-074-1), sauf pour le SC3 qui présente une valeur de $C = 1.43\text{bar}$.
- 2- La contrainte de préconsolidation (σ_c) (NF P94-090-1) qui caractérise les sols de ce site présente des valeurs comprises entre 1.03 et 3.22bar, sauf pour un endroit (SC7) où enregistre une valeur faible de 0.52 bar (Annexe).
- 3- Les résultats de calcul du coefficient de compressibilité (C_c) présentent des variations remarquables de 0.11 à 0.32 (Annexe).
- 4- Les résultats de calcul de l'indice de gonflement (C_g) présentent des valeurs élevées de 0.05 à 0.092 (Annexe).

Ces résultats caractérisent aussi le site d'El Kherba et de l'Université.

Donc, les résultats obtenus de l'essai triaxial (C, φ) présentent, d'une part, une cohésion et un angle de frottement interne faible pour l'essai (UU) ce qui témoigne que tous les faciès analysés sont des argiles moyennes à raides et cohérents, (Costel & Sanglerat, 1981 et NF P94-074). Ceci est dû au faible pourcentage des éléments fins et au fort pourcentage des sables et d'autre part, une cohésion faible et un angle de frottement interne moyen, qui est dû à la proportion élevée des sables fins par rapport à celle des argiles (Bouhenouna, 2008 et Zouaoui, 2008).

Selon Zouaoui, 2008, la présence anormale d'eau peut provoquer la chute des caractéristiques mécaniques du sol, comme l'angle de frottement interne qui ne change pas dans un milieu pulvérulent mais qui diminue dans un milieu cohérent. L'accroissement de la teneur en eau entraîne, d'une part, systématiquement une réduction des caractéristiques telle que (φ), et (C) non drainés et donc de la résistance au cisaillement, et d'autre part, entraîne son ramollissement, c'est-à-dire, un accroissement progressif de sa déformabilité sous charge.

Les résultats d'essai œdométrique, montrent un sol de type argiles raides (Costel et Sanglerat, 1981) consistant, surconsolidé, moyen à très compressible et à potentiel de gonflement moyen à fort (NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979). Les variations de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain (Hazmoune, 2008).

II-2-2-2-3- Calculs des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire

Les sondages pénétrométriques nous donnent des valeurs de résistance de pointe minimale de 16 à 70bars. A la base de cette dernière on préconise les semelles superficielles (semelles filantes ou semelles carrées).

Le calcul du tassement des fondations choisies (pour les semelles carrées et semelles filantes) se fait en fonction de conceptions montrées dans la partie théorique et les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux 14 et 15 et sont aussi interpolés sous forme des cartes de répartition spatiale (Fig.74 et 75) cités ci-après :

Tableau 14 : Résultats de calculs des tassements pour une semelle filante.

POS AU 15				POS AU9			
Paramètres	q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)	Paramètres	q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH _i (cm)
SC1	855,9	381,33	16.29	SC1	683,86	304,15	10.6
SC2	604,94	268,95	19.654	SC2	611,9	272	15.44
SC3	686,5	305,34	6.82	SC3	656,21	291,74	8.14
SC4	875,55	390,16	11.20	SC4	610,97	271,3	8.24
SC5	603,5	268,3	24.38	SC5	755	336,3	13.45
SC6	1229,47	505,2	19.11	SC6	1059,5	435,02	14.65
SC8	704,41	313,47	4.98	SC7	834,18	350,86	16.96
SC9	612,74	272,46	9.15	SC8	802,21	357,22	20.6
SC10	718,64	302,05	17.92	SC9	665,83	295,98	24.41
SC11	554,25	246,25	27.75	SC10	355,54	187,26	26.2
SC12	595,48	264,57	22.88	SC11	740,91	329,77	27.66
SC13	487,11	216,17	16.86	SC12	653,49	290,56	8.13
SC14	720,28	320,44	14.35				

Tableau 15 : Résultats de calculs des tassements pour une semelle carrée.

POS AU 15				POS AU9			
Paramètres	q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH _i (cm)	Paramètres	q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH _i (cm)
SC1	45,3	141,33	15.95	SC1	83,24	159,44	11.69
SC2	20,59	87,89	13.78	SC2	50,41	118,4	10.99
SC3	63,88	140,394	7.54	SC3	139,02	212,02	15.84
SC4	124,48	222,79	4.45	SC4	38,84	106,48	6.80
SC5	63,84	131	17.42	SC5	27,63	112,2	9.30
SC6	98,41	193,8	20.30	SC6	85,67	167,55	10.38
SC8	89,1	167,78	24.82	SC7	43,23	116,04	10.9
SC9	51,85	120,06	25.90	SC8	27,08	116,9	14.27
SC10	13,47	75,98	12.28	SC9	52,74	126,79	17.32
SC11	76,37	137,87	19.78	SC10	108,88	177,63	18
SC12	30,513	96,59	15.82	SC11	43,63	126,44	18.14
SC13	34,63	88,43	11.52	SC12	14,89	87,62	15,1
SC14	40,061	120,41	9.12				

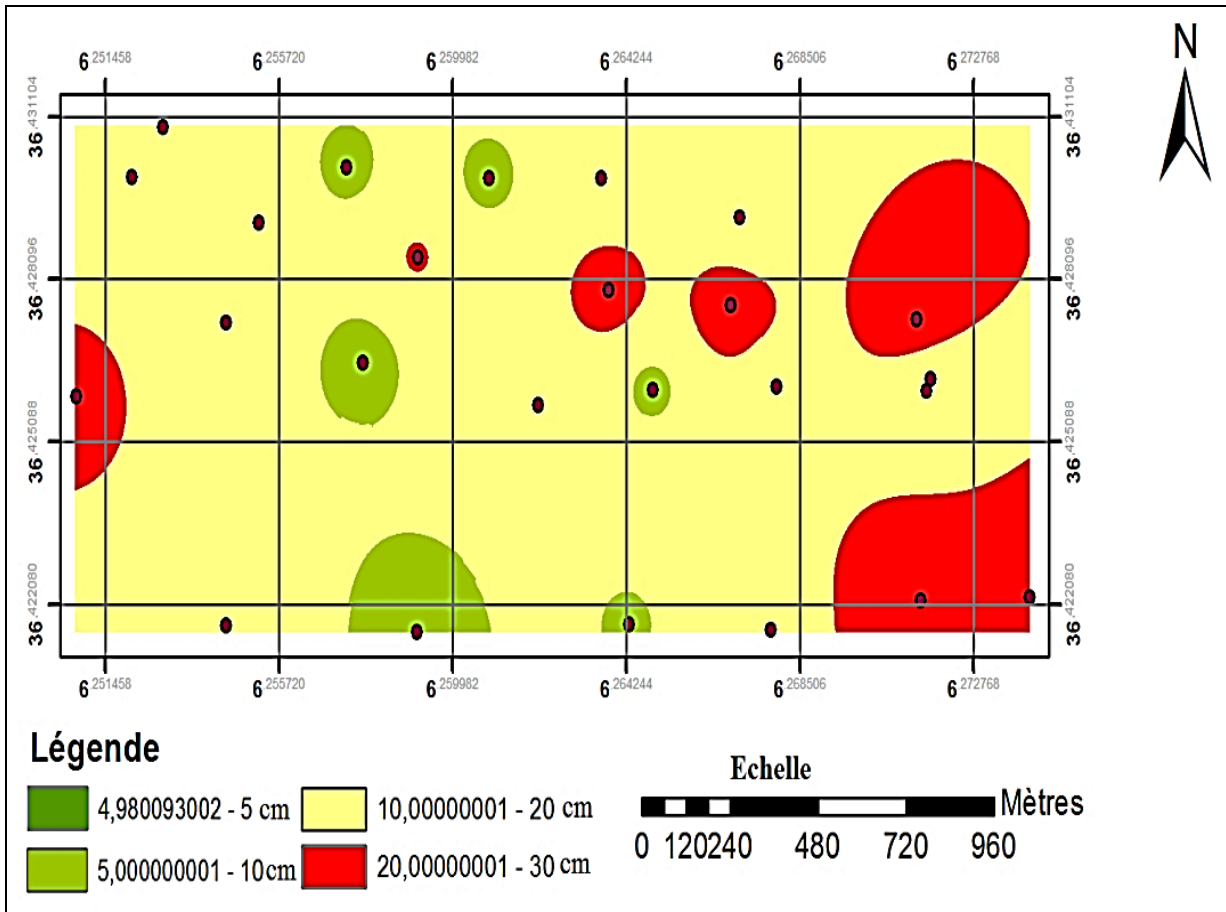


Fig.74 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante (Khellaf et Hamimed, 2018b).

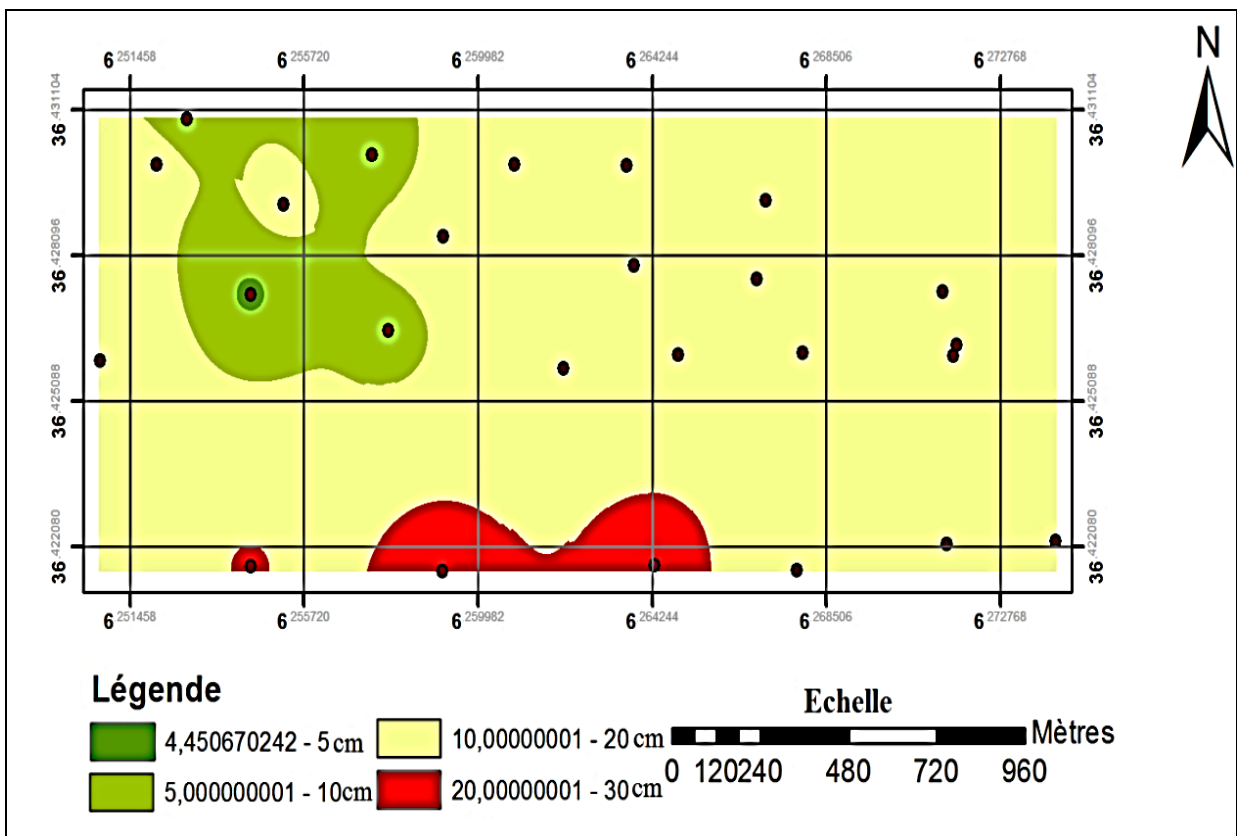


Fig.75 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée (Khellaf et Hamimed, 2018b).

Les résultats de calculs de la contrainte limite (q_L) et la contrainte admissible (q_{ad}) des sols, sachant que la contrainte naturelle (q_0) de ces sols est comprise entre 40 et 41.4KN/m², la nappe dans le cas le plus défavorable se trouve à une profondeur de 2m et l'ancrage des fondations est à 2m aussi (Aiche Géo-Sol, 2013 et LBM-Sol, 2014). Pour une semelle filante, où il n'y pas d'influence de la forme de la semelle et il y a l'influence de la nappe, la contrainte limite minimale est de 487,11KN/m² et la contrainte limite maximale est de 1229,47KN/m²; la contrainte admissible minimale est de 187,26KN/m² et la contrainte admissible maximale est de 505,20KN/m². Par contre, pour une semelle carrée, où il y a influence de la forme de semelle et l'influence de la nappe, la contrainte limite minimale est très faible et de 13,47KN/m² et la contrainte limite maximale est de 139.02KN/m² ce qui influe négativement sur la contrainte admissible; où on trouve une valeurs de $q_{ad}(\min)$ de 75,98KN/m² et $q_{ad}(\max)$ de 222,79KN/m² et dans ce cas la semelle ne peut pas supporter la charge extérieur exigée par les deux laboratoires (1.7 et 1.5bar) et elle est donc non admissible ($q_{ext} > q_{ad}$).

Les valeurs des tassements (ΔH_i) enregistrées au niveau du site de Marechau sont très élevées et jalonnent entre 6.82 et 27.75cm pour une semelle filante où $119 < \sigma_c < 322 \text{KN/m}^2$ et $101,42 < \sigma_{vo} < 171,53 \text{KN/m}^2$ et de 4.45 à 25.90cm pour une semelle carrée où $121 < \sigma_c < 200 \text{KN/m}^2$ et $107.15 < \sigma_{vo} < 171.53 \text{KN/m}^2$ (Tableau 15, 15 et Annexe). L'interpolation et la représentation de ces valeurs sur les cartes de variabilité spatiale (Fig. 74 et 75) montre que la majorité des sols de cette région sont présentés une variation de volume très importante et ont une tendance de se tasser (Khellaf et Hamimed, 2018b).

De ce fait, selon Forni, 1981, seuls les tassements différentiels entre les appuis peuvent avoir des conséquences dangereuses et l'expérience montre qu'une structure peut supporter des tassements différentiels de l'ordre 1/300 de la distance entre les appuis. Dans tous les cas, pour les bâtiments courants, il apparaît des fissures lorsque le tassement différentiel dépasse 5cm et ne présente, en général, pas de danger quand il est uniforme et de petites valeurs.

Le tassement considéré admissible pour une fondation superficielle, reposant sur un sol argileux, s'il est inférieur à 5 cm (Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003). Cependant les valeurs des tassements enregistrées dans ce site sont supérieurs à 5cm, soit sous des semelles filantes ou des semelles carrées, et occupent la totalité de la région étudiée et les zones où ces tassements sont admissibles (<5cm) sont minimales et occupent une surface réduite sur les cartes (Fig. 53 et 54). Les mêmes résultats sont enregistrés aussi au niveau du site d'El Kherba avec des valeurs de 3.29 et 24.33cm pour une semelle filante et de 4.18 à 19.42cm pour une semelle carrée (Khellaf et Hamimed, 2018b).

Donc, les sols de la région de Mila présentent des variations de volume importantes lorsque leur teneur en eau varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015), la difficulté du drainage des eaux de ces sols et le drainage de la nappe provoque un tassement du sol et par conséquent les constructions proches du talus seront menacées par des tassements (Chettah, 2009 et Khellaf & Hamimed, 2018b,c) et aussi la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans les sols ; comme la smectite qui est très sensible au phénomène de retrait gonflement ce qui peut se manifester par des tassements des fondations (Athmania, 2010). Ces variations de volume affectent le fonctionnement des fondations et des constructions en contact avec le sol et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009 et Khellaf & Hamimed, 2018b).

II-2-2-3- Synthèse

Le site de Marechau forme l'extension Sud de la ville de Mila et s'étend sur une superficie de 150he. Le terrain de ce site est caractérisé par une lithologie à dominance argileuse et une pente forte (9 à 11%) de direction Nord-Sud et faible (3 à 4%) de direction Est-Ouest. Ces caractéristiques facilitent l'altération, l'érosion et le creusement des chaabats au sein de ces formations et par conséquent le transport des particules érodées vers l'Oued Mila. L'analyse des sols de ce site montre que pour :

1- Les essais in situ réalisés sur le site, les sondages carottés nous permettent d'établir des coupes géologiques à travers le site et de préciser la nature lithologique du sol, qui est composé en général d'une argile grise à verdâtre à gypse fibreux et débris ou blocs de calcaires lacustres de différentes taille, des marnes grises, d'un aspect compact et renfermant du gypse fibreux et des blocs calcaires lacustres et des terres arables.

Les pénétromètres dynamiques nous fournissent des courbes pénétrométriques paraissent semblables. L'analyse de ces courbes montre une côte de refus de profondeurs variant de 4.5 à 10m, une résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) majoritairement moyenne (31 à 95bars pour le côté Sud, et 30 à 155bars pour le côté Nord) et une résistance de pointe maximale ($R_{p_{max}}$) élevée (200 à 500bars) pour l'ensemble des essais. A la base de ces résultats on peut définir la présence de trois catégories de terrains dans ce site :

- Les premiers présente une valeur de résistance de pointe minimale et maximale plus élevées ($R_{p_{min}} > 155\text{bars}$, $R_{p_{max}}$ atteint 500bars) et une côte de refus de 9.5m de profondeur.
- Les deuxièmes présentent des valeurs de la résistance de pointe plus ou moins moyennes, ($158 < R_{p_{max}} < 205\text{bars}$ et $55 < R_{p_{min}} < 70\text{bars}$) et une côte de refus de 7m.
- La troisième catégorie, présente des résistances de pointes faibles ($16 < R_{p_{min}} < 31\text{ bars}$ et $90 < R_{p_{max}} < 142\text{bars}$) et une côte de refus de 1 et 2.4m.

Selon LBM-Sol, 2014 et Zouaoui, 2008, la présence des blocs calcaires lacustres dans la matrice argileuse et leur répartition d'une façon anarchique dans le sous-sol bloque ou stoppe parfois, l'avancement des outils de forage et fausser par conséquent les résultats de la résistance de pointe.

2- Les essais de laboratoire de ces sols (Fig.76) ont donné des valeurs de degré de saturation (S_r) très importantes (85.99 à 99.97%), des valeurs de la teneur en eau (w) de 13.63 à 29.85%, des valeurs de la densité humide de 1.88 à 2.18t/m³ et des valeurs de la densité sèche de 1.48t/m³ à 1.92t/m³. Ces résultats montrent d'après Philipponnat 1979, Cordary, 1994 et Costel & Sanglerat 1981, que les matériaux analysés sont d'argiles moyennes à raides, très saturées en eau et selon

FAER et Philipponnat & Hubert 2003 sont légèrement humides à humides et présentent un comportement plus ou moins compact.

L'analyse granulométrique de ces sols a donné plus de 50% de la fraction argileuse (57 à 87%) et un taux faible à très faible (0 à 17%) d'éléments grossiers de sables et graviers. Les courbes granulométriques obtenues sont uniformes et étalées (Cu de 1 à 3). Selon Philipponnat, 1979 et Costet & Sanglerat, 1981, ces sols sont des argiles ou des argiles limoneuses et d'après Zebouchi, 2008, les sables fins, les silts et les argiles sont généralement le siège de nombreux mouvements de terrains et leur instabilité augmente encore plus en présence d'eau.

Les essais des limites d'Atterberg de ces sols présentent des valeurs de 39.54 à 79.46% pour WL, de 20.98 à 49.44% pour Ip et de 1 à 2 pour Ic. Ces résultats positionnent les argiles examinées au-dessus de la ligne A sur le diagramme de Casagrande et entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande. Ces argiles sont très plastiques (AT) à 100% pour le POS AU15 et à 75% pour le POS AU9 et peu plastique (AP) de 25% pour le POS AU9, ainsi elle appartient aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite, Montmorillonite et Kaolinite). Pour cela, le sol de cette partie de la région étudiée présente selon Komornik & al., 1969 et Dakshanamurthy & al., 1973 des valeurs de Ip et WL assez grandes que les normes ce qui traduit le caractère gonflant de ces argiles et selon Derriche et al., 1999, les grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité reflètent l'état de surconsolidation poussé et la dessiccation de ces sols. Ce constat est prouvé par les valeurs élevées de l'indice de consistance et la densité sèche (Khellaf et Hamimed, 2018b).

L'essai triaxial de type non consolidé non drainé (UU) présente un angle de frottement interne (φ) de 2° à 10° et des valeurs de cohésion (C) de 0.1 à 0.61bar et l'essai de type consolidé drainé (CD) présentent un φ° de l'ordre de 13.86 à 40.54° et une cohésion (C) de 0.08 à 0.76 bar. L'essai de compressibilité à l'œdomètre présente une contrainte de préconsolidation (σ_c) de 1.03 à 3.22bars, un coefficient de compressibilité (Cc) de 0.11 à 0.32% et un indice de gonflement (Cg) de 0.05 à 0.092. Ces résultats montrent que les faciès analysés, selon Costel & Sanglerat 1981 et la norme française NF P94-074, sont des argiles moyennes à raides et cohérentes et selon la norme française NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979 sont consistantes, surconsolidées et moyennes à très compressibles. Les faibles résultats de la cohésion et de l'angle de frottement interne sont dû selon Bouhenouna, 2008 et Zouaoui, 2008 au faible pourcentage d'éléments fins et au fort pourcentage de sables et à la présence anormale d'eau. Les variations de ces paramètres œdométriques, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain (Hazmoune, 2008).

À partir des valeurs de la résistance de pointe minimale (16 à 90bars) nous préconisons des semelles superficielles ; soit semelles filantes ou semelles carrées. Les contraintes limites (q_L) et admissibles (q_{ad}) du sol sont pour la semelle filante de 487,11KN/m² pour $q_L(\min)$, de 1229,47KN/m² pour $q_L(\max)$, de 187,26KN/m² pour $q_{ad}(\min)$ et de 505,20KN/m² pour $q_{ad}(\max)$. Cependant, pour une semelle carrée, la valeur de $q_L(\min)$ est de 13,47KN/m², la valeur de $q_L(\max)$ est de 139.02KN/m², la valeur de $q_{ad}(\min)$ est de 75,98KN/m² et la valeur de $q_{ad}(\max)$ est de 222,79KN/m². La charge extérieur exercée par l'ouvrage courant est de 1.5 et 1.7bars et dans le ce cas la semelle ne peut pas supporter la charge extérieur exigée ($q_{ext} > q_{ad}$) et elle est donc non admissible.

Les valeurs des tassements (ΔH_i) enregistrées sont très élevées de 6.82 et 27.75cm pour une semelle filante et de 4.45 à 25.90cm pour une semelle carrée.

Selon Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003, le tassement est considéré admissible pour une fondation superficielle, reposant sur un sol argileux, s'il est inférieur à 5cm et ne présente pas de danger quand il est uniforme et de petites valeurs. Par contre il apparaît des fissures aux bâtiments courants lorsque ce tassement dépasse 5cm. Cependant les valeurs des tassements enregistrées dans ce site sont supérieures à 5cm, soit sous des semelles filantes ou semelles carrées et occupent la totalité de la région étudiée et les zones où ces tassements sont admissibles (< 5cm) sont minimales et occupent une surface réduite sur les cartes de variabilité spatiale (Khellaf et Hamimed, 2018b). De ce fait, les sols de la région de Mila présentent des variations de volume très importantes et ont une tendance de se tasser (Khellaf et Hamimed, 2018a,b,c) lorsque leur teneur en eau varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015), la difficulté du drainage des eaux de ces sols et le drainage de la nappe (Chettah, 2009) et à la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans les sols ; comme la smectite qui est très sensible au phénomène de retrait gonflement (Athmania, 2010). Ces variations de volume affectent le fonctionnement des fondations et des constructions en contact avec le sol et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c).

II-2-3- SITE D'EL KHERBA

Ce site, a été traité par deux études géotechniques ; l'une est faite par le Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction (LNHC) de Oum el Bouaghi pour le POS AU1 et l'autre est faite par le laboratoire de Aiche Géo-Sol (Sétif) pour le POS AU8. Ces deux organismes ont réalisé des essais in-situ (essais de pénétrations dynamiques et des sondages carottés) et des essais de laboratoire et donnent les résultats suivant :

II-2-3-1- Essais in situ

II-2-3-1-1- Sondages carottés

Les coupes ci-dessous (Fig.77 et Annexe) sont effectuées jusqu'à 20 m de profondeur. La nature lithologique détaillée des terrains traversés est résumée dans les tableaux et les coupes lithologiques ci-après.

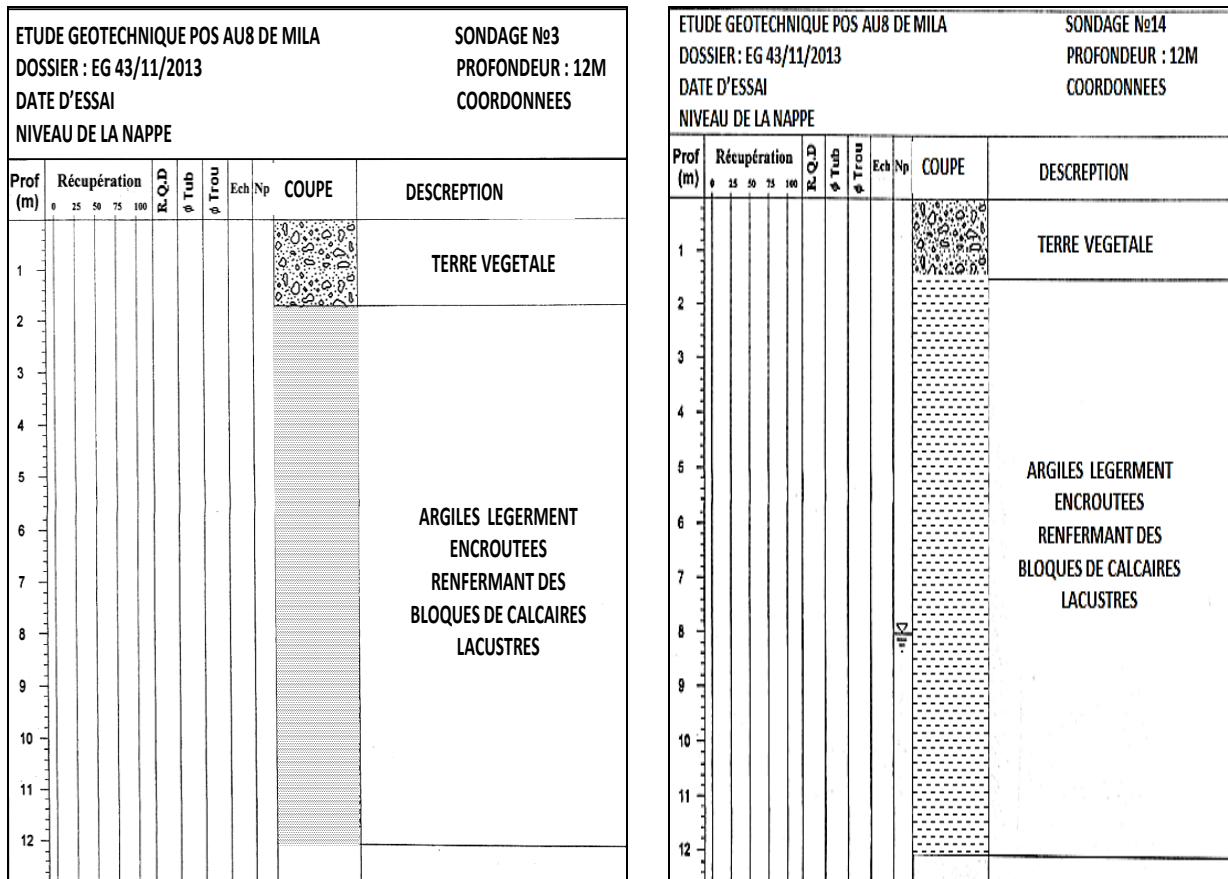


Fig.77 : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU8.

Les sols de la région d'El Kherba en général sont composés, à l'aide des sondages carottés, depuis la base jusqu'au sommet, d'une marne grise à verdâtre ou brune à rougeâtre, d'un aspect compact renfermant du gypse fibreux et des débris et blocs de calcaires lacustres de différentes tailles d'épaisseur allant de 2 à 7m. Ces marnes sont surmontées par une formation

argileuse de couleur grise et parfois noire renfermant des blocs calcaires lacustres et parfois du gypse fibreux sur une épaisseur variant de 1.5 à 7.5m, et puis le tout est surmonté par des terres arables d'épaisseur allant de 0 à 2m (Fig.78 et Tableau 16 et 17).

Ces caractéristiques lithologiques paraissent largement identiques à celles que nous avons rencontrées au niveau du terrain de la région de Marechau, qui se composent d'une argile grise surmontée d'argiles noires et de marnes grisâtres et le tout est surmonté par des terres arables.

Les deux tableaux ci-dessous résument les résultats d'analyses des quatre sondages carottés choisis de chaque POS.

Tableau 16 : Description comparative des sondages carottés du POS AU1 (LNHC, 2000).

SC1	SC5	SC11	SC19
0.0 à 0.90 m Terre végétale	0.0 à 2.00 m Terre végétale	0.0 à 1.50 m Terre végétale	0.0 à 0.50 m Terre végétale
0.90 à 2.0 m Argiles noires à gypse fibreux et débris de calcaires lacustres	2.00 à 4.60 m Argiles brunes à gypse fibreux et blocs calcaires lacustres	1.50 à 2.50 m Argiles noires à gypse fibreux et débris calcaires lacustres	0.50 à 6.0 m Argiles à gypse fibreux et débris calcaires lacustres
2.00 à 3.50 m Argiles grises à verdâtres à gypse fibreux et blocs calcaires lacustres	4.60 à 8.00 m Argiles beiges à gypse et à blocs calcaires lacustres	2.50 à 6.50 m Marnes grises à brunâtres à blocs calcaires lacustres	6.00 à 8.00 m Marnes beiges à blocs calcaires lacustres
	8.00 à 9.50 m Marnes brunes à gypse et blocs calcaires lacustres	6.5 à 12.00 m Marnes grises à verdâtres à blocs calcaires lacustres	8.00 à 10.00 m Marnes brune-rougeâtres
3.50 à 7.00 m Marnes grises à verdâtre à blocs calcaires lacustres			
7.00-16.00 m Marnes grises peu plastiques			
16.00-20.00 m Marnes brune-rougeâtres			

Tableau 17 : Description comparative des sondages carottés du POS AU8 (Aiche Géo-Sol, 2013).

SC1	SC3	SC7	SC4
0.0 à 1.80 Terre végétale	0.0 à 1.70 m Terre végétale	0.0 à 1.50 m Terre végétale	0.0 à 1.40 m Terre végétale
1.80 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris calcaires lacustres	1.70 à 12 m Argiles grises à brunâtres à débris calcaires lacustres	1.50 à 12 m Argiles grises à brunâtres à débris calcaires lacustres	1.40 à 10 m Argiles grises à brunâtres à débris calcaires lacustres

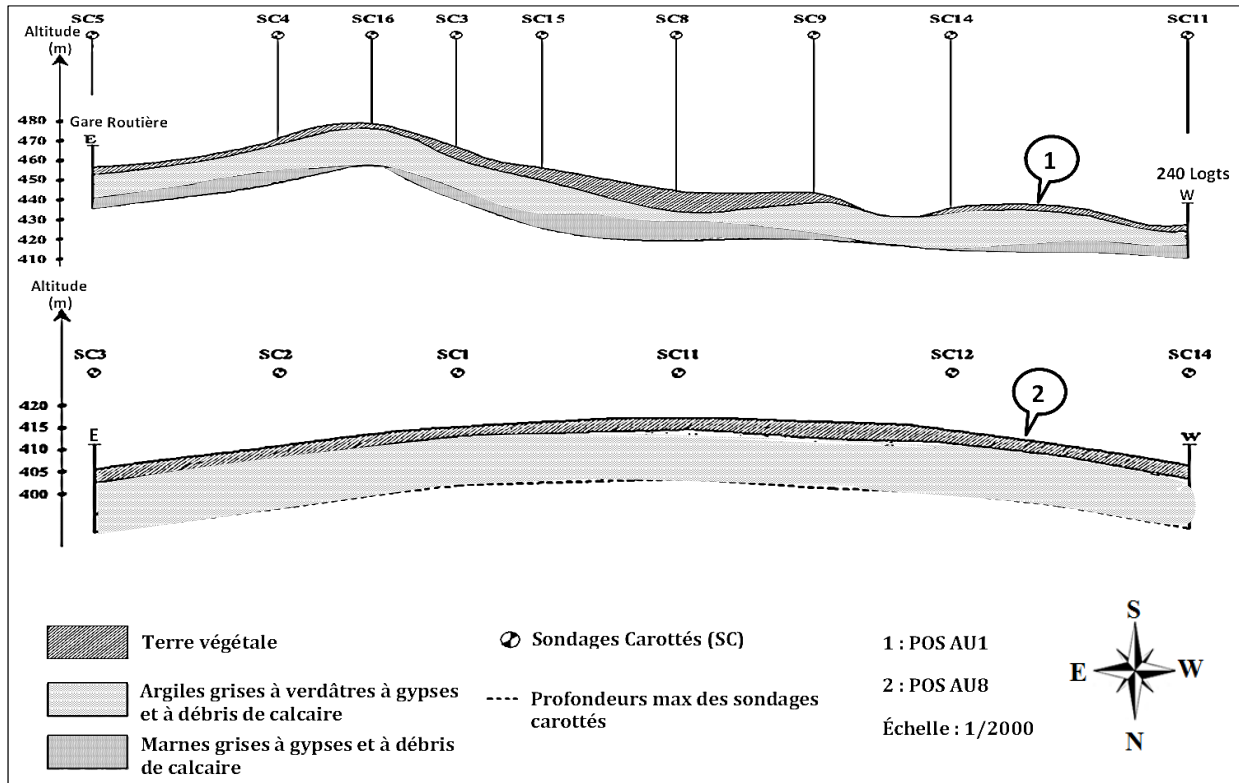


Fig.78 : Coupe géologique du site d'el Kherba à l'aide des sondages carottés (Khellaf, 2019).

II-2-3-1-2- Essais de pénétration dynamique

Les résultats obtenus de ces sols sont à la fois représentés sur des pénétrogrammes (Fig.79), regroupés dans un tableau en Annexe et représentés par les graphiques ci-après (Fig. 80, 81, 82 et 83).

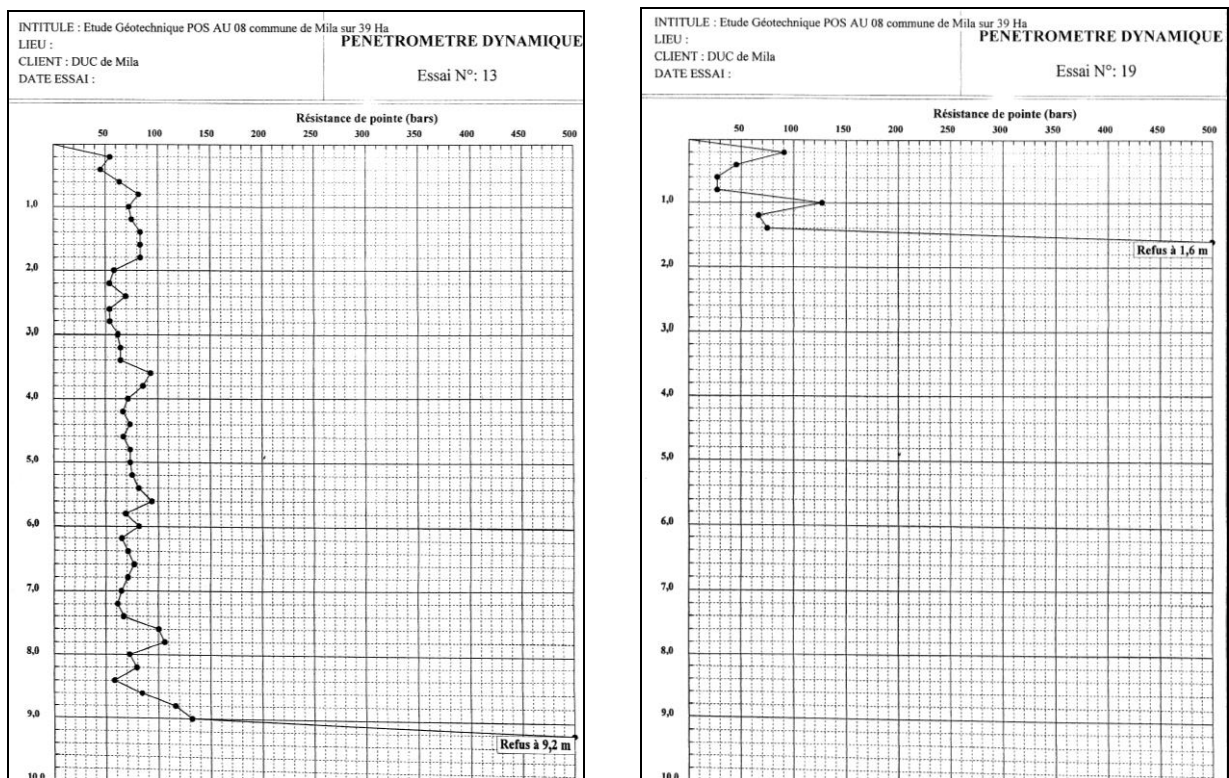


Fig.79 : Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU8.

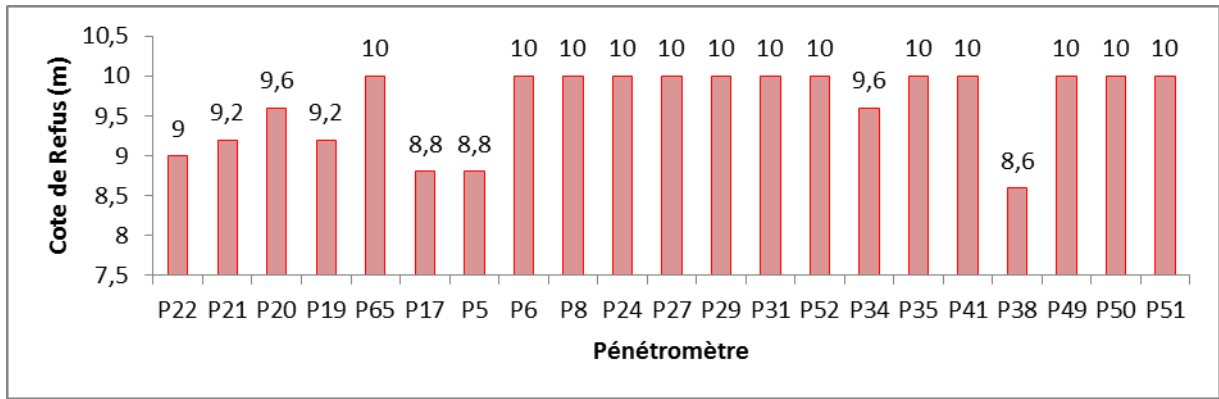


Fig.80 : Variation de la cote de refus du POS AU1.

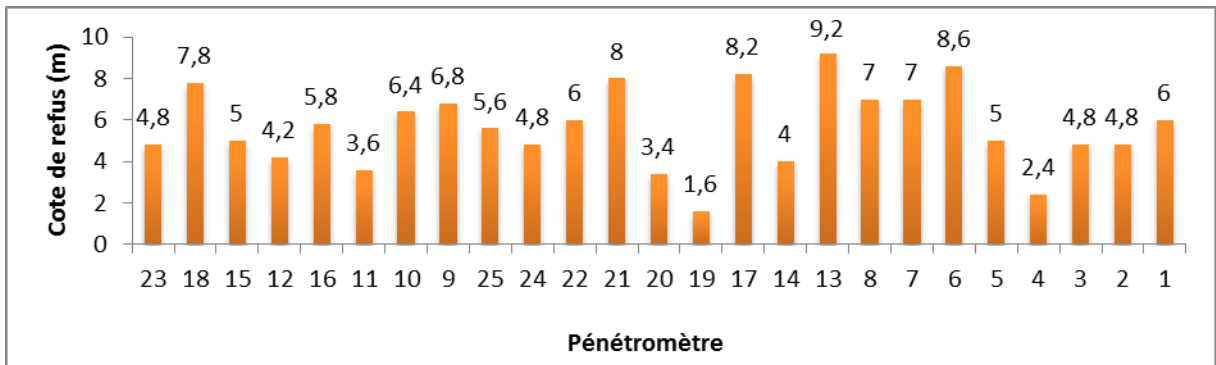


Fig.81 : Variation de la cote de refus POS AU8.

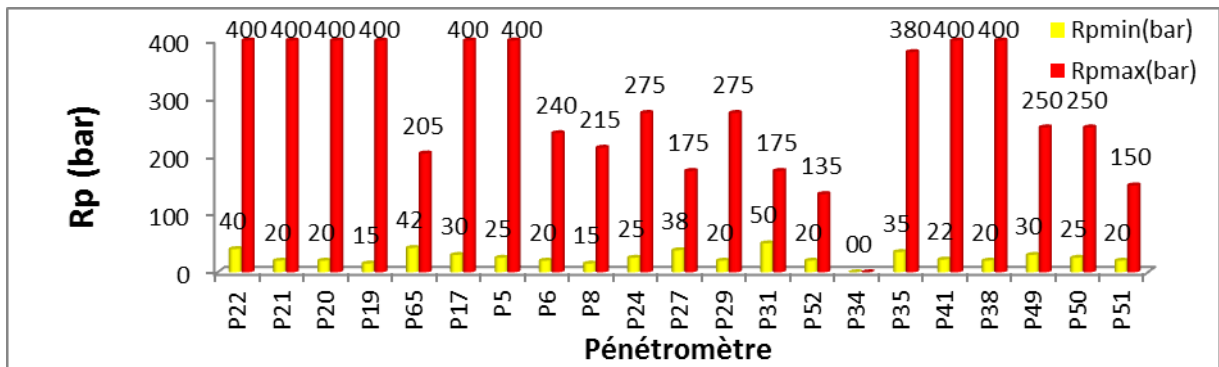


Fig.82 : Variation de la résistance de pointe au POS AU1.

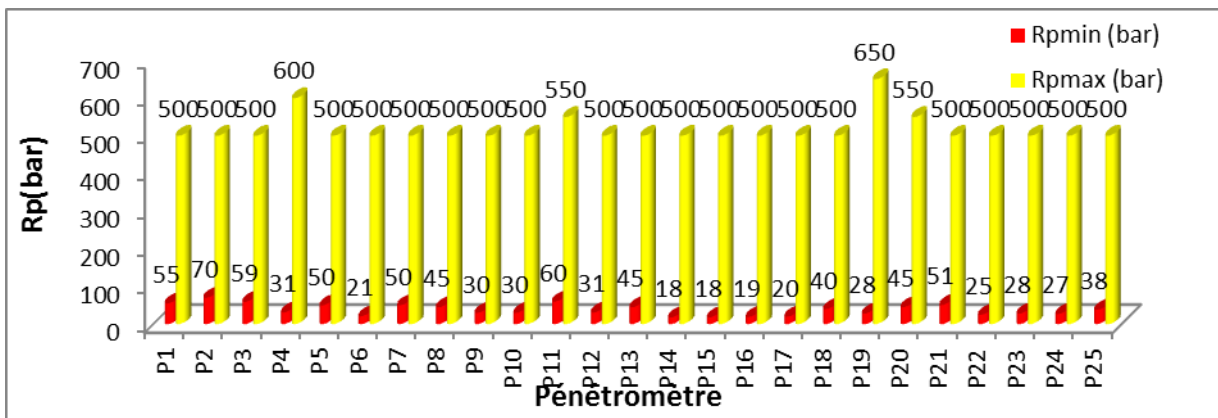


Fig.83 : Variation de la résistance de pointe au POS AU8.

L'analyse de ces graphiques laisse apparaître les constatations suivantes :

- 1- Pour les côtes de refus, les profondeurs enregistrées sont variées entre 3.4 et 9.2m (Annexe) pour la majorité des essais, sauf pour l'essai P19 et P4 où on marque une côte de refus de 1.6 et de 2.4m dans la partie Nord du site (POS AU8). Dans la partie Sud (POS AU1), la profondeur de la côte de refus jalonne de 8.6 à 10m pour l'ensemble des essais effectués (Fig.80 et 81).
- 2- Les courbes pénétrométriques de l'ensemble des essais implantés sur le terrain de la région d'El Kherba paraissent largement semblables (Annexe) et indiquent des valeurs de la résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) majoritairement moyennes. Dans la partie Sud, allant de 20 à 50bars, à l'exception des essais P8 et P19 qui affichent une faible valeur (15bars). Dans la partie Nord, la $R_{p_{min}}$ est de 30 à 50bars, à l'exception des essais P 6, 14, 15, 16, 17 qui indiquent de faibles résistances à la pénétration (Fig. 82 et Annexe). La résistance de pointe maximale enregistrée est élevée et varie de 200 à 650bars pour l'ensemble des essais (Annexe), à l'exception des sondages pénétrométriques, de la partie Sud, P31, P27, P51, P52 dont elle descend drastiquement jusqu'à 150bars (Fig. 83).

Ces résultats sont marqués dans les études géotechniques de la région de Marechau faite par le laboratoire LBM-Sol et Aiche Géo-Sol.

Donc les résultats de ces trois paramètres (de résistance de pointe et des refus) peuvent définir la présence de trois catégories de terrains dans la région d'El Kherba.

- Les premiers terrains présentent des valeurs de résistances de pointes plus élevées où nous enregistrons : $R_{p_{min}} > 70$ bars, $R_{p_{max}}$ atteint 650bars et une côte de refus qui descend de 9m de profondeur.
- La deuxième catégorie présente des valeurs de la résistance de pointe plus ou moins moyennes, soient ($175 < R_{p_{max}} < 200$ bars) et ($40 < R_{p_{min}} < 70$ bars) et une côte de refus allant de 5 à 7m
- La troisième catégorie des terrains présente des valeurs de résistances de pointe faibles ($15 < R_{p_{min}} < 30$ bars et $R_{p_{max}} < 150$ bars) et par conséquent une côte de refus comprises entre 1.6 à 2.4m.

De ce fait, ces résultats sont dû, d'une part, à la présence des blocs de calcaires lacustres de dimensions ou de tailles différentes enveloppés dans la matrice argileuse et repartis d'une façon anarchique dans le sous-sol du site étudié (LBM-Sol, 2014 et Aiche Géo-Sol, 2013) ce qui stoppe l'avancement des outils de forage (Zouaoui, 2008) et fausser par conséquence des faibles résultats. D'autre part, la présence d'eau augmente et les fluctuations de la nappe le degré de saturation du sol et le rend lâche par la suite (LBM-Sol, 2014).

II-2-3-2- Essais de laboratoire

Les figures et les tableaux ci-après regroupent les résultats obtenus de ces essais :

II-2-3-2-1- Essais physiques

a- Teneur en eau (w) et le degré de saturation (Sr) (NF P94-050)

Les résultats obtenus de ces deux analyses sont regroupés dans les tableaux (Annexe) et représentés sur les deux figures (Fig. 84) ci-après :

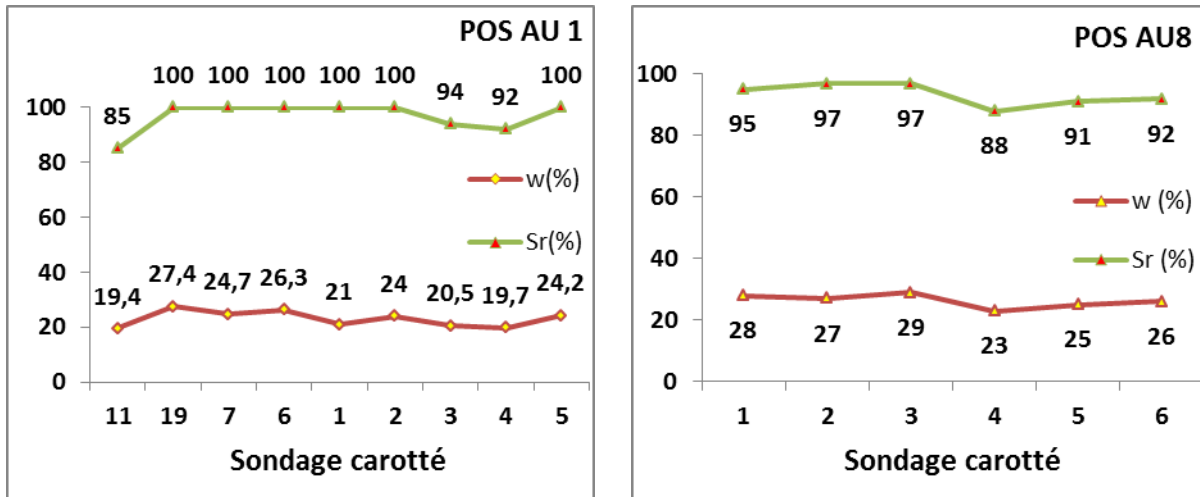


Fig.84 : Variation de w et Sr dans le sol du site d'El Kherba.

Ces deux graphiques présentent un degré de saturation du sol (Sr) à des valeurs très importantes (81 à 100%) et une teneur en eau (w) moyenne à faible (15.5 à 35.7%). Les mêmes résultats enregistrés par l'étude géotechnique du site de 300 logements (Marechau) faite, d'une part, par le laboratoire des travaux publics de l'Est où il a mentionné des valeurs de degré de saturation comprises entre 87.31 et 100% et des valeurs de teneur en eau comprises entre 18.72 et 31.25% ; et d'autre part, par les deux laboratoires LBM-Sol et Aiche Géo-sol, qui ont examinés les sols de la région de Marechau où ils ont trouvé des valeurs de 85.99 à 99.97% pour le degré de saturation et de 13.63 à 29.85% pour la teneur en eau.

D'après ces résultats on peut classer les matériaux analysés comme argiles moyennes à raides très saturées en eau (NF P 94-050, Philipponnat, 1979 et Cordary, 1994), avec un état hydrique légèrement humide à humide (Philipponnat et Hubert, 2003 et FAER).

b- Densité humide (γ_h) et la densité sèche (γ_d) (NF P 94-053)

Les résultats obtenus de ces deux analyses sont regroupés dans les deux tableaux ci-dessous (Tableau 18 et 19) :

Tableau 18 : Résultats d’analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU8 (Aiche Geo-Sol, 2013).

SC	Profondeur (m)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	SC	Profondeur (m)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)
1	2.0-2.50	1.53	1.92	9	7.0-7.50	1.62	1.98
4	3.0-3.50	1.59	1.98	11	3.5-4.50	1.60	1.96
7	5.0-5.50	1.55	1.87	14	9.0-9.50	1.70	2.07

Tableau 19 : Résultats d’analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés du POS AU1 (LNHC, 2000).

SC	Profondeur (m)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	SC	Profondeur (m)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)
1	1.50-2.00	1.55	1.98	7	1.5-2.0	1.62	2.05
	2.80-3.00	1.54	1.97		2.7-3.0	1.68	2.03
	4.10-4.80	1.69	2.07		7.1-7.4	1.50	2.04
	7.20-8.00	1.74	2.09	10	1.0-5.0	1.57	1.99
	14-14.50	1.65	2.05		5.0-10	1.67	2.07
	17.0-18.0	1.77	2.13		3.0-6.0	1.62	2.02
4	1.50-2.00	1.62	2.07	18	6.0-10	1.67	2.06
	4.50-5.00	1.67	2.08		20	2.0-5.0	1.61
	9.60-10.0	1.70	2.04	5.0-8.0		1.62	2.05

D’après ces deux tableaux, qui regroupent les résultats d’analyse des échantillons du sol argileux de la région d’El Kherba, la densité humide est de 1.92 à 2.13t/m³ et la densité sèche est de 1.51 à 1.85t/m³ (LNHC, 2001 et Aiche Géo-Sol, 2013). Les mêmes résultats sont donnés par l’étude géotechnique du site des 300 logements faite par le laboratoire des travaux publics qui présente des valeurs de 1.87 à 2.11t/m³ pour γ_h et de 1.43 à 1.77t/m³ pour γ_d et sont donnés aussi par les études géotechniques de la région de Marechau où les valeurs ont donné de 1.88 à 2.18t/m³ pour la densité humide et de 1.48t/m³ à 1.92t/m³ pour la densité sèche (LBM-Sol et Aiche Géo-Sol).

Donc, ces résultats permettent de classer les matériaux analysés comme argiles (NF P94-053, Philipponnat, 1979 et Costel & Sanglerat, 1981), denses (Hazmoune, 2008) et présentent un comportement plus ou moins compact (Philipponnat & Hubert, 2003).

c- Analyse granulométrique par tamisage (NF P94-056)

Les résultats obtenus de cette analyse sont récapitulés dans le tableau ci-après (Tableau 20) et sur les courbes granulométriques (Fig.85 et Annexe).

Tableau 20 : Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol d'El Kherba (LNHC, 2001).

SC	Prof. (m)	$\Phi < 2\text{ mm}$	$\Phi < 2\ \mu$	SC	Prof. (m)	$\Phi < 2\text{ mm}$	$\Phi < 2\ \mu$
1	1.50-2.0	84	22	8	02.5-5.0	100	29
	2.8-3.00	81	14		5.0-10.0	100	47
	4.1-4.80	99	26	9	01.0-5.0	94	33
	07.2-8.0	96	26		5.0-10.0	100	29
	14-14.5	100	38	10	01.0-5.0	100	45
	17-18.0	100	37		5.0-10.0	100	40
3	2.0-2.30	98	37	16	4.0-4.50	100	48
	7.5-7.70	52	10	18	03.0-6.0	98	43
	10.5-10.9	100	43		6.0-10.0	99	29
5	04.6-5.3	66	14	19	02.0-6.0	100	49
	7.70-8.4	84	22		08.0-9.0	100	47
13	3.50-4.0	100	50	20	02.0-5.0	100	44
14	3.50-4.0	100	54		05.0-8.0	100	48

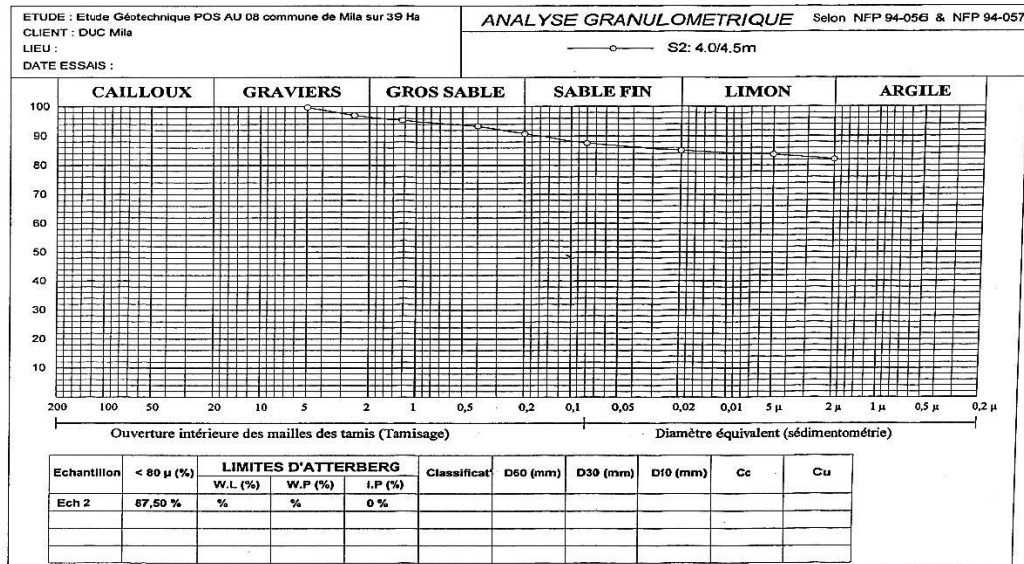


Fig.85 : Courbe granulométriques des sols du POS AU8.

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols de la région d'el Kherba montrent un pourcentage très élevé et remarquable des éléments fins qui atteint pour la majorité des échantillons un taux de 100% avec un taux considérable (50%) des éléments à diamètres inférieurs à 2 μ (argiles) et un faible pourcentage d'éléments grossiers (sables et graviers) de 0 à 2% (LNHC, 2001) (Tableau 20). La représentation de ces résultats sur l'abaque semi-logarithmique (Annexe) a donné des courbes granulométriques de coefficient Cu variant de 1 à 3 (NF P94-056).

D'après ces résultats on marque que les sols constituant le terrain de cette partie de Mila (El Kherba), représentent un taux supérieur à 50% des éléments fins (LCPC, Afes &

Didier, 2000, Hazmoune, 2008, Khellaf et *al.*, 2015 et Khellaf et Hamimed, 2018a,c), sont à peu près tous de même taille ce qui donne des courbes à granulométrie uniforme et étalée (NF P94-056) et selon les classifications données, ces sols sont des argiles ou des argiles limoneuses (Philipponnat, 1979, Costet & Sanglerat, 1981 et NF P 94-056).

Selon Zebouchi, (2008), ces constituants (les sables fins, les silts et les argiles) sont généralement le siège de nombreux mouvements de terrains et leur instabilité augmente encore plus en présence d'eau.

d- Limites d'Atterberg (NF P94-051)

Les résultats obtenus de ces analyses sont représentés dans le tableau en Annexe et sur les deux figures ci-dessous (Fig.86 et 87) :

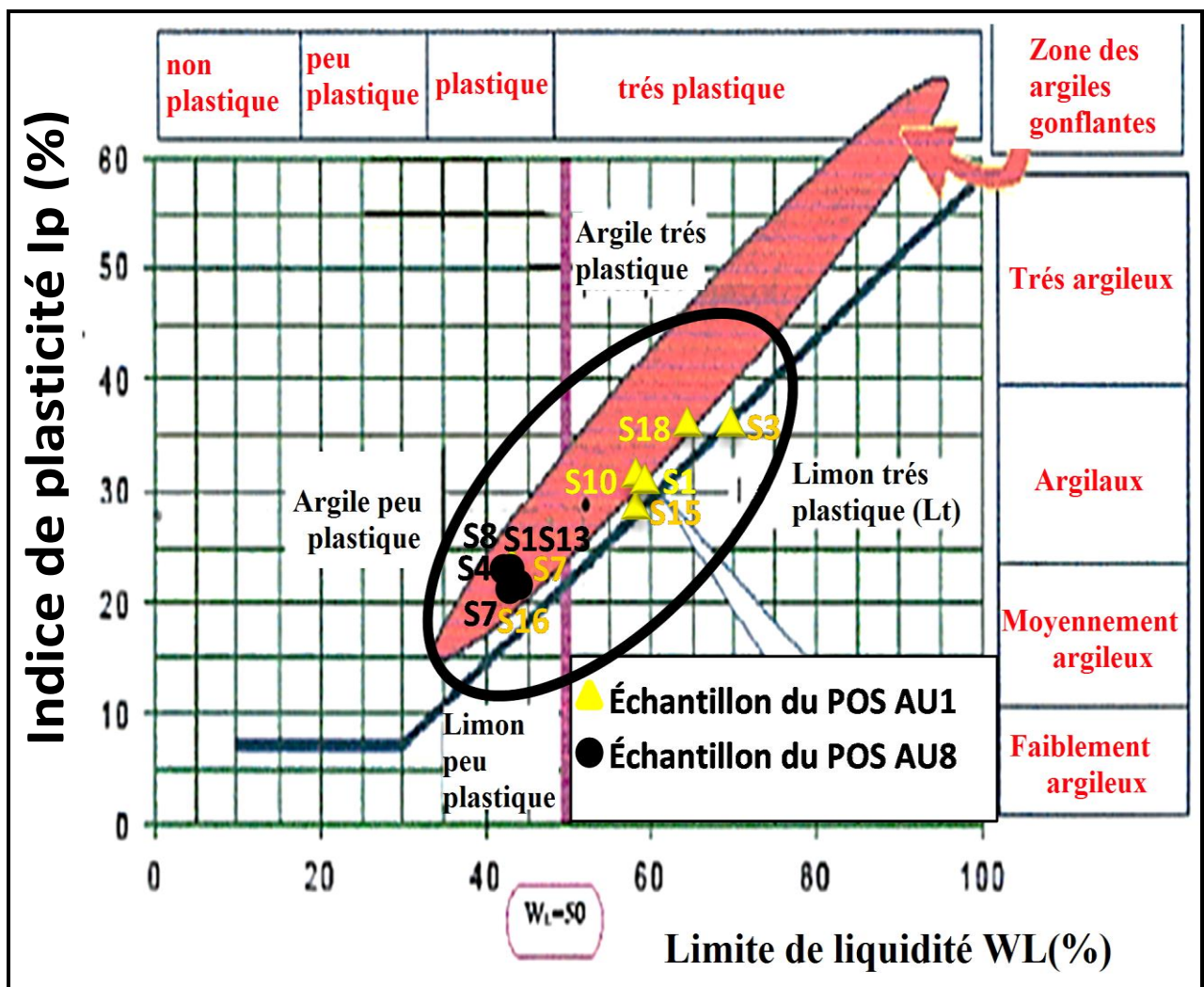


Fig.86 : Position des sols d'El Kherba dans le diagramme de plasticité de Casagrande.

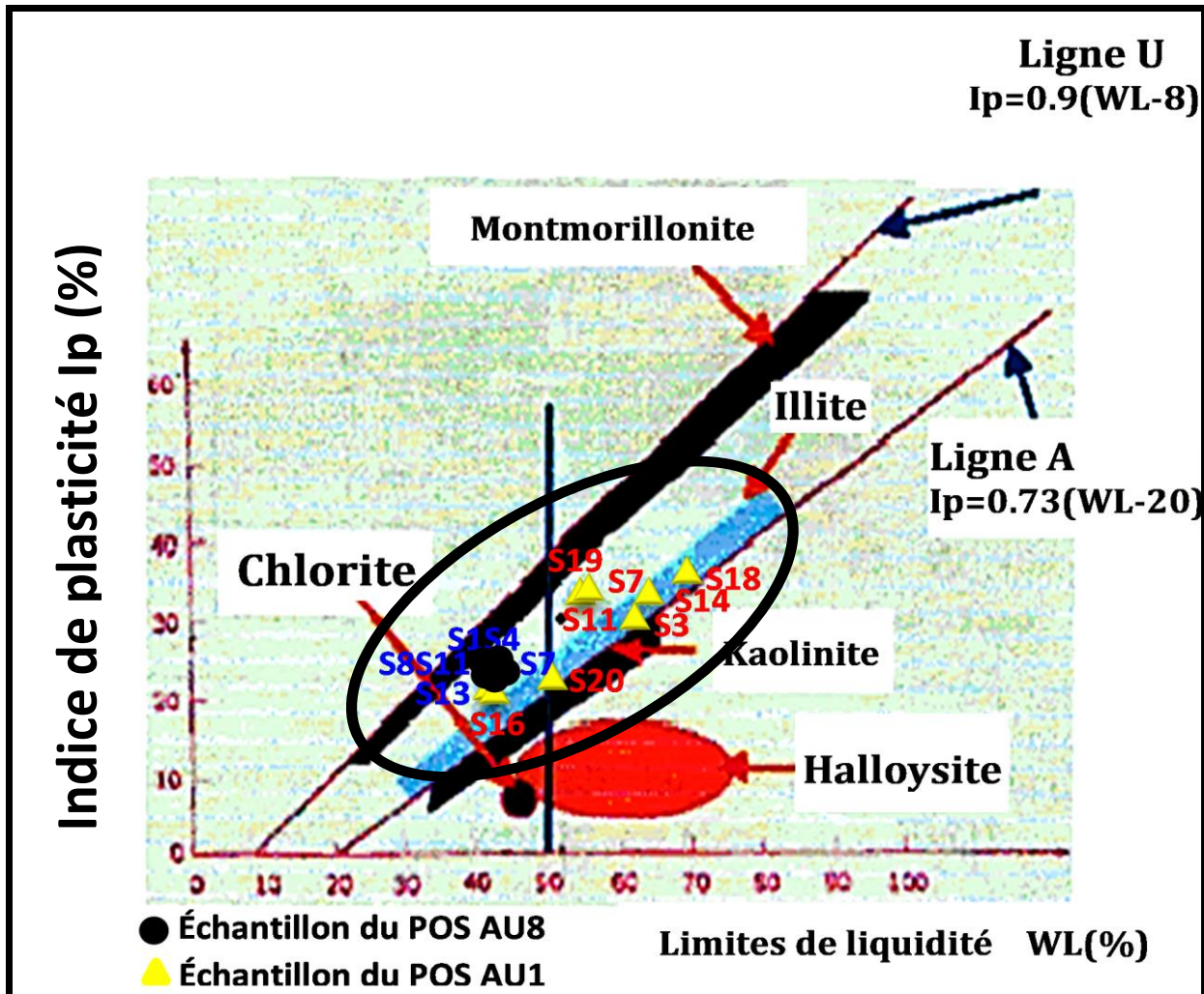


Fig.87 : Position des sols d'El Kherba dans l'abaque de plasticité de Casagrande.

La représentation des résultats obtenus de l'essai des limites d'Atterberg sur le diagramme et l'abaque de Casagrande ci-dessus en fonction de « W_L » (42.81 à 70%) et « I_p » (21 à 37%) (Aiche Geo-Sol et LNHC), montre que les argiles examinées sont, d'une part, positionnées au-dessus de la ligne A, sur le diagramme de Casagrande (Fig.86) et sont comprises entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande (Fig.87) et d'autre part, elles sont, dans l'ensemble, peu plastiques (AP), de pourcentage (50%) à très plastiques (AT) de pourcentage (50%) (Fig.86) et appartient aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite Montmorillonite et Kaolinite) (Fig.86) (Khellaf et *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c). Ces résultats sont aussi marqués, avec certaines différenciations, dans l'analyse des sols du site de Marechau et de l'Université.

Selon Derriche et *al.*, (1999), le sol de cette partie de la région étudiée présente des grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité, ce qui montre l'état de surconsolidation et de dessiccation de ces sol. Ce constat est en accord avec les valeurs élevées enregistrées pour l'indice de compacité (>1) (Annexe) pour la plupart des valeurs, et pour la

densité sèche supérieures (>1.5). Les valeurs des limites d'Atterberg (Annexe) sont assez grandes que les normes et ces argiles sont alors gonflantes (Komornik & *al.*, 1969, Dakshanamurthy & *al.*, 1973, Hazmoune, 2008, Khellaf & *al.*, 2015, Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

Selon Zouaoui (2008), si la teneur en eau du milieu se rapproche de la limite de liquidité (WL), le sol passe de l'état plastique à l'état liquide. En fonction de sa composition chimique, une eau d'imbibition peut, par action électrolytique, modifier la structure de certaines argiles par floculation ou défloculation du milieu colloïdale. Ce phénomène correspond à un ramollissement, ainsi, le passage d'une montmorillonite sodique à une montmorillonite calcique s'accompagne d'un accroissement de consistance du milieu.

II-2-3-2-2- Essais mécaniques : Triaxial (NF P94-071-1) et Oedomètre (NF P94-090-1)

Les résultats obtenus de ces deux essais sont récapitulés dans les tableaux suivants (Tableau 21) et en Annexe :

Tableau 21 : Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) (LNHC, 2001 et Aiche Géo-Sol, 2013).

POS AU8							POS AU1						
SC	Prof. (m)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)	SC	Prof. (m)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)
1	2-2.5	1.86	24.38	2.61	0.32	10.82	2	1.8-2	1.84	0.178	0.092	0.67	19
2	4-4.5	2.00	21.86	2.54	0.30	09.32		3.1-4	2.13	0.093	0.057	0.45	16
4	3-3.5	1.80	23.62	3.07	0.35	11.68	4	1.5-2	3.19	0.215	0.091	0.57	20
6	2-2.5	2.01	25.38	3.77	0.37	09.83		4.5-5	2.21	0.127	0.074	0.59	25
7	5-5.5	1.70	22.87	2.61	0.39	10.17		9-10	1.29	0.211	0.129	1.1	16
9	7-7.5	1.80	21.61	2.38	0.33	12.78	8	2.5-5	1.94	0.218	0.078	0.36	22
11	3-4.5	1.93	32.37	2.92	0.30	08.82	13	3.5-4	2.37	0.199	0.076	0.27	23
13	6-6.5	2.05	32.37	2.77	0.37	09.18	14	3.5-4	2.40	0.203	0.063	0.25	23
14	9-9.5	1.84	24.38	3.31	0.36	08.30	16	4-4.5	1.73	0.100	0.090	0.71	32

Les échantillons argileux, prélevés des deux parties Nord (POS AU8) et Sud (POS AU1), soumis à l'essai triaxial et à l'essai de compressibilité à l'oedomètre montrent que l'ensemble des échantillons soumis à l'essai triaxial de type consolidé non drainé (CU) présentent un angle de frottement interne (ϕ) de l'ordre de 8.30° à 32° et des valeurs de cohésion interne (C) de 0.13 à 0.71bar (<1bar), sauf pour le SC3 et SC7, de la partie Sud du site d'El Kherba (POS AU1), qui présentent des valeurs de C de 1.1 et 1.4 bar (Tableau 21). Une contrainte de préconsolidation (σ_c) présente des valeurs comprises entre 1.15 et 3.19bar (Tableau 21). Un coefficient de compressibilité (Cc) présente des variations remarquables de 0.10 à 0.32 (Tableau 21). Un indice de gonflement (Cg) présente des valeurs élevées de 0.018 à 0.187 (Tableau 21).

Ces résultats sont marqués aussi au niveau du site de Marechau.

Donc, les résultats obtenus témoignent que tous les faciès analysés sont des argiles moyennes à raides et cohérentes, (NF P94-074, Costel & Sanglerat, 1981) et présentent une cohésion interne faible et un angle de frottement interne moyen qui est dû à la proportion élevée des sables fins par rapport à celle des argiles (Khellaf & Bitat, 2006, Bouhenouna, 2008, Hazmoune, 2008, et Khellaf, 2009). Selon Zouaoui, (2008), la présence anormale d'eau dans le sol peut provoquer la chute de ces caractéristiques en général et l'accroissement aussi de la teneur en eau entraînant un accroissement progressif de sa déformabilité sous une charge.

Les résultats d'essai œdométrique, ont montré un sol de type argiles raides (Costel et Sanglerat, 1981) consistant, surconsolidé et moyen à très compressible (NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979). Selon Hazmoune, (2008), la variation de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain cité ci-dessus.

II-2-3-2-3- Calcul des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire

Les sondages pénétrométriques nous donnent des valeurs de résistance de pointe minimale de 15 à 70bars. À partir de ces résultats on préconise des semelles superficielles (semelles filantes ou semelles carrées). Le calcul des tassements de ces se fait en fonction de conceptions montrées dans la partie théorique et les résultats obtenus sont regroupés dans les deux tableaux ci-dessous (Tableau 22 et 23) et sont interpolés sous forme des cartes de répartition spatiale (Fig.88 et 89) ci-après :

Tableau 22 : Résultats de calcul des tassements des sols du POS AU1.

SC	q ₀ (KN/m ²)	Semelle filante			Semelle carrée		
		q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)	q _L (KN/m ²)	q _{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)
SC1	39,6	417,880	206,49	17,48	625,810	693,010	7,710
SC2	41.0	494,450	219,35	13,46	1095,38	1149,91	13,17
SC3	41.0	1234,35	514,95	13,40	506,940	610,440	8,490
SC4	41,4	399,310	168,90	17,83	1252,11	1287,91	10,08
SC5	39,4	1027,57	412,50	11,70	1 022,74	1092,72	18,50
SC6	40.0	723,440	307,48	19,42	672,810	739,150	13,57
SC7	41.0	683,670	330,02	24,33	947,090	1049,22	12,96
SC8	42.0	1620,72	676,57	15,51	1235,73	1372,07	10,86
SC9	39,8	1574,31	657,10	13,70	691,810	824,150	8,190
SC11	40,8	363,290	164,62	13,30	808,560	852,080	17,31
SC13	40,6	722,780	295,06	18,06	712,330	766,460	15,78
SC14	38,2	680,560	277,79	05,15	661,200	712,130	10,56
SC16	44,2	2329,72	842,87	13,21	3551,31	3617,61	10,70
SC17	39,6	579,670	246,02	14,02	698,000	750,800	17,33
SC18	40,4	1459,75	622,32	14,37	777,650	913,38	6,840
SC19	39,6	1739,63	699,28	13,66	1069,50	1188,90	5,770
SC20	40,6	1585,74	637,25	15,15	557,530	666,200	4,58

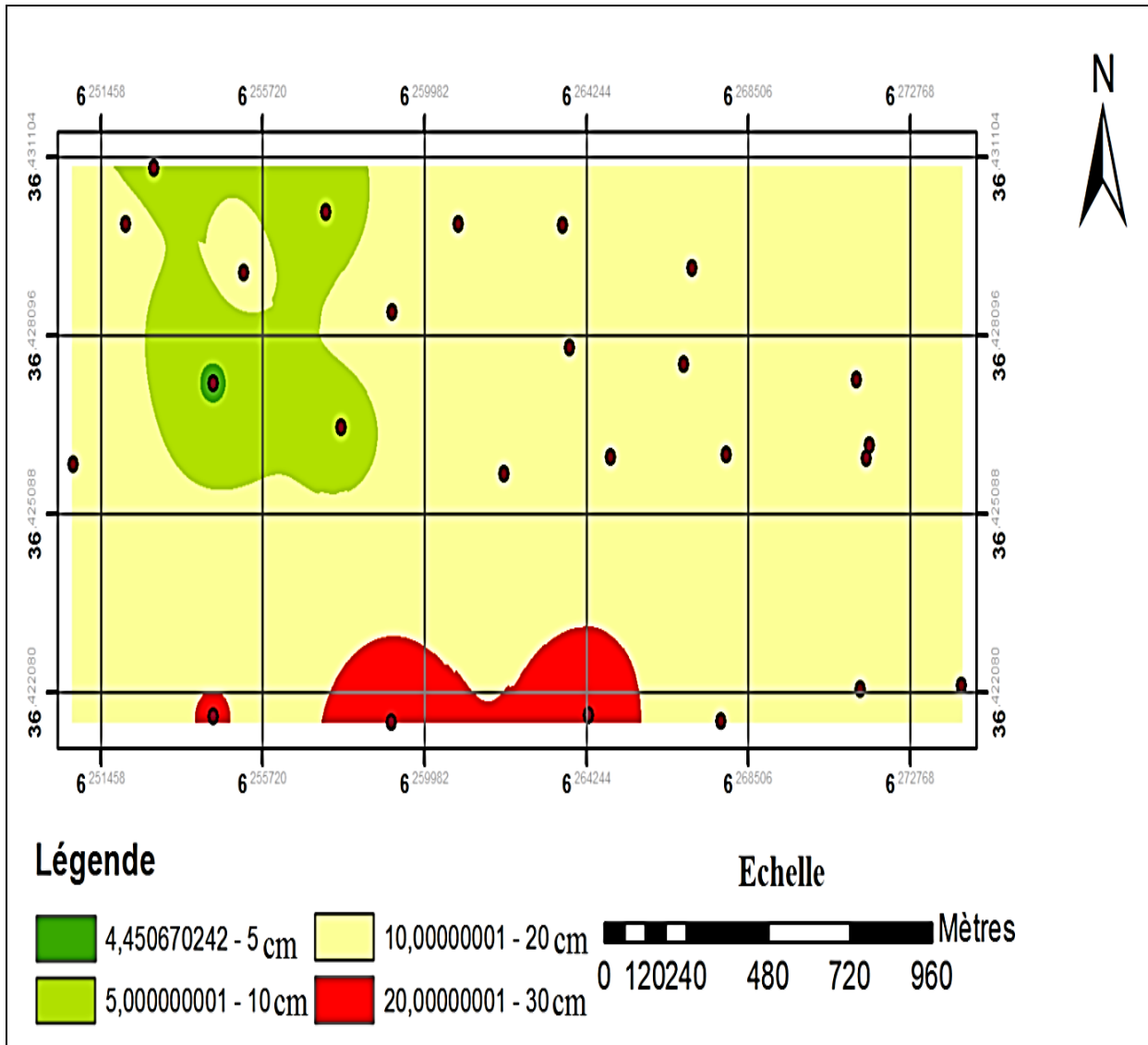


Fig. 88 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée (Khellaf et Hamimed, 2018a,c).

Tableau 23 : Résultats de calcul des tassements des sols du POS AU8.

SC	q_0 (KN/m ²)	Semelle filante			Semelle carrée		
		q_L (KN/m ²)	q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)	q_L (KN/m ²)	q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)
SC1	38,4	272,64	304,64	11,54	59,90	51,970	06.61
SC2	38.0	267,2	324,2	3,29	56,16	75,720	13.03
SC4	39,6	284,28	330,48	10,75	65,52	68,040	05.42
SC6	39.0	414,34	446,84	06,81	82,52	60.000	04.18
SC7	37,4	401,60	470,17	03,03	129,19	111,630	08.37
SC8	40,6	286,96	347,86	10,13	61,77	81,490	04.01
SC9	39,6	281,16	380,16	02,95	61,77	119,590	07.49
SC11	39,2	274,16	332,96	04,53	56,16	77,520	19.42
SC13	38.0	278,12	360,45	04,74	69,26	105,42	13.60
SC14	41,4	296,28	427,38	15,67	67,39	153,56	04.53

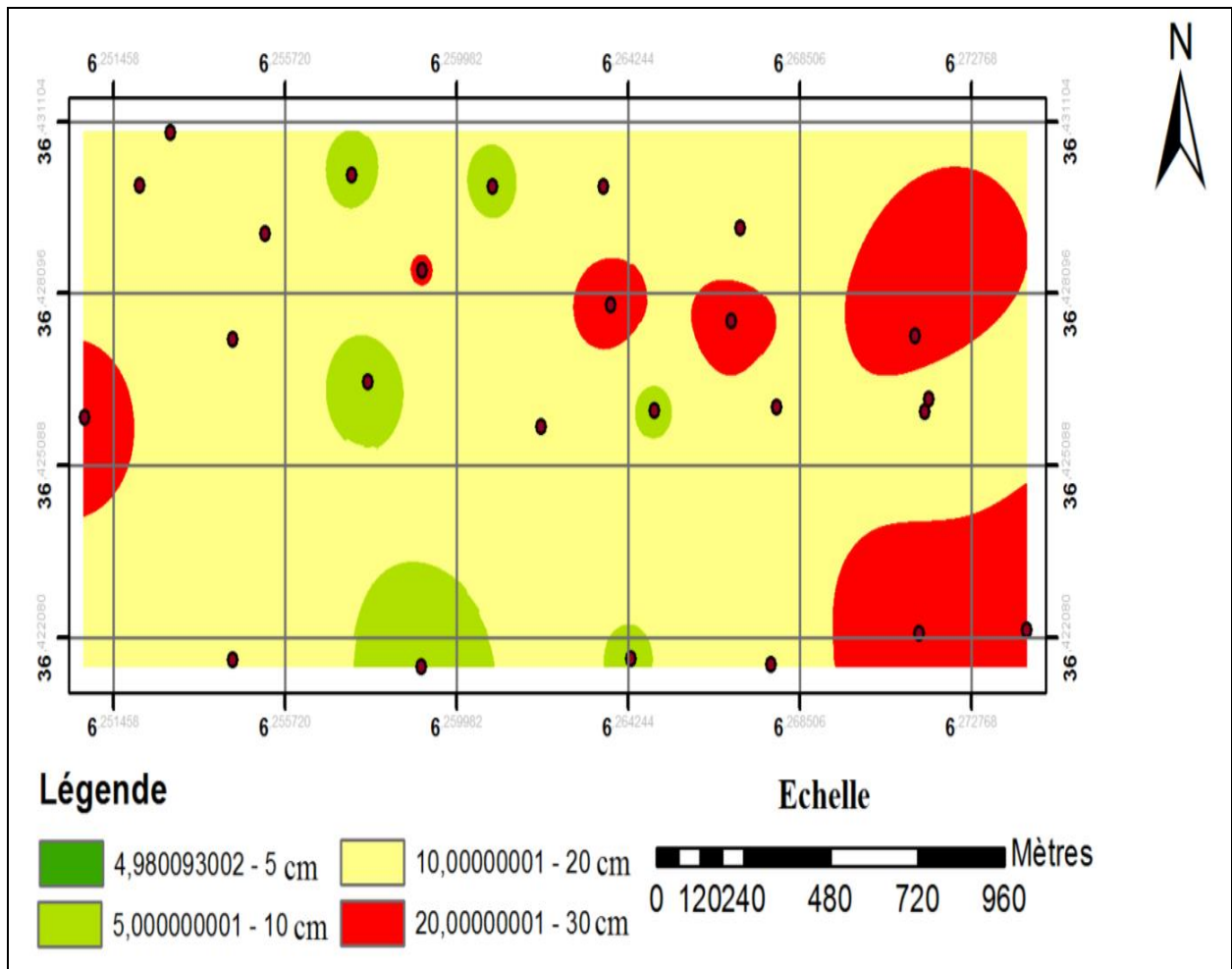


Fig. 89 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante (Khellaf et Hamimed, 2018a,c).

Les résultats de calculs de la contrainte limite (q_L) et la contrainte admissible (q_{ad}) du sol, sachant que la contrainte naturelle (q_0) du sol de site d'El Kherba est comprise entre 37.4 et 44.2KN/m² (Tableau 22 et 23), la nappe dans le cas le plus défavorable se trouve à une profondeur de 2m et l'ancrage des fondations est aussi à 2m. Pour une semelle filante, où il n'y pas d'influence de la forme de la semelle et il y a une influence de la nappe, la contrainte limite minimale est de 267.2KN/m², la contrainte limite maximale est de 1739.67KN/m², la contrainte admissible minimale est de 164,62KN/m² et la contrainte admissible maximale est de 842.87KN/m². Par contre, pour une semelle carrée, où il y a l'influence de la forme de semelle et l'influence de la nappe, la contrainte limite minimale est de 56.16KN/m², la contrainte limite maximale est de 1252,11KN/m² ce qui influe négativement sur la contrainte admissible ; où on enregistre une valeurs de $q_{ad}(\min)$ de 51.97KN/m² et $q_{ad}(\max)$ est de 1287,91KN/m² (Tableau 22 et 23). Dans ce cas, $q_{ext} > q_{ad}$ et la semelle ne peut pas supporter la charge extérieure exigée par les deux laboratoires (1 à 1.8bars). Elle est donc, non admissible.

Les valeurs des tassements (ΔH_i), caractérisant le site d'El Kherba sont très élevées et jalonnent entre 3.29 et 24.33cm pour une semelle filante et de 4.18 à 19.42cm pour une semelle carrée où σ_c comprise entre 115 et 319 KN/m² et σ_{vo} comprise entre 46.70 et 209.78KN/m² (Tableau 22 et 23). L'interpolation et la représentation de ces valeurs sur les cartes de variabilité spatiale (Fig.88 et 89) montrent que la majorité des sols de cette région présente une variation de volume très importante et que ces sols ont une tendance de se tasser. Ces tassements sont supérieurs à 5cm soit sous des semelles filantes ou des semelles carrées et occupent la totalité de la région étudiée. Les zones où ces tassements sont inférieurs à 5cm sont minimales et occupent une surface réduite sur les cartes (Fig.88 et 89). Les mêmes valeurs de ce paramètre, tassements, sont enregistrées aussi au niveau du site de Marechau avec 6.82 et 27.75cm pour une semelle filante et de 4.45 à 25.90cm pour une semelle carrée (Khellaf et *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

De ce fait, selon Forni, 1981, Seuls les tassements différentiels entre les appuis peuvent avoir des conséquences dangereuses et l'expérience montre qu'une structure peut supporter des tassements différentiels de l'ordre 1/300 de la distance entre les appuis. Dans tous les cas, pour les bâtiments courants, il apparaît des fissures lorsque le tassement différentiel dépasse 5cm. Le tassement d'un bâtiment ne présente, en général, pas de danger quand il est uniforme et de petites valeurs (admissible).

Le tassement est considéré admissible pour une fondation superficielle, reposant sur un sol argileux, s'il est inférieur à 5cm (Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003). Mais les valeurs des tassements enregistrées soit sous une semelle filante ou carrée dans notre site sont majoritairement supérieures à 5cm. Donc ces tassements ne sont pas admissibles et doivent être vérifiés la stabilité des fondations (Khellaf et Hamimed, 2018a,c)..

Les sols d'el Kherba présentent des variations de volume très importantes (Khellaf et *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c) lorsque leur teneur en eau varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015), la difficulté du drainage des eaux de ces sols et le drainage de la nappe provoque un tassement de ces sols (Chettah, 2009). Aussi la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans ces sols, comme la smectite ce qui peut se manifester par des tassements des fondations (Athmania, 2010). Ces variations de volume affectent le fonctionnement des fondations et des constructions en contact avec le sol et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009, Khellaf et *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

II-2-3-3- Synthèse

Le site d'El Kherba forme la plus grande extension de la ville de Mila et se situe à l'Est de la région étudiée. Il s'étend sur une superficie de 139ha et se caractérise lithologiquement par d'argiles et de marnes à gypse et blocs de calcaires lacustres et une pente forte (8 à 14 %) de direction Nord-Sud. Ces caractéristiques forment des agents principales de l'altération et de l'érosion des terrains et par conséquent le creusement des chaabats au sein de ces formations. Les analyses du sol de ce site montrent que :

1- Les différents essais in situ permettent à la fois de mettre en évidence les couches susceptibles de recevoir les fondations. Les sondages carottés permettent de récolter des échantillons à des fins des analyses au laboratoire, de connaître la nature lithologique des sols traversés ainsi que d'établir des coupes géologiques. Les sols traversés par ces sondages carottés sont en général composés, depuis la base jusqu'au sommet :

- Des marnes grises à verdâtres renfermant du gypse fibreux et blocs de calcaires lacustres.
- Une formation argileuse grise et parfois noire renfermant des débris de calcaires lacustres et du gypse.
- Des terres arables.

Les essais de pénétration dynamique, nous donnent des courbes pénétrométriques paraissent largement semblables. L'analyse de ces courbes à donner une profondeur des côtes de refus variées de 3.4 à 10m, une résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) majoritairement moyenne de 20 à 50 bars et une résistance de pointe maximale ($R_{p_{max}}$) élevée de 200 à 650 bars. D'après ces résultats on peut définir aussi trois catégories de terrains dans la région d'El Kherba comme dans le site de Marechau.

- La première catégorie présente des valeurs de la résistance de pointe minimale et maximale plus élevées ($R_{p_{min}} > 70\text{bars}$, $R_{p_{max}}$ atteint 650bars et une côte de refus de 10m de profondeur).
- La deuxième présente des valeurs moyennes de résistance de pointe ($175 < R_{p_{max}} < 200\text{bars}$ et $40 < R_{p_{min}} < 70\text{bars}$) et une côte de refus allant de 5 à 7m.
- La troisième catégorie présente des faibles valeurs de résistance de pointe ($15 < R_{p_{min}} < 30\text{bars}$ et $R_{p_{max}} < 150\text{bars}$) et une côte de refus faible de 1.6 à 2.4m.

D'après LNHC, 2001, Aiche Géo-Sol, 2013 et LBM-Sol, 2014, ces résultats sont en relation directe de la présence et la répartition anarchique des blocs calcaires lacustres dans le sous-sol du site et à la présence d'eaux qui augmente le degré de saturation du sol et par la suite le rend lâche, selon Zouaoui, 2008.

2- Les échantillons testés aux différents essais de laboratoire (Fig.90) ont donné une teneur en eau (w) moyennes à faibles (15.5 à 35.7%), un degré de saturation (Sr) variant de 81 à 100%, une densité humide de 1.92 à 2.13t/m³ et une densité sèche de 1.51 à 1.85t/m³. D'après ces résultats, les matériaux analysés sont des argiles moyennes à raides très saturées en eau (Philipponnat, 1979 et Cordary, 1994), légèrement humide à humide (FAER et NF P94-050) et présentent un comportement plus ou moins compact (Philipponnat & Hubert, 2003 et NF P94-053).

L'analyse granulométrique de ces sols présente un taux très élevé d'éléments fins (atteint 100% pour la majorité des échantillons), un taux considérable (50%, LCPC) d'argiles et un faible pourcentage (0 à 2%) d'éléments grossiers de sables et graviers. Les courbes granulométriques résultantes sont d'allure uniforme et étalée (Cu variant de 1 à 3). Ces composants en présence d'eau sont le siège de nombreux mouvements de terrains dans la région étudiée (Zebouchi, 2008) et selon les classifications données dans la bibliographie, ces sols sont d'argiles ou d'argiles limoneuses (Philipponnat, 1979, Costet & Sanglerat, 1981 et NF P94-056).

Les résultats obtenus de l'essai des limites d'Atterberg sont de 42.81 à 70% pour W_L et de 21 à 37% pour I_p (Aiche Geo-Sol et LNHC). La représentation de ces deux paramètres sur le diagramme et l'Abaque de Casagrande positionnent les argiles examinées au-dessus de la ligne A sur le diagramme de Casagrande et entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande. Cette position reflète que ces argiles sont peu plastiques (AP) de 50% à très plastiques (AT) de 50% et appartient aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite, Montmorillonite et Kaolinite) (Khellaf et Hamimed, 2018a,c).. Ces résultats sont assez grandes que les normes (NF P 94-051) et les argiles étudiées sont gonflantes selon Komornik & al., 1969, Dakshanamurthy & al., 1973, Khellaf et al., 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,c)..

L'essai triaxial de type consolidé non drainé (CU) présente, dans l'ensemble, un angle de frottement interne (ϕ) de l'ordre de 8.30° à 54° et une cohésion interne (C) de 0.13 à 1.4bar. Ces faibles résultats sont dus à la proportion élevée des sables fins par rapport à celle des argiles (Bouhenouna, 2008 et Zouaoui, 2008). L'essai de compressibilité à l'œdomètre donne une contrainte de préconsolidation (σ_c) de 1.15 à 3.19bars, un coefficient de compressibilité (Cc) de 0.10 à 0.32% et un indice de gonflement (Cg) de 0.018 à 0.187. Ces résultats témoignent que les faciès analysés, sont d'argiles moyennes à raides et cohérentes, (NF P94-074 et Costel & Sanglerat, 1981), consistantes, surconsolidées, moyennes à très compressibles et à potentiel de

gonflement moyen à fort (NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979) et selon Hazmoune 2008, les variations de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain étudié.

Le site d'El Kherba est caractérisé par une résistance de pointe minimale de 15 à 70bars. A partir de cela nous préconisons des fondations superficielles ; soit semelles filantes ou carrées. Pour les semelles filantes, la contrainte limite minimale est de 267.2 KN/m^2 et la contrainte limite maximale est de 1739.67 KN/m^2 et la contrainte admissible minimale est de $164,62 \text{ KN/m}^2$ et la contrainte admissible maximale est de 842.87 KN/m^2 . Par contre, pour les semelles carrées, la contrainte limite minimale est de 56.16 KN/m^2 et la contrainte limite maximale est de $1252,11 \text{ KN/m}^2$, la contrainte admissible minimale est de 51.97 KN/m^2 et la contrainte admissible maximale est de $1287,91 \text{ KN/m}^2$. La charge extérieure (q_{ext}) exigée pour le sol de ce site est de 1 à 1.8bars. Dans ce cas, les semelles filantes ne peuvent pas supporter cette charge ($q_{\text{ext}} > q_{\text{ad}}$) et elles sont donc, non admissibles. Cependant, les semelles carrées peuvent supporter ces charges ($q_{\text{ext}} < q_{\text{ad}}$) et elles sont donc, admissibles (Khellaf et Hamimed, 2018a,c)..

Les valeurs des tassements (ΔH_i) sont très élevées, sont de 3.29 à 24.33cm pour les semelles filantes et de 4.18 à 19.42cm pour une semelle carrée. D'après Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003, le tassement est considéré admissible pour une fondation superficielle s'il est inférieur ou égal à 5cm. Cependant, les résultats obtenus sont majoritairement supérieurs à 5cm et occupent la totalité de la région étudiée sur les cartes de variabilité spatiale et les zones où ces tassements sont inférieurs à 5cm, elles sont minimales et occupent une surface réduite sur ces cartes (Khellaf & Hamimed, 2018a,c).

Donc, les tassements des sols de ce côté ne sont pas admissibles et doivent être vérifiés la stabilité des fondations. Seuls les tassements différentiels entre les appuis peuvent avoir des conséquences dangereuses aux ouvrages ce qui traduit par la fissuration des bâtiments et des constructions individuelles installées dans le site étudié (Khellaf et al., 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c)..

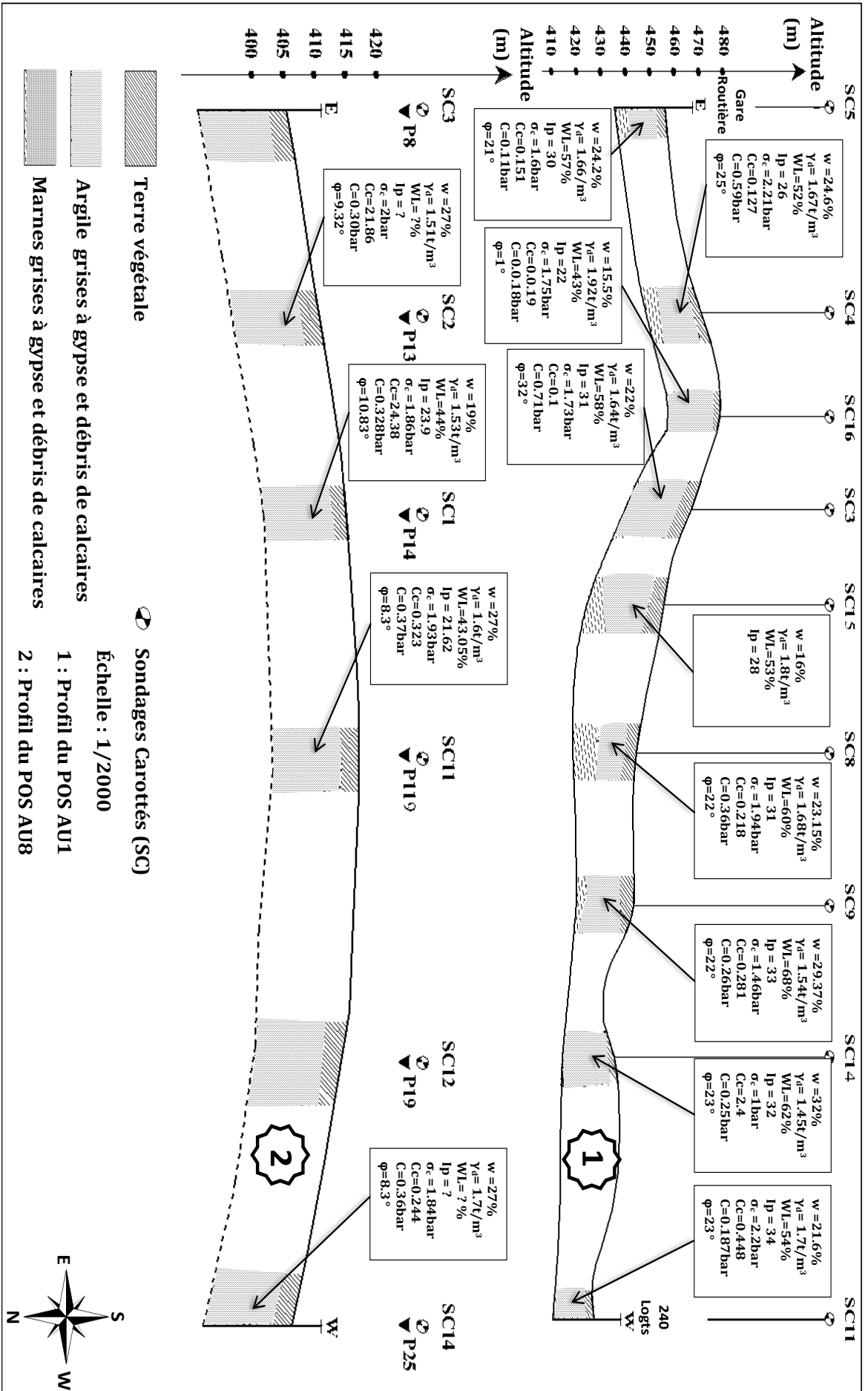


Fig.90 : Profils géotechniques synthétiques du site d'El Kherba (Khellaf, 2019).

II-2-4- SITE DE L'UNIVERSITE

Cette partie de la région étudiée est traitée par une étude géotechnique faite par le laboratoire de géologie et de géotechnique (LGG) de Sétif, qui a été réalisé des essais de sondages carottés, des essais de pénétration dynamique et des essais de laboratoire pour compléter l'étude géologique de ce site.

II-2-4-1- Essais in situ

II-2-4-1-1- Sondages carottés

Les deux tableaux et les coupes ci-dessous (Fig.91 et Annexe) qui sont effectuées à 10m de profondeur et sont résumés la nature lithologique détaillée de couches traversées :

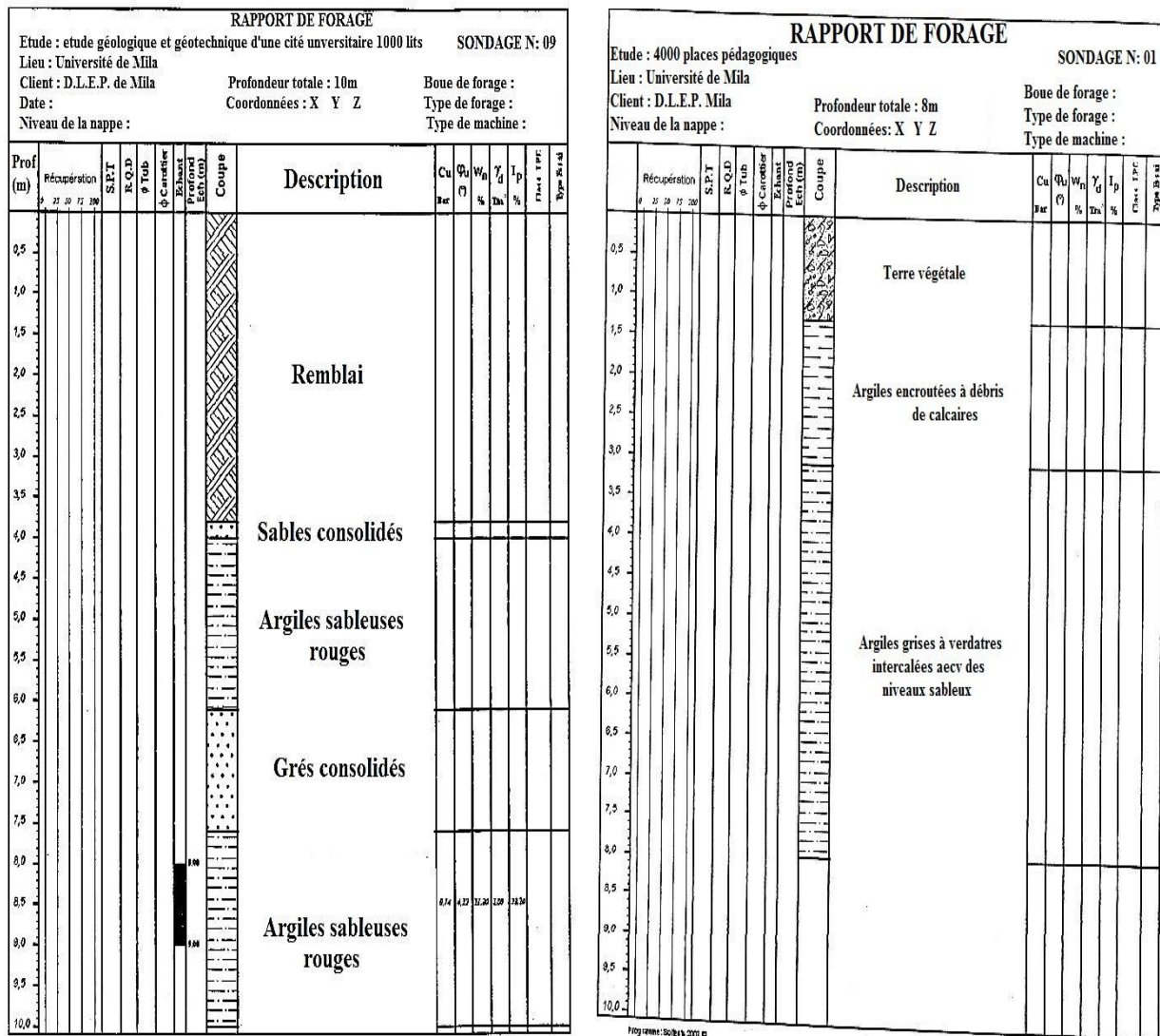


Fig.91 : Coupes lithologiques des sondages carottés du site de l'Université.

Ces essais nous permettent, d'une part, de déterminer avec précision la nature lithologique du sol qui est composé, en général, d'une argile grise à verdâtre ou des argiles

sableuses rouges intercalées par des niveaux gréseux d'épaisseur variant de 1.30 à plus de 10m à la base. Ces argiles sont surmontées par des argiles beiges encroutées ou des bancs de grés plus ou moins consolidés et le tout est surmonté par des terres arables (0 à 0.1.50m) (Tableau 24 et 25). D'autre part, d'établir des coupes géologiques longitudinales à travers le site (Fig.92). Ces caractéristiques lithologiques sont différentes à celles que nous avons rencontrées au niveau du terrain de la région d'El Kherba et de Marechau.

Les deux tableaux ci-dessous résument les descriptions de quatre sondages carottés choisis de chaque site.

Tableau 24 : Description comparative des sondages carottés du site des 4000 P.P (LGG, 2010).

SC1	SC6	SC8	SC4
0.0 à 1.30 Terre végétale	0.0 à 0.65 m Terre végétale	0.0 à 1.50 m Terre végétale	0.0 à 0.65 m Terre végétale
1.30 à 3.10 m Argiles beiges encroutées	0.65 à 5.50 m Argiles beiges encroutées	1.50 à 2.50 m Argiles beiges encroutées	0.65 à 1.30 m Argiles beiges encroutées
3.10 à 8.0 m Argiles grises à verdâtres intercalées par des niveaux gréseux	5.50 à 8.0 m Argiles grisâtres consistantes alternées par des niveaux gréseux	2.50 à 8.00 Argiles beiges grisâtres	1.30 à 7.20 m Argiles variées colorées

Tableau 25 : Description comparative des sondages carottés du site des 1000 lits (LGG, 2011).

SC1	SC3	SC9	SC6
0.0 à 1.30 Terre végétale	0.0 à 2.60 m Terre végétale	0.0 à 3.80 m Remblai	0.0 à 4.10 m Remblai
1.30 à 10.0 m Argiles sableuses rouges très consistantes	2.60 à 10.0 m Argiles sableuses rouges très consistantes	3.80 à 4.00 m Grés (sables consolidés)	4.10 à 10.0 m Argiles rouges
		4.00 à 10.0 m Argiles sableuses rouges intercalées par des bancs de sables (1.30m) et à passage de calcite	

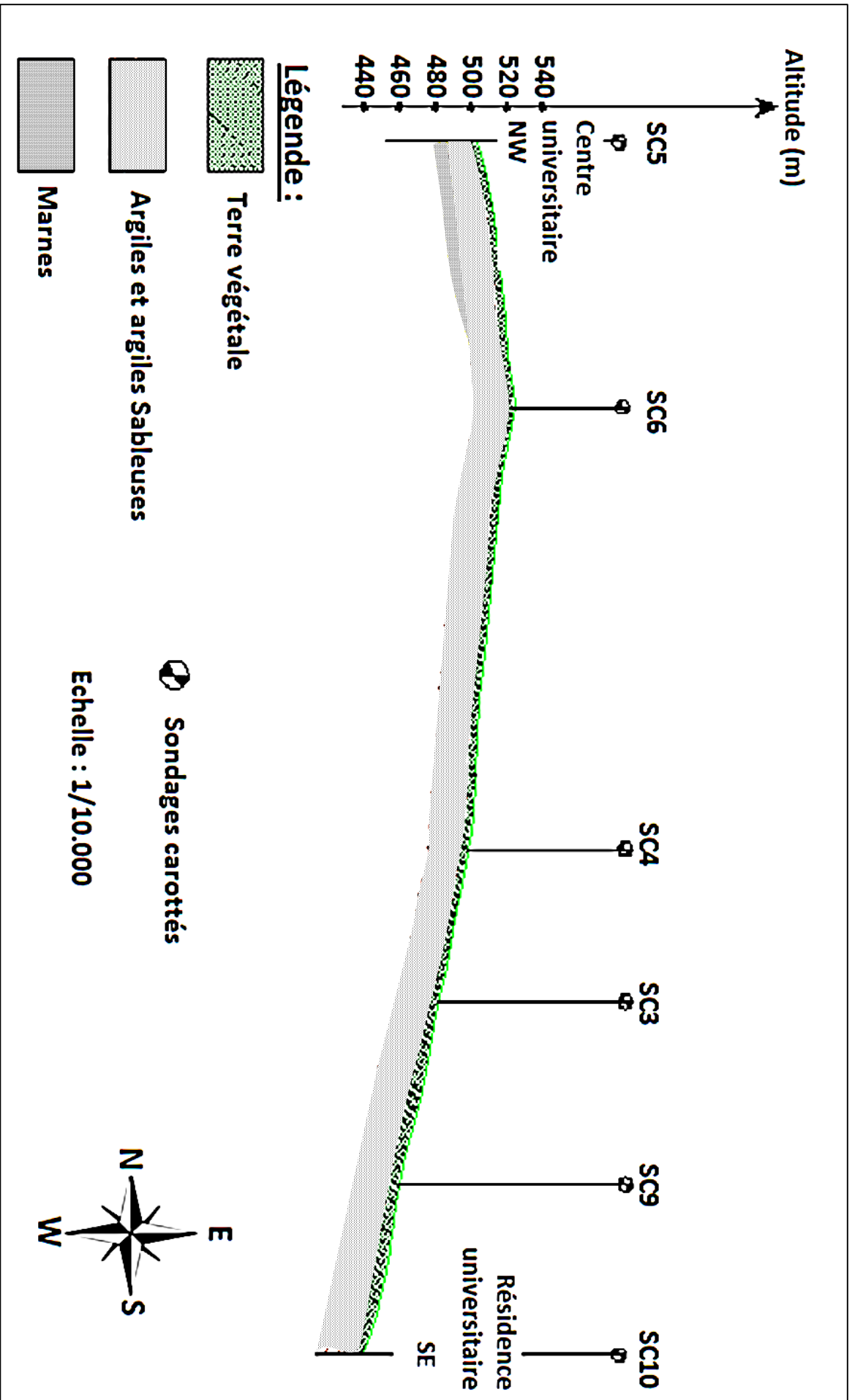


Fig.92 : Coupes géologiques du site de l'Université à l'aide des sondages carottés (Khellaf, 2019).

II-2-4-1-2- Essais de pénétration dynamique

Les résultats obtenus de ces analyses sont à la fois représentés sur des pénétrogrammes (Fig.93), regroupés dans un tableau en Annexe et représentés par les graphiques ci-après (Fig.94, 95 et 96).

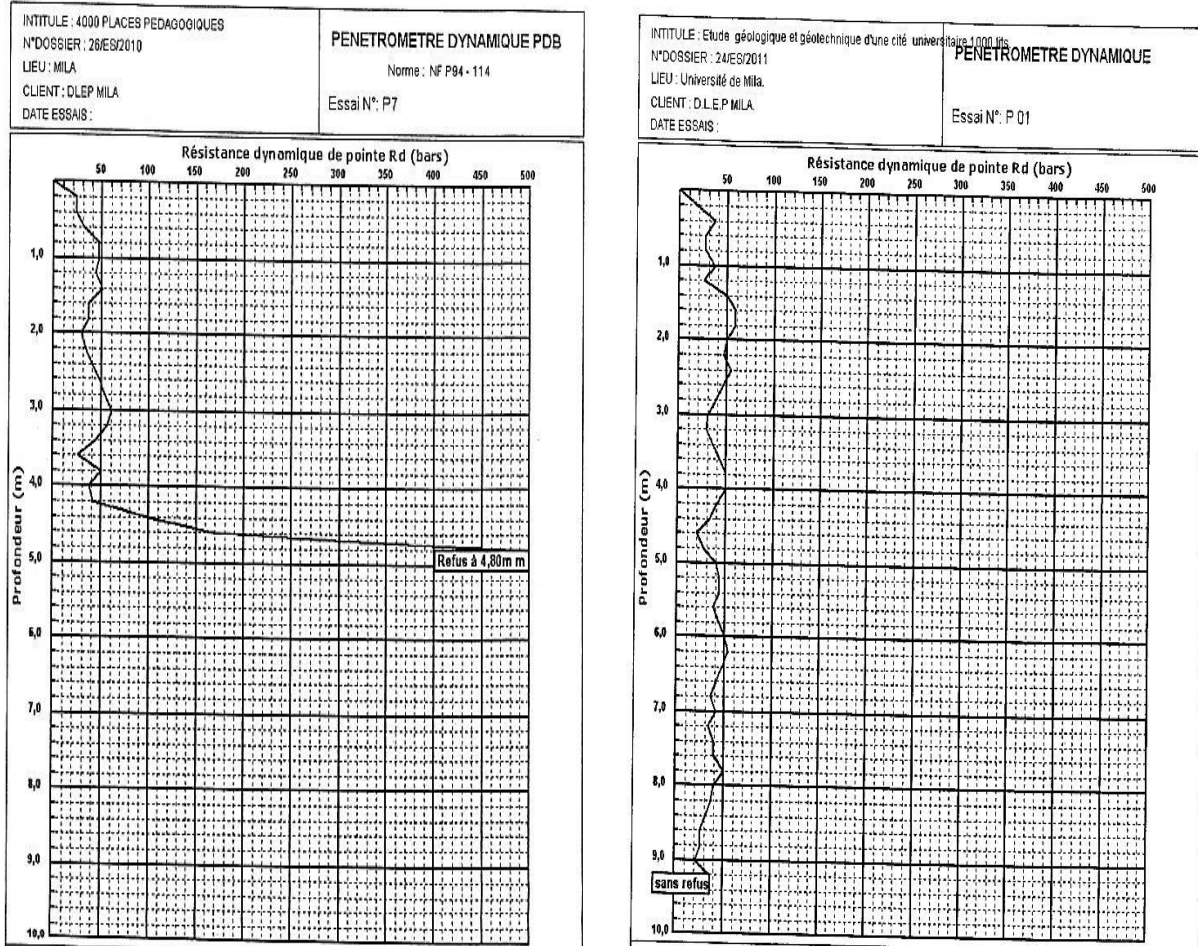


Fig.93 : Pénétrogrammes de l'essai DPT des sites de l'Université.

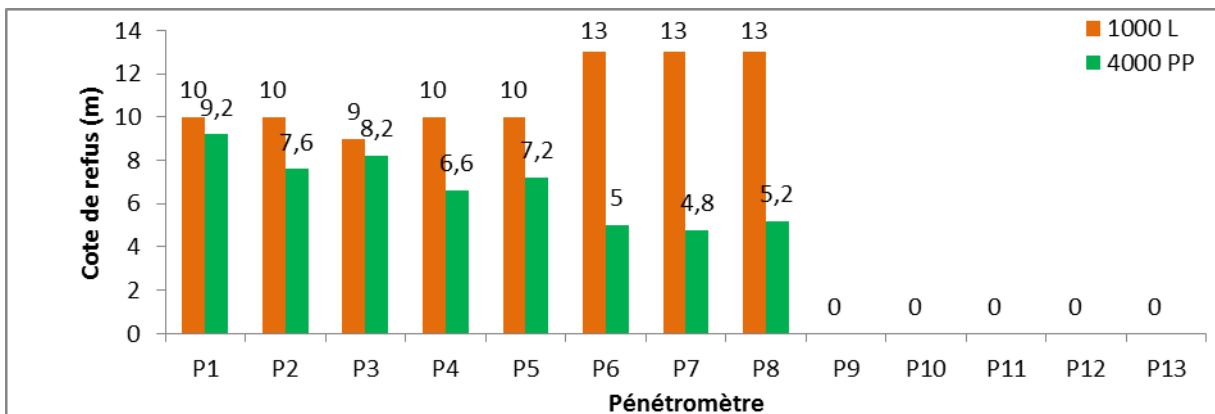


Fig.94 : Variation de la cote de refus au sein des deux sites de l'Université.

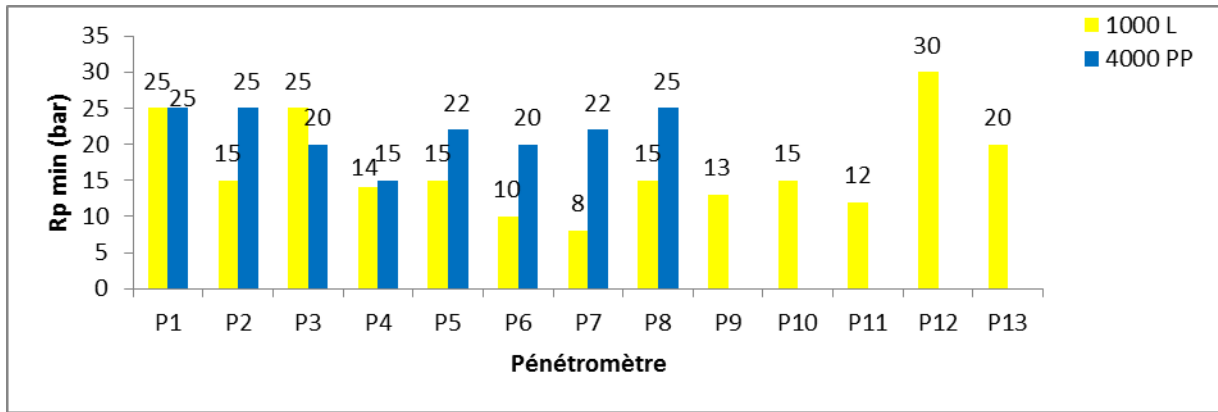


Fig.95 : Variation de la résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) au sein des deux sites de l'Université.

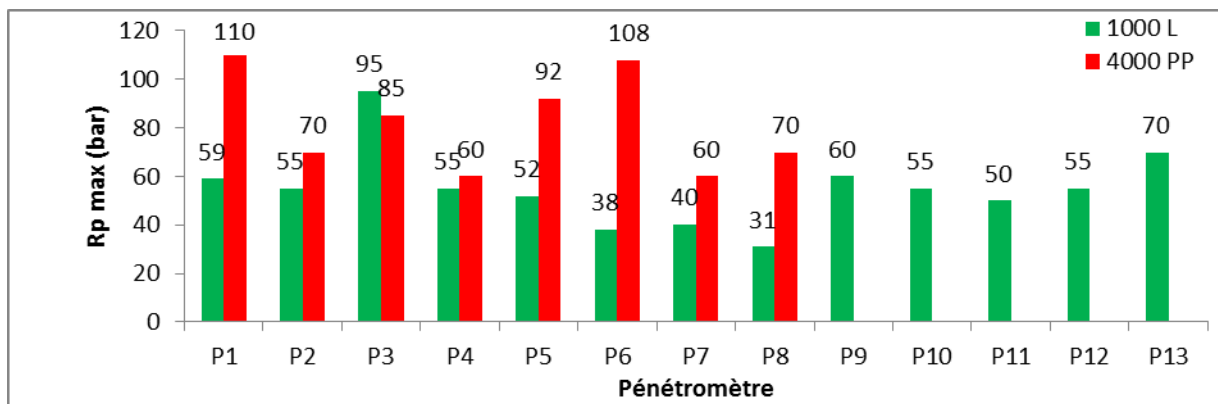


Fig.96 : Variation de la résistance de pointe maximale ($R_{p_{max}}$) au sein des deux sites de l'Université.

L'analyse des diagrammes pénétrométriques (Annexe) et ces graphiques ci-dessus laissent apparaître les constatations suivantes :

1- Les côtes de refus ont été enregistrées à des profondeurs variables de 4.8 et 13m sauf pour quelques endroits dans le site des 1000 lits où son bed rock est un peu plus profond (P9, P10, P11, P12 et P13 sans refus) (Annexe) (Fig.94). Ces mêmes profondeurs de refus sont enregistrées pour la région d'el Kherba et de Marechau.

2- Les courbes pénétrométriques de l'ensemble des essais implantés sur le terrain du site de l'Université paraissent largement semblables (Annexe) et indiquent une résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) majoritairement faible à moyenne. Dans la partie Sud du site étudié (1000 lits), allant de 15 à 30bars, à l'exception de l'essai pénétrométrique (P6, P7 et P11), où il a affiché une très faible résistance à la pénétration, soit de 8 à 12bars. Dans la partie Nord (4000 places pédagogiques), allant de 15 à 25bars (Fig.95 et Annexe).

3- La résistance de pointe maximale enregistrée est aussi très faible variant de 31 à 110bars pour l'ensemble des essais (Fig.96).

Ces résultats sont très faibles en comparaison par rapport à ceux qui sont enregistrés dans la région d'El Kherba et dans la région de Marechau; où ils ont présenté une résistance de pointe maximale moyenne de 200 à 650bars.

Donc, de ces résultats, on peut définir seulement la présence de deux catégories de terrains dans le site réservé comme assise de l'Université.

- Le premier terrain présente des valeurs de résistances de pointes moyennes où nous enregistrons $R_{p_{min}} < 30\text{bars}$, $R_{p_{max}} < 110\text{bars}$ et une côte de refus de 7 à 9m de profondeur.
- Le deuxième terrain présente des valeurs de la résistance de pointe faible soient $30 < R_{p_{max}} < 70\text{bars}$ et $8 < R_{p_{min}} < 15\text{bars}$) et une côte de refus allant de 4 à 7m.

II-2-4-2- Essais de laboratoire

Les figures et les tableaux ci-après regroupent les résultats obtenus de ces essais et la présentation, la classification et l'interprétation de ces résultats se fait en fonction de conceptions montrées dans la partie théorique.

II-2-4-2-1- Essais physiques

e- Teneur en eau (w) et le degré de saturation (Sr) (NF P 94-050)

Les résultats obtenus de ces deux analyses sont regroupés dans les tableaux (Annexe) et représentés sur des courbes de variation (Fig.97) ci-après :

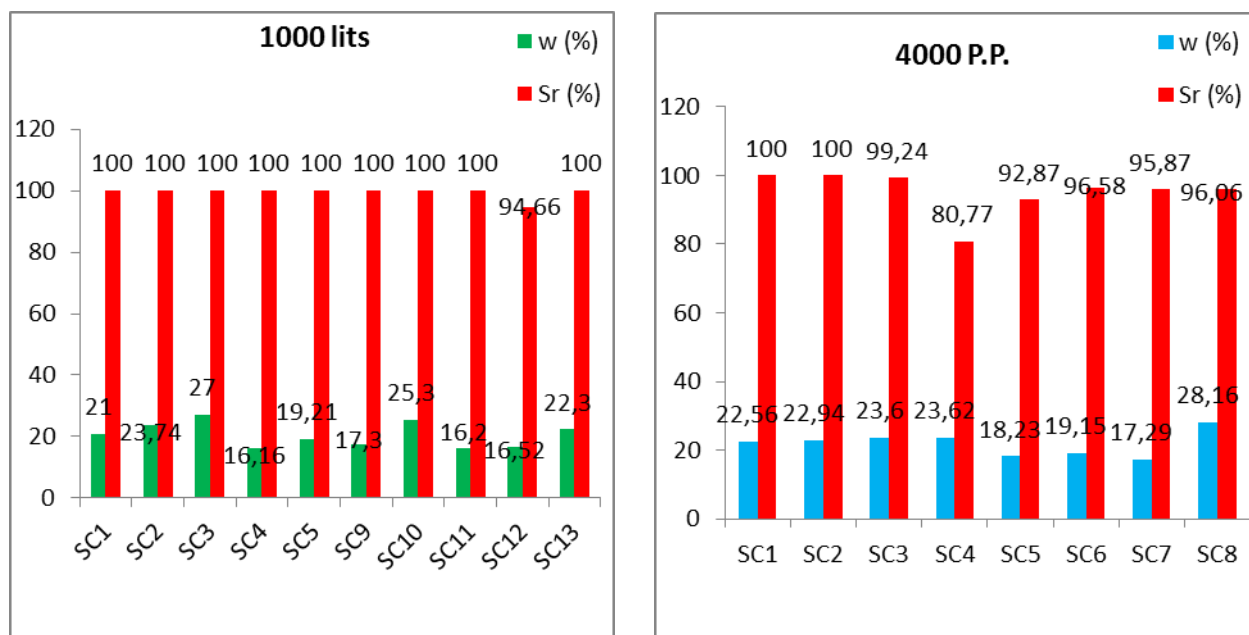


Fig.97 : Variation de w et Sr dans le sol du site de l'Université.

Les deux graphiques ci-dessus avec les résultats fournis par le laboratoire (LGG) présentent un degré de saturation du sol (S_r) très importante avec des valeurs de 80.77 à 100% et une teneur en eau (w) moyenne à faible de 16.16 à 27% (Fig.97 et Annexe). Ces résultats ne diffèrent pas que ceux des sols du site de Marechau et d'el Kherba (Khellaf et al., 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c) et selon la NF P94-050, FAER, Philipponnat, 1979, Cordary, 1994 et Philipponnat & Hubert, 2003, les matériaux analysés sont classés comme limons ou argiles moyennes à raides très saturées en eau et avec un état hydrique légèrement humide à humide.

f- Densité humide (γ_h) et la densité sèche (γ_d) (NF P94-053)

Les résultats obtenus de ces deux analyses sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26 : Résultats d'analyse de la masse volumique sèche et humide des échantillons de quelques sondages carottés (LGG, 2010 et 2011).

Paramètres	Site des 1000 lits				Site des 4000 P.P.			
	SC1	SC4	SC9	SC13	SC1	SC3	SC5	SC8
Prof. (m)	1.1-4.1	4.1-5.1	3-3.4	8-9	6.5-7.3	6-7	3.5-4.3	3.5-4
γ_d (t/m ³)	1.80	1.89	1.80	1.69	1.72	1.64	1.76	1.50
γ_h (t/m ³)	2,18	2,18	2,18	2,18	2,21	2,32	2,22	2,09

L'analyse des sols du site de l'Université de différentes profondeurs a donné de 1.95 à 2.32t/m³ pour la densité humide et de 1.49 à 1.92t/m³ pour la densité sèche (Tableau 26 et Annexe). Les mêmes résultats sont donnés par l'étude géotechnique des 300 logements (réalisés sur le site de Marechau) et aussi par des études géotechniques de la région d'El Kherba en 2001 et 2013.

Donc, à partir de ces deux paramètres les sols analysés sont, selon la NF P 94-053, Philipponnat, 1979 et Costel & Sanglerat, 1981, de nature argileuse, et présentent un comportement plus compact et parfois plus ou moins lâche selon Philipponnat et Hubert, 2003.

g- Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats obtenus de cet essai sont récapitulés dans le tableau ci-après (Tableau 27) et sur les courbes granulométriques (Fig.98 et Annexe).

Tableau 37 : Résultats d'analyse granulométrique de quelques échantillons du sol de l'Université (LGG, 2010 et 2011).

Paramètres	Site des 1000 lits				Site des 4000 P.P.			
	SC1	SC4	SC9	SC13	SC1	SC3	SC5	SC8
Prof. (m)	1.10-4.10	4.10-5.10	3.0-3.40	8-9	6.50-7.30	6-7	3.50-4.30	3.50-4

$\phi < 2 \text{ mm}$	100	96	100	99	100	100	100	85
$\phi < 80 \mu$	97	66	92	89	100	100	86	79
$\phi < 2 \mu$	54	28	44	42	42	70	31	21

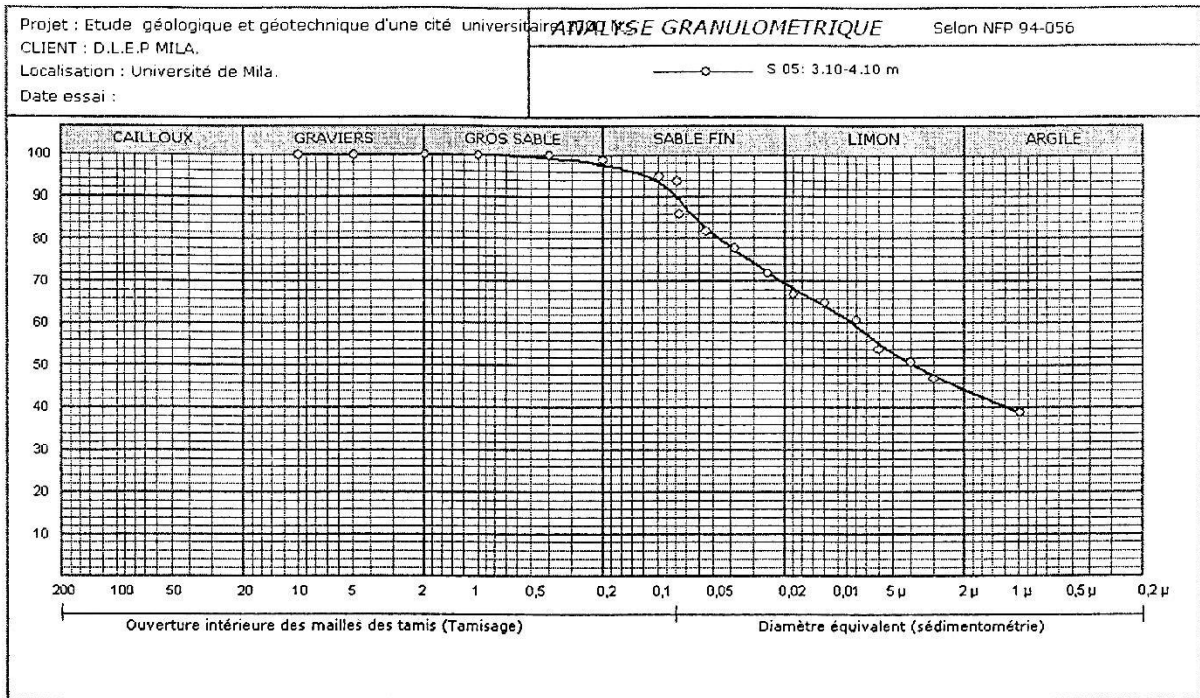


Fig.98 : Courbe granulométrique de sol du site des 1000 lits.

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que les échantillons du sol analysé ont un pourcentage des argiles ($\phi < 2\mu$) considérable de 45 à 49%, un taux d'éléments de diamètre inférieur à $\phi 80\mu$ plus élevé et compris entre 22 à 47% ($< 50\%$, selon LCPC) et un taux élevé des éléments grossiers (sables et graviers) de 8 à 38%. La représentation de ces résultats sur l'abaque semi-logarithmique (Annexe) a donné des courbes granulométriques de coefficient C_u varié de 1 à 3 (NF P 94-056).

D'après ces résultats on remarque que les sols constituant le terrain de l'Université, d'une part, sont des sols fins et selon les classifications données ; ces sols sont des argiles et des argiles limoneuses (Philipponnat, 1979 et Costet & Sanglerat, 1981) et la représentation de ces pourcentage sur des graphes donne des courbes granulométriques (Annexe) uniforme et étalée (NF P94-056) et selon Zebouchi (2008), les sables fins, les silts et les argiles sont généralement le siège de nombreux mouvements de terrains et leur instabilité augmente encore plus en présence d'eau.

h- Limites d'Atterberg (WL et Ip)

Les résultats obtenus de ces analyses sont représentés dans le tableau (Annexe) et sur les deux figures ci-dessous (Fig.99 et 100) :

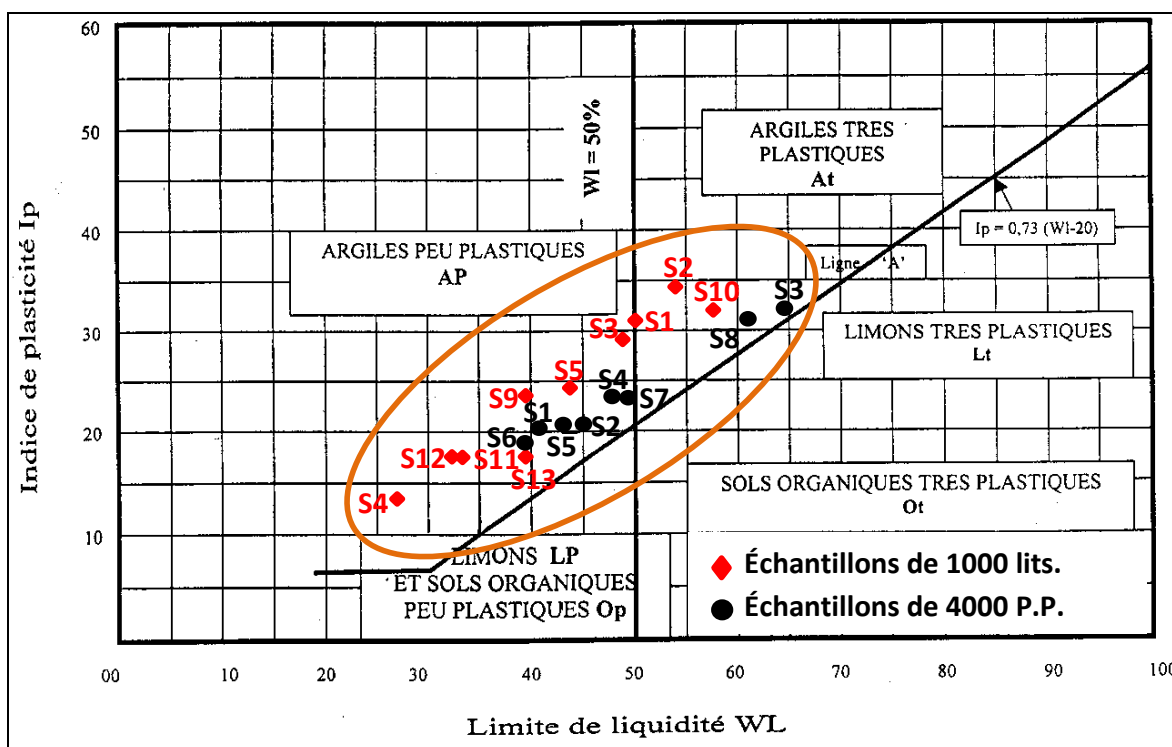


Fig.99 : Position des sols de l'Université dans le diagramme de Casagrande.

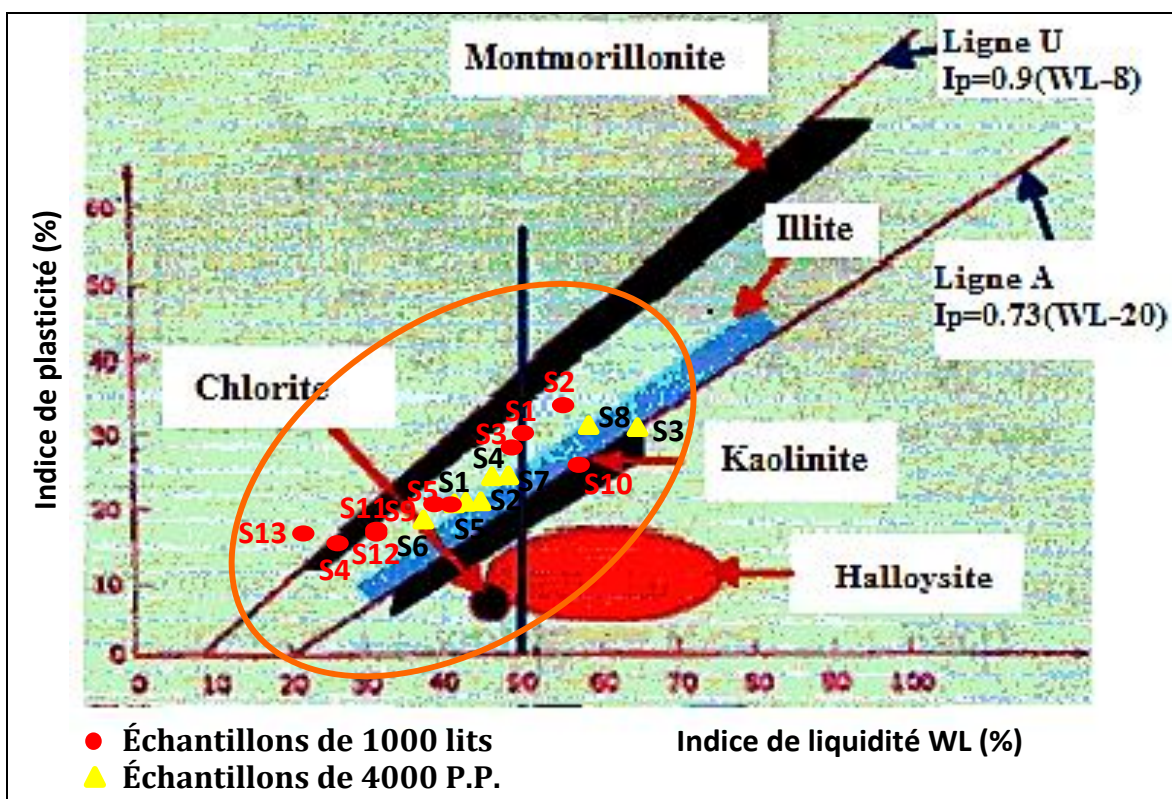


Fig.100 : Position des échantillons argileux de l'Université sur l'abaque de plasticité de Casagrande.

La représentation des résultats obtenus, de l'essai des limites d'Atterberg des argiles examinées, sur le diagramme et l'abaque de Casagrande ci-dessus, à partir de « W_L » et « I_p » qui présentent des valeurs de 26.74 à 64.20% pour W_L et de 13.74 à 34.63 % pour I_p (LGG, 2010 et 2011), a révélé que ces argiles sont positionnées au-dessus de la ligne A sur le diagramme de

Casagrande (Fig.99) et sont comprises entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande (Fig.100). Ces argiles sont dans l'ensemble peu plastiques (AP) de pourcentage 75% à très plastiques (AT) de pourcentage 25% et elles appartiennent aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite, Montmorillonite et Kaolinite) (Fig.100). Ces résultats diffèrent de ceux qui sont marqués dans l'analyse des sols du site de Marechau et d'El Kherba cités précédemment (Khellaf et al., 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018a,b,c).

De ce fait, le sol de cette partie de la région étudié est présenté selon Derriche et al., (1999), de grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité ce qui démontre l'état de surconsolidation et la dessiccation du sol. Ce constat est en accord avec les valeurs élevées (>1 en majorité) enregistrées pour l'indice de compacité (Annexe) et pour la densité sèche qui sont supérieures à 1.5. Les valeurs des limites d'Atterberg (Annexe) sont assez grandes que les normes et ces argiles ont un caractère de retrait-gonflantes (Komornik & al., 1969, Dakshanamurthy & al., 1973 et Hazmoune, 2008, Khellaf & al., 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018).

Pour cela, et selon Zouaoui, (2008), si la teneur en eau du milieu se rapproche de la limite de liquidité (WL) du sol, celui-ci passe de l'état plastique à l'état liquide. Selon sa composition chimique, et l'eau d'imbibition le sol peut, par action électrolytique, modifier la structure de certaines argiles par floculation ou défloculation du milieu colloïdale. Ce phénomène correspond à un ramollissement, ainsi, le passage d'une montmorillonite sodique à une montmorillonite calcique qui s'accompagne d'un accroissement de consistance du milieu.

II-2-4-2-2- Essais mécaniques : Triaxial (NF P94-071-1) et Œdomètre (NF P94-090-1)

Les résultats obtenus de ces deux essais sont récapitulés dans les deux tableaux suivants (Tableau 28 et 29) et en Annexe :

Tableau 28 : Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) échantillons examinés du site des 1000 lits (LGG, 2011).

Paramètres		Essai Triaxial		Essai de compressibilité		
		UU		à l'œdomètre		
SC	Prof. (m)	C (bar)	ϕ (°)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)
1	3.10-4.10	0.72	3.12	1.03	19.60	2.21
2	4.10-5.10	0.72	3.12	1.12	16.15	3.66
3	7.10-8.10	0.77	0.95	1.55	22.88	7.05
4	4.10-5.10	0.83	3.52	2.84	15.61	3.21
5	3.10-4.10	0.79	1.49	1.76	16.22	2.91
9	4.10-5.10	0.74	7.30	1.81	14.28	3.05
10	3.10-4.10	0.73	3.63	1.02	17.27	2.65
13	4.10-5.10	0.84	2.15	1.21	13.92	3.26

Tableau 29 : Caractéristiques mécaniques de quelques (sondages carottés) échantillons examinés du site des 4000 P.P. (LGG, 2010).

Paramètres		Essai Triaxial		Essai de compressibilité		
		UU		à l'œdomètre		
SC	Prof. (m)	C (bar)	φ (°)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)
1	6.50-7.30	0.75	3.38	2.06	20.26	0.46
3	6.00-7.00	0.83	2.72	1.95	16.64	1.07
4	3.50-4.50	0.69	3.38	1.40	18.58	0.79
6	4.60-5.60	0.75	5.2	1.42	12.94	0.66

Les échantillons soumis à l'essai triaxial et à l'essai de compressibilité à l'œdomètre montrent que pour :

1- L'ensemble des échantillons soumis à l'essai triaxial de type non consolidé non drainé (UU) présente des faibles valeurs d'angle de frottement interne (φ) (1° à 4°) et de cohésion interne (C) (0.69 à 0.84bar). Ces résultats sont faibles par rapport à ceux qui sont rencontrés au niveau du site d'El Kherba et du site de Marechau. Ces faibles résultats sont dus d'une part, au faible pourcentage des éléments fins et au fort pourcentage des sables et d'autre part, une cohésion faible et un angle de frottement interne moyen, qui est dû à la proportion élevée des sables fins par rapport à celle des argiles (Bouhenouna, 2008 et Zouaoui, 2008). Même la présence anormale d'eau peut provoquer la chute de ces caractéristiques et l'accroissement progressif de sa déformabilité de ces sols sous charge (Zouaoui, 2008).

2- L'essai œdométrique, présente une contrainte de préconsolidation (σ_c) de la valeur comprise entre 1.03 et 1.84bar, un coefficient de compressibilité (Cc) variant de 0.13 à 0.23% et un indice de gonflement (Cg) des sols à des valeurs élevées (0.022 à 0.0705). Ces résultats sont marqués aussi au niveau du site d'El Kherba et au site de Marechau (Annexe). Les variations de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain (Hazmoune, 2008).

Donc, les résultats obtenus de l'essai triaxial (C, φ) permettent de classer les sols analysés comme selon Costel & Sanglerat, 1981 et la norme NF P94-074-1 comme des argiles moyennes à raides et cohérentes et les résultats d'essai œdométrique, montrent aussi un sol de type argiles raides, consistant, surconsolidé, moyen à très compressible et à potentiel de gonflement moyen à fort (NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979).

II-2-4-2-3- Calcul des tassements des fondations à partir des essais de laboratoire

Les résultats des sondages pénétrométriques nous donnent des valeurs de résistance de pointe minimale de 8 à 30bars. À partir de ces résultats on préconise les semelles superficielles (semelles filantes ou semelles carrées). Le calcul des tassements de ces fondations se fait en

fonction de conceptions montrées dans la partie théorique et les résultats obtenus sont résumés dans les deux tableaux (Tableau 30 et 31) et s'interpolent sous forme de cartes de répartition spatiale (Fig. 101 et 102) ci-dessous.

Tableau 30 : Résultats de calcul des tassements des sols du site des 1000 lits.

SC	Semelle filante				Semelle carrée		
	q_0 (KN/m ²)	q_L (KN/m ²)	Q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)	q_L (KN/m ²)	Q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)
SC1	32,67	3732,99	3850,60	8,79	3296,02	1216,29	4,14
SC2	30,63	3638,80	3762,67	7,59	3270,55	1214,06	1,22
SC3	30,10	6750,69	3859,05	10,77	3835,20	1386,76	4,74
SC4	32,89	6259,93	6349,09	6,43	5442,37	1903,28	3,35
SC5	32,31	4991,93	1108,24	7,16	1064,83	1471,25	3,53
SC9	31,59	1291,57	1294,39	6,25	1493,34	1573,60	2,30
SC10	30,37	6278,20	6386,20	7,93	5311,79	1878,60	3,60
SC11	33,41	6564,51	6683,30	7,42	5395,71	1917,35	3,83
SC12	31,84	6815,93	929,14	6,41	910,98	416,87	3,37
SC13	35,32	6828,06	953,64	5,64	912,68	429,80	2,48

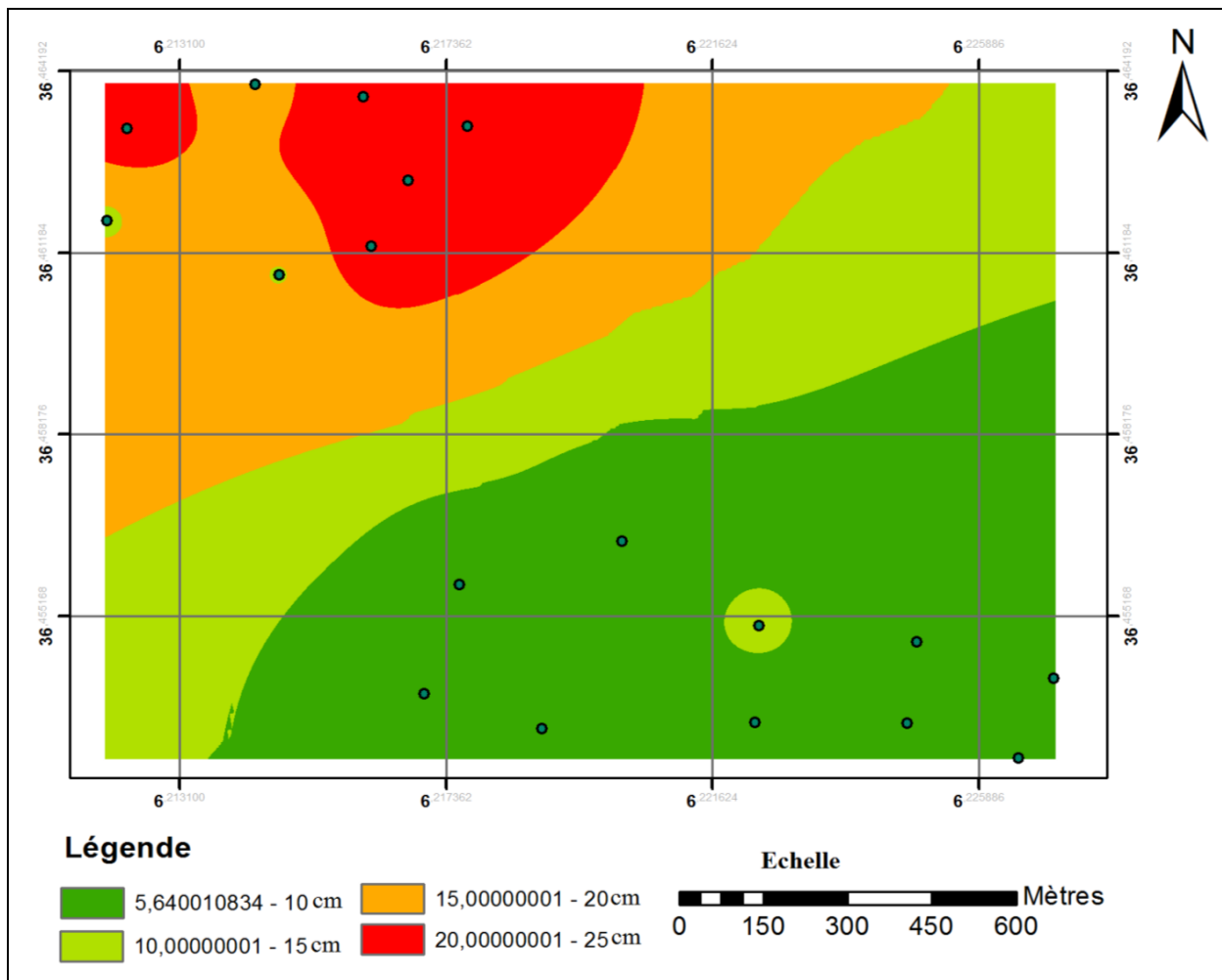


Fig.101 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle filante.

Tableau 31 : Résultats de calcul des tassements des sols du site des 4000 places pédagogiques.

Sondage	Semelle filante				Semelle carrée		
	q_0 (KN/m ²)	q_L (KN/m ²)	Q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)	q_L (KN/m ²)	Q_{ad} (KN/m ²)	ΔH (cm)
SC1	31,48	4454,27	4566,18	22,83	4084,41	1473,39	11,20
SC2	31,00	4430,60	4540,81	23,08	4076,25	1468,96	4,62
SC3	30,26	2671,80	2779,38	18,83	2678,05	1000,27	9,22
SC4	27,49	4025,58	4113,55	22,74	3732,74	1332,22	8,84
SC5	31,15	4894,44	4904,13	14,70	3613,68	1214,25	8,46
SC6	31,42	1139,69	1151,40	14,88	5320,37	3289,16	3,64
SC7	31,94	4477,19	4590,76	22,72	4093,97	1478,22	11,84
SC8	28,80	4322,34	4424,74	24,03	4041,12	1449,44	10,74

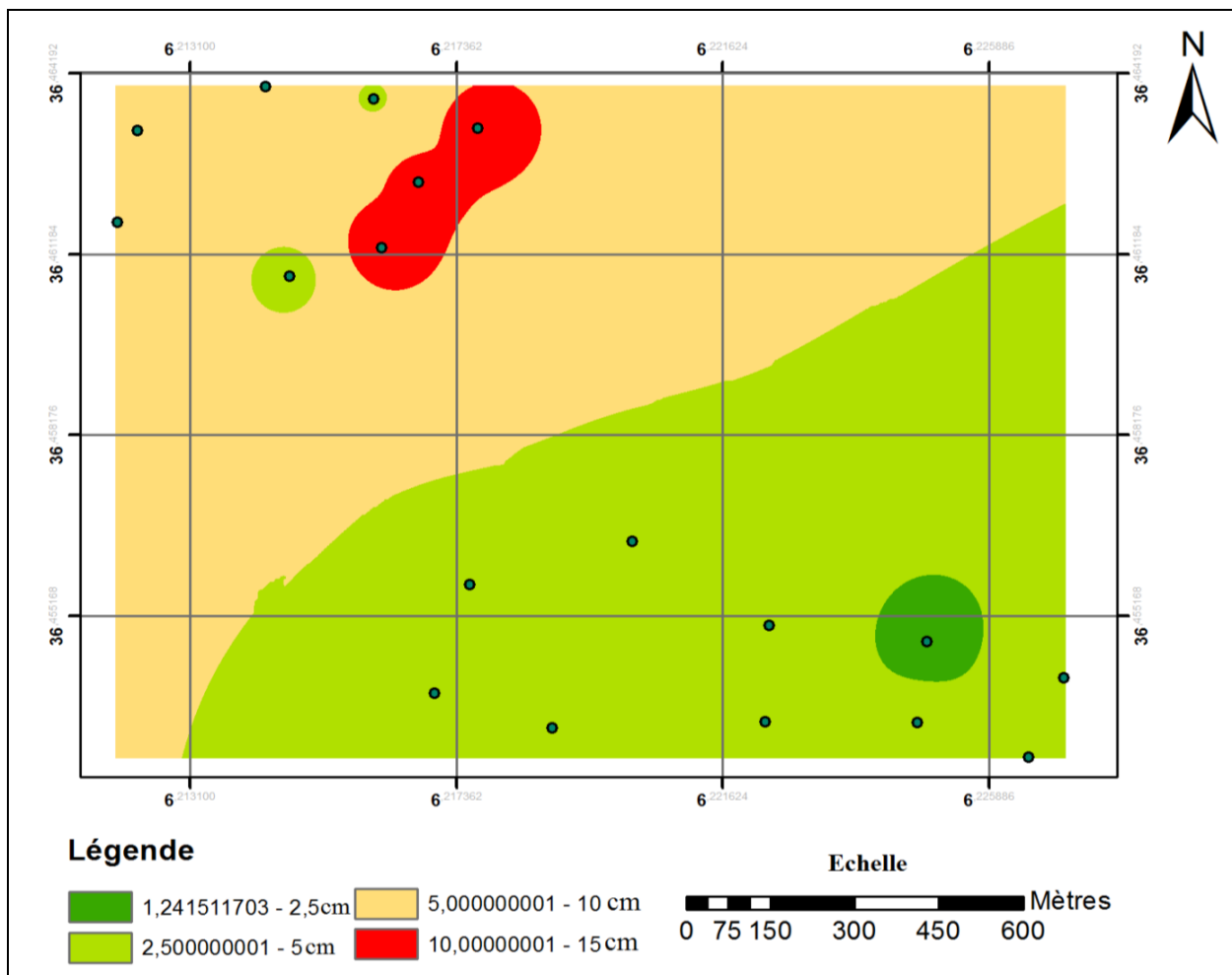


Fig.102 : Carte de variabilité spatiale des tassements sous une semelle carrée.

Les résultats de calcul de la contrainte limite (q_L) et la contrainte admissible (q_{ad}) du sol, sachant que de la contrainte naturelle (q_0) est comprise entre 27.49 et 35,32KN/m², la nappe dans le cas le plus défavorable se trouve à une profondeur de 2 m et l’ancrage des fondations est à 2m aussi (LGG, 2010 et 2011). Pour une semelle filante, où il n’y pas d’influence de la forme de

la semelle et avec l'influence de la nappe, la contrainte limite minimale est de $1139,69\text{KN/m}^2$, la contrainte limite maximale est de $6683,30\text{KN/m}^2$, la contrainte admissible minimale est de $929,14\text{KN/m}^2$ et la contrainte admissible maximale est de $6683,30\text{KN/m}^2$. Par contre, pour une semelle carrée, où il y a l'influence de la forme de semelle et l'influence de la nappe, la contrainte limite minimale est de $910,98\text{KN/m}^2$, la contrainte limite maximale est de $5442,37\text{KN/m}^2$ ce qui influe négativement sur la contrainte admissible ; où on marque une valeurs de $q_{ad}(\text{min})$ de $416,87\text{KN/m}^2$ et $q_{ad}(\text{max})$ de $1917,35\text{KN/m}^2$. Dans ce cas, la semelle peut supporter la charge extérieure exigée par le laboratoire (0.7 et 1bar) et elle est donc admissible ($q_{ext} < q_{ad}$). L'interpolation et la représentation des valeurs des tassements (ΔH_i) (Tableau 30 et 31), caractérisant le site de l'Université sur les cartes de variabilité spatiale (Fig.101 et 102) montrent que les sols de cette région, sous les semelles filantes, sont présentés une variation de volume et ont une tendance de se tasser et occupent une surface considérable sur la carte (Fig.101). Les valeurs de ces tassements enregistrées sont plus ou moins acceptables (5,64 et 8,79cm) dans la partie Sud du site étudié (site des 1000 lits) et ces valeurs augmentent drastiquement en vers la partie Nord du site (site des 4000 P.P) et jalonnent entre 14,70 et 24,03cm, à l'exception de quelques endroits où les tassements sont inférieurs à 5 cm (3,64 et 4,62 cm) (Fig.101 et Tableau 30). Pour les semelles carrées, le sol du site même ne présente pas une variation de volume notable et les tassements sont admissibles pour la majorité du site à l'exception de quelques endroits où les tassements dépassent 10 cm et sont restreints (Fig.102 et Tableau 31). Pour le site de 1000 lits ils sont de 1,22 à 4,74 cm. Ces résultats diffèrent légèrement de ceux qui sont enregistrés au niveau du site d'El Kherba et de Marechau (de 3.29 et 24.33cm pour une semelle filante et de 4.18 à 19.42cm pour une semelle carrée) (Khellaf & Hamimed, 2018b,c).

De ce fait, selon Forni, 1981, Seuls les tassements entre les appuis peuvent avoir des conséquences dangereuses et l'expérience montre qu'une structure peut supporter des tassements de l'ordre 1/300 de la distance entre les appuis. Dans tous les cas, pour les bâtiments courants, il apparaît des fissures lorsque le tassement différentiel dépasse 5cm.

Le tassement est considéré admissible pour une fondation superficielle, reposant sur un sol argileux, s'il est inférieur ou égal à 5cm (Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003). Mais les valeurs des tassements enregistrées soit sous une semelle filante ou carrée paraissent identiques et sont majoritairement supérieurs à 5cm pour le site où ils ont implanté les 4000 places pédagogiques et ne sont pas donc admissibles (Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003) et doivent être vérifié la stabilité des fondations. Pour le site de résidence universitaire

(1000 lits), les valeurs des tassements obtenus sont inférieures à 5cm et sont donc admissibles (Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003).

Donc, les sols du site de l'Université présentent des variations de volume parfois importantes lorsque leur teneur en eau varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015, Khellaf, 2015, Khellaf et *al.*, 2018), la difficulté du drainage des eaux de ces sols et le drainage de la nappe provoque un tassement de ces sols (Chettah, 2009) et aussi la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans les sols qui peut provoquer les tassements des fondations (Athmania, 2010). Ces variations de volume affectent le fonctionnement des fondations et des constructions en contact avec le sol et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009).

II-2-4-3- Synthèse

Le site de l'Université se localise à environ de 5km envers la partie Nord-Ouest de la ville de Mila et s'étend sur une superficie de 350ha. Il est caractérisé par un terrain à dominance argileuse ou argilo-sableuse et une pente faible de l'Est à Ouest et forte du Nord au Sud. Ces caractéristiques avec la forte pluie favorisent une intense altération et érosion, le creusement des chaabats et le transport des particules érodées vers l'Oued Mila. L'analyse des sols de cette région a montré pour :

Les essais in situ effectués sur le site nous permettent de donner, pour les sondages carottés, un aperçu sur la nature lithologique des sols traversés, qui est composé en général, de la base jusqu'au sommet :

- Une argile grise à verdâtre ou des argiles sableuses rouges intercalées par des niveaux gréseux.
- Des argiles beiges encroutées alternées à des bancs de grés plus ou moins consistants.
- Des terres arables.

Les essais de pénétrations dynamiques fournies des diagrammes paraissent dans l'ensemble semblables. L'analyse de ces diagrammes a donné :

- Une profondeur variable des côtes de refus de 4.8 et 13m, sauf pour quelques endroits est un peu plus profonde (dans le site des 1000 lits).
- Une résistance de pointe minimale majoritairement faible à moyenne (15 à 30bars).
- Une résistance de pointe maximale très faible variant de 31 à 110bars.

A la base de ces résultats, on distingue la présence seulement de deux catégories dans ce site:

- ✓ Les premiers se caractérisent par des résistances de pointes moyennes ($R_{p_{min}} < 30\text{bars}$ et $R_{p_{max}} < 110\text{bars}$) et une côte de refus variant de 7 à 9m de profondeur.
- ✓ Les deuxièmes terrains présentent des valeurs de la résistance de pointe faible ($30 < R_{p_{max}} < 70\text{bars}$ et $8 < R_{p_{min}} < 15\text{bars}$) et une côte de refus allant de 4 à 7m.

Les résultats obtenus des essais de laboratoire (Fig.103) effectués sur les sols de ce site ont donné :

- Une teneur en eau (w) moyenne à faible (16.16 à 27%), un degré de saturation (Sr) très importantes (80.77 à 100%), une densité humide de 1.95 à 2.32t/m³ et une densité sèche de 1.49 à 1.92t/m³. D'après ces résultats on peut classer les matériaux analysés, selon la norme NF P94-050, FAER, Philipponnat, 1979, Cordary, 1994 et Philipponnat & Hubert, 2003 comme limons ou argiles moyennes à raides très saturées en eau, avec un état hydrique

légèrement humide à humide et présentent selon la norme NF P94-053 et Costel & Sanglerat, 1981, un comportement plus ou moins compact.

- L'analyse granulométrique de ces sols montre un pourcentage considérable des argiles (45 à 49%), un taux plus élevé (22 à 47%) d'éléments de diamètre inférieurs à 80μ et un taux élevé (8 à 38%) de sables et graviers. Selon Philipponnat, 1979 et Costet & Sanglerat, 1981 ces sols sont des argiles ou des argiles limoneuses et ses courbes granulométriques résultantes, selon la norme NF P94-056, sont uniformes et étalées (Cu variant de 1 à 3).
- Les résultats obtenus de l'essai des limites d'Atterberg ont donné un indice de plasticité de 13.74 à 34.63%, une limite de liquidité de 26.74 à 64.20% et un indice de consistance supérieur à 1. Ces résultats sont plus grandes que les normes ce qui reflète le caractère de retrait-gonflantes de ces argiles (Komornik & *al.*, 1969, Dakshanamurthy & *al.*, 1973 Hazmoune, 2008, Khellaf & *al.*, 2015 et Khellaf & Hamimed, 2018). La représentation de ces deux paramètres sur le diagramme de Casagrande a révélé que ces argiles sont positionnées au-dessus de la ligne A et comprises entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande. Cette position montre que ces argiles sont dans l'ensemble peu plastiques (AP) de 75% à très plastiques (AT) de 25% et elles appartiennent aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite, Montmorillonite et Kaolinite). Les valeurs élevées (>1) de l'indice de compacité et de la densité sèche (>1.5) sont dû selon Derriche et *al.*, (1999) aux grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité et ça démontre l'état de surconsolidation et la dessiccation de ces sols.
- L'essai triaxial (non consolidé non drainé (UU) et l'essai de compressibilité à l'œdomètre présentent un angle de frottement interne (φ) très faible (1° à 4°), une cohésion (C) de 0.69 à 0.84bar, une contrainte de préconsolidation (σ_c) de 1.03 à 1.84bars, un coefficient de compressibilité (Cc) de 0.13 à 0.23% et un indice de gonflement (Cg) de 0.022 à 0.0705. La chute de ces caractéristiques mécaniques (faible cohésion et faible angle de frottement interne) est dûe, selon Zouaoui 2008, à la présence anormale d'eau et selon Bouhenouna 2008, au faible pourcentage des éléments fins et au fort pourcentage des sables et une cohésion faible et un angle de frottement interne moyen sont dus à la proportion élevée des sables fins par rapport à celle des argiles. Les résultats d'essai œdométrique montrent un sol argileux raide (Philipponnat, 1979 et Costel & Sanglerat, 1981) consistant, surconsolidé, moyen à très compressible et à potentiel de gonflement moyen à fort (NF P94-090-1 et Philipponnat, 1979). Les variations de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité du terrain (Hazmoune, 2008).
- Les résultats de calcul de la contrainte limite (q_L) et la contrainte admissible (q_{ad}) de ces sols, pour une semelle filante sont de 1139,69KN/m² pour $q_L(\min)$, de 6683,30KN/m² pour

$q_L(\max)$, de $929,14\text{KN/m}^2$ pour $q_{ad}(\min)$ et de $6683,30\text{KN/m}^2$ pour $q_{ad}(\max)$. Par contre, pour une semelle carrée, la valeur de $q_L(\min)$ est de $910,98\text{KN/m}^2$, la valeur de $q_L(\max)$ est de $5442,37\text{KN/m}^2$, la valeur de $q_{ad}(\min)$ est de $416,87\text{KN/m}^2$ et $q_{ad}(\max)$ est de $1917,35\text{KN/m}^2$. La charge extérieure (q_{ext}) exigée est de 0.7 à 1bar et dans ce cas $q_{ext} < q_{ad}$ et la semelle peut supporter cette charge ; elle est donc admissible.

Les valeurs des tassements enregistrées sous une semelle filante sont de 5,64 à 8,79 cm pour le site des 1000 lits et sont de 14,70 à 24,03cm pour le site des 4000 places pédagogiques, à l'exception de quelques endroits où ces tassements sont de 3,64 et 4,62cm (<5 cm). Pour les semelles carrées sont de 1,22 à 4,74cm pour le site des 1000 lits et sont de 5 à 8cm pour le site des 4000 places pédagogiques.

D'après Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003, les valeurs des tassements, soit sous une semelle filante ou carrée, paraissent identiques et ne sont pas admissibles (>5cm) pour le site des 4000 places pédagogiques. Cependant, pour le site de la résidence universitaire (1000 lits), les valeurs de ces tassements sont inférieures à 5cm ; donc ils sont admissibles.

L'interpolation et la représentation des valeurs de ces tassements sur les cartes de variabilité spatiale montrent que les sols de cette région, sous les semelles filantes, ont présenté une variation de volume plus importante et ont une tendance de se tasser et occupent une surface considérable sur la carte. Ce phénomène dépend de la teneur en eau qui varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015), la difficulté du drainage des eaux de ces sols (Chettah, 2009) et ainsi la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans les sols ; comme la smectite qui est très sensible au phénomène de retrait gonflement (Athmania, 2010).

Par conséquence, ces tassements affectent le fonctionnement des fondations et des constructions et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009).

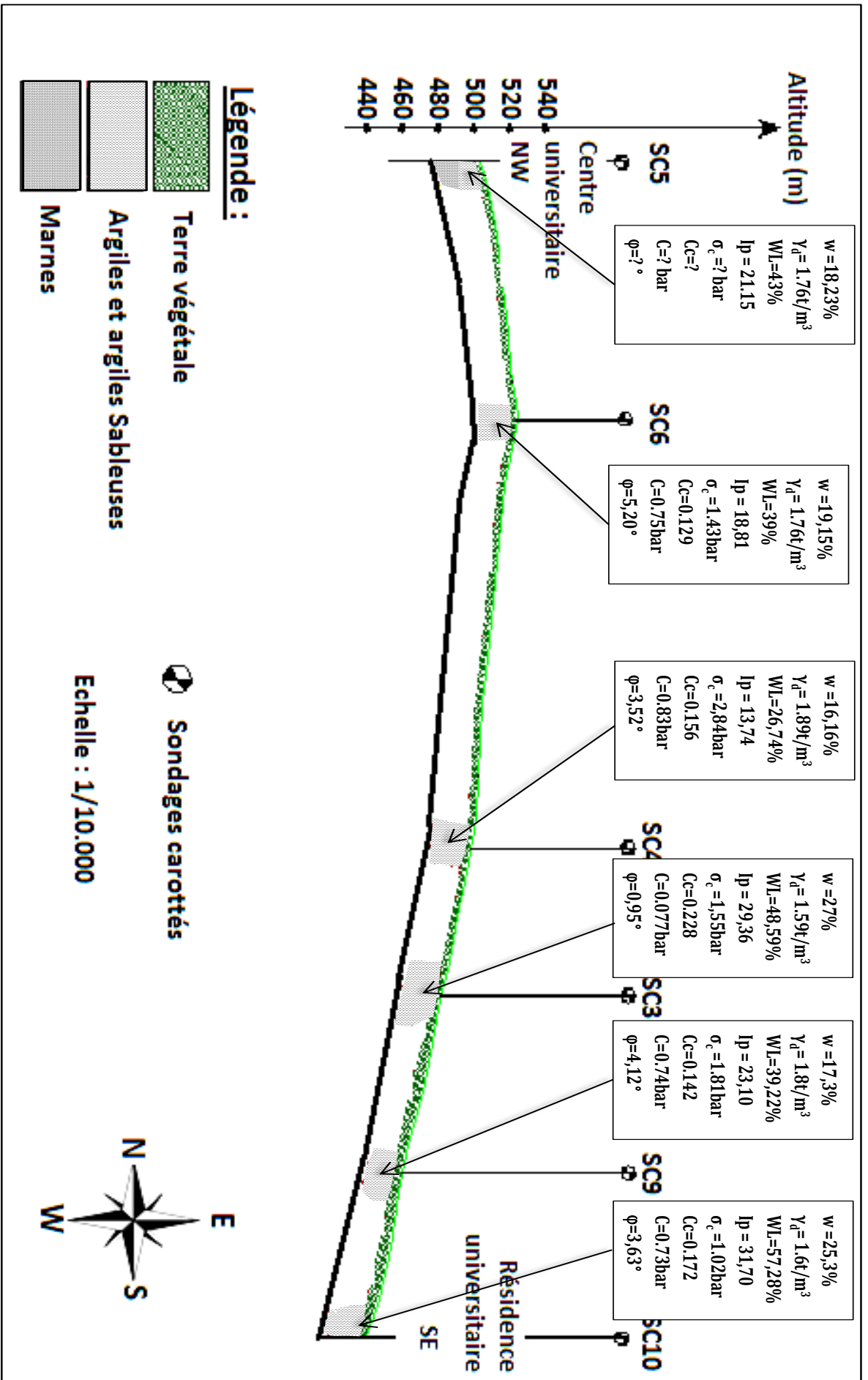


Fig.103 : Profils géotechniques synthétiques du site de l'Université (Khellaf, 1979).

II-2-5- Conclusion

La région étudiée est caractérisée lithologiquement d'un sol argileux et marneux renfermant de gypse fibreux et des blocs de calcaires lacustres. L'analyse des paramètres caractérisant ces sols a révélé pour :

L'analyse chimique de ces sols a donné des teneurs faibles ou en traces des sulfates pour le site de Marechau et d'el Kherba à l'exception de quelques endroits qui présentent des teneurs élevées. Par contre, le sol du site de l'Université est présenté des teneurs élevées des sulfates. Selon les normes NF P18-011 et le Circulaire Ministériel 83/04 on peut classer le sol des sites (Marechau et el Kherba) comme étant d'une agressivité nulle et le sol de l'assise de l'Université comme un sol très agressif au béton. Pour les sites où les endroits agressifs au béton, l'installation d'ouvrages et même des maisons individuelles doit être soumis avec conditions et des techniques précieuses.

La richesse en sulfates de ces formations argileuses est liée en principe à la dissolution et lessivage des formations gypsifères se trouvant dans l'environnement en l'occurrence des formations diapiriques, lagunaires ou autres.

L'analyse pétrographique de ces sols a donné certaines variétés de sédiments semblables ou relativement peu variables. Ces variétés sont présentées en générale, par des argiles proprement dits, des argiles marneuses et des argiles marno-sableuses. Dans l'ensemble, ces variétés sédimentaires ont donné des teneurs élevées d'argiles (>75%), des teneurs faibles en sables (<80%) et des teneurs faibles à moyennes en carbonates de calcium (<30%). Ces teneurs indiquent que le faciès analysé est de nature argileuse à caractère pouvant gonfler ou tasser en présence d'eau.

Pour l'analyse des paramètres géotechniques de ces sols qui sont composés, à l'aide de sondages carottés, pour la partie Est de la région étudiée, des terres arables surmontant une argile grise à verdâtre et des marnes grises renfermant du gypse fibreux et blocs de calcaires lacustres et pour la partie Ouest, sont des terres arables surmontant une argile grise à verdâtre ou des argiles sableuses rouges intercalées par des niveaux gréseux et des argiles beiges encroutées alternées à des bancs de grés plus ou moins consistants.

Les terrains de ce secteur présentent, à l'aide des essais de pénétration dynamique, une profondeur de refus jalonne de 1 à 13m, une résistance de pointe minimale de 30 à 155bars pour le site de Marechau et el Kherba et de 15 à 30bars pour le site de l'Université ainsi une résistance de pointe maximale supérieure à 500bars pour le site de Marechau et el Kherba et inférieure à

110bars pour le site de l'Université. Ces résultats favorisent l'existence de trois catégories des terrains dans la partie Est (Marechau et el Kherba) et deux pour la partie Ouest (Université). Pour la partie Est :

- La première catégorie présente des valeurs de la résistance de pointe minimale et maximale plus élevées ($R_{p_{min}} > 70$ bars, $R_{p_{max}}$ atteint 650bars et une côte de refus de 10m de profondeur).
- La deuxième présente des valeurs de la résistance de pointe plus ou moins moyennes, ($158 < R_{p_{max}} < 205$ bars et $40 < R_{p_{min}} < 70$ bars) et une côte de refus de 7m.
- La troisième catégorie, présente des résistances de pointes faibles ($16 < R_{p_{min}} < 31$ bars et $90 < R_{p_{max}} < 142$ bars) et une côte de refus de 1 et 2.4m. Ainsi pour la partie Ouest :
- Les premiers se caractérisent par des résistances de pointes moyennes ($R_{p_{min}} < 30$ bars et $R_{p_{max}} < 110$ bars) et une côte de refus variant de 7 à 9 m de profondeur.
- Les deuxièmes terrains présentent des valeurs de la résistance de pointe faible ($30 < R_{p_{max}} < 70$ bars et $8 < R_{p_{min}} < 15$ bars) et une côte de refus allant de 4 à 7 m.

Selon LNHC, 2001, Aiche Géo-sol, 2013 et LBM-Sol, 2014, la présence des blocs calcaires lacustres dans la matrice argileuse et leur répartition d'une façon anarchique dans le sous-sol bloque ou stoppe parfois, l'avancement des outils de forage et fausse par conséquence les résultats de la résistance de pointe et selon Zouaoui, 2008, la présence d'eau dans les sols augmente son degré de saturation et le rend lâche par la suite.

Les essais de laboratoire effectués sur le sol de la région de Mila ont donné des valeurs importantes de degré de saturation (80.77 à 100%), des valeurs de la teneur en eau moyennes à faibles (13.63 à 35.75%), une densité humide de 1.88 à 2.32t/m³, une densité sèche de 1.51 à 1.92t/m³, un taux d'argile élevé de 45 à 87%, un taux faible (0 à 17%) de sables et graviers pour le site de Marechau et el Kherba et élevé (8 à 38%) pour le site de l'Université, un indice de plasticité de 13.74 à 49.44%, une limite de liquidité de 26.74 à 70%, une valeur de cohésion de 0.1 à 1.4bar, une valeur d'angle de frottement interne de 1 à 10°, une contrainte de préconsolidation variant de 1.03 à 3.22bars, un indice de compressibilité de 0.1 à 0.32%, un indice de gonflement de 0.018 à 0.187% et des valeurs des tassements variant de 3.29 à 27.75cm pour les semelles filantes et de 4.18 à 25.9cm pour les semelles carrées.

D'après ces résultats, on peut classer les matériaux analysés, selon la norme NF P94-050, FAER, Philipponnat, 1979, Philipponnat & Hubert, 2003 et Cordary, 1994 comme limons ou argiles moyenne à raides très saturées en eau, avec un état hydrique légèrement humide à humide et présentent selon la norme NF P94-053 et Costel & Sanglerat, 1981, un comportement plus ou

moins compact et ses courbes granulométriques résultantes, selon la norme NF P94-056, sont uniformes et étalées (Cu variant de 1 à 3). Les résultats des limites d'Atterberg sont plus grands que les normes ce qui reflètent le caractère de retrait-gonflement de ces argiles (Komornik & al., 1969, Dakshanamurthy & al., 1973, Hazmoune, 2008, Khellaf & al., 2015, Khellaf & al., 2018). La représentation de Ip et WL sur le diagramme de Casagrande a révélé que ces argiles sont positionnées au-dessus de la ligne A et sont comprises entre la ligne A et la ligne U sur l'abaque de Casagrande. Cette position montre que ces argiles sont dans l'ensemble peu plastiques (AP) à très plastiques (AT) et elles appartiennent aux trois grandes familles des minéraux argileux (Illite, Montmorillonite et Kaolinite). Les valeurs élevées (>1) de l'indice de compacité et de la densité sèche (>1.5) sont dûes selon Derriche et al., (1999) aux grands écarts entre la teneur en eau naturelle et la limite de liquidité et ce qui démontre l'état de surconsolidation et la dessiccation de ces sols. La chute de ses caractéristiques mécaniques (cohésion et angle de frottement interne) est dûes, selon Zouaoui 2008, à la présence anormale d'eau (les fluctuations de la nappe) et selon Bouhenouna 2008, au faible pourcentage des éléments fins et au fort pourcentage des sables et une cohésion faible. Les résultats d'essai œdométrique montrent un sol de type argiles raides (Philipponnat, 1979, Costel & Sanglerat, 1981 et NF P94-090-1) consistant, surconsolidé, moyen à très compressible. Les variations de ces paramètres, semblent confirmer l'hétérogénéité des sols du terrain (Hazmoune, 2008). Les valeurs des tassements (ΔH_i) enregistrés sont très élevées soit pour les semelles filantes ou pour les semelles carrées.

Selon Forni, 1981 et Philipponnat & Hubert, 2003, le tassement est considéré admissible pour une fondation superficielle, reposant sur un sol argileux, s'il est inférieur à 5 cm et ne présente pas de danger quand il est uniforme et de petites valeurs. Par contre il apparaît des fissures aux bâtiments courants lorsque ce tassement dépasse 5cm. Cependant les valeurs des tassements enregistrés dans cette région sont pour la majorité supérieures à 5cm, soit sous des semelles filantes ou semelles carrées et occupent la totalité de la région étudiée et les zones où ces tassements sont admissibles (< 5cm) sont minimales et occupent une surface réduite sur les cartes de variabilité spatiale. De ce fait, les sols de la région de Mila présentent des variations de volume très importantes et ont une tendance de se tasser lorsque leur teneur en eau varie en réponse aux conditions climatiques et l'effet hydrostatique de la nappe (Azzouz, 2015), la difficulté du drainage des eaux de ces sols et le drainage de la nappe (Chettah, 2009) et à la présence et l'abondance des minéraux argileux phylliteux dans les sols ; comme la smectite qui est très sensible au phénomène de retrait gonflement (Athmania, 2010). Ces variations de volume affectent le fonctionnement des fondations et des constructions en contact avec le sol et sont la cause de dommages particulièrement intenses dans les périodes de sécheresse (BRGM, 2009).

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

La région d'étude fait partie du soubassement de Mila qui appartient, géologiquement, au bassin Néogène ou bassin poste nappe de Mila-Constantine. Ce terrain, occupe la partie Sud et Ouest de la ville de Mila. Il correspond aux formations telliennes à matériel essentiellement argileux et marneux à caractère gypseux notable.

Cette région est caractérisée, dans l'ensemble, par une altitude moyenne d'environ 500 m, une pente de 5 à 15%, d'un climat sub-humide frais de précipitations moyennes annuelles plus de 600mm/an, de températures de 0 à 40°C et d'un couvert végétal peu important de cultures céréalières et des herbes sauvages. Elle présente aussi une sismicité d'intensité moyenne à faible que les régions avoisinantes telles que la zone de Constantine et les Babors.

Les diverses analyses des sols des trois sites du secteur d'étude, de la commune de Mila – site de Marechau, site d'el Kherba et site de l'Université-, ont donné pour :

L'analyse minéralogique des sédiments fins des trois sites étudiés ont prouvé d'une part, la forte présence des minéraux non argileux comme : la calcite qui est signalée dans l'ensemble des échantillons même chose pour le quartz qui présente aussi un pourcentage peut aller jusqu'à 49%, la dolomite et la sidérite sont manifestées mais sous forme de traces et la Kaolinite qui est un minéral typique des terrains émergés et altérés est se présentée aussi et prouve la tendance à l'immersion temporelle de cette région. D'autre part, les minéraux argileux, se présentent aussi mais avec de faibles intensités : la montmorillonite, dans la région de Mila est de type 2/1. La smectite qui est un minéral très sensible au retrait gonflement est se manifestée par des tassements des fondations. La Chlorite qui est le résultat de l'altération de la Biotite en particulier et les argiles de Mila présentant leur pourcentage plus de 15%. La Saponite et la Vermiculites qui sont capables de la perdre l'eau et de se rétracter se présentent aussi en petit pics, et génèrent des variations de volume remarquable. L'illite est signalée sous forme de traces. Ces minéraux malgré sont mal cristallisés, ils jouent un rôle très important à la génération des tassements dans la région de Mila.

Les échantillons sélectionnés pour l'analyse chimique sont prélevés de profondeur de 1 à 18.5m. Les résultats obtenus de cette analyse ont donné des teneurs en sulfates majoritairement faibles ou en trace pour le côté Est du secteur étudié (site de Marechau et el Kherba) et fortes pour le côté Ouest (site de l'université) ce qui reflète la forte agressivité au béton des sols de ce dernier (site de l'université) et la faible agressivité des sols du site de Marechau et d'el Kherba. La présence de ces sulfates dans les faciès analysés est liée en principe à la présence de gypses dans les formations argileuses constituant le terrain du soubassement de Mila.

L'analyse pétrographique des sols de cette région (Mila) a donné, à peu près, les mêmes variétés sédimentaires pour les trois sites en question. Ces variétés sont, en général, des argiles, des argiles marneuses, des argiles marno-sableuses et des argiles sableuses. Ces analyses montrent des teneurs en argiles plus élevées (>75%), des teneurs faibles de carbonates (<30%) et des teneurs très faibles en silice (<10%). Ces résultats permettent de classer les sols de la région d'étude dans leur majorité comme des argiles et des argiles marneuses et parfois sableuses.

L'analyse des coupes géologiques verticales des sondages carottés a donné, de la base au sommet, des marnes grises à verdâtres à gypse et à débris de calcaire lacustre surmontées par une formation argileuse grise à verdâtre parfois noirâtre, gypseuse et à blocs de calcaire et le tout est surmonté par la terre arable. Ces coupes verticales nous permettent de tracer des coupes longitudinales à travers les sites étudiés.

L'analyse des pénétrogrammes et ses graphiques ont donné une côte de refus (CR) varie de 1 à 13m, une résistance de pointe maximale ($R_{p_{max}}$) plus de 600bars et une résistance de pointe minimale ($R_{p_{min}}$) atteint 15bars. Ces résultats définissent la présence de trois catégories de terrains dans la région étudiée. Les premiers terrains présentent une $R_{p_{min}} > 70$ bars, une $R_{p_{max}}$ atteint 650bars et une CR plus de 10m de profondeur. Les deuxièmes terrain présentent une $R_{p_{max}}$ de 175 à 200bars, une $R_{p_{min}}$ de 40 à 70bars et une CR allant de 5 à 7m et la troisième catégorie des terrains présente une $R_{p_{min}}$ de 15 à 30bars, une $R_{p_{max}} < 150$ bars et par conséquence une CR comprises entre 1.6 à 2.4m. En signale que les faibles résultats de Rp et CR sont dû, d'une part, à la présence des blocs de calcaire lacustre de tailles différentes enveloppés dans la matrice argileuse et repartis d'une façon anarchique dans le sous-sol de la région ce qui bloc ou stoppe, parfois, l'avancement des outils de forage et d'autre part, à la présence d'eaux qui augmente le degré de saturation du sol et le rendant par la suite lâche.

Les analyses géotechniques des sols aux laboratoires, ont donné que ces sols sont des argiles moyennes à raides très saturées en eau, avec un état hydrique légèrement humide à humide, présentent un comportement plus compact et parfois plus ou moins lâche, peu plastiques (AP) à très plastiques (AT) et appartient aux trois grandes familles des minéraux argileux (la montmorillonite, la kaolinite et l'illite). Ces argiles sont consistantes, surconsolidées et moyen à très compressibles.

Le calcul des tassements (ΔH_i) de ces sols soit sous les semelles filantes ou carrées, a donné des valeurs par identiques et sont majoritairement supérieures à 5cm pour la totalité de surface. L'interpolation et la représentation de ces valeurs sur des cartes de variabilité spatiale montrent que les sols de cette région sont présentés une variation de volume plus importante et ont une tendance de se tasser même ils ont occupé une surface considérable sur ces cartes. Ces tassements, donc, ne sont pas admissibles et doit être vérifier la stabilité des fondations.

RECOMMENDATIONS

RECOMMANDATIONS

Le tassement n'est pas nécessairement relié uniquement à la lithologie des couches, mais il est en relation aussi aux dépôts superficiels qui peuvent conduire à des mouvements affectés des zones plus étendues, les dépôts argileux et marneux à blocs ont tendance à réduire les effets de traction, les fluctuations de la nappe qui engendrent une pression hydrostatique énorme sur les sols et les failles aussitôt ont une tendance à être des points de concentration de la déformation et malheureusement elles ne sont pas faciles à localiser ou repérer précisément à la surface.

Une fois le problème est survenu dans la région étudiée, nous concluons que les constructions installés dans ces sites seront inhabitables car les tassements vont augmenter sous les charges permanentes et les charges d'exploitations (le cas des 185 logements), ce qui menace la vie humaine, néanmoins nous recommandons :

1. Un suivi continu des tassements jusqu'à stabilisation.
2. Un système de drainage pour accélérer la consolidation.
3. Conforter le sol dans le sens du mouvement avec des pieux dimensionnés et reliés par une couronne en béton ou à la rigueur pour un problème de coût mettre des palplanches métalliques sans oublier de protéger le béton contre l'agressivité du sol.
4. Si le tassement est excessif, on doit résoudre ce problème soit en renforçant le sol soit en modifiant l'ancrage des fondations (changeant le type de fondation), soit en modifiant la contrainte apportée par l'ouvrage pour augmenter la capacité portante du sol.
5. Adopter un plan d'aménagement qui précède tous travaux de terrassement et qui tiennent compte de la morphologie et la nature des sols en question.
6. Aménager le terrain soigneusement en commençant de l'amont vers l'aval et dans des périodes sèches tout en évitant les terrassements en grande masse.
7. Assurer la stabilité des talus des banquettes par des dispositifs de soutènement.
8. Canaliser les Talwegs existantes dans les sites et assurer leur évacuation vers un déversoir.
9. Réalisation d'un drainage en amont des sites, avec collection des eaux de ruissèlement.
10. Une végétation rapide est nécessaire pour éviter les phénomènes de ravinement et augmenter la résistance de sol au cisaillement par le dessèchement de terrain.
11. Maintenir le niveau de la nappe au-dessous de l'ancrage des fondations par la réalisation d'un drainage périphérique.
12. Une mise en œuvre suivant les règles et les normes.
13. Une étude hydrogéologique détaillée est recommandée pour la région de Mila pour suivre les fluctuations de la nappe et estimer leur effets sur les constructions.

Pour les sols vierges :

1. On recommande la stabilisation du sol en procédant à un préchargement du sol avec drains verticaux pour accélérer le phénomène du tassement et de dissiper l'eau.
2. Un rabattement de la nappe dans un autre sens que le sens existant.
3. Opter pour des fondations en radier afin d'avoir des tassements uniformes et admissibles.
4. Les talus de déblais pour les formations meubles ne devront pas dépasser une hauteur de 3m sans dispositif de soutènement.
5. Les terrassements devront être réalisés préférentiellement en saison sèche en les entamant du haut vers le bas et devront être aussi confiés à des entreprises spécialisées ayant une compétence prouvée dans le domaine, car l'équilibre naturel des terrains peut être dérangé et par conséquent des risques de glissement peuvent surgir ultérieurement.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Afes M., 1996 : Contribution à la détermination des paramètres de gonflement des sols et étude de l'argile de Mila (Algérie) traitée à la chaux. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, 300p.

Afes M. et Didier G., 2000 : Stabilisation des Sols Gonflants : Cas d'une Argile en Provenance de Mila (Algérie). Bulletin of Engineering and the Environnement. ISSE : volume 59, PP 75-83.

Amireche H., 2001 : L'eau, le substrat, la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du Tell Nord Constantinois (Algérie). Thèse doctorat, Université de Mentouri-Constantine, 226 p.

Athmania D., 2010 : Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (Nord Constantinois). Thèse Doctorat, Université de Constantine, 172 p.

Athmania D., Benaïssa A. et Bouassida M., 2011 : Géologie et géotechnique de quelques formations superficielles du Nord-Ouest Constantinois, Algérie. Afrique Science 07 (1) ISSN 1813-548X, 105 – 115.

Azzouz F.Z., 2015 : Stabilisation des sols argileux de la région de Tlemcen par les sels. Revue El Wahat pour les Recherches et les Études. ISSN : 1112 -7163. 8(1) : 108 – 117.

Benbrahim F., Benslama M., Kemassi A., Darem S., Hamel I., Chikhi F., Halilat M.T., 2016 : Évaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. Ciencia Técnica Vitivinícola., 31(5) : 107-123.

Belabbas S., 2012 : Inventaire et caractéristiques des accidents actifs (impact sur la sismicité de la région de Constantine). Thèse Magister, Université de Ferhat Abbes-Sétif-, 120 p.

Benabbas C., 2006 : Évolution Mio-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie Nord orientale : apport de la photogéologie et analyse morphostructurale. Thèse Doctorat, Université de Constantine, 256 p.

Bellatrache Y., 2012 : Comportement des argiles naturelles et traitées d'Ain Amenas en fonction de la teneur en eau. Thèse de Magister, Université Kasdi Merbah – Ouargla.

Benaïssa A., 2003 : Glissement de terrain, calcul de stabilité. Edition O.P.U. (Alger), 95 p.

Benguerai A., Benabdeli K., 2017 : Assessment of Soil Vulnerability to Water Erosion Using GIS and Remote Sensing in the watershed of Fergoug, North-West of Algeria. J. Appl. Environ. Biol. Sci., 7(3) :166-172.

Bouadja F., 2010 : Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine. Thèse Magister, Université de Ferhat Abbes-Sétif-, 154 p.

Bouafia A., 2004 : Les essais in situ dans les projets de fondations. OPU. Université de Blida. Algérie. 160p.

Bouhenouna A., 2008 : Étude géologique et géotechnique de la digue principale K1 du barrage réservoir d'Oued El Kaïm, wilaya de Mila (Algérie). Thèse Magister, Université de Jijel, 171p.

Bouillin J.P., 1977 : Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie). Thèse Doctorat en sciences. Université de Paris VI, 551p.

Bouillin J.P., 1986 : Le bassin maghrébin une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des alpes. Bulletin de Société Géologique de France (8), t. II, N° 4, pp 547-558.

Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 2009 : Rapport final, « Analyse du Retrait-Gonflement et de ses Incidences sur les Constructions ». Projet ARGIC BRGM/RP 57011-France.

Bultel F., 2001 : Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels. Thèse Doctorat. École nationale des ponts et chaussées, France, 298 p.

Cailler S., Hennin S. et Rautuream M., 1982 : Minéralogie des argiles : structure et propriétés physico-chimique. Tomme 2. Edition Masson et INRA. Paris, 184 P.

Casagrande A., 1948 : Classification and Identification of Soil. Transactions, ASCE, Vol. 113. PP 901-930.

Celso G., Velho J. et Ramirez C., 1998 : Minerais industriels. Geologia, proprieolades, tratamentos, aplicaçoes, especificaçoes, produçoes e mercados. Edition d'Université d'Aveiro, 591 p.

Chadi M., 2004 : Cadre géologique et structural des séries crétacées néritiques du Constantinois (Est algérien). Thèse Doctorat, Université de Constantine. pp 17-70.

Chettah W., 2009 : Investigation des propriétés minéralogiques et géomécaniques des terrains en mouvement dans la ville de Mila « Nord-Est d'Algérie ». Thèse Magister. Université d'el Hadj Lakhdar – Batna –,177 p.

Chretien M., 2010 : Compréhension des mécanismes de retrait-gonflement des sols argileux : approche sur site expérimental et analyse de sinistres sur constructions individuelles. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 372p.

Coiffait P.E., 1992 : Un bassin post-nappe dans son cadre structural, exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale). Thèse Doctorat sciences. Université de Nancy, 502 p.

Cordary D., 1994 : Mécanique des sols. Edition Lavoisier. Tec et Doc. Paris, 380 p.

Costet J. et Sanglerat G., 1981 : Cours pratique de mécanique des sols. Tome 1 - Plasticité et calcul des tassements. Edition Dunod. Paris, 339 p.

Côte M., 1974 : Les régions bioclimatiques de l'Est algérien. Université de Constantine, C.U.R.E.R., Ronéot, 6 p. pp 239-245.

Cuisinier O., 2002 : Comportement hydromécanique des sols gonflants compactés. Thèse Doctorat de l'I.N.P.L. France, 172 p.

- Dakshanamurthy V. and Raman V., 1973** : A simple method of identifying an expansive soil. Soils and Foundations. Japanese Soc. Of Soil Mech. And Foundation Eng. Vol. 13, n°1, pp. 97-104.
- Derriche Z., Iguechtal L. et Tas M., 1999** : Comportement des ouvrages dans les argiles expansives d'In-Aménas. Revue Française de Géotechnique, N° 86, 55-63.
- Durand-Delga M., 1955** : Étude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique (Algérie). Thèse Sciences Paris et Bulletin de Services de Cartes géologiques. Algérie, 2^{ème} série, N° 24. 533 p.
- Durand-Delga M., 1969** : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bulletin de Services de Cartes géologiques. Algérie. 39, pp 89-131.
- Durand-Delga M. et Fontboté J.M., 1980** : Le cadre structural de la méditerranée occidentale. Recherches Géologiques Minières, t.2, n°115, Paris, pp.67-85.
- Durozoy G., 1960** : Étude géologique de la région de Châteaudun de Rhumel. Thèse Doctorat. Université d'Alger, N°22, 456p.
- El Yakoubi N., 2006** : Potentialités d'utilisation des argiles marocaines dans l'industrie céramique : cas des gisements de Jbel Kharrou et de Benhmed (Meseta marocaine occidentale). Thèse Doctorat, Université Mohammed V-Agdal, faculté des sciences Rabat. 212p.
- Eslinger E. and Peaver D., 1988** : Clay minerals for petroleum geologists and engineers. SEPM Short Course Notes N° 22. Soc. Economic paleontologists and mineralogists, Tulsa, USA.
- Fiche d'Action Élémentaire de Recherche (FAER)** : sites expérimentant du remblai sur sols mous et suivi d'ouvrages réels. N° 6.16.
- Fournel H., 1849-1854** : Richesse minérale de l'Algérie. Imprimerie Nationale, Tome 1. Paris. 473 P.
- Flandrin J., 1948** : Contribution à l'étude stratigraphique nummulitique Algérien. Bulltin des services de la carte Géologique. Algérie, n° 19. Thèse de Doctorat. Paris.
- Forni M., 1981** : Fondations spéciale et reprise sous-œuvre. Edition Eyrolles. Paris, France, 184p.
- Frank R., 2004** : Techniques de l'ingénieur, traité de construction économique des sols. Edition cermes. Tome II. ENPC. LCPC. C 246.
- Gaombalet J., 2004** : Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage. Thèses de doctorat, Ecole Polytechnique, 326p.
- Gélard J.P., 1969** : Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif du Chettabah : le flysch mauritanien (grande Kabylie). Bulletin Société géologique de France (7), Paris VI, pp.676-686.
- Ghoreychi M., 1997** : Comportement rhéologique et couplages thermo-hydro-mécaniques dans les argilites de l'Est : expériences macroscopiques et analyse microscopiques. Journées scientifiques andra, bar-le-duc, edp sciences, pp 109-126, 20-21.

Habib P., 1997 : Génie Géotechnique - Applications de la mécanique des sols et des roches. Edition Ellipses. AUPELF/UREF. Paris, 222 p.

Habila S., Khelili S. et Legouchi E., 2010 : Evaluation du Risque de Contamination des Eaux du Barrage Beni Haroun (Wilaya de Mila) Par les Polluants Organiques et Minéraux. International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brasil, 1(1), pp. 239-245.

Hachichi A. et Fleureau J.M., 1999 : Caractérisation et stabilisation de quelques sols gonflants d'Algérie. Revue Française de Géotechnique, N° 86, pp 37-51.

Hachichi A., Benaissa A., Bourokba S., Boudia M., 2003 : Étude de la stabilisation chimique des sols gonflants de la région d'Oran, Proc. 13th C.R.A. L'implication de la géotechnique dans le développement des infrastructures en Afrique. Marrakech. Marco. 8-11 Dec. pp 371-379.

Hafsi A., 1993 : Théorie de la double couche et gonflement des argiles non saturées. Euromech colloquium N° 209 : Mechanics of swelling, Rhodos, Greece, August, 23-27.

Hazmoune H., 2008 : Approches des études géotechniques liées à la pathologie des ouvrages : étude de cas des 185 logements de Mila. Thèse Magister, Université de Constantine, 86 p.

Holtz W.G. et Gibbs H. J., 1991 : Introduction à la géotechnique. Traduit par Lafleur J., Edition de l'école de polytechnique de Montréal, Canada, 794 p.

Javelaud E., 2015 : Etat de l'art des méthodes d'évaluation du risque de liquéfaction. Cas des ouvrages à risques normal et spécial en France. 9^{ème} Colloque National AFPS, 2015, IFSTTAR 2.

Joleaud L., 1912 : Etude géologique de la chaîne numidique des monts de Constantine. MontPellier, Montane, Sicardiet, Valentin Edition. 438. 9P. 1. Carte en couleurs. Thèse Doctorat Paris.

Joleaud L., 1907 : Feuille de 1/50.000e (smendou) N0 52, avec notice explicative. Publication des services de carte géologique. Algérie.

Kechouane Z., Bouraiou M.C., Hacini M. et Ait Mokhtar K., 2009 : Les mouvements de terrain dans la région de Mila. Analyse du glissement du site des 185 logements. Premier symposium méditerranéen de geoengineering «smge09» Alger, 20 et 21 Juin 2009, 10 p.

Khellaf K. et Bitat F., 2006 : Étude géotechnique et géologique du site des 185 logements (Mila) et proposition de solutions aux problèmes posés. Mémoire d'Ingéniorat, Université de Jijel, 110 p.

Khellaf K., 2009 : Cadre géologique, aspect pétro-minéralogique et géotechnique du complexe argilo-marneux de la région Nord-Ouest de la ville de Mila : Boufouh (Mila-Algérie (Nord orientale). Thèse Magister, Université de Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa, 156 p.

Khellaf K., Zeroual F., Sebaai N. et Aziz W., 2015 : L'effet de l'ajout du sable de Sidi Abd el Aziz (Jijel) sur le potentiel du gonflement des argiles de Mila (région d'el kherba). ElWahat pour les Recherches et les Etudes. 8(2): 57 – 77, 2015.

Khellaf K. et Hamimed M., 2018a : Petro-Mineralogical and Geotechnical Analysis on the Clays of Constantinois Province (Mila North-East Algeria). J. Appl. Environ. Biol. Sci., 8(2)14-22, 2018.

Khellaf K. et Hamimed M., 2018b : Contribution to the geotechnical study and estimation for differential settlements of Mila region soils (North-East Algeria). JARST, 5(2), 818-828, 2018.

Khellaf K. et Hamimed M., 2018c: Geotechnical study and estimation for differential settlements risk of mila-constantine basin soils (north-east algeria). ElWahat pour les Recherches et les Etudes. 11(1), 109-126, 2018.

Komornik A. and David D., 1969 : Prediction of swelling pressure of clays. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division. ASCE 95 (1), 209-225, 1969.

Labiod F., 2009 : Mouvement de masses et instabilités des terrains dans le bassin versant de l'Oued Mila. Caractérisations et enjeux socio-économiques. Thèse Magister, Université des sciences et de la technologie – Houari Boumediene- Alger, 214 p.

Laboratoire d'Études Géotechniques de Sols et Fondations (Aiche Géo-Sol), 2013 : Étude géotechnique du POS AU8 sur une surface de 39ha. Commune de Mila –Phase de reconnaissance phase II - wilaya de Mila. Dossier N EG43/11/2013. 41p.

Laboratoire d'Études Géotechniques de Sols et Fondations (Aiche Géo-Sol), 2013 : Étude géotechnique du POS AU15 sur une surface de 40 ha. Commune de Mila –Phase de reconnaissance phase de synthèse III - wilaya de Mila. Dossier N EG43/12/2013. 65p.

Laboratoire de Béton et de Mécanique de Sol (LBM-Sol), 2014 : Rapport d'étude géotechnique –Plan d'occupation de sol N° 9 Mil. (2^{ème} et 3^{ème} phase)-. Dossier 32/2012.

Laboratoire de Géologie et de Géotechnique (LGG), 2010 : Rapport d'étude géologique et géotechnique des 4000 places pédagogiques du centre universitaire de Mila. D.L.E.P. 26/ES/2010. 62p.

Laboratoire de Géologie et de Géotechnique (LGG), 2010 : Rapport d'étude géologique et géotechnique des 1000 lits d'une cité universitaire de Mila. D.L.E.P. 24/ES/2011. 89p.

Laboratoire des Travaux Publique de l'Est (LTPE), 2010 : Rapport d'étude géotechnique du site de 300 logements LSL RHP T09 2^{ème} tranche. Mila. Dossier : 100/DRC/RM/43ES/25/2010. 7p.

Laboratoire Nationale de l'Habitat et de Construction (LNHC), 2001 : Rapport d'étude géotechnique complète du POS de Mila. Dossier 133/2001. OPGI de Mila. 23p.

Lahondère J.C., 1987 : Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse Doctorat, Université de Toulouse, pp.8-19 et pp.94-97.

- Lamara M., Gueddouda M.K. et Goual T., 2005** : Stabilisation des argiles gonflantes par ajout du sable de dune. 2^{ème} journée d'études sur les sols gonflant, Tlemcen le 13.11.2005, pp 129-139.
- Lebourg T., 2000** : Analyse géologique et mécanique des glissements de terrain dans des moraines de Pyrénées centrales et occidentales (France). Thèse doctorat. Université de Bordeaux. 360 P.
- Lepluart L., 2002** : Formation, la morphologie aux différents niveaux d'échelle et les propriétés mécaniques des réseaux». Thèse de doctorat. Institut de Lyon, France. 254 p.
- Léreau J., 2005** : Cours de géotechniques -Chapitre I-, Institut des sciences appliquées de Toulouse, France, 22p.
- Marmi R. and Guiraud R., 2006** : End Cretaceous to recent polyphased compressive tectonics along the "Mole Constantinois" and foreland (NE Algeria). Journal of African Earth.
- Marmi R., Kacimi M. et Boularak M., 2008** : Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie Nord-Orientale) : Impact sur les infrastructures. Revista de Geomorfologie, 10, Bucarest, pp 51-56.
- Mebarki A., 1982** : Le bassin de Kébir-Rhumel - Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Université de Nancy II, 304 p.
- Méring J. and Oberlin, 1971** : The smectite. Electron optical investigation of clays. Mineralogical Society. London, pp 135-145.
- Michel J.P., 2000** : Les techniques du béton compacté au rouleau. Journée technique du 07 Juin 2000, barrage de Beni Haroun, pp 01-06.
- Mitchell P. W., 1986** : The design of raft footings on expansive soils. Civil engineering transactions, institution of engineers Australia, vol. ce 28, N^o 4, pp 328-335.
- Mouroux P., Margon P. et Pinte J.C., 1988** : La construction économique sur les sols gonflants : Manuels et méthodes, vol. 14, BRGM.
- Ngoc Lan T. et Barbaras R., 1982** : Essai granulaire rapide pour sols peu argileux et granulats. Bull. liaison Labo. P & Ch.- 120- Réf. 2730. 40-47P.
- Norme Française NF P 18-011, 1992** : Sols : Reconnaissance et Essais – Classification des environnements agressifs. Homologuée Juin, Bull, liaison labo. P. et Ch., 190.
- Norme Française NF P 94-050, 1994** : Sols - Reconnaissance et Essais – Détermination de la teneur en eau pondérale des sols - Méthode par étuvage. Homologuée Octobre 1991. Bull, liaison labo. P. et Ch., 190. 8 p.
- Norme Française NF P 94-051, 1993** : Sols - Reconnaissance et Essais – Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau. Homologuée Mars 1993.

Norme Française NF P18-598, 1991 : Granulats : Équivalent de sable. Expérimentale Octobre 1991, 8 p.

Norme Française NF P94-053, 1994 : Sols - Reconnaissance et Essais – Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire - Méthode de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau. Homologuée Octobre 1991. Bull, liaison labo. P. et Ch., 190.

Norme Française NF P94-056, 1996 : Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage.

Norme Française NF P94-057, 1994 : Sols - Reconnaissance et Essais – Analyse granulométrique des sols par sédimentation. Homologuée Mai 1992. Bull, liaison labo. P. et Ch., 190.

Norme Française NF P94-074, 1994 : Sols : Reconnaissance et Essais - Essai à l'appareil triaxial de révolution - Appareillage - Préparation des éprouvettes - Essais (UU) non consolidé non drainé - Essai (CU + U) consolidé non drainé avec mesure de pression interstitielle – Essai (CD) consolidé drainé.

Norme Française NF P94-090-1, 1992 : Sols : Reconnaissance et Essais - Essai oedométrique - Partie 1 : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.

Norme Française NF P94-091 : Sols : Reconnaissance et Essais - Essai de gonflement à l'oedomètre – Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvette.

Norme XP P94-047, 1998 : Sols : Reconnaissance et Essais - Détermination de la teneur pondérale en matière organique – Méthode par calcination.

Office de la Recherche Géologique et Minière (ORGM), 1999 : Livret des substances utiles non métalliques de l'Algérie, Wilaya de Mila. Boumerdès, 34 p.

Office de la Recherche Géologique et Minière (ORGM), 1999 : Tableau des caractéristiques des gîtes de substances utiles non métalliques dans la wilaya de Mila, 6 p.

Oswald D., 2003 : Analyse de l'activité de glissements de terrain et relation avec les onditions climatiques : Exemples dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse). Université Fribourg, Suisse, 151p.

Philipponnat G., 1979 : Fondations et ouvrages en Terre. Edition Eyrolles. Paris, 402 p.

Philipponnat G. et Hubert B., 2003 : Fondations et ouvrages en terre. Edition Eyrolles. Paris, 548p.

Pomel A., 1889 : Description stratigraphique générale de l'Algérie. 212 p.

Raoult J.F., 1969 : Nouvelles données sur les flyschs du Nord de Kef Sidi Driss et dans la zone de col des oliviers (Nord du Constantinois, Algérie). Bulletin de Société Géologique de France (7), t. Paris XI, pp 516-543.

Raoult J.F., 1972 : Précision sur le flysch massylien : série stratigraphique, variations des faciès, nature du matériel remanié (Nord de Constantine). Bulletin de Services Carte géologique d'Algérie, nouvelle série, N°39, Alger., pp.73-92.

Raoult J.F., 1974 : Géologie de centre de la chaîne numidique (Nord de Constantine, Algérie). Thèse Doctorat, Université de Paris, pp 1-163.

Raoult J.F., 1975 : Évolution paléogéographique et structurale de la chaîne alpine entre le golfe de Skikda et Constantine (Algérie orientale). Bulletin de Société Géologique de France (7) t. Paris III, pp. 394-409.

Remmache I., 2006 : Potentiel en substance utiles non métalliques (gypse et sel gemme) du bassin de Mila (Algérie Nord orientale). Thèse Magister. Géologie des Substances utiles, Université de Constantine, 80 p.

Rollings R.S., Burkes J.P. and Rollings M.P., 1999 : Sulfate Attack on Cement-Stabilized Sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 125, N°5, 364-372.

Rousset G., 1988 : Comportement mécanique des argiles profondes – application au stockage de déchets radioactifs. Thèse de Doctorat. École Nationale de Ponts et de Chaussées. Paris.

Rullan-Perchirin F., 1985 : Recherches sur l'érosion dans quelques bassins du Constantinois (Algérie). Thèse doctorat 3^{ème} cycle, Université de Paris I, 356 p.

Saiyouri N., 1996 : Approche microstructurale et modélisation des transferts d'eau et du gonflement dans les argiles non saturées. Thèse de doctorat, École Centrale de Paris, 228 p.

Souiki S., 2007 : Les argiles du bassin de Constantine-Mila : composition minéralogique, chimique et répartition des gisements. Thèse Magister, Université de Constantine, 129 p.

Tisot J.P., 1983 : Les essais de laboratoire en mécanique des sols. Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de Nancy.

Van-De-Fliert J.R., 1955 : Etude géologique de la région d'Oued Athmania (Algérie). Publication des Services de Carte géologique. Algérie N.S, Bull. N° 8, 245 p. Alger.

Velde B., 1995 : Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment. New York. Springer-Verlag, pp 8-42.

Vila J.M., 1980 : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doctorat, Université de Pierre et Maré Curie, Paris. 3 Vol, 665 p.

Violette A., 2010 : Processus et Bilans d'altération en milieu tropical (bassin versant de Mule Hole, Inde du Sud) : Sensibilité à la composition Minéralogique et au Climat. Thèse Doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, 379p.

Wakim J., 2005 : Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses. Thèse Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. France, 163p.

White A.J.R., 1999 : Principales and practice of soil science. The soil as a natural resource. Blackwell.

Wildi W., 1983 : La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. géog Phys., (24), 3, pp 201-297.

Zebouchi H., 2008 : Étude géologique et géotechniques des zones instables du versant Est du barrage de Beni Haroun. Wilaya de Mila. Thèse Magister. Université de Jijel, 154 p.

Zouaoui S., 2008 : Étude géologique et géotechnique des glissements de terrains dans le bassin néogène de Mila : glissement de Sibari. Thèse Magister. Université de de El Hadj Lakhdar, Batna, 172p.

ANNEXE

SITE DE MARECHAU

Tableau : Cordonnées des profils d'échantillonnage.

Marechau	Profil	X	Y	Z (m)
	P1	36°25'40.77"N	6°16'4.90"E	704
	P2	36°25'43.11"N	6°15'12.08"E	687
	P3	36°25'30.16"N	6°15'44.09"E	694
	P4	36°25'15.02"N	6°15'44.37"E	734

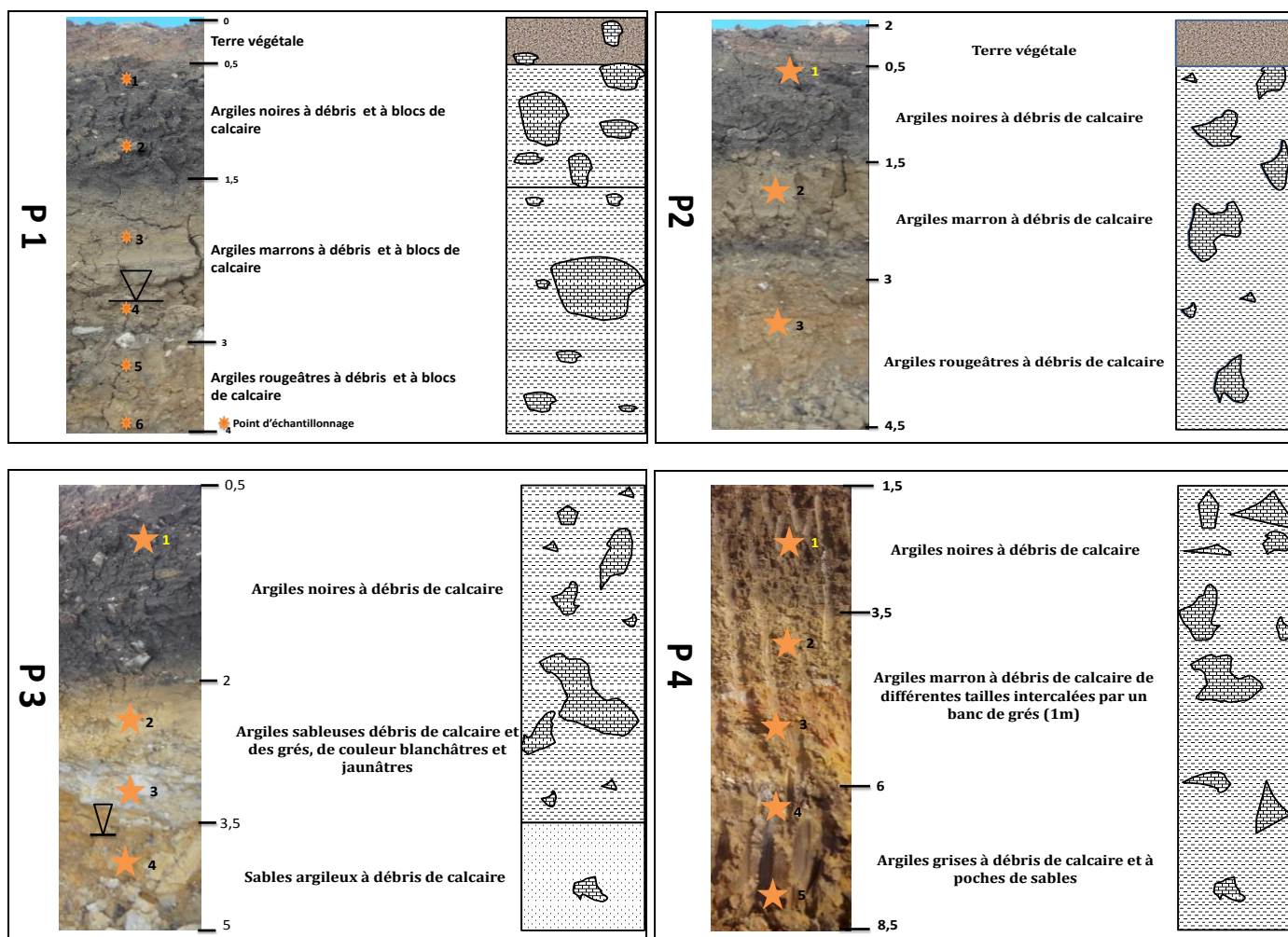


Figure : Profils et points d'échantillonnage (Marechau).

Tableau : Résultats d'analyse chimico-pondérale des sols du site de Marechau.

POS AU09											
P1	N°	Argiles	carbonates	sables		P2	N°	Argiles	carbonates	sables	
	1	83,17	14,08	1,75	AM		1	82,55	17,33	0,12	AM
	2	78,58	9,64	11,78	AS		2	79,63	11,89	9,48	AM
	3	64,44	23,16	12,4	AMS		3	69,71	25,69	4,60	AM
	4	78,61	10,47	10,92	AMS						
	5	77,04	20,18	2,78	AM						
	6	72,75	16,73	10,52	AMS						
POS AU15											
P3	N°	Argiles	carbonates	sables		P4	N°	Argiles	carbonates	sables	
	1	65,92	30,33	3,75	AM		1	78,95	15,47	5,58	AM
	2	59,23	8,42	32,35	AS		2	66,55	7,58	25,87	AS
	3	45,22	3,56	51,22	AS		3	44,85	2,34	52,81	AS
	4	56,12	3,15	40,73	AS		4	62,40	9,41	28,19	AS
					5	80,10	18,15	1,75	AM		

A : Argile, M : Marne, S : Sable, P : Profil

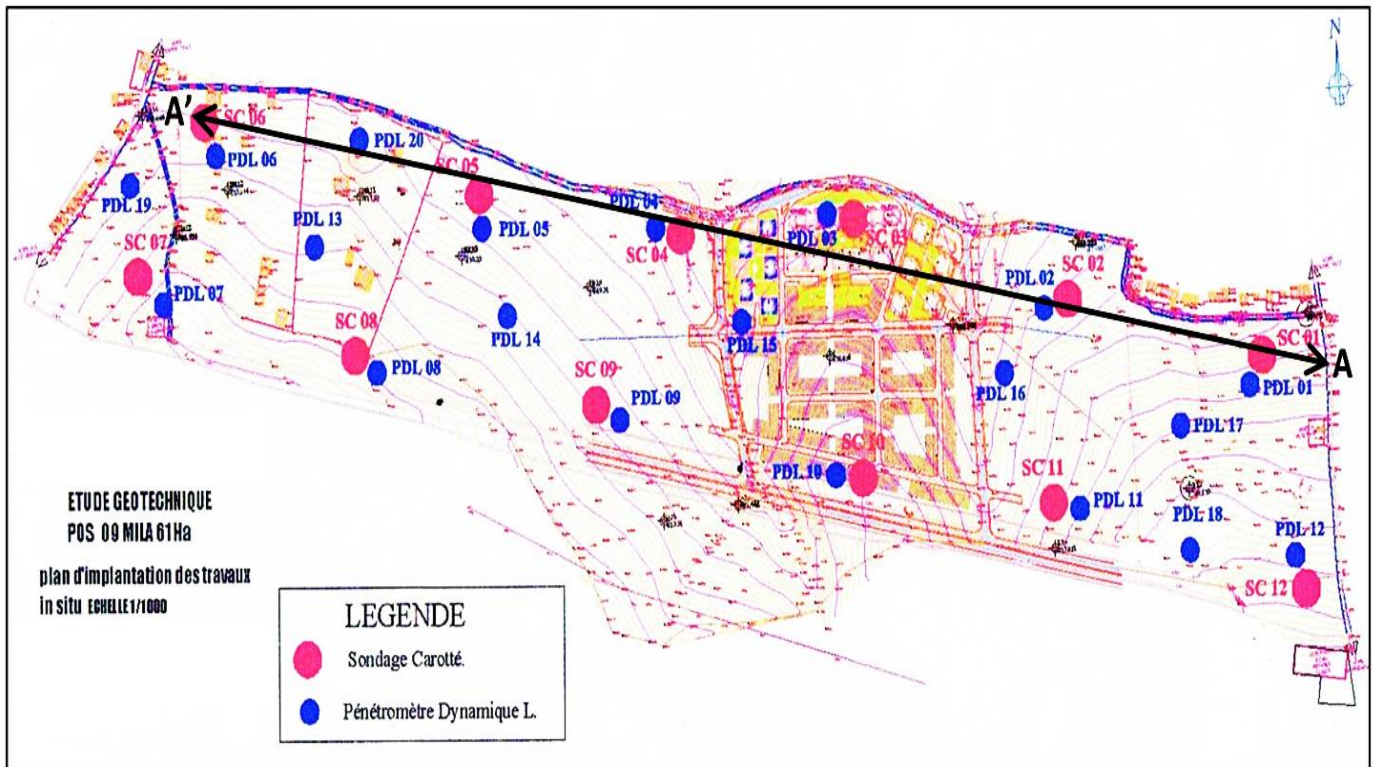


Fig. 45: Plan d'implantation des essais in situ (LBM-Sol, 2014).

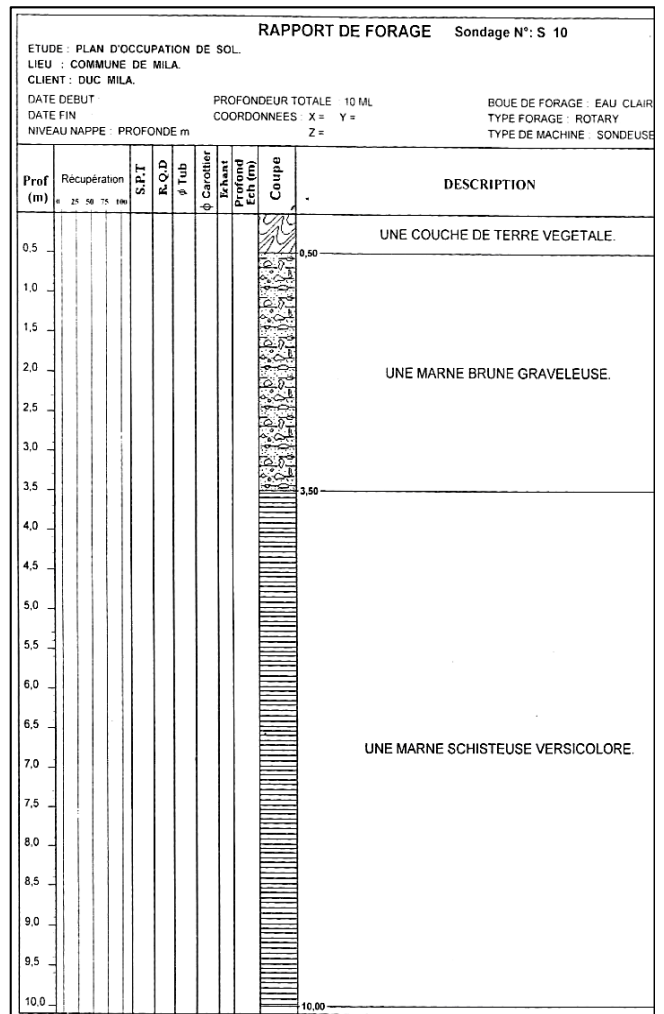
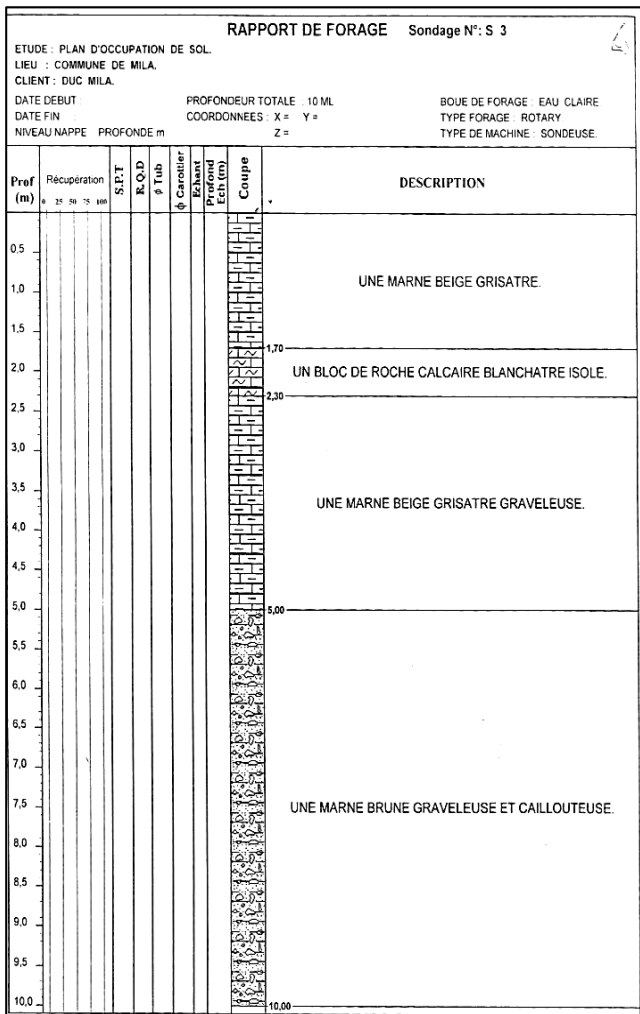


Fig. : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU9.

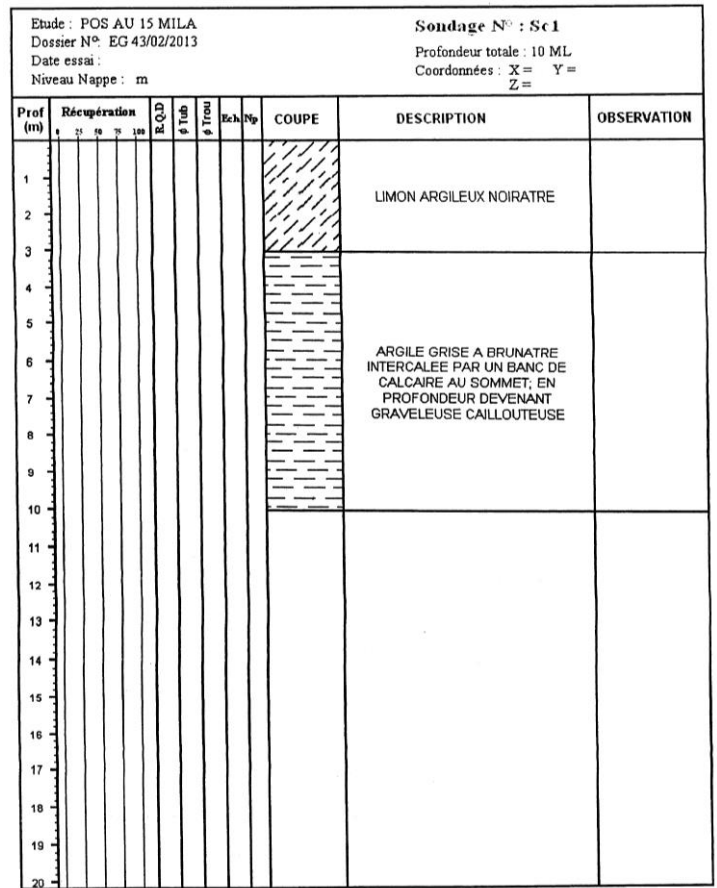
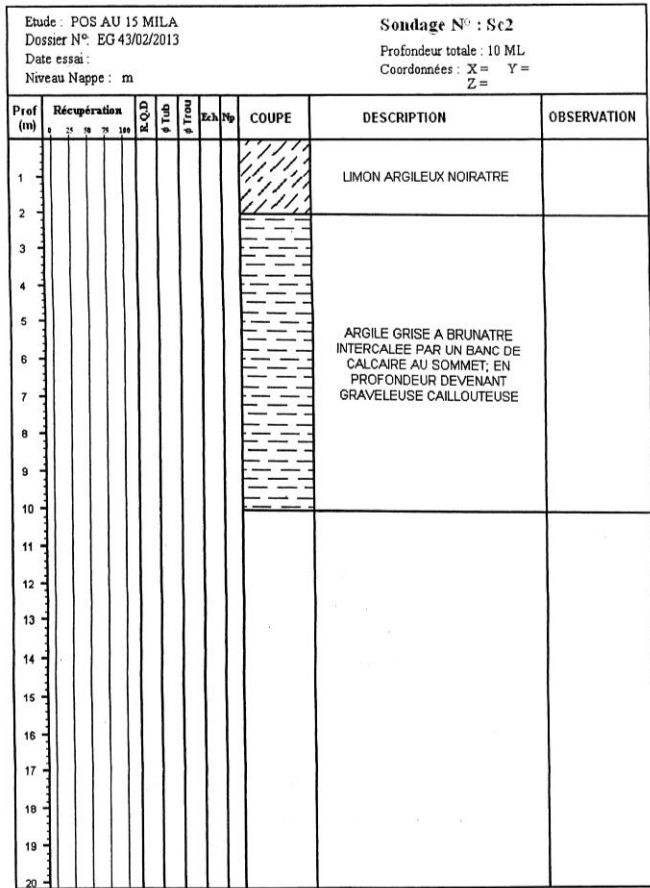


Fig. : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU15.

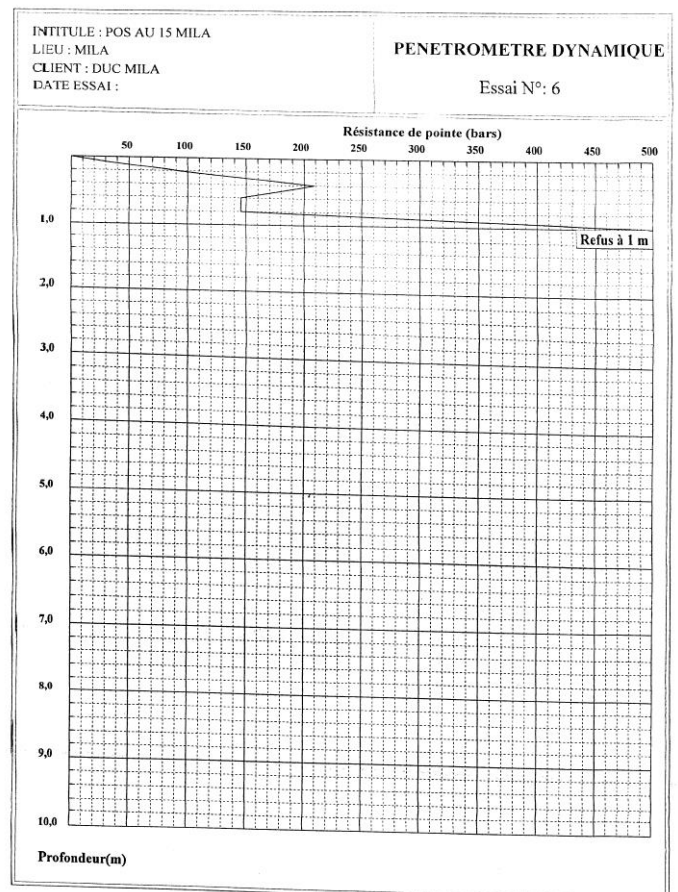
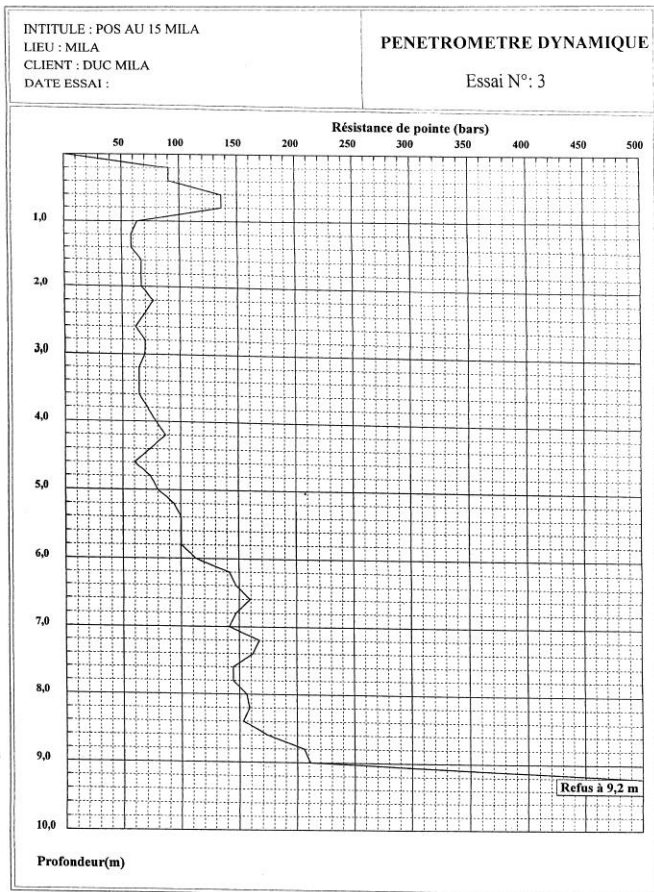
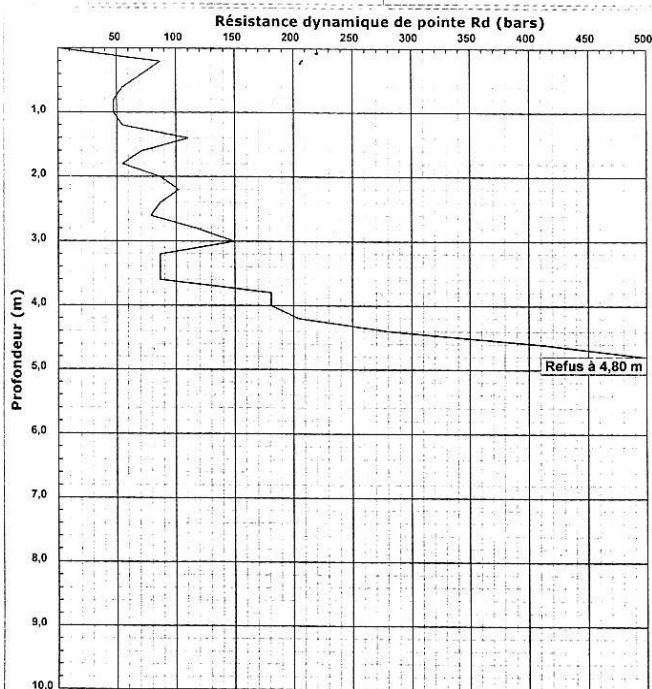


Fig. : Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU15.

INITITULE : PLAN D'OCCUPATION DE SOL.
N°DOSSIER : 32/2012.
LIEU : COMMUNE DE MILA.
CLIENT : DUC MILA.
DATE ESSAIS :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Essai N°: P 18



INITITULE : PLAN D'OCCUPATION DE SOL.
N°DOSSIER : 32/2012.
LIEU : COMMUNE DE MILA.
CLIENT : DUC MILA.
DATE ESSAIS :

PENETROMETRE DYNAMIQUE

Essai N°: P 1

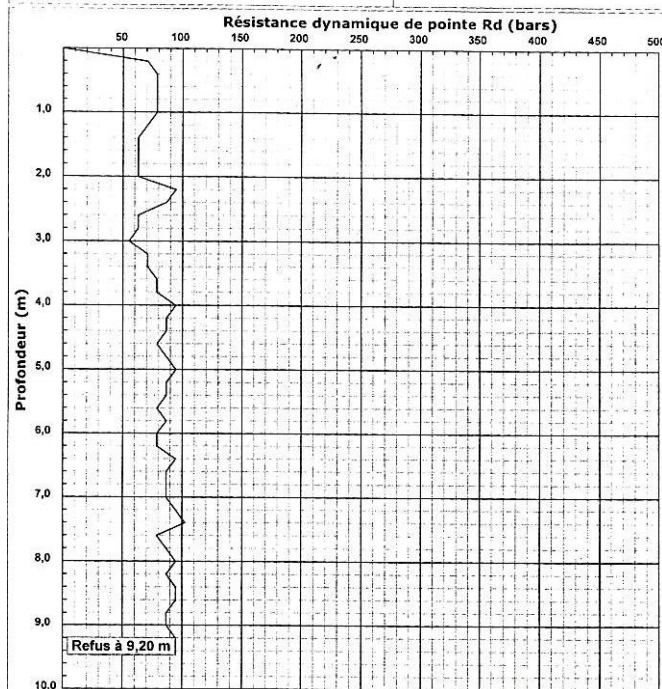


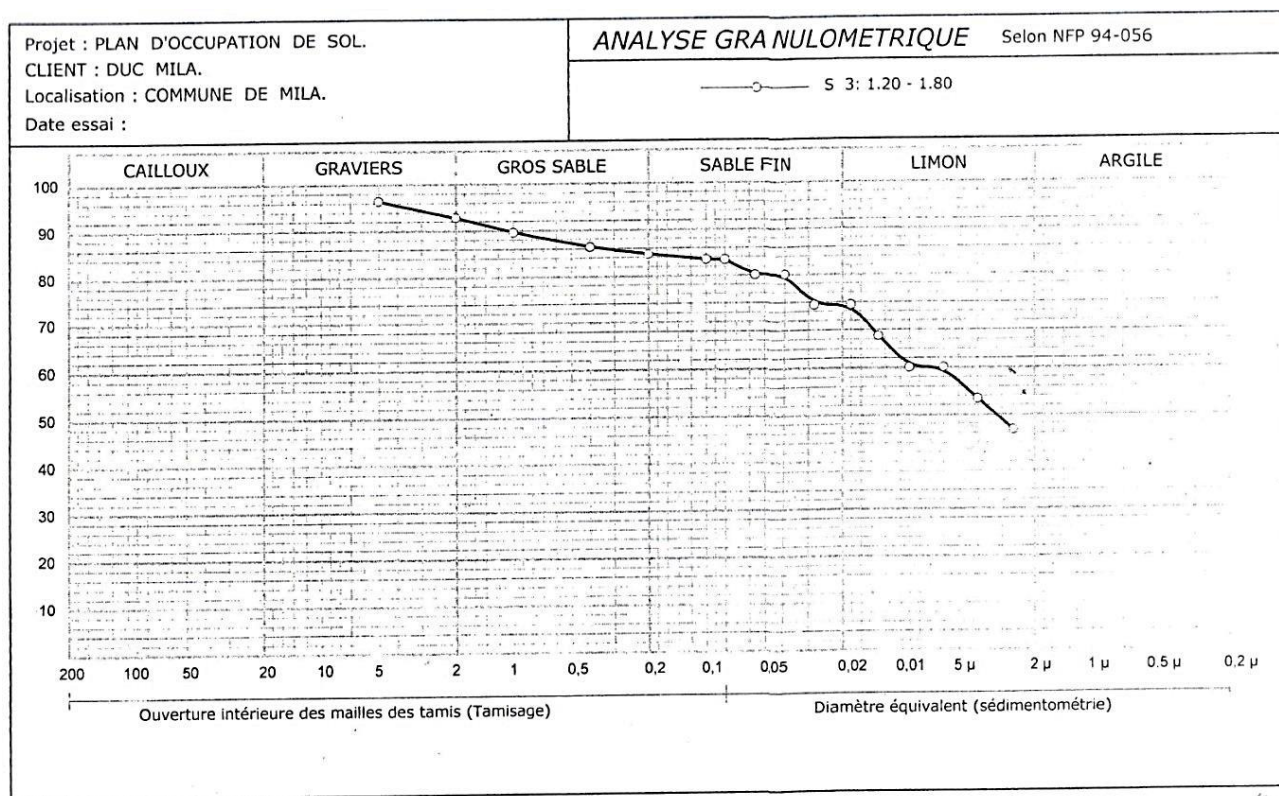
Fig. : Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU9

Tableau : Caractéristiques physiques des sols du POS AU9 (LBM-Sol, 2014).

P	Profondeur	w (%)	Sr (%)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	WL (%)	Ip (%)	Ic	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)
1	2.7-3.00	19.18	94.72	1.73	2.06	56.28	35.19	1,05	1.43	0.23	0.06	0.76	4
	5.00-5.50	18.93	99.93	1.77	2.01	51.12	27.61	1,17	1.32	0.19	0.05	0.52	4
2	2.7-3.00	19.64	95.91	1.72	2.06	65.32	41.63	1,10	2.43	0.23	0.09	0.28	2
	4.70-5.00	20.55	92.74	1.67	2.10	64.57	39.05	1,13	2.28	0.19	0.07	0.53	2
	6.00-6.60	17.94	89.70	1.73	2.04	-	-	-	1.50	0.18	0.07	-	-
3	2.20-2.50	17.65	93.47	1.77	2.08	60.95	36.31	1,19	1.93	0.20	0.05	0.43	4
	4.40-4.70	15.20	92.24	1.85	2.13	48.58	26.09	1,28	2.00	0.15	0.07	0.33	4
4	2.20-2.70	21.37	95.66	1.67	2.02	43.93	23.83	0,95	1.52	0.17	0.03	0.33	4
	4.50-5.00	19.33	96.18	1.73	2.06	63.37	37.63	1,17	2.06	0.22	0.04	0.11	2
	6.60-7.00	19.33	96.18	1.73	2.06	-	-	-	1.03	0.20	0.06	-	-
5	2.60-2.90	16.58	96.59	1.82	2.12	42.34	24.26	1,06	1.40	0.23	0.06	0.40	7
	5.60-5.90	13.63	94.21	1.92	2.18	44.20	24.15	-	1.07	0.20	0.05	0.11	4.2
6	3.00-3.40	19.10	89.89	1.70	2.02	-	-	-	2.43	0.23	0.09	0.4	4
	5.70-6.00	19.05	85.99	1.67	1.99	52.43	27.30	1,22	1.54	0.14	0.05	0.10	4
8	2.40-2.80	22.80	93.62	1.61	1.98	50.95	26.33	1,07	150	0.16	0.04	0.15	4
	6.10-6.50	16.79	96.19	1.81	2.12	54.36	32.66	1,15	1.35	0.11	0.04	0.11	5
9	2.00-2.40	20.66	96.61	1.69	2.04	59.19	32.90	1,17	1.35	0.19	0.05	0.28	6
	5.00-5.40	19.27	96.64	1.73	2.07	49.77	26.16	1,17	1.50	0.20	0.06	0.10	8.2
10	2.30-2.60	21.98	94.52	1.64	2.00	64.68	38.55	1,11	1.21	0.16	0.05	0.08	10
	4.70-5.00	16.24	96.50	1.83	2.13	43.59	24.71	1,11	1.29	0.14	0.06	0.34	10
	6.80-7.00	19.17	92.69	1.71	2.04	-	-	-	1.21	0.16	0.05	-	-
11	3.60-4.00	17.75	94.46	1.77	2.09	57.31	33.89	1,17	1.30	0.18	0.03	0.43	3.7
	5.50-5.90	19.07	90.84	1.70	2.03	39.54	20.98	0,98	0.76	0.22	0.06	0.17	2
12	2.00-2.40	23.81	96.18	1.60	1.98	-	-	-	1.35	0.20	0.07	0.08	5
	5.00-5.40	18.90	93.48	1.73	2.05	61.71	36.90	1,16	2.28	0.18	0.08	0.15	4

Tableau : Caractéristiques physiques des sols du POS AU15 (Aiche Geo-Sol, 2013).

P	Profondeur	w (%)	Sr (%)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	WL (%)	Ip (%)	Ic	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)
1	2.20-2.50	25.47	88.99	1.51	1.89	71.86	35.10	1,32	1.47	0.21	0.09	0.24	3
	6.40-6.70	22.03	99.86	1.67	2.04	70.33	38.17	1,27	1.53	0.20	0.07	0.34	3
2	2.10-2.50	27.20	91.32	1.48	1.88	75.48	44.09	1,10	1.20	0.23	0.07	0.11	4
	4.60-4.90	28.35	99.39	1.51	1.94	69.14	39.81	1,02	1.30	0.19	0.08	0.31	1
3	5.60-5.80	19.79	99.52	1.74	2.08	64.13	33.29	1,33	3.22	0.20	0.07	0.15	3
4	4.60-5.00	24.04	99.32	1.62	2.00	70.76	42.26	1,11	1.34	0.24	0.074	0.66	1
	7.00-7.30	24.71	99.97	1.60	2.00	66.57	34.87	1,20	1.52	0.19	0.07	0.52	1
5	2.40-2.70	20.39	91.46	1.67	2.01	69.79	41.96	1,18	1.97	0.46	0.08	0.34	3
	4.70-5.00	28.91	98.25	1.49	1.92	79.46	49.44	1,02	2.10	0.50	0.088	0.48	1
6	6.70-6.90	24.71	97.36	1.59	1.98	-	-	-	1.19	0.46	0.092	0.43	9
8	2.60-2.80	20.00	95.30	1.72	2.05	-	-	-	2.23	0.28	0.092	0.47	9
	5.55-5.75	23.58	96.33	1.68	1.99	-	-	-	2.56	0.33	0.048	0.30	2
9	2.40-2.60	24.47	97.58	1.59	1.98	-	-	-	1.74	0.32	0.092	0.27	1
	6.75-6.95	18.28	99.11	1.78	2.11	-	-	-	2.05	0.45	0.09	0.22	1
10	2.60-2.80	23.64	98.77	1.62	2.00	66.38	32.91	1,30	2.02	0.16	0.032	0.27	8
	5.60-5.80	22.97	99.88	1.65	2.03	68.66	23.31	1,96	1.88	0.25	0.02	0.43	2
12	2.55-3.00	24.07	95.31	1.59	1.97	-	-	-	2.74	0.18	0.066	0.31	5
	6.50-6.70	18.42	98.16	1.77	2.10	-	-	-	2.13	0.18	0.066	0.24	2
13	2.60-2.80	20.68	93.03	1.67	2.01	-	-	-	1.83	0.25	0.082	0.16	2
	6.40-6.70	15.50	90.91	1.83	2.11	-	-	-	2.33	0.18	0.052	0.30	3
14	2.60-3.00	29.85	99.45	1.48	1.92	65.87	34.24	1,05	1.52	0.19	0.049	0.18	1
	5.00-5.40	24.43	99.94	1.61	2.00	65.92	38.76	1,07	1.12	0.30	0.023	0.14	7
15	4.30-4.50	34.00	97.00	1.38	2.05	-	-	-	1.26	0.22	0.067	0.21	1
	5.70-5.90	23.18	96.85	1.62	2.00	61.22	31.57	1,20	1.75	0.19	0.049	0.18	1

**Figure :** Fiches d'essai d'analyse granulométrique des sols du POS AU15.

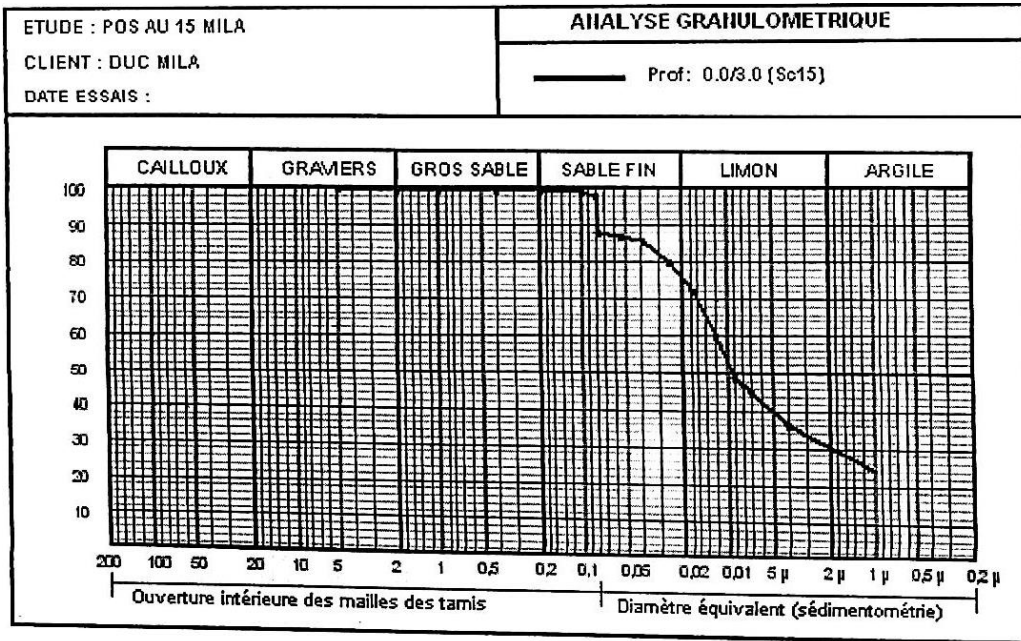


Fig. : Courbe granulométriques des sols du POS AU15.

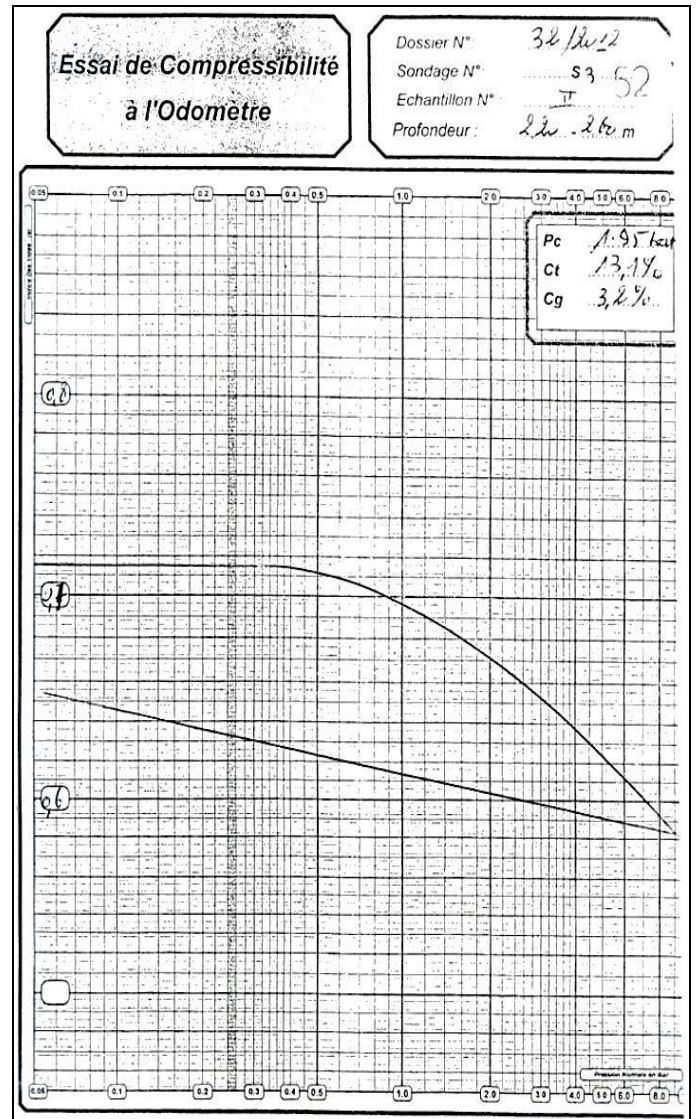
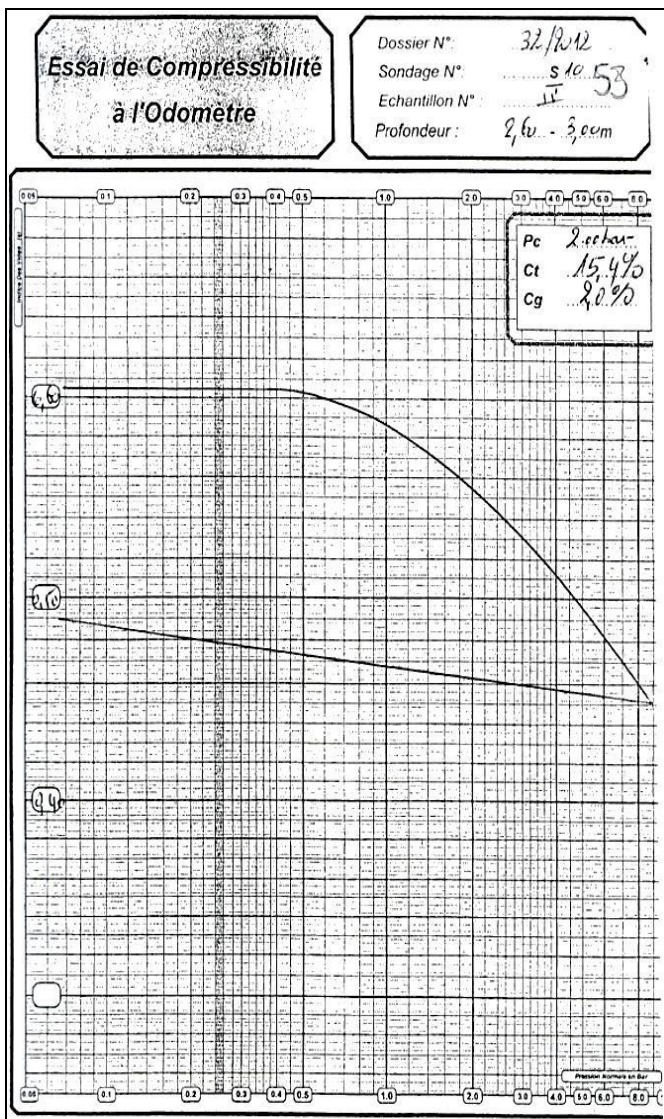


Figure : Fiches d'essai de compressibilité à l'Oedomètre des sols de Marechau.



A : La nappe au niveau de la semelle (3m)



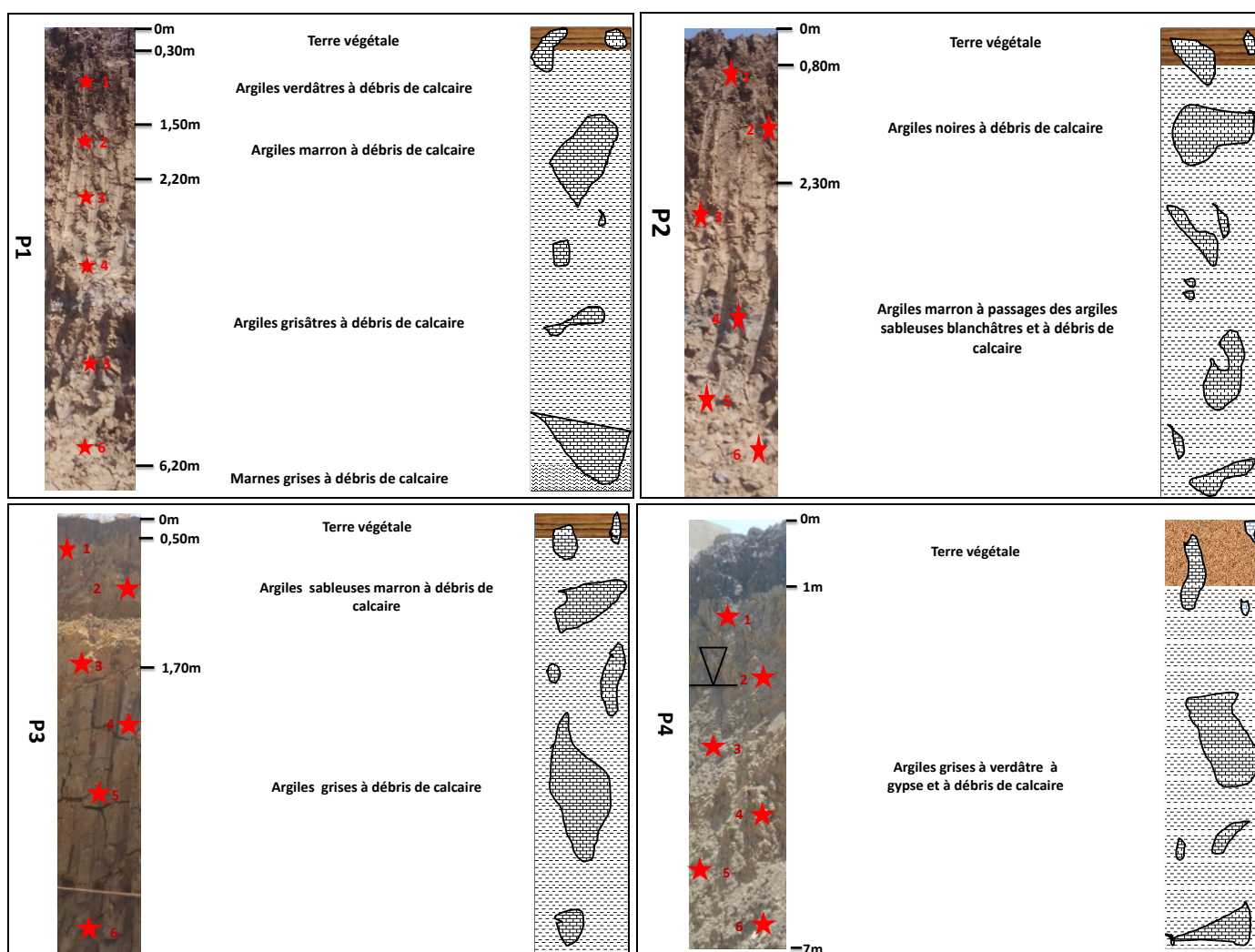
B : La nappe à la surface génère un glissement

Photos : Nappe dans le site de Marechau au Mois d'Aout.

SITE D'EL KHERBA

Tableau : Cordonnées des profils d'échantillonnage.

El Kherba	Profil	X	Y	Z (m)
	P1	36°27'15.75"N	6°15'21.35"E	445
	P2	36°27'9.67"N	6°14'21.83"E	434
	P3	36°27'17.99"N	6°15'21.16"E	413
	P4	36°27'10.91"N	6°15'27.70"E	431



P : Profil. ★ Position de point d'échantillonnage sur le profil.

Figure : Profils et points d'échantillonnage (El Kherba).

Tableau : Résultats d'analyse chimico-pondérale des sols de la région d'el kherba.

POS AU1							
P1				P2			
Argiles (%)	Carbonates (%)	Sables (%)		Argiles (%)	Carbonates (%)	Sables (%)	
73,07	14,18	12,75	AMS	96,41	02,39	01,20	A
68,58	09,64	21,78	AS	81,89	15,94	02,17	AM
64,49	13,11	22,40	AS	93,91	06,08	00,01	A
68,71	10,37	20,92	AS	86,99	09,58	03,43	A
57,04	20,18	22,78	ASM	60,62	25,22	14,16	AMS
51,75	17,73	30,52	ASM	96,60	03,30	00,10	A

Tableau : Résultats d'analyse chimico-pondérale des sols de la région d'el Kherba.

POS AU8							
P3				P4			
Argiles	Carbonates	Sables		Argiles	Carbonates	Sables	
82,35	16,70	00,90	AM	72,31	26,74	00,94	AM
61,02	34,24	04,72	AM	61,08	37,21	01,69	AM
81,65	17,60	00,51	AM	80,55	18,90	00,53	AM
95,59	02,90	01,49	A	96,64	02,89	02,45	A
82,44	05,34	12,22	AS	72,43	15,37	12,19	AMS
69,14	22,06	08,80	AS	60,04	31,16	08,79	AM



Fig. 58: Plan d'implantation des essais in situ (Aiche Géo-Sol, 2013) sur le POS AU8.

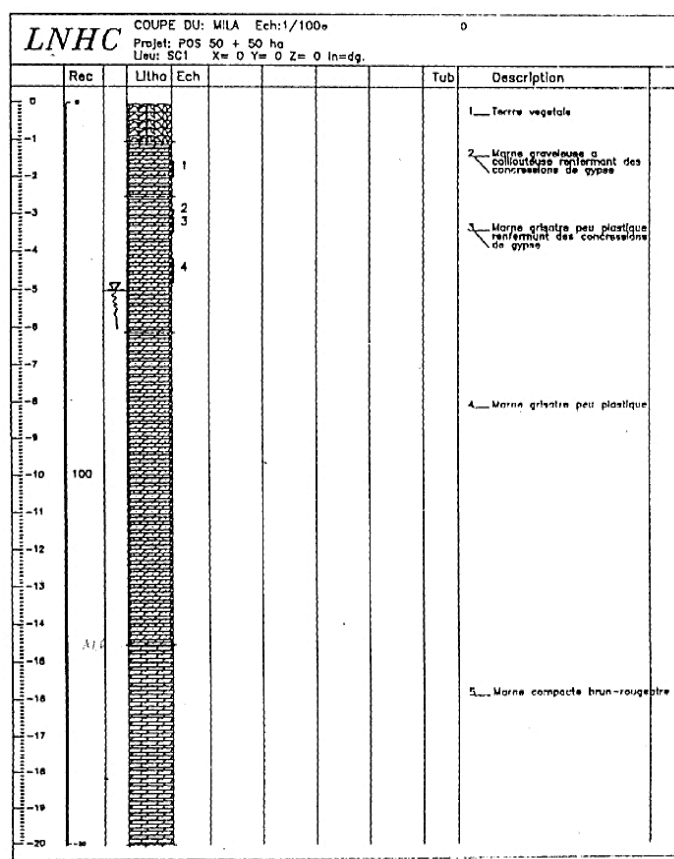
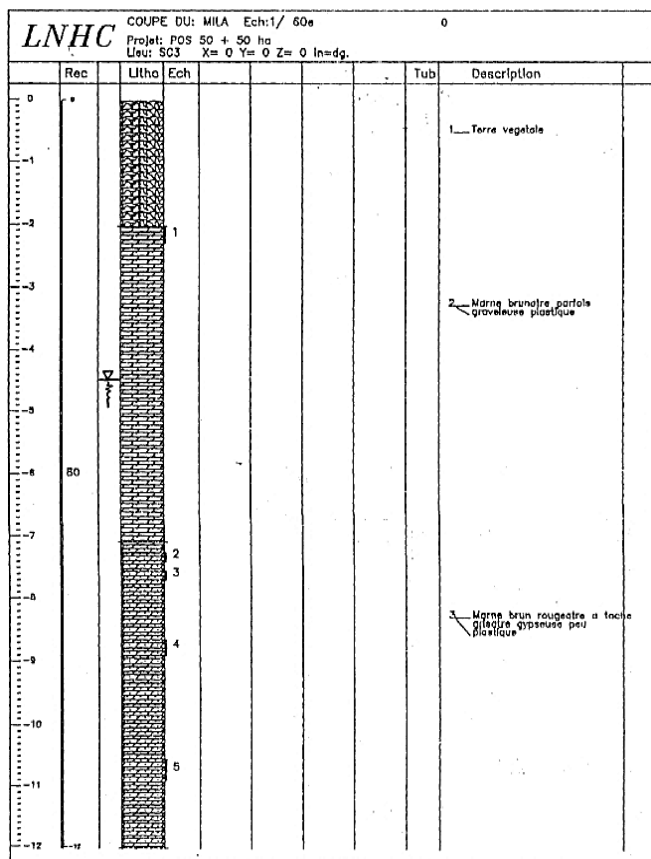


Fig. : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU1.

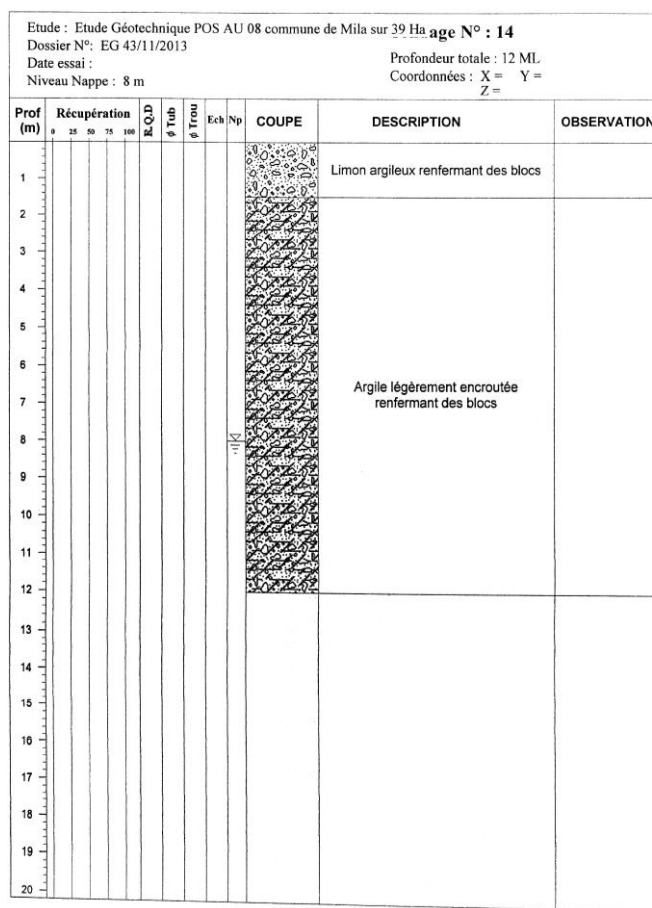
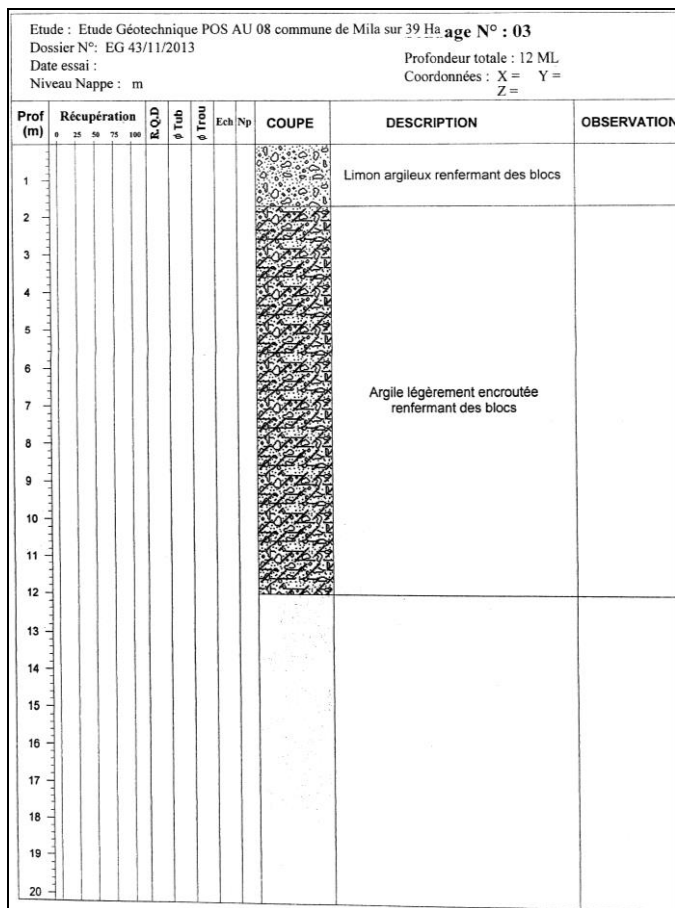


Fig. : Coupes lithologiques des sondages carottés du POS AU8.

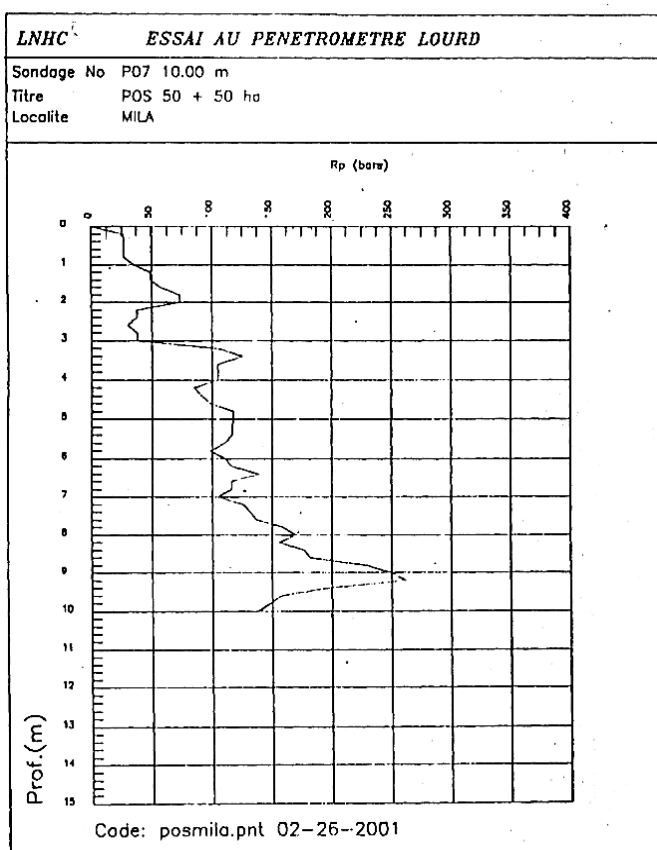
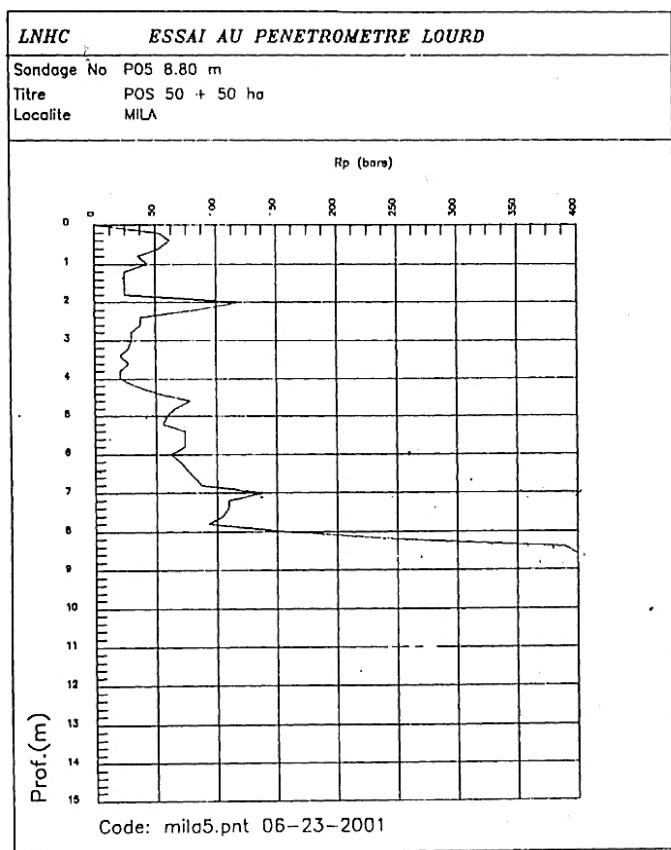


Fig. : Pénétrogrammes de l'essai DPT du POS AU1

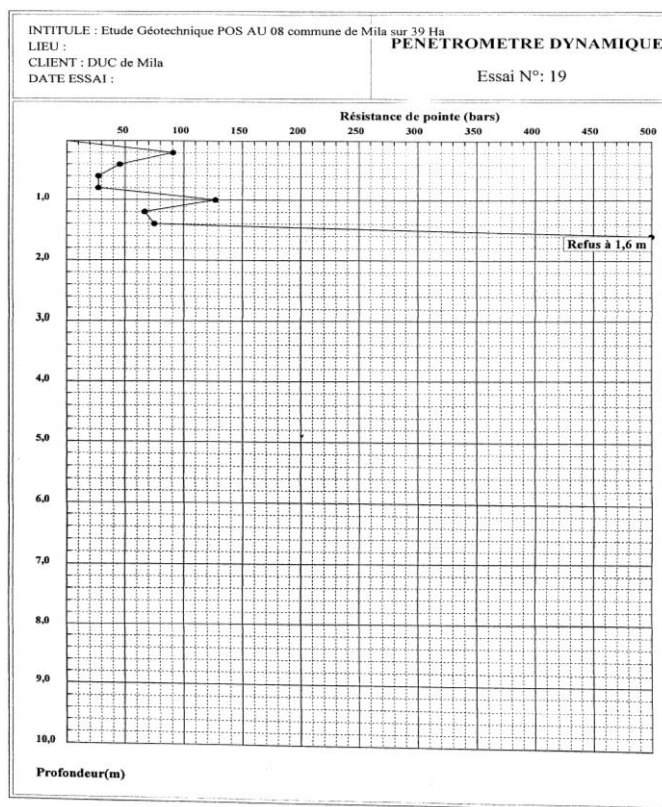
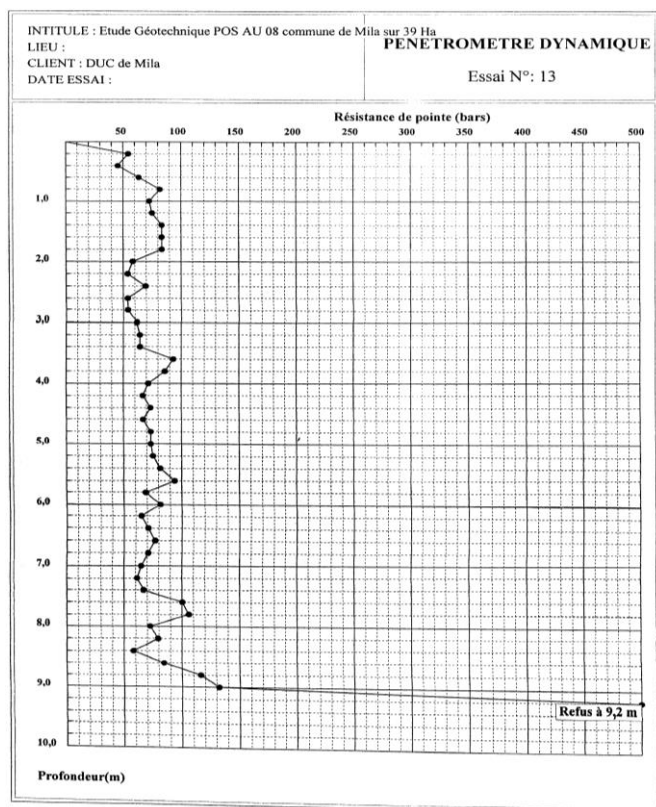


Fig. : Pénétragrammes de l'essai DPT du POS AU8.

Tableau : Caractéristiques pénétrométriques de la région d'El Kherba.

Pénét	POS1							POS8							
	Rp _{min} (bar)	Rp _{ma} x (bar)	Refu s (m)	Pénét	Rp _{min} (bar)	Rp _{ma} x (bar)	Refus (m)	Pénét	Rp _{min} (bar)	Rp _{ma} x (bar)	Refus (m)	Pénét	Rp _{min} (bar)	Rp _{ma} x (bar)	Refus (m)
1	55	500	6	14	18	500	4	5	25	400	8.8	31	50	175	9.6
2	70	500	4,8	15	18	500	5	6	20	240	10	34			9.6
3	59	500	4,8	16	19	500	5,8	8	15	215	10	35	35	380	10
4	31	600	2,4	17	20	500	8,2	17	30	400	8.8	38	20	400	8.6
5	50	500	6	18	40	500	7,8	19	15	400	9.2	41	22	400	10
6	21	500	8,6	19	28	650	1,6	20	20	400	9.6	49	30	250	10
7	50	500	7	20	45	550	3,4	21	20	400	9.2	50	25	250	10
8	45	500	6,8	21	51	500	8	22	40	400	9	51	20	150	10
9	30	500	6,8	22	25	500	6	24	25	275	10	52	20	135	10
10	30	500	6,4	23	28	500	4,8	27	38	175	10	65	42	205	10
11	60	550	3,6	24	27	500	4,8	29	20	275	10				
12	31	500	4,2	25	38	500	5,6								
13	45	500	9,2												

Tableau : Caractéristiques physiques des sols du POS AU8 (Aiche Geo-Sol, 2013).

P	Prof. (m)	w (%)	Sr (%)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	WL (%)	Ip (%)	Ic	80 μ	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)
1	2.0-2.50	19	86	1.53	1.92	44.00	23.90	1,05	90	1.86	24.38	2.61	0.32	10.82
2	4.0-4.50	27	92	1.51	1.90	-	-	-	87.5	2.00	21.86	2.54	0.30	09.32
4	3.0-3.50	22	83	1.59	1.98	43.51	23.61	0,91		1.80	23.62	3.07	0.35	11.68
6	2.0-2.50	24	81	16.0	1.95	-	-	-	-	2.01	25.38	3.77	0.37	09.83
7	5.0-5.50	28	95	1.55	1.87	42.81	22.74	0,65	92.0	1.70	22.87	2.61	0.39	10.17
8	4.0-4.50	23	88	1.68	2.03	43.56	23.06	0,89	86.5	-	-	-	-	-
9	7.0-7.50	25	91	1.62	1.98	-	-	-	87.2	1.80	21.61	2.38	0.33	12.78
11	3.5-4.50	27	94	1.60	1.96	43.05	21.62	0,74	92.3	1.93	32.37	2.92	0.30	08.82
13	6.0-6.50	26	92	1.60	1.90	43.92	22.49	0,80	88.5	2.05	32.37	2.77	0.37	09.18
14	9.0-9.50	29	97	1.70	2.07	-	-	-	-	1.84	24.38	3.31	0.36	08.30

Tableau : Caractéristiques physiques des sols du POS AU1 (LNHC, 2001).

P	Prof. (m)	w (%)	Sr (%)	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	WL (%)	Ip (%)	IC (%)	σ_c (bar)	Cc (%)	Cg (%)	C (bar)	ϕ (°)
1	1.50-2.00	28	1.55	1.98	100	55	33	0.818	-	-	-	0.13	26
	2.80-3.00	29	1.54	1.97	100	59	30	1	1.15	0.21	0.096	0.44	15
	4.10-4.80	22	1.69	2.07	99	55	35	0.943	2.02	0.188	0.108	0.37	16
	7.20-8.00	21	1.74	2.09	100	60	30	1.3	-	-	-	-	-
	14-14.50	25	1.65	2.05	100	56	33	1.212	1.86	0.138	0.093	-	-
	17.0-18.0	20	1.77	2.13	100	56	36	1	2.22	0.178	0.076	0.63	18
2	1.80-2.0	27	1.62	2.05	100	51	25	0.963	1.84	0.178	0.092	0.67	19
	3.10-3.70	27	1.61	2.04	100	63	32	1.125	2.13	0.093	0.057	0.45	16
	6.0-6.30	24	1.65	2.04	91	67	37	1.162	-	-	-	-	-
	14.4-15.0	22	1.68	2.04	94	56	28	1.214	-	-	-	-	-
3	2.0-2.30	31	1.56	2.05	100	60	30	0.906	-	-	-	0.51	22
	7.50-7.70	22	1.64	2.00	100	58	31	1.165	-	-	-	0.27	21
	10.5-10.9	20.5	1.7	2.05	100	70	35	1.414	-	-	-	0.63	28
4	1.50-2.00	28	1.62	2.07	100	66	34	1.124	3.19	0.215	0.091	0.57	20
	4.50-5.00	24.6	1.67	2.08	100	52	26	1.054	2.21	0.127	0.074	0.59	25
	9.60-10.0	19.7	1.7	2.04	100	57	30	1.243	1.29	0.211	0.129	1.1	16
5	4.6-5.3	26.7	1.57	1.99	100	57	30	1.037	2.44	0.205	0.126	0.34	17
	7.70-8.40	24.2	1.66	2.05	100	57	30	1.010	1.60	0.151	0.076	0.11	21
	15.0-15.5	21.1	1.75	2.12	100	57	32	1.025	1.75	0.202	0.058	0.48	29
	15.8-16.3	17.1	1.85	2.16	100	57	31	1.287	-	-	-	-	-
6	2.0-2.30	24.6	1.69	2.10	100	60	30	1.180	2.73	0.192	0.058	0.28	20
	3.0-4.0	25.6	1.6	2.01	100	69	35	1.240	2.26	0.269	0.057	0.3	30
	4.50-4.9	29.3	1.53	1.98	100	68	34	1.138	1.93	0.200	0.052	0.13	24
	9.30-10.0	26.3	1.6	2.01	100	55	33	0.870	2.64	0.183	0.092	0.38	16
	18.2-18.8	19.5	1.71	2.04	100	70	36	1.403	-	-	-	-	-
7	1.50-2.00	26.2	1.62	2.05	100	59	36	0.911	2.77	0.224	0.045	0.63	16
	2.7-3.0	21.2	1.68	2.03	94	63	32	1.306	1.39	0.123	0.061	1.4	21
	7.10-7.40	35.7	1.50	2.04	100	44	23	0.893	1.92	0.160	0.018	0.99	19
8	2.5-5.0	23.15	1.68	2.07	100	60	31	1.189	1.94	0.218	0.078	0.36	22
	5.0-10.0	20.27	1.74	2.10	99	68	34	1.404	-	-	-	0.50	27
9	1.0-5.0	29.37	1.54	1.99	100	68	33	1.110	1.46	0.281	0.102	0.26	22
	5.0-10.0	27.27	1.55	1.98	100	66	32	1.116	-	-	-	0.35	25
10	1.0-5.0	27.10	1.57	1.99	100	58	30	1.030	-	-	-	-	-
	5.0-10.0	23.9	1.67	2.07	100	65	34	1.209	-	-	-	0.52	21
11	2.70-3.0	26.4	1.61	2.04	100	55	34	0.841	-	-	-	0.42	26
	5.30-6.0	21.6	1.7	2.05	100	54	34	0.953	2.20	0.448	0.187	0.18	23
	10.0-11.0	19.4	1.67	1.99	100	56	35	1.046	-	-	-	0.28	19
13	3.50-4.0	21.47	1.67	2.03	100	58	29	0.769	2.37	0.199	0.076	0.27	23
14	3.50-4.0	32	1.45	1.91	100	62	30	1	2.40	0.203	0.063	0.25	23
15	4.0-4.50	16	1.8	2.08	84	53	28	1.336	-	-	-	-	-
16	4.0-4.50	15.5	1.92	1.21	100	43	22	1.250	1.73	0.100	0.090	0.71	32
17	3.0-4.0	26.2	1.56	1.98	96	67	34	1.200	1.46	0.0252	0.104	0.32	22
18	3.0-6.0	24.6	1.62	2.02	99	69	34	1.306	2.38	0.216	0.068	0.36	20
	6.0-10.0	23.6	1.67	2.06	100	-	-	-	-	-	-	0.32	24
19	2.0-6.0	27.53	1.55	1.98	100	57	31	0.951	2.40	0.203	0.063	0.44	24
	8.0-9.0	27.4	1.58	2.01	100	59	31	1.029	-	-	-	0.32	17
20	2.0-5.0	26	1.61	2.03	100	51	21	0.962	2.37	0.199	0.076	0.20	26
	5.0-8.0	26.03	1.62	2.05	100	59	31	1.064	-	-	-	0.26	20

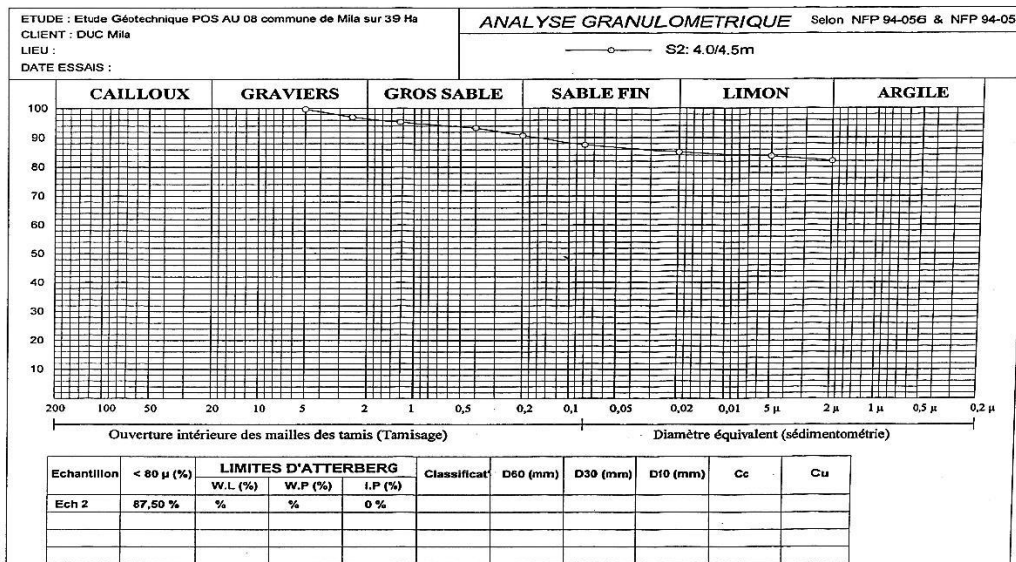


Fig. : Courbe granulométriques de sol du POS AU8.

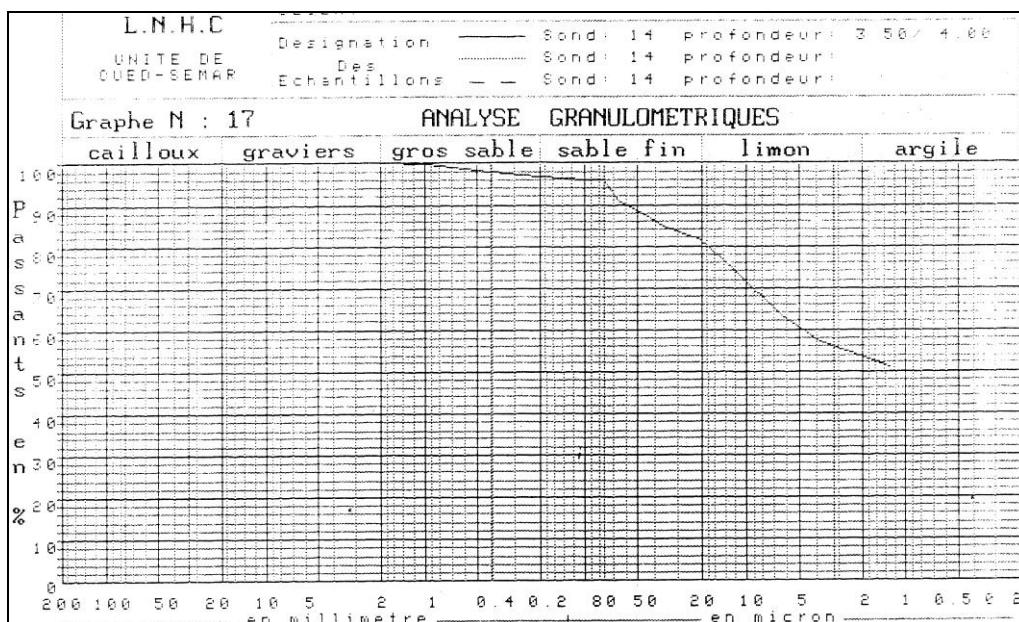


Fig. : Courbe granulométriques du sol de POS AU1.

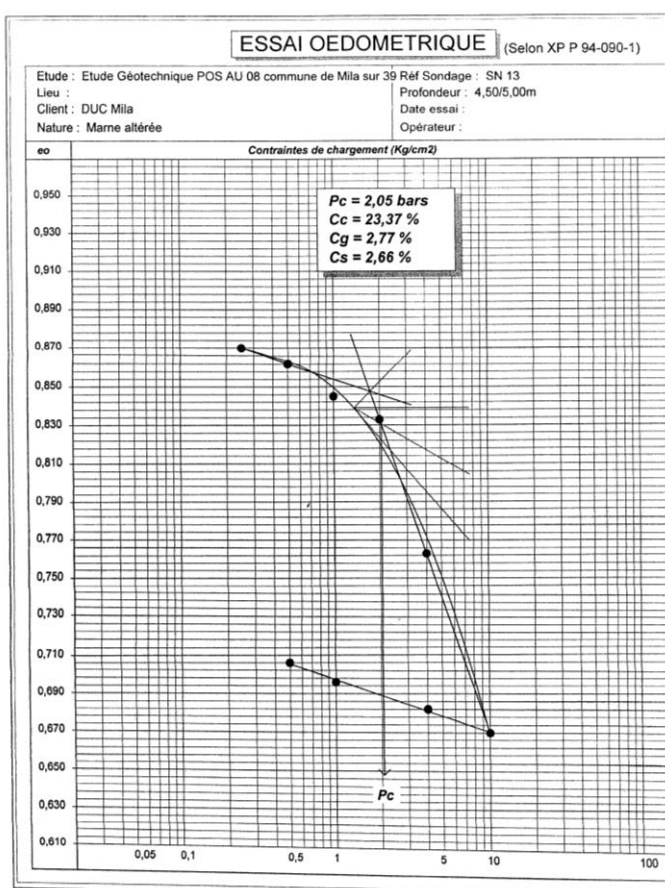
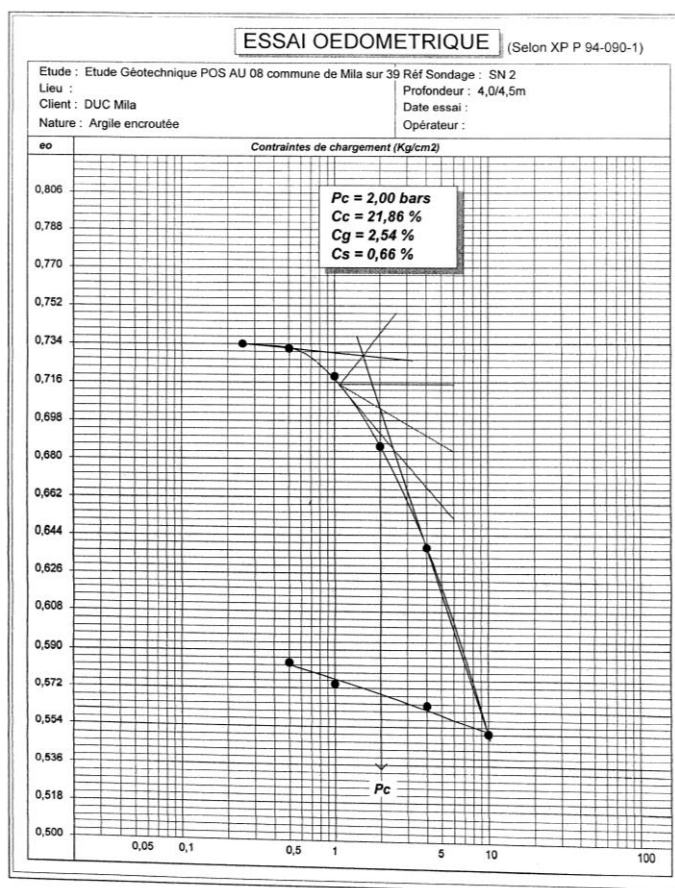


Figure : Fiches d'essai de compressibilité à l'Édomètre des sols du site de l'el Kherba.



Photo : Nappe au niveau de la semelle (3m) au Mois d'Aout dans le site d'El Kherba.

SITE DE L'UNIVERSITE

Tableau : Cordonnées des profils d'échantillonnage.

Univ.	P1	36.462302°	6.212922°	507
	P2	36.454775°	6.223924°	452
	P3	36.455810°	6.219654°	487

Tableau : Résultats d'analyse chimico-pondérale des formations du site de 4000 P.P. (Université).

Profil 1				
Echant.	% des sables	% des Argiles	% des carbonates	Désignation
01	00,28	98,86	00,86	A
02	01,42	96,12	02,46	A
03	00,01	95,59	04,40	A
04	05,73	76,94	17,33	AM
05	00,60	96,45	02,95	A
06	00,01	90,61	09,38	AM
07	00,01	73,09	26,90	AM
08	01,20	96,41	02,39	A
09	46,1	53,73	00,17	AS
10	02,17	81,89	15,94	AM
11	00,01	93,91	06,08	AM
12	35,56	44,13	20,31	ASM
13	03,43	86,99	09,58	AM
14	14,16	60,62	25,22	AMS
15	00,1	96,60	03,30	A
16	18,85	62,41	18,74	AMS
17	09,25	73,96	16,79	AMS
18	02,62	93,59	03,79	A

Tableau : Résultats d'analyse chimico-pondérale des formations du site de 1000 lits (Université).

Profil 2					Profil 3				
Ech.	Argiles	Carbonates	Sables	Désig.	Ech.	Argiles	Carbonates	Sables	Désig.
1	57,32	12,07	30,61	ASM	1	98,86	0,86	0,28	A
2	73,53	13,73	12,74	AMS	2	96,12	2,46	1,42	A
3	79,57	15,56	4,87	AMS	3	95,59	4,4	0,01	AM
4	77,27	17,72	5,01	AMS	4	76,94	17,33	5,73	AMS
5	88,63	5,38	5,99	ASM	5	96,45	2,95	0,6	A
6	83,76	11,86	4,38	AMS	6	90,61	9,38	0,01	AM
7	82,96	11,51	5,53	AMS	7	73,09	26,9	0,01	AM
8	83,97	8,09	7,94	AMS	A : argile, M : marne, S : sable				

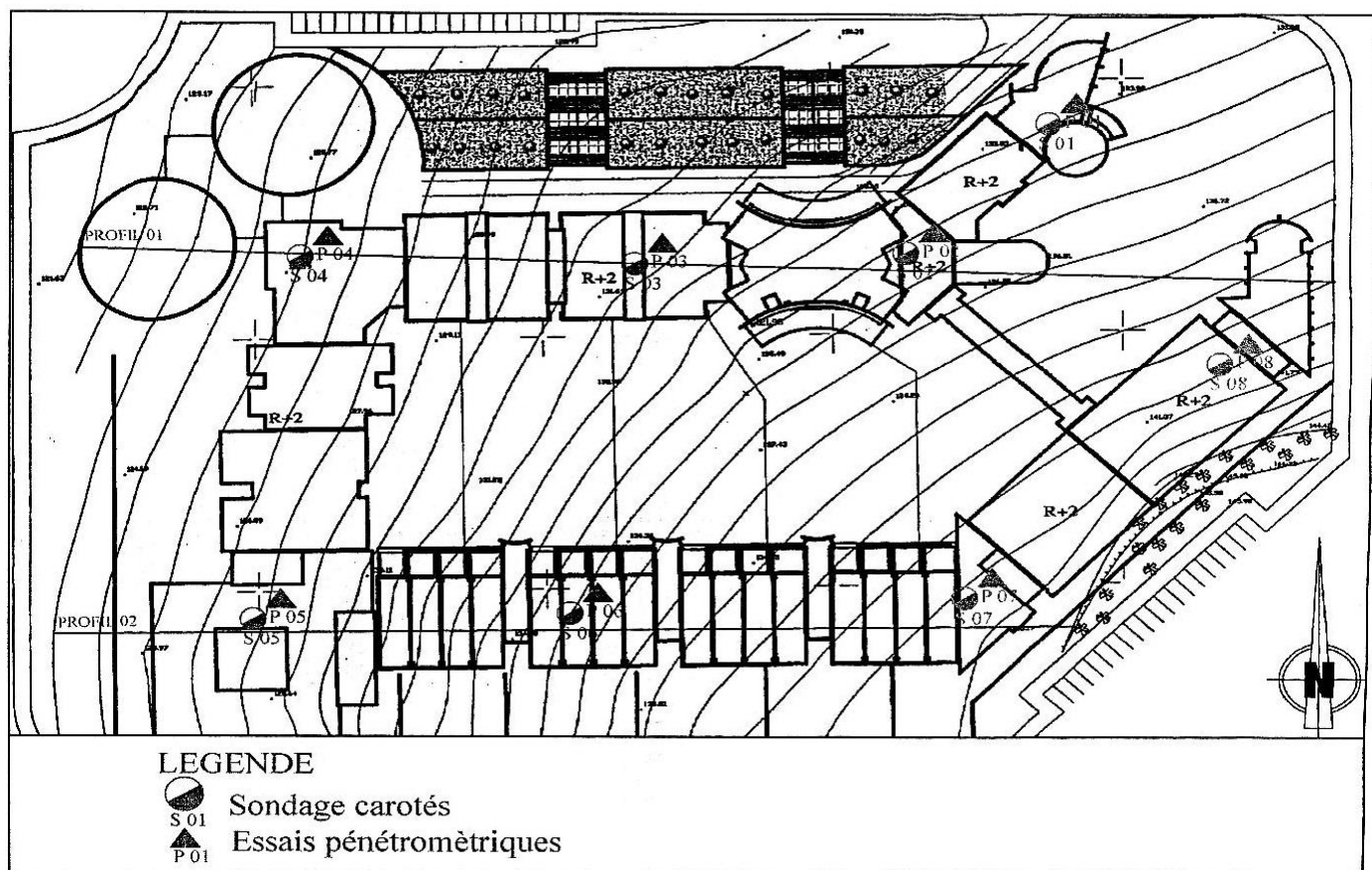


Fig. 71: Plan d'implantation des essais in situ pour le site des 4000 P.P. (LGG, 2010).

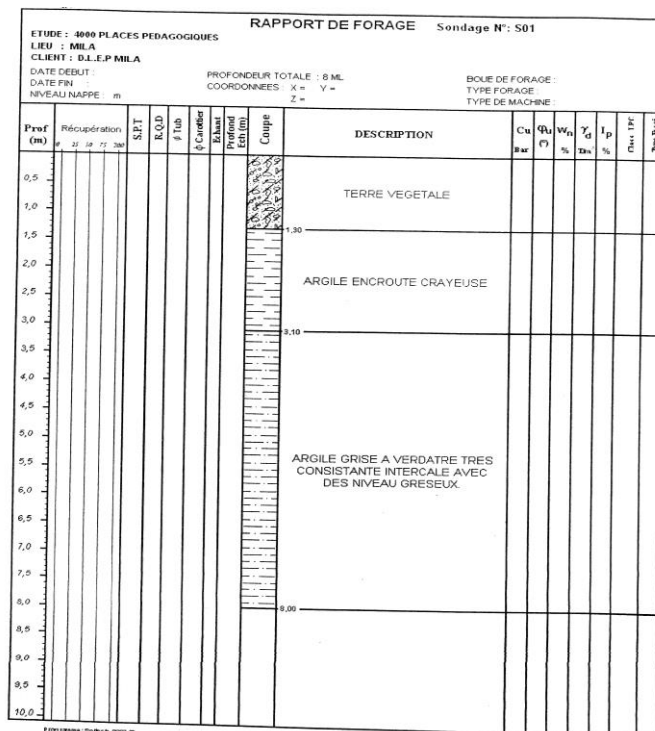
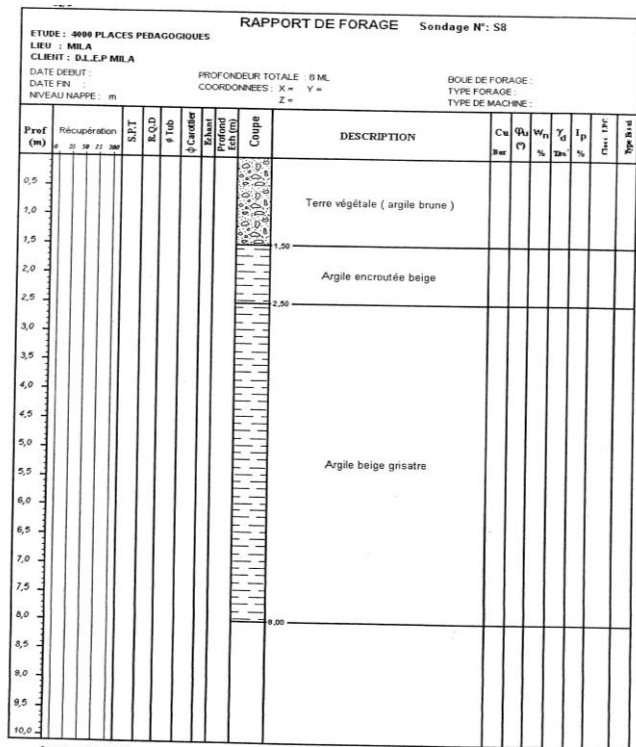
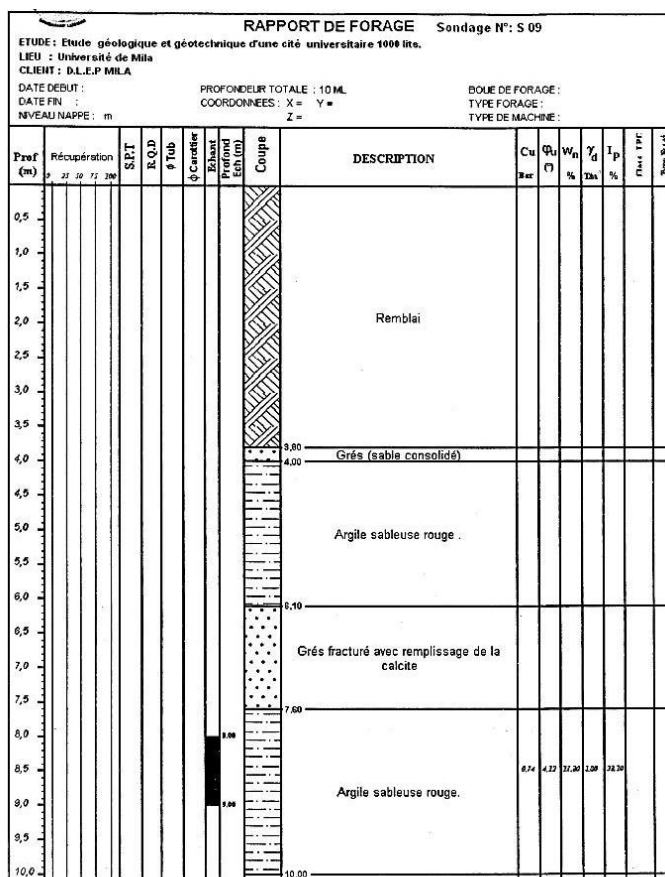
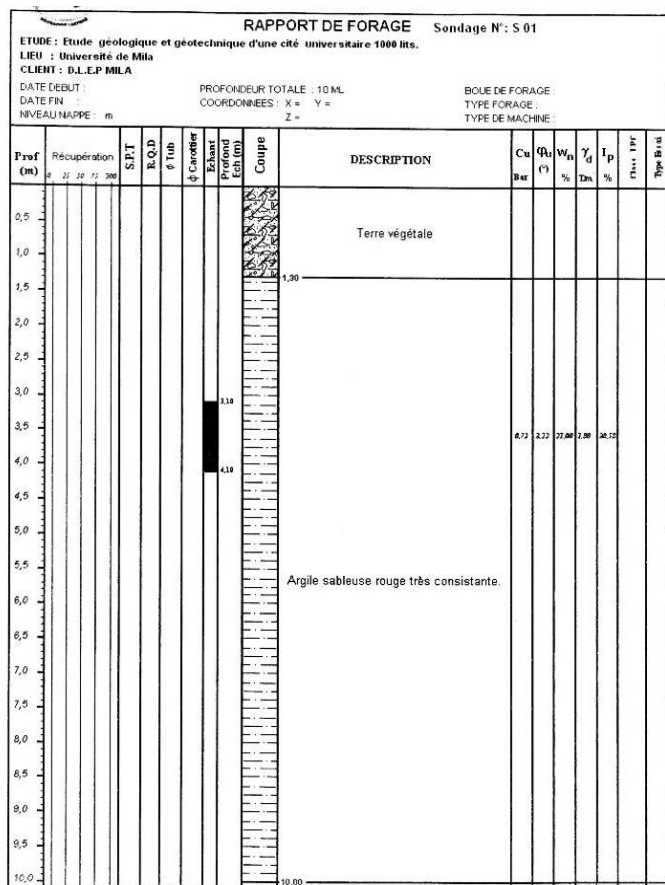


Figure : Coupes lithologiques des sondages carotés du site Des 4000 places pédagogiques (université).



Client : DLEP MILA - Projet : cité universitaire 1000 lits à Mila - Page 20 sur 80
 Le L.G.G. est un partenaire sûr et efficace de tous les Opérateurs dans le domaine des études géotechniques, du contrôle et suivi des chantiers

Client : DLEP MILA - Projet : cité universitaire 1000 lits à Mila - Page 26 sur 80
 Le L.G.G. est un partenaire sûr et efficace de tous les Opérateurs dans le domaine des études géotechniques, du contrôle et suivi des chantiers

Fig. : Coupes lithologiques des sondages carottés du site des 1000 lits (Université).

Tableau : Variation de la cote de refus et de résistances de pointes dans le site de l'université

1000 lits				4000 P.P.			
P	Prof. (m)	Rp _{min} (bar)	Rp _{max} (bar)	P	Prof. (m)	Rp _{min} (bar)	Rp _{max} (bar)
1	SR	25	59	1	9,2	25	110
2	SR	15	55	2	7,6	25	70
3	9	25	95	3	8,2	20	85
4	SR	14	55	4	6,6	15	60
5	SR	15	52	5	7,2	22	92
6	13	10	38	6	5	20	108
7	13	8	40	7	4,8	22	60
8	13	15	31	8	5,2	25	70
9	SR	13	60				
10	SR	15	55				
11	SR	12	50				
12	SR	30	55				
13	SR	20	70				

SR : Sans Refus

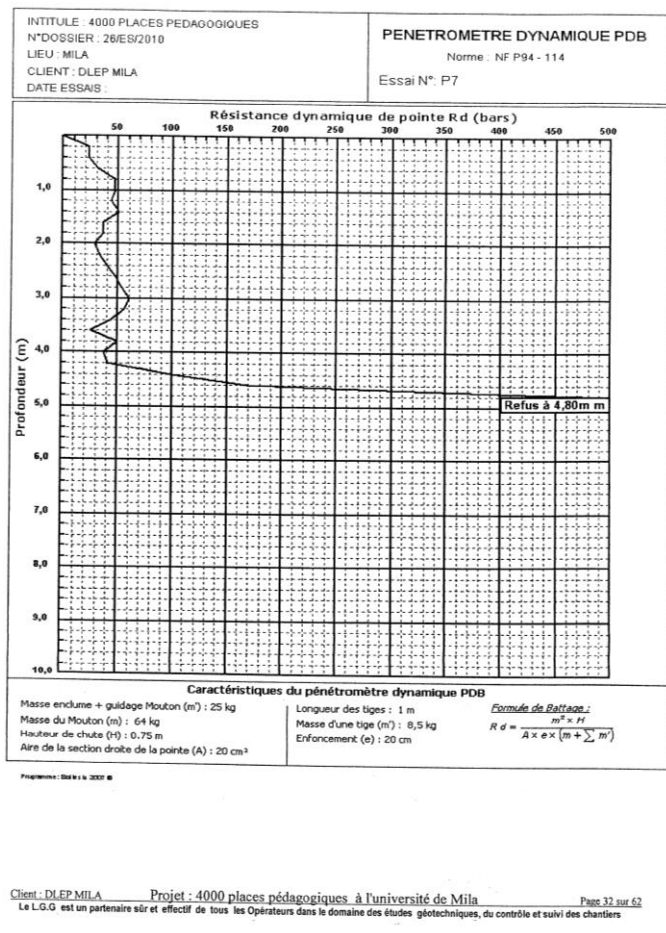
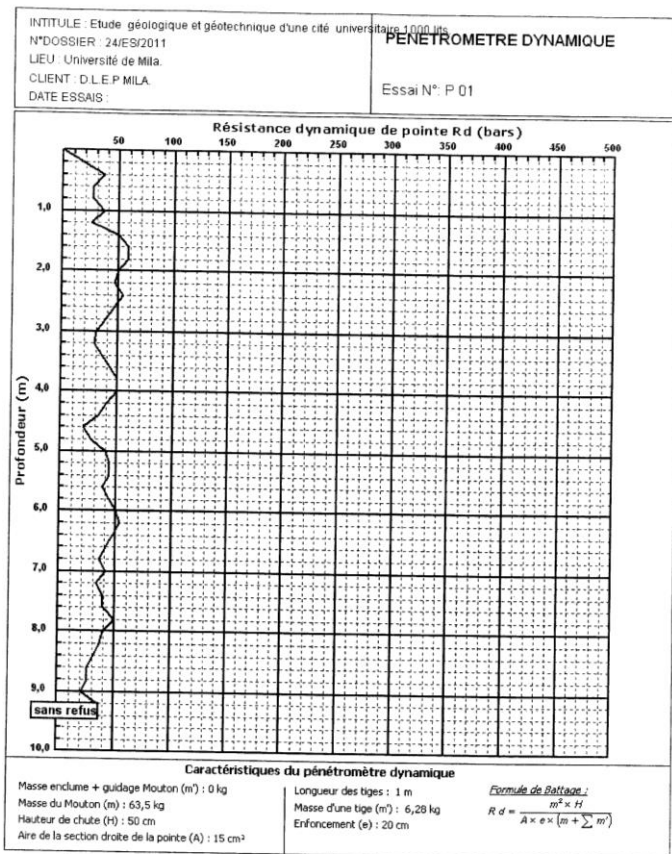


Figure : Diagrammes des pénétromètres dynamiques du site de l'université.

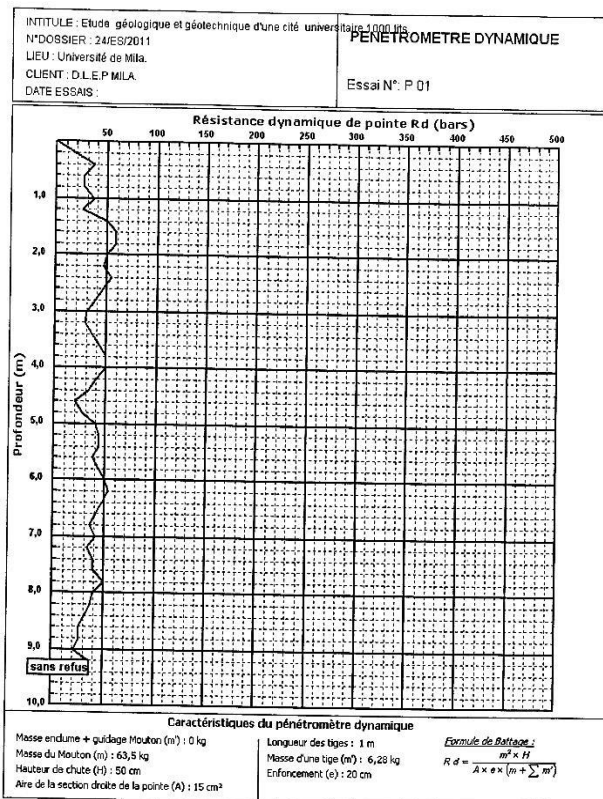
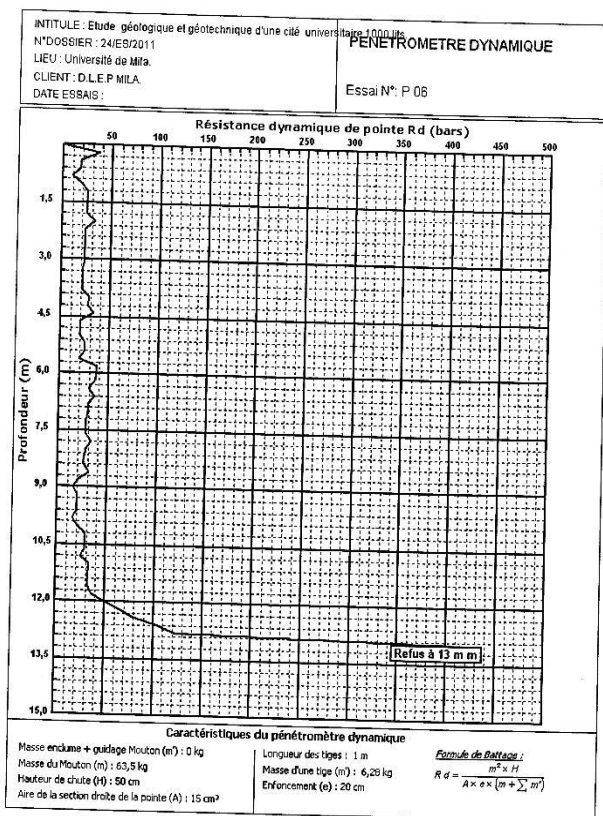


Fig. : Pénétrogrammes de l'essai DPT du site des 1000 lits.

Tableau : Caractéristiques physiques et mécaniques des sols dusite de 1000 lits (LGG, 2011)

	P1	P2	P3	P4	P5	P9	P10	P11	P12	P13
Prof. (M)	3.1-4.1	4.1-5.1	7.1-8.1	4.1-5.1	3.1-4.1	8-9	5.1-6.1	4.1-5.1	3.1-4.1	4.1-5.1
w(%)	21.00	23.74	27.00	16.16	19.21	17.30	25.30	16.12	16.52	22.3
Sr (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	94.66	100
$\gamma_d(t/m^3)$	1.80	1.66	1.58	1.89	1.81	1.80	1.62	1.92	1.83	1.69
$\gamma_h(t/m^3)$	2,18	2,05	2,06	2,19	2,16	2,11	2,03	2,23	2,13	2,24
$\phi < 2 \text{ mm}$	100	98	100	96	100	100	100	97	75	99
$\phi < 80 \mu$	97	95	88	66	94	92	99	52	37	89
$\phi < 2 \mu$	54	51	49	28	44	44	54	23	20	42
WL (%)	50.50	54.48	48.59	26.74	43.87	39.22	57.28	32.74	32.79	39.25
Ip (%)	30.58	34.63	29.36	13.74	23.72	23.10	31.70	17.12	17.78	17.55
Ic	0,96	0,89	0,74	0,77	1,04	0,95	10,1	0,97	0,92	0,97
C (bar)	0.72	0.72	0.077	0.83	0.79	0.74	0.73	-	-	0.84
ϕ (°)	3.12	3.12	0.95	3.52	1.49	4.12	3.63	-	-	2.15
σ_c (bar)	1.03	1.12	1.55	2.84	1.76	1.81	1.02	-	-	1.21
Cc (%)	19.60	16.15	22.88	15.61	16.22	14.28	17.27	-	-	13.92
Cg (%)	2.61	3.66	7.05	3.21	2.91	3.05	2.65	-	-	3.26

Tableau : Caractéristiques physiques et mécaniques des sols dusite de 4000 P.P. (LGG, 2010)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Prof. (M)	6.5-7.3	3.8-4.8	6.0-7.0	3.5-4.5	3.5-4.3	4.6-5.6	4.5-5.5	3.5-4.0
w(%)	22.56	22.94	23.60	23.62	18.23	19.15	17.29	28.56
Sr (%)	100	100	99.24	80.77	92.87	96.58	95.87	96.06
$\gamma_d(t/m^3)$	1.72	1.68	1.64	1.49	1.76	1.76	1.82	1.50
$\gamma_h(t/m^3)$	2,21	2,32	2,22	2,10	2,03	1,95	2,06	1,94
$\phi < 2 \text{ mm}$	100	100	100	98	100	100	100	85
$\phi < 80 \mu$	100	74	100	97	86	77	80	79
$\phi < 2 \mu$	42	25	70	53	37	30	34	21
WL (%)	42	44	64.2	47.2	43	39	48	62.3
Ip (%)	20.18	21.70	32.45	23.4	21.15	18.81	23.86	31.10
Ic	0,96	0,97	1,25	1,01	1,17	1,06	1,29	1,08
C (bar)	0.75	-	0.83	0.69	-	0.75	-	-
ϕ (°)	3.38	-	2.72	3.38	-	5.20	-	-
σ_c (bar)	2.06	-	1.95	1.40	-	1.42	-	-
Cc (%)	20.26	-	16.64	18.58	-	12.94	-	-
Cg (%)	0.46	-	1.07	0.79	-	0.66	-	-

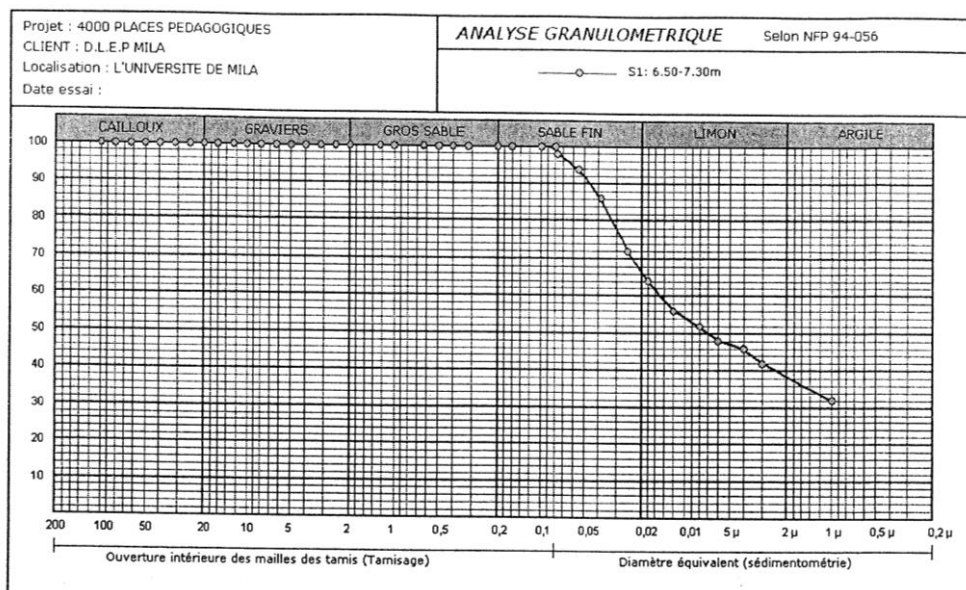


Figure : Fiches d'essai d'analyse granulométrique.

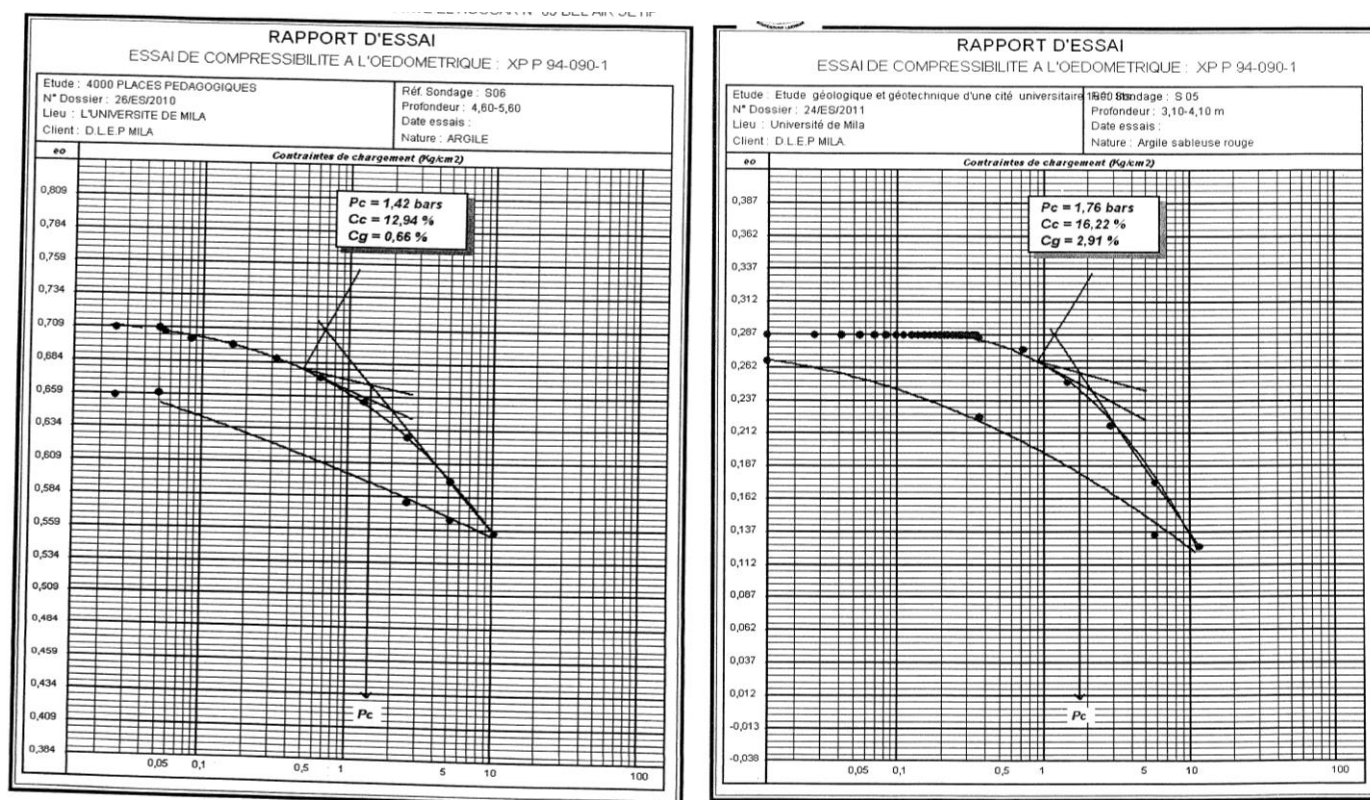


Figure : Fiches d'essai de compressibilité à l'Oedomètre des sols du site de l'université.

CLASSIFICATIONS GEOTECHNIQUES

Tableau : Teneur en eau en fonction de la nature lithologique du sol (FAER)

w (%)	Nature du sol	w (%)	Etat du sol	γ_h (KN/m ³)	Nature du sol
02 à 15	Sable	0.1 à 25	Légèrement humide	17 à 20	Sable
10 à 30	Limon	25 à 50	Humide	16 à 22	Argile
20 à 50	Argile moyenne à raide	50 à 75	Moule	13 à 17	Tourbe
50 à 100	Argile molle	75 à 90	Détrompé		
80 à 30	Vases et courbe	90 à 100	Saturé		

Tableau : Classification du sol en fonction de la densité humide (dh) (Philipponnat, 1979)

Tableau : Classification du sol en fonction de la densité sèche (ds) (Costel et al., 1981)

Tableau : Limites de liquidités pour quelques types de sols

γ_s (kn/m ³)	Nature du sol	W _L (%)	Nature du sol	W _L (%)	Nature du sol
14 à 18	Sable	15 à 40	Sable argileux	50 à 150	Argile sableuse
10 à 20	Argile	30 à 100	Vase	80 à 180	Argile
03 à 10	Tourbe	50 à 100	Limon	120 à 150	Tourbe
		40 à 90	Marne	250 à 600	Colloïde

Tableau : État du sol en fonction du degré de plasticité (FAER)

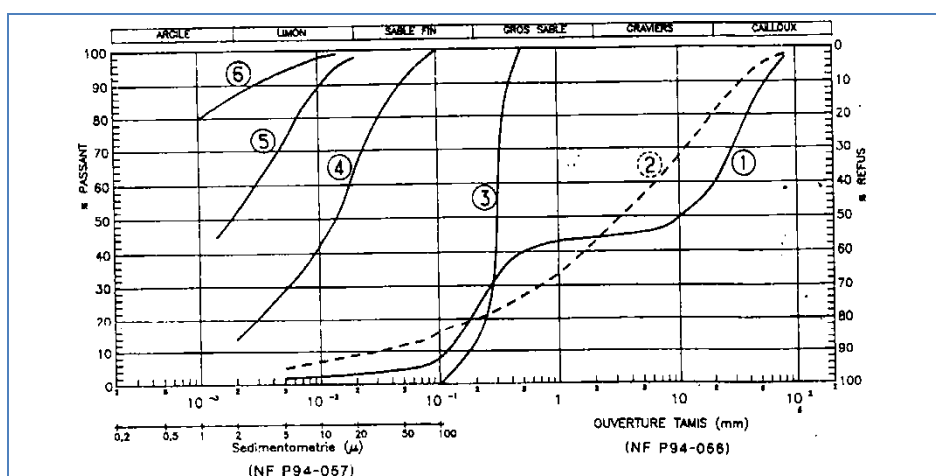
Tableau : Classification des sols en fonction de la teneur de CaCO₃ (Philipponnat, 1979)Tableau : Classification des sols en fonction de (C_c) (Costel et Sanglerat, 1981 et Philipponnat, 1979)

Ip	Etat du sol	CaCO ₃ (%)	Type de sol	C _c	Nature du sol
0 à 5	Non plastique	< 10	Argiles franches	0.01 à 0.10	Sable
5 à 15	Peu plastique	10 à 30	Argiles marneuses	0.10 à 0.25	Argile raide
15 à 40	Plastique	30 à 70	Marnes	0.25 à 0.80	Argile moyenne
> 40	Très plastique	70 à 90	Calcaires marneux	0.80 à 2.50	Argile molle
		> 90	Calcaire francs		

Tableau : Classification des sols en fonction de (C_c) (Philipponnat, 1979).

Tableau : Classification des sols en fonction de l'indice de gonflement (Philipponnat, 1979)

C _c	Etat du sol	C _c	Etat du sol	C _g	Etat du sol
< 0.02	Incompressible	0.200 - 0.300	Assez fortement compressible	< 0.05	Non gonflant
0.020 - 0.050	Très peu compressible	0.300 - 0.500	Très compressible	> 0.005	Pouvant gonfler
0.050 - 0.100	Peu compressible	> 0.500	Extrêmement compressible	> 0.02	Gonflant
0.100 - 0.200	Moyennement compressible				



Courbe 1 : Granulométrie étalée et discontinue (Alluvions, Sables, Graviers...). - Courbe 2 : Granulométrie étalée et continue (Arène granitique...). - Courbe 3 : Granulométrie serrée (Sables de Fontainebleau...). - Courbe 4 : Limon argileux. - Courbe 5 : Argile limoneuse. - Courbe 6 : Argile pratiquement pure (bentonite...), les sols comportant 87% d'argile inférieure à 2 mm.

Figure : Exemples des courbes granulométriques (Philipponnat, 1979).

Tableau : Classification LCPC des sols grenus.

CLASSIFICATION LCPC DES SOLS GRENUS (plus de 50 % des éléments > 0.08 mm)					
Définition			Symboles	Conditions	Appellations
GRAVES	Plus de 50 % des éléments > 0.08mm ont un $\phi > 2$ mm	Moins de 5% d'éléments <0.08 mm	GB (Gw)	$C_u=(D_{60}/D_{10}) >4$ et $C_c=(D_{30})^2/(D_{10}.D_{60})$ compris entre 1 et 3	Grave propre bien gradué
			GM (Gp)	Une des conditions de Gb non satisfaites	Grave propre mal gradué
	plus de 12% d'éléments <0.08mm	GL (GM)	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Grave limoneux	
		GA (GC)	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Grave limoneux	
SABLE	Plus de 50%des éléments > 0.08 mm ont	Moins de 5% d'éléments <0.08 mm	SB (Sw)	$C_u=(D_{60}/D_{10}) > 6$ et $C_c=(D_{30})^2/(D_{10}.D_{60})$ compris entre 1 et 3	Sable propre bien gradué
			Sm (Sp)	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
	Plus de 12% des élément < 0.08mm	SL (SM)	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Sable limoneux	
		SA (SC)	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Sable argileux	
Lorsque: 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % on utilise un double symbole					

Tableau : Tableau de Boussinesq.

L/B Z/B	1.00	1.25	1.50	2.00	3.00	5.00	10.00	ω
0.00	0.25	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
0.25	0.247	0.248	0.248	0.248	0.248	0.249	0.249	0.249
0.50	0.233	0.236	0.238	0.239	0.240	0.240	0.240	0.240
0.75	0.206	0.214	0.218	0.222	0.224	0.224	0.224	0.224
1.00	0.175	0.187	0.194	0.200	0.203	0.204	0.205	0.205
1.50	0.121	0.153	0.145	0.156	0.164	0.167	0.167	0.167
2.00	0.084	0.097	0.107	0.120	0.132	0.136	0.137	0.137
2.50	0.059	0.071	0.080	0.093	0.104	0.113	0.114	0.115
3.00	0.045	0.054	0.061	0.073	0.086	0.096	0.099	0.099
4.00	0.27	0.033	0.038	0.048	0.060	0.071	0.076	0.076
6.00	0.013	0.016	0.019	0.024	0.032	0.043	0.051	0.052
8.00	0.007	0.009	0.011	0.014	0.020	0.028	0.037	0.039
1000	0.005	0.006	0.007	0.009	0.013	0.020	0.028	0.032
12.00	0.003	0.004	0.005	0.007	0.009	0.015	0.022	0.026
15.0	0.002	0.004	0.003	0.004	0.006	0.010	0.016	0.021
18.0	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.008	0.012	0.018
20.0	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.006	0.010	0.016

